

TRU 廃棄物処分におけるガス移行連成挙動評価手法の開発 (その1)

- TRU 廃棄物処分におけるガス影響シナリオに係る不確実性の検討 -

(公財)原環センター 正会員 古賀 和正、大和田 仁

MCM Japan フェロー会員 河村 秀紀

1. はじめに

放射性廃棄物処分場では、廃棄物に含まれる金属の還元腐食その他による水素などのガスの発生が想定されており、安全評価でのガス発生影響については EU を中心に広く議論 (例えば, FORGE プロジェクト¹⁾) されてきている。具体的には、ガス影響による放射性核種の移行速度の増加や新たな移行経路の生成、破過による人工バリアシステムの機能喪失の可能性など、現象やプロセスの把握と評価方法が主要な論点となっている。

同時に、評価上の不確実性因子についても議論され、現象理解 (処分システムの挙動把握)、評価シナリオ、評価に用いるモデルやパラメータにおける不確実性の取り扱いに係る対応策もそれぞれの評価書の中で言及されている。その一方で、わが国における既往の検討²⁾では、ガス発生影響に係る不確実性の検討等が十分に為されてこなかったという課題がある。そこで本報告では、ガス影響に係る課題解決も含めて新たに着手した TRU 廃棄物処理・処分技術の高度化検討^{3), 4)}のうち、わが国における TRU 廃棄物処分の人工バリア概念を対象に、様々なガス発生が安全評価シナリオに与える影響について、不確実性の取り扱いを中心に取りまとめた。

2. ガス影響の評価体系と不確実性の伝播

ガス影響の検討において定義する評価体系は、図-1 に示す複数の要素から構成され、それぞれは「場と現象の理解」、「シナリオ設定」、「モデル設定」及び「パラメータ設定」に分類される。構成要素には、様々な不確実性が含まれ、評価の流れの中で下流の要素に伝播していく。例えば、場と現象の理解の不確実性は、ガス発生メカニズムや媒体中のガス挙動にも影響し、シナリオ設定でこれらの不確実性は、例えば、蓋然性の観点から基本シナリオ、変動シナリオ、稀頻度シナリオに分類して取り扱われる。また、このようなシナリオの不確実性は、プロセスモデルや評価モデルの中での保守性やロバスト性を考慮することで低減される一方で、パラメータ設定にも影響する。

このように場と現象理解における不確実性は伝播し、特にガスの移行挙動は、飽和・不飽和環境などの場の状態設定とともに媒体としての不均質性や異方性に大きく影響を受けることから、その後のシナリオ設定、モデル選択、パラメータ設定は、一連の作業として、専門家間で議論を行いつつ作業を進める必要がある。

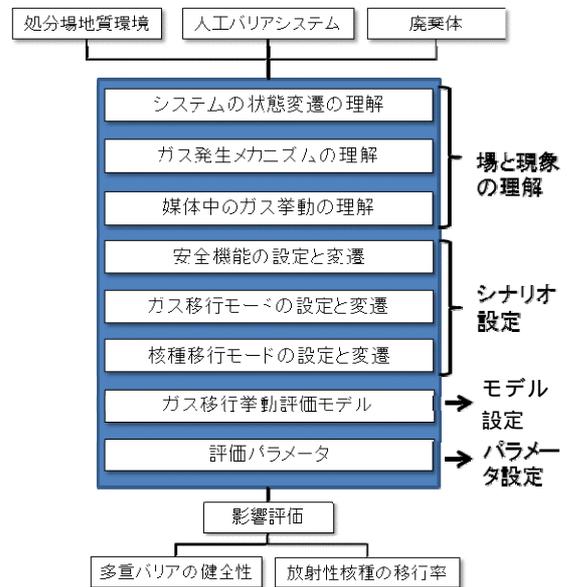


図-1 ガス影響の評価体系の要素

3. TRU 廃棄物処分におけるバリアの状態変遷

場と現象の理解については、図-2 に示す例えばグループ 2 の人工バリアシステムの状態変遷 (ストーリーボード) として整理することができる⁵⁾。しかし、図中の赤字で示すように、時間の経過に伴い記述事項に対する様々なエビデンスが十分でなく、関係する知見と専門家の判断による「推測」での記述となっている。この背景には、比較的短期間でのガス発生や飽和過程を加速した要素試験による知見取得が支配的であり、実施設のスケールや形状及び評価の時間領域を考慮した試験が十分整備されていないことがある。これらの領域は、現状要素試験の現象をシミュレーションできる数値解析モデルを用いて、初期段階の人工バリア特性値を用いたガス移行挙動が推測評価されている。

