

4. TRU 廃棄物に関する研究開発

4. TRU廃棄物に関する研究開発

TRU廃棄物地層処分の研究開発戦略

平成19年3月5日

(独)日本原子力研究開発機構

経済産業省資源エネルギー庁

(財)原子力環境整備促進・資金管理センター

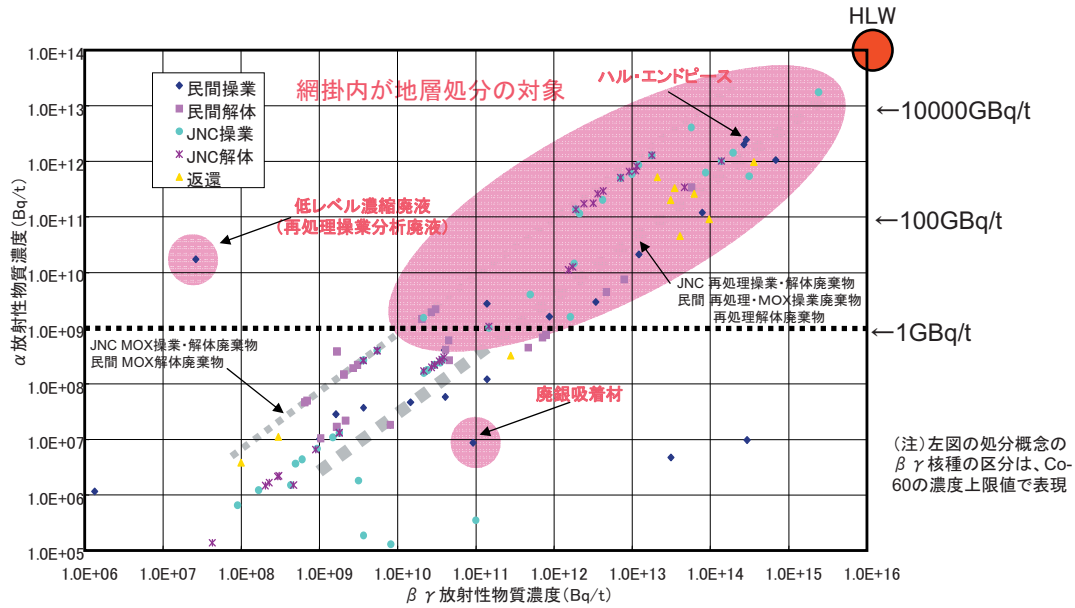
電気事業連合会

代表発表者: 亀井玄人(日本原子力研究開発機構)

発表内容

- ・TRU廃棄物と処分施設
- ・重点課題、段階的進め方、役割分担
- ・ヨウ素129, 炭素14への対策
- ・併置処分の評価
- ・基盤情報の拡充
- ・まとめ

地層処分対象のTRU廃棄物



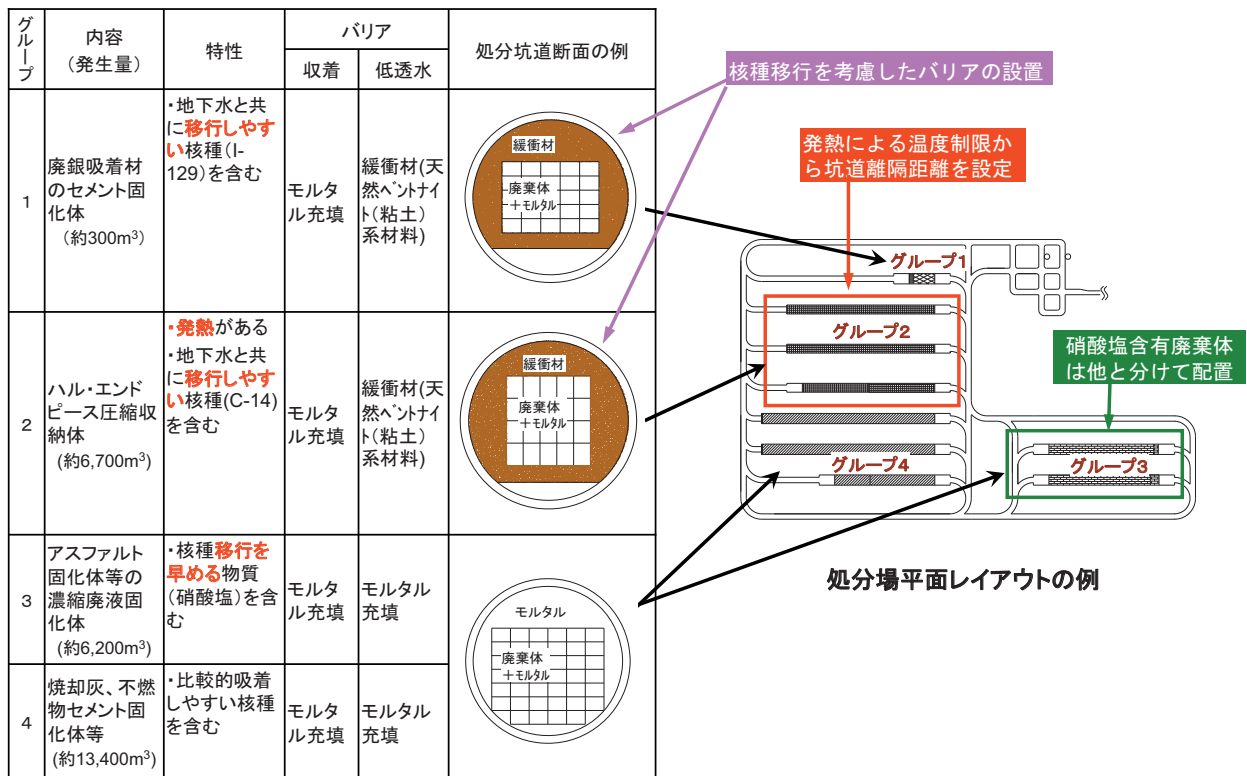
地層処分対象TRU廃棄物と高レベル放射性廃棄物(HLW)

