

Oral presentation | V. Nuclear Fuel Cycle and Nuclear Materials : 505-2 Waste Disposal and Its Environmental Aspects

📅 Wed. Sep 11, 2024 2:45 PM - 3:50 PM JST | Wed. Sep 11, 2024 5:45 AM - 6:50 AM UTC 🏠 Room M(Recture RoomsB 2F B202)

[1M08-11] High-level Radioactive Waste 1

Chair:Yusaku Takubo(NUMO)

2:45 PM - 3:00 PM JST | 5:45 AM - 6:00 AM UTC

[1M08]

Parameter Optimization of the Solute Transport Equations from In Situ Tracer Test of the Excavation Damaged Zone

*Koraphat Fairat¹, Masaki Takeda¹, Yusuke Ozaki¹ (1. JAEA)

3:00 PM - 3:15 PM JST | 6:00 AM - 6:15 AM UTC

[1M09]

Overview of a full-scale construction experiment of hydraulic plugs for sedimentary rocks at Horonobe Underground Research Laboratory

(1) Plan of the experiment and investigation of the hydraulic properties around the niche

*Shun Kimura¹, Akira Hayano¹, Naomi Sato¹, Tomonori Tamura¹, Keisuke Yagi² (1. JAEA, 2. TAISEI)

3:15 PM - 3:30 PM JST | 6:15 AM - 6:30 AM UTC

[1M10]

Investigation on Fuel Cycle based on Actinide Management Towards Sustainable Use of Nuclear Energy

(1) Challenges of LWR fuel cycle and Research Overview

*Tomoo Yamamura¹, Takashi Shimada^{1,3}, Tomohiro Okamura², Masahiko Nakase², Kenji Takeshita², Yuki Konishi⁴, Keisuke Nishimura⁴, Taisuke Tsukamoto⁴, Hitomi Ishida⁴, Yasutoshi Ban⁵ (1. Kyoto Univ., 2. Tokyo Tech, 3. MFBR, 4. MHI, 5. JAEA)

3:30 PM - 3:45 PM JST | 6:30 AM - 6:45 AM UTC

[1M11]

Investigation on Fuel Cycle based on Actinide Management Towards Sustainable Use of Nuclear Energy

(2) Analysis of the necessity and usefulness of MA temporary storage technology for the sustainable nuclear fuel cycle

*Tomohiro Okamura¹, Masahiko Nakase¹, Kenji Takeshita¹, Takashi Shimada^{2,4}, Yuki Konishi³, Keisuke Nishimura³, Hitomi Ishida³, Tomoo Yamamura² (1. Tokyo Tech, 2. Kyoto Univ., 3. MHI, 4. MFBR)

3:45 PM - 3:50 PM JST | 6:45 AM - 6:50 AM UTC

Time reserved for Chair

Parameter Optimization of the Solute Transport Equations from In Situ Tracer Test of the Excavation Damaged Zone

*Koraphat Fairat¹, Masaki Takeda¹ and Yusuke Ozaki¹

¹Japan Atomic Energy Agency

Abstract

Excavation damaged zones (EDZs) formed around a tunnel may allow nuclides to migrate along the pathways. The characteristics of solute transport in fracture and rock matrix inside EDZs were investigated by in situ tracer test. The parameters of solute transport equations were optimized to satisfy the measured breakthrough curve (BTC) and estimate the advective and dispersive effect along with the diffusional transfer. The result shows that most tracers likely move along the fracture and do not diffuse into the matrix under the in situ experimental condition.

Keywords: Geological disposal, Excavation damaged zones, Solute transport, Parameter optimization

1. Introduction

EDZs caused by the construction of underground facilities can function as water-conducting features and migration pathways in the rock mass. The advective and dispersive effect would be dominant processes of solute transport within EDZ fractures. However, advective flow along fracture can lead to significant concentration and hydraulic gradient occurring between high-permeability fracture and rock matrix resulting in mass exchange between the two zones if the porosity of the matrix is high. This study carried out the in situ tracer test to obtain the BTC describing transport processes in the fracture and rock matrix to confirm the advection and dispersion effect as well as diffusional transfer. The objective is to estimate the fitted parameter satisfying the measured BTC from the test and clarify the influence of mass exchange between fracture and matrix for the solute transport characteristics within EDZ.

