

## 幌延国際共同プロジェクトの現状と今後の展開

### (5) 総合討論

#### バックエンド部会運営小委員会\*1

2024年9月11日(水)、東北大学で開催された日本原子力学会2024年秋の大会において、「幌延国際共同プロジェクト(HIP)の現状と今後の展開」と題したバックエンド部会の企画セッションが開催された。JAEAからのHIPに関する4件の講演に続く総合討論では、日本の参加機関であるNUMO、原環センター、電中研よりHIPとの関わりや今後の期待などについて意見の発表がなされたあと、講演者や参加者を含めた総合的な討論が行われた。本稿ではその内容を報告する。

なお、本稿では、総合討論の参加者の発言のニュアンスを正確に伝えるため、です・ます調の文体としている。

**Keywords:** 日本原子力学会, バックエンド部会, 企画セッション, 幌延国際共同プロジェクト(HIP)

#### 1 参加者

座長：  
桐島 陽(東北大学)  
総合討論意見発表者：  
江橋 健(NUMO)  
江守 稔(原環センター)  
中田 弘太郎(電中研)  
JAEA講演者 ほか

順不同敬称略

#### 2 意見発表および討論

座長・桐島：総合討論ですが、この幌延国際共同プロジェクト(HIP)には、JAEAのほか、日本からはNUMO、原環センター、電中研も参加しています。この3機関からHIPとの関わりや期待するものについて意見をいただきます。最初に、NUMOからお願いします。

NUMO・江橋：HIPに期待することとして、3点紹介します。1点目がプロジェクト全体に対するものです。2点目としては各タスクへの期待、3点目が人材育成についてになります。

まずプロジェクト全体になります。NUMOは最終処分の基本方針に沿って、最終処分事業の安全な実施と経済性や効率性の向上を目的とする技術開発を実施しています。また、NUMOには、過去の原子力委員会からの報告書において、研究全体に対するリーダーシップを発揮することが求められています。これに関しては、地層処分調整会議を活用して取り組んでおり、NUMOから研究開発のニーズを基盤研究機関の方に提示し、その結果を受け取るというような形で進められています。これは、スパイラルアップの一種であり、何度もコミュニケーションを密に取っていくことで、より品質が高い成果を得られたり、その速度が上がるなどしますので、非常に重要な取り組みであると思っています。これまでのJAEAからの説明にもあった通り、コミュニケーションを密にすることが可能となっています。今回NUMOがHIPに入ることで、担当者レベルでニーズを出してコミュニケーションを密にすることが、このプロジェクトに期待しているものとなります。

加えて、NUMOの事業展開との関係については、このHIPを対象としている研究テーマ自体は、精密調査の後半における地下調査施設を作っていく段階、そこに反映することになります。具体的には、例えば実際のサイトで似たような岩盤の岩種であれば、そこで試験を合理化するこ

とを期待しています。HIPでは、国内の地下研究施設を活用して、国際ベンチマークをやるというのがその大きな目的となっています。自分たちが持っている解析コードや、包括的技術報告書で示した考え方の適用性もしくはその適用限界、そういったものを確認していくということが大きな期待です。

続きまして、各タスクについては、技術のテストV&V(Verification & Validation：検証と妥当性確認)とトレーニングという二つの視点があります。

タスクAに関しては、NUMOの方でPARTRIDGEという3次元の物質移行評価技術を開発していますので、それらをこの幌延の岩盤のデータを使って、かつ海外の機関も含めた形で国際ベンチマークをやっていきたいと考えています。タスクAに関して、トレーニングの視点では、例えば、声問層に対する収着分配係数( $K_d$ )や拡散係数(De)の設定をNUMOとしても検討して、実際のサイト評価に備えていくということがあります。さらに試験計画の策定への関与についても、期待をしているところです。