	埋戻し	一次埋戻し	二次埋戻し	廃棄体貯留層	貯留層	バリアの機能喪失	バリアの機能喪失
廃棄体							
容器							
充填材							
ベントナイト							
埋戻材							
支保工							
EDZ							

図-2 TRU 廃棄物人工バリアの状態変遷 (グループ 2)

キーワード：TRU 廃棄物処分、不確実性、ガス影響、評価体系、状態変遷、シナリオ設定

連絡先：〒 104-0052 東京都中央区月島 1 丁目 15 番 7 号 処分材料調査研究プロジェクト TEL:03-3534-4543

4. ガス影響と評価シナリオ

異なるソースからの放射性・非放射性ガス発生と媒体中の移行については、状態変遷の理解をベースに、トップダウンで評価シナリオを構築する手法を整備してきた⁵⁾。構築したシナリオの一例として、基本シナリオでは拡散と気液二相流が主体となるガス移行シナリオを、変動シナリオではガス発生速度の増加によるガスの畜圧と緩衝材の破過を伴うガス移行シナリオ等がある。そこでのガス影響は、図-3 に示すガスシナリオ評価シートの形で評価体系の要素を組み入れている。シナリオ評価シートの特徴は、場の状態変遷を考慮し、ガスの発生や移行形態が変化していくことを統合 FEP 関連図としてイラスト化している点であり、この変更点は、ガス発生速度と量、媒体の状態変化に依存し、それぞれ不確実性を含む現象やプロセスになる。このことは、評価体系のモデル設定において、着目する時間枠でのガス移行挙動を評価するには、異なるモデルチェーン構築と対応するパラメータ設定の必要性を示唆している。

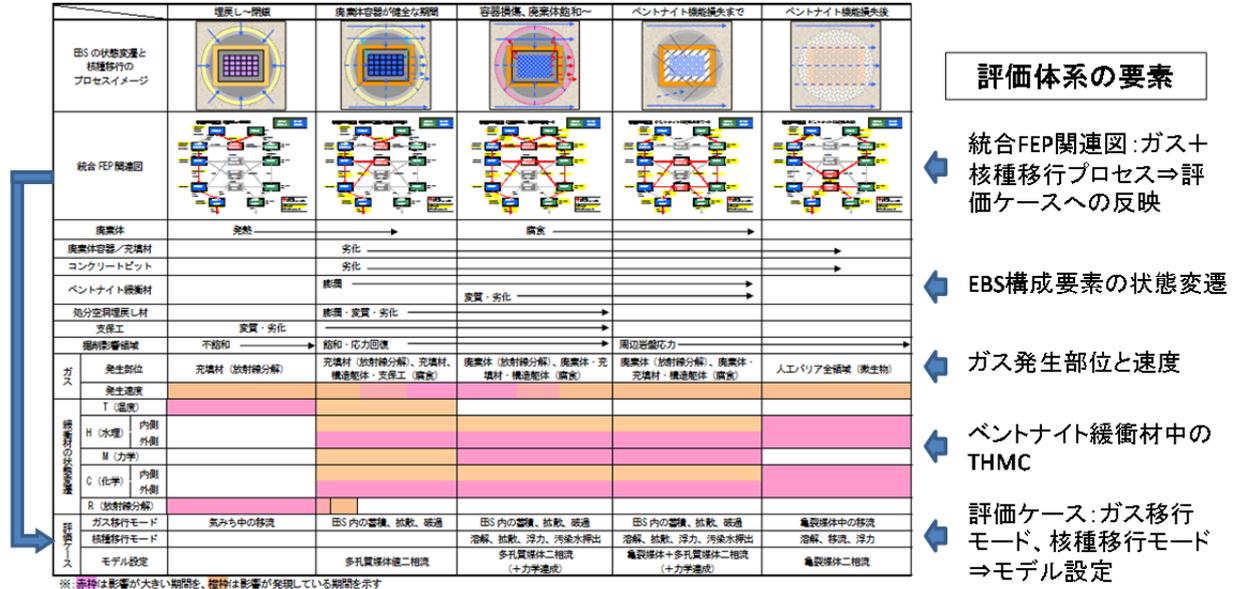


図-3 ガス影響に関わる評価シナリオ整理 (グループ 2)

