



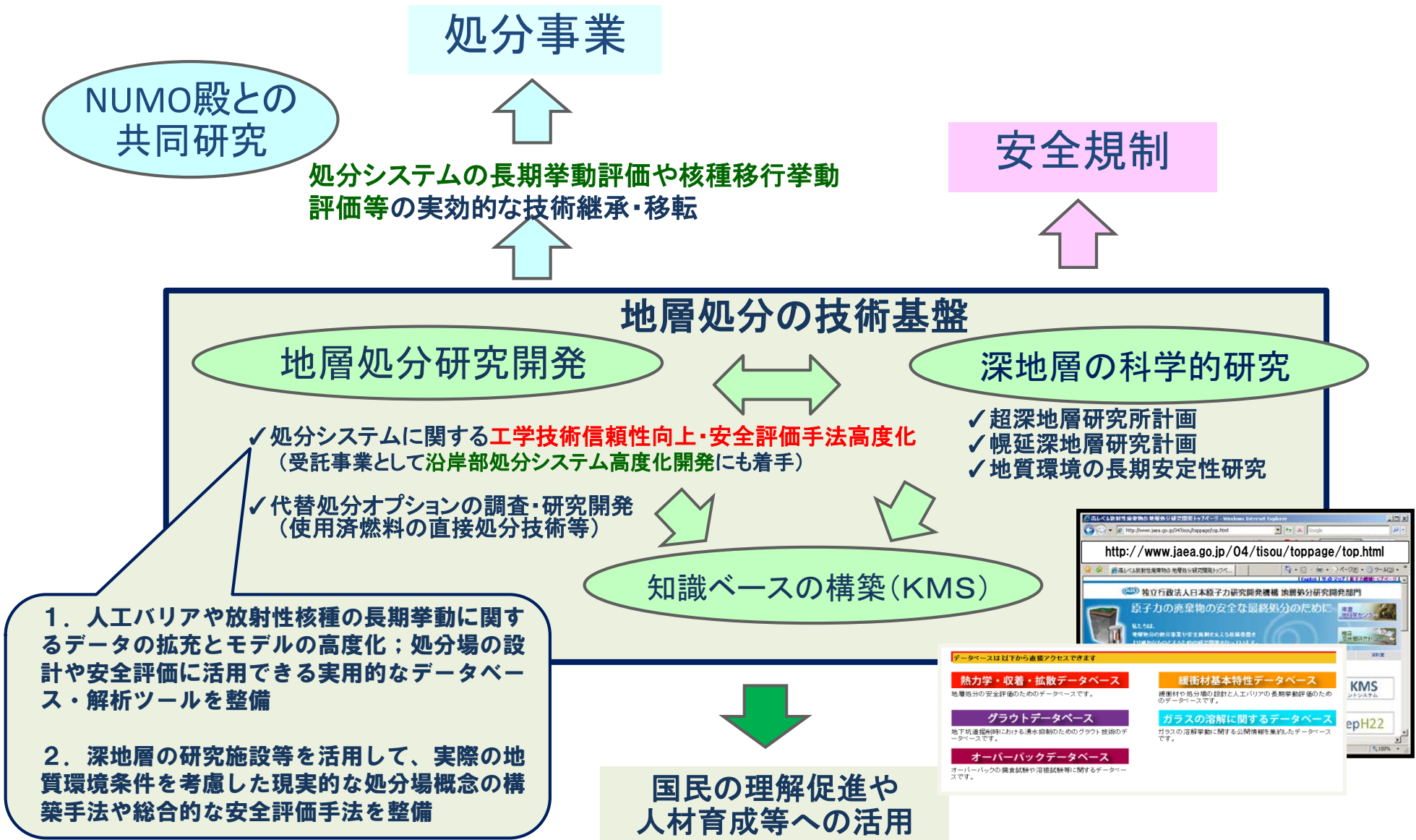
平成27年度における個別研究開発の現状および今後の予定

### ③ 高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発

平成28年3月14日

日本原子力研究開発機構  
バックエンド研究開発部門  
核燃料サイクル工学研究所 基盤技術研究開発部

# 地層処分の技術基盤の構成と成果の活用



# 成果と抽出課題(機構中期計画に基づく)

## 処分システムに関する工学技術の信頼性向上

| コアメッセージ                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 成果ダイジェスト                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                           | 課題ダイジェスト                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 必須の課題                                                                                                                                                       |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>【処分システムに関する工学技術】</b> <p>●処分場設計の技術基盤として必要なオーバーバックおよび緩衝材の基本特性について、処分後の過渡的な条件におけるデータを拡充し、公開データベースに格納することにより広く活用できる環境を整備できた。</p> <p>●処分場設計の技術基盤として必要な処分後の過渡的な現象を評価するためのオーバーバックの腐食挙動および緩衝材中のpHを連続計測可能なセンサーの開発や連成解析コードの改良を行うことにより、評価のための技術を整備することができた。</p> <p>●処分場の施工に関する技術基盤として、地質環境に対する化学的影響の少ない支保工材料の施工性、実規模の人工バリアを定置する技術を確認し、処分に必要な施工技術が実際の地質環境で適用可能である見通しを示すことができた。</p> | <p><b>人工バリア等の基本特性データの拡充及びデータベース開発</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・オーバーバック、緩衝材の基本特性に関して、試験条件を高温環境、高塩水環境に拡張した試験データを取得し、データベースを拡充した。</li> <li>・炭素鋼の腐食に対するγ線の影響が緩衝材共存下で著しく緩和されることを示したことにより、オーバーバックの遮蔽厚さを合理化できる可能性を提示した。</li> <li>・緩衝材の重要な機能である膨潤性について、試験方法の標準化に向けた手順の整理等を実施した。</li> </ul> <p><b>人工バリア等の長期複合挙動に関する研究</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・処分坑道埋め戻し後のニアフィールドにおける過渡的現象を評価するために、熱・水・応力・化学連成解析コードを、ベントナイト中の鉱物反応(pHの定量化)や間隙水中の塩濃縮を考慮できるように改良した。</li> <li>・幌延URLで実施するオーバーバック腐食試験および人工バリア性能確認試験に適用するオーバーバックの腐食挙動および緩衝材中のpHを連続計測可能なセンサーを開発した。</li> <li>・緩衝材の変質の主な要因である鉄・ベントナイト相互作用に伴う緩衝材中の二次鉱物の生成による影響範囲が限定的であることを解明した。</li> <li>・考古学的鉄製品のナチュラルアナログ研究により実験データに基づく長期腐食量評価の保守性・妥当性を支持するデータを取得した。</li> </ul> <p><b>工学技術の信頼性向上</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・坑道の設計技術として、幌延URLを活用して、地質環境の特徴を評価する基礎データを取得した。施工した地下坑道の力学的安定性評価のための検証データを蓄積し、長期予測手法の適用性を確認した。</li> <li>・坑道の建設技術として、幌延URLを活用して、地質環境に対する化学的影響を低減するための低アルカリ性セメントの施工性を確認した。</li> <li>・また、処分事業の各段階で検討すべきグラウト技術に関する内容をガイドラインとして提示した。</li> <li>・人工バリアの定置技術として、幌延URLを活用して、実規模の人工バリアを所定の精度で施工できることを確認した。</li> </ul> | <p><b>課題ダイジェスト</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・処分後初期の環境条件が過渡的な状況や過酷な状況を含め、影響因子が複雑に作用する状態等、より拡張した試験条件下での試験データの取得</li> <li>・現象理解およびパラメータ取得のための長期試験の実施</li> <li>・幌延URLを事例とした埋め戻し材の基本特性の取得</li> </ul> <p>・幌延URLで実施する実規模の人工バリア性能確認試験において熱・水・応力・化学連成現象の検証データを取得。</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・検証データと解析結果との比較による評価手法(解析コード)の妥当性評価</li> <li>・原位置試験に向けて開発した計測センサーの適用性(耐久性、応答性)確認</li> <li>・幌延URLで実施している原位置かつ実規模の人工バリア性能確認試験で取得されるデータにより、設計・施工した人工バリアが所期の機能を発揮することを検証</li> <li>・ナチュラルアナログ研究におけるデータの蓄積</li> </ul> <p>・幌延URLを活用した、坑道の力学的長期挙動、低アルカリ性セメントの地質環境への影響に関する検証データを拡充</p> | <p><b>必須の課題</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・幌延URLで取得されるデータを活用した個別の設計・施工技術等の検証、妥当性・適用性評価</li> <li>・上記の設計・施工技術等の処分システムの工学技術としての体系化</li> </ul> |

## 1)人工バリア等の基本特性データの拡充及びデータベースの開発:

### オーバーパックの腐食挙動

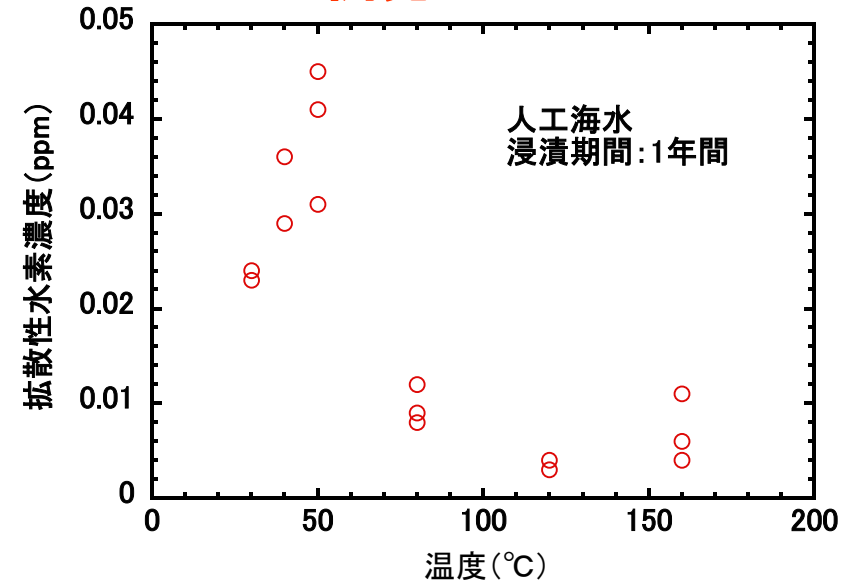
#### □ 成果

【オーバーパックの腐食挙動に関するデータの拡充】

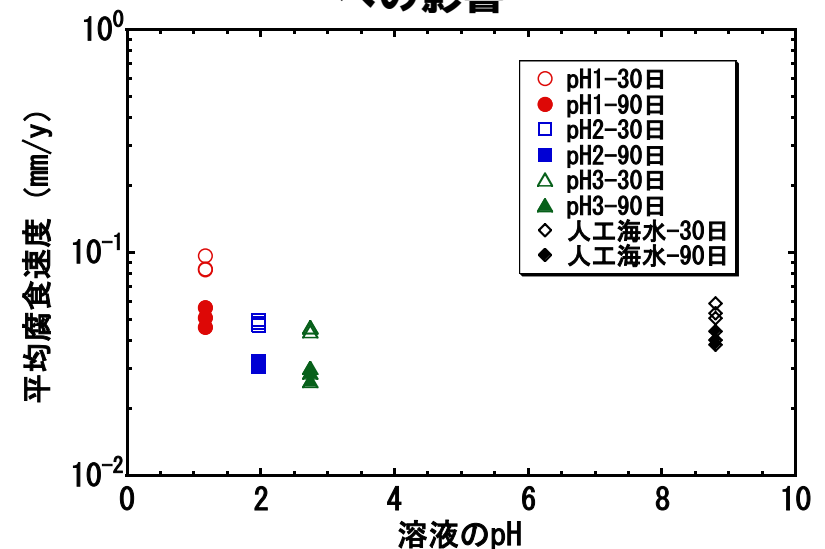
- 設計の前提条件を逸脱した環境条件を含め、温度、地下水水質による炭素鋼の腐食への影響に関するデータを拡充した。今後、これら最新の実験データを反映してデータベースを更新予定。

#### □ 意義／反映先

- 過酷な環境条件に対し、耐食性の観点から炭素鋼オーバーパックの堅牢性の推定に資するための基礎的情報
- 環境条件が過渡的な期間における地下水水質の変化や地下水化学の不確実性への対応



温度による炭素鋼中の吸収水素量（拡散性水素）への影響



pHによる炭素鋼の腐食速度への影響

## 1)人工バリア等の基本特性データの拡充及びデータベースの開発;

## □ 成果

▶ 幌延URLの人工バリア性能確認試験において、掘削土(ズリ)とベントナイトの混合材である埋め戻し材で試験坑道の埋め戻しを行った。施工した埋め戻し材の膨潤圧、透水係数を取得した。