タスクBに関しては、深度500mのデータが出てきますので、予め自分たちで岩盤の特性を予測したものと比較して、技術を実証していくことをやっていきたいと思っています。タスクCに関しても同様で、ニアフィールドのTHMC連成挙動解析に関する国際ベンチマークを実施したいと思っています。トレーニングの面で言うと、モニタリングデータに対する理解を深めるということと、2026年度以降に解体によって得られるデータの解釈に取り組み、実際のサイト評価に備えていくということがあります。

最後に、人材育成の視点になりますが、こちらは4点あります。運営委員会やタスクミーティングでの議論というのは当然、英語でやることになるので、技術的知識の習得だけでなく、英語によるコミュニケーションの経験が蓄積できるということがあります。あとは、岩盤の状況、坑道内の支保工、EDZ(掘削影響領域)を確認しながら、実際の状態とか規模感を把握しながら解析やデータ設定を行う経験を着実に蓄積できると考えています。加えて、JAEAや参加機関との議論を通じて、公開の報告書には記載されないような知識やノウハウも蓄積できると考えています。さらに若手と中堅職員的人的ネットワークが、国内外の機関や大学も含めて構築できると考えています。私からは以上となります。

座長・桐島：続きまして、原環センターからお願いします。

原環センター・江守：HIP への期待について紹介します。原環センターではこれまで、工学技術の開発という観点で JAEA の地下研も活用させて頂き、色々な実証研究を実施してきたところです。今後の工学技術開発では、従来の設計・施工技術に加えて、施工品質の管理技術や地下構成要素に関する施工後の状態変遷の確認など、これらに関連する技術の拡張展開が期待されています。そのような観点から、地下の実環境でのさらなる実証的な研究への取り組み、これが我々としての地下研究施設への期待ということになります。

次に HIP への参画と期待する成果ですが、我々が現在 HIP の枠組みにおいて取り組んでいる課題うち、いくつかは実際の地下での実証試験に取り組む計画です。我々としては、色々な国の関係機関が参加する中で、国によって設計概念の違いもあるのですが、共通する要素技術や共通する技術課題があると考えています。そのような課題の一部かもしれませんが、色々な機関との議論を重ねながら取り組んでいくことで、いくつかの効果が期待できると考えています。一つは連携による相乗効果、もう一つは国際的な先端技術の取り込み、さらには HIP に参加する実施主体のニーズなどを直接聞きながら取り込んでいける、そのような効果を期待しています。

実際に地下施設を使った取り組みとしてどのようなことを考えているのかというと、一つはタスク B-3 として、閉鎖技術の実証試験を計画しています。対象は、止水プラグと埋戻し材の施工技術の二つです。この試験では、原位置地下水の注水に伴う膨潤挙動の評価、さらにはそれを原位置で把握するための計測技術、また、坑道周辺の EDZ の評価など、関連するいくつかの技術の実証が含まれています。こうしたことを一つの試験坑道で総合的に実証する計画となっています。

もう一つは、まだ計画策定中であり、今後具体化を検討するものになりますが、タスク B-2 の一連の設計技術の体系化に関するものです。一連の取り組みを通して深度 500 m の試験坑道の水理場や力学場の予測評価が進められます。それらの評価結果を踏まえ、処分孔に緩衝材を施工した際の流出量の予測評価や膨潤挙動の評価技術を実際の場への適用を通して、種々の設計体系化技術の一環として実証していくことを考えています。

最後にまとめですが、地下研究施設および HIP への期待に加えて、人材育成・技術伝承の場としても、色々なことが期待できると考えています。

座長・桐島：それでは電中研からお願いします。

電中研・中田：HIP への期待を発表します。電中研は、タスク A とタスク C に参加しています。タスク A においては、トレーサー試験を計画、条件を設定して、現場試験をして解析するということまで一貫通貫で手法を提案し

ようというのが我々の試みです。タスク C において強調したいのは、小規模なモックアップを作って、それを遠心機で加速して重力を付加することで、実現象を加速して試験するという点を実施しているという点です。この小さな模型の試験と現場での試験が比較できるというところが、電中研にとってタスク C に参加するモチベーションになります。このような取り組みに興味のある方は、ぜひ電中研なり JAEA に声をかけていただければと思います。

