

日本の TRU 廃棄物処分における安全評価のためのガス移行シナリオの構築

並木和人*1 大和田仁*1 菱岡宗介*2 河村秀紀*3

原環センターが「ガス移行挙動の評価」の一環として平成 19-24 年度に実施した「ガス移行挙動評価手法の構築」では、TRU2 次レポートにおける「人工バリアにおけるガス移行に係る現象」を考慮したガス挙動に係る FEP の見直しと関連する最新の知見の整理、人工バリアシステムの時系列状態変遷表の作成、統合 FEP を用いたトップダウンによるシナリオ評価シートを開発することで、日本における TRU 廃棄物処分概念やガス移行挙動の影響のうちベントナイト緩衝材の状態変遷に着目した 3 種類のシナリオを評価の時間枠と状態変遷を考慮して整備した。これらのシナリオは、今後実施される安全評価ケースの設定やモデル、パラメータ設定に資するものとなっている。

Keywords: ガス移行, シナリオ, 安全評価, TRU 放射性廃棄物, 人工バリアシステム

RWMC has been developed Gas migration scenario in a part of “Gas evaluation study” since 2008. A top-down approach for defining a safety assessment scenario of gas migration in TRU disposal concept have been developed based on understanding long term system evolution, especially focusing on gas behavior in high compacted bentonite barrier. Scenarios are divided into three categories considering probability of occurrence and uncertainties. “Most probable scenario” is dissolved gas migration and two phased flow. Scenario will move to gas break through with contaminated water (“Alternative probable scenario”). It depends on gas generation rate and swelling pressure of bentonite and hydraulic pressure. “Very low likelihood scenario” will be lost of self healing capacity of bentonite after gas break through. Following change of scenarios, model of assessment case are also changed. Coupling with contaminated water and gas migration also need to be considered in time depend engineered barrier system (EBS) evolution. These relationships are illustrated using correlation maps of integrated Super FEPs according to various migration modes in EBS evolution time periods. Uncertainties are treated in scenario, model and parameters in each assessment periods.

Keywords: gas, migration, scenario, safety assessment, TRU wastes, EBS

1 はじめに

わが国における TRU 廃棄物処分概念においては、地下水移行シナリオと同様に廃棄体に含まれる金属製材料や有機物に起因するガスの影響を評価するためのシナリオ構築が不可欠となる。TRU 廃棄物処分技術検討書—第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ[1]—（以下、「TRU2 次レポート」と称す）では、ガスによる影響は、地下水移行シナリオの変動シナリオとして扱われ、第二種廃棄物埋設事業に関する安全審査の基本的考え方[2]では、ガス影響は、地下水移行シナリオと同様に蓋然性の高い基本ガス移行シナリオとしての取り扱いを規定している。いずれも安全評価に用いるシナリオ構築については、状態設定を含めて専門家の判断とし、追跡性を確保するプロセスは提示されていない。一方、高レベル廃棄物処分では、地下水移行シナリオを中心に網羅性と追跡性を考慮したトップダウンでのシナリオ構築方法が提示されている（「地層処分の安全確保（2010 年度版）」原子力発電環境整備機構[3]）。TRU 廃棄物として区分されている廃棄物には、金属や有機物などが含まれることから確実にガス（放射性、非放射性）が発生し、その挙動に関する研究も進められているが、安全評価の基本となるガス移行挙動については、地下水移行に影響を与える事象の 1 つとしてしか着目されてこなかった。

Safety assessment scenario development for gas migration in the TRU disposal concept in Japan by Kazuto NAMIKI (k-namiki@rwm.or.jp), Hitoshi OWADA, Sosuke HISHIOKA, Hideki KAWAMURA

*1 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター
Radioactive Waste Management Funding and Research Center
〒104-0052 東京都中央区月島 1-15-7 パシフィックマークス月島
8 階

*2 パシフィックコンサルタンツ 株式会社
Pacific Consultants Co. Ltd.
〒206-8550 東京都多摩市関戸 1-7-5

*3 株式会社 大林組
Obayashi Corporation
〒108-8502 東京都港区港南 2-15-2 品川インターシティ B 棟

†本報告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 24 年度 TRU 廃棄物処分技術：人工バリア長期性能評価技術開発 -ガス移行挙動の評価-」の成果の一部である。

本研究では、この点を踏まえ、地下水移行と同様にガス移行挙動の媒体となる人工バリアシステムの状態変遷に着目して、安全評価に用いるシナリオ構築の手法を開発すると共に、現状の知見に基づくシナリオを設定した。

2 トップダウンアプローチによるガス移行シナリオ設定

本研究において用いたガス移行挙動シナリオの設定では、人工バリアシステムの時系列的な状態変遷の把握に基づくガス移行挙動媒体の変遷とガス挙動に係る FEP を統合し、状態変遷に合わせて作成した統合 FEP 相互の関連図を組み合わせてシナリオを構築した。着目する評価期間として、閉鎖後過渡期、人工バリアが機能を維持する期間、人工バリアが機能を喪失し天然バリアが機能を維持する期間を設定し、安全機能の状態変遷を考慮した関連図（シナリオ評価シート）を作成した。その上で、各評価期間における現状での知見をベースに、蓋然性と不確実性を評価することでシナリオを 3 つに分類し、対応する評価ケース、評価モデル、パラメータを設定する流れを構築した。この作業の段階で、状態変遷に係る知見整理表を整備することでガス挙動に係る FEP のデータベース（FEP 根拠書）を拡充することができた。その結果、時間の経過と共に取得されていない知見が多数存在し、長期の評価において不確実性が增大することが分かった。

