

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
部長 石川 博久

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、エントリーおよびクオリティ等における研究開発と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および海外の地下研究施設等を活用した国際共同研究を有機的に連携し、東海事業所を中心に実施している。

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、実際の地質環境に適用可能な設計手法等の適用性を確認することであり、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、シナリオ、モデル、データベースの開発を進めてきた。これらの成果については、学会や国際会議等を通じて公開し、専門家や関係者等の意見を取り入れつつ進めている。

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は、オーバーパックおよび緩衝材等の人工バリア材料について幅広い地質環境を考慮し、降水系地下水のデータに加えて、塩水系地下水や高アルカリ性環境等のデータの充実を図っている。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メカニズムに基づくモデル開発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により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性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、平成16年度中に完了の予定である。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、幌延深地層研究計画への適用を考慮し、原位置での人工バリア試験等を検討している。

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は、クオリティを中心に基礎的データである溶解、収着、拡散等のデータについて、主に還元環境で塩水系地下水等の条件でデータ拡充を図っている。また、公開性、透明性の観点から、これまでにまとめたデータをデータベースとして整備し利便性を図っている。⑥安全評価モデルの高度化では、地層処分システムに関連する現象への理解をさらに深め、より現実に即した評価手法へと改良、高度化を図っていくことを目標にモデルの開発を進めている。⑦安全評価手法の整備・高度化では、シナリオ等の安全評価基盤の整備、不確実性評価技術、技術情報統合システムの整備を実施している。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、実際の地質環境条件に対する安全評価手法の適用性を検討することを通じて、安全評価に関する研究開発課題を抽出するとともに、不確実性低減の観点からの地質環境調査の課題を抽出する。今後、実際に調査から評価までの連携作業を具体化するとともに、その際の留意事項を整理していく予定である。

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

炭素鋼オーバーパックスの腐食挙動で、特にセメントの使用を想定した高アルカリ性環境での腐食の局在化を試験した。平均腐食深さと孔食係数の関係は、腐食の進展とともに孔食係数は小さくなり、緩衝材中では全面腐食での孔食係数の値とほぼ同等で、普通セメント使用の環境でも著しい腐食の局在化は生じないと考えられる(Taniguchi et al., 2003)。

② 人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

緩衝材の長期健全性評価の一環で、周辺岩盤の亀裂への緩衝材の侵入および地下水による浸食現象の解明を進めている。緩衝材の亀裂への侵入現象については、海水系地下水は降水系地下水より亀裂への侵入がかなり小さく、緩衝材の膨潤挙動と整合する。亀裂への侵入距離は概ね時間の平方根に比例(松本・棚井, 2003)しているが、X線CTを用いた非破壊による亀裂中の緩衝材の密度分布測定では、非線形の密度分布が示され、この挙動をモデル化に反映させていく予定である。

処分場閉鎖後千年程度の比較的短期のニアフィールドの変遷を定量的に把握し、現実的な評価を行うために、熱-水-応力-化学(THMC)連成挙動に関する研究を行っている。THMC連成モデル/解析コードのプロトタイプの開発を進めており、試解析の結果と「第2次取りまとめ」の解析結果との整合性を確認した(Ito et al., 2003 など)。今後、開発したモデルをエンタープライズでの室内試験(COUPLE)や幌延等での原位置試験で確認していく予定である。

金属のナチュラルアナログ研究について、従来の数十年程度の埋設鋼管材料より長期試料として考古学出土品を対象に研究を進めている。環境条件が明確な試料を中心に、数百年から千年程度の鉄製品の腐食挙動を調べた結果、「第2次取りまとめ」で予測した腐食量より小さいことが認められた(Yoshikawa et al., 2003)。

③ 人工バリア等の工学技術の検証

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、必要な要件を満たす候補材料が室内試験で開発され、現在基本特性データの取得を進めている。今後は幌延の深地層研究施設に適用して施工性を確認していく予定である(核燃料サイクル開発機構, 2003)。

④ 設計手法の適用性確認

室内試験と深地層の研究施設計画の相互の役割を踏まえて、室内試験の特徴である初期条件、境界条件を明確にした上で、メカニズム解明等に向けた試験を進めている。これらの情報に基づき、幌延における人工バリア等の原位置試験計画を策定した。

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、平成15年8月からホームページ上(<http://migrationdb.jnc.go.jp/>)で公開し、国内外に広く周知し活用を図っている。