### □ 意義／反映先

## ▶埋め戻し材(掘削土(ズリ)とベントナイトの混合材)の 施工実績

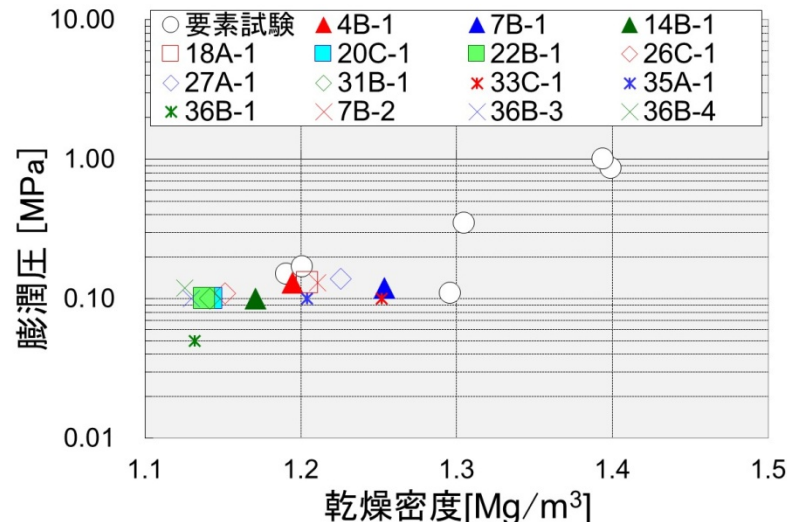
▶ 縦置き定置方式のニアフィールド挙動評価に反映



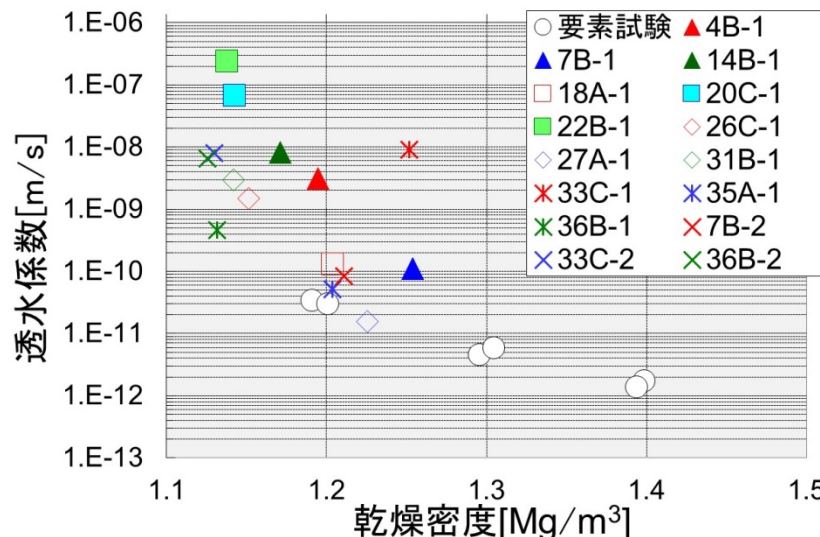
## 試料番号の読み方 (7B-1の場合)

打設層7層目の  
サンプリング測線Bで  
採取した  
1番試料  
を意味する。

埋め戻し材1層の仕  
上がり厚さは6.5cm。



## 埋め戻し材の乾燥密度と膨潤圧の関係 (要素試験:室内試験用試料)



## 埋め戻し材の乾燥密度と透水係数の関係 (要素試験:室内試験用試料)



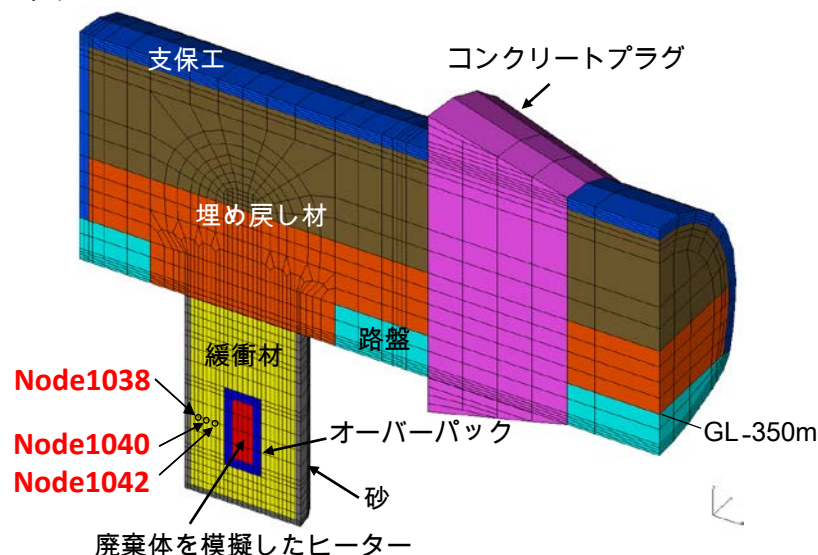
## 2)人工バリア等の長期複合挙動に関する研究: 熱-水-応力-化学連成(4連成)挙動の解析評価

### □ 成果

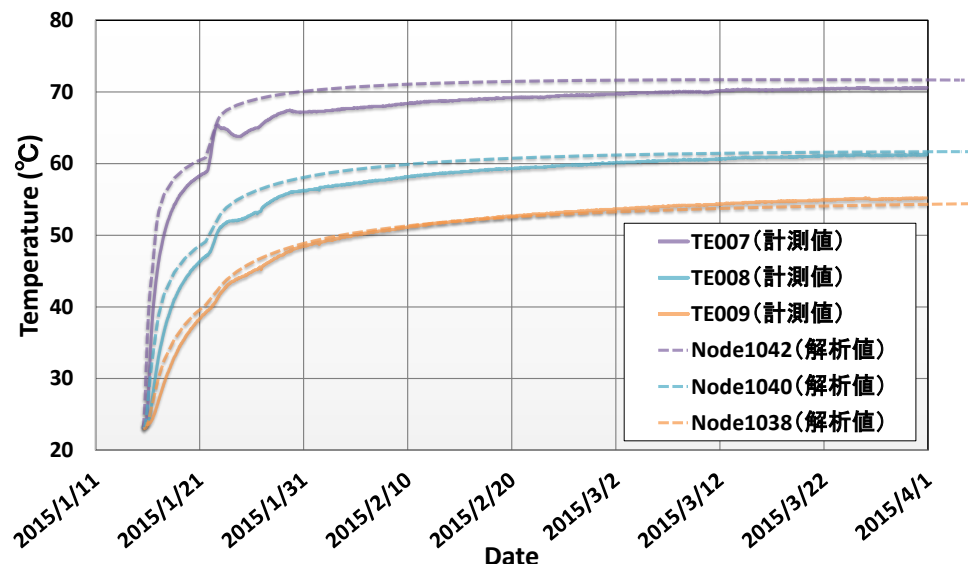
- これまでに開発した**4連成解析**コードにより人工バリアの過渡期の連成挙動評価を実施し、地下水化学を含むニアフィールド環境の変遷を把握した。また、幌延URLの人工バリア性能確認試験の計測データとの比較を通じて、解析コードの正確性を確認した。

### □ 意義/反映先

- 処分坑道・人工バリアの過渡期(坑道の掘削・閉鎖・地下水の飽和)における4連成挙動評価手法を整備
- オーバーパック腐食評価に必要となる情報提供や核種移行解析のための初期条件の提示に反映



解析メッシュ図



人工バリア性能確認試験の計測値と解析結果の比較  
(緩衝材中の温度の経時変化)

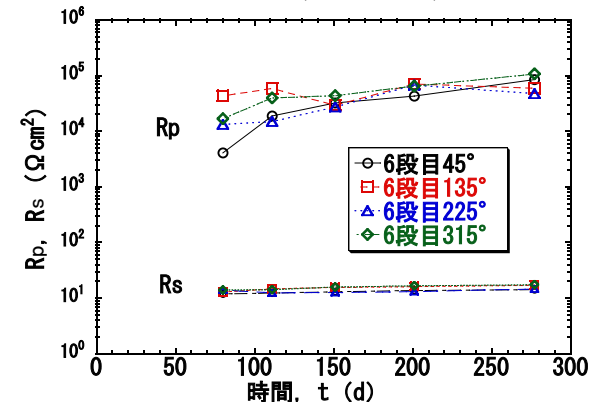
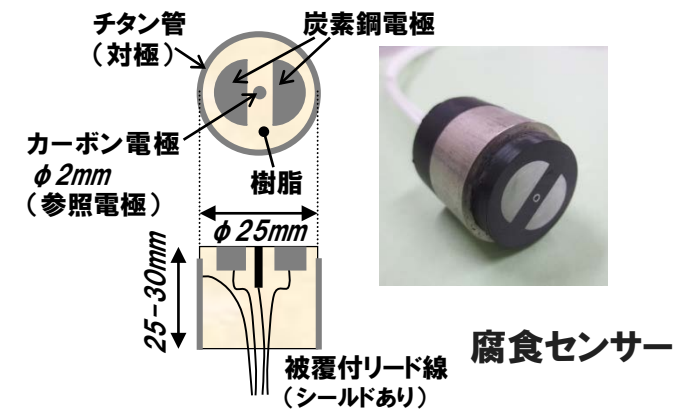
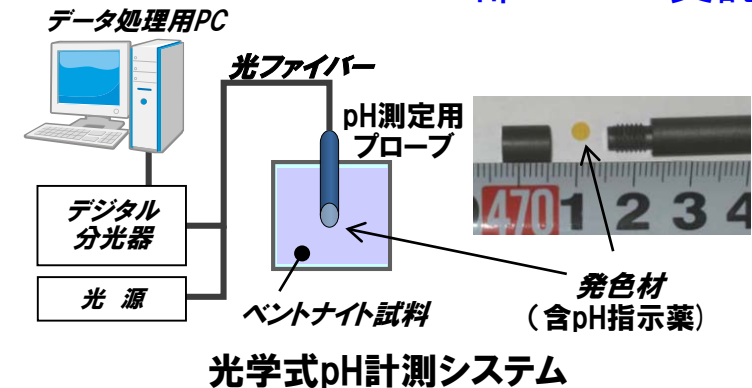
## 2)人工バリア等の長期複合挙動に関する研究： 4連成挙動把握のための計測技術

### □ 成果

- 緩衝材中のpHを計測するための発色剤と光ファイバーを利用した光学式pH計測システムを開発し、室内試験により適用性を確認した。本システムを幌延URLで実施している人工バリア性能確認試験の緩衝材中のpH計測に適用し、データを取得した。
- 緩衝材の再冠水など、環境条件の変化を伴う場におけるオーバーパックの腐食挙動を評価するために開発された腐食センサーを行いて幌延URLで計測を実施し、本センサーにより腐食モニタリングが可能であることを確認した。

### □ 意義/反映先

- 原位置において緩衝材中のpHやオーバーパックの腐食挙動の連続計測が実現可能である見通しを提示
- 原位置での計測データを用い、4連成解析コードの検証が可能になる。メカニズムの解釈、現象理解を踏まえた解析コードの改良に反映可能
- 処分場の操業～閉鎖時における地球化学特性の連続モニタリングへの要求に応えることが可能



腐食モニタリングによる分極抵抗 $R_p$ （腐食速度の逆数に比例）と液抵抗 $R_s$ の経時変化

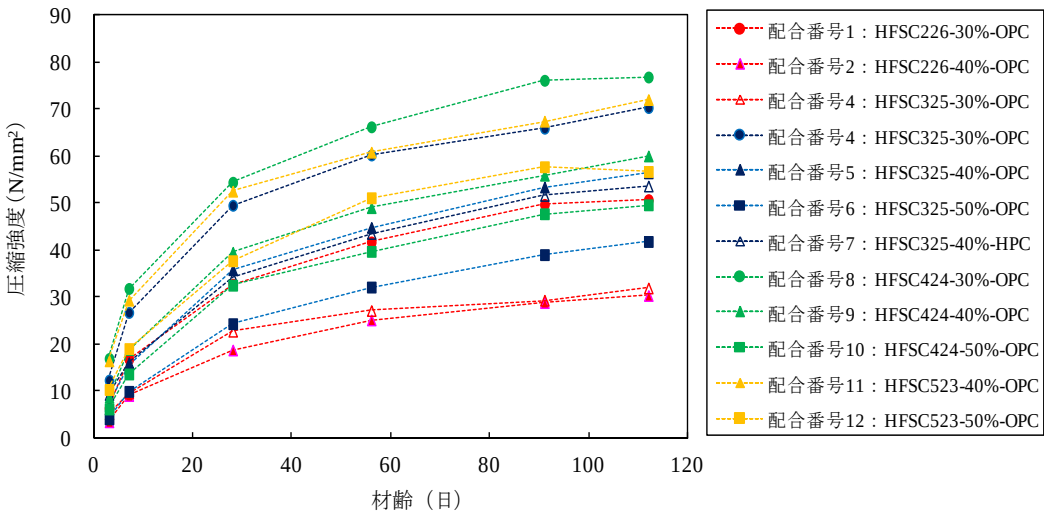
3)工学技術の信頼性向上;  
低アルカリ性セメントを用いた支保工の開発

意義/反映先

- 低アルカリ性セメントを用いた支保工(吹付けコンクリート)に関して配合をパラメータとした基本特性(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。

