

処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に向けた取組みの現状

核燃料サイクル開発機構
東海事業所 処分研究部
次長 油井 三和

1. はじめに

処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に向けた研究開発は、事業段階における我が国の地層処分技術の基盤強化の一環として進められている。東海事業所のエントリーおよびクオリティ等における研究開発は、幌延深地層研究センターや東濃地科学センターで段階的に進められる研究開発と連携し、国際共同研究における最新の知見も取り込みつつ実施している。

処分技術の信頼性向上の目的は、人工バリアや周辺岩盤における長期的な現象について、メカニズムの理解に基づくモデルやデータベースを構築し、実際の地質環境に対して設計手法等の適用性を確認するとともに、安全評価の前提となる処分場の長期挙動を予測することである。安全評価手法の高度化の目的は、実際の地質環境に適用可能でかつ信頼性の高い安全評価に向けた基盤技術を開発することである。これらの目的のために、エントリーおよびクオリティ等における室内試験および原位置試験データを活用し、データベース、モデルおよび安全評価手法の開発を進めてきた。平成17年度に、これらの研究成果を取りまとめ、公開する予定である。

2. 研究開発課題

1) 処分技術の信頼性向上に関する研究開発課題

処分技術の信頼性向上に関する研究開発課題として、以下の①～④を進めている。①人工バリアの基本特性データベースの整備については、オーバーパックおよび緩衝材について幅広い地質環境を考慮し、塩水系地下水、幌延地下水や高アルカリ性環境等のデータの拡充を図るとともに、緩衝材基本特性データベースの公開に向け作業を進めた。②人工バリア等の長期複合挙動に関する研究については、これまでの経験則に基づくモデル開発から X 線 CT 等による現象理解や数値実験手法の開発を進め、信頼性を高めるとともに、ナチュラルアナログ研究等も活用して、評価の妥当性の確認を行っている。③人工バリア等の工学技術の検証については、実際の地質環境への適用を視野に入れた工学技術や設計手法の検討を行うとともに、閉鎖技術の検証試験や人工材料の開発を進めている。閉鎖技術については、カナダ AECL との国際共同研究でトンネルシーリング試験を実施中で、本年度完了の予定である。④設計手法の適用性確認については、「第2次取りまとめ」の設計手法に基づき、幌延の地質環境における設計検討を進めた。

2) 安全評価手法の高度化に関する研究開発課題

安全評価手法の高度化に関する研究開発課題では、以下の⑤～⑧の項目を進めている。⑤核種移行のデータベース整備では、クオリティを中心に、主に還元環境や幌延地下水等の条件で核種移行データを拡充した。また、公開性、透明性の観点から、核種移行データベースの国内外への公開を進めた。⑥安全評価モデルの高度化では、核種の溶解現象に関する研究として、ラジウム等について共沈や固溶体モデルの開発を進めた。また、亀裂性媒体・多孔質媒体中における基本的なコロイド移行評価モデルの構築、地上からの調査研究段階を対象とした地下水流動評価手法の整備等を進めた。⑦安全評価手法の整備・高度化では、シナリオやモデル不確実性に関する検討、技術情報統合システムの開発を進めた。⑧安全評価手法の適用性確認では、深地層の研究施設計画において段階的に得られる情報等を参考に、地質環境調査および安全評価の研究者間の連携作業を通じて、実際の地質環境条件に基づく物質移行評価手法の構築および天然現象の事例研究成果に基づく、天然現象影響評価手法の具体化等を進めている。

3. 研究開発成果

1) 処分技術の信頼性向上に関する研究開発成果

① 人工バリアの基本特性データベースの整備

金属製オーバーパックスの腐食寿命評価に関する研究については、炭素鋼ではマグネタイト共存下での水素発生反応の加速挙動を調査し、マグネタイトによる影響は顕著ではないことを示した（谷口ほか、2004）。また、チタンでは、還元環境における水素脆化に関する基本データの取得（鈴木ほか、2003）、銅では高 pH、酸化性環境での腐食局在化等のデータを取得した（川崎ほか、2004）。さらに、緩衝材の基本特性データベースのもととなるデータ集を作成し、公開した（菊池・棚井、2004）。

② 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

緩衝材の長期挙動評価の一環として、X線 CT を用いた緩衝材中のガス移行挙動に関する研究や力学的変形挙動のモデル化研究等を進めた（棚井・松本、2003）。X線 CT を用いた研究では、緩衝材の流出・侵入挙動に引続き、ガス移行挙動についても適用性を確認した（松本・棚井、2004）。その結果、ガスは緩衝材中を一樣に移行するのではなく、選択的な移行経路の形成による挙動であることがわかり、解析との比較によりガス移行モデルの妥当性も示すことができた。緩衝材の力学変形挙動のモデル化では、岩盤-緩衝材のクリープ連成モデルのプロトタイプモデルを構築した。岩盤の力学的変形挙動の研究では、幌延の地質条件でのシミュレーションを行い、変形量は第 2 次取りまとめの標準的な軟岩と同等であること、緩衝材による内圧効果や掘削直後の支保工対策の影響が顕著なこと等が確認された。

金属のナチュラルアナログ研究について、千年程度に及ぶ弱酸化性～還元雰囲気と思われる考古学試料の事例データを拡充し、第 2 次取りまとめの腐食評価の保守性を示した。

