

幌延国際共同プロジェクトの現状と今後の展開

(1) 幌延深地層研究計画における国際共同プロジェクトの重要性

青柳和平*1 館幸男*1

日本原子力研究開発機構は、幌延深地層研究センターの地下施設を活用した「幌延国際共同プロジェクト (Horonobe International Project, HIP)」を、8つの国・地域から11の機関の参加を得て開始した。本プロジェクトの主要な目的は、地層処分のための先進的な安全評価技術や工学技術に関わる研究開発の成果の最大化や、次世代の研究者/技術者の育成による知識の継承である。本プロジェクトでは、1) 物質移行試験、2) 処分技術の実証と体系化、3) 実規模の人工バリアシステムの解体試験の3つの研究タスクに取り組んでいる。これらのタスクでは、実際に坑道を掘削して原位置試験を実施しながら、解析手法や調査手法の妥当性を検証していく。この点は、HIPの特徴的で独創的な側面であり、上記の3つの研究課題は国際的にみても難易度の高いチャレンジングなものである。以上の点から、HIPは地下研究施設を活用した国際協力の良好事例となり得る。

Keywords: 地下研究施設, 原位置試験, 国際協力, 幌延国際共同プロジェクト

Japan Atomic Energy Agency launched “Horonobe International Project (HIP)” utilizing the Horonobe Underground Research Laboratory. Currently, 11 organizations from 8 countries/regions are joining this project. The main objective of this project is to develop and demonstrate advanced technologies to be used in repository design, operation and closure and a realistic safety assessment in deep geological disposal, and to encourage and train the next generation of engineers and researchers. The research tasks consist of 1) Solute transport experiment with model testing, 2) Systematic integration of repository technology options, and 3) Full-scale EBS dismantling experiment. In these tasks, experimental galleries will be excavated and in situ experiments will be performed at these galleries, then the analysis and investigation methods will be validated. This is a unique and original aspect of the HIP and three research tasks described above are challenging from an international perspective. Thus, HIP can be a good practice of international collaboration utilizing the underground facility.

Keywords: Underground Research Laboratory, In situ experiment, International collaboration, Horonobe International Project (HIP)

1 はじめに

高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現は、原子力を利用するすべての国の共通課題である。そのため、地層処分事業を円滑に進めるうえでは、長い年月をかけて地層処分に取り組む国々との国際協力を強化することが重要である。技術開発の観点では、既存の地下研究施設等を活用した国際的な協力の強化が、財政面や人的資源面において有意義であり、特にこれからサイト選定等の事業や技術開発を進めようとしている国々にとっては、こういった枠組みへの参入により、人材育成や知識継承の場としても活用することができる。さらに、国際機関との交流による幅広い知識ベースの構築や、研究内容の重複の削除などの効率化も図れることや、それぞれの国における地層処分事業を進めるうえでのステークホルダーの理解促進にも貢献する[1]。このような背景の下、地下研究施設を活用した様々な国際的な研究協力が進められてきている。

さらに、令和元年から令和2年にかけて2回開催された最終処分に関する政府間国際ラウンドテーブルでは、最終処分に関連する政府の役割や、国民理解活動、各国が重視する考え方やベストプラクティスとともに、国際協力を強化すべき技術開発課題等について議論がなされた。具体的な国際協力を強化すべき課題として、長期的な変遷を考慮した地質環境モデルの開発、地下施設において取得した

データに基づく物質移行挙動等の計算モデルの検証 (Verification and Validation)、処分場設計の最適化、遠隔操業技術の構築、知識データベースやナレッジマネジメントシステムの構築による人材育成や知識継承などが重要課題として挙げられた[2]。今後、これらの課題を具体化したうえで既存の地下研究施設を活用して取り組むことも、国際協力の強化において重要な取り組みとなる。

このような背景の下、日本原子力研究開発機構 (以下、JAEA) は、北海道幌延町において地層処分技術開発を進めている幌延深地層研究センターを活用した国際プロジェクトとして、経済協力開発機構/原子力機関 (OECD/NEA) の協力の下、令和5年2月に幌延国際共同プロジェクト (Horonobe International Project: HIP) を立ち上げた。HIPの目的は、アジア地域の地層処分に関わる国際研究開発拠点