意義/反映先

- 岩盤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(吹付けコンクリート)の基本特性に関するデータを整備
- 地下施設の設計に用いる支保工(吹付けコンクリート)の適切な配合選定に反映



材齢と圧縮強度の関係

配合の組み合わせ(支保工:吹付けコンクリート 12ケース)

| 結合材構成比   |     | HFSC226 |    |    | HFSC325 |    |    | HFSC424 |    |    | HFSC523 |    |    |
|----------|-----|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|---------|----|----|
| 水結合材比(%) |     | 30      | 40 | 50 | 30      | 40 | 50 | 30      | 40 | 50 | 30      | 40 | 50 |
| セメント     | OPC | ◎       | ◎  |    | ◎       | ◎  | ◎  | ◎       |    | ◎  |         | ◎  | ◎  |
|          | HPC | ◎       |    |    |         | ◎  |    |         |    | ◎  |         |    |    |

HFSCの後の数値は、セメント(C)、シリカフューム(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



# 成果と抽出課題(機構中期計画に基づく)

## 安全評価手法の高度化

| コアメッセージ                                                                                                                                               | 成果ダイジェスト                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 課題ダイジェスト                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 必須の課題                                                                                                                                                                                                                                                       |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>【安全評価手法の高度化】</p> <p>●わが国において発生可能性の高い自然事象や多様な前提条件が地層処分システムに与える影響の評価を体系的に実施可能</p> <p>●メカニズム理解に基づく影響評価モデルの改良とパラメータ設定手法の確立、および具体的な地質環境条件への適用を通じた確認</p> | <p>システム性能評価に係る手法の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・わが国の主要な侵食プロセスである河川侵食が地表接近時の処分場に与える影響を評価するための複数の概念モデルを構築し、地表接近時においてもシステムが頑健であることを改めて明らかにした。</li> <li>・異なる前提条件(廃棄物インベントリ、処分概念オプション等)間の相違を評価するための技術の整備・体系化を進め、その効率的な実施を促進・支援できるようになった。</li> </ul> <p>放射性核種の移行に係る現象理解とデータベース開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・核種移行データベース(熱力学、収着・拡散、ガラス溶解)の機能とデータを拡充するとともに、実際の地質環境等を考慮したパラメータと不確実性の評価手法を構築した。</li> <li>・ガラス溶解、緩衝材中の収着・拡散、岩石中の水理・核種移行に係る現象のメカニズム理解を深めるとともに、ガラス溶解や緩衝材中の収着・拡散現象に係るモデルを最新のメカニズム理解を反映し高度化した。</li> <li>・国内外の原位置試験との連携によって、有機物・微生物・コロイド等の影響評価モデルの高度化するとともに、適用性評価事例を提示した。</li> <li>・わが国での自然事象による長期変遷を考慮した生活圏モデルの構築に向けて留意すべき点を、国際的な経験等の分析を通じて、明らかにした。</li> </ul> | <p>地層処分システムの長期変遷に係るわが国の地質環境の特徴及び起こりやすさの異なる自然事象を考慮したシナリオ構築から影響評価までの一連の評価技術の開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・発生可能性の極めて低い事象の安全評価における取扱いの明確化</li> <li>・地下研究施設で取得されたデータを活用した総合的な性能評価手法の適用性確認</li> </ul> <p>バリア材共存とシステム長期変遷を考慮した核種移行モデルとデータベースの開発</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・現象のメカニズム理解に基づくモデル高度化の先端的な計算科学や分析技術を適用した推進</li> <li>・核種移行モデルの原位置条件での検証、天然事例に基づく長期時間スケールでの検証</li> <li>・隆起・侵食と気候・海水準変動の複合的な影響を考慮したGBI/被ばく経路の設定方法の開発</li> </ul> | <p>事象の特徴や起こりやすさを考慮した安全評価技術の体系化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地下研究施設から得られる坑道周辺の知見を活用した安全評価手法の適用性確認</li> </ul> <p>システム変遷についての核種移行評価モデルとデータベースの先端化</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・地下研究施設の原位置試験や天然事例評価による時空間スケールを含めたモデル検証</li> </ul> |

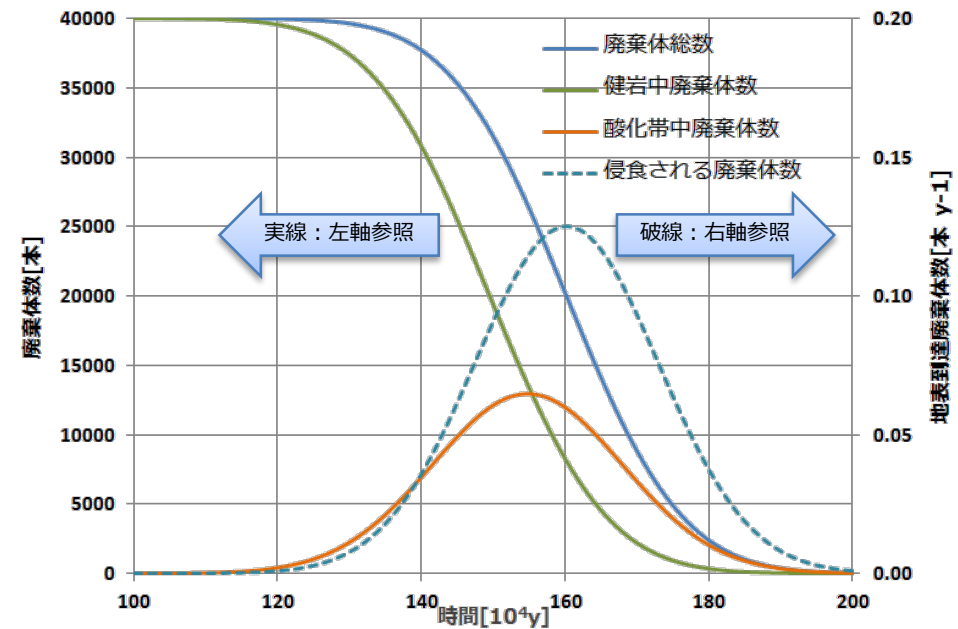
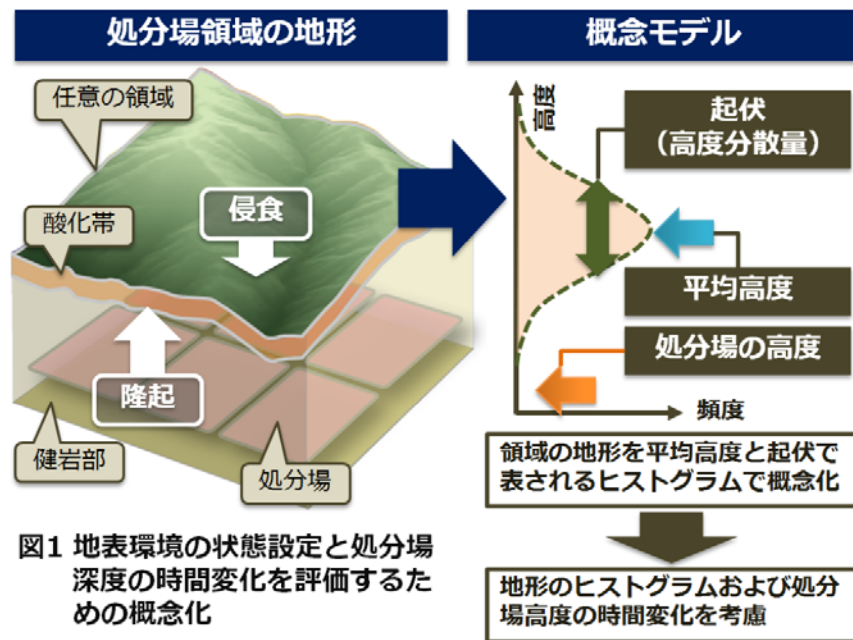
～H26年度 H27年度～

# 安全評価手法の高度化(研究開発成果事例)

## 1) システム性能評価に係る手法の開発:

### 長期的な地形変化を考慮した隆起・侵食シナリオ構築に関する方法論の検討

- 成果: 長期的な地形変化を伴う動的平衡(隆起速度=侵食速度)が成立しないケースに対して, 平均高度, 起伏(高度分散量), 侵食速度の既存の関係式を用いて, 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。
- 意義/反映先: 実施主体が行う安全評価に利用可能な、隆起・侵食影響評価のモデリング技術に反映



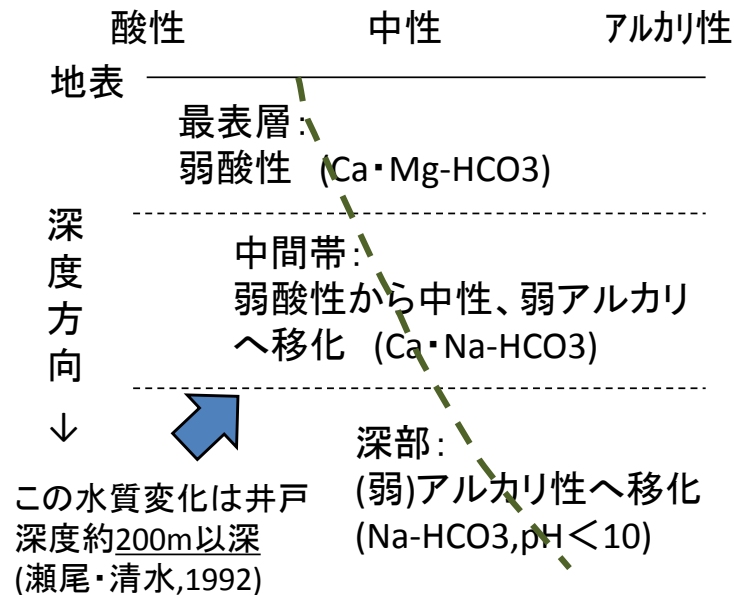
# 安全評価手法の高度化(研究開発成果事例)

## 1) システム性能評価に係る手法の開発:

### わが国の風化帯に関する文献調査

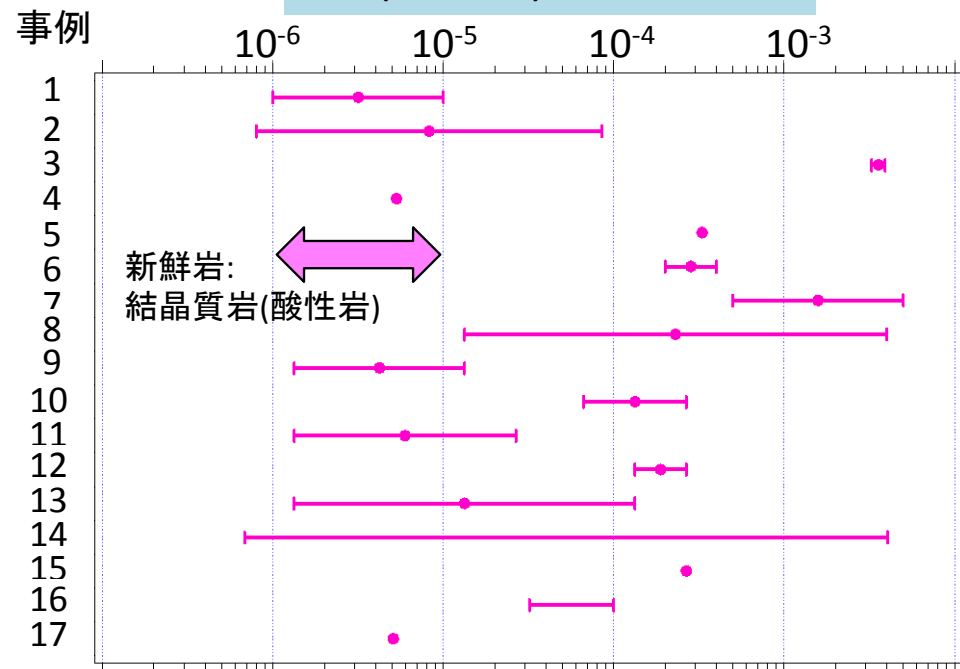
- 成果: 地下浅部の核種移行評価のモデルを構築していくために, 風化帯の厚さ及び地形との関係、風化帯の地質環境情報(特に水理、化学)を整理した。
- 意義/反映先: 実施主体が行う安全評価における風化帯の状態設定のための基盤情報

