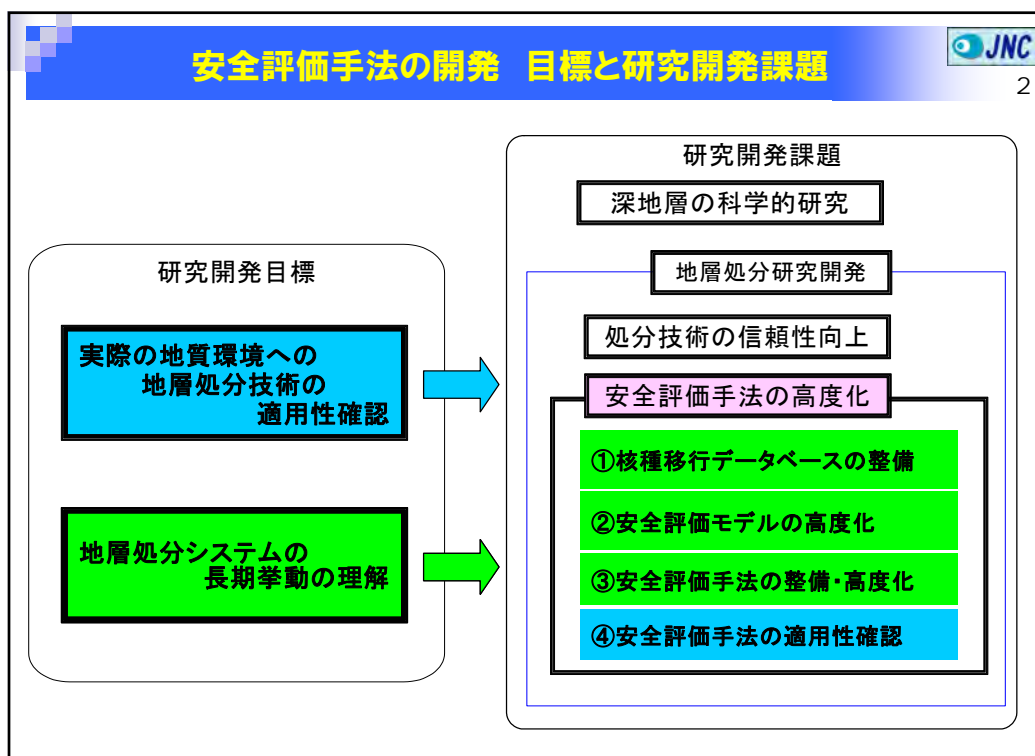


JNC
1

分冊3 安全評価手法の開発

地層処分技術に関する研究開発報告会
－平成17年取りまとめの公表と今後の研究開発の方向性－
平成17年9月22日 星陵会館ホール
核燃料サイクル開発機構 東海事業所
環境保全・研究開発センター 処分研究部
システム解析グループ
内田 雅大



第2次取りまとめ以降の安全評価手法の開発の進め方



3

- サイクル機構の役割に鑑み、網羅性、全体評価のための統合よりも個別重要課題の技術基盤の強化を重視
- 全体評価を実施しないため、以下の視点を安全評価手法の開発の指標として考慮
 - ・安全評価上重要なデータの拡充
 - ・現象理解、定量的モデルの現実性向上
 - ・合理的評価技術の整備
 - ・実際の地質環境や設計条件等との整合性、適用性の向上
 - ・不確実性の取り扱いの向上
 - ・追跡性、透明性、わかりやすさの向上

