

地層処分基盤研究開発の 現状



平成20年3月26日

地層処分研究開発部門
地層処分基盤研究開発ユニット

説明内容

- **高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発**
 - 工学技術の開発
 - 安全評価手法の開発
- **TRU廃棄物(長半減期低発熱放射性廃棄物)の地層処分研究開発**
- **地層処分基盤研究開発成果の次世代を中心とした理解拡大への取組み**

地層処分研究開発検討委員会の 主なコメントとその対応

(コメント) 年間の論文発表数16件は多くない。もっと論文数を増やした方がよいのでは。

→ 査読付論文投稿数は平成19年度は、22件(投稿準備中2件含む)へと増加。

(コメント) 論文が少ないからだめと言われたいよう、社会に向けての成果の発信方法を工夫して欲しい。

→ シナリオ解析支援ツールFepMatrixを公開、緩衝材の長期挙動についても3月末にデータベース公開予定。

(コメント) 世界的な戦略の中でのJAEAの戦略を示しつつ、世界の処分プロジェクトへの貢献を考えて欲しい。研究を行っていく上で、“日本独自の”や“日本だけの”ではダメで、世界に通用するやり方で行わなければいけない。将来を見て、世界で採用される研究開発をするべきである。

→ OECD/NEA等の活動、MRS、Migration等の国際会議、数多くの国際共研に積極的に参加。エネ庁公募事業が受託できることを条件にグラウト技術や微生物など国際的コンセンサス作りのワークショップを検討中。

3

地層処分研究開発検討委員会の 主なコメントとその対応

(コメント) これまでの研究成果を見ていると、“成果を出しっぱなし”で、“どうやって成果を集積するのか”、“JAEAがアレコレ研究を行っているが、メリハリが見えない”などの問題点が多く見受けられる。研究の方向性などが見えない。

→ 工学技術や安全評価に関する最新の個別要素技術を公開するとともに、知識ベースとして取りまとめる予定。基盤研究開発の“アレコレ”は、科学的知見の拡充(長期試験、Fe-ベントナイト相互作用など)、技術的実現性の提示(URLでの適用性確認など)、先進技術の導入(低アルカリ性セメントなど)に焦点を当てて進めている。

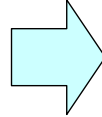
(コメント) 提案だが、「放射性廃棄物の教科書」を作って欲しい。一般の人に「日本にはどんな放射性廃棄物があるか、それ1つずつについて一体どうしようとしているのか」などの知識を持ってもらう必要がある。

→ 連携大学院の講義用に平成19年度から試用開始。その中で放射性廃棄物の全体について概要を示してある。

4

工学技術の開発に関する全体目標 (H18～22年度)

- 実際の地質環境への適用を考慮した柔軟性のある工学技術の体系化
- 設計・建設技術の実際の地質環境への適用性確認と操業・閉鎖技術の整備
- 実際の地質環境への適用可能な長期健全性評価モデルの整備

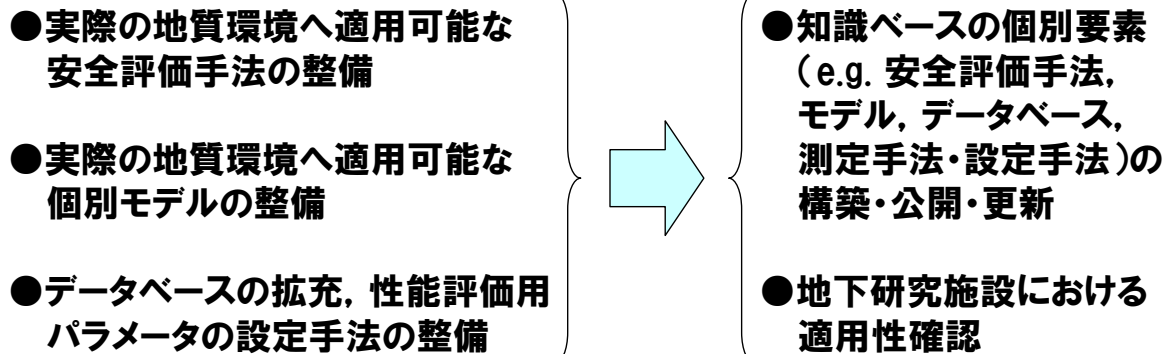


- 知識ベースの個別要素 (e.g. 設計/施工方法, モデル, データベース, 測定手法・設定手法)の構築・公開・更新
- 地下研究施設における適用性確認
- 幅広い地質環境や国内外の最新動向を踏まえた処分概念の高度化や柔軟性の向上

