

地層処分基盤研究開発の 現状



平成20年11月28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

油井 三和

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(平成20年3月5日)の 主なコメントとその対応

(コメント) 専門家だけでなく一般国民に分かりやすく説明してゆく戦略と活動が重要

→ 研究開発機関として次世代の高校生、大学生に対して、研究の背景の理解や技術的興味の拡大に向けて草の根活動を展開している。

(コメント) 知識ベースの最終的な仕上がりを念頭にユーザーが使える形で体系化してゆくことが重要

→ 知識ベースの個別要素として、データベースを中心に公開しており(例えば、核種移行データベースユーザー登録者570名(平成20年11月現在):国内331名、国外239名)、国内外のユーザーも増加している。個別要素は知識マネジメントのプロトタイプが出来次第組み込みを行なう予定である。

(コメント) 委員会の役割を今一度明確にすべきである。

→ 工学技術開発や安全評価手法の高度化の進め方、特に技術的な面でコメントをお願いしたい。

3

地層処分研究開発検討委員会(平成20年3月5日)の 主なコメントとその対応

(コメント) 高燃焼度化、MOX対応なども検討すべきである。

→ エネ庁公募事業の中で可能な範囲で対応してゆきたい。

(コメント) 実施主体が行う概要調査以降の事業にどう反映してゆくのか外部からも評価できる形での対応が必要である。

→ 地層処分基盤研究開発調整会議においてNUMOのニーズを踏まえ検討してゆく予定である。個別技術要素は随時Web等で公開しているが、体系的には知識マネジメントシステムを通じて事業等に反映してゆく予定である。

4

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
 - ① URL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

平成20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

7

資源エネルギー庁からの受託と他機関との連携 (平成20年度)

受託:2件, 共同研究:4件, 情報交換:5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)
- 建設・操業・閉鎖(URLにおける適用性確認、RWMC情報交換)
- オーバーパック腐食手法、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)
- 微生物影響評価(CRIEPI共同研究)
- 生物圏評価(放医研情報交換)

8

平成20年度の工学技術の開発に関する進捗(1)

オーバーパックデータベースの試作

- RWMCとのデータベース構造の協議を踏まえ、オーバーパック設計において必要となるデータベース項目を抽出
- 市販のソフトウェアを用いたデータベースの試作に着手
- これまでにデータベース階層構造の検討、関連情報、試験データ等の整備を実施

オーバーパックデータベースメイン

各ボタンをクリックすると、関連情報、データベースにアクセスします。

| | | | |
|------|------|--------|-------|
| 設計要件 | 基本設計 | 製作(溶接) | 品質 |
| 設計条件 | 詳細設計 | 検査 | 長期健全性 |

以下のボタンをクリックすると、データベースメニューに直接アクセスできます

| |
|-------------|
| 腐食データベース |
| 溶接・検査技術メニュー |

| ID | 乾燥密度 | 溶液 | 温度 | 試験期間 | ベントナイト | 雰囲気 | 試験容器 | 腐食速度 (mm/y) |
|----|----------|----|----|------|--------|-----|------|-------------|
| 1 | 1.55 SSW | | 80 | 93 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.78E-02 |
| 2 | 1.55 SSW | | 80 | 93 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.63E-02 |
| 3 | 1.55 SSW | | 80 | 30 | クニビアF | 大気 | カラム | 2.59E-02 |
| 4 | 1.55 SSW | | 80 | 30 | クニビアF | 大気 | カラム | 3.05E-02 |
| 5 | 2DDW | | 80 | 90 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.26E-02 |
| 6 | 2DDW | | 80 | 90 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.00E-02 |
| 7 | 2DDW | | 80 | 90 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.29E-02 |
| 8 | 2DDW | | 80 | 90 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 1.97E-02 |
| 9 | 2DDW | | 80 | 90 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 1.63E-02 |
| 10 | 2DDW | | 80 | 90 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 1.97E-02 |
| 11 | 1.55 SSW | | 50 | 365 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.10E-02 |
| 12 | 1.55 SSW | | 50 | 365 | クニビアF | 大気 | カラム | 8.90E-03 |
| 13 | 1.55 SSW | | 50 | 365 | クニビアF | 大気 | カラム | 6.60E-03 |
| 14 | 1.85 SSW | | 50 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 5.60E-03 |
| 15 | 1.85 SSW | | 50 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 6.10E-03 |
| 16 | 1.85 SSW | | 50 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 6.30E-03 |
| 17 | 1.55 SSW | | 80 | 365 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.38E-02 |
| 18 | 1.55 SSW | | 80 | 365 | クニビアF | 大気 | カラム | 9.50E-03 |
| 19 | 1.85 SSW | | 80 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 8.20E-03 |
| 20 | 1.85 SSW | | 80 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 8.60E-03 |
| 21 | 1.85 SSW | | 90 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 7.50E-03 |
| 22 | 1.85 SSW | | 90 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 7.90E-03 |
| 23 | 1.85 SSW | | 90 | 365 | クニグルV1 | 大気 | カラム | 8.10E-03 |
| 24 | 1.55 SSW | | 50 | 90 | クニビアF | 大気 | カラム | 1.00E-02 |

