2012年度バックエンド週末基礎講座

地層処分の閉鎖後長期安全評価に関する取組み

2012年11月18日

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門

若杉　圭一郎

Contents

1. 地層処分における安全確保の考え方
2. 地層処分の長期安全性の確認
3. 不確実性への対処
   ーシナリオの不確実性
   ーモデルの不確実性
   ーデータの不確実性
4. 国際動向（OECD/NEAの活動を中心に）
5. まとめ

Contents

1. 地層処分における安全確保の考え方
2. 地層処分の長期安全性の確認
3. 不確実性への対処
   ーシナリオの不確実性
   ーモデルの不確実性
   ーデータの不確実性
4. 国際動向（OECD/NEAの活動を中心に）
5. まとめ

「閉じ込め（濃縮・保持）」か「希釈・分散」か？

- 「希釈・分散」の場合
  - 高レベルガラス固化体の放射能は、仮に地球上の全表層水で希釈できたとしても・・・・
- 地層処分による「閉じ込め（濃縮・保持）」の考え方を重視した戦略
  - 廃棄物中の放射性物質は時間とともに放射能が減衰し、非放射性の安定な物質へと変換していく
  - 処分場にあった放射性物質は長い時間をかけて地質環境中をゆっくりと移動するとともに，分散・希釈することから，天然に存在するウラン鉱床などと概ね同等の放射能濃度水準とみなせるようになる

*換算水量：規制で定められている水中の濃度限度以下になるまで希釈するために必要な水の量

隔離・閉じ込めを重視したシステム

- 安定な地質環境に適切に工学的対策を施すことにより，地質環境が本来有する隔離性と多重の対策（天然の地層＋人工バリア）による閉じ込めにより安全性を確保
- 地層処分システムは処分後長期において放射性物質を閉じ込めるため，人間環境への影響は遠い将来において極めてわずかしか見込まれないと考えられる

一定期間、頑健な容器で放射性物質を閉じ込めておくものの、未来永劫地層処分システムから放射性物質の漏洩がないことを示すことはできない

=>評価上の想定として、いつかは廃棄物中の放射性物質が漏れ出すことを仮定（原子炉の評価との相違）

隔離　閉じ込め

JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY
Geological Isolation and Development Directorate

実物大の人工バリア

原子力機構

模擬ガラス固化体

黒曜石

和田峠産は 80 ～ 140 万年前に生成

模試験施設（幌延）

地層処分の安全性とは？

処分場閉鎖前の安全性（操業安全性）：処分場の建設、操業、閉鎖～事業廃止までの数十年～約百年程度の期間

- 放射線安全の確保（通常の原子力施設での経験を活用）
- 一般労働安全の確保（通常の土木工事での経験を活用）

処分場閉鎖後の長期安全性：廃棄物を定置してから閉鎖後以降数万年以上の長期にわたる期間

- 適切なサイト選定
- 天然の岩盤を含む処分場システムによる工学的対策
- 長期間の安全性の評価

人類がかつて経験したことのない巨大システムと評価期間
=> 地層処分に特有なものとして考慮する必要がある！

Contents

1. 地層処分における安全確保の考え方
2. 地層処分の長期安全性の確認
3. 不確実性への対処
   ーシナリオの不確実性
   ーモデルの不確実性
   ーデータの不確実性
4. 国際動向（OECD/NEAの活動を中心に）
5. まとめ

どのように安全性を確認するのか？

地層処分の特有の問題を考慮すれば、（一般的な人工構造物のように）試作品による実験を積み重ね、その安全性を直接確認するということは不可能

- 将来の状態を想像し、それを定量的に表現するモデルを開発し、それらを用いて予測解析すること（安全評価）によって安全性を確認
- この“予測”は、将来の人間への影響を言い当てる必要はなく、安全性の基準と比較するための判断材料を提供することが主旨
- 処分事業の進展に応じて蓄積する情報（調査による地質環境情報、科学技術の進展　など）に基づいて、各段階において繰り返し安全評価を実施

安全評価の信頼性は？

安全評価の結果だけで、遠い未来の安全性を判断できるのか

セーフティーケースの概念

A safety case is the synthesis of evidence, analyses and arguments that quantify and substantiate a claim that the repository will be safe after closure and beyond the time when active control of the facility can be relied on.