Table 1. List of participating organization and their roles

機関	参加タスク		
	A	B	C
英国地質調査所 (BGS; 英国)	○	○	○
オーストラリア連邦科学産業研究機構 (CSIRO; オーストラリア)	○	○	○
韓国原子力研究所 (KAERI; 韓国)	○	○	○
原子力環境整備促進・資金管理センター (RWMC; 日本)		○	○
原子力発電環境整備機構* (NUMO; 日本)	○	○	○
工業技術研究院 (ITRI; 台湾)	○		
電力中央研究所 (CRIEPI; 日本)	○		○
連邦放射性廃棄物機関* (BGE; ドイツ)	○	○	○
国营放射性廃棄物会社* (SERAW; ブルガリア)	○	○	○
原子力テクノロジー国会会社 (RATEN; ルーマニア)	○		

* : 地層処分の実施主体

Current Status and Future Prospects of the Horonobe International Project; Importance of the International Joint Project in Horonobe Underground Research Project by Kazuhei, AOYAGI (aoyagi.kazuhei@jaea.go.jp), Yukio TACHI

*1 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構 幌延深地層研究センター

Japan Atomic Energy Agency, Horonobe Underground Research Center
〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2

本稿は、日本原子力学会 2024 年秋の大会企画セッション「幌延国際共同プロジェクトの現状と今後の展開」における講演内容に加筆したものである。

として、幌延深地層研究センターの地下施設を利用した研究開発を国内外の機関で協力しながら推進し、我が国のみならず参加国における先進的な安全評価技術や工学技術に関わる研究開発の成果を最大化することや、次世代の研究者／技術者を育成し、知識を継承することである。Table1 に示す通り、日本をはじめオーストラリア、ブルガリア、ドイツ、韓国、ルーマニア、台湾、英国の計8つの国・地域から11の機関の参加を得て研究協力を開始した[3]。

2 国際共同プロジェクトとしての実施意義

2.1 研究タスクの設定

HIPの研究タスクとして、国内外の動向や技術的関心を精査し、下記の3つのテーマを設定して研究開発を実施している。以下、各タスクの題目と概略的な目的を示す。

タスク A：物質移行試験

原位置物質移行試験を通じて試験結果を適切に予測できる三次元物質移行モデルを各国の解析手法との比較により開発し、核種移行評価に用いる技術の信頼性を提示する。

タスク B：処分技術の実証と体系化

処分場の操業に貢献しうる技術オプションの開発、および好ましい適性を有する岩盤領域に処分孔を配置するための基準の確立を通じて、処分坑道や処分孔を配置するための技術の体系的な統合を、実際に坑道を掘削して原位置試験を実施しながら実証する。

タスク C：実規模の人工バリアシステムの解体試験

既設の人工バリアシステムの解体を通じて、ニアフィールドにおける熱-水理-力学-化学連成プロセスをより詳細に理解し、熱-水理-力学-化学連成解析コードの妥当性確認と更新を実施する。

なお、HIPの研究期間は令和4~10年度であり、前半（フェーズ1：令和4~6年度）と後半（フェーズ2：令和7~10年度）に分けて実施する。前半は主に計画の具体化や予測解析を進め、後半は原位置試験やその結果の解釈を進めることとしている。各タスクにおいて、参加機関の知見を試験計画へ反映するとともに、各機関が開発してきた解析評価手法の比較による妥当性検証などを通じて、成果を最大化することを目指している。

2.2 実施意義

Fig.1 に、幌延深地層研究センター地下施設の地質断面図を示す。同センターの地下施設は、割れ目を有する新第三紀堆積軟岩類、すなわち深度250mまでの浅部は声間層と呼ばれる珪藻質泥岩、深度250m以深の深部は稚内層と呼ばれる珪質泥岩が分布している。また、塩水系地下水を特徴とする深部地下環境を対象とした地下施設である[4]。現在は、深度350mの調査坑道での試験研究を実施するとともに、深度500mの調査坑道の掘削・整備を進めており、令和8年度から深度500mの調査坑道における研究を本格化させる予定としている。