2. Methodology

We carried out dipole tracer tests in the EDZ fractures along the tunnels of the Horonobe Underground Research Laboratory at a depth of 350 m by using the uranine. Two representative models of mass exchange between fracture and matrix by Tang [1] and the mobile-immobile model (MIM) under 1D solute transport were employed to reproduce the measured BTC. The analytical solutions were fitted to estimate the parameters of longitudinal dispersivity and groundwater velocity for both models, aperture width and matrix porosity for Tang's model, and mass transfer coefficient and immobile porosity for MIM under the constraints of a dipole length of 4.2 m.

3. Result and Discussion

Both models can satisfy measured data and evaluate solute transport characteristics, including diffusional transfer (Fig.1). The result shows the longitudinal dispersivity of 0.12 m and groundwater velocity of 3.7×10^{-6} m/s which agree with the results by Takeda and Ishii [2]. However, matrix porosity for Tang's model [1] and immobile porosity for MIM were extremely low as 8.4×10^{-15} and 4.0×10^{-4} (1.0×10^{-3} % of total porosity), respectively. The constraint of these parameters to 40 % of the measured porosity by laboratory experiments could not reproduce the measured BTC. These results imply that the effect of mass exchange between fracture and matrix is very low and most tracers migrate along the fracture under the in situ experimental condition.

References

- [1] D. H. Tang, E. O. Frind, and E. A. Sudicky, "Contaminant transport in fractured porous media: Analytical solution for a single fracture," *Water Resour Res*, vol. 17, no. 3, pp. 555–564, 1981.
- [2] M., Takeda and E. Ishii, "Assessment of advection dispersion through excavation damaged zone in sedimentary rock by in situ tracer tests", *J. Nucl*, in press.

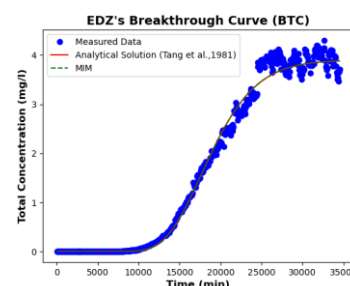


Fig.1 EDZ's breakthrough curve

幌延の堆積岩における止水プラグの原位置施工試験の概要

(1) 全体概要と坑道周辺の水理条件の把握

Overview of a full-scale construction experiment of hydraulic plugs for sedimentary rocks at Horonobe Underground Research Laboratory

(1) Plan of the experiment and investigation of the hydraulic properties around the niche

*木村 駿¹, 早野 明¹, 佐藤 菜央美¹, 田村 友識¹, 八木 啓介²

¹JAEA, ²大成建設

幌延深地層研究センターの地下施設（幌延 URL）では、坑道の埋戻しから止水プラグの設置までの一連の設計及び施工技術を確認・実証するための試験（止水プラグの原位置施工試験）を実施する計画である。本計画の全体概要を、その坑道周辺の水理条件を把握するための調査の現状とともに報告する。

キーワード：地層処分、止水プラグ、掘削損傷領域、幌延 URL

1. 緒言

高レベル放射性廃棄物処分場の地下施設を閉鎖する際、坑道やその周辺の掘削損傷領域（EDZ）が卓越した放射性物質の移行経路となることが懸念されている。そのため EDZ の幅を上回るように岩盤への切欠きを設け、そこに低透水性を有する粘土系材料から構成される止水プラグを設置することが考えられている。国外では結晶質岩系の岩盤を対象として止水プラグ設置の実証試験の事例があるが、堆積岩系の岩盤での検討事例は少ない。また、岩盤の力学特性や EDZ の広がりやの程度は結晶質岩とは異なるため、幌延 URL では、堆積岩を対象とした止水プラグの原位置施工試験を計画している。ここでは、本試験の計画の全体概要及びその坑道周辺の水理条件を把握するための調査の現状について報告する。

2. 止水プラグの原位置施工試験の計画の全体概要

止水プラグの原位置施工試験では、幌延 URL の 350m 試験坑道 6 において、図 1 に示すように坑道の妻面から数メートルの区間を埋戻した後に切欠き部を持つ止水プラグを設置する計画である。本試験に先立ち、坑道周辺の EDZ の広がりや岩盤の透水性の変化を把握するための原位置調査を行うとともに、原位置調査で得られた結果に基づき、埋戻し材と止水プラグの要求性能を設定して両者の材料仕様等の設計を具体化する。その後、具体化された設計に基づき坑道の埋め戻しと止水プラグの設置を行い、施工技術として整備する。