工学技術の開発に関する課題構造

- | | |
|------------------|--|
| (1) 処分場の総合的な工学技術 | ①URLにおける適用性検討 ②工学技術オプション |
| (2) 処分場の設計・施工技術 | ①人工バリア (a)オーバーパック (b)緩衝材 ②支保・グラウト・シーリング (a)シーリング (b)支保(低アルカリ性セメント) (c)グラウト ③建設・操業・閉鎖等の工学技術 (a)建設技術 (b)操業技術 (c)閉鎖技術 |
| (3) 長期健全性評価技術 | ①緩衝材 (a)長期力学的変形挙動 (b)長期変質挙動 (c)流出・侵入挙動 ②セメント・コンクリート ③岩盤 (a)長期力学的変形挙動 (b)長期変質挙動 ④熱・水・応力・化学連成挙動 ⑤ガス移行挙動 ⑥人工バリアせん断応答挙動 |

安全評価手法の開発に関する全体目標 (H18～22年度)



7

安全評価手法の開発に関する課題構造

- (1) 評価手法
 - ① シナリオ解析技術
 - ② 不確実性評価技術
 - ③ 総合的な性能評価技術
- (2) モデル化技術
 - ① 人工バリア中の核種移行
 - (a) 地下水化学／間隙水化学
 - (b) ガラス固化体からの核種溶出
 - (c) 緩衝材中の核種移行
 - ② 天然バリア中の核種移行
 - (a) 岩盤中の核種移行
 - (b) コロイド・有機物・微生物
 - ③ 生物圏での核種移行／被ばく
- (3) データベース開発
 - ① 放射性元素の熱力学データベースの整備
 - ② 収着・拡散データベースの整備

8

平成19年度の高レベル放射性廃棄物 地層処分研究開発の主要目標

工学技術の開発

- ・オーバーバックに関する10年間の長期腐食試験データの取りまとめ
- ・人工バリア材料に係わるナチュラルアナログデータの取りまとめ
- ・様々な処分場概念(設計オプション)に共通する重要課題の抽出・整理
- ・幌延深地層研究所で得られた地質環境データを用いた掘削による影響を考慮した水-化学連成挙動解析結果の提示
- ・低アルカリ性コンクリートの現場施工試験におけるセメントの配合例の提示

安全評価手法の開発

- ・深地層の研究施設等における実際の地質環境条件を考慮した重要シナリオの抽出や不確実性に関する性能評価手法の方法論の検討および適用例の提示

資源エネルギー庁からの受託と他機関との連携 (平成19年度)

受託:2件, 共同研究:3件, 情報交換:6件

- 受託件名:「地下坑道施工技術高度化開発」
「処分システム化学影響評価高度化開発」

○他機関との連携

➤工学技術

- 溶接部腐食(RWMC共同研究)
- THMCセンサー開発(RWMC情報交換)
- 建設・操業・閉鎖(URLにおける適用性確認、RWMC情報交換)
- オーバーバック腐食手法、データベース開発(RWMC情報交換)
- 低アルカリセメント開発(CRIEPI共同研究)
- 多連設坑道、クリープ挙動(CRIEPI情報交換)
- ガス移行挙動(RWMC情報交換)

➤性能評価

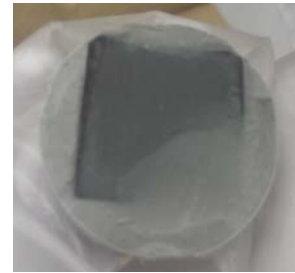
- コロイド影響評価(CRIEPI共同研究)
- 生物圏評価(放医研情報交換)