各タスクで実施する原位置試験の位置を Fig.2 に示す。このように、新第三紀堆積岩類を対象として、割れ目発達状況等が異なる深度250m、350m、500mにおいて原位置

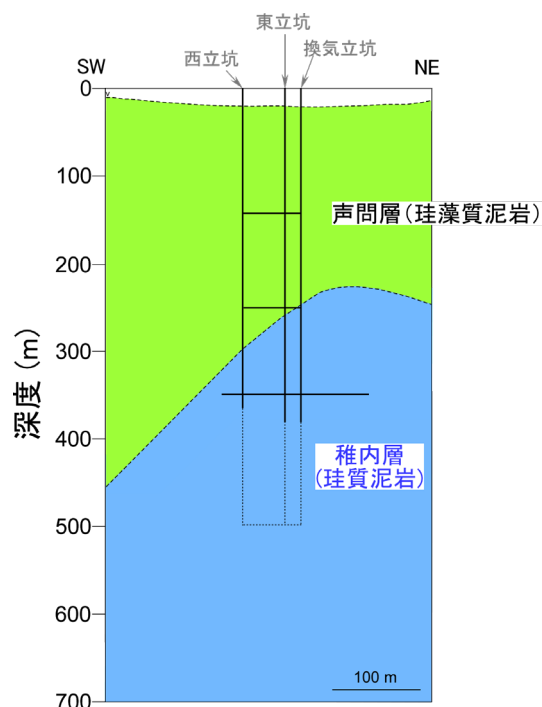


Fig.1 Geological cross-section around the Horonobe Underground Research Laboratory (URL)

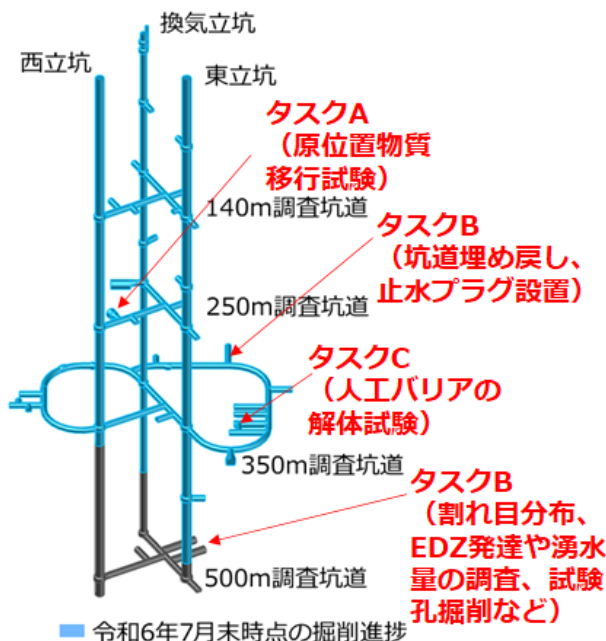


Fig.2 Location of in situ experiments performed in each task

試験を実施し、成果を体系的に取りまとめることで、水みち特性の異なる岩相における物質移行モデルを検討したり（タスク A）、廃棄体設置や坑道・ピットの配置の設定に必要な情報等を整理するなど処分技術を体系的に実証すること（タスク B, C）を狙いとしている。これにより、堆積岩類を対象としてより一般的な成果が得られることを期待している。

また、参加機関と連携して予測解析から原位置試験を経て検証解析まで実施することによって、現象理解や構築したモデルの信頼性向上が可能となる。さらに、参加機関と

議論を進めながら、実際に深度 500m までの坑道を掘削して原位置試験を実施することで、参加機関の有する知見も含めて幌延で構築してきた技術を統合し、処分孔や人工バリア設置概念を体系的に構築することができる。これらの点は、主に硬岩系岩盤を対象とした他国の地下研究施設を活用した国際プロジェクトには無い特色であり、オリジナリティの観点からも実施意義の高いプロジェクトである。

また、Table1 に赤字*で示す通り、すべてのタスクに日本、ドイツ、ブルガリアの地層処分の実施主体 3 機関が参加している。このように、各国の実施主体のニーズを試験計画や解析計画、成果とりまとめに反映することができる点において、地層処分事業への実装に反映する成果を効率的に得ることができる点においても実施意義が高い。