平成20年度の工学技術の開発に関する進捗(2)

幌延における掘削損傷を考慮した水-応力-化学連成解析

| 解析対象 | 初期状態 | 坑道掘削環境下 応力場 | 掘削坑道環境下 水理・地球化学連成場 |
|-------|---------------------|---|--|
| 現象概念図 | | | |
| 解析概要 | 具体的地質環境に基づく初期環境場の設定 | 応力変形 掘削損傷領域の形成 ダメージモデルの適用 $\varepsilon_{ij} = \varepsilon_{ij}^e + \frac{\varepsilon_{kk}^e}{3} \delta_{ij}$ $\sigma_{ij} = (1-D) \left\{ (\lambda \varepsilon_{kk} \delta_{ij} + 2\mu \varepsilon_{ij}) - \frac{1}{3} \varepsilon_{kk}^e (3\lambda + 2\mu) \delta_{ij} \right\}$ $\varepsilon_{kk}^e: \text{損傷による膨張ひずみ}$ $D: \text{損傷パラメータ}$ | 不飽和領域の拡大 地下水水質変化 ・ 脱ガス ・ 鉱物の溶解沈殿 ・ 酸化還元電位の変化 ・ pH変化 |

これまでにダメージモデルパラメータや幌延地質環境データの整備を実施

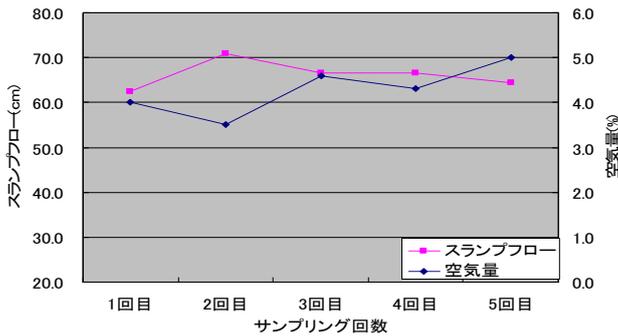
平成20年度の工学技術の開発に関する進捗(3)

覆工用低アルカリ性コンクリートの配合検討

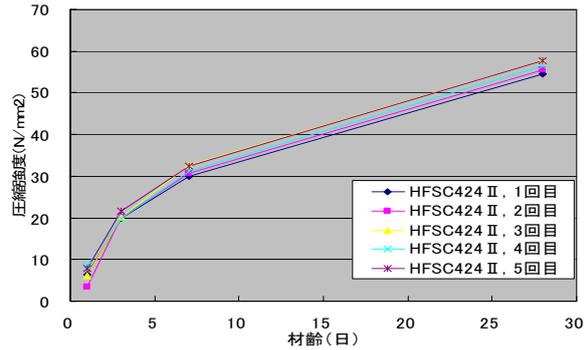
これまでの成果

- 吹付けコンクリート: 幌延URLの設計基準強度を満足する配合を選定済み
→H21年度, 140m水平坑道にて原位置施工試験を実施予定
- 覆工(場所打ち)コンクリート: 高流動コンクリートを指向した配合でFAの品質変動の影響を確認
→JIS II種相当品であればフレッシュ性状, 強度特性に大きな影響(バラツキ)は無し

検討に用いた配合 (HFSC424 OPC:シリカフューム:フライアッシュ=4:2:4)