平成19年度の工学技術の開発に関する成果例

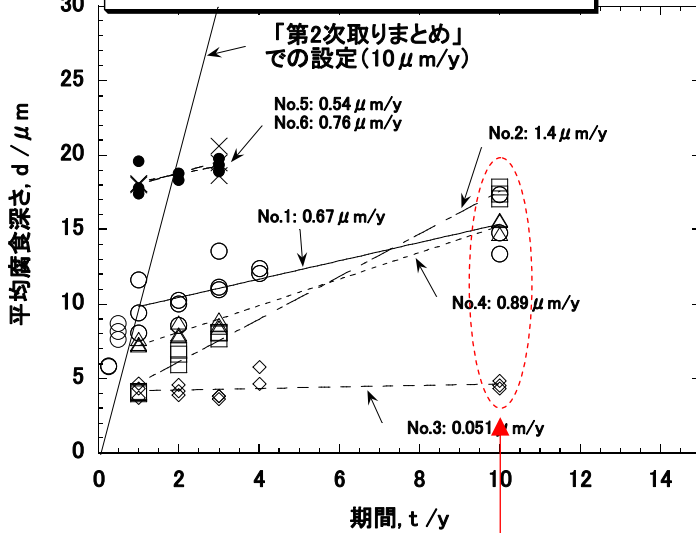
ベントナイト中における炭素鋼の長期腐食試験

- No.1: $\rho=1.8\text{g/cm}^3$, 人工海水, 80°C
- No.2: $\rho=1.8\text{g/cm}^3$, 人工海水, 50°C
- ◇No.3: $\rho=1.8\text{g/cm}^3$, 人工地下水-1, 80°C
- △No.4: $\rho=1.8\text{g/cm}^3$, 人工地下水-2, 80°C
- No.5: $\rho=1.6\text{g/cm}^3$ (30%ケイ砂混合), 人工海水, 80°C
- ×No.6: $\rho=1.6\text{g/cm}^3$ (30%ケイ砂混合), 人工海水, 80°C

人工地下水1: $[\text{NaCl}]=0.56\text{M}$
 $[\text{NaHCO}_3]=0.1\text{M}$
 人工地下水2: $[\text{NaCl}]=2.5\text{mM}$
 $[\text{NaHCO}_3]=2.5\text{mM}$



試料の解体
 (試料寸法は3cm×3cm. 周囲がベントナイト)



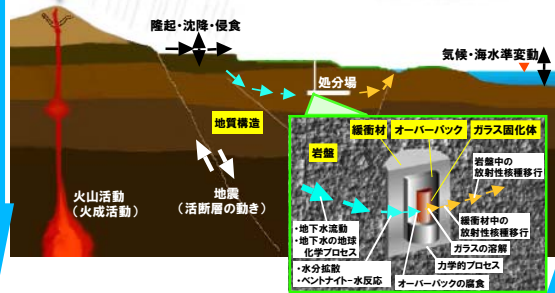
10年間の試験を行った後に炭素鋼
 取り出した後の表面の状態
 左:80°C 海水 クニゲルV1 1.8g/cm^3
 右:50°C 海水 クニゲルV1 1.8g/cm^3 11

平成18~19年度, 10年目試料をサンプリングし, 腐食量および腐食速度の評価, 並びに腐食生成物の分析を実施中。

平成19年度の安全評価手法の開発に関する成果例 (1)