分冊3・安全評価手法の開発 一目次



4

①核種移行データベースの整備

- 放射性元素の熱力学データベースの整備
- 収着・拡散データベースの整備

②安全評価モデルの高度化

- 岩盤中水理・物質移行モデルの高度化
 - 地上からの調査段階における地下水流動評価手法の整備
 - ・亀裂ネットワークモデルの高度化
 - ・実測された間隙水圧データによる水理地質構造の推定
 - ・地下水水質変化を考慮した水理地質構造モデルの信頼性向上
 - ・堆積プロセスを考慮した地質構造推定技術の開発
 - ・地下水流動解析結果の不確実性定量化技術の開発
 - 亀裂を対象とした水理・物質移行現象の理解
 - ・天然亀裂を対象とした水理・物質移行特性データの取得
 - ・不均質な開口幅分布が水理・物質移行特性に与える影響検討のための基盤技術の整備
 - ・亀裂内充填物質や透水量係数などの不均質性が水理・物質移行に及ぼす影響の検討
 - ・原位トレーサ試験より得られる水理・物質移行特性値の不確実性評価
 - 堆積岩中の水理・物質移行現象の理解

- 地下水・間隙水水質形成モデルの高度化

- 現象論的核種移行モデルの開発

- ガラスの長期浸出挙動
- 核種の溶解現象
- 核種の収着・拡散現象

- コロイド、有機物、微生物の影響評価モデルの開発

- コロイドの影響評価モデルの開発
- 天然有機物・微生物の影響評価モデルの開発


- 生物圏評価モデルの高度化

③安全評価手法の整備・高度化

- シナリオに関する技術の高度化
 - シナリオ解析技術の高度化
 - 天然現象影響評価技術の高度化
- 不確実性評価技術の高度化
 - パラメータの分布設定技術の高度化
 - データ不確実性の影響評価技術の高度化
 - モデル不確実性の影響評価技術の高度化
- 技術情報の統合技術

④安全評価手法の適用性確認

1. 核種移行データベースの整備(1)

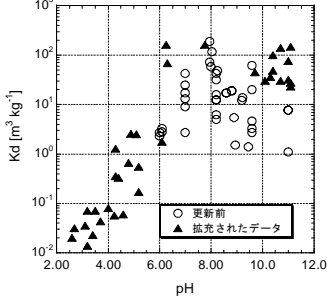


5

➤ 第2次取りまとめで不足していたデータの拡充

- 海水系地下水, 堆積岩系での収着についての実験データの取得(Cs, Se など)と文献調査を行い, データを拡充
- アクチノイド元素の溶存化学種, 溶解度積についての実験データを拡充し, データの傾向性, 系統性を把握 (Np(IV), U(IV), Pu(IV)など)


JNC-SDBを用いた分配係数のpH依存性の例 (Amの結晶質岩(酸性)に対する分配係数)



データの充実により分配係数の環境条件への依存性の理解が向上

安全評価上重要なデータの拡充, 実際の地質環境との整合性の向上

1. 核種移行データベースの整備(2)



6

➤ 外部公開ホームページでのデータベースの公開

熱力学データベース(JNC-TDB), 収着データベース(JNC-SDB)を2003年8月1日に運用開始し, 2005年7月時点で国内外の利用登録者は300名を越えた