セーフティケースは，閉鎖された後の制度的な管理の維持が保証できないような時間枠においても，処分場が安全であり続けるとする主張を定量化し立証するための証拠，解析さらには論拠の統合体である。

Post-Closure Safety Case for Geological Repositories: Nature and Purpose (NEA, 2004)

（NEA, “Safety Case Brochure”, 2004）

地層処分システムがどのように機能するか？
（システム長期挙動の理解）　処分後 0年

JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY
Geological Isolation and Development Directorate

地層処分システムがどのように機能するか？
（システム長期挙動の理解）　処分後 数十年

地層処分システムがどのように機能するか？
（システム長期挙動の理解）　処分後 数百年

JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY
Geological Isolation and Development Directorate

地層処分システムがどのように機能するか？
（システム長期挙動の理解）　処分後 数千年

地層処分システムがどのように機能するか？
（システム長期挙動の理解）　処分後 数万年

JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY
Geological Isolation and Development Directorate

地層処分システムがどのように機能するか？
（システム長期挙動の理解）　処分後 数十万年

地層処分システムがどのように機能するか？
（システム長期挙動の理解）　処分後 数百万年

システムに期待する主な安全機能

核種移行評価モデル

地層処分研究開発第2次取りまとめ(H12)での例

・廃棄体は処分後1000年で全て破損
・断層に最も近い廃棄体(1本)のみ評価

人工バリアから放出された核種は最短距離(100m)を通って全て断層に移行

モデルチェイン

第2次取りまとめの結果(レファレンスケース)

Contents

1. 地層処分における安全確保の考え方
2. 地層処分の長期安全性の確認
3. 不確実性への対処
   ーシナリオの不確実性
   ーモデルの不確実性
   ーデータの不確実性
4. 国際動向（OECD/NEAの活動を中心に）
5. まとめ

