

第 38 回深地層の研究施設計画検討委員会 議事録

【日 時】 令和 7 年 3 月 11 日 (火) 10:00～17:00

【開催場所】 日本原子力研究開発機構 東京事務所 第 1 会議室 (対面・オンライン会議併用)

【出席者】

竹内委員長、川村委員*、岸田委員、桐島委員*、児玉委員*、榊委員、下茂委員、
所委員*、廣野委員、安原委員

原子力機構) 核燃料サイクル工学研究所：高田所長*、北村次長、前川技術主席、
杉田研究主幹、西垣客員研究員 他

東濃地科学センター：濱副所長、國分室長* 他

幌延深地層研究センター：館副所長、石井研究主席、早野研究副主幹、
青柳研究副主幹、村上研究副主幹 他

バックエンド領域：瀬尾上級技術専門官

オブザーバー)

原子力環境整備促進・資金管理センター 江守研究開発部門統括*

電力中央研究所 長谷川分野統括*

産業技術総合研究所 井川上級主任研究員*

原子力機構 安全研究センター 武田研究主席*

* オンライン参加。

【配布資料】

議事次第

令和 6 年度 深地層の研究施設計画検討委員会 委員名簿

第 37 回深地層の研究施設計画検討委員会 議事録

資料 38-1 委員会の進め方と最近のトピックス

資料 38-2 超深地層研究所計画(瑞浪)に関する令和 6 年度の実施内容及び令和 7 年度の計画

資料 38-3 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画
(1) 令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画の概要

資料 38-4-1 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画
(2) 必須の課題のうち令和 6 年度に取りまとめる課題
1.2 物質移行試験

資料 38-4-2 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画
(2) 必須の課題のうち令和 6 年度に取りまとめる課題
2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

資料 38-4-3 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画
(2) 必須の課題のうち令和 6 年度に取りまとめる課題
2.2 高温度(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

資料 38-4-4 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画
(2) 必須の課題のうち令和 6 年度に取りまとめる課題
3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

資料 38-4-5 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画
(2) 必須の課題のうち令和 6 年度に取りまとめる課題
3.1.2 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

資料 38-5 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画
(3) 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

【議事概要】(委員等からのご質問・ご意見を「○」、機構からの回答を「⇒」で示す。)

3-1 (2) 委員会の進め方と最近のトピックス

- 国外の地層処分をめぐる動き (P. 8) について、中国の動向が入っていないのはなぜか。
⇒ 直近 3 カ月の情報のみに絞ってまとめている。国内外の地層処分の動向については今後もフォローし、最新の情報でまとめていく予定である。
- 学生実習生の受入について、留学生も受入可能なのか。
⇒ 受入可能である。数は多くないが、受入実績もある。

3-2 (1) 超深地層研究所計画(瑞浪)に関する令和 6 年度の実施内容及び令和 7 年度の計画

- 立坑沈下量の経時変化グラフ (P. 30) について、2023/9/19~2023/10/19 の期間の換気立坑のデータが無いが、当該期間は沈降していないのか。現在のプロットの仕方だと、当該期間も沈下が進んでいたと誤解を与えてしまうため、グラフの作成方法を工夫いただきたい。
⇒ プロットの無い期間は、天候の関係で測定していない。2023/11/6 までは沈下を確認しておらず、沈下量も横ばいで推移していたと考えている。グラフの作成方法については承知した。
- MIZ-1 ボーリング孔は直線的な孔ではないとのことだが、どのように閉塞する予定なのか。
⇒ 可能な限り砂を充填し、最後にコンクリートで蓋をする予定である。
- 立坑の沈下量の計測について、現在の頻度と今後の頻度予定について教えていただきたい。
⇒ 現在は毎日目視で確認し、変状を確認次第計測している。今後も同様の頻度で続ける予定である。
- 埋め戻し土の充填量及び土砂変化率の表 (P. 26) について、充填した土の砂の相対密度はどの程度なのか。
⇒ 充填土量の砂の相対密度は不明である。充填量は現場での測定値である。砂の土量変化率は L:1.2、C:0.95 で計算した。また、埋め戻し土の締固めの程度と沈下量の関係は、締固め試験の最大乾燥密度結果と、過去に冠水坑道を充填した埋め戻し土の密度試験の結果を参考に算出している。
- 最初湧水に浸かっていなかった部分が徐々に湧水に浸かったことが、立坑の沈下原因だと理解した。今回と同様の沈下を起こさないようにするために、今後埋め戻す際に、砂と一緒に水を投入する等の対策を取る予定はあるか。
⇒ 今回の沈下原因は、埋め戻しを早く完了させるために、湧水の制御を行わずに砂を充填したため起きたと考えている。適切な深度にプラグを設置するなどの施工を行いつつ埋め戻しすることが一般的と考えられ、今後はこのようなことは起きないと考えている。
- 立坑のコンクリートと周囲の岩盤の間には隙間があるのか。地球化学的にも地下水的にも平衡状態になっているのか。
⇒ 隙間が残った状態で埋め戻している。
- 全体を通して使用されている「締固め密度」は一般的に用いられている用語ではないのではないか。また「締固め密度」の単位に%を用いていることも違和感がある。土質力学的には「締固め度」あるいは「相対密度」という用語が使用されると思うので確認していただきたい。