フレッシュ性状(スランプフロー, 空気量)の特性
→施工上大きな問題なし



強度発現特性
→強度基準見通し有

←高強度基準(幌延)

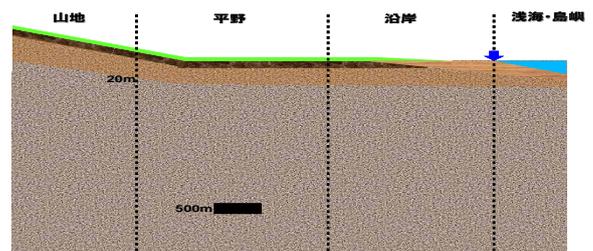
平成20年度の安全評価の開発に関する進捗(1)

実際の地質条件を考慮した安全評価手法の構築

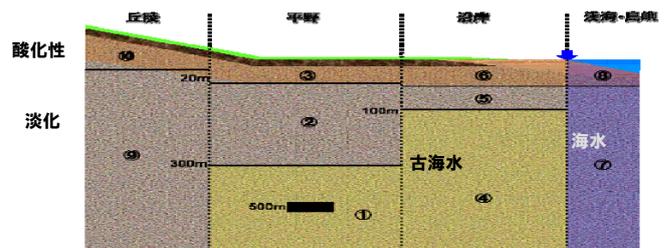
幌延の第一段階調査結果等を参考として, 隆起・侵食事象を対象とした安全評価モデルを作成し, 安全評価手法の構築を行う

幌延第一段階調査等を参考に, 地下深部における, 化学環境や水理環境を区分仮想的第三紀堆積岩の地層を設定
隆起・侵食による具体的な「場」の条件変化の類型化

→ 隆起・侵食したとしても場の化学は変化しないこと(モダンアナログ)の考慮や水理パラメータを設定し, 安全評価手法を構築



調査データからの【場】の情報



○番号は水理場を考慮した分類

評価モデルの構築, 隆起速度に関する考え方, 感度解析の実施, モダンアナログの適用性の検討

場の調査結果を踏まえた安全評価手法の構築

平成20年度の安全評価の開発に関する進捗(2)

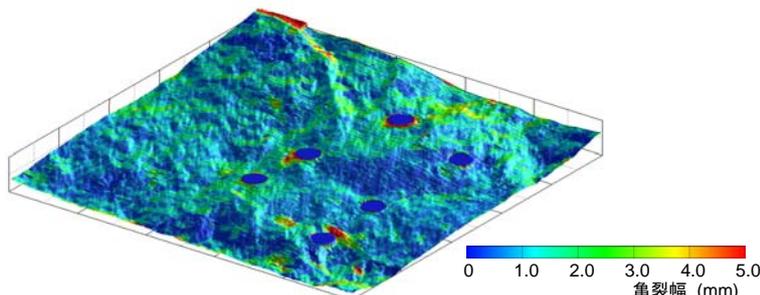
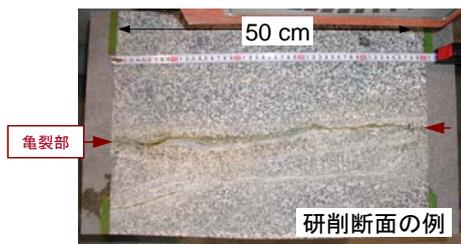
亀裂開口幅設定手法の整備