項目		地層処分対象のTRU廃棄物 (第2次TRUレポート)	HLW(H12レポート)
廃棄体	性状等	<ul style="list-style-type: none"> 再処理時の燃料構成材、施設保守時廃棄物 多種、多様な性状(広範囲な濃度分布) 低発熱または発熱なし 一部に、硝酸塩などの化学物質を含む 	<ul style="list-style-type: none"> 再処理時の高レベル放射性廃液 単一の性状(ガラス固化体) 高発熱、高放射能濃度 オーバーハックを有する
	処分施設	<ul style="list-style-type: none"> 低発熱のため、廃棄体を密に位置する(処分場投影面積が狭い) 廃棄体の性状に応じてベントナイト系緩衝材を設置 セメント系材料を比較的多く用いる 	<ul style="list-style-type: none"> 高発熱のため1本ごとに適切な離間距離を設ける(処分場投影面積が広い) ベントナイト系緩衝材を設置
線量評価	安全確保の考え方	人工バリア、天然バリアの多重バリアシステムにより核種の移行を抑制する	同左
	地質環境条件評価モデル	わが国を代表する地質環境条件 1次元平行平板モデルの重ね合わせ	同左
	核種移行パラメータ	ベントナイトの低透水、天然バリアの分配収着などを設定 処分環境として、硝酸塩の存在、セメントによる高アルカリ性地下水等を考慮	ガラス固化体の浸出率、オーバーハックの閉込め、ベントナイトの低透水、天然バリアの分配収着などを設定
	線量評価値 (代表的な地質環境条件下での地下水シナリオ)	国際的な基準以下 約1万年後で約0.002mSv/y 支配核種はI-129、C-14	国際的な基準以下 約80万年後で約0.000005mSv/y 支配核種はCs-135

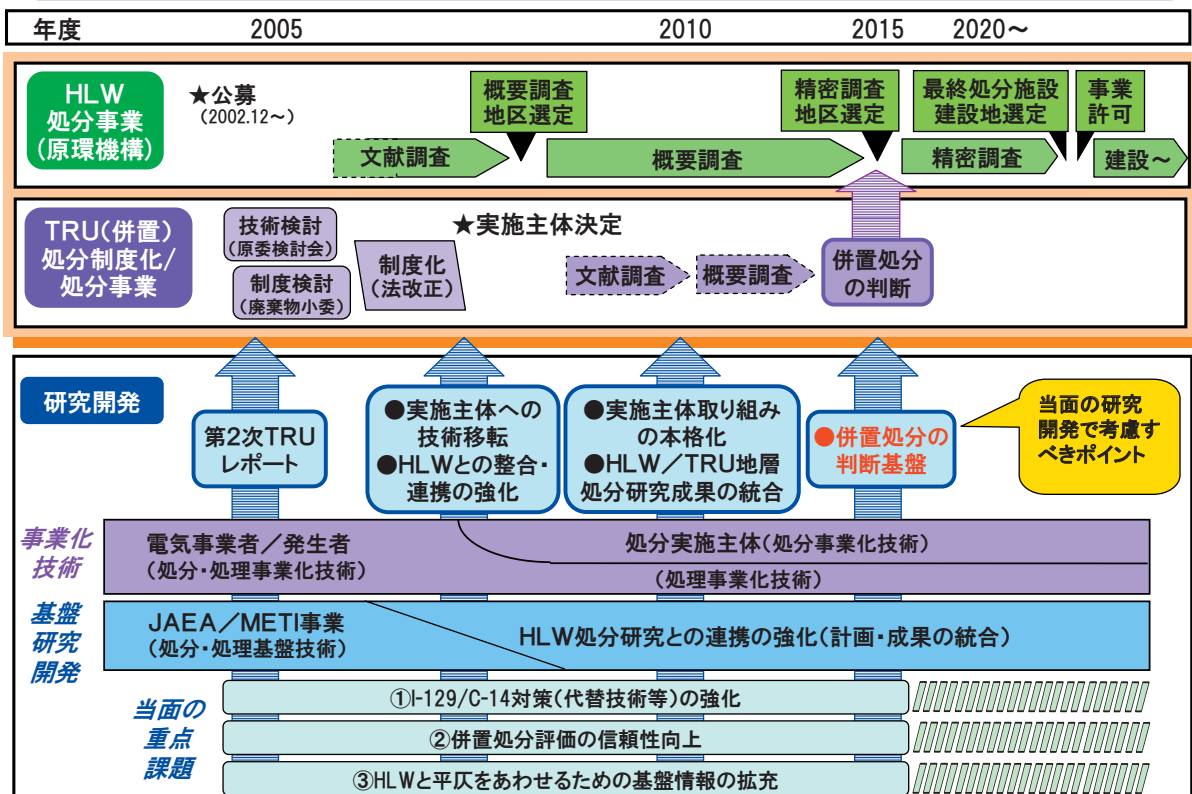
● TRU廃棄物の地層処分については、HLW処分の知見を活用。その特性や特有の事象に着目した安全評価アプローチを実施。(地層処分可能との見通し、併置処分の技術的成立性等)