次に、人材育成の視点で HIP に期待するところを紹介したいと思います。我々は人材育成・技術継承というと、どうしても研究者・技術者がどのように実験・解析するか、実験や解析における方法論が受け継がれるということをイメージしがちです。我々が実際に現場試験を実施してみて、非常に重要だと感じたのが、例えば試験を実施するための装置、これを作る人がいなくなれば、その技術というのは途絶えてしまうという点です。例えばパッカーという道具は、原理は簡単でゴムを膨らまして遮水をするというものですが、実はこのパッカーを作れる人も日本で数えるほどしかおられず、なおかつ高齢であるということがわかりました。例えば 10 年後に精密調査で同じような試験実施が必要となったとき、こういった方々が本当に今と同じように仕事をしてくれるかどうかといったところを、しっかり考えていく必要があると感じました。我々が試験を実施するということだけでなく、実際に実施するための技術を継承し、技術を継承する人材を育成するためにも、HIP などで実際に現場を動かしていくというのが非常に重要だと考えています。

それから、外国人研究者との交流ですが、皆様も実感されていると思いますが、コロナ禍・物価高等の影響による実質的に予算な予算の減少等の影響を受け、若手が国外機関の研究者と交流する機会が激減しているというのが現状です。HIP により、若手研究者にも海外との交流の機会が増えたことは有難いなと感じています。

座長・桐島：ここまで国内参加 3 機関からの HIP への期待について発表いただきました。これを踏まえて討論してみたいのですが、国内での連携、複数の機関、実施主体である NUMO、基盤研究機関である JAEA、電中研、原環センター等の複数の機関で取り組まれているが、それで HIP プロジェクトが始まってみて、非常にうまく回っていて効果的だなという面もあれば、少しチャレンジングで調整が必要なのではないかということもあるかと思えます。うまく行っているところ、少しチャレンジングで調整が必要な課題と感じているところがあれば、少し紹介していただきたいと思いますが、いかがでしょうか。

JAEA・館：HIP を進めて色々なメリットを感じているところです。これまでも NUMO の事業が開始されて 20 年くらい、色々な基盤研究を進めてきた中で、関係機関の連携をいかにして効果的に進めるか、研究成果を NUMO の事業にいかに反映していくか、これを課題としてずっと取り組んできました。実際に HIP のタスクに複数機関で実践的に取り組むことで、これまで課題であった連携を非常にう

まく進めることができていると感じています。この HIP の取り組みをさらに活用して、実施主体の NUMO も含めた複数の国内機関の連携、国際的な連携、研究成果の最大化をうまく進めていければと思っています。

座長・桐島：その他の機関からいかがでしょうか。

電中研・中田：良かったと思うところは、やはり各研究機関それぞれ試験や解析に対して独自のノウハウを持っており、違うアプローチで一つの目的達成を目指すことができるという点です。結果の相互比較等を通じて、それぞれの手法の良さや課題が明確になるのはやはり国際共同研究の良さだと感じました。課題だと思っている点は、コロナの影響で対面の会議が減り、会議時間が 2 時間程度のオンライン会議での議論が増えたことで、交換できる情報量が極めて限られているという点です。自分たちの研究に対して、種々の意見をいただけるという国際共研のメリットが必ずしもフルに活用できておらず、もどかしい思いをしているところはあります。

NUMO・江橋：うまく行っているところは、先ほどご説明した通りで、課題と思うところは、タスク B において設計オプションを NUMO として色々出しているのですが、一方で設計オプションを多く持っている研究すべきことが多く、そのすり合わせをどう調整していくのかという点です。このことは、HIP だけに限らず、最近悩ましいと思うところですが、一方で、事業実施主体としてみると、サイトが明確にならない段階で設計オプションを絞っていくというのはなかなか難しいですが、基盤研究機関から見ると、設計オプションはある程度絞った方が研究はやり易かったりする面もあるので、その折り返いの付け方というのが一つ難しいところと思っています。