地質環境条件によらないより一般的な推定方法を整備するとともに、調査の進展に伴い取得されたデータに基づいた設定方法を開発する。

検討のステップ

大型の岩石サンプルを用いた室内試験などを活用した検討天然の亀裂を含む50cmスケールの岩石サンプルの亀裂形状と亀裂幅を計測し、1mm×1mmピッチのデータを取得

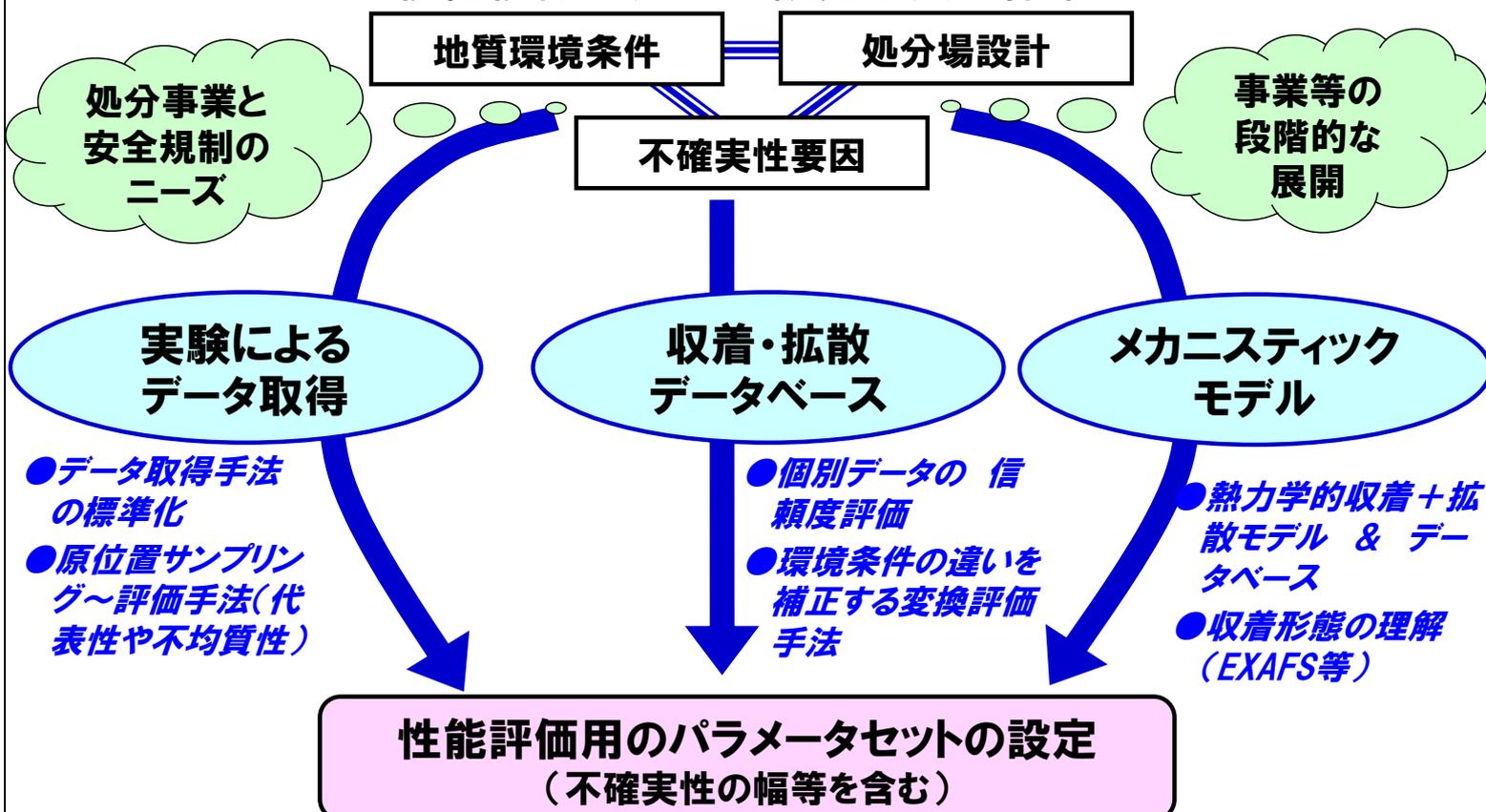
地下坑道での観察や調査に基づき、例えば、亀裂の分類に応じた開口幅設定方法の提示



研削により計測した亀裂形状と亀裂幅
(1mm×1mmピッチの計測データ)

平成20年度の安全評価の開発に関する進捗(3)

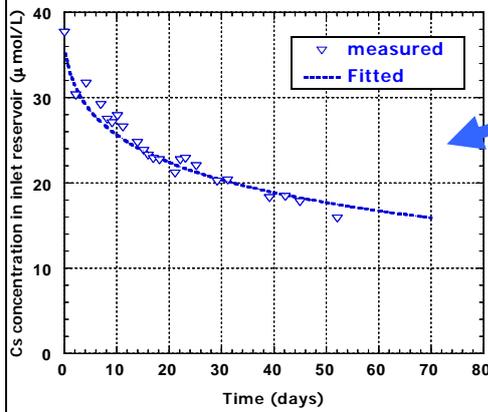
核種移行パラメータ設定手法の体系化



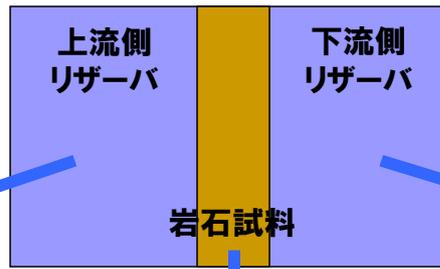
平成20年度の安全評価の開発に関する進捗(4)