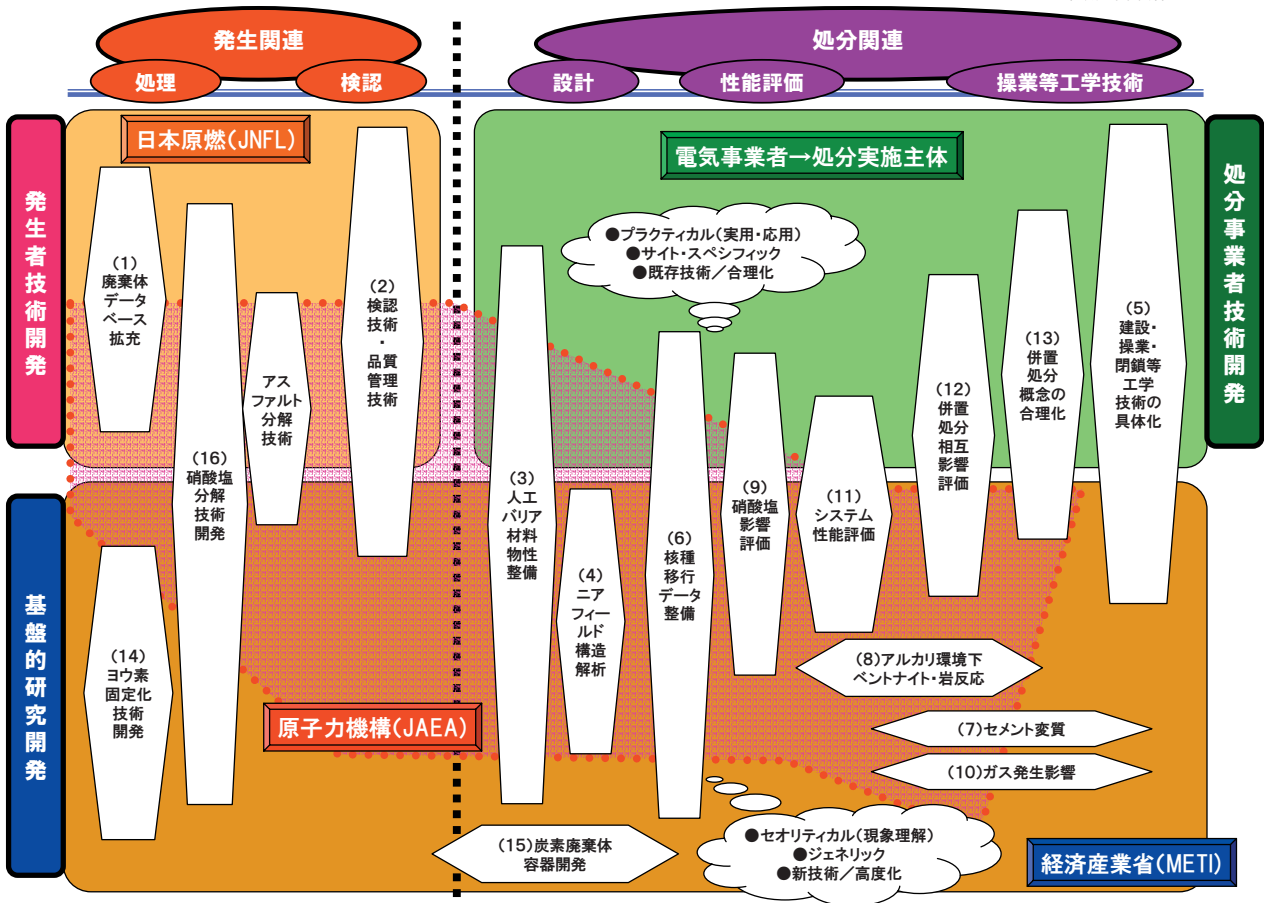
● さらなる安全性の確保、安全評価の信頼性向上に向けて、技術開発課題や実施体制について引き続き検討中。
(参考資料：原子力委員会報告書「長半減期低発熱放射性廃棄物の地層処分の基本的考え方」より抜粋)

TRU廃棄物地層処分施設の例



段階的進め方





当面の重点課題

1. I-129及びC-14の対策の強化

- ヨウ素固定化技術(代替技術)の実現性&技術選定
- C-14対策の総合的取り組み=放出・移行挙動+閉じ込め容器(代替技術)