地層処分システムの現象理解

特性 (Feature), 出来事 (Event), 過程・経過 (Process) = FEP
 これらの相互関係を把握整理



計算機支援ツールFepMatrixへの展開



2007年3月外部への提供開始

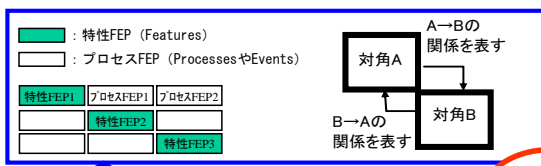
シナリオ解析に係わるいろいろな機能を提供

機能の例

FEP情報の入力・編集のイメージ

プロセスインフルエンスダイアグラム表示による解析のイメージ

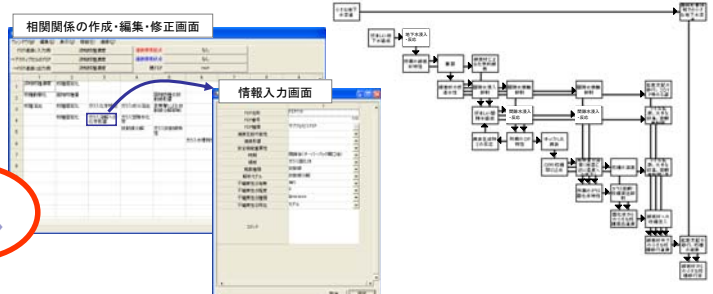
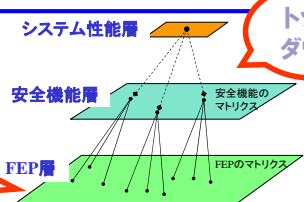
現象理解に基づく地層処分システムのモデル化とFEP解析のイメージ



マトリクス形式の整理

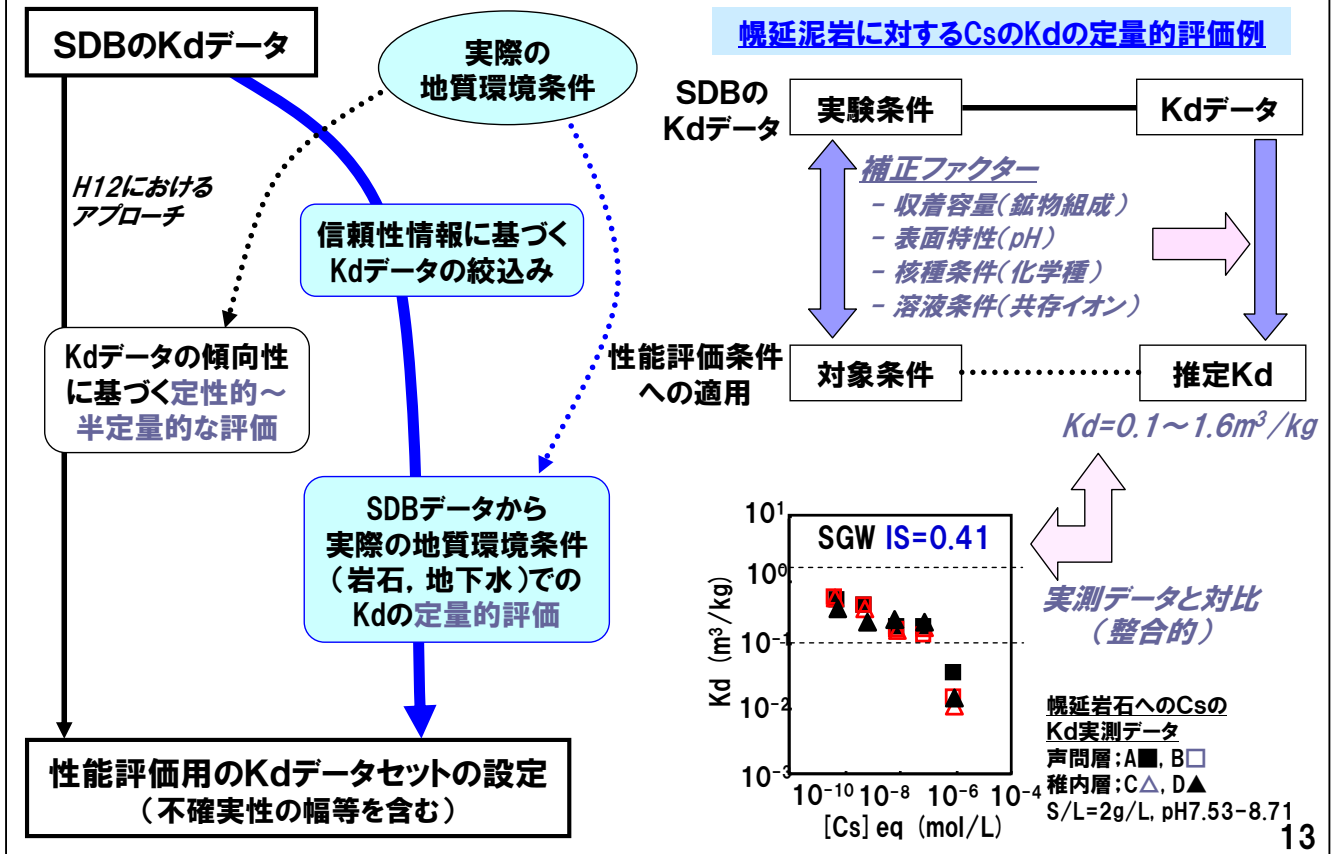
階層化

ボトムアップ



今回開発した手法とFepMatrixは高レベル放射性廃棄物処分のみならず他の廃棄物処分に関するシナリオ解析にも適用可能であり, さらには自然環境にかかわる防災をはじめとする幅広い分野での活用が期待できる

