

TRU 廃棄物処分におけるガス移行挙動評価シナリオ構築

(公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター 正会員 古賀 和正、大和田 仁
株式会社大林組 正会員 ○並木 和人、河村 秀紀

1. はじめに

本報告は、ニアフィールドの状態変遷と安全機能への要件を考慮したトップダウンのシナリオ設定手法¹⁾を用い、TRU 廃棄物処分のグループ3に属する廃棄物を対象に、ガス移行挙動を評価するシナリオ構築プロセスとその結果について取りまとめたものである。

2. ガス移行挙動評価に関わる課題の現状

人工バリア中のガス移行挙動に関する研究としては、EU を中心とした FORGE プロジェクト が知られている。FORGE にて指摘されたガス移行挙動評価に関わる課題²⁾を以下にまとめる。

- ・バリア内でのガス移行挙動に関するミクロな挙動が十分モデル化できておらず、現在のマクロ的なモデルでの予測が妥当であるか評価できていない。
- ・バリアの状態変遷(境界条件や材料の劣化・変質に伴う特性変化)について不確実な要素が残されている。
- ・構成要素レベルでの現象理解と大規模なバリアシステムとしての挙動との連携が説明されていない。

これらの課題には、ミクロ的な挙動把握に基づくマクロとしての挙動の予測、バリアの特性変化を含めた状態変遷の理解など、評価に直接つながる重要事項が示唆されている。

3. TRU 廃棄物の地層処分におけるガス移行に関するセーフティケース

放射性核種の移行の観点から着目されているガスの挙動は、放射性ガスの移行とガスの突出による汚染水の人工バリア外への放出である³⁾。そこでは、安全評価上のシナリオとして、基本シナリオである放射性核種の地下水移行の変動シナリオとして取り扱われ、影響は小さいと評価されている。

人工バリア内でのガス挙動は、放射性ガスについてはバリア内を溶存あるいは二相流として移行することが基本で、ベントナイト低透水バリア内での蓄圧による破過やダイレタンシーを伴う移行に対しては、ベントナイトの自己修復機能でバリアの安全機能が維持されることを前提としたセーフティケースとしている。

4. TRU 廃棄物処分におけるバリアの状態変遷

TRU 廃棄物のグループ3を対象としたガス移行挙動に係わるバリアの状態変遷を表-1に示す。この表では、横軸に埋設事業中から閉鎖後の天然バリアでの核種移行抑制を期待するまでの時間経過を、縦軸には、グループ3のニアフィールド構成要素を示している。グループ3は、グループ1および2と異なり、ベントナイトを人工バリアの材料として用いず、セメント系の材料で構成されている。セメント系バリアの設計においてはガスの挙動を考慮した構成要素は含まれていない⁴⁾。また、グループ3は多くの有機物を含む廃棄物であり、多くのガス発生量が見込まれる。セメント系材料は、時間の経過に伴い物理化学的な作用によりひび割れが発生し、材料としては均質であるが、ガス移行挙動の観点からは極めて異方性の高い媒体となることが推定される。しかし、全体のシステムとしては、亀裂媒体として移流場になることを仮定しているため、核種移行の観点からは、移流場として安全評価をすることが保守的ではあるが、ガス移行挙動を考える場合、移流場が保守的であるとは限らないことに留意しなければならない。

5. グループ3のガス移行挙動シナリオの構築

グループ3のガス移行挙動シナリオを構築するうえで、以下の事項について留意した。

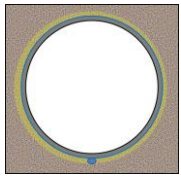
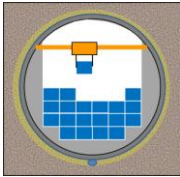
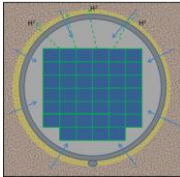
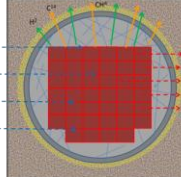
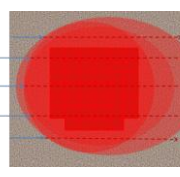
- ・ガスの発生量(放射性ガス、非放射性ガス)
- ・セメント系のバリア材料の安全機能への影響
- ・ガス移行媒体の状態変遷