2. 併置処分の評価の信頼性向上

- 硝酸塩や高アルカリ環境の影響評価技術の高度化及び低減技術(硝酸塩分解技術/低アルカリ性セメント等)の開発
- 性能評価技術の高度化(処分場スケールでの相互作用評価の考慮など)

3. HLW評価との平仄をあわせるための基盤情報の拡充

- 塩水環境下でのデータやモデルの整備など, 多様な地質環境へ対応するジェネリックな評価基盤の拡充(HLW2次レポート以降のHLW研究拡充部分への対応) ……など

I-129/C-14対策(ヨウ素の固定化技術)

<第1次TRUレポートでの取扱い>

我が国の幅広い地質環境条件に柔軟に対応する上で有効となる固化体性能の向上を目指した固化処理技術の高度化を課題として示した。



<実施内容>

8つのヨウ素固定化技術について、固化体性状調査、各種溶液条件下での浸漬試験等を実施。また、固化処理プロセスのヨウ素回収率の調査を実施。



<第2次TRUレポートへの反映内容>

開発の現状と取得データを取りまとめ、4つの技術(*)について10⁵年以上のヨウ素放出期間に見通し

- ・廃棄体からI-129を長期間にわたり放出抑制することで、I-129の被ばく線量を低減
- ・放出期間10⁵年以上で約1桁の被ばく線量低減が可能
- ・I-129の半減期は長く(1.6×10⁷年)、放射能減衰による被ばく線量低減には期待できない →廃棄体/容器等による閉じ込めに効果は見込めない



技術選定

<今後5年の課題>

- 固化体の長期性能の精査
- 工学規模での処理プロセスデータの整備

検討したヨウ素固定化技術

固化技術	固化体中でのヨウ素固定化	性能評価モデル(想定)
岩石固化体*	SiO ₂ 結晶(石英) 粒間にAgIを固定	石英粒間拡散モデル
アパタイト固化体	フッ素アパタイト(Ca ₁₀ (PO ₄) ₆ F ₂) 結晶マトリクス中にヨウ素吸着セオライトを固定	浸出モデル
AgIガラス*	ガラス(3AgI-2Ag ₂ O-P ₂ O ₅)構成成分として固定	浸出モデル (表面層による浸出抑制)
BPIガラス	ガラス(6.5PbO-3B ₂ O ₃ -0.5ZnO)マトリクス中にヨウ素を固定	浸出モデル (表面層による浸出抑制)
セメント固化体*	エトリンガイトとモサルフェートにIO ₃ ⁻ を吸着	分配平衡モデル
合成ソーダライト	合成ソーダライト(Na ₈ (AlSiO ₄) ₆ I ₂) 成分としてヨウ素を固定	溶解平衡モデル
合成鉛アパタイト	合成鉛アパタイト(Pb ₁₀ (VO ₄) ₆ I ₂) 成分としてヨウ素を固定	収着モデル(イオン交換)
銅マトリクス固化体*	銅マトリクス中に廃銀吸着材を固定	浸出モデル

第2次TRUレポート 表7.2-1から抜粋

I-129/C-14対策(C-14の長期閉じ込め技術)

<第1次TRUレポートでの取扱い>

C-14が処分システムの安全評価上の重要核種であることが示されたが、その影響低減のための対策は未検討



<実施内容>

C-14の半減期が、5,730年であることに留意して、その10倍の期間を目標(6万年)*として閉じ込め可能な容器の開発を検討。閉じ込め可能なものとして高強度高緻密コンクリート及びチタン合金-炭素鋼複合容器を選定し、長期の閉じ込め関わるデータ及び評価を実施