3 ガス移行シナリオの分類および安全評価上の留意点

人工バリアシステムの状態変遷について記述する段階で、不確実性について、①ガス発生に係わる不確実性（速度と量）、②廃棄体容器の健全性に関する不確実性（初期欠陥や早期損傷）、および③ベントナイトの健全性に係る不確実性（変質速度とモード）に大別された。これらに対する安全評価のシナリオを分類すると、Table 1 上の 3 種類のシナリオにまとめることができる。また安全評価を想定し、上

記のように蓋然性と不確実性を考慮して設定した各シナリオに対応した安全評価ケース、モデル、パラメータを設定するうえで、以下の事項に留意する必要がある。

- 1) ガス移行挙動のシナリオは評価の時間枠により変化することから、それぞれの時間枠でのガス挙動と地下水移行に支配される挙動の関連を考慮したモデル化を行うこと。(統合 FEP のモデル化)
- 2) 現状の知見で最も蓋然性の高いガス挙動は、二相流による媒体中の移行・拡散と推定されることから、ベントナイトの変質が進行する段階での特性値の設定が核種移行を支配すること。
- 3) ガスの破過現象に着目した評価ケースでは、ガスの発生速度およびベントナイトの膨潤圧に依存するモデルとパラメータの設定が必要となることから、破過による汚染水の放出とともにガス破過後の気みちの自己修復性の有無を取り扱うこと。
- 4) 初期の再冠水プロセスや熱影響が残存する過渡期の段階でのガス移行に対しては、ベントナイトの不飽和状態での挙動に注視すること。
- 5) 現状での知見が十分でないことに起因する不確実性については、評価ケースの時系列的な変化、モデル、パラメータの保守的、現実的な取り組みの組合せを考慮すること。

4 まとめ

安全評価に用いるガス移行シナリオを作成するにあたり、基盤となる人工バリアシステムの状態変遷に関する最新の知見を整理し、知見の不足に起因する不確実性を含め取りまとめた。その過程で蓋然性に着目した FEP を統合 FEP に集約し、状態変遷表との対応を考慮することで統合 FEP 関連図を作成した。この網羅性と追跡性を確保した一連の作業を通じて、シナリオ構築に向けての主要な構成要素の

準備を整えることができた。さらに、TRU 廃棄物処分におけるガス挙動に着目し、人工バリアシステムの状態変遷の理解に基づく評価シナリオのトップダウンアプローチを開発すると共に、ガス移行に係わる FEP を抽出し、最新の知見を用いて根拠書として取りまとめる一方、上述したようなレベルアップした FEP による網羅性の確認、統合 FEP の導入による評価の時間枠に対応したシナリオ設定、および不確実性に着目した分類手法も整備した。ガス挙動は材料および形状の異方性に影響を受けるため、現状の要素試験に基づく理解では説明できない挙動が存在する。安全評価に向けて残された課題としては、ベントナイト中のガス挙動はベントナイトの状態変遷と境界条件に大きく依存することから、状態変遷表に基づく知見の体系的な取得、工学規模での試験、および実規模スケールでの挙動に結び付けるモデルの整備を必要とすることが挙げられる。

参考文献

- [1] 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取りまとめ、JNC TY1400 2005-002, FEPC TRU-TR2-2005-01(2005).
- [2] 原子力安全委員会：第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方(2011).
- [3] 原子力発電環境整備機構：地層処分事業の安全確保(2010 年度版) NUMO-TR-11-01(2011).
- [4] 原子力環境整備促進・資金管理センター：還元性環境での金属腐食に起因するガス発生量評価 RWMC-TRJ-03001 (2004).

Table 1 Classification of gas scenario for considering various uncertainties

不確実事象	シナリオ① (基本)	シナリオ② (変動)	シナリオ③ (稀頻度)
ガス発生速度	ガス発生メカニズムと発生源、発生するガスの種類、速度および量を推定 <蓋然性の高い移行挙動> ⇒ 廃棄体グループ 2 のガス発生速度はきわめて遅い[4]ため、ベントナイト中のガス移行は拡散と二相流が支配的となる	ガス発生速度が増加 ⇒ ベントナイト中でのガス蓄圧～破過 ⇒ 核種を含む汚染地下水の放出 ⇒ ベントナイトの自己シール性による透気経路の修復 (閉じ込め性の再維持)	
廃棄体容器の健全性	設計にて期待する期間において容器は健全性を確保 <健全性喪失後> ⇒ 放射性核種の移行 (拡散・移流) ⇒ 容器内ガスの移行 (拡散・二相流)	初期欠陥等による健全性の損傷 ⇒ 放射性核種の早期移行 ⇒ 容器内ガスの早期移行 (発生速度が加速された場合は上記のシナリオとなる)	
ベントナイトの健全性	ベントナイトを変質させる物質を考慮した変質速度の推定	ベントナイト変質速度の加速 ⇒ ベントナイトの核種閉じ込め機能の喪失 ⇒ 核種の移流による早期放出	間隙水等の影響により、ベントナイトの変質速度が加速し、自己修復性が喪失 ⇒ 放射性核種がベントナイト中を移流で移行