↓

透明性の向上


➤ データの信頼性を向上させるための技術基盤の整備

収着データの取得方法の標準化や信頼度付与の手法開発を行い, データ取得の品質向上の基盤を整備した

↓

追跡性, 透明性の向上

JNC-TDBとJNC-SDBのホームページ画面



2. 安全評価モデルの高度化 — 岩盤中水理・物質移行モデルの高度化(1) —

7

➤ **亀裂充填物質の影響**

亀裂充填物質の間隙水中の拡散係数は、 $10^{-10} \sim 10^{-9} \text{m}^2/\text{s}$ と基質部に比べて大きい

亀裂内の物質移行の概念モデル

① 充填物を介して基質部へ移行するモデル
② 従来の概念モデル

□ : 間隙 ■ : 充填物 ■ : 変質部 ■ : 健岩部

↑ : 亀裂間隙からの拡散 ↑ : 亀裂充填物を經由する拡散

H12では保守的に考慮しなかった充填物質を經由した基質部への拡散により、マトリクス拡散の効果が増加する可能性

現象理解の進展

➤ **新第三紀堆積岩中の亀裂の影響**

間隙率の異なる堆積岩では、亀裂による透水係数の増加の程度が異なる

H12では保守的に全ての堆積岩を亀裂性媒体として評価したが、亀裂が移行経路となる可能性は地層により異なる

現象理解の進展

2. 安全評価モデルの高度化 — 岩盤中水理・物質移行モデルの高度化(2) —

8

➤ **地下水流動モデルの高度化**

亀裂ネットワークモデルと連続体モデルを接続した「入れ子式モデル」を開発し、H12においては不可能であった解析スケールの規模と情報の粗密への対応が可能となった

実際の地質環境への適用性の向上

入れ子式モデルによるモデル化の例

地表堆積岩連続体メッシュ

亀裂ネットワークモデル

透水係数 [m s^{-1}]

➤ **他分野のデータを用いた水理地質構造モデルの信頼性向上**

地下水の端成分の特定とバックワードトラッキングによる端成分の混合比の予測を行うことにより、地下水水質の情報を活用して水理地質構造モデルの妥当性を評価する技術を整備

不確実性の低減

2. 安全評価モデルの高度化

—地下水・間隙水水質モデルの高度化—

9

➤ **圧縮ベントナイト中の間隙水pHの時空間変化に関するデータ取得方法の開発**

第2次取りまとめ時には実測できなかった圧縮ベントナイト中の間隙水のpHを実測する技術を整備

➡ 現象理解の進展

➤ **深部地下水水質の推定手法の構築**

化学平衡論に基づき採水後地表で測定された地下水データから深部地下水水質を推定する手法を構築

➡ 実際の地質環境への適用性の向上

圧縮ベントナイト中間隙水のpHの時空間変化

試験後に圧縮ベントナイトを切断し、切断された試料面ごとに低脱色性pH試験紙を用いて、間隙水のpHを測定する手法を開発

2. 安全評価モデルの高度化

—現象論的核種移行モデルの開発—

10

■ **ガラスの長期浸出挙動**

- ・ pH11以上→方沸石が生成、ガラス浸出速度が加速
- ・ pH11以下→スメクタイトが生成、ガラス浸出速度が遅い

↓

変質層の生成鉱物に応じたガラス浸出速度の違いを把握

↓

➡ 現象理解の進展

生成鉱物とガラス浸出速度(Bに基づく浸出速度)の関係

実験条件 (反応溶液、温度)	溶液pH	主な生成鉱物	ガラス浸出速度
0.1M NaOH 90~150°C	12	アナルサイム、 スメクタイト	非常に速い
0.03M NaOH 90~150°C	11	スメクタイト、 アナルサイム	速い
0.001M NaOH 60~120°C	9.5	スメクタイト	遅い
DIW 90~150°C	10	スメクタイト	遅い

■ **核種の溶解現象**

➤ H12までのThO₂に引き続き、UO₂についても非晶質固相から結晶質固相への変遷に伴う溶解度の低下を確認、Ra等に関する固溶体モデルを開発

➡ 現象理解の進展

JNC

2. 安全評価モデルの高度化

—現象論的核種移行モデルの開発—

11

■核種の収着現象
 溶存化学種ごとの分配係数と濃度比を与えることにより、溶液条件の変化に伴うNpのス멕タイトに対する K_d の変化を適切に説明(還元条件・炭酸共存下)

↓

適用可能な元素の制限はあるが、H12に比べ、環境変化に対応した分配係数の推定が可能となった

↓

実際の地質環境への適用性向上

ス멕タイトに対するNpの分配係数の炭酸濃度(C_T)依存性

JNC

2. 安全評価モデルの高度化

—コロイド、有機物、微生物の影響評価モデルの開発—

12

■コロイド

- ベントナイトコロイドに対する核種(C_s)の収着特性の把握
 - Csのベントナイトコロイドに対する収着性はほぼ可逆的
 - ↓
 - ・H12で仮定した可逆性に関する知見を実験的に取得
 - ・モデル上の取扱いの方向性を示唆