安全評価の枠組み

安全評価における不確実性の取り扱い

- シナリオの不確実性
  - 重要な要因とその相互作用に抜け落ちがなく、システムの長期挙動による影響を適切に包含できているか？

長期挙動による影響を十分に包含する解析ケースの設定

- モデルの不確実性
  - 現象を適切に概念モデルとして表しているか、数学モデルへの簡略化は適切か、計算コードの作成に誤りはないか？

簡略かつ保守的なモデル設定、現象理解を踏まえた現実性の向上

- データの不確実性
  - 知見や情報は十分か、自然界のばらつきを適切にとらえているか？（ほか、データの解釈は適切か？測定誤差は？）

保守的なパラメータ設定、知見等に基づく信頼性向上

シナリオにおける不確実性への対応

包括的FEPリストの作成
- 国際機関（OECD/NEA、IAEA）や各国で作成されたFEPリストとの比較による網羅性の確認
- 専門家のレビュー

↓

FEP内容の明確化
- 最新の科学技術情報の利用
- 追跡性の確保

↓

安全評価で考慮するFEPの選択
- 選択されたFEPの妥当性の確認
- 排除されたFEPについての判断根拠の確認
- 追跡性の確保

サイト選定により影響が回避できるFEP
工学的対策により影響が回避できるFEP
発生確率がきわめて小さいFEP
安全機能への影響が無視できるほど小さいFEP

↓

シナリオの作成
- 専門家のレビュー

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

第2次取りまとめでの包括的FEPリスト

	G. ガラス固化体とその近傍	OP. オーバーパック（腐食生成物含む）	B. 緩衝材	D. プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材	H. 母岩（掘削影響領域，断層破砕帯含む）
1. 熱的現象・特性	G-1.1 ガラス固化体の熱物性 G-1.2 ガラス固化体の温度 G-1.3 ガラス固化体の熱膨張 G-1.4 崩壊熱の発生	OP-1.1 オーバーパックの熱物性 OP-1.2 オーバーパックの温度 OP-1.3 オーバーパックの熱膨張	B-1.1 緩衝材の熱物性 B-1.2 緩衝材の温度 B-1.3 緩衝材の熱膨張	D-1.1 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の熱物性 D-1.2 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の温度 D-1.3 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の熱膨張	H-1.1 母岩の熱物性 H-1.2 母岩の温度 H-1.3 母岩の熱膨張
2. 水理学的現象・特性			B-2.1 緩衝材の水理特性 B-2.2 緩衝材の飽和 B-2.3 緩衝材中での地下水流動	D-2.1 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の水理特性 D-2.2 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の飽和 D-2.3 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材中での地下水流動	H-2.1 母岩の水理特性 H-2.2 母岩の飽和 H-2.3 母岩中での地下水流動
3. 力学的現象・特性	G-3.1 ガラス固化体の力学特性 G-3.2 ガラス固化体の応力 G-3.3 ガラス固化体の割れ	OP-3.1 オーバーパックの力学特性 OP-3.2 オーバーパックの応力 OP-3.3 オーバーパックの破損 OP-3.4 オーバーパックの腐食膨張 OP-3.5 オーバーパックの沈下	B-3.1 緩衝材の力学特性 B-3.2 緩衝材の応力 B-3.3 緩衝材の膨潤 B-3.4 緩衝材の変形 B-3.5 緩衝材の流出	D-3.1 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の力学特性 D-3.2 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の応力 D-3.3 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の膨潤 D-3.4 プラグ，支保，埋め戻し材の変形 D-3.5 プラグ／グラウト，埋め戻し材の流出	H-3.1 母岩の力学特性 H-3.2 母岩の応力 H-3.3 母岩のクリープ
4. 化学的現象・特性	G-4.1 ガラス固化体の化学特性 G-4.2 ガラス固化体周囲の地下水化学 G-4.3 ガラス固化体の溶解 G-4.4 ガスの発生／影響 G-4.5 微生物の影響 G-4.6 有機物の影響 G-4.7 コロイドの形成 G-4.8 ガラス固化体の化学的変質	OP-4.1 オーバーパックの化学特性 OP-4.2 オーバーパックの地下水化学 OP-4.3 オーバーパックと地下水の反応 OP-4.4 オーバーパックの腐食 OP-4.4.1 全面腐食 OP-4.4.2 孔食 OP-4.4.3 すきま腐食 OP-4.4.4 応力腐食割れ OP-4.5 腐食生成物の生成 OP-4.6 ガスの発生／影響 OP-4.7 微生物の影響 OP-4.8 有機物の影響 OP-4.9 コロイドの形成	B-4.1 緩衝材の化学特性 B-4.2 緩衝材中の地下水化学 B-4.3 緩衝材と地下水の反応 B-4.4 ガスの発生／影響 B-4.5 微生物の影響 B-4.6 有機物の影響 B-4.7 コロイドの形成 B-4.8 緩衝材の化学的変質 B-4.9 塩の蓄積	D-4.1 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の化学特性 D-4.2 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材中の地下水化学 D-4.3 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材中と地下水の反応 D-4.4 ガスの発生／影響 D-4.5 微生物の影響 D-4.6 有機物の影響 D-4.7 コロイドの形成 D-4.8 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の化学的変質	H-4.1 母岩の化学特性 H-4.2 母岩中の地下水化学 H-4.3 母岩と地下水の反応 H-4.4 ガスの発生／影響 H-4.5 微生物の影響 H-4.6 有機物の影響 H-4.7 コロイドの形成 H-4.8 母岩の化学的変質
5. 放射線学的現象・特性	G-5.1 ガラス固化体中での核種の放射性崩壊 G-5.2 ガラス固化体周囲の地下水の放射線分解 G-5.3 ガラス固化体の放射線損傷	OP-5.1 腐食生成物中での核種の放射性崩壊 OP-5.2 腐食生成物中の間隙水の放射線分解 OP-5.3 腐食生成物の放射線損傷	B-5.1 緩衝材中での核種の放射性崩壊 B-5.2 緩衝材中の間隙水の放射線分解 B-5.3 緩衝材の放射線損傷	D-5.1 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材中での核種の放射性崩壊 D-5.2 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材中の地下水の放射線分解 D-5.3 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の放射線損傷	H-5.1 母岩中での核種の放射性崩壊 H-5.2 母岩中の間隙水の放射線分解 H-5.3 母岩の放射線損傷
6. 物質（核種）移動現象・特性	G-6.1 ガラス固化体周辺の物質移動特性 G-6.2 ガラス固化体からの核種の溶出 G-6.2.1 核種のコングルエントな溶出 G-6.2.2 沈澱／溶解	OP-6.1 腐食生成物の物質移動特性 OP-6.2 幾何形状／間隙構造 OP-6.3 腐食生成物中の核種の移行 OP-6.3.1 移流／分散 OP-6.3.2 拡散 OP-6.3.3 収着 OP-6.3.4 沈澱／溶解 OP-6.3.5 コロイドによる移行 OP-6.3.6 ガスによる移行	B-6.1 緩衝材の物質移動特性 B-6.2 幾何形状／間隙構造 B-6.3 緩衝材中の核種の移行 B-6.3.1 移流／分散 B-6.3.2 拡散 B-6.3.3 収着 B-6.3.4 沈澱／溶解 B-6.3.5 コロイドによる移行 B-6.3.6 ガスによる移行	D-6.1 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の物質移動特性 D-6.2 幾何形状／間隙構造 D-6.3 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材中の核種の移行 D-6.3.1 移流／分散 D-6.3.2 拡散 D-6.3.3 収着 D-6.3.4 沈澱／溶解 D-6.3.5 コロイドによる移行 D-6.3.6 ガスによる移行	H-6.1 母岩の物質移動特性 H-6.2 幾何形状，間隙／亀裂の構造 H-6.3 母岩中の核種の移行 H-6.3.1 移流／分散 H-6.3.2 拡散 H-6.3.3 収着 H-6.3.4 沈澱／溶解 H-6.3.5 コロイドによる移行 H-6.3.6 ガスによる移行 H-6.4 臨界
7. システムの擾乱となり得る現象	G-7.1 ガラス固化体の組成不良	OP-7.1 オーバーパックの製作不良	B-7.1 緩衝材の製作不良 B-7.2 緩衝材の施工不良	D-7.1 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の製作不良 D-7.2 プラグ／グラウト，支保，埋め戻し材の施工不良	
	天然現象（NP-1 地震・断層活動，NP-2 隆起・侵食，NP-3 火山・火成活動，NP-4 気候・海水準変動，NP-5 隕石の落下）				
	HA-1 ボーリング，HA-2 井戸の掘削・採水（探査，採鉱，地下空間利用，土木工事）				