- 立坑の沈下体積を計算した表 (P. 31~P. 32) について、仮定している条件の説明をいただけると理解しやすくなる。また、この表とその後に出てくる沈下原因の推定の図 (P. 35~P. 38) に示された沈下のプロセスについて、整合を見直していただきたい。
- ⇒ 拝承。
- ボーリング孔はモルタル打設されていると思うが、原状回復するのに、モルタル打設でも問題はないのか。
- ⇒ 特に問題はない。
- 立坑の埋め戻し後に物理探査は実施しないのか。
- ⇒ その予定はない。
- 坑道内から掘削したボーリング孔における観測結果 (P. 6) について、ホウ素とフッ素の結果が変動しているように見えるが、その原因は何か。また、深度 100m の地点の結果について、掘削中の観測結果はないか。
- ⇒ ホウ素とフッ素については、天然に高い地域のため、周辺の流量の変化等を反映していると考えている。今後も引き続き観測を行う予定である。深度 100m の地点の結果については、立坑の掘削中は水位低下のため水質データが取得できなかった。立坑の埋め戻しに伴い、水位が回復しデータが取得できるようになったため、途中から表示している。

3-2 (2) 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画

① 令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画の概要

- 令和 10 年度より後の見通しについて、原子力機構としてどのようにアピールするのか。例えば、人工バリア性能確認試験については横置き原位置試験が実施されているわけではなく、また、より EDZ の発達が予想される 500m における発熱影響の確認試験が予定されているわけでもないなど、確認すべきことはあるように思われる。
- ⇒ 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で示した研究課題に取り組み、その上で、国内外の技術動向を踏まえて、地層処分技術基盤の整備の完了が確認できれば、地下施設の埋め戻しを行うことを具体的工程として示す予定である。この過程で、本委員会でも技術基盤の整備などについて議論をし、ご意見を頂きたい。
- 深度 500m まで掘削が行われている状況を HP などでも公開することもアピールの 1 つになると思う。
- ⇒ 公開 HP にて毎週、掘削の進捗状況を写真を用いて紹介している。また、X など SNS でも情報発信している。
- P. 15 の表で示された整理の仕方は重要であるが、現状、日本国内では堆積岩については幌延の声問層と稚内層、結晶質岩については瑞浪での土岐花崗岩で詳細な情報が整理されているのみであり、将来候補地に上がった地域がこれらとは異なる岩種である可能性もあることを踏まえると、令和 10 年度より後は P. 15 の表を拡張するような取り組みについて、原子力機構のみでなく関係機関が協力して取り組んでいく必要があるのではないか。
- ⇒ P. 15 の表は幌延の堆積岩から得られた知見を中心に整理したものであり、限られた適用範囲内での整理となる。一方で、ここでの整理の適用範囲を超えるより広い範囲の地質環境を対象に、技術の適用性の状況を整理することも重要であると認識している。この点については、資源エネルギー庁のプロジェクトにて堆積岩や花崗岩、火山岩、付加体のような地質環境に対しても取り組みを始めているところであり、一朝一夕で成果が出るものではなく、時間をかけて整理していく必要があると考えている。

- 幌延深地層研究計画において整理された方法論を雛形として、関係機関の集う他のプロジェクトにおいて活用・適用していく取り組みが今後必要になると思われ、原子力機構が主体となって取り組んでほしい。
- P. 9 に深度 350m と 500m の比較が示されているが、実際に処分候補地が選定される際には、施工上の難易度や安全評価の観点から処分場の設置深度が比較・検討されることが想定されるが、今回の体系化の取り組みではどちらの深度がより適した環境であるかという点まで検討する予定か。また、建設コストについても検討の予定か。
 - ⇒ 幌延深地層研究計画では深度 350m と 500m のどちらの深度が処分場により適しているという検討に焦点を当てたものではなく、NUMO が事業を進める際に必要となる深度に応じた一連の調査手法を整備することが最終的な成果となる。この際、深度 140m や 250m で得られた知見は、異なる環境における安全評価手法の整備のみならず、地質環境の長期変遷を踏まえた場の理解にも必要な情報として活用していく。建設コストについての詳細な検討は予定していない。
- P. 19 の表は良くまとまっており分かりやすいが、縦軸や横軸に具体的な数字を入れることは難しいか。例えば、ピットスケールは具体的にどのくらいのスケールであり、横軸の各期間も何年程度を想定しているのかなど。温度については建設コストなど他の検討項目に与える影響が大きいと、具体的な数字を決めた上で検討を進めるのが良いのではないか。
 - ⇒ 厳密な境界線として数字を入れることは難しい。目安として、例えばピットスケールは数メートルから数十メートルであり、坑道スケールは数十メートルから百メートル程度である。時間については、閉鎖後（過渡期～長期）は 1,000 年程度を考えている。頂いたご意見を参考に図の示し方を検討していきたい。
- P. 16 の右上のモンテリにおける処分システム変遷と課題の関係の整理例を参考に縦軸にスケールを重ねることで P. 19 の図を整理していただいたと理解しているが、スケールを紙面に対する直行方向に加えた 3 次元の形が良いかもしれない。
- 体系化の課題 2～4 を課題 1 に集約するという説明であったが、分かりにくい点もあった。もう少し補足してもらえないか。体系化の全体像については、本研究に携わる者全員が同じ認識を共有していくことが重要と考える。
 - ⇒ 課題 2～4 の全てを課題 1 に集約して体系化するわけではない。物質移行や安全評価に関する点は課題 1 で体系化する。課題 2 や 3 では深度 350m と 500m での調査結果が集約され、地質環境の特性評価に関する体系化は課題 4 で行う。このように課題ごとに体系化し、全体を取りまとめることによって一連の体系化が達成されるという考えになる。今後、より一層の具体化・明確化を行い、関係者間で認識の共有を図りたい。
- P. 19 の右上に位置する 3.1.2 の課題については閉鎖後の時間軸に位置付けられているが、本課題はサイト選定にも関わる課題ではないか。
 - ⇒ ご指摘の通りと考えている。P. 17 では、本課題の成果の反映先として、地層処分事業の「調査（・設計・安全評価）」の時点を示している。「調査（・設計・安全評価）」にはあらゆる課題が関連するため、P. 19 の時間軸に入れた取りまとめ図において、その点を表現することは困難であった。
- 地層がこれまでに被ってきたテクトニクスによる様々な亀裂・断層のように、地下施設の掘削以前に地層に元々存在していた亀裂・断層の透水性を評価した上で、各深度に地下施設を掘削した影響を評価できると良い。地圧の大小によって亀裂の透水性が取り得る範囲を DI を指標として評価する汎用的な評価手法を構築されているが、断層が現在の深度に位置する以前に持っていた元々の特性を評価するという別の側面も必要ではないか。