3 幌延深地層研究計画との関連

幌延深地層研究センターでは、「令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画」として、Fig.3 に示す「必須の課題」として掲げている、「①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認」、「②処分概念オプションの実証」、「③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証」の 3 つの研究開発課題に取り組んでいる[5]。同計画では、令和 2～10 年度にこれらの研究開発課題に取り組み、成果を取りまとめたうえで、地層処分の技術基盤として整備していくことを目指している。また、研究開発の実施にあたっては、国内外の連携を進め、成果の最大化を図ることとしている。

これらの必須の課題のうち、タスク A については①のテーマのうち「物質移行試験」、タスク B については②のテーマのうち「人工バリアの設置・品質確認などの方法論に関する実証試験」、タスク C については、①のテーマのうち「人工バリア性能確認試験」に位置づけられる。Fig.3 に示すように必須の課題の中に HIP の 3 つの研究課題を位置づけることにより、HIP の参加機関の有する知見を試験計画へ反映したり、各機関が開発してきた解析手法の比較による妥当性検証を効率的に進めることができる。これにより、参加機関と連携して研究成果の最大化が期待できる。よって、HIP は幌延深地層研究計画における重要なプロジェクトの一つとして位置づけられる。

4 これまでの主な活動実績

2.に示した各タスクの研究内容は、国際的にも実施意義が高く、それゆえ難易度も高い。このようなタスクへの取り組みにあたっては、参加機関間の情報共有や議論の場を密に設けて連携を強化していく必要がある。そこで、1 年に 3、4 回の頻度で各タスクで定期的にオンライン形式でのタスク会合を開催し、研究の進捗や今後の試験計画について議論、意見交換を実施している。

各タスクの研究を進めていくうえで、実際の現場や試験状況を確認しながら議論していくことも重要である。そこで、各タスクの原位置試験の実施期間に合わせて、対面での現地会合を実施している。この会合では、実際の試験状況の確認を踏まえて今後の試験計画や解析方針、取りまと

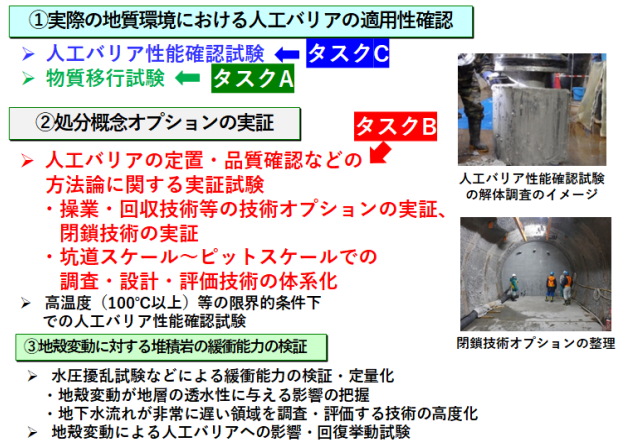


Fig.3 Relationship between current R&D tasks of Horonobe URL project and HIP R&D tasks



(a) Group photo



(b) Site visit (350m Gallery)

Fig.4 Pictures of the joint task meeting held at Horonobe URL in June 2024.

め方針等について打ち合わせることを目的としている。令和 6 年 8 月末までに、タスク A については、Fig.2 に示す 250m 調査坑道で実施予定の物質移行試験に先立って実施する水理試験の状況確認を目的とした会合を 4 回、タスク B については、主に過去の原位置試験箇所や地質状況の確認を目的とした会合を 3 回、タスク C については、現在 350 m 調査坑道で実施中の人工バリア性能確認試験の現状の確認を目的とした会合を 1 回開催した。

HIP が開始してから初めて参加機関が幌延深地層研究センターに集って議論する合同タスク会合を、令和 6 年 6 月に実施した。本会合には、8 機関から 42 名の対面参加があり、研究進捗の共有のみならず、350m 調査坑道における試験状況を確認しながら議論を深めることができた。そのため、今後の研究協力や成果取りまとめを進めるうえで有意

義な会合となった (Fig.4). なお, HIP の詳細や現状については, 幌延深地層研究センターのホームページでも適宜情報公開している[3].