幌延堆積岩中のCsの拡散試験結果; Multi-curve analysis

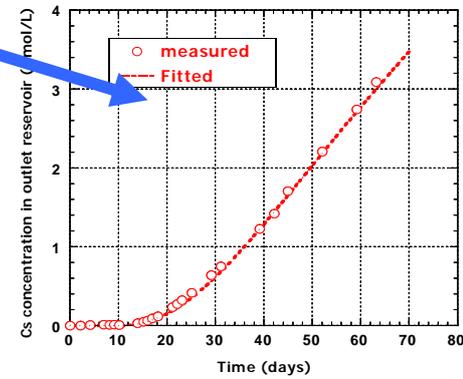
トレーサー減衰曲線



圧密系における信頼度の高い核種移行データの取得例

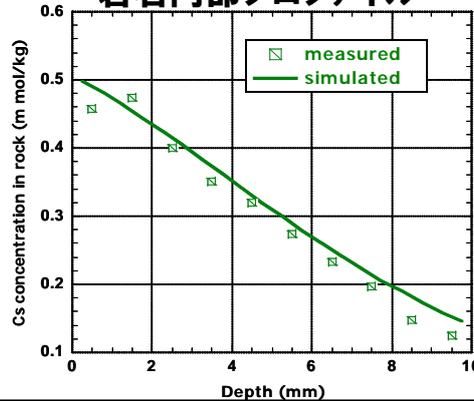


トレーサー破過曲線



(公募事業「処分システム化学影響評価高度化開発」の成果の一部)

岩石内部プロファイル



平成20年度のTRU廃棄物の地層処分研究開発の主要目標

○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

平成20年度のTRU廃棄物の地層処分研究開発の進捗(1)

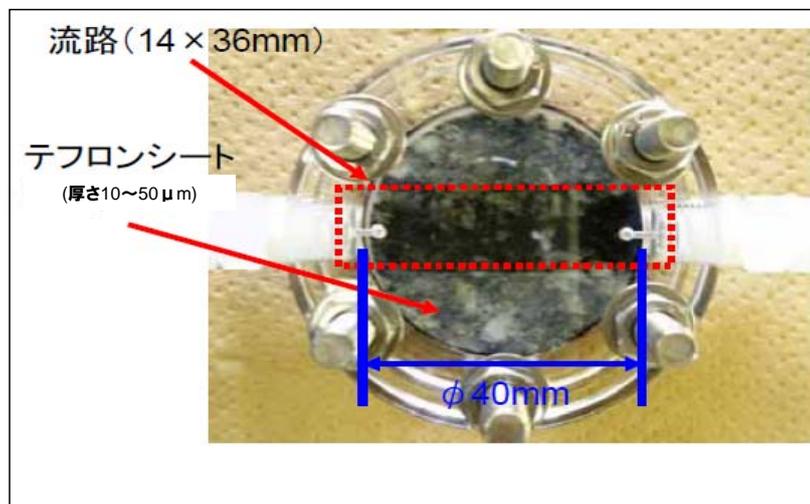
高アルカリ性環境における長期挙動評価

■緩衝材

- スメクタイトの変質ナチュラル・アナログ (高アルカリ性塩湖Searles Lake)のモデルの不確実性とコード改良
- 緩衝材変質解析モデル (TRU-2) の不確実性の幅の検討

■天然バリア(岩盤)

- 人工の平行平板亀裂への高アルカリ性溶液の通水試験
- 平行平板亀裂における岩盤-溶液反応のモデル化



人工平行平板亀裂への高アルカリ性溶液通水試験

平成20年度のTRU廃棄物の地層処分研究開発の進捗(2)