- ⇒ 処分候補地には岩種によらず様々な割れ目が存在することが想定される。割れ目の水の通し易さの空間分布については、限られた本数のボーリング調査から正確に評価することは困難であるため、幌延では割れ目の水の通し易さの評価手法の開発に注力してきている。一方で、割れ目や断層の分布密度については、限られた本数のボーリング調査から全体像を比較的把握しやすい情報であることが分かっているため、このような情報を活用して割れ目の水の通し易さの空間分布の評価手法の開発に取り組んできている。
- 声問層と稚内層のみでなく、これまでに様々な岩種を検討してきていることを強調することで、幌延でまとめられた成果が汎用性をもつ技術として受け取られやすくなると思う。

3-2 (2) 幌延深地層研究計画に関する令和6年度の成果及び令和7年度の計画

② 必須の課題のうち令和6年度に取りまとめる課題

1.2 物質移行試験

- P.8 のトレーサー試験の結果について、「2L」で示される線は「L」と「2L」の2本の線が重なっているということか。「 $0.5\alpha_L$ 」と「 $2\alpha_L$ 」で示される線は、Lは変えずに分散長のみを変えた2ケースの結果を示しているということか。分散長が大きくなるとトレーサー濃度の時間変化は緩やかになると思われ、示された結果と逆の傾向に見えるが、補足をお願いしたい。
- ⇒ 「2L」で示される線は「L」と「2L」の2本の線が重なっているものである。「 $0.5\alpha_L$ 」と「 $2\alpha_L$ 」で示される線は、それぞれLは変えずに α_L （縦方向分散長）のみを変えた2ケースの結果を示している。
- 【補足】上記のご指摘を踏まえ後日にデータを見直したところ、「 $0.5\alpha_L$ 」と「 $2\alpha_L$ 」が逆に図示されていたため、委員会後に修正した。
- P.13 のブロックスケールを対象としたトレーサー試験の解析結果について、事前に求めた65mの経路長を用いて解析を行なったのか。また、図では断層の前後における流量が一致していないのではないか。前回の委員会でも述べたが、P.2のEDZにおける試験のようなモデルパラメータの表があると理解しやすい。
- ⇒ トレーサー試験の解析における経路長については、水理解析結果に基づいた65mの値を用いている。断層の前後の流量については、同じ値を設定している。
- 【補足】上記のご指摘を踏まえ後日にデータを見直したところ、図中の流量について断層前後の記載と他の移行経路の記載に誤りがあったため、委員会後に修正した。
- P.13についてはパラメータ一覧表を追加して差し替えていただきたい。
- ⇒ 拝承。
- P.6のEDZにおけるトレーサー試験の回収率がかなり低い、その理由をどのように考えているか。関連して、破過曲線においてトレーサー濃度が急に増加している要因についても、併せて考えを教えてください。
- ⇒ 回収率が低い要因は、D4-1孔を介して多少のトレーサーが流出していたことに加え、試験坑道4の周囲に形成されたEDZ中、もしくは試験坑道4の埋め戻し部にトレーサーが残留していたためと考えている。
- 仮にトレーサーがEDZ内部に留まっていたとしても、いつかは出てくるはずではないか。時定数の異なる複数の流れが存在することが考えられる中で、トレーサー回収率から判断される3割を占める一番速い流れのみを評価する意味は何か。大半である7割を占める物質移行の流れについては評価していないということにならないか。これらについては、原子力機構の方で十分に議論していただきたい。
- ⇒ 今回の試験は3年前に実施したものであるが、今年度に試験区間を開放したところ、高濃度のトレーサーの存在が認められたことから、トレーサーの大部分がEDZ内部に残