3. 350m 試験坑道 6 周辺の水理条件の把握

EDZ の形成による岩盤の透水性の変化を把握するために、図 2 に示す 350m 試験坑道 6 のボーリング孔のうち、底盤に掘削した 2 本のボーリング孔（B1 孔及び B2 孔）を対象に透水試験を実施した。試験区間の設定においては、底盤からの深度 1.5 m までの範囲で EDZ の特徴である引張割れ目の頻度が高いことがコア観察と BTV 観察により得られていることから、図 3 に示す通り B1 孔では天然の割れ目が存在する区間（区間 2 及び区間 3）を含む 3 つの区間を、B2 孔では 4 つの区間を設定した。図 3 より、B2 孔に着目すると引張性の割れ目の頻度が高い底盤からの深度 1.5 m までの範囲の透水係数は、 $10^{-8} \sim 10^{-6}$ m/s のオーダーと比較的高い値を示した。一方で、それよりも深く割れ目の無い岩盤の透水係数は、 10^{-10} m/s のオーダーと低い値を示しており、350m 調査坑道周辺に分布する稚内層の健岩部と同程度であった。よって、底盤から深度 1.5 m までの範囲が、EDZ の形成の影響を受けて岩盤の透水係数が高くなっていると考えられる。また、天然の割れ目が存在する B1 孔の区間 2 及び区間 3 の透水係数も $10^{-9} \sim 10^{-7}$ m/s と相対的に高い値を示した。

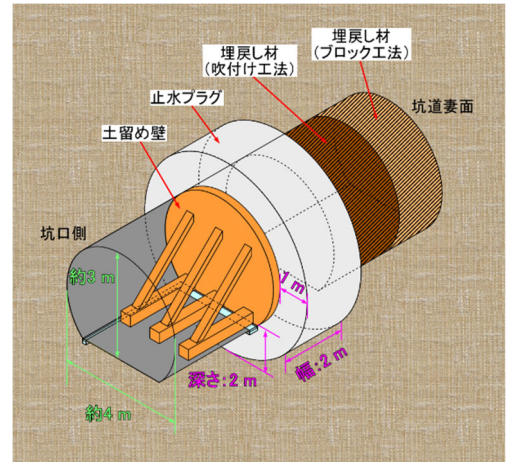


図 1 原位置施工試験の概念図

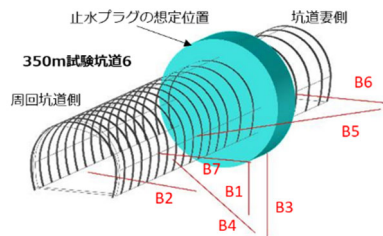


図 2 ボーリング孔の配置

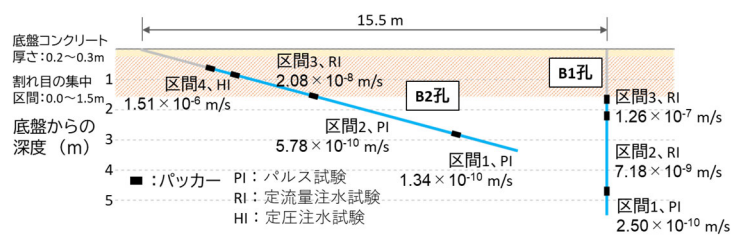


図 3 透水試験の試験区間と透水係数分布

本報告には、経済産業省資源エネルギー庁からの委託事業「令和 5 年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る技術開発事業（JPJ007597）（地層処分施設施工・操業技術確認試験）」及び幌延国際共同プロジェクトの成果の一部を使用している。

*Shun Kimura¹, Akira Hayano¹, Naomi Sato¹, Tomonori Tamura¹, and Keisuke Yagi²

¹JAEA, ²TAISEI

持続的な原子力利用のためのアクチノイドマネジメントを備えた燃料サイクルの研究

(1) 軽水炉燃料サイクルの課題と研究概要

Investigation on Fuel Cycle based on Actinide Management Towards Sustainable Use of Nuclear Energy

(1) Challenges of LWR fuel cycle and Research Overview

*山村 朝雄¹, 島田 隆^{1,3}, 岡村 知拓², 中瀬 正彦², 竹下 健二², 小西 裕貴⁴, 西村 佳祐⁴,
塚本 泰介⁴, 石田 仁美⁴, 伴 康俊⁵, 佐藤 武彦⁵, 津幡 靖宏⁵