ガス移行挙動に関わる状態変遷としては、廃棄体パッケージに廃棄物が閉じ込められている段階(この場合、金属腐食による非放射性ガスが主に発生)、及びパッケージが腐食等で損傷し、放射性ガスを含むガスが人工バリア内を移行する段階の二つの段階を考慮した。これらの段階的なガス挙動を、統合 FEP 関連図として取りまとめ、最終的に図-1に示すシナリオ評価シートに人工バリア媒体の変遷を含めて整理した。この図には、シナリオと共にガス移行のモード、解析モデル構築のための評価ケースなどをとりまとめた。

キーワード：TRU 廃棄物処分、グループ3、ニアフィールド、ガス移行、シナリオ、状態変遷

連絡先：〒108-8502 東京都港区港南2-15-2 品川インターシティ TEL:03-5769-1309

表-1 TRU 廃棄物処分グループ 3 を対象とした状態変遷表

変化の段階	掘削直後	廃棄体定置中：水との接触防止	埋戻し後：廃棄体で閉じ込め	廃棄体から核種放出	天然バリアでの閉じ込め
状態イメージ					
主要な変化	支保工外周のドレーンシステムで処分坑道内への浸出水なし	支保工外周のドレーンシステムで処分坑道内への浸出水なし	ドレーンシステムの停止により処分坑道に還元地下水が浸出	ドラム缶が損傷し、内部廃棄物より放射性核種が放出	処分坑道内の核種、ガスは一部を除き天然バリアに放出
廃棄物 [200 ㏩ドラム缶]	—	ドラム缶内の空間はモルタルで充填、初期強度、水はなし 高 pH 状態	廃棄体の隔離性能で水との接触ない、強度維持 廃棄体パッケージの水密性損傷に伴う高 pH 還元地下水と接触	高 pH 還元地下水との接触⇒腐食⇒水素ガス発生⇒ドラム缶損傷⇒放射性核種の地下水への溶出⇒有機物分解による放射性 C14、CH4 ガスの発生	廃棄物からの放射性核種の大部分は高 pH 還元性地下水に溶出し、移流場で天然バリアに放出
炭素鋼廃棄体パッケージ	—	ドラム缶 4 本を収納、空間はモルタル充填、水分なし モリスとして強度確保 空気中の水分により腐食開始	高 pH の還元地下水との接触⇒腐食⇒腐食膨張⇒水素ガス発生⇒廃棄体パッケージとしての水密性の損傷	腐食による二次生成物の発生・沈着⇒核種の一部吸着 ガスは亀裂内を通過、核種を含む地下水は移流場で移行	腐食生成物の一部は吸着核種とともに場に残留 残存ガスはすべて外部に放出
充填モルタル	—	(廃棄体パッケージ定置後施工) 高 pH 環境、水和熱の発生⇒炭素鋼との反応で腐食開始 (速度は遅い)	拘束圧、水和熱および廃棄体の腐食膨張によりひび割れ発生、地下水の浸入によりひび割れは飽和 (Ca の溶出)	Ca の溶出・沈殿により、亀裂性媒体を形成 ガスは亀裂内を二相流で移行 核種は移流場で移行	処分坑道内には Ca の溶解・沈殿が繰り返され起こり、時間の経過とともに pH 値が中性に向かう
埋戻しコンクリート	—	(底部・側部・頂部に施工) 自立する強度は期待 水和熱の発生 廃棄体との接触による腐食開始	外部からの圧力、水和熱、廃棄体の腐食膨張等によりひび割れ発生、還元地下水の浸透による Ca の溶出 (高 pH 環境の生成)	Ca の溶出・沈殿により、亀裂性媒体を形成 ガスは亀裂内を二相流で移行 核種は移流場で移行	処分坑道内には Ca の溶解・沈殿が繰り返され起こり、時間の経過とともに pH 値が中性に向かう
鉄筋コンクリート 支保工	—	内部の充填圧で応力均衡が保持 乾燥収縮、拘束圧による複雑な応力履歴⇒ひび割れが発生	内外の圧力によるひび割れ発生、鉄筋の腐食膨張⇒ひび割れの促進⇒水素ガスの発生	Ca の溶出・沈殿により、亀裂性媒体を形成 ガスは亀裂内を二相流で移行 核種は移流場で移行	処分坑道内には Ca の溶解・沈殿が繰り返され起こり、時間の経過とともに pH 値が中性に向かう
EDZ+岩盤	EDZ：掘削による応力解放⇒支保設置後回復、不飽和領域を形成 岩盤：泥岩、飽和、還元雰囲気、500m の初期応力：約 10MPa	岩盤クリープ変形により、EDZ 内の応力場の回復 不飽和、高 pH 環境	岩盤クリープ、水圧の作用により EDZ 内の応力回復、ドレーンシステム停止による飽和環境、支保工からの Ca 溶出	天然バリアとしての機能 放射性核種の移流場での移行 ガスは処分坑道外周に蓄積し、坑道に沿って移動する可能性あり⇒放射性ガスの地表への短経路形成の可能性あり。	天然バリアとしての核種の閉じ込め機能が機能