原環センター・江守：先ほど工学技術分野の研究課題に関する私からのお話のなかで、各国の色々な機関と議論ができることの効果について触れましたが、やはり事業段階や設計概念が違っていると、一緒に議論できる方とそうでない方がいるのも事実です。今回の参加機関の全ての国で設計概念などが具体化しているわけではなく、地層処分事業の初期段階の国の方々も多いため、そういう意味では必ずしも HIP で設定している工学技術分野の全ての研究課題に対して、色々な議論ができているわけではないことも確かです。希望としては、このような研究を、地下施設を使って先行的に取り組んできた SKB（スウェーデン）や NAGRA（スイス）など、そういった組織の方々も一緒に参加いただくと、先行的な経験や苦労した点などが議論、共有できて有難いと思っています。

座長・桐島：やはり今回は国際プロジェクトなので、タスク A の室内試験で、試料を各国に分配することによって、効率化を図れるのではないかと、確かにそういう面もあるかと思うのですが、一方で天然のサンプルですので、サンプルが少しずつ違ってくると思います。全く同じサンプル

というのはおそろくないと思います。それで各国の分析の仕方、試験の仕方も少しずつ異なるので、そこから出てくる結果にも違いが生じるだろうという、そんな議論も当然出てくると思うのですが、その辺りはいかがでしょうか。これからだとは思いますが、データが上がってきた後、どのようにその解釈をすり合わせて統合化していくのか、もしコメントありましたらお願いします。

JAEA・尾崎：タスク A では実際に海外機関と分担して分析を実施しているのですが、我々としても岩石試料の取扱いによる影響は十分には把握できてはいません。一方で、同じ条件での試験結果を比較することで、試料の取扱い方による影響に関しては、一部評価できるのではないかと考えています。

JAEA・大野：タスク C に関しては、今後解体試験で大量の粘土材料、コンクリート、岩盤などをサンプリングする予定です。それらのサンプルは水分量や乾燥密度などの水理・力学的影響、セメント影響や微生物相互作用などの化学的影響などを調査するために使用しますが、調査の目的や分析方法によって求められるサンプルの取扱いが異なることが想定されます。海外の研究者からもサンプルの擾乱を防ぐために、取得方法や保管方法には気を付けないといけないとの指摘もあり、サンプリングに際してどのような工夫が必要か、もし現場でのサンプルの取扱いに限界があるならそのようなサンプルであることを念頭において評価していくことが今後必要になると考えています。

座長・桐島：フェーズが進むにつれて色々な苦労があると思いますので、ぜひまたこういった機会を設けていただければと思います。では会場からもご意見を受け付けてディスカッションしていきたいと思います。質問コメントでも構いません、よろしくお願いします。

日本原燃・佐藤：今回のこのセッションを、ある期待を持って聞いておりました。というのは、私どもは、今回の高レベル廃棄物とは違って、低レベル廃棄物の処分場の操業をやっています。今後廃止措置に向けてモニタリングのステージに入りますが、その時に原位置試験というのを必ずセットで行う必要があります、その原位置試験が、国内で実規模スケールでできるのは、幌延だけだと思います。我々も、原位置試験を実施しなければならなかったときに、今回は幌延なので堆積岩、泥岩が対象ですが、違ったサイトや岩種の場合に、今までに培った技術がどのように活かせるのかと思います。例えば操業とか処分技術の実証などはユニバーサルなものだと思うのですが、モニタリングに関してはやはりサイトスペシフィックな情報が結構多いと思います。例えば、タスク A では、そういった時に色々な岩盤にも適用できるような知見を培うというところを重要な課題として検討されようしているのかと思いました。私どもの処分場は、堆積岩ではなくて火山砕屑性で、堆積岩に分類されますが、岩質が全く異なっている。諸外国で参画されているところも、先ほど SKB などの名前が出