<第2次TRUレポートへの反映内容>

高強度高緻密コンクリート及びチタン合金-炭素鋼複合容器ともにC-14の6万年間閉じ込め可能性について見通しを得た。



<今後5年の課題>

- 廃棄体の長期性能の精査
- 廃棄体の製作方法の具体化

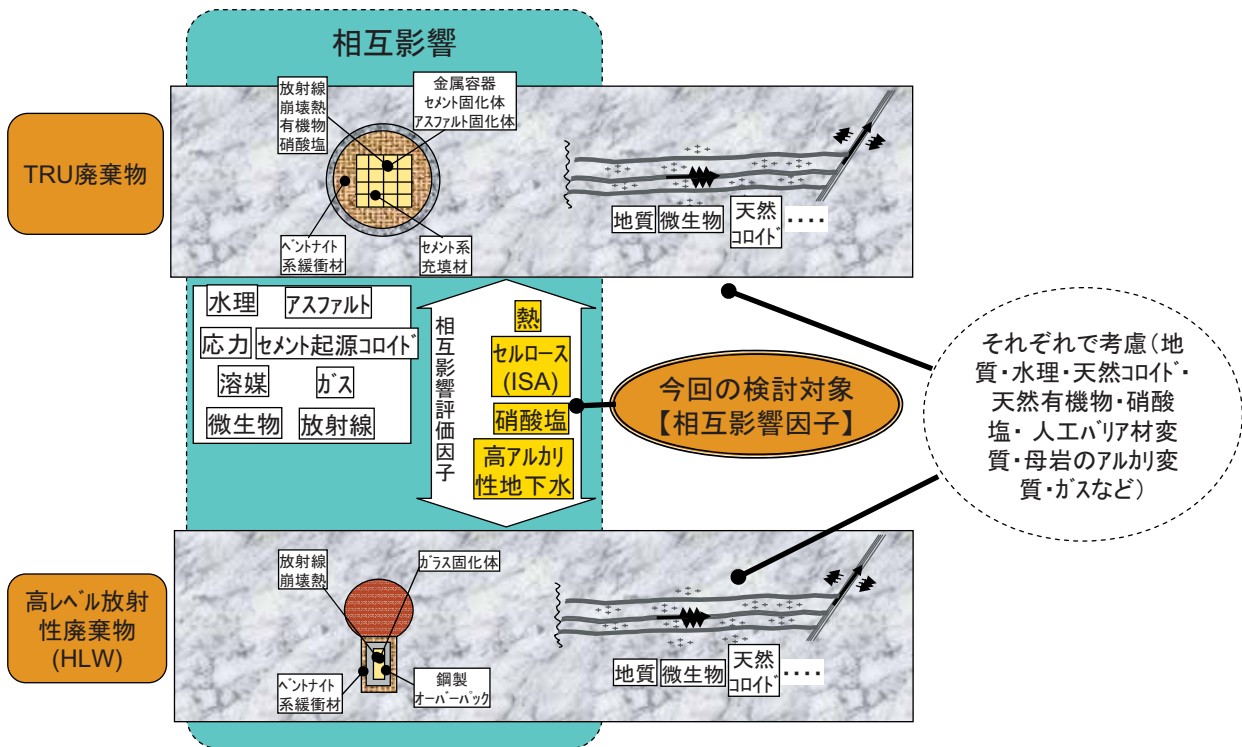
閉じ込めによるC-14影響低減

高強度高緻密コンクリート容器	チタン合金-炭素鋼複合容器
<p>高強度高緻密コンクリート</p> <p>ハル・エンドピースキャニスタ</p> <p>鋼製ボックス</p> <p>充填材</p> <p>フォークポケット</p>	<p>ハンドリング容器</p> <p>ハル・エンドピースキャニスタ</p> <p>高耐食性密封容器</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・継ぎ目とひび割れのない一体成形 →水浸透を抑制 ・高強度高緻密コンクリートの低透水性 →透水係数≒4×10⁻¹⁹cm/s ・水浸透/化学劣化評価で成立性を評価 →6万年後の水浸透距離≒14cm →化学劣化深さ≒4cm 	<ul style="list-style-type: none"> ・幅広い環境(pH、温度、塩化物イオン濃度)で優れた耐食性 →脱不動態化しない →すき間腐食感受性無し ・水素化物層の成長速度および亀裂深さを予測し、成立性を評価 →6万年後の水素化物層 ≒35μm →亀裂深さ ≒17μm

第2次TRUレポート 表7.3-1から抜粋

* 半減期の10倍の期間、核種を閉じ込めることにより、放射性核種量は初期と比較して1,000分の1となる。

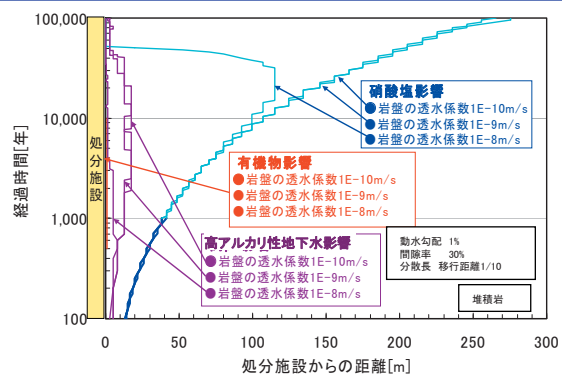
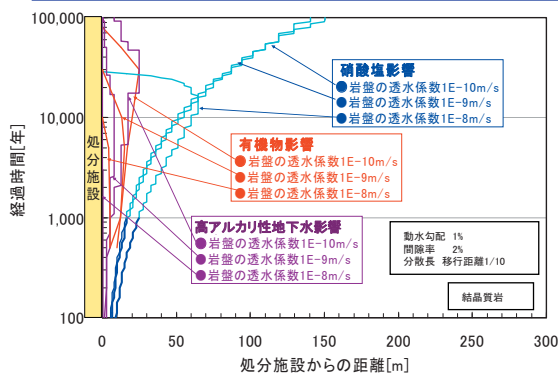
併置処分 (相互影響因子)



併置処分(評価方法)