#### ① 花崗岩の地下水質



金井ほか(1998); JNC(1999)を参考 to 作成

#### ② 風化帯内の透水係数 (cm/sec)



梅田(1996), 伊熊ほか(1998) などから加工転載

# 安全評価手法の高度化（研究開発成果事例）

## 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；

### 表層環境条件に応じた生活圈モデル構築手法の整備

- 成果：多様な表層環境条件の構成要素の特徴とそれらの間で考えられる物質移行・被ばくプロセスを整理し、具体的な表層環境条件が与えられた時にその特徴に応じたプロセスの抽出・組合せにより生活圈モデルを構築する手法を整備した。
- 意義／反映先：実施主体が行う安全評価に利用可能な、対象とすべき表層環境条件が具体化された場合の、それらの特徴を踏まえた生活圈モデル構築や比較に反映

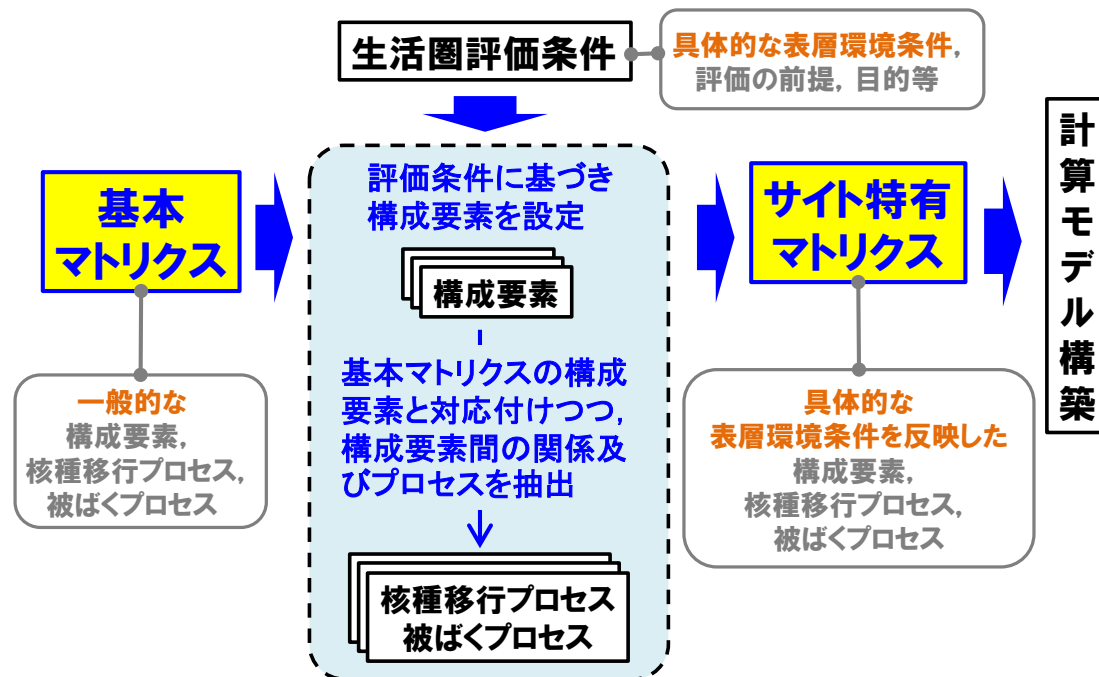


図 表層環境条件に応じた生活圈モデル構築手法の概要  
（長尾ほか（公開準備中）より要約）

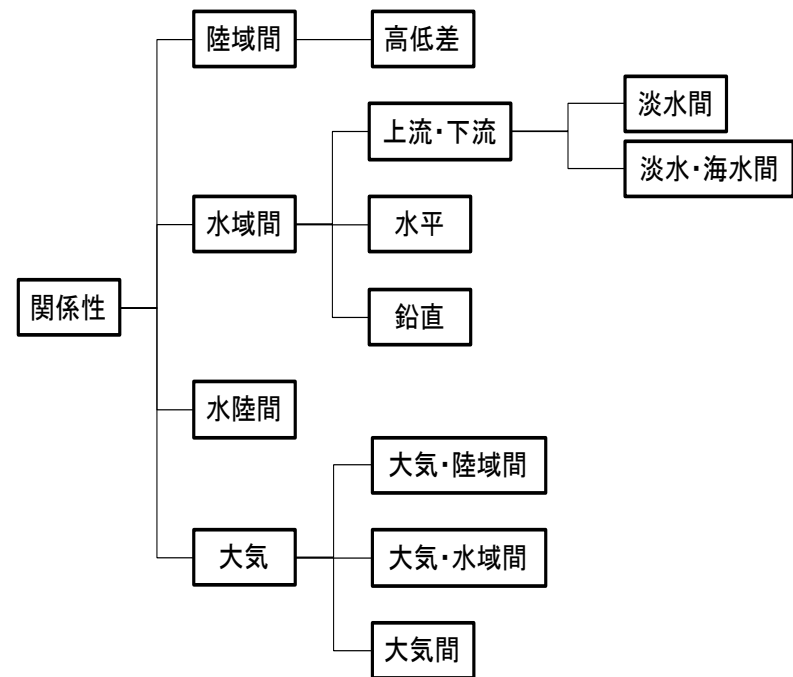


図 地理的特徴に基づく構成要素の関係性の整理

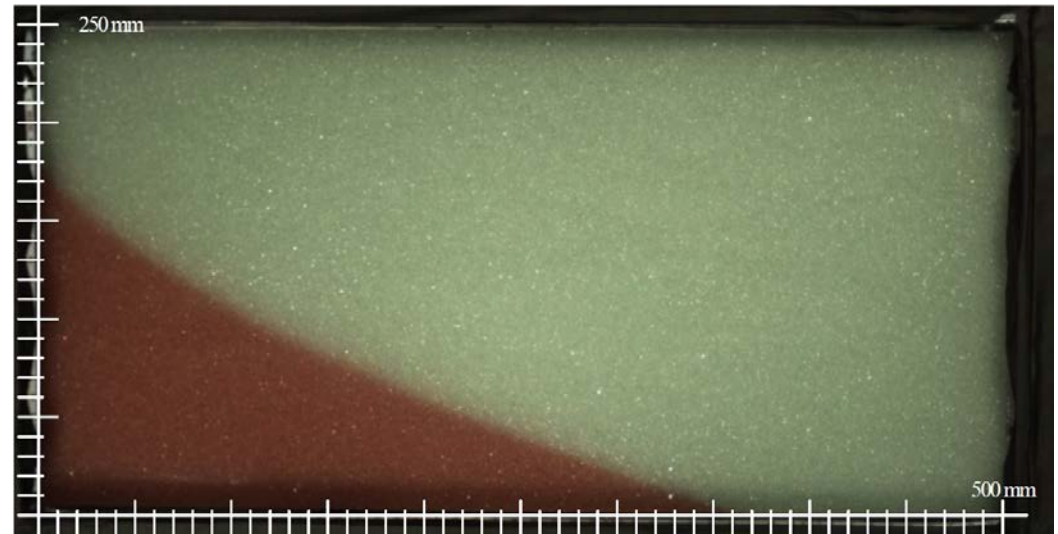
# 安全評価手法の高度化（研究開発成果事例）

## 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；

### 塩水と淡水の密度差による塩水楔現象を対象とした室内試験手法の開発

#### □ 成果

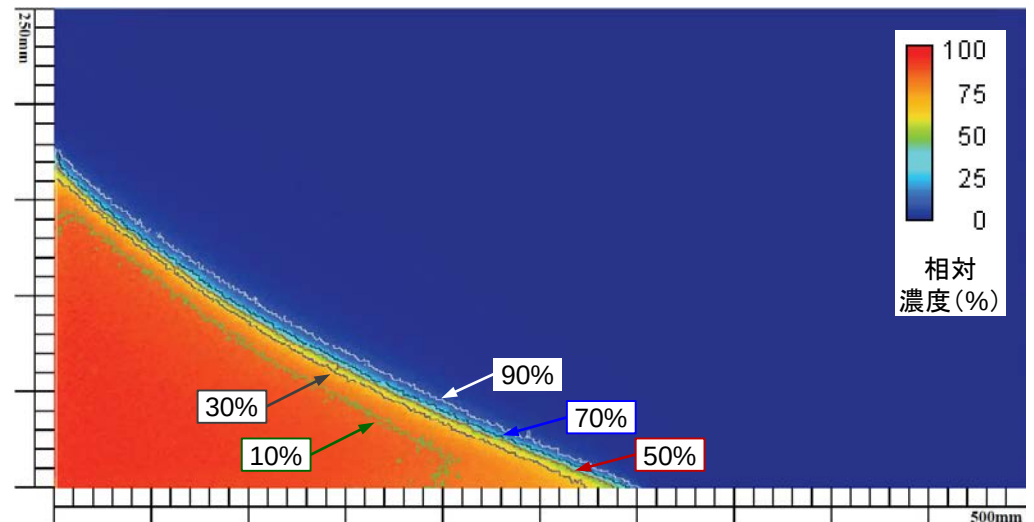
- 沿岸部を対象とした地下水環境（地下水流動、地下水の化学組成など）を評価する手法開発の一環として、塩水と淡水の密度差によって生じる塩水楔現象を対象とした室内試験において、塩淡境界の塩濃度分布を定量的に評価する手法を開発。



塩水楔試験結果例（塩水を赤で着色）

#### □ 意義／反映先

- 本試験により得られるデータは、沿岸部を対象とした地下水環境を評価するために用いられる数値解析コードの定量的な検証データとして活用可能。



塩水楔試験結果の塩濃度（相対濃度）分布定量的評価の例



## 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；

## 収着・拡散モデル/データベースの開発

## □ 成果

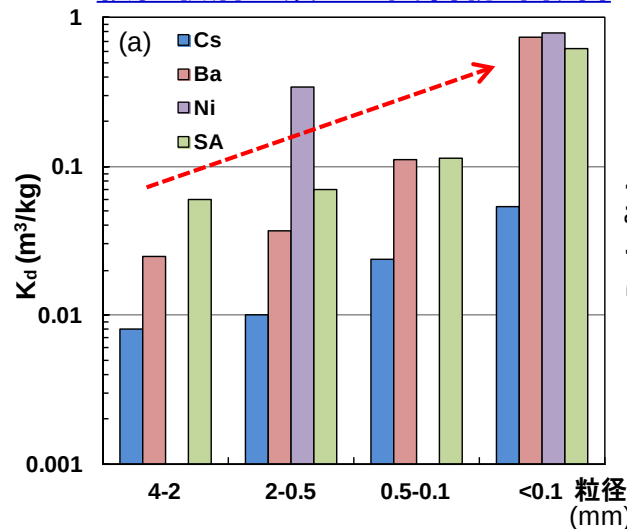
- グリムゼル花崗岩マトリクス部を対象に、分配係数に及ぼす試料粉碎影響、実効拡散係数における陽イオン加速、陰イオン排除等のメカニズムの理解
- グリムゼル割れ目試料を対象とした室内移行試験によるデータ取得と不均質性等を考慮したモデル化
- グリムゼル花崗岩の室内データから原位置条件へのアップスケール法適用性の評価

## □ 意義／反映先

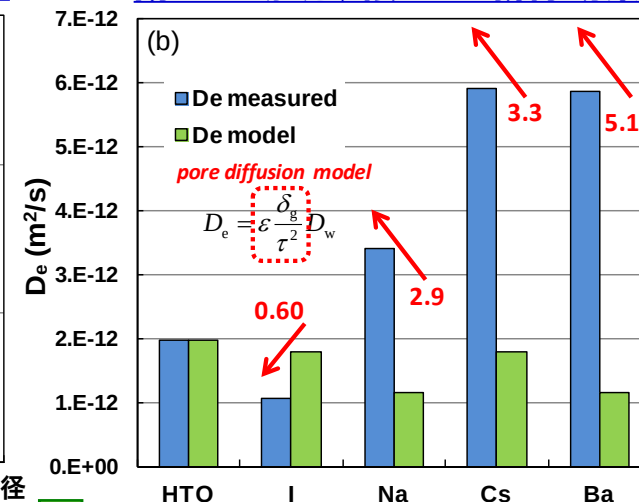
- 結晶質岩のマトリクス～割れ目までの核種移行現象の室内試験による理解と、原位置試験までのアップスケール法/評価手法の提示