てきましたが、深成岩の岩盤であったり、そういった諸外国の違う岩盤で技術を持つて人たちとのコミュニケーションでそこは補えるというように思いました。タスク B に関しても、そこは色々な岩盤の種類に対しても適用できる知見、これを意識して取り組んでいただきたいと思いました。

座長・桐島：多様な岩種への知見の活用についての意見かと思いましたが、如何でしょうか。

JAEA・尾崎：異なる岩盤の種類における適用可能性に関する検討は、非常に難しい課題と認識しております。一方で、電力中央研究所では例えば瑞浪の結晶質岩を対象とした研究の実績があり、堆積岩だけでなく、結晶質岩に関する経験もあります。幌延においても深度によって特性が異なり、それに応じて調査手法を工夫しないとといけないということが HIP での調査を通してある程度わかってきました。海外の機関の知見を取り入れながら、国内における知見に関しても HIP を用いて集約していきたいと考えています。

JAEA・舘：HIP は地層処分を対象とした研究の位置付けとなっていますが、原位置試験やモニタリングなどについては、中深度処分などの低レベル廃棄物の処分含めて、共通的に活用できる場所も多いかと思えます。ぜひ色々議論させていただいて、より広く使える成果を目指してやっていきたいと思えます。

座長・桐島：ありがとうございました。

早稲田大・小峯：早稲田大学で今年度バックエンド部会長の小峯です。電中研から、遠心模型実験の話がありました。原子力の方がどれだけ遠心模型実験のことをご存じなのかは分かりませんが、実は 1980 年代から地盤工学で作り上げてきたもので、要するに重力場の話になります。小さい規模にしてしまうと  $m$  (質量) が小さくなってしまったため、 $g$  (重力加速度) を増やして、同じ力を発生させるというもので、先ほどありましたように、力学的相似則というのが非常に重要なので、ぜひしっかりやっていただきたい。遠心模型実験はメカニズム、どうしてそういうことが起きたかの解明につながります。このため、モニタリングの結果がどう解釈されるかというのは、実は遠心模型が有力な武器だと思います。私はこの分野の専門で、電中研の最初の一号機的设计は私が行ったものですので、もし何かあれば相談に乗りますので、しっかりやっていただきたい。HIP 以外の機関の協力も得て進められた方が良いかと思えます。

電中研・中田：フォローしていただき助かりました。電中研の担当にも伝えておきます。

座長・桐島：今いただいたご意見のとおり、現状の HIP は国内では JAEA と先ほど意見をいただいた 3 機関で実施

されていますが、もしかしたら国内の大学等の、もう少し規模の小さい研究グループの参画によって発展することもあってはないかというところがあります。どういう風に HIP に参加していくことができるのか、発展していくことができるのかというのも議論が必要だと思います。もし何か、お考えがあればお願いします。

JAEA・青柳：タスク C では人工バリアを対象として連成解析を実施していますが、神戸大学の先生に第 3 者としてデータを見ていただいたりご指導をいただいたりという取り組みを既に行っています。そういった、メンバーに入らないまでも第 3 者という立場で情報共有、データ提供や指導、助言といったことは可能です。そういった枠組みを活用しつつ、HIP に興味を持つ大学の研究者の方々の巻き込みを模索しながら進めていきたいと思っています。

座長・桐島：ありがとうございました。この後、我々も大学を中心に地下研とも関連する研究協力についてディスカッションする予定があり、ぜひ色々協力を進めていければと思います。まだまだご質問、ご意見等あると思いますが、時間になりましたので、ここで締めさせていただきます。

HIP は非常に包括的なプロジェクトで、これまで、例えばグリムゼル等の海外プロジェクトに日本の研究機関が参加してきた実績はありますが、幌延を中心にこういうことを包括的にやっていくというのはチャレンジングでもあるし、非常に発展性があることだと思っています。外にいる大学の人間としても大変期待しておりますので、どうぞ今後ともよろしくお願いします。また機会を見つけてこういった場を設けていただいて、進捗状況の共有やディスカッションなどでできればと思います。

本日はありがとうございました。