影響因子	影響の方向	相手側施設で想定される影響と判断目安		評価手法
熱	HLW→TRU	充填材の核種の吸着性の低下	TRU廃棄物処分施設内温度 80℃以下	2次元鉛直領域を熱伝導解析コードで解析
有機物	TRU→HLW	・核種の溶解度の増加 ・バリア材の核種の収着分配係数の低下	イソサッカリン酸濃度 $1 \times 10^{-6} \text{mol/dm}^3$ 以下	2次元鉛直領域を2次元物質移行解析コードで解析
硝酸塩		・オーバーパックの局部腐食への影響 ・バリア材の核種の収着分配係数の低下	硝酸塩濃度 $1 \times 10^{-4} \text{mol/dm}^3$ 以下 (バリア材の核種の収着分配係数の低下に関しては 0.1mol/dm^3 以下)	2次元鉛直領域を2次元物質移行解析コードで解析
高アルカリ性地下水		・緩衝材のベントナイト成分の溶解促進 ・オーバーパックの不動態化 ・ガラス固化体の溶解の促進	pH11以下	1次元領域を地球化学-物質移行練成解析コードで解析

併置処分(相互影響評価結果)



相互影響因子の影響範囲の時間変化(右:結晶質岩、左:堆積岩)

最もその影響範囲が遠方まで及ぶと評価されたのは硝酸塩。その場合でも地下施設間が約300mあればその影響が十分小さい。

長半減期低発熱放射性廃棄物処分技術検討会: この離隔距離については確保すべき距離として固定的に定める性格のものでなく、今後処分サイトが決まればそれに依じて設定されるべきもの。

相互影響因子と離隔距離の目安値のまとめ

相互影響因子	離隔距離の目安
熱	約50m
有機物	約20m
硝酸塩	約300m
高アルカリ性地下水	約30m

併置処分(今後の検討)

より合理的な評価のために



*上の施設鳥瞰図はイメージであり、実際の縮尺を示したものではありません。

・影響要因のクライテリア評価

硝酸塩等の種々の物理化学特性等に及ぼす影響に関するさらなる合理的定量的知見の拡充

・相互影響を効果的に回避するためのシステム性能条件の検討評価

一 地質環境及びその不均質性を考慮した各影響範囲の時間的・空間的挙動の評価

一 工学的対策(プラグ等)の効果の把握

基盤情報の拡充及び併置処分(硝酸塩影響評価)