↓

現象理解の進展, 合理的な評価技術の整備

➤ コロイド影響評価モデルの開発

核種-コロイドの収脱着速度をモデルに組み込み、スイス・グリムゼル岩盤研究所で行われた原位置試験との比較などをふまえ、コロイド濃度、流速の影響を確認。


H12では簡易の評価しか行えなかったが、結晶質岩、堆積岩両方に適用可能でコロイド-核種の収脱着速度を考慮可能な核種移行モデルが整備された

⇒

現象理解の進展

脱着試験後のベントナイトコロイドへのCsの分配係数

2. 安全評価モデルの高度化 —コロイド、有機物、微生物の影響評価モデルの開発—


13

■天然有機物

- 圧縮ベントナイト中の透過実験をポリアクリル酸を用いて人工海水、蒸留水の条件で実施
 - ・分子量450,000のポリアクリル酸は、いずれの条件でも透過しない
 - ・分子量15,000のポリアクリル酸は、人工海水の方が蒸留水に比べて透過しやすい

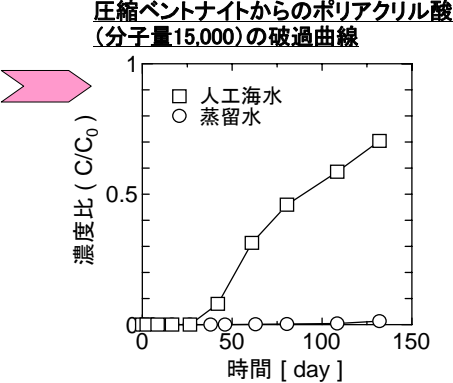
第2次取りまとめ時にはなかった地下水条件による有機物の透過性の違いに関する知見が得られた

現象理解の進展


- フミン酸共存下での錯形成試験を行い、解離しにくい不可逆性の錯体の形成を示唆する知見(Np(IV))を取得

現象理解の進展

圧縮ベントナイトからのポリアクリル酸(分子量15,000)の破過曲線



2. 安全評価モデルの高度化 —生物圏評価モデルの高度化—


14

➢ 実際の地表環境の特徴に応じて優先的に整備すべきパラメータの選定を効率的に行う手法を整備

データ不確実性に関する感度解析

➡

重要パラメータの抽出

➡

パラメータの現在の設定状況の整理
→地表環境の特徴に応じた優先度の検討

重要パラメータ抽出の例(Cs135)

抽出パラメータ	抽出係数 (R ² =0.98)
河川流量	抽出係数: 約 -4.5
分配係数 (表面土壌)	抽出係数: 約 2.5
灌漑水量	抽出係数: 約 1.5
侵食速度	抽出係数: 約 -1.5
堆レバーへの濃縮係数	抽出係数: 約 1.5

設定状況整理の例

十分に特性化されている

- ・海産物への濃縮係数
- ・食物摂取量
- ・河川流量
- ・灌漑水量
- ・侵食速度

わが国固有

特性化が充分でない

- ・土壌、堆積物への分配係数
- ・農畜産物への移行係数
- ・土壌摂取量
- ・海洋における拡散量


一般的

➡ 実際の地質環境への適用性の向上

➢ 地質環境と生物圏のインターフェース(GBI)の候補の設定において重要な要因と、その把握に寄与すると考えられる調査項目を概略的に整理

➡ 実際の地質環境への適用性の向上


3. 安全評価手法の整備・高度化 — シナリオに関する技術の高度化 —




15

■シナリオ解析技術の高度化

- ・FEPの相関関係を、マトリクス形式で整理するとともに、安全機能との関係も考慮して構造的に整理する手順を作成
- ・計算機上で相関関係の整理やスクリーニングなどが行える機能を整備



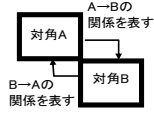
第2次取りまとめにおいて複雑で時間を要したFEPの相関関係の整理作業について、相関関係の十分性の確保、作業の効率性、追跡性、透明性などの向上を図ることができる手法を整備した