アプローチと課題

- ボトムアップアプローチ
  - 包括的FEPリストの作成
  - 評価で考慮すべきFEPの選択
  - **FEPの相関関係の把握**
  - 評価すべきシナリオの構築
  - 解析ケースの設定

シナリオの構築プロセスとその内容がわかりにくい

図 5.4.4 FEP の主要な相関関係についてのインフルエンスダイアグラム

わかりやすい半面、重要な影響要因が網羅されていることを示しにくい

- トップダウンアプローチ
  - システムに期待する安全機能を考え、それに対する影響要因をトップダウン的に検討することによりシナリオを導く

シナリオ構築 *FepMatrix*の開発

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

計算機上に具現化

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

トップダウン

ボトムアップ

計算機支援ツール*FepMatrix*への展開

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ヤグラム表示による解析のイメージ

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

モデルの不確実性（移行経路モデル）

実際の地質環境で考えられる移行経路

移行経路のショートカット

簡略化

地質環境に応じた処分場のレイアウト

簡略化

断層破砕帯から一定距離に配置

実際の地質環境条件を対象とした移行経路の設定

- 地下水流動評価
- 移行経路の設定
- 移行経路の特徴
- 核種移行モデル
- データ
- 核種移行評価

移行経路の色
- 堆積岩
- 上部割れ目帯
- 割れ目低密度帯
- 月吉断層
- 断層

地下水流動評価
- 地下水浸透解析
- 地下1,000mの任意の１点から10,000の経路を抽出（10,000個の粒子を用いた粒子追跡法による）

実際の地質環境条件を対象とした移行経路の設定

モデルの不確実性
（周辺母岩の移行に対する新規モデル）

●背景

- 不確実性解析の結果に基づけば，母岩の透水性が地層処分の安全性に与える影響は大きい。すなわち，第2次取りまとめの安全確保の概念（ニアフィールドアプローチ）においては，人工バリアの周辺母岩（EDZ）の透水性が重要
- 第2次取りまとめでは，EDZ内の核種の移行を保守的に無視し，緩衝材外側に到達した核種は瞬時にEDZを通過する地下水と混合し，全て母岩中の亀裂に移行するという簡単な1次元モデルを適用