さらに, HIP としての成果の発信も重要であることから, 国内外の学会等においても積極的に成果発表を進めている. 令和6年9月時点で, 国際原子力機関(IAEA)や OECD/NEA が主催するワークショップや国際会議で計3回, HIP の概要やタスク B の概要に関する発表を実施した. また, 国内の学会(原子力学会, 土木学会, 地盤工学会)においても計11件, 主にタスク B の技術的な詳細に関する研究発表を行った.

5 まとめと今後の展開

本発表では, 地下研究施設を取り巻く国際的な動向や国際的に強化すべき技術的な課題, 各国の技術的関心を踏まえ, OECD/NEA の協力の下で JAEA が立ち上げた HIP の目的, 研究タスクの設定とその実施意義, 幌延深地層研究計画との関連とこれまでの活動実績について述べた. 主要なメッセージは下記のとおりである.

- 1) 幌延深地層研究センターの地下施設は, HIP のような国際共同研究や, 地下施設を活用した実習等による技術継承や人材育成のための国際的なプラットフォームになり得る.
- 2) 地下研究施設を取り巻く国際的な動向や, 国際的に議論された技術開発を強化すべき課題を踏まえ, これまでに事例の少ない堆積岩を対象として実際の坑道を掘削しながら原位置試験を実施し, 参加機関と連携してモデルの妥当性検証や, 技術の統合化に取り組むなど, 国際的に実施意義が高く, なおかつ難易度の高い研究タスクに取り組んでいる. HIP は発足して間もない状況であるが, このように国際的に実施意義の高い課題に国内外の機関と連携して取り組んでおり, 地下研究施設を活用した国際協力の良好事例となり得る.
- 3) HIP の枠組みを活用し, 幌延深地層研究計画の成果の最大化を目標に参加機関と連携して成果の外部発表等を積極的に進めていく.

今後も引き続き対面やオンラインでのタスク会合等を通じて, 参加機関とコミュニケーションを密に取りながら成果を取りまとめていく. 特に, フェーズ1に得られた各タスクの研究成果については, 報告書として取りまとめるとともに OECD/NEA のレポートとして出版, 公開する予定である. また, 参加機関と連携して国内外の学会発表や査読付き論文への投稿など, 積極的な成果発信に取り組んでいく. さらに, OECD/NEA とも協力して活動内容を積極的に広報し, 新規参入機関を増やしていく. 大学等の有識者の関与のあり方や, 海外の参加機関の研究者の幌延への受け入れによる人材育成の充実化についても検討する予定である.

謝辞

本発表は, 幌延国際共同プロジェクト (HIP) の成果の一

部である. プロジェクトの立ち上げや運営管理, 合同タスク会合の実施にあたっては, OECD/NEA のスタッフに多々ご助力いただいた. これまでの各タスクの研究の実施や成果の発信, 取りまとめにあたっては, HIP 参加機関の研究者の積極的な関与をいただいた. また, 東北大学桐島陽教授には, 本再録の内容を含め, 企画セッションの充実化のための貴重な助言を多々いただいた. ここに謝意を表する.

参考文献

- [1] Mayer, S.J., Marcke, P.K., Jung, H., Thompson, P. and Acharya, G.: Important roles of underground research laboratories for the geological disposal of radioactive wastes: an international perspective, *Geological Society, London, Special Publications* **536**, pp.297-309 (2023).
- [2] OECD/NEA: International Roundtable on the Final Disposal of High-Level Radioactive Waste and Spent Fuel: Summary Report No.7529, OECD publishing, Paris (2020).
- [3] 幌延深地層研究センターホームページ: <https://www.jaea.go.jp/english/04/horonobe/IJP/HIP/index.html>
- [4] Ota, K., Abe, H. and Kunimaru, T: Horonobe Underground Research Laboratory Project: Synthesis of Phase I Investigations 2001-2005, Volume "Geoscientific Research". JAEA-Research 2011-068, JAEA, Tokai, Japan (2011).
- [5] 中山雅 (編): 幌延深地層研究計画; 令和6年度調査研究計画. JAEA-Review 2024-033, 日本原子力研究開発機構 (2024).