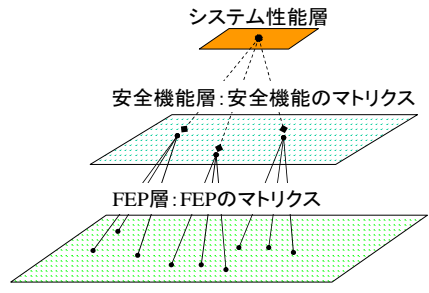
合理的な評価技術の整備
追跡性、透明性、わかりやすさの向上

相関関係のマトリクス形式での整理のイメージ


■ : 特性FEP(場の特性や状態を表すFEP)
□ : プロセスFEP(特性FEP間での影響の伝播に関するFEP)



相関関係マトリクスの階層的な構造のイメージ



3. 安全評価手法の整備・高度化 — シナリオに関する技術の高度化 —



16

■天然現象影響評価技術の高度化

「天然現象の発生様式、地質環境条件の変化、その地域性などの特徴の整理を行う作業」と「その結果を影響評価の観点から合理的に類型化し、影響解析を行う作業」を統合的に実施するための手順を構築

天然現象研究側の寄与割合

天然現象に関する知見
地質環境に関する知見
地球化学に関する知見
.....その他の知見

Step1: 天然現象のプロセスの記述
・発生様式(形式、規模)の抽出・整理
・地域性の検討

Step2: 地質環境条件の変化の検討
・発生様式と地質環境条件の変化の組合せを抽出
・影響伝播の条件も考慮し、THMC(熱-水理-力学-化学)で整理

Step3: 地質環境条件の変化に基づくシナリオの類型化
・影響の特徴-影響領域の区分(処分場位置)
・類型化-影響解析で考慮するシナリオと影響の設定

Step4: モデル・解析条件の設定
・影響の処分環境・システム性能への伝播の整理
・モデル、パラメータ設定

Step5: 影響解析


影響解析側の寄与割合

Step2での地質環境条件の変化に関する知見・データの収集・整理の作業例(火山の例)

T: 温度	300~100℃(10℃/100m以上の地温勾配)			50℃~(3℃/100m程度の地温勾配による温度)
H: 水理	300℃超、600℃程度まで上昇 100~50℃(5~10℃/100mの地温勾配)			
M: 力学	10m/sオーダー			
C: 水質	増量が著しく劣化			
C: pH	SO ₂ 卓越	Cl ₂ 卓越	HCO ₃ 卓越	
	酸性:pH 4.8以下		中性~弱アルカリ	


近 ← 火道からの「距離」 → 遠

第2次取りまとめに比べ、過度な保守性を排除した、より現実的な天然現象の影響評価手順を構築



合理的な評価技術の整備
追跡性、透明性、わかりやすさの向上

3. 安全評価手法の整備・高度化 — 不確実性評価技術の高度化 —



17

▶ 第2次取りまとめで保守的に簡略化あるいは無視したプロセス等を取り込んだ代替モデルの開発と影響評価(掘削影響領域での核種移行遅延, ガラスの割れの影響)を実施

2次元人工バリア中核種移行モデルの概念図


掘削影響領域からの移行率の経時変化

⇒ 不確実性の取扱い技術の向上, 合理的な評価技術の整備

- ▶ データ不確実性を分布として定量化するため, 実際の地質環境の特徴, 利用可能な情報および専門家の知見・判断を基に設定する体系的手順(誘出法)を整備
- ▶ データ不確実性の組合せが評価結果へ与える影響を網羅的かつ効率的に評価するためのモンテカルロ法を用いた影響評価技術を整備
- ▶ 目的に応じて重要なパラメータを分析するために, 重回帰分析, クラスタ分析, 決定木分析などを組合せたり使い分ける技術を整備