●目的

- EDZ中の核種移行を取り扱えるコードを開発し、既往の簡略的なEDZモデル（e.g. 第2次取りまとめのモデル）が潜在的に含む不確実性の大きさを定量的に把握すること

2次元人工バリア・EDZ中核種移行解析コードの開発

2次元化することにより以下のプロセスをモデル化

- 緩衝材と接する母岩健岩部への拡散移行
- EDZ内亀裂から健岩部への核種の移行
- 健岩部での核種の吸着
- 緩衝材から，直接，流動性亀裂への核種の移行

人工バリア中核種移行

$$\frac{\partial A_{ij}^{B}(r,z,t)}{\partial t}=\varepsilon^{B}Dp_{i}^{B}\frac{1}{r}\frac{\partial}{\partial r}\left(r\frac{\partial C_{ij}^{B}(r,z,t)}{\partial r}\right)+\varepsilon^{B}Dp_{i}^{B}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial C_{ij}^{B}(r,z,t)}{\partial z}\right)-\lambda_{ij}A_{ij}^{B}(r,z,t)+\lambda_{IJ}A_{IJ}^{B}(r,z,t)$$

亀裂中核種移行

$$\frac{\partial C_{ij}^{F}(r,t)}{\partial t}=-\frac{Q^{F}}{Af}\cdot\frac{\partial C_{ij}^{F}(r,t)}{\partial r}-\lambda_{ij}C_{ij}^{F}(r,t)+\lambda_{IJ}C_{IJ}^{F}(r,t)-\frac{FWS}{b}\cdot De_{i}^{M}\cdot\frac{\partial C_{ij}^{M}(r,z,t)}{\partial z}$$

マトリクス中核種移行

$$R_{i}\frac{\partial C_{ij}^{M}(r,z,t)}{\partial t}=Dp_{i}^{M}\left(\frac{\partial^{2}C_{ij}^{M}(r,z,t)}{\partial r^{2}}+FWS\frac{\partial^{2}C_{ij}^{M}(r,z,t)}{\partial z^{2}}\right)-\lambda_{ij}R_{i}C_{ij}^{M}(r,z,t)+\lambda_{IJ}R_{i}C_{IJ}^{M}(r,z,t)$$

A^{B}：緩衝材中における単位体積あたりの核種の総量［mol/m³］
C^{B}：緩衝材中の核種濃度［mol/m³］
C^{F}：亀裂中の核種濃度［mol/m³］
C^{M}：マトリクス中の核種濃度［mol/m³］
Dp^{B}：緩衝材中での間隙水中の拡散係数［m²/yr］
Dp^{M}：マトリクス中での間隙水中の拡散係数［m²/yr］
De^{M}：実効拡散係数［m²/yr］
FWS：拡散寄与面積率［-］
b：亀裂開口幅の1/2［m］
Q^{F}：亀裂内流量の1/2［m³/yr］
Af：亀裂の断面積［m²］
R：マトリクス中での遅延係数［-］
ε^{B}：緩衝材中の間隙率
λ：崩壊定数［1/yr］
r：半径方向の距離［m］
z：軸方向の距離［m］
t：時間［yr］