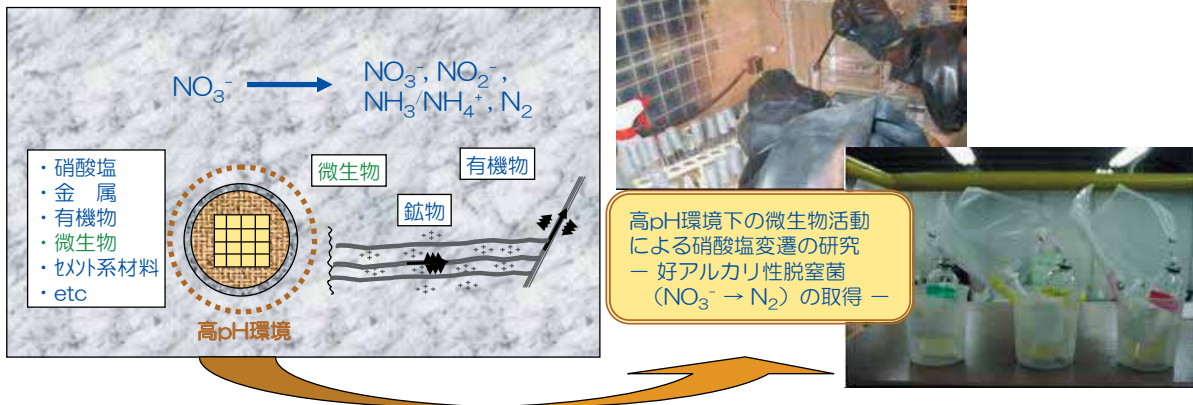
◆研究開発の目標、概要

1 硝酸塩変遷評価モデルの高度化並びに検証

- ・ 鉱物や多様な共存化学種による硝酸塩変遷
- ・ 高pH環境下の微生物活動による硝酸塩変遷

2 多様な環境における硝酸塩/有機物反応の評価

- ・ 硝酸塩/有機物反応に対する触媒作用物質に関する知見の拡充・整理及び評価

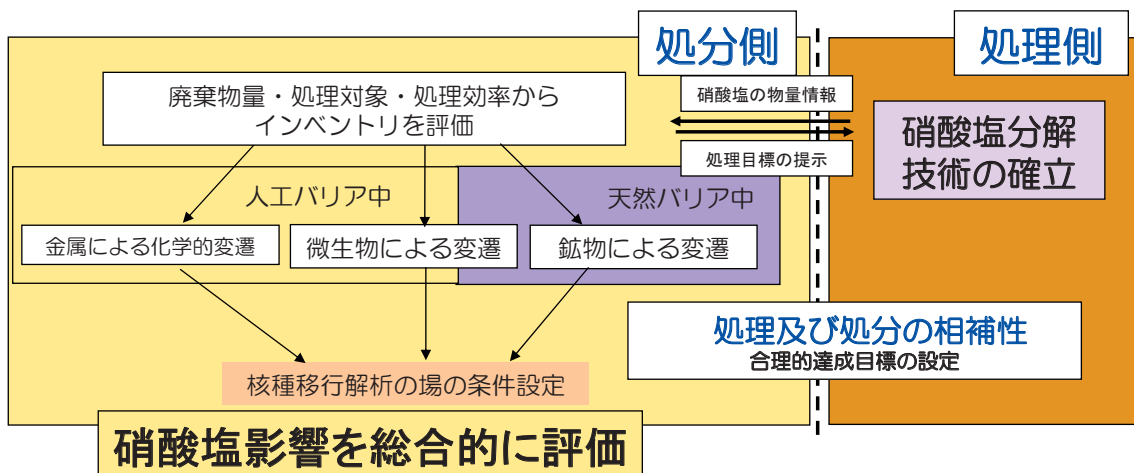


処理・処分の連携による戦略的対策： 硝酸塩対策の例

・**処分側**: 硝酸塩が核種移行に及ぼす影響を総合的に評価

・**処理側**: 放射性廃液等を対象に、硝酸塩分解技術を確立

これらは、相互補完的關係。常に情報共有しながら進め、各々の研究の進展に基づく硝酸塩の物量情報や処理目標の提示を行い、合理的に研究を進める。



基盤情報の拡充(セメント系材料の長期挙動評価)

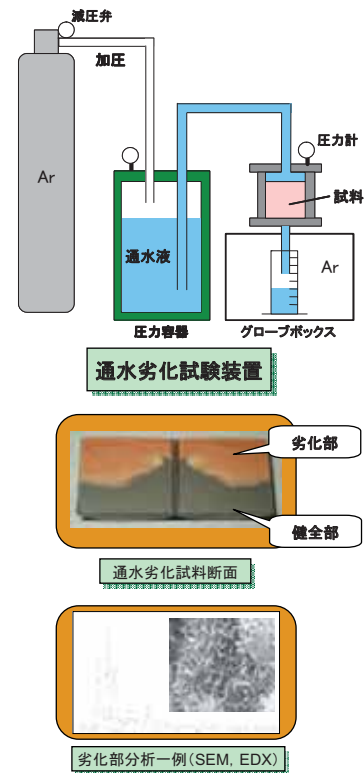
◆研究開発の目標, 概要

1. セメントの化学的変質

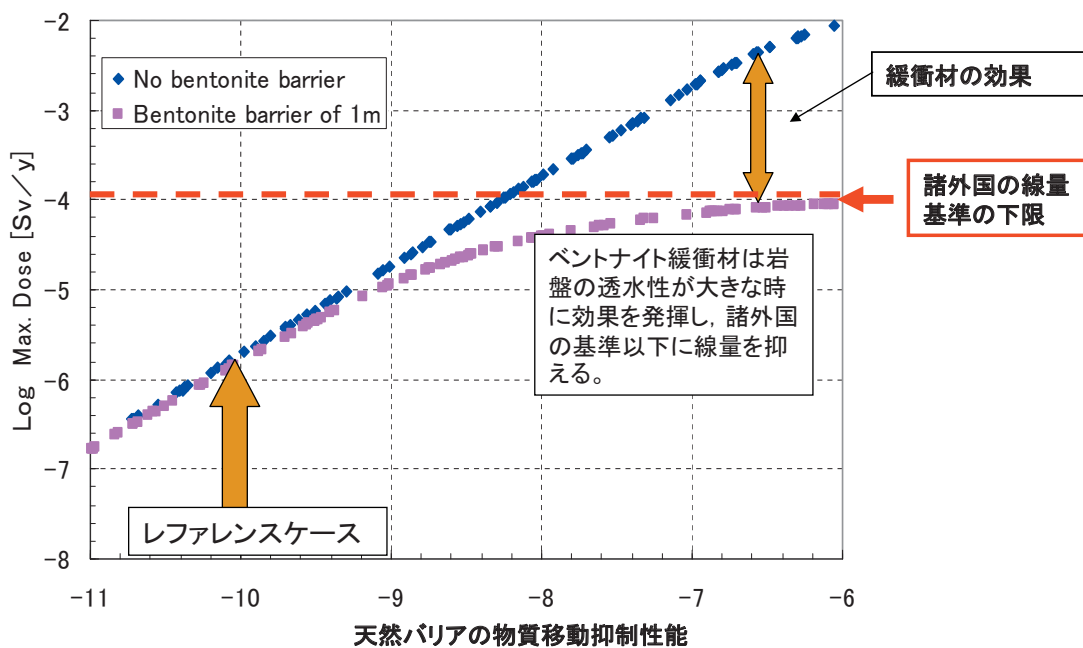
- ・ 海水系地下水中MgのOPCへの影響、Friedel氏塩生成に伴うpH上昇
- ・ 低アルカリ性セメント (HFSC=フライアッシュ高含有シリカフェームセメント) の水和反応過程
- ・ セメント系材料 (OPC, HFSC) の地下水または廃棄体由来成分による化学的変質
- ・ 熱力学データベース、反応速度データの整備, 高イオン強度下, 固相影響下での活量補正法の反映, 実地質環境に即した化学的変質現象の検討によるモデルの検証・高度化の実施

2. 化学的変質-物質輸送モデルの構築・高度化

→ 施設設計の合理化, 安全裕度の向上



多様な地質環境にも対応→緩衝材の機能が重要



(ここでは亀裂透水量係数(m²/s)の対数平均値を指標とした。本田・稲垣、私信)