## グリムゼル花崗岩のマトリクス部を対象とした室内試験で得られた知見

## 核種収着に及ぼす試料粉碎影響



## 陽イオン加速/陰イオン排除効果

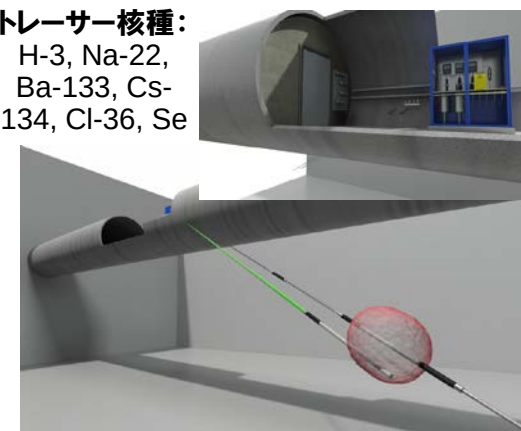


## 割れ目を対象とした室内試験



## グリムゼル原位置拡散試験

トレーサー核種：  
H-3, Na-22,  
Ba-133, Cs-134, Cl-36, Se



## 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；

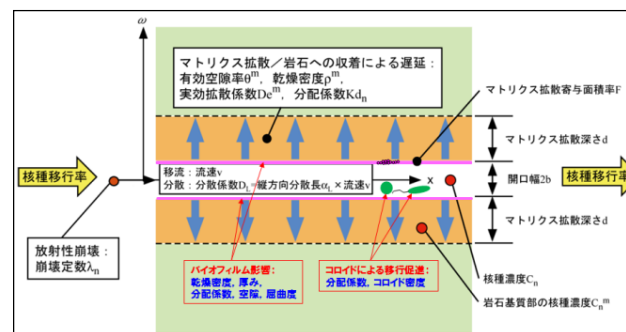
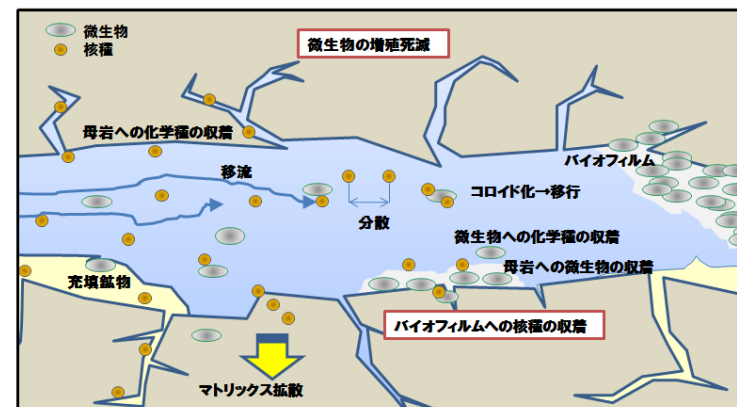
## コロイド・有機物・微生物影響評価手法

## □ 成果

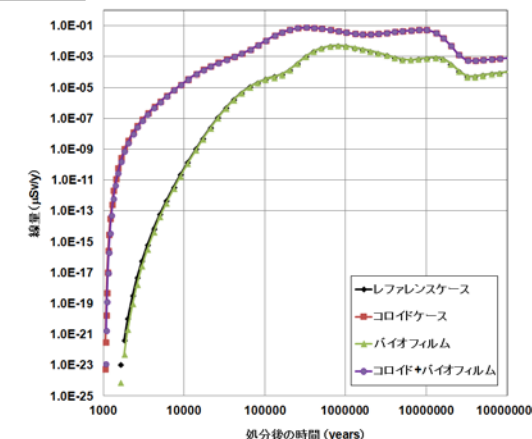
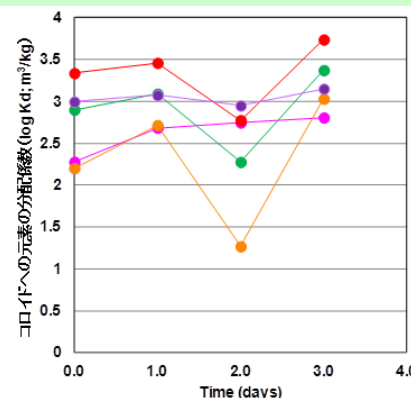
- 処分システムの長期安全性について、環境条件や時間変遷を考慮したシナリオ解析および核種移行解析を実施し、コロイド・有機物・微生物が核種移行を促進する可能性を評価
- 影響評価モデルの構築に向けた課題抽出と、幌延の地下研究施設を活用したデータ取得を実施
- 核種－微生物相互作用モデルの構築に向けた、室内・原位置における微生物群集組成・収着特性データ取得、データベース整備を実施

## □ 意義／反映先

- 実際の原位置条件への適用性を念頭において、室内および原位置におけるデータ取得手法を構築するとともに、核種移行への影響評価プロセスのモデル化・評価手法を提示

核種移行  
に対する  
微生物  
影響の  
概念図GoldSimによる核種移行  
への影響解析例GoldSimを用いた各解析  
ケースの総線量の比較

## 微生物サイズのコロイドへの元素分配



# 地層処分研究開発成果

## 1. 処分システムに関する工学技術の信頼性向上

- 人工バリア等の変質等の長期挙動
- 人工バリア等の基本特性データの拡充及び

### データベースの開発

- ・オーバーパックデータベース; 1,711件
- ・緩衝材基本特性データベース; 2,168件
- ・グラウトデータベース; 材料203件 施工215件

- 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究
- 工学技術の信頼性向上／人工材料開発
- 岩盤長期挙動予測評価技術の精緻化
- 地層処分実規模設備整備事業への協力



人工バリアを設置後の坑道周辺における熱-水-応力-化学状態変化に関する解析

| 引用文献番号       | 引用文献名        | 引用文献番号       | 備考 |
|--------------|--------------|--------------|----|
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(1)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(2)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(3)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(4)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(5)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(6)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(7)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(8)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(9)  | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(10) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(11) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(12) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(13) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(14) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(15) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(16) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(17) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(18) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(19) | 0.0019200004 | -  |
| 0.0019200004 | 緩衝材の特性試験(20) | 0.0019200004 | -  |

### 緩衝材基本特性データベース

## 2. 安全評価手法の高度化

### ➢ 核種移行データベースの開発

- ・熱力学データベース(平衡定数); 1,772件
- ・収着分配係数データベース; 約 58,000件, 文献数約 750編
- ・拡散係数データベース; 約 5,000件, 文献数約 300編
- ・ガラス溶解データベース; 数値データ 23,288件, 文献数237編

### ➢ 処分システム性能評価モデルの開発・改良への取り組み事例

- ・核種移行に対するコロイド、有機物、微生物の影響評価
- ・様々な天然事象影響に関する評価概念モデルの構築
- ・表層環境や日本の特徴を考慮した生活圏モデル構築・移行パラメータ整備
- ・岩盤中の水理・物質移行評価手法



処分場の安全評価・設計の基礎となるデータベースの開発

# NUMO殿との共同研究

| 実施期間                       | 課 題                                         | NUMO分担                                            | JAEA分担                                       |
|----------------------------|---------------------------------------------|---------------------------------------------------|----------------------------------------------|
| H23-25                     | ● 水理の観点から見た母岩の適性評価方法                        | ➤ 対象母岩選定について国外の最新の事例調査とわが国における進め方の検討および課題の抽出      | ➤ 母岩特性評価に関わるこれまでの知見情報の整理                     |
| H23-25<br>H26-27<br>H26-27 | ● シナリオの構築<br>● 評価の枠組みとシナリオ開発<br>● FEP関連情報整備 | ➤ シナリオ構築に関わる国内外の最新の事例調査とシナリオ構築の進め方に関する検討および課題の抽出  | ➤ ニアフィールドを対象とした現象理解と安全機能への影響に関わるこれまでの知見情報の整理 |
| H23-25<br>H26-27           | ● 核種移行パラメータの設定<br>● モデル開発・パラメータ設定           | ➤ パラメータ設定に関わる国外の最新の事例調査とパラメータ設定の進め方の検討および課題の抽出    | ➤ 核種移行データベースやモデル等の基盤技術等に関わるこれまでの知見情報の整理      |
| H23-25                     | ● 知識情報の品質確保                                 | ➤ 知識情報の品質確保の進め方の検討と課題の抽出                          | ➤ 知識情報の品質確保に関わるこれまでの知見情報の整理                  |
| H27-30                     | ● ガラス固化体の長期溶解挙動                             | ➤ 主要な支配プロセス等を対象とした室内試験の実施，協力研究員の派遣および文献調査による知見の整備 | ➤ 室内実験に必要な研究設備等の提供および文献調査による知見の整備            |

## 新規共同研究課題

H28-

ニアフィールドシステムの長期挙動評価

- ガラスの多様な環境下での長期溶解挙動
- 鋳鋼製オーバーパックの長期腐食挙動
- オーバーパックと緩衝材の相互作用（長期変質挙動）
- 緩衝材/セメント反応挙動
- 緩衝材長期圧密挙動

H28-

核種移行挙動評価

- 評価の枠組みとシナリオ開発
- 核種移行パラメータ設定手法の整備
- 核種移行データ取得及びモデルの整備
- 核種移行データとモデルの検証

研究者の派遣など実効的技術共有・継承



# 国の全体計画に基づく資源エネルギー庁事業

(JAEA受託分)

H20-24

先進的地層処分  
概念・性能評価  
技術高度化開発

処分システム化学  
影響評価高度  
化開発

地下坑道施工技  
術高度化開発

地質環境総合評  
価技術高度化開  
発

硝酸塩処理・  
処分技術高度化  
開発

H25-29

処分システム評価確認  
技術開発

ニアフィールドのシステム変遷と核種移行評価先端技術開発、多様な廃棄物の共処分評価、過酷事象の影響評価、可逆性・回収可能性等を考慮した処分概念検討、評価確認技術の統合化。

直接処分等代替技術  
開発

幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替オプションに関する調査・研究を行う。先進的な人工バリア材料の開発や処分施設設計検討等を燃料や環境条件の多様性を考慮し、段階的に進める。H27年度より、超深孔処分等、その他の代替処分オプションについても検討着手。

地質環境長期安定性評  
価確認技術開発

文献調査や現地調査によって得られている数百万年程度の過去から現在までの地質環境(数十平方キロメートルの広さを対象)の変遷を把握し、これまで開発した地形モデル及び地質モデルを統合化して地形・地質モデルとし、地質環境の長期的な変化を三次元的に可視化・数値化する手法を構築。

H27-30

沿岸部処分システム高  
度化開発

概要調査段階で必要となる技術開発の整備に向け、沿岸部特有の環境条件を抽出し、それらを踏まえた地層処分技術の開発を行う。

H23-26

セメント材料影響評  
価技術高度化開発



# 成果と抽出課題(機構中期計画に基づく)

## 使用済燃料直接処分の研究開発

| コアメッセージ                                                                                                                                                         | 成果ダイジェスト                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 課題ダイジェスト                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 必須の課題                                                                                                                                                          |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <p>【使用済燃料の直接処分研究開発】</p> <p>●使用済燃料の地層処分システムの予備的設計・安全評価を通して、多重バリアシステムを基本とした処分概念と安全確保の考え方や現状の技術レベルを示すことができた。</p> <p>●予備的設計・安全評価を通じて、直接処分の研究開発に係る、今後の課題を抽出・整理した</p> | <p>工学技術</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料を対象とした地層処分システムの地下施設(人工バリアおよび坑道)の設計フローを提示するとともに、設計要件を整理し、レファレンスとする条件のもと坑道横置き方式を対象として、処分容器や緩衝材を含む地下施設の設計を行い、レファレンス仕様を提示した。</li> <li>・搬送・定置設備の概念設計を行った。</li> <li>・使用済燃料に特有の留意点等を明らかにしつつ、今後の課題を抽出した。</li> </ul> <p>安全評価</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料の直接処分に特有な現象について、既往の知見を整理し、レファレンスとする条件および地下施設仕様を対象として、地質環境の長期的な変遷を考慮に入れたリスク論的な考え方に基づき、基本シナリオを対象とした安全評価を行った。</li> <li>・使用済燃料に特有の留意点等を明らかにしつつ、今後の課題を抽出した。</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料の特徴、実際の使用済燃料の多様性および地質環境条件の多様性を考慮した、設計のバリエーションの提示</li> <li>・設計の前提となる考え方(緩衝材温度制限等)の見直しと提示</li> <li>・保障措置、核セキュリティの要件に対応した地下施設/設備の設計上の留意点の整理と設計への反映</li> <li>・より長寿命な処分容器の設計</li> <li>・臨界安全性評価の考え方・手法の整備</li> <li>・廃棄体重量・形状および定置方式に対応した、搬送・定置設備、坑道、および地上設備の設計</li> </ul> <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料の直接処分に特有な現象についての理解を深めつつ、地質環境の長期的な変遷など、不確実性を考慮したシナリオ区分とそれに基づく体系的なシナリオの設定</li> <li>・実際の使用済燃料の多様性および地質環境条件の多様性や不確実性を考慮した、評価モデルおよびパラメータの設定</li> <li>・使用済燃料からの核種の浸出挙動等に関する試験研究計画の策定</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>・使用済燃料の特徴および関連する現象についての理解深化に応じた地層処分システムの設計および安全評価の実施。</li> <li>・使用済燃料の地層処分システムの長期的性能に関する論拠等を前提条件の多様性も考慮しつつ整理</li> </ul> |