2次元核種移行解析結果
（第2次取りまとめとの比較）

Pu-239のEDZからの移行率

EDZの移行遅延を考慮した2次元モデルの最大移行率は、EDZの移行遅延を無視した1次元モデルより約3桁減少

Cs-135のEDZからの移行率

EDZの移行遅延を考慮した2次元モデルの最大移行率は、EDZの移行遅延を無視した1次元モデルより約1桁減少

第2次取りまとめでのEDZ中核種移行の取り扱いについて，保守性の程度を定量的に示すための技術基盤を整備

プロセスモデルの役割

モデルの不確実性
（岩盤の不均質性を考慮したモデル）

■ 背景

- 安全評価の観点から設計オプション間の差異を評価する場合，既存の評価モデルでは，人工バリアの三次元的形状や周囲の岩盤の不均質性が保守的に簡単化されるため，安全評価の観点から設計オプション間の差別化が困難な状況であった。
- 岩盤では，透水性の高い亀裂と岩盤基質部が共存することになる。一方，従来の差分法に基づく数値解析では，このような透水性のコントラストの強い流速場において解の収束性が悪いという欠点があり，現実的な核種移行モデルの開発を困難にさせていた。

新しい手法を用いた3次元核種移行解析コードの開発

処分孔竪置方式

処分坑道横置方式

JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY
Geological Isolation and Development Directorate

3次元核種移行解析コードの開発

ランダムウォーク法という従来の数値解と同等の解を得ることが可能であり，計算効率が岩盤の透水性のコントラストの影響を受けにくい手法を用いた3次元核種移行解析コードを新たに開発

手順

地質環境調査に基づく情報の整理（透水割れ目分布の統計情報、岩石基質部分の透水特性）、領域の設定

↓

処分施設（坑道、人工バリア等）の設定

↓

3次元地下水流動解析

↓

3次元核種移行解析
（パーティクルトラッキング法）

↓

調査，設計と性能評価（核種移行）の反復的な検討の試行

ほとんどの粒子は坑道内か直近に留まる

透水性の特に高い亀裂に沿って岩盤中を移行

大規模かつ高透水性の亀裂に進入した粒子は下流端まで流下

平均的な透水性の亀裂内を移行する粒子が下流端に到る

3次元核種移行解析コードの解析例
－設計オプションの比較－

【人工バリア定置方式の違い】

- 竪置方式，横置方式の安全性に大きな違いはない。
- このような評価に基づけば，定置方式に関する設計オプションの選定においては，安全性の観点よりも，工学的実現性や経済性に重点を置いた絞込みが適切である。

【止水プラグの影響】

- 坑道交差部をプラグで止水しても，プラグを回り込んで核種が断層に流入するため，プラグによる核種の閉じ込め効果が小さい。
- このことから，処分場の建設や操業を安全に進めるためにはプラグの止水効果は有効と考えられるものの，長期的な安全性の観点からは，プラグの止水効果よりも，断層から一定の距離を確保してガラス固化体を定置するほうが効果的である。

データの不確実性

決定論的な評価（離散的）　　確率論的な評価（網羅的）

第2次取りまとめの評価

不確実性の取り扱いと結果の対応が分かりやすいが，複数の不確実性が同時に影響する場合，結果のばらつきを表現することができないため，網羅性の観点で課題が残る。

地層処分の安全性に影響する可能性のある不確実性因子を包括的に評価するために汎用コード（GoldSim）を用いた確率論的解析コードを整備

■ データ不確実性解析の結果

- ➢ データ不確実性を網羅的に考慮した解析を実施し，結果のばらつきを定量的に把握
- ➢ 決定論的評価の保守性や十分性、最大線量を生じるパラメータの組み合わせなどを示すことが可能

■ 感度分析

- ➢ 重要な不確実性を把握することは，安全評価の信頼性をより高めていくために不可欠
- ➢ 安全評価では，数十もの入力パラメータが線量という1次元の出力空間に織り込まれるため，入出力の関係が極めて複雑
- ➢ このため複数の多変量解析手法を組み合わせた新たな感度分析手法を開発

順位	クラスター1	クラスター2	クラスター3
1	母岩の透水量係数	母岩の透水量係数	母岩の透水量係数
2	岩盤に対するCsの分配係数	マトリクス拡散深さ	マトリクス拡散深さ
3	マトリクス拡散深さ	岩盤に対するCsの分配係数	岩盤に対するUの分配係数
4	マトリクス拡散寄与面積率	マトリクス拡散寄与面積率	岩盤に対するThの分配係数
5	ガラスの溶解速度	Npの溶解度	岩盤に対するCsの分配係数