スメクタイトへの Np の収着挙動について、酸化環境に比べ還元環境では分配係数(K_d)が大きく、炭酸濃度との関係では炭酸濃度が高い程分配係数が小さくなる傾向が認められた。また、ベントナイトコロイドへの収着では、コロイドに対する分配係数が従来のバッチ試験によるベントナイトへの収着より大きいことが認められ、コロイドの影響を考慮する必要があることが示唆された。

② 安全評価モデルの高度化

室内試験によりコロイドが収着挙動に及ぼす影響が顕著に認められることから、亀裂性岩盤中でのコロイド共存下での核種移行モデルの開発を行い、亀裂を含む岩石中の核種-コロイド移行試験を行った結果、核種-コロイドの収脱着の反応速度を考慮する必要があること、さらに亀裂中でのコロイ

ドのろ過で、コロイドに収着した核種が亀裂内に留まることが示唆された。

堆積軟岩における水理・物質移行モデルの開発として、幌延深地層研究センターの試錐孔から採取した亀裂を有する軟岩について試験した。地下水の流れに関しては、堆積岩の基質部より亀裂部が卓越した水みちとなる可能性が高く、物質移行においては、「第2次取りまとめ」において結晶質岩で得られた物質移行開口幅と透水量係数の相関性が、亀裂を有する堆積岩でも適用可能であることが認められた。

③ 安全評価手法の整備・高度化

不確実性評価の流れとしては、データ取得や現象理解に基づき種々の不確実性を整理・定量化した上で、影響解析により不確実性が結果に与える影響を定量的に把握するとともに、影響評価結果の分析により影響度の大きな不確実性要因を把握していく。これまでに、データ不確実性の影響解析や感度分析の検討を継続するとともに、モデルの不確実性として「第2次取りまとめ」では保守的、簡略的に扱っていた掘削影響領域(EDZ)中の核種移行をより詳細に表現した代替モデルを構築し評価した結果、核種移行率が低減することを確認した。このように不確実性要因の影響を定量的に把握・分析していくことにより、システム性能の安全裕度を把握するとともに、不確実性の低減あるいは現実的な評価のための研究課題を効果的に抽出することが可能になる。

地層処分技術に関する研究開発は、「深地層の科学的研究」、「処分技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」の3分野からなり、また研究場所も幌延、東海、東濃と分かれている。これら3分野の研究開発は独立ではなく、3分野間あるいは各分野内で相互に種々の技術情報のやりとりが必要となる。そのために、技術情報を利用しやすい形で統合的に管理可能とし、調査・研究要素間での整合性を確保し、各調査研究要素の担当者間で技術情報の共有の場を提供するために、技術情報統合システムの開発を進めている(柴田ほか、2003)。平成15年度に基本システムの製作を完了し、平成16年度からサイクル機構内で試運用を開始する予定である。

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。研究開発を進めるにあたっては、国の研究開発機関として信頼性と透明性を高める観点から、国内外関係機関との研究協力を積極的に進めるとともに、様々な議論の場を通じて専門家や国民各層からの幅広い意見を取り入れつつ、研究開発を展開していく。

参考文献

- 核燃料サイクル開発機構(2003):高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発-平成14年度報告-, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2003-004.
- Taniguchi, N., Kawasaki, M., Kawakami, S. and Suzuki, H. (2003): Propagation Behavior of Localized Corrosion of Carbon Steel in Alkaline Groundwater Environment, Proc. of 13th Asian-Pacific Corrosion Control Conference (APCCC).
- 松本一浩, 棚井憲治(2003):ベントナイト緩衝材の流出特性の評価(II), サイクル機構技術資料, JNC TN8400 2003-006.
- Ito, A., Yui, M., Sugita, Y. and Kawakami, S. (2003): A Research Program for Numerical Experiments on the Coupled Thermo-Hydro-Mechanical and Chemical Processes in the Near-Field of a High-Level Radioactive Waste Repository, Proceedings of GeoProc2003, Part 1, pp.346-351.
- Yoshikawa, H., Ueno, K., Yui, M., Honda, T. and Yamaguchi, S. (2003): Analysis of the Excavated Archaeological Iron Using X-ray-CT. Proc. The 9th International Conference on Environmental Remediation and Radioactive Waste Management, ICEM'03, England, 21-25 Sep., ASME, 4776.
- 柴田勝志, 牧野仁史, 若杉圭一郎, 内田雅大(2003):技術情報統合システム(JGIS)開発への取り組み, サイクル機構技報 No.21, JNC TN1340 2003-004, pp.79-88.