5. ガス影響シナリオにおける不確実性とその取り扱い

TRU 廃棄物処分概念では、廃棄体の特徴を考慮して 4 つのグループに分類され、それぞれ異なる人工バリア概念が導入されている²⁾。それぞれについて、状態変遷から評価シナリオを構築し評価ケースまで設定安全評価上のガス移行挙動に関する不確実性を整理した結果を表-1 に示す。各グループで共通した不確実性では、ガス発生メカニズムに関連する事項 (ソースの特性とその変化、境界条件など)、ミクロ的なガス移行モードのモデル化、周辺地質環境との関連性、スケールや形状の影響などが懸案事項として抽出された。

6. まとめ

TRU 廃棄物処分におけるガス移行評価では、場や現象の理解からパラメータの設定まで多くの不確実性が存在し、シナリオ構築、モデル選定、パラメータの設定の過程で相互に影響伝播を考慮して対応していくことが重要である。

なお、本報告は経済産業省資源エネルギー庁からの委託で行った平成 26 年度「地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発」の成果の一部である。

参考文献

- FORGE Project : Gas Generation and Migration , International Symposium and Workshop , Luxembourg, Feb (2013).
- 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).
- 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 19~24 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処分技術 人工バリア長期性能評価技術開発 報告書 第 1~2 分冊(2007~2013).
- 公益財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センター:平成 25~26 年度 地層処分技術調査等事業 TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発 報告書 第 1~5 分冊(2014~2015).
- 河村ら: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(2013).

表-1 ガス影響評価における不確実性の抽出と分析

不確実性の共通点	グループ	特異点	不確実性への対応
① ベントナイト緩衝材の破過によるガスの突出、汚染水の放出メカニズムとモデル(グループ1、2)	グループ 1	・不飽和状態でのガス状-129の放出と移行挙動	➢ 現象理解 (場の変遷とガス発生) ・ガスソースの状態 ・周辺環境の変化
② 有機物の微生物分解によるガス発生メカニズムとモデル化(各グループ、特にグループ3、4)			
③ 金属腐食の表面積の算定(各グループ)	グループ 2	・C14による放射性ガス発生メカニズムと発生量 ・廃棄体内以外での放射線分解によるガス発生可能性	➢ シナリオ構築 (蓋然性を考慮) ・基本シナリオ ・変動シナリオ ・稀頻度シナリオ
④ 還元、無酸素、高pH、塩水など複合環境下でのガス発生メカニズムとモデル(各グループ)			
⑤ 媒体の異方性的影響を大きく受けるガス移行挙動とミキシングセルとして扱う核種移行モデルとの整合性(グループ1、2)	グループ 3	・セルロース、アスファルト固化体の微生物分解によるガス発生メカニズムとモデル化	➢ モデル選定 (移行モードを考慮) ・飽和/不飽和 ・二相流 ・化学達成
⑥ 周辺の地質環境により、放出されたガス移行シナリオの変化(各グループ)			
⑦ 廃棄体容器(ドラム缶、ステンレスキャスター)の初期の核種閉じ込め性に対する評価が明確でない(各グループ)	グループ 4	・有機物の微生物分解によるガス発生メカニズムとモデル化 ・焼却灰のセメント固化の微生物分解によるガス発生	➢ パラメータ設定 (モデルに対応) ・保守的な設定 ・現実的な設定 ・振れ幅考慮
⑧ 廃棄体およびパッケージ内のセメントモルタルの密実性がガス発生と移行挙動に与える影響(各グループ)			
⑨ ガス消費のメカニズムとモデル化(各グループ)			
⑩ ガス挙動に関する形状や寸法の影響(各グループ)			
⑪ 腐食二次鉱物の核種移行への影響(還元性や吸着性向上などのプラス要因)			