核種移行データ整備

■廃棄体成分の影響を受けた条件での核種の溶解度データの取得・整備

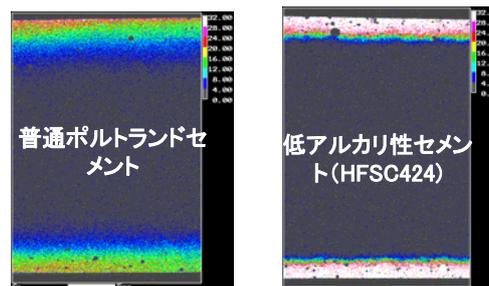
- セメント硬化体の浸出液やセメント硬化後の間隙水を高圧抽出法により準備
- 硝酸塩影響評価(公募事業)



高圧抽出装置によるセメント硬化体からの間隙水の採取状況 (左図:硬化体のセッティング, 右図: 載荷及び間隙水の採取)

■セメント硬化体中の核種の拡散係数の取得・整備

- 普通ポルトランドセメント及び低アルカリ性セメント (HFSC424) *におけるヨウ素やセシウム の移動挙動に関してセメント技術大会にて発表。



EPMAを用いたセメント硬化体中のセシウムの濃度分布評価例 (図の上下が、溶液との接触面(30日間浸漬)であり、白→ピンク→赤→緑の順で接触面からのセシウムの濃度が低下している)

*: シリカフェーム20%、フライアッシュ40%混合させた低アルカリ性セメント

進捗のまとめ

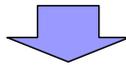
- 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発
 - 知識ベースの個別要素の構築・公開・更新
 - データ取得手法の標準化の基盤検討
 - 地下研究施設における適用性確認
 - JAEAの技術的能力(受託能力)のリスト化(検討中)
 - 政策支援(直接処分技術動向調査)
- TRU廃棄物(長半減期低発熱放射性廃棄物)の地層処分研究開発
 - 安全評価技術の高度化(アルカリ環境の影響等)
 - 併置処分に関する信頼性の向上(硝酸塩の影響等)

19

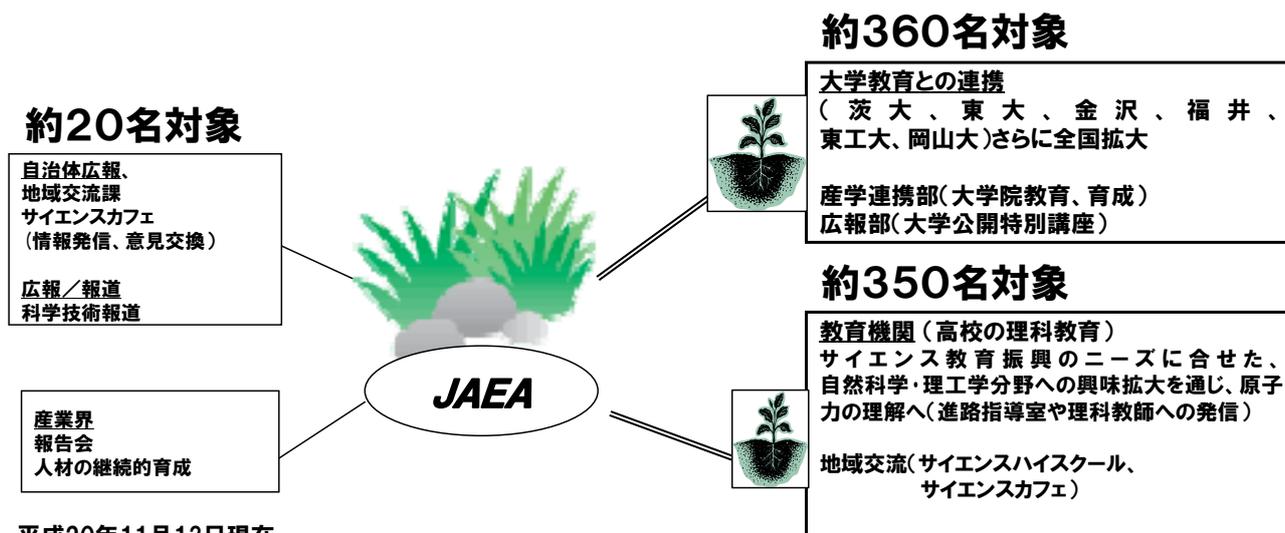
研究成果の理解拡大へのとりくみ

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



*人数は、平成20年11月13日現在

20