留していたと考えている。トレーサー試験の方法には大きく分けて 2 通りあり、1 つはトレーサーをパルスで注入し全量回収することで複数の流れの全てを評価することを目的とした方法であり、もう 1 つは長期間一定流量でトレーサーを流し続け、破過曲線の立ち上がりの様子から物質移行特性を評価する方法である。今回の試験では、流路の距離が大きいことから、パルス試験により全量回収することが困難であることが予想されたため、後者の長期間の試験方法を採用した。結果的に流れの速い流路のみの評価となったが、流れの速い流路について評価を行うことは、安全評価上、保守的な評価になることを意味していることから、今回の成果は処分事業においても役に立つものであると考えている。

- 今回の試験は亀裂内部の流路が 1 次元に近い場を選択して実施したものなのか。
- ⇒ EDZ における物質移行試験については、移行経路そのものが 1 次元であると考えているわけではなく、EDZ から人工バリア性能確認試験の力学プラグ部へ向かう 1 方向の流れが卓越した結果であると考えている。
- 成果として公開されている論文については、権威ある国際誌等に掲載されており、論文のクオリティコントロールもしっかりされていることが分かり、評価に値する。1 編でもハゲタカジャーナル (Predatory journal) 掲載論文が出てしまうと、プロジェクト全体の信憑性を損なうことになってしまうため、今後も質の高い管理が継続されることを望む。
- ⇒ 原子力機構全体としても学術雑誌に対する留意点が共有され、幌延深地層研究計画においても常に意識して取り組んでいるところである。
- 物質移行試験でトレーサーに用いたウラニンについて、地下水中で分解するという話を聞いたことがあるが、この点については問題無いか。
- ⇒ ウラニンを含む地下水試料の採取後、試料が酸素に触れた状態で保管し、後日に分析する場合、微生物活動によりウラニンなどの蛍光染料が分解され、蛍光強度が低下するという知見は承知している。ここで示した試験結果は、試料採取直後にウラニン濃度を計測したものであり、微生物活動によるウラニンの分解の影響は確認されなかった。
- 「有機物・微生物・コロイドの影響評価」について、分かりやすい結果が得られており、次の課題も見やすくなっていることから、今回取りまとめた成果を今後取り組むべき課題の整理にも活かしてほしい。P. 16 の右図で示される結果について、La の見かけの溶解度を増加させている「地下水コロイド」が何なのか、具体的に明らかにする方法について考えがあれば教えてほしい。P. 17 の結果も同様に、コロイド態もしくは懸濁成分が岩石に収着しないことを示しているが、コロイド態が岩石に収着しない要因を明らかにすることとも関連して、整理されると良い。また、P. 15 の Miller et al. (2000) の整理を基にしたフローチャートについて、「コロイドは核種移行に有意な影響を及ぼす」となった場合、核種の移行媒体の粒径が大きい状態となることが予想されるが、この時、水みちに存在する鉱物などの影響で粒径が関与するフィルタリング効果のような現象は今回の取り組みでは検討しなくても良いのか。
- ⇒ 「地下水コロイド」が何なのかについて、現時点では明らかにできていないが、今回取りまとめた成果を別途論文化する際には、各試験で用いたフィルタ上の捕集物を SIMS や SEM を用いて観察することも必要であると考えている。P. 17 に示した 10kDa 未満の溶存態が岩石に収着する結果について、P. 24 の右下図にあるように、同サイズの腐植物質も幌延の堆積岩に収着する知見が得られていることから、地下水中に含まれる腐植物質が差を生じさせた要因ではないかと推察している。コロイドの粒径が大きくなることによるフィルタリング効果については、今回の整理では検討していないが、ここで頂いたご意見は、別途取り組んでいる資源エネルギー庁からの受託事業などにおいて検討したい。