偏回帰係数に基づく
重要パラメータの
ランキング

Contents

1. 地層処分における安全確保の考え方
2. 地層処分の長期安全性の確認
3. 不確実性への対処
   ーシナリオの不確実性
   ーモデルの不確実性
   ーデータの不確実性
4. 国際動向（OECD/NEAの活動を中心に）
5. まとめ

スウェーデンの動向

- 2009年6月処分実施主体であるSKBが最終処分地としてフォルスマークを選定
- 2011年3月にSKBが規制機関であるSSMへ処分場建設に関する許認可書を申請
- これを受け、SSMは、SKBが作成したセーフティーケースについてOECD/NEAによる国際ピアレビューを依頼
- 2012年6月、国際ピアレビューの最終報告会において、SKBのセーフティーケースが将来の許認可の可否を検討する上で十分に信頼できる、と結論
- 現在、規制機関（SSM）による許認可申請の審査中。実際の操業は、2025年ごろになる見通し。

=>国際ピアレビューは、もはや許認可において不可欠なプロセスになりつつある。また、高レベルのみならず低レベルのセーフティーケースも対象。

ステークホルダーの関与

NEAプロジェクト：Forum on Stakeholder Confidence (FSC)

- プロジェクトの目的
  - 地層処分を社会学的な側面からの検討
  - 意志決定プロセスに関する信頼性向上を目指した、ステークホルダーとの効果的な対話のための手段を調査・研究
- 毎年国際ワークショップを開催
  - ホスト国のステークホルダー（実施主体、規制当局、地元自治体代表、住民）が多数参加
  - それぞれの立場で廃棄物管理に対する意見、懸念などを出し合い、対話（ダイアログ）を通じて、国際的な学習の場を提供
  - 2012年10月にチェコで開催
  - トピカルセッション：地域住民の関与とネットメディアの活用（Twitter, Facebookなど）

Topicalな課題

- 操業安全
  - SKBを始め世界の地層処分事業は、Feasibility Studyのフェーズから、Industrializationのフェーズへ
  - 施設を受け入れる地元住民の不安は、数万年先の安全性よりも、目先の操業安全
  - OECD/NEA主催で操業安全に関する国際ワークショップを開催（2012年1月）

  【主な議論の内容】
  - ✓ 操業安全 vs 閉鎖後長期安全
  - ✓ 複数のパネルについて建設、操業を並行して進めることに対する技術的課題（影響の種類、範囲、クライテリア）
  - ✓ 建設の許認可における自由度の重要性とその範囲（地下環境は掘削時に最も情報が得られる）
- 福島原発事故支援
  - 国際シンポジウム・ワークショップ、国際共同プロジェクトなどを通じて、事故対応や放射線防護に関する世界の知識・経験を福島対応へフィードバック。
  - **日本からの情報発信の重要性・・・・**

グローバルな人材育成に向けた提言

- 英語で損をするのはもったいない。（日本の技術レベルは世界トップクラス）
- 積極的に海外へ行くべき。
  - 英語での情報発信は必須！
  - 英語に触れる機会を習慣化
  - 全ては経験値！
- 地層処分は人類最大級のチャレンジングな問題。国境を越えた協働が必要。そのためには文化の違いを超えて多様な人と議論すること。国際貢献は我々に与えられた義務！

まとめ

- 地層処分の安全評価では、性能の控えめな見積もり、最新の科学技術の知見の取り込み、繰り返しの評価、追跡性・客観性の確保、国内外のピアレビューを通じた信頼性向上を、常に意識して評価に取り組むことが肝要
- 安全評価の最大の課題は不確実性への対処。サイト調査、処分場設計と連携し、最新の科学技術を駆使して、可能な限りその安全性への影響を小さくすることが極めて重要
- 安全と安心はセット。地層処分の安全性を論じる際には、技術論のみならず、多様な文化に触れ、物事を多面的に捉えられるように、見識を高めていくことも必要。

JAPAN ATOMIC ENERGY AGENCY
Geological Isolation and Development Directorate

Further information:
wakasugi.keiichiro@jaea.go.jp