基盤情報の拡充(高アルカリ性条件における緩衝材の長期挙動評価)

◆研究開発の目標, 概要

- ・地下水組成、廃棄体成分、人工バリア材料の多様性に対応したシナリオ・解析評価モデル
- ・熱力学データベース整備及び速度モデルに関する信頼性向上
- ・ベントナイト圧縮体の狭隘間隙における化学
- ・緩衝材・セメント系材料境界遷移層に関する知見の拡充
- ・ベントナイトのセメンテーションに係る知見の拡充
- ・長期の実験事例、超長期の天然事例などの知見の拡充、シナリオ・解析評価モデルの確証
- ・地下水の多様性による力学変化と物質移動特性変化の評価

試料フォルダ



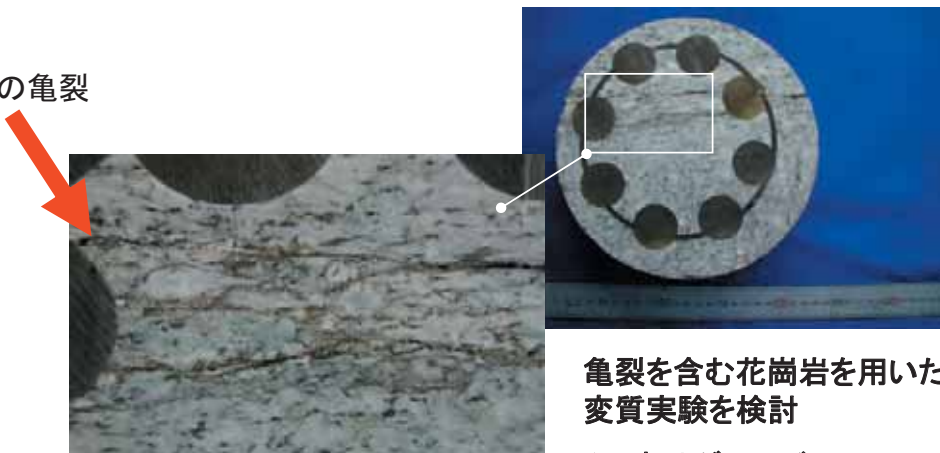
加圧通水型緩衝材変質実験装置

基盤情報の拡充(天然バリアへのアルカリ溶液影響評価)

◆研究開発の目標, 概要

- ・変質過程のシナリオの構築
- ・岩盤中物質移行特性への影響に関する知見の拡充
- ・岩盤の不均質性を考慮した影響評価手法の提示

天然の亀裂



亀裂を含む花崗岩を用いたアルカリ変質実験を検討

(写真はグリムゼルテストサイトにおける破砕帯より採取したコア)

基盤情報の拡充(核種移行、性能評価に関する検討)

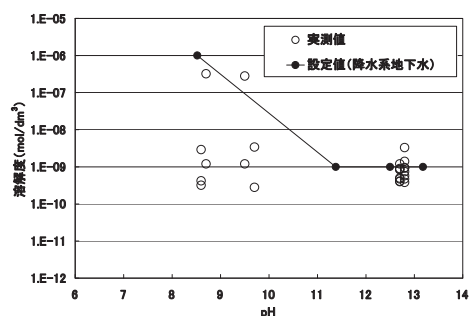
◆ 研究開発の目標, 概要

1 溶解度

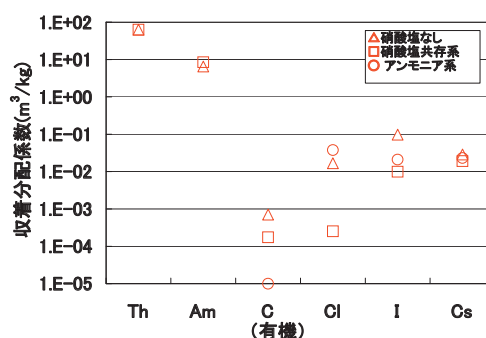
- 高アルカリ領域データ取得、熱力学データ確認
- 海水系地下水、廃棄体成分等の影響下のデータ取得
- 可溶性有機物と核種との錯体生成定数の整備
- 熱力学データベース (TDB) への反映

2 収着・拡散

- セメント系材料等への収着データ取得
- 海水系地下水や廃棄体成分等の影響下でのセメント系材料等への収着データ取得
- 硝酸錯体・アンモニア錯体の核種収着に及ぼす影響
- 硝酸イオンによる核種の酸化状態変化及び核種収着に及ぼす影響の知見



トリウム(Th:アクチニドIV価)の溶解度の取得結果と降水系地下水での設定結果の比較の一例



硝酸塩の影響を考慮した条件におけるセメント硬化体に対する核種の収着分配測定結果例(Cの有機は、ホルムアルデヒドを想定)

まとめ

各機関の役割分担のもと、当面の重点課題として、

- ヨウ素129, 炭素14への対策
- 併置処分の評価の信頼性向上
- HLWとの平仄を合わせた基盤情報の拡充

を図り、具体的な地質環境条件における併置処分実施の判断への技術基盤の提供をめざす。