3-2 (2) 幌延深地層研究計画に関する令和6年度の成果及び令和7年度の計画

② 必須の課題のうち令和6年度に取りまとめる課題

2.1.1 操業・回収技術等の技術オプションの実証、閉鎖技術の実証

2.2 高温度(100℃以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

- 資料 38-4-2 の P. 14 の弾性波トモグラフィの感度解析結果について、この解析では EDZ は考慮されているのか。EDZ を考慮した方がより適切な結果が得られるのではないかと。
- ⇒ EDZ は考慮していないが、吹付けコンクリートの弾性波速度は周辺岩盤と比較して遥かに速いため、EDZ の有無で波線の大まかな経路に違いはないと考えている。しかしながら、EDZ を含めて解析した方が EDZ における屈折も再現されるため、より適切な感度が得られることはご指摘の通りであり、今後の類似の解析の際にはそのようにしたい。
- ここでの弾性波トモグラフィの目的は EDZ の拡がりを把握することではないのか。坑道の変形も別データとして取得されていると思うが、変形の影響も考慮して EDZ の拡がりの長期的な挙動もできるだけ正確に確認できると良い。また、解析によって坑道の形状が円形であったり馬蹄形であったりと異なるが、異なる理由は何か。幌延の堆積岩のように地山強度比が 1 未満のような環境において、インバートの設置をせずに作業を実施することは安全性に疑問を持つ。
- ⇒ 弾性波トモグラフィの目的はご指摘の通りであり、逆解析では岩盤と吹付けコンクリートのみの分布及び物性を初期モデルとして与え、最終的な弾性波速度構造を推定している。(変形の影響の考慮について) 拝承。P. 14、15 に示した弾性波トモグラフィの解析は、円形に掘削された試験坑道 2 を対象に実施したものである。一方で、今後「体系化」の取り組みで実施を予定している、閉鎖技術に関する坑道埋め戻しと止水プラグの設置試験の実施場所など、幌延の地下施設の多くの坑道は馬蹄形で掘削されており、馬蹄形の坑道周辺における EDZ の拡がりを把握する場合には、解析でも馬蹄形の形状を用いている。原位置試験の実施の際には、幌延の堆積岩の物性を考慮した作業計画とし、安全に実施したいと考えている。
- 資料 38-4-2 の P. 4 の吹付けコンクリートの一軸圧縮強度の経時変化について、経過時間が 2 年より少し前のデータにおいて一軸圧縮強度が大きく低下しており、さらに、大気条件下の試料と湿潤条件下の試料でエラーバーを超える差が見られることは、これらの試料については試料の状況に他と比較して違いがあった可能性も考えられるが、これらの試料はどこからどの程度の数量を採取したものなのか。
- ⇒ 実際の坑道に施工されている箇所から採取すると個々の試料の条件に差が生じる恐れがあることから、この試験では、同条件でまとめて吹き付けた試料から同時に複数試料を採取し、その半分を大気条件下で保管し、残り半分を地下水の掛け流しの条件で保管した。ご指摘の試料について他と比較して大きな差が見られた要因として、試料の不均質性の可能性が考えられるものの、正確な要因は不明である。3 年間で見られた傾向としては、吹付施工後数ヶ月かけて水和反応が進行することで構造が緻密化し、大気条件下と湿潤条件下で中性化反応の進行に差が出たことに因るものと考えている。なお、試料数は n=9 で実施していたが、3 年目については n=3 で実施した。
- 資料 38-4-3 の P. 4 の X 線 CT 分析による水分分布や、P. 5 のヒーター接触部からの距離と飽和度との関係図について、乾燥密度との関係を示した図はあるか。データがあれば、作図して関係性を確認することをお勧めする。
- ⇒ ヒーター接触部からの距離と乾燥密度を示した図は今回の資料には無いが、データは取得しており、例えば、P. 11 の右下に 1～6 段目と 7～12 段目で分けた含水比と乾燥密度の図を示している。この図から、初期含水比が高い試料群の方が、勾配が急になっており、一部の試料が初期乾燥密度を超えていることから、加熱による水分移動の影響をより受けていることが分かる。また、含水比が低く乾燥密度が大きいプロットは、ヒーター近傍の試料である傾向が見られた。

- 100℃以上ではモンモリロナイトの特性が失われることが今回の検討からも改めて明らかになった上で、廃棄体からの熱ではなくテクトニクスの影響で温度が 100℃を超えることが想定される場合、今後の課題をどのように考えているのか。例えば、人工バリアが 100℃を超えないことを必要条件とするのか、あるいは新規の材料開発を視野に入れるのかなど。層間水を失ったモンモリロナイトの収着特性についても評価しておく必要があるのではないか。
- ⇒ P. 13 の XRD の図にあるように、今回の原位置試験ではモンモリロナイトの変質（イライト化）は生じていないと理解している。地層処分において最も考えられる高温環境のシナリオは、ガラス固化体の製造過程におけるばらつきに起因して局所的・短期的に 100℃を超える環境が形成される可能性であり、地質学的に 100℃を超える高温環境にさらされるシナリオを想定しているわけではない。このことから、鉱物学的にモンモリロナイトが維持される程度の高温イベントであれば、問題無いと考えている。しかしながら、本課題は重要なテーマであり、ご指摘の課題については、資源エネルギー庁からの受託事業などにおいて検討を続けたい。

3-2 (2) 幌延深地層研究計画に関する令和 6 年度の成果及び令和 7 年度の計画

② 必須の課題のうち令和 6 年度に取りまとめる課題

3.1.1 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握

3.1.2 地下水の流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化

- 資料 38-4-4 の P. 5 や P. 6 の割れ目と断層の説明にあるように、DI の概念については、断層帯であっても単一割れ目として扱うという考え方なのか。
- ⇒ 実際の断層帯は割れ目の集合体であるが、結果的に、単一割れ目の考え方により観測データが説明できるという状況である。
- P. 8 の図は、割れ目の局所的な水理学的開口幅にはばらつきがあるものの、DI で整理すると一定のトレンドが見られることを示したものであり、地殻変動による影響を考えるうえでは特にトレンドが重要な意味を持つとの趣旨と理解した。
- ⇒ ご理解の通りであり、補足すると、局所的なばらつきは最終的にはマセロンの式 (P. 17) に織り込まれて評価される。例えば、割れ目の水理学的連結性が小さい場合、割れ目の局所的な透水性のばらつきが大きくなると、巨視的な透水性は小さく評価される。
- P. 13 で DI>2 の領域では水圧異常が認められることについて、例えば HDB-2 孔ではフリーガスによる影響も考えられるが、DI のみで整理し切れるのか、補足をお願いしたい。
- ⇒ 図では HDB-2 孔のデータが目立っているが、地下施設近傍に位置する HDB-11 孔や SAB-2 孔においても、DI>2 の領域で水圧異常が認められている。深部で水圧異常が維持される状態が見られることについては、DI>2 の領域において流れの次元が小さくなることが要因と考えているが、水圧異常が発生する直接の原因は、地層の堆積・埋没速度が大きかったことやテクトニクスなど様々な要因が考えられる。
- P. 17 のマセロンの式では、局所的な透水量係数の観測値の対数平均値 (T_0) が使われているが、 T_0 の算出の際には流れの次元をどのように扱っているのか。
- ⇒ 解析から得られる流れの次元は整数値ではないが、マセロンの式では近い整数値を割り当てている。一方で、局所的な透水量係数については流れの次元を 2 と仮定して求めざるを得ない。
- P. 8 で示されるバートン-バンディスのモデルの適用性について、天然では断層には断層岩の間に断層ガウジが見られ、変成岩などでは割れ目充填鉱物が見られるなど、実際の処分候補地の地質条件によってはモデルが適用できないことも想定される。このため、