～H26年度 | H27年度～

# 研究開発の位置づけ

## ■「エネルギー基本計画」（平成26年4月 閣議決定）

高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取り組みの抜本強化のための方策として「地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。」としている。

## ■「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（平成27年5月22日閣議決定）

「・・・国及び関係研究機関は、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その他の処分方法に関する調査研究を推進するものとする。・・・」

## ■「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画（中長期計画）」（平成27年4月1日～平成34年3月31日）

「・・・海外の直接処分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の地層処分研究開発の成果を活用しつつ、代替処分オプションとしての使用済燃料直接処分の調査研究に取り組み、成果を取りまとめる。・・・」

# 直接処分第1次取りまとめについて

## ■ 目 的

限定的な前提条件の下で予備的に地層処分システムの設計・安全評価を行うことにより、直接処分の技術的基盤の整備に向けた課題を抽出する。

## ■ 主要工程

- 平成25年度より使用済燃料の直接処分に関する研究に着手、同時に「直接処分第1次取りまとめ」の執筆作業を開始
- 平成26年2月：骨子についての国内外専門家からの意見聴取
- 平成26年3月：第1次取りまとめ（ドラフト）完成
- 平成26年5月：タスクフォースメンバー、国内有識者によるレビュー
- 平成26年6月：国内レビュー会合（タスクフォースメンバー、国内有識者）
- 平成26年7月～11月：国内レビュー結果に基づく対応、国際レビュー会合準備
- 平成26年12月：国際レビュー会合（海外有識者、タスクフォースメンバー、国内有識者）
- 平成27年1月～3月：国際レビュー結果に基づく対応
- 平成27年4月～6月：第1次取りまとめ（最終ドラフト）の作成と最終チェック
- 平成27年7月～11月：機構技術資料としての公開手続き（社内査読対応、校正、印刷等）
- 平成27年12月：公開

# 直接処分第1次取りまとめの概要

## 直接処分第1次取りまとめの進め方と前提条件

### ■ 予備的設計・安全評価の進め方

網羅的な検討を行うのではなく、今後の直接処分の技術的基盤の整備に向けた起点となるよう、前提条件や評価の範囲を設定し、予備的な設計・安全評価を行うことにより、取り組むべき課題を抽出する。

### ■ 前提条件

#### ➤ 地質環境条件

H12レポートのレファレンスケースの設定に準拠し、以下の地質環境条件を設定

- ・地形：平野
- ・地下水：降水起源（陸水系）
- ・岩種：結晶岩（酸性岩）／硬岩系
- ・処分場の設置深度：1,000m

#### ➤ 使用済燃料特性

H12レポートのモデルガラス固化体の設定に用いた使用済燃料と同様に、以下の使用済み燃料の仕様を設定

- ・炉型：PWR
- ・濃縮度：4.5%
- ・燃焼度：45,000MWD/MTU
- ・燃料集合体1体あたりのウラン量：0.4614 MTU

炉取り出し後から処分されるまでの期間：50年

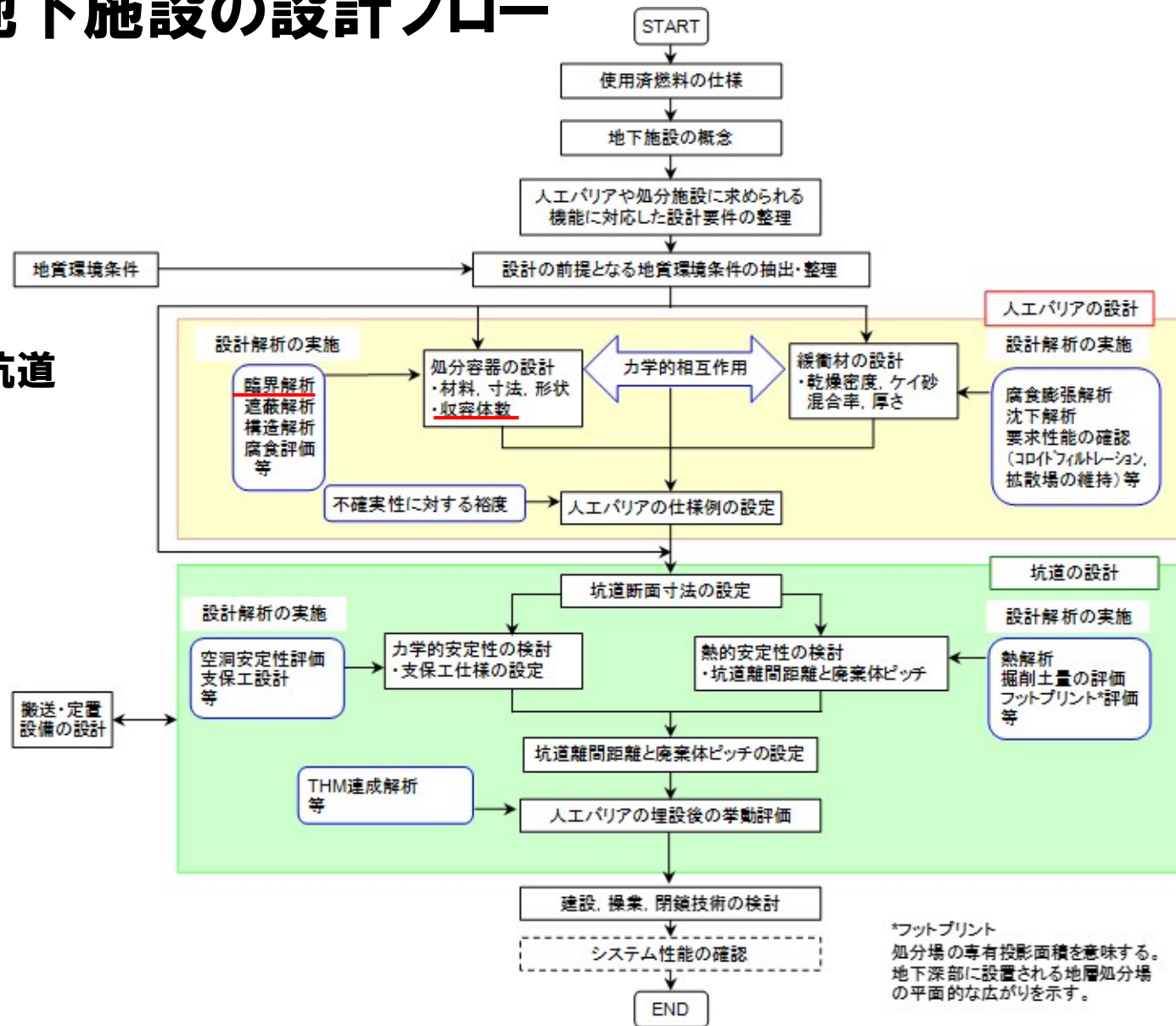
# 工学技術：地下施設の設計フロー

## ■ 地下施設： 人工バリア

- 処分容器
- 緩衝材

## 坑道

- アクセス坑道
- 連絡坑道
- 主要坑道
- 処分坑道



- ガラス固化体を対象とした設計フロー（H12レポート）を出発点として、使用済燃料を対象とした地下施設設計のフローを構築

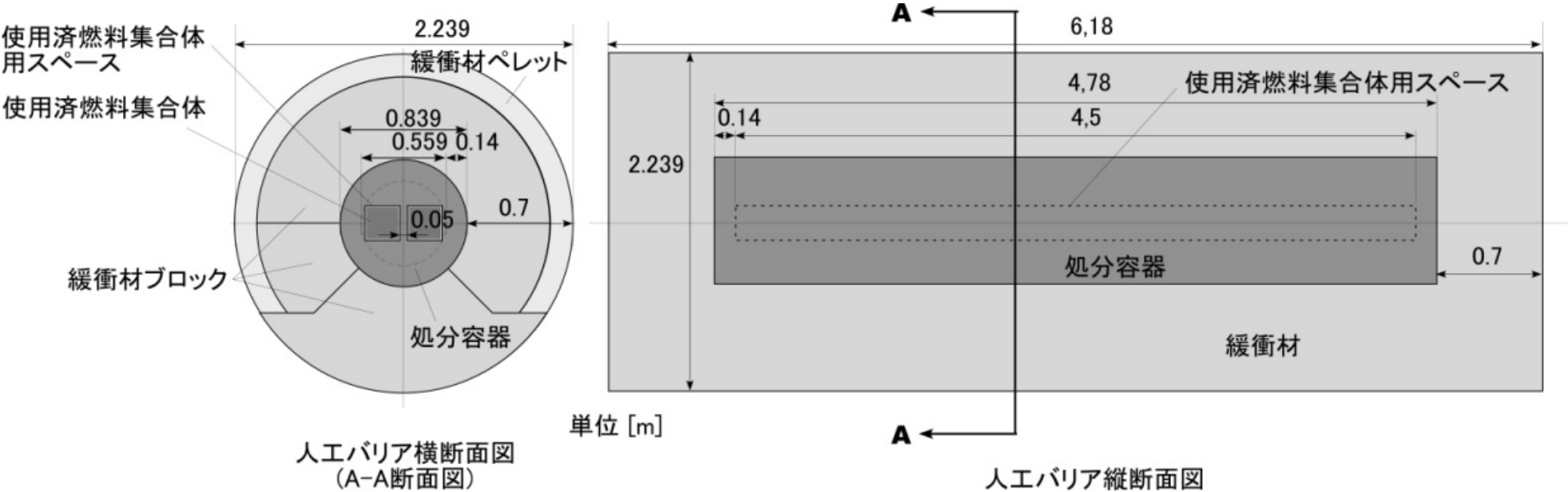


# 工学技術：人工バリア設計結果の概要

## ■ 人工バリアの仕様例

| 炭素鋼処分容器 |        |
|---------|--------|
| 収容体数    | 2体     |
| 燃料集合体間隔 | 0.05m  |
| 処分容器厚さ  | 0.14m  |
| 腐食しろ    | 0.04m  |
| 直径      | 0.839m |
| 長さ      | 4.78m  |

| ベントナイト緩衝材 |                      |
|-----------|----------------------|
| 厚さ        | 0.7m                 |
| 乾燥密度      | 1.6Mg/m <sup>3</sup> |
| ケイ砂混合率    | 30wt%                |



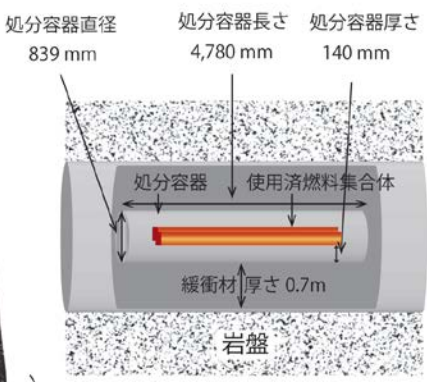
# 安全評価：使用済燃料を対象とした地層処分システム

## ■ 安全評価の前提となる地質環境条件の設定、処分場仕様 等

生活圏 H12レポートのレファレンスケースと同様の地表環境と人間の生活様式を設定  
GBI(Geosphere-biosphere interface)：放射性核種が地下水により地下から帯水層を経由して生活圏に至る経路を想定