平成19年度の安全評価手法の開発に関する成果例(2)



TRU廃棄物の地層処分研究開発に関する課題

○併置処分の評価に係る信頼性向上

- 硝酸塩等の影響に係る現象理解とデータ・評価モデルの信頼性向上
- 性能評価技術の体系化・高度化(処分場スケールでの相互影響評価の考慮など)

○ジェネリックな評価基盤の拡充(HLW評価基盤との平仄)

- 塩水環境下でのデータやモデルの整備など、多様な地質環境を対象とした評価基盤の拡充
- 高アルカリ環境での人工バリア等の長期健全性に関するデータ拡充と評価モデルの信頼性向上

○より幅広い地質環境に柔軟に対応するための代替技術開発(ANRE事業)

- ヨウ素固定化・浸出抑制技術の実現性の提示
- C-14の放出・移行評価の信頼性向上と閉じ込め容器の開発
- 硝酸塩影響の不確実性低減のための硝酸塩分解技術

平成19年度のTRU廃棄物の 地層処分研究開発の主要目標

- ・処分の安全評価に関する安全評価手法の高度化及び
検証のための基礎データの収集・拡充
(地層処分相当は, HLWとの併置処分等の合理的な
処分ができるよう検討を進める)
- ・資源エネルギー庁から受託:
「硝酸塩処理・処分技術高度化開発」

15

平成19年度のTRU廃棄物の 地層処分研究開発の成果例

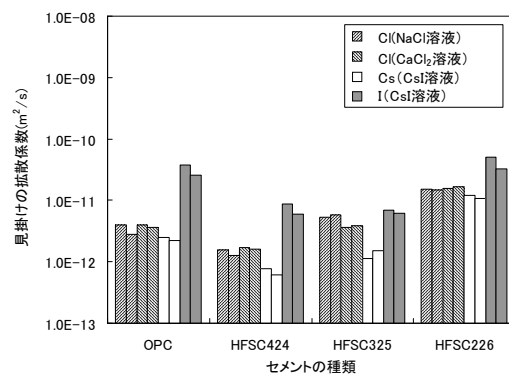
- 低アルカリ性セメント硬化体中におけるヨウ素やセシウムなどの
みかけの拡散係数の核種移行データを取得

水セメント比30%の4種類のセメント硬
化体(下表参照)に対して見掛けの拡散
係数を算定

→HFSC424の低アルカリ性セメントの各
元素の見掛けの拡散係数は小さい

| | 普通ポルト ランド セメント | シリカフェーム | フライアッシュ |
|---------|----------------------|---------|---------|
| OPC | 100 | 0 | 0 |
| HFSC424 | 40 | 20 | 40 |
| HFSC325 | 30 | 20 | 50 |
| HFSC226 | 20 | 20 | 60 |

数字は重量%



セメント硬化体中の元素の見掛けの拡散係数算定例
(浸漬液の各元素濃度は0.5mol dm⁻³)

16

まとめ

- ・高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発
 - 知識ベースの個別要素の構築・公開・更新
 - 地下研究施設における適用性確認
 - ・論文投稿数 : 22件
 - ・技術資料公開数 : 31件

- ・TRU廃棄物(長半減期低発熱放射性廃棄物)の地層処分研究開発
 - 安全評価技術の高度化(アルカリ環境の影響等)
 - 併置処分に関する信頼性の向上(硝酸塩の影響等)
 - ・論文投稿数 : 6件
 - ・技術資料公開数 : 1件

17

知識ベースへの反映のまとめ(工学技術)[1/2]