本検討結果の適用範囲・限界を明確にしておくことが重要であるとともに、異なる地質条件への拡張についても検討してほしい。

- ⇒ このモデルが適用できる対象は割れ目あるいは断層に並行な方向の透水性に限られることを誤解の無いように説明しなければいけないと考えている。一方で、断層に直交するような流れに対してはご指摘のように粘土や充填鉱物などの断層ガウジの影響を考慮する必要がある。泥岩の岩体に対しては本モデルが適用できると考えているが、花崗岩岩体などの場合、粘土鉱物や充填鉱物が断層の直交方向の透水性を小さくしていると考えられ、コンパートメント構造を考えるなど、異なる概念を用いなければならないと考えている。
- P. 8の図に示される青線（取り得る範囲）の算出について、割れ目の初期開口幅（ E_0 ）はどのように求めるのか。
- ⇒ 局所的な水理開口幅と DI が既知のデータ一つ一つに対して、割れ目面の粗さ（ JRC_0 ）と割れ目の方向性（ b ）を仮定することにより E_0 が求まる。その E_0 と仮定する JRC_0 と b を用いて、DI のみを変化させることにより、図に示す青線が描ける。

3-2 (2) 幌延深地層研究計画に関する令和6年度の成果及び令和7年度の計画

③ 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化

- P. 10 にある断層からの湧水量の経時変化の観測結果について、ピークが 2～3 回見られながら湧水量が減衰する様子が分かるが、これは何を意味しているのか。観測期間内に同時に複数箇所の掘削が進行したとすると、複数の水みちの挙動の重ね合わせを見ていることにならないか。1 箇所からの湧水を見ているとしても、流れの次元が湧水量減少の挙動を支配しているという考えの他にも、境界条件として周辺岩盤の透水性が小さく、地下水の供給量が少ないことが支配要因であるという別の可能性もあるのではないか。
- ⇒ 観測データは地下施設のポンプ座などに設置されている電磁流量計による坑道掘削中の計測データである。この時、同時に地下施設内の複数箇所で掘削が行われていたが、掘削時の切羽での観察記録に基づき、顕著な湧水箇所が 1 箇所のみであったため、電磁流量計の計測データはある 1 箇所からの湧水量を主に反映したものであると理解している。しかしながら、ご指摘のようにデータには大きなばらつきが見られ、確固とした要因は不明である。また、解析ではダルシー則に基づく移流拡散方程式を用いており、この式自体は否定のしようがないものであるが、流れの次元の空間的な不均質性が大きい現場（地質環境）では、適用が難しくなることが予想される。幌延の稚内層のように、同一深度における流れの次元の不均質性の小さい岩盤では適用が可能と考えており、P. 21 の表のように適用範囲を整理している。
- P. 21 の表に示される整理は定性的過ぎるのではないか。また、海外の堆積岩と比較しているが、国内の堆積岩についても、この分類法を適用する予定か。
- ⇒ 地質観察が行われる現場から得られる情報を基に判断できるように、敢えて定性的な整理の仕方をしている。本取りまとめ結果は専門家のみならず広く一般に公開するものであるため、（誤解を避けるためにも）国内の特定の地層名の取り扱いには入念な配慮をしている。
- P. 20 の令和7年度計画に、500m 調査坑道における EDZ の拡がりに関する予察解析の実施とあるが、これは3次元で行うものか。EDZ の拡がりを把握するための試験（現地調査）としてはどのようなことを予定しているのか。どのような試験を実施すべきなのかを予め明確にしておく必要がある。例えば必要な試験の実施に当たり予算に課題があるのであれば、早い段階から本委員会の方などで議論し、協力して予算を獲得することも 1 つの手である。