⇒ 不確実性の取扱い技術の向上, 合理的な評価技術の整備

3. 安全評価手法の整備・高度化 — 技術情報の統合技術 —



18

▶ 技術的な情報の共有と整合性の確保を支援するための技術として技術情報統合システム(JGIS)を開発

① 技術的な情報を調査・研究の流れに従って統合的に管理

共有性向上

② 研究成果だけでなく補足的な情報も一括管理

整合の確認性向上

③ 情報共有・コミュニケーションの促進

技術情報統合システム

意見交換などによる
コミュニケーションの支援

自動的な通知によるタイムリーな情報の共有の支援

H12に比べて多数の研究要素間での情報の共有と整合性の確保を向上させる環境を整備

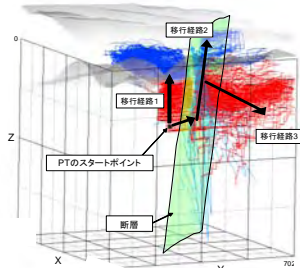
↓

実際の地質環境や設計条件等との整合性,
安全評価の追跡性, 透明性, わかりやすさの向上

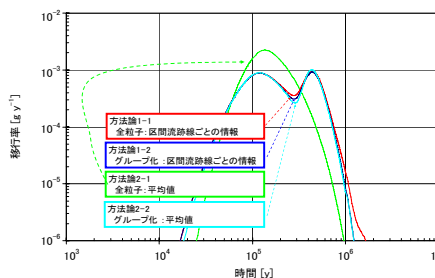
4. 安全評価手法の適用性確認

- 地質環境の調査から物質移行解析に至る一連の作業の枠組みを整備するとともに、物質移行解析における移行経路情報の処理の複数のオプションを構築

物質移行解析の対象とする移行経路の例



物質移行解析結果の例(複数の方法の比較)



H12では実施しなかった、実際の地質環境を対象とした地下水流動解析と物質移行解析を接続する手順を整備

⇒ 実際の地質環境への適用性の向上

- 安全評価に係る個別技術を、深地層の研究施設計画や海外の地下研究施設での調査試験データへ適用し、実際の地質環境に適用する際に重要と考えられる課題や留意点を抽出

⇒ 実際の地質環境への適用性の向上

まとめと今後の課題

■ まとめ

全体計画に基づき、安全評価の信頼性向上に向けて安全評価の技術基盤が第2次取りまとめ(H12)以降以下のように強化された

- 核種移行データベースの整備:** 重要核種の溶解度, 分配係数(海水系, 堆積岩)などの整備 ⇒ データの拡充, データベース公開 ⇒ 透明性の向上
- 安全評価モデルの高度化:** 亀裂中の水理・物質移動, コロイド, 有機物など ⇒ 現象理解の進展, 入れ子式モデルの開発など ⇒ 実際の地質環境への適用性の向上
- 安全評価手法の整備・高度化:** シナリオ解析技術, 天然現象影響評価技術の高度化 ⇒ 合理的な評価技術の整備, 不確実性評価技術の高度化 ⇒ 不確実性の取扱いの向上
- 安全評価手法の適用性確認:** 実際の地質環境を対象とした地下水流動解析と物質移行解析の接続技術など ⇒ 実際の地質環境への適用性の向上

■ 今後の課題

エントリー, クオリティ, 深地層の研究施設計画を活用した技術基盤の継続的な強化と知見の拡充を以下のように行い, 知識ベースとして知見の蓄積を図る

- 核種移行データベースの整備:** データ(溶解度, 吸着, 拡散)の拡充, データベースの更新の継続, パラメータ設定技術としての体系化
- 安全評価モデルの高度化:** 重要な個別現象モデルの高度化の継続, 安全評価モデルとしての体系化
- 安全評価手法の整備・高度化:** 各技術の高度化の継続, 安全評価技術としての体系化
- 安全評価手法の適用性確認:** 各手法・技術の適用と調査へのフィードバックの継続, 地質環境の調査等の段階に応じた手法・技術の体系化