¹京大, ²東工大, ³MFBR, ⁴MHI, ⁵JAEA

持続可能な社会に向けて、安定・発展に必要なエネルギー確保と社会のカーボンニュートラル化を両立させることが世界的に求められている。本発表では持続的な原子力利用を実現するための課題を整理し、その対策としてアクチノイドマネジメントを備えた燃料サイクルについて述べる。

キーワード：アクチノイドマネジメント、Pu-核分裂性比、MA 分離、MA 暫定保管、地層処分

1. 緒言

クリーンエネルギーによる経済社会構造の変革を目指す「GX 実現に向けた基本方針」が閣議決定され、持続的、すなわち長期的観点から、原子炉・核燃料サイクルのあり方・要件が検討されている[1]。この中で、軽水炉の活用や革新炉の導入、再処理や高速炉の実用化による核燃料サイクルの完成、放射性廃棄物の最終処分との整合性を含む多様かつ持続的で経済的に優位性のある原子力利用を進めるための評価例等の技術的側面についての検討を私たちは進めてきた。その結果、プルサーマル利用ケースでは Pu 核分裂性核種組成の低下（3 回以内で継続利用不可）とマイナーアクチノイド（MA）量と処分面積の大幅増大や、高速炉による Pu 組成改善や MA 分離変換は 22 世紀と見込まれる等の要因が整理されてきた。

2. 目的

持続的な原子力利用に伴う上記課題に対応し、以下の項目を備えたアクチノイドマネジメント（ACM）が可能な燃料サイクル像の提示と評価を実施した。(I) 核分裂性 Pu 組成の品質管理として、多様な燃料に対応した U-Pu-Np 抽出プロセス、(II) MA 処分負荷として、暫定保管を念頭に置いた MA 分離プロセス、暫定保管体の製作プロセス、暫定保管概念、(III) 核変換技術として発電用高速炉における高効率 MA 核変換炉心

3. 結果と考察

2023 年度は実現可能性調査（Feasibility Study）として、諸量評価に基づき暫定貯蔵に関する 4 つのシナリオを提案し、ACM を用いた燃料サイクル概念の有効性を示すことができた。持続的な原子力利用のための ACM 燃料サイクル概念の構築のため、再処理、MA 分離、暫定保管体製造、貯蔵概念、MA 核変換の各分野において、技術評価と技術選定を行なった。

謝辞

本研究は、文部科学省「原子力システム研究開発事業」JPMXD0223812958 の助成を受けて実施した。

参考文献

[1] 日本原子力学会 原子力アゴラ調査専門委員会, 持続的な原子炉・核燃料サイクル検討・提言分科会, 「持続的な原子炉・核燃料サイクル検討・提言分科会」 最終報告書, 日本原子力学会, (2024).

*Tomoo Yamamura¹, Takashi Shimada^{1,3}, Tomohiro Okamura², Masahiko Nakase², Kenji Takeshita², Yuki Konishi⁴, Keisuke Nishimura⁴, Taisuke Tsukamoto⁴, Hitomi Ishida⁴, Yasutoshi Ban⁵, Takehiko Sato⁵, and Yasuhiro Tsubata⁵

¹Kyoto Univ., ²Tokyo Tech, ³MFBR, ⁴MHI, ⁵JAEA

持続的な原子力利用のためのアクチノイドマネジメントを備えた燃料サイクルの研究 (2) 持続可能な核燃料サイクルに向けた MA 暫定保管技術の必要性和有用性の分析

Investigation on Fuel Cycle based on Actinide Management Towards Sustainable Use of Nuclear Energy

(2) Analysis of the necessity and usefulness of MA temporary storage technology for the sustainable nuclear fuel cycle

*岡村知拓¹, 中瀬正彦¹, 竹下健二¹, 島田隆^{2,3}, 小西裕貴⁴, 西村佳祐⁴, 石田仁美⁴, 山村朝雄²

¹東工大, ²京大, ³MFBR, ⁴MHI

将来想定される4つの原子力発電シナリオを設定し、本プロジェクトで開発している MA 分離・暫定保管技術の導入シナリオについて諸量評価コード NMB4.0 を用いて分析した。