- ⇒ 500m 調査坑道における EDZ の拡がりに関する予察解析については、坑道周辺とピット周りを調べるため、3次元で解析を行う予定である。現地調査については、P.15 に示したように、350m 調査坑道においても実施してきたトモグラフィ探査を実施予定である。併せて、試験ピット掘削中の AE 計測を実施できれば良いと考えている。
- 地層処分技術の研究開発に関して、今後解決が必要な課題に対しては、本委員会としても解決を後押ししたい意向がある。
- 試験ピットの間隔の設計の考え方について教えてほしい。例えば、P.20 の右上図にあるように、坑道底盤とピット上部の周囲に EDZ が拡がる様子が分かるが、試験ピットの間隔を設計するには EDZ が干渉しないことを確認するのかなどである。その際には P.20 の右上図にあるように、解析によりピットの間隔を評価・判断することになるのか。
- ⇒ 500m 調査坑道において予定されている試験ピットの掘削が 1 箇所のみであるため、ご指摘の点を原位置調査で確認することはできない。500m 調査坑道では EDZ の拡がりについて予察解析の後に現地調査にて実際の拡がりを確認する予定であり、その結果は、ご指摘の点のようなピット間隔の設計にも反映できるように留意して取りまとめたい。その際に、支保工の必要性の有無などピットの安定性についても検討する必要があると考えている。
- トモグラフィ法について、発振側の機材は発振のみであり、受振側の機材は受振のみであるように見えるが、発振器と受振器には別の機材を用いているのか。全ての機材が発振器でもあり受振器でもあり、発振と受振の位置を入れ替えられる方が効率が良いのではないか。弾性波の入力には何を用いるのか。
- ⇒ P.15 などのレイアウトにあるように、350m 調査坑道で EDZ の拡がりを捉えた実績のある試験レイアウトと同様に、500m 調査坑道においても対象坑道を挟み込むように発振器と受振器を配置する計画であり、坑道の上側には複数の受振器を埋設し、下側には深部から発振器を引き上げながら一定の間隔で発振を行う。さらに、坑道壁面や底盤にも受振器および打撃による発振点を複数配置することを考えている。受発振装置はそれぞれ別となる。上向きのボーリング孔については、受振器の特性上孔内に水を溜める必要から装置の出し入れが困難であるため、上向き孔は受振器を埋設して受振専用とせざるを得ない。P波の発振にはスパーカー震源を用い、S波の発振にはボーリング孔壁面にせん断振動を与える震源装置を用いる予定である。

3-3 総合討論

出席した各委員からコメントを頂いた。
 主なコメントは以下の通り。

- 資料 38-4-3 での議論にあったように、ある程度の深度であれば地温も高くなり、人工バリアの温度が 80℃程度まで上昇する可能性は十分に考えられるため、その時の挙動を十分に評価しておく必要があると考える。また、DI に関するモデルを日本に存在する様々な地質体に応用できるようにしていくことが課題であると考えられる。令和 10 年度までの研究計画が設定されている一方で、NUMO による事業も進められている状況であり、今後の技術開発について日本全体で俯瞰した視点を持って関係機関が協力しあっていくことが重要であるとする。日本の代表的な地質の 1 つである付加体を対象とした研究開発も必要であり、新たな地下研究施設を建設するくらいの提案があっても良いのでは。
- 瑞浪も幌延も多くの成果が公開され、第三者が研究に参加しやすい体制になっており、総合知の創出に向けて良い形になっている。また、体系化の課題②での掘削損傷領域 (EDZ) の拡がりを把握・評価する技術について説明があったが、真に必要な目標は EDZ の拡がりを抑えて地下施設を建設することにあると考えられる。体系化の課題②のタイ

トルには「設計」とあることから、このような観点も踏まえて取り組むと良い。また、断層（湧水を伴う水みち割れ目）について不連続性のものとして扱っているようだが、議論をしていると、不連続ではなく連続した断層と捉えられる可能性もあるように思った。このため、多くの人が議論に参加し、多くの可能性を議論できるようにデータを公開することが重要である。

- 幌延について、資料の見せ方については、分かりやすい資料になるように多くの工夫と努力を感じることができた。情報量が多いが、それだけ多くの強調すべき成果が出ていることだと理解した。また、令和10年度より後の研究計画について、本委員会では議論されないものの、引き続き必要な課題に取り組めるように今の時点から課題整理をすべきである。例えば、幌延国際共同プロジェクト（HIP）の存在は地層処分に関する研究開発について国際的な需要があることの証左でもあり、今後の必要な研究開発の課題設定について、本委員会の委員としても大変興味がある。瑞浪については、研究開発が終了した状況であることは理解するが、これほど大規模な沈下現象については、科学的視点から踏み込んで現象を分析したい。例えば、本日説明のあった締め固め度がどのような情報を基に算出されたものであるかなど、興味がある。
- 本日の説明全般については、多岐に渡る多くのデータをこれまでより分かりやすい形で取りまとめられていることに敬意を表したい。現時点ではデータの評価がかなり進んでいるが、今後はこれらを基に効率的な手法の整備に結びつけていく取り組みが示されることに期待する。個別については、例えば物質移行試験のように、時間や場所の制限のある中で限られたケースの実験と成らざるを得ないことは理解するが、このような制約を踏まえた上で得られる知見と残された課題を示すことが必要と考える。DIを指標にした取り組みに関しては、研究開発の成果として素晴らしい成果であると理解する一方で、体系化という観点では、NUMOのセーフティケースなどのように従来の評価手法との比較ができるように整備されることが望ましい。
- 幌延の令和10年度より後の計画についても研究開発が継続されることを望むが、瑞浪の活用あるいは新たな地下研究施設計画についても提案するくらいの気概に期待したい。
- 資料が大変分かりやすくまとめられており、分野の異なる者にとっても理解しやすい内容となっていることは素晴らしいことであり、このような説明を続けて欲しい。また、成果が論文などで公開されていることも素晴らしいことである。鉾山の専門家からすると、幌延や瑞浪から得られた成果が鉾山などの実際の地下の現場へどのように展開されるのかについて、大変興味がある。幌延や瑞浪から得られたデータは大変貴重なものであることから、引き続き成果を外部に発信し外部との連携を進める中で存在感を上げられると、深地層の研究施設計画の意義がより深まると感じられる。
- 説明内容が大変分かりやすくなってきていると感じる。他の委員の発言のように、令和10年度より後の計画についても考えるべき時期に来ていると感じる。令和10年度より後の時期は、NUMOによる処分事業が概要調査へ進むかどうかということと並行することが想定されるが、地下研究施設の意義・活用法は、処分候補地が決まった際にその場で生じる現象を理解する方法論を構築・整備することにあると考える。今後数年かけて、このような視点で幌延の地下施設の存在意義を主張し今後の活用法を考え、提案する時期に来ていると感じる。
- 瑞浪については、埋め戻し後あるいは再埋め戻しに係る計測や問題点を正確な記録として残しておくべき。幌延については、計画通りに進められ、成果が得られていると評価できる。令和7年度についても、これまでの成果を踏まえた適切な計画・課題設定となっていると理解した。
- 幌延の地下施設で異なる深度で得られた知見を比較するような取り組みは、海外でも実