③ 人工バリア等の工学技術の検証

閉鎖技術に関しては、カナダ AECL とのシーリング性能試験を踏まえて、閉鎖性能の取りまとめを行うとともに、室内試験により海水条件下における埋戻し材性能に関するデータを取得した（菊池ほか、2003）。

人工材料の開発では支保工材料として低アルカリ性セメントの開発を行っている。低アルカリ性セメントは、緩衝材の変質やオーバーパックスの腐食に対して顕著な影響を与えない材料として開発を進めており、強度要件を満たす候補材料が室内試験で開発され、現在 pH 低下に関する室内試験およびモデル化を実施している。また、幌延の深地層研究施設に適用するための材料特性の設定を行った。

④ 設計手法の適用性確認

深地層の研究施設における地質環境調査および処分技術の研究者間の連携作業により、人工バリア設計等で用いる地球化学、力学、熱特性の設定を行うとともに、オーバーパックス、緩衝材の仕様や坑道離間距離に関する設計検討を進めている（栗原ほか、2004a,b）。

2) 安全評価手法の高度化に関する研究成果

① 核種移行データベースの整備

核種移行データベースの整備では、これまでにサイクル機構で開発してきた熱力学および収着データについてデータベースとして取りまとめ、国内外に公開しているが、ユーザーの指摘等による改良や収着データベースの更新を行った。

また、還元雰囲気における pH、イオン強度をパラメータとした NpO_2 の溶解度積の導出、幌延堆積岩に対する Cs 等の収着挙動、ベントナイトコロイドに対する Np の収着挙動に関する研究を実施した。

② 安全評価モデルの高度化

より現実的な核種溶解現象の解明に関して、Ra-Ca-CO₃等の共沈現象の解明を進め、簡易な分配モデル、固溶体モデルによる解釈を行った。コロイド影響評価モデルの開発では、コロイド特性の測定、スイスNagraとの共同研究による原位置試験・モデル解析、室内試験によるモデルの検証等を踏まえ、亀裂性媒体、多孔質媒体の特徴を踏まえた基本的なコロイド移行現象解析モデルを構築した(Kurosawa, et al., 2004)。また、有機物/微生物影響評価モデルの開発においては、天然有機物/微生物と核種の相互作用に関する情報を取りまとめるとともに、微生物に関しては影響評価モデルの概念を構築した。

岩盤中の水理物質移行モデルの開発では、地上からの調査研究段階における地下水流動評価の手法の整備する一環として、確率有限要素法による浸透流解析に基づいた任意点からの地下水移行経路とその到達点および到達範囲の定量化手法を開発した。

③ 安全評価手法の整備・高度化

不確実性評価技術開発においては、シナリオ不確実性について、天然現象の事例研究成果を取り込むことにより影響評価の方法論の開発を進めるとともに、モデル不確実性については、ガラス固化体からの核種溶出が割れによる表面積の増加に比例しないことをモデル解析により確認した。

地層処分技術に関する研究開発を進める中で生じる種々の技術情報のやりとりを支援するために開発した技術情報統合システムに関しては、地質環境の情報を物質移行解析に受け渡す作業などを対象に試運用を開始した。

4. おわりに

東海事業所では、今後とも処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化に関する研究開発分野について、2つの深地層の研究施設計画の成果も踏まえ、エントリー、クオリティ等の施設を活用した基盤的な研究開発に関して、相互の連携を図りながら効率的に進め成果を集約していく。特に、平成17年度には、事業や規制への反映を念頭に第2次取りまとめ以降の成果を取りまとめ、公開する予定である。

参考文献

- 川崎学, 谷口直樹, 川上進 (2004) : 大気吹き込み下での模擬地下水中における純銅の腐食速度と腐食局在化, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2003-041.
- 菊池広人, 棚井憲治, 杉田裕(2003) : 海水系地下水条件下における埋め戻し材特性に関する基礎試験, サイクル機構技術資料, JNC TN8430 2003-008.
- 菊池広人, 棚井憲治 (2004) : 緩衝材の基本特性データベース, サイクル機構技術資料, JNC TN8450 2003-010.
- 栗原雄二ほか (2004a) : 幌延深地層研究計画における処分技術に係わる原位置試験概念の検討, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2004-002.
- 栗原雄二ほか (2004b) : 人工バリア等の設計検討および幌延の地質環境を条件とした原位置試験環境の検討, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2004-006.
- Kurosawa, S., Ibaraki, M., Yui, M., Ueta, S. and Yoshikawa, H.(2004): "Experimental and Numerical Studies on Colloid-Enhanced Radionuclide Transport, - The Effect of Kinetic Radionuclide Sorption onto Colloidal Particles -", Mat. Res. Soc, Symp, Proc., Vol. 824, pp.473-478.
- 松本一浩, 棚井憲治 (2004) : 緩衝材の流出/侵入特性, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2003-035.
- 鈴木浩幸, 谷口直樹, 川上進 (2003) : 還元性環境下におけるチタンの腐食速度と水素吸収挙動, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2003-003.
- 棚井憲治, 松本一浩 (2003) : X線 CT法の適用性に関する検討, サイクル機構技術資料, JNC TN8430 2003-001.
- 谷口直樹, 建石剛, 西村務, 川上進(2004) : 模擬腐食生成物中 Fe(III)/Fe(II)比による炭素鋼の腐食挙動への影響, サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2003-049