■:H19までに更新・構築、■:実施中または未着手

| 分類の例 | 知識ベースに反映する成果の例 |
|--------------------|--|
| データ | <ul style="list-style-type: none"> ・オーバーバック腐食データベース ・緩衝材基本特性データベース(Web) ・閉鎖材料及びシーリング性能に係るデータベース ・低アルカリ性コンクリートの材料特性データベース ・緩衝材/岩盤応力達成評価に用いるパラメータ等のデータベース ・緩衝材流出・侵入データベース(Web, 3月末予定) ・岩盤長期力学変形挙動に関わる物性データベース ・熱-水-応力-化学達成挙動評価用データベース ・ガス移行特性(岩盤・緩衝材)データベース |
| ドキュメント | <ul style="list-style-type: none"> ・各種公開技術資料, レビュー報告書 |
| ソフトウェア | <ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材/岩盤応力達成モデル・コード ・緩衝材侵入現象モデル・コード ・岩盤長期力学変形挙動予測モデル・コード ・熱-水-応力-化学達成モデル・コード ・ガス移行-応力達成モデル・コード |
| 経験・ノウハウ (方法論など) | <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 ・概念オプションの成立性や実現性関わる技術基盤情報 ・オーバーバック腐食評価手法 ・オーバーバック材料・材質選定手法 ・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) |

18

知識ベースへの反映のまとめ(工学技術)[2/2]

■:H19までに更新・構築、■:実施中または未着手

| 分類の例 | 知識ベースに反映する成果の例 |
|----------------------------|---|
| 経験・ノウハウ (方法論など) 〈続き〉 | <ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材の設計基準に関わる基盤情報及び設計の考え方 ・閉鎖設計の基本的な考え方と閉鎖要件 ・原位置で確認すべき操業・閉鎖技術項目 ・低アルカリ性コンクリート配合選定方法(吹付け支保),(覆工支保) ・低アルカリ性コンクリート施工管理基準(吹付け支保),(覆工支保) ・グラウト材料の長期評価手法 ・グラウト施工技術 ・地質環境データを基にした設計用物性値設定の考え方 ・情報化施工システム ・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 ・人工バリア等に係わる性能保証の考え方 ・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 ・緩衝材長期変質挙動評価手法 ・緩衝材の安全機能に対する変質が及ぼす影響評価手法 ・ベントナイトコロイド生成条件 ・岩盤長期力学変形挙動解析パラメータ設定の考え方 ・熱-水-応力-化学連成データ計測技術 ・ガス移行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限界条件 ・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 |
| 統合化した 知識 | <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 ・オーバーバック腐食に関するナチュラルアナログに関する統合データ |
| ガイダンス | <ul style="list-style-type: none"> ・地質環境に応じた処分場設計要件 |
| プレゼンテーション | <ul style="list-style-type: none"> ・熱-水-応力-化学連成挙動数値実験技術 |

19

知識ベースへの反映のまとめ(安全評価)[1/2]

■:H19までに更新・構築、■:実施中または未着手

| 分類の例 | 知識ベースに反映する成果の例 |
|--------------------|---|
| データ | <ul style="list-style-type: none"> ・わが国の地下水化学データベース ・放射性元素の熱力学データベース(Web) ・地球化学元素の熱力学データベース(Web) ・収着拡散データベース(Web) ・信頼度を付与した収着データベース ・収着・拡散メカニスティックデータベース ・ガラス溶解速度データベース ・コロイド・有機物と核種の相互作用データベース ・微生物と核種との相互作用データベース |
| ソフトウェア | <ul style="list-style-type: none"> ・シナリオ解析支援ツール(Web) ・核種の溶解度・化学種解析で必要となる地球化学コード ・地下水/間隙水水質設定で必要となる地球化学モデル・コード ・コロイド(有機物)影響評価解析で必要となるモデル・コード ・微生物影響評価解析で必要となるモデル・コード ・収着分配係数・拡散係数設定のための現象論的収着・拡散モデル・コード |
| 経験・ノウハウ (方法論など) | <ul style="list-style-type: none"> ・シナリオ解析に関する実際の地質環境条件や現象を考慮したスクリーニング手法の概念構築および適用性確認 ・シナリオ解析に関する調査/事業段階に応じた評価手法の概念構築および適用性確認 ・地域性、時間変遷などの不確実性も考慮したシナリオ構築の考え方の整理および適用性確認 ・不確実性の分類・整理及びパラメータの分布設定の考え方の整理および適用性確認 ・調査/事業段階に応じた不確実性の影響評価技術の適用性確認(線量めやすを満たす人工バリアパラメータの範囲) ・個別現象の不確実性、生起可能性、時間変遷などを考慮した不確実性の影響評価の考え方 |