施されていることなのか。先行事例があれば、その成果・知見を HIP などに活かすことができれば良いと思う。前例が無いのであれば、幌延での取り組みは斬新なものであると理解される。

- ⇒ 海外の地下研究施設や処分場では、地質環境特性に関する情報や地下施設の設計に必要な情報について、ある特定の深度を対象とした詳細な調査が行われており、幌延のように異なる深度における詳細な調査結果を比較する取り組みは把握していない。深度 350m までの調査から得られた知見を、深度 500m に向けた掘削の過程で確認していくような取り組みは、海外の地下研究施設においても前例の無いユニークな取り組みであると理解している。
- 以前に比べて、理解しやすいプレゼンの構成を心がけていると感じ、理解が進んだ。メディアで取り上げられるなど、アウトリーチ活動にも力を入れていることは評価できる。瑞浪については、水質のモニタリングと解析を引き続き進めてほしい。幌延については、トレーサー試験において EDZ 内部でトレーサーが滞留している状況の把握について、時定数の短い解析結果のみでなく、中長期挙動の解析も含めた多様な視点から全体を解析・理解されることが望ましい。
 - 本委員会は令和 10 年度までの期間を対象に評価を行うものであるが、他の委員の提案のように、令和 10 年度より後の計画についても本委員会で議論できると良い。例えば、NUMO の事業に関する一般の方の意見の中には、断層が処分場を直撃するような、可能性は小さいが重大な事象が生じた時の対応を問われることがある。本委員会において今後の地下施設の在り方を議論する際に、今後取り組むべき課題に対して、このような視点からも議論ができると良い。

最後に委員長から本委員会の総括として以下のコメントがあった。

- 幌延に関しては、令和 6 年度の研究開発は、年度当初の計画に沿って着実に進められ、多くの成果が得られており、所期の目標が達成されたと評価できる。例えば、令和 6 年度に取りまとめることとされた 5 つの課題については、成果の多くが論文として国際的に高水準の学術雑誌に掲載されたことは評価でき、国内外の地層処分の技術基盤として活用されることが期待される。令和 6 年度から開始された課題「坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」(体系化)については、目標や計画が具体化され、一年目として良いスタートが切れたと評価できる。幌延深地層研究計画における成果を中心として取り組む体系化においては、各手法の適用可能な条件や範囲などの明確化を常に意識されることを期待する。幌延国際共同プロジェクトについては、フェーズ 1 の成果が国内外の会議で積極的に発表され、学術雑誌に特集が組まれるなど、成果の最大化に繋がっていると評価できる。地下施設の整備については、深度 500m の坑道掘削が順調に進められており、体系化に必要な調査・試験を計画通りに進められることが確認できた。
- 令和 7 年度の計画については、「体系化」という難易度の高い課題に取り組むことになる。提示された計画は妥当と考えられ、全体像が分かりやすく具体化されたことは評価できる。一方で、各課題の目標や位置付けについてより一層の明確化を期待する。幌延深地層研究計画全体の個々の課題を結びつける視点が整理されて来ていることは重要であり、第 4 期中長期目標期間の 4 年目である令和 7 年度の間評価に向けて、国際共同プロジェクトを牽引しつつ、更なる成果の発信を期待する。
- 瑞浪に関して、令和 6 年度の実施内容については、立坑埋め戻し後のデータ計測が適切に継続されており、得られたデータが技術資料などで適宜公開されている。特に、立坑埋め戻し面の沈下現象の要因について、データを再整理することにより理解を進めると

ともに、追加で行った埋め戻しの取組を技術資料として公開するなど、大規模な地下施設の埋め戻しに関する貴重な知見が整理されていることは重要な成果である。

- 令和 7 年度も、立坑埋め戻し後の計測データが貴重なものであることを認識し、引き続き計画を着実に実施し、データの取りまとめ、公開に努めることを期待する。そうした取組を通じて、長期にわたる計測の適切性などについても知見が拡充できるとなおいと考える。

(審議検討結果の総括及び今後の予定について)

審議検討結果の総括については竹内委員長が総括案として取りまとめ、事務局から各委員に 3 月 17 日 (月) までにご連絡差し上げ、3 月 21 日 (金) までに修正をお願いしたい。確認後、確定した内容については、3 月 28 日の地層処分研究開発・評価委員会にて竹内委員長より報告いただく予定である。

以 上