キーワード: アクチノイドマネジメント、MA 分離、MA 暫定保管、地層処分、NMB4.0

1. 緒言 高レベル放射性廃棄物の処分負荷低減を目的に MA 分離・核変換技術の研究開発が推進されている。MA 分離による処分場面積の削減効果を高めるためには、できるだけ早期の MA 分離導入が必要である。一方で、MA 分離を早期導入した場合、21 世紀中盤に想定されている核変換能力を有する高速炉 (FR) の実現までに数十年の時間的ギャップが生じる。本研究では、MA 分離・暫定保管技術を導入した際の処分場面積を NMB4.0[1]を用いて分析した。

2. シナリオ設定 4つの原子力発電シナリオ (A~D) を設定した (図 1)。A: 軽水炉サイクルシナリオでは、核燃料サイクルを軽水炉のみでの継続および、Pu マルチサイクルを想定した。B: FR 共存シナリオでは、回収 MA や高次 Pu の核変換に必要な最低限の FR 導入を想定した。C: FR 移行シナリオと D: FR 遅延移行シナリオは、2070 年と 2110 年にそれぞれ FaSLiEE (経済性評価を含め、高速炉が軽水炉より優位である状況) 実現後に FR サイクルへの移行を想定した。再処理開始は 2025 年とし、MA 分離・暫定保管技術の導入は、2045 年からを想定した。A シナリオでは、MA を核変換できないため、回収 MA は 120 年間暫定保管後、ガラス固化・地層処分を想定した。NUMO の計画 (基本ケース) に基づき[2]、廃棄体 4 万本の処分に必要な面積 (1.75km²) を処分場 1 か所分として設定した。

3. 結果 図 2 に各シナリオの処分場面積を示す。B~D シナリオにおいて、MA 分離・暫定保管を導入により、2170 年までに発生する廃棄物の処分場面積が約 80%削減される。各シナリオの処分場面積は基本ケースよりも小さくなり、2170 年まで発生するガラス固化体を、処分場 1 ヶ所よりも小さい面積で埋設することが可能となる。回収した MA を暫定保管後、ガラス固化・地層処分する A シナリオでは、面積が約 25%削減となった。全シナリオにおいて、MA 分離・暫定保管技術の導入により処分場面積の削減が確認された。

謝辞 本研究は文部科学省「原子力システム研究開発事業」JPMXD0223812958 の成果の一部である。

参考文献 [1] EPJ Nuclear Sci.7(19), 2021. [2] NUMO-TR-20-03, 2021.

* Tomohiro Okamura¹, Masahiko Nakase¹, Kenji Takeshita¹, Takashi Shimada^{2,3}, Yuki Konishi⁴, Keisuke Nishimura⁴, Hitomi Ishida⁴ and Tomoo Yamamura² ¹Tokyo Tech, ²Kyoto Univ., ³MFBR, ⁴MHI,

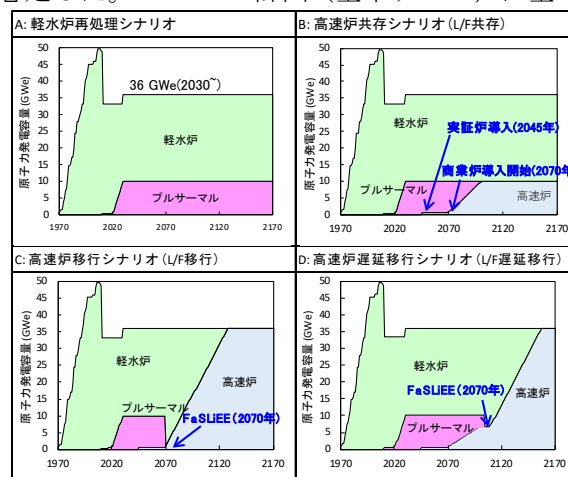


図 1 発電シナリオ

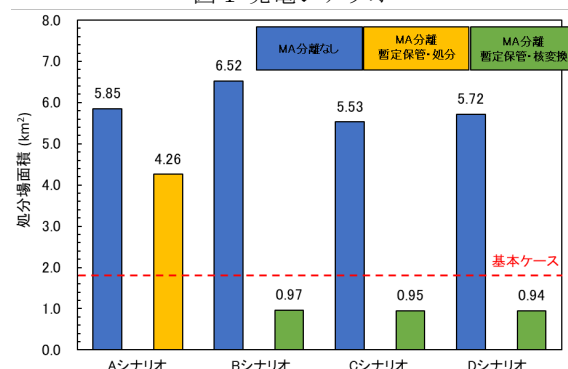


図 2 処分場面積の比較