20

知識ベースへの反映のまとめ(安全評価)[2/2]

■:H19までに更新・構築、■:実施中または未着手

| 分類の例 | 知識ベースに反映する成果の例 |
|----------------------------|---|
| 経験・ノウハウ (方法論など) ＜続き＞ | <ul style="list-style-type: none"> ・総合的な性能評価結果の信頼性を向上させるための手法・考え方の整理および適用性確認 ・水理物質移行に関する室内試験～サイト調査間のスケールの違いを補間する手法の考え方の整理および適用性確認(幌延) ・室内試験による亀裂開口幅分布評価手法の整備 ・生物圏評価に関する実際の環境条件を考慮した考え方(感度解析に基づく重要データ取得への反映) ・生物圏評価に関する将来の環境変遷を考慮した場合の時間枠に応じた評価手法・考え方 ・生物圏評価に関するナチュラルフラックス評価手法の例示 ・地質環境が設定された場合の地下水/間隙水水質設定の考え方 ・コロイド・有機物の特性評価手法 ・微生物の特性評価手法 ・緩衝材中の収着係数や拡散係数設定の考え方(実測データおよびその補正並びにメカニズムに基づく設定アプローチの提示) ・緩衝材中のバッチ式収着試験から得られる分配係数の圧密系への適用手法 ・信頼性の高い熱力学データ取得の設定手法(N_p(IV)の溶解度測定) ・既存の熱力学データの信頼性評価についての手法(A_n(IV)の熱力学データの信頼性検討) ・固溶体の溶解度制限固相の設定手法(R_aの固相への分配に基づく核種移行評価) ・分配係数・拡散係数取得の標準的手法の見直し |
| 統合化した 知識 | <ul style="list-style-type: none"> ・処分場周辺の水理・物質移行評価に必要な一連の技術の整備・改良, 体系的整理, URLの地質環境データを用いた評価の試行による適用性の提示 |
| ガイダンス | <ul style="list-style-type: none"> ・実際の地質環境の情報に基づく総合的な性能評価手法の構築(品質確保のための考え方の整理, 評価体系の考え方の整理) |

21

高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発 平成20年度の実施計画(案)

○工学技術の開発

- ・ オーバーパック材料の腐食に関するデータベースの試作
- ・ 幌延の地質環境データを活用した掘削による損傷領域の進展を考慮した坑道周辺の水-応力-化学連成挙動の解析
- ・ 低アルカリ性セメントを用いた覆工用コンクリートの配合選定方法の検討

○安全評価手法の開発

- ・ 人工バリアの収着分配係数・拡散係数の設定を支援するための現象論的収着・拡散モデルの提示
- ・ 深地層の研究施設等における実際の地質環境条件を考慮した事業段階の進展に応じた実用性の高い性能評価手法の例示

22

TRU廃棄物の地層処分研究開発 平成20年度の実施計画(案)

- TRU廃棄物の地層処分研究開発については、全体基本計画を踏まえ、評価の信頼性向上のための安全評価手法の高度化に資する基礎データの収集拡充及び評価モデル検討を進める。
 - ・併置処分の評価に係る信頼性向上のための研究開発
 - ・高レベル廃棄物処分の評価基盤と平仄を考慮しつつ、ジェネリックな評価基盤拡充のための研究開発

研究成果の理解拡大へのとりくみ

従来の単なる報告会形式でなく、科学技術コミュニケーションに意義あるとりくみ

- ・次世代の社会的理解や技術的興味の裾野拡大
- ・研究成果を情報として直接発信する……基礎基盤研究の理解
- ・研究成果の理解拡大と地層処分への理解促進

基礎基盤研究成果をツールとして理解拡大への草の根活動