### 地質環境条件

地形：平野  
地下水：降水起源（陸水系）  
岩種：結晶岩（酸性岩）  
硬岩系

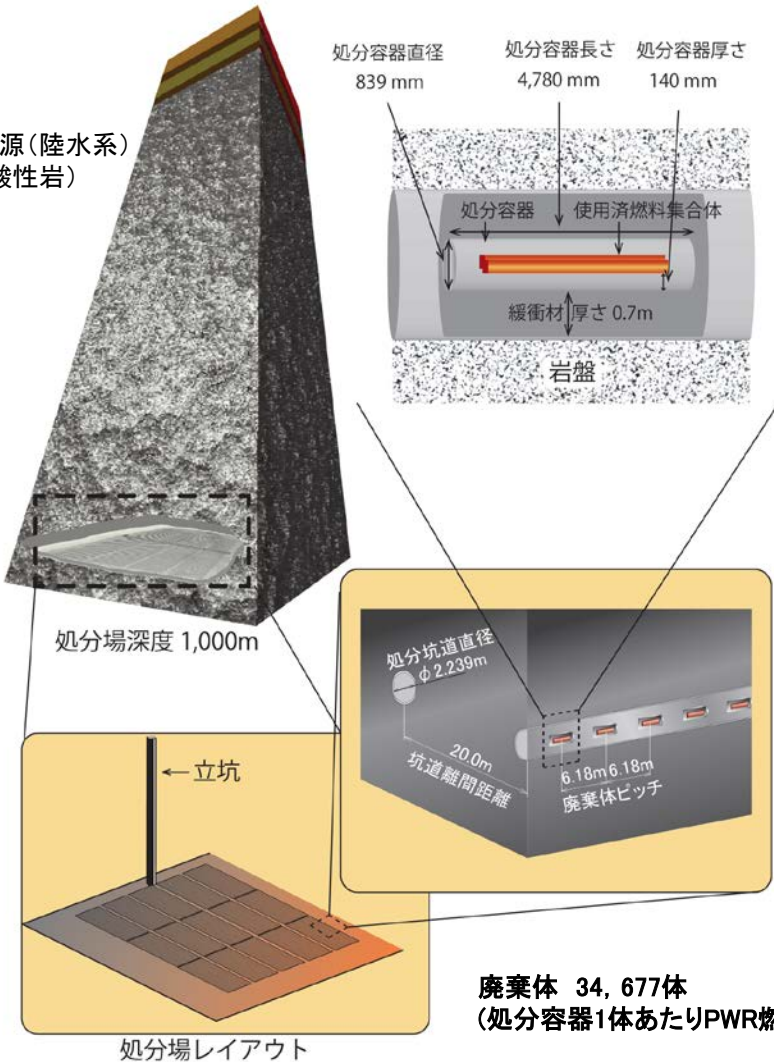


処分容器：設計寿命 1,000年

### 地質環境の長期変動性

- 地質環境に関する変動現象
- ・急激かつ局所的な現象  
(例：地震・断層活動や火山・火成活動)  
数十万年の時間スケールで見れば規則的であり、影響範囲の推論が可能  
⇒ 法定要件、NUMOの考慮事項\*によって基本的に排除
  - ・緩慢かつ広域的な現象  
(例：隆起・沈降・侵食および気候・海水準変動)  
緩慢かつ広域的であることから、過去の地質学的記録を基に将来予測が可能  
⇒ 蓋然性の高い事象として考慮

\* NUMO-TR-04-02



硬岩系岩盤では空洞は自立するため、支保の使用は想定しない

廃棄体 34, 677体  
(処分容器1体あたりPWR燃料集合体2体収納)

# 安全評価：燃料からの核種の溶出プロセス・パラメータの検討

## ■ 燃料・構造材からの瞬時溶出 (IRF) およびマトリクス溶解に関するパラメータ調査・検討

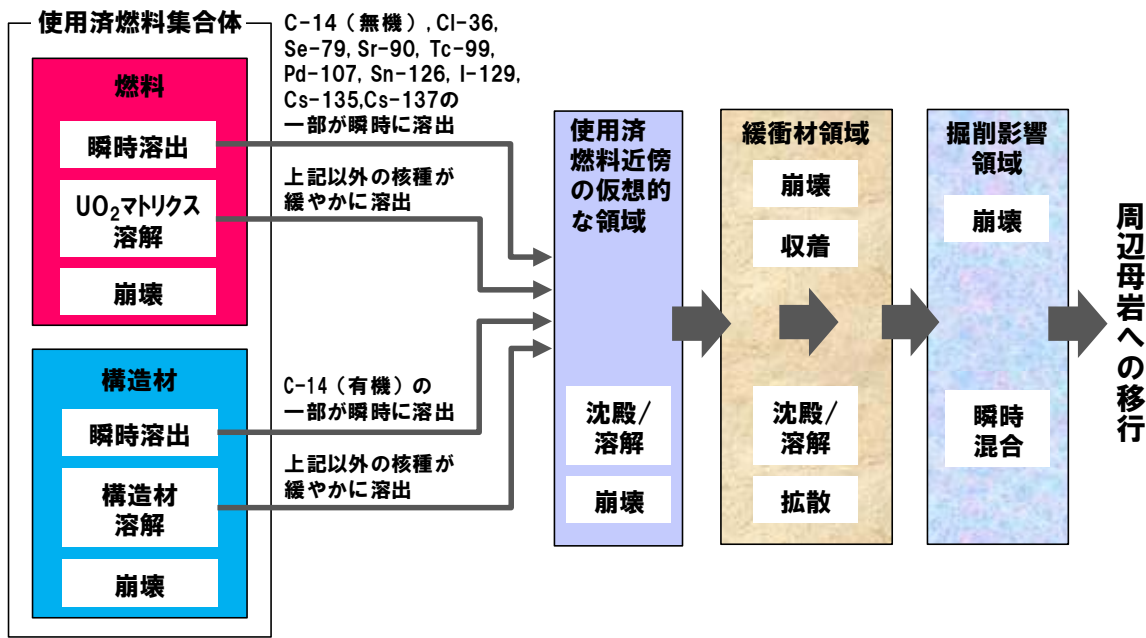
| パラメータ         |                | 今回設定値                                                                                                                                                                                                                   | スイス<br>EN 2002                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      | スウェーデン<br>SR-Site                                                                                                                                                                                                                                                               | フィンランド<br>Safety Case 2012                                                                                                                                                                                                                                                       |
|---------------|----------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| 瞬時放出<br>(IRF) | 使用済燃料          | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 10%</li><li>・Cl 10%</li><li>・Se 4%</li><li>・I 4%</li><li>・Cs 4%</li><li>・Sr 1%</li><li>・Tc 2%</li><li>・Pd 2%</li><li>・Sn 4%</li></ul>                                          | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 10%</li><li>・Cl 10%</li><li>・Se 4%</li><li>・I 4%</li><li>・Cs 4%</li><li>・Sr 1%</li><li>・Tc 2%</li><li>・Pd 2%</li><li>・Sn 4%</li></ul> <p>*PWR 48GWd/tHM</p>                                                                                                                                                                                                                                                | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 9.2%(10%)</li><li>・Cl 7.6%</li><li>・Se 0.38%</li><li>・I 2.5%</li><li>・Cs 2.5%</li><li>・Sr 0.25%</li><li>・Tc 0.2%</li><li>・Pd 0.2%</li><li>・Sn 0.03%</li></ul> <p>*上記以外の核種も設定<br/>*構造材も含んだ全インベントリを基準にした中央値。( )は構造材を除いて燃料のみを基準とした概略値</p> | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 5.5%(10%)</li><li>・Cl 8.2%(10%)</li><li>・Se 0.4%</li><li>・I 5.0%</li><li>・Cs 5.0%</li><li>・Sr 1.0%</li><li>・Tc 1.0%</li><li>・Pd 1.0%</li><li>・Sn 0.01%</li></ul> <p>*上記以外の核種も設定<br/>*構造材も含んだ全インベントリを基準にした値。( )は構造材を除いて燃料のみを基準とした概略値</p> |
|               | 構造材金属          | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 20% (有機形態)</li></ul>                                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 20% (有機形態)</li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 20%</li></ul> <p>*上記以外の核種も設定</p>                                                                                                                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>・C 20%</li></ul> <p>*上記以外の核種も設定</p>                                                                                                                                                                                                        |
| 長期<br>マトリクス溶解 | 燃料マトリクス<br>溶解  | <ul style="list-style-type: none"><li>・<math>1 \times 10^{-7} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul>                                                                                                                  | <ul style="list-style-type: none"><li>・After <math>10^3 \text{y}</math>: <math>2.4 \times 10^{-6} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li><li>・After <math>10^4 \text{y}</math>: <math>5.3 \times 10^{-7} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li><li>・After <math>10^5 \text{y}</math>: <math>4.0 \times 10^{-8} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li><li>・After <math>10^6 \text{y}</math>: <math>1.6 \times 10^{-8} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul> | <ul style="list-style-type: none"><li>・<math>1 \times 10^{-7} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul> <p>(対数triangular分布、<br/>: <math>10^{-8} \sim 10^{-6} \text{y}^{-1}</math>)</p>                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"><li>・<math>1 \times 10^{-7} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul>                                                                                                                                                                           |
|               | 構造材金属<br>の腐食溶解 | <ul style="list-style-type: none"><li>・ジルカロイ: <math>8.77 \times 10^{-5} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li><li>・ステンレス、インコネル:<br/><math>1.18 \times 10^{-4} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul> <p>*評価はジルカロイで代表</p> | <ul style="list-style-type: none"><li>・全金属: <math>3 \times 10^{-5} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | <ul style="list-style-type: none"><li>・全金属: <math>10^{-3} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul> <p>(対数triangular分布、<br/><math>10^{-4} \sim 10^{-2} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math>)</p>                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"><li>・ジルカロイ: <math>10^{-4} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li><li>・その他金属: <math>10^{-3} \text{ (y}^{-1}\text{)}</math></li></ul>                                                                                                                |

# 安全評価：基本シナリオに基づく解析

## ■ 人工バリア中核種移行モデル

### 概念モデル：

H12レポートにおけるレファレンスケースのモデルに対し、ソースタームモデル(使用済燃料からの核種の溶出)に係わる部分を変更



人工バリア中核種移行に関するプロセス

## ■ 天然バリア中核種移行モデル

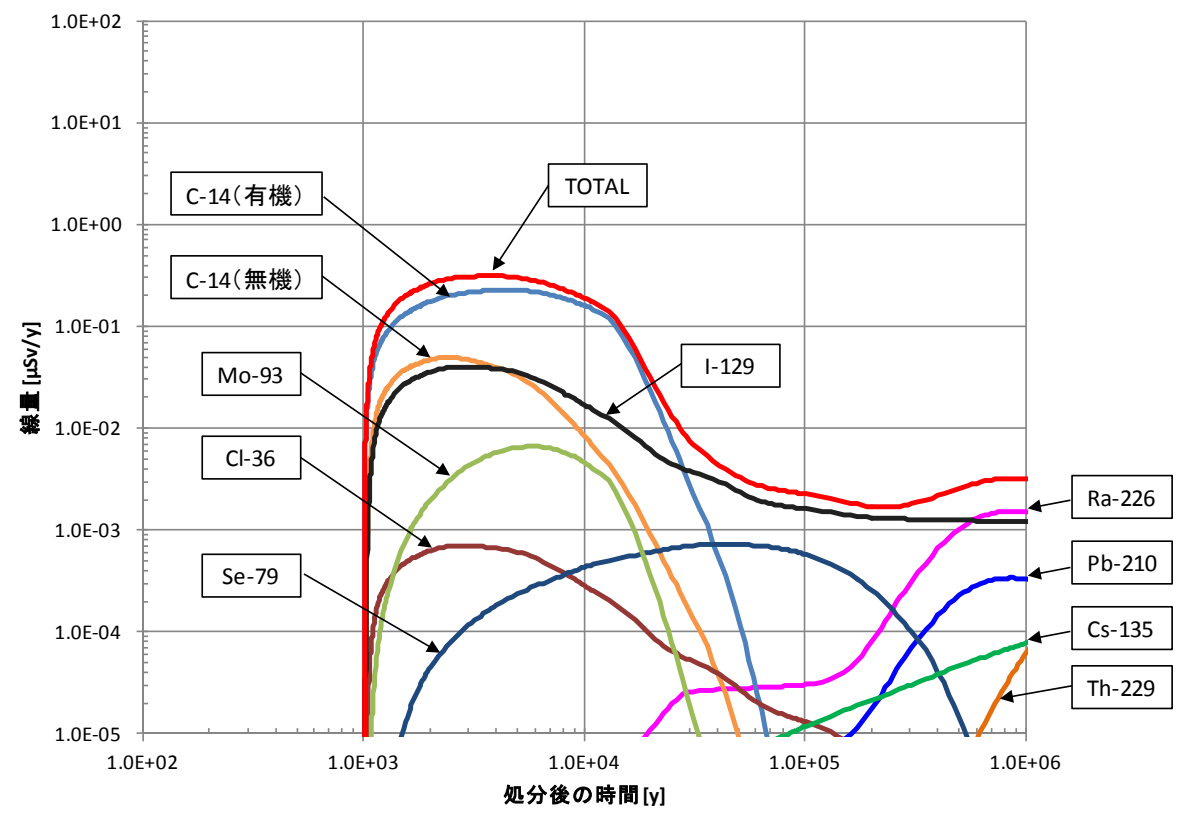
### 概念モデル：

H12レポートにおけるレファレンスケースのモデルと同一モデルを使用  
- 1次元並行平板モデルの重ね合わせ

# 安全評価：基本シナリオの線量評価

## ■ 基本シナリオの線量評価結果(農作業従事者グループ)

- 処分容器 1 体に対する解析で求められた母岩からの核種移行率に、安全評価で想定する処分容器の総体数 (34, 677体) を乗じ、さらに被ばくグループへの換算係数を乗じることにより線量を求めた。