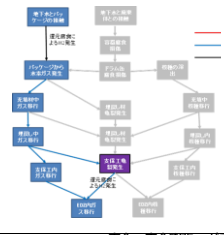
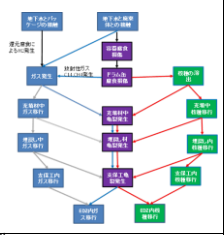
変化の段階	掘削直後	廃棄体定置中：水との接触防止	埋戻し後：廃棄体で閉じ込め	廃棄体から核種放出	天然バリアでの閉じ込め
統合 FEP 関連図	—	—			—
廃棄物とドラム缶	閉じ込め性	—	腐食⇒腐食膨張・ガス発生	—	→
炭素鋼パッケージ	閉じ込め性	—	腐食⇒腐食膨張・ガス発生	腐食生成物	→
充填モルタル	—	—	亀裂発生	→	→
埋戻しコンクリート	—	—	亀裂発生	→	→
コンクリート支保工	—	—	亀裂発生	→	→
EDZ+岩盤	不飽和	→	飽和	→	→
ガス発生部位	地表から酸素を含む大気を取り入れ	大気がコンクリート中に浸入し不飽和領域を形成	支保工鉄筋、廃棄体パッケージ、ドラム缶、有機物の分解	廃棄体パッケージ、ドラム缶、廃棄物	廃棄物
ガス発生速度 (推定)	—	—	→	→	→
ガス移行モード	—	—	ガス状、拡散、分散、亀裂内の移行、	ガス状、拡散、分散、亀裂内の移行	→
核種移行モード	—	—	→	→	→
モデル設定	—	—	多孔質媒体と亀裂媒体中のガス移行モデル (拡散と二相流モデル)	亀裂媒体中のガス移行モデル (二相流モデル)	ガスは二相流から溶存ガスとして地下水流動モデルを適用

図-1 TRU 廃棄物処分グループ 3 を対象としたシナリオ整理シート

5. まとめ

TRU 廃棄物のグループ 3 を対象に、ガス移行挙動の媒体であるニアフィールド構成要素の状態変遷を表として整理し、これを基にガスの発生量などを考慮したガス移行評価シナリオおよび評価ケースをシナリオ整理シートとしてとりまとめた。本報告内容の一部は経済産業省から公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センターが受託した「平成 25 年度 TRU 処理・処分技術高度化開発：ガス移行連成挙動評価手法の開発」の成果である。

参考文献

- 1) 並木、河村他、TRU 廃棄物処分に関わるシナリオ構築に関する研究(その 1)(その 2)、土木学会第 68 回年次学術講演会
- 2) FORGE Project, Gas Generation and Migration, International Symposium and Workshop, Luxembourg, Feb. 2013
- 3) 電気事業連合会、核燃料サイクル開発機構、TRU 廃棄物処分技術検討書—第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発の取りまとめ—、JNC TY1400 2005-002, FEPC TRU-TRU2-2005-01, 2005
- 4) 原子力発電環境整備機構、地層処分低レベル放射性廃棄物に関わる処分の技術と安全性、NUMO-TR-10-03, 2011