- 処分後10万年まで：人工バリアからの移行率が高くかつ母岩に対する分配係数が  $0 \text{ m}^3 \text{ kg}^{-1}$  の核種 (C-14 (有機および無機), I-129, Cl-36, Mo-93) が高い線量を示す。
- 処分後10万年以降：人工バリアからの核種移行率が高くかつ母岩中の分配係数が他の核種と比べて小さい核種 (I-129, Se-79, Ra-226, Pb-210など) が高い線量を示す。



# 予備的な検討を通じて抽出・再確認された課題

今後の直接処分の技術的基盤の整備に向けた課題を以下の3つの観点で整理した。

## ■ 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

直接処分第1次取りまとめで取り扱わなかった岩種(堆積岩／軟岩系岩盤)、地下水水質について検討対象を拡張

### 使用済燃料の多様性

わが国に存在する(および今後発生が予測される)使用済燃料の仕様や特性に関する調査と情報整理を継続

多様性を踏まえた廃棄体設計の考え方、インベントリの設定について検討と直接処分第2次取りまとめへの反映

### 安全評価のシナリオの拡充

基本シナリオ以外のシナリオについての検討とそれらのシナリオに基づく評価

### 様々な処分概念オプションの考慮

様々な与条件や制約などに対応するための多様な処分概念オプションとその効果に関する検討

## ■ 使用済燃料に特有の主な課題

### ➤ 工学技術

#### 工学技術の全体的課題

- ・保障措置、核物質防護の要件に対応した地下施設／設備の設計検討
- ・廃棄体発熱量に起因する緩衝材制限温度等の設定の考え方の再検討

#### 地下施設の設計に関わる課題

- ・燃焼度クレジットを考慮した臨界安全性評価の考え方・手法の整備
- ・多様な使用済燃料の条件を想定した設計、最適化
- ・C-14の閉じ込めを考慮したより長寿命の処分容器の検討
- ・廃棄体形状や重量を考慮した、定置方式に対応した坑道の設計

#### 設計された人工バリアの埋設後の挙動に関わる課題

- ・廃棄体発熱等を考慮した処分システム的环境条件の変遷の理解

### ➤ 安全評価

#### 安全機能に影響を与える可能性のある現象

- ・放射線や地下水化学の影響等を含めた燃料溶解メカニズム理解
- ・燃料タイプや照射履歴などに応じた性状把握と核種放出挙動理解
- ・燃料および放射化金属から放出されるC-14の化学形の理解
- ・廃棄体(燃料、構造物)からの核種放出メカニズムの理解
- ・構造物(特に被覆管)表面の酸化膜中でのC-14機構の理解
- ・安全評価に及ぼす放射線影響の評価・解析
- ・核分裂性物質の移行に伴う臨界可能性評価

## ■ ガラス固化体・TRU廃棄物と共通の主な課題

### ➤ 工学技術

- ・地下研究施設等での工学技術の実証
- ・処分場レイアウトの選択肢の拡充
- ・可逆性や回収可能性、モニタリング等を考慮した処分概念検討
- ・処分施設の最適設計

### ➤ 安全評価

- ・地質環境の多様性を考慮した安全評価技術の整備
- ・処分場設計のバリエーションを考慮した安全評価技術の整備
- ・コロイド・有機物・微生物の影響評価とモデル化
- ・緩衝材や岩盤の変形・変質と核種移行への影響

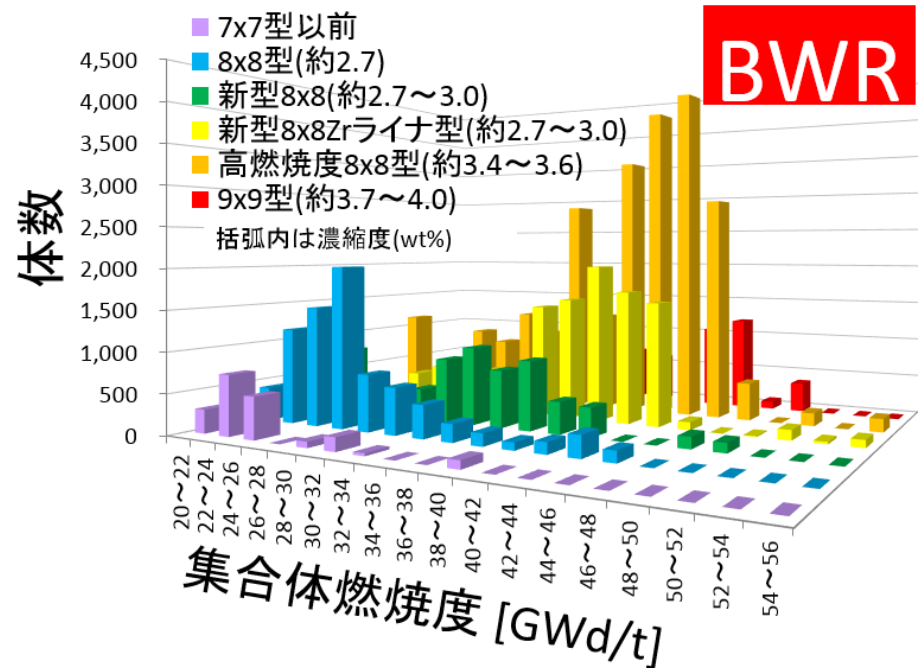
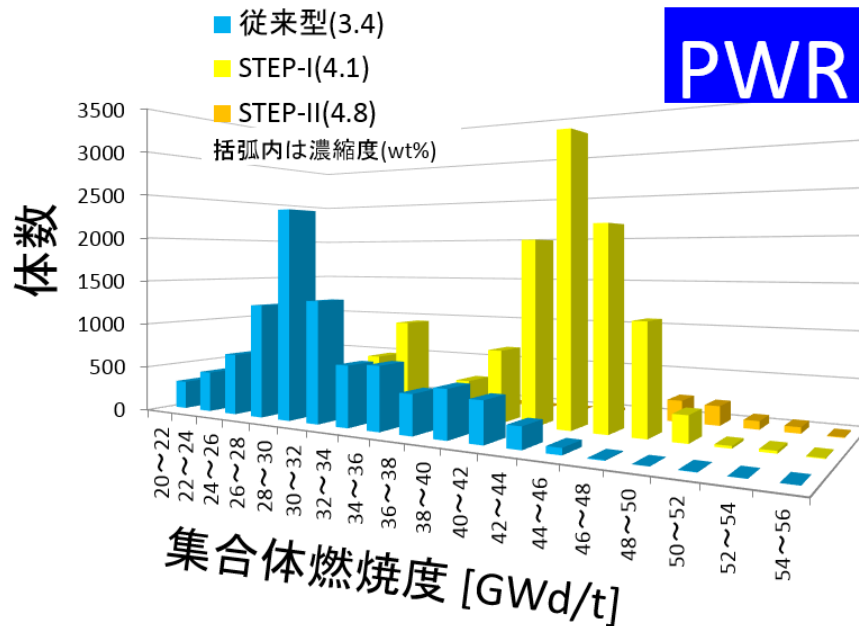
# 課題を踏まえた直接処分研究開発の一例(1/2)

## ● 安全評価→使用済燃料の多様性に関する課題:

### 使用済燃料のモデルインベントリ評価:使用済燃料の発生量の推計

- 成果:使用済燃料の発生量を公開情報(運転日数・新燃料取替体数)およびモデル計算に基づき推計した。
- 意義／反映先:直接処分研究の設計・性能評価におけるモデルインベントリ設定へ反映

#### 使用済燃料の発生量の推計結果



- わが国のすべての軽水炉プラント、全ての運転サイクルを対象に、発生量を推計・可視化
- 取出平均燃焼度を中心として、幅広い燃焼度の燃料が発生
- 新しいタイプの燃料(濃縮度が高い)ほど燃焼度が高い

# 課題を踏まえた直接処分研究開発の一例(2/2)

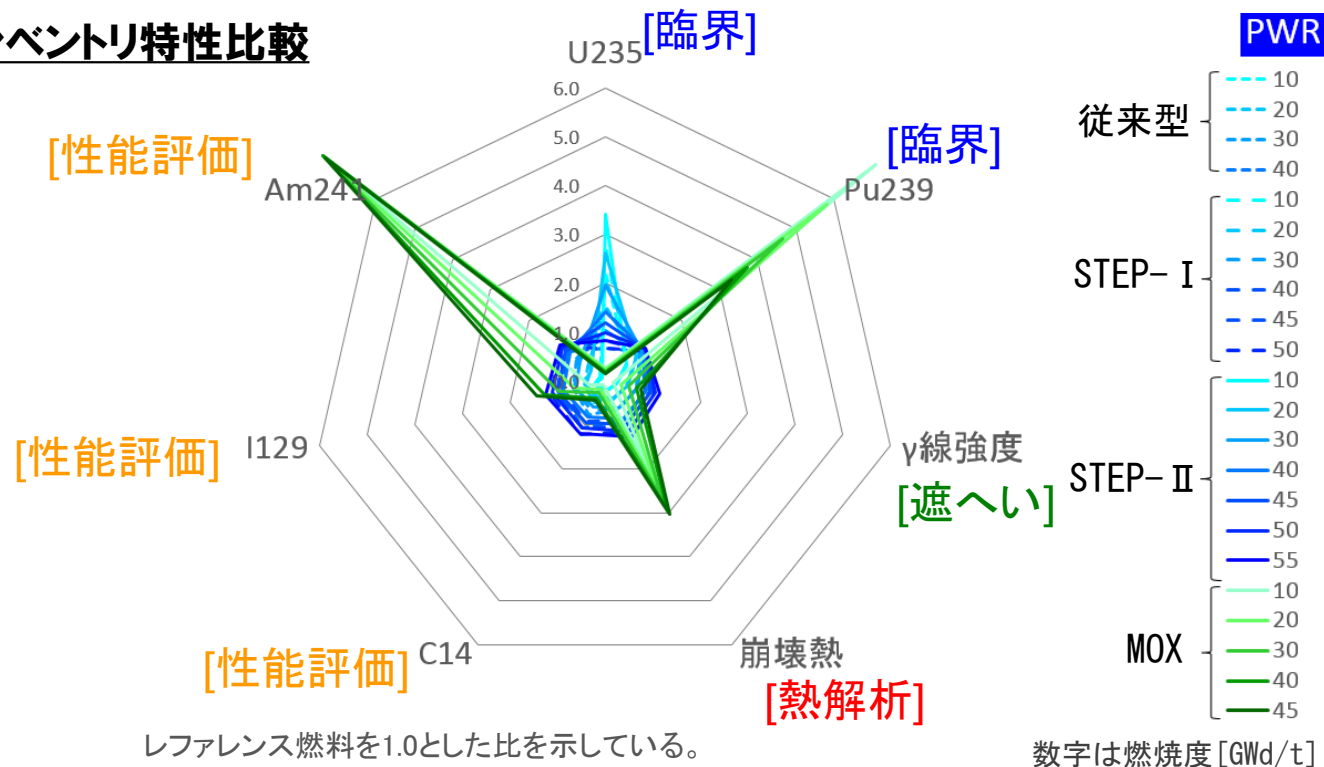
## ● 安全評価→使用済燃料の多様性に関する課題:

### 使用済燃料のモデルインベントリ評価:使用済燃料のインベントリ特性比較

□ 成果:使用済燃料の発生量の推計結果に基づき、設計・性能評価の観点から使用済燃料のインベントリ特性を比較し、着目すべき特徴を明らかにした。

□ 意義／反映先:直接処分研究の設計・性能評価におけるモデルインベントリ設定へ反映

### 使用済燃料のインベントリ特性比較



○UO<sub>2</sub>燃料とMOX燃料はプロファイルが大きく異なる

○γ線強度・崩壊熱・放射エネルギーは、燃焼度が大きくなるにつれて、値が外側に広がっていく傾向  
→UO<sub>2</sub>燃料とMOX燃料の違い、燃焼度を類型化で重視すべき

# 今後の予定：高レベル放射性廃棄物等の地層処分研究開発

## ●地層処分システムの設計・安全評価技術の高度化

- ・深地層の研究施設等の成果を活用し、原位置試験データの予察的な解析に基づく技術の適用性検討

- ・ニアフィールド長期挙動及び核種移行に係るモデル並びにデータベースの先端化に関する対応策検討。モデル及びデータベースを整備・拡充

## ●直接処分等の代替処分技術に関する調査研究

- ・直接処分システムの設計・安全評価において、使用済燃料や地質環境の多様性を考慮した対応策の検討と具体化。直接処分に関する技術的基盤の整備

- ・その他の代替処分技術に関する調査