

第 32 回深地層の研究施設計画検討委員会 議事録

【日時】 令和 5 年 3 月 7 日(火) 13:30～17:30

【開催場所】 航空会館ビジネスフォーラム 地下 1 階 B101 会議室(Web 会議併用)
東京都港区新橋 1-18-1

【出席者】 委員) 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*

(*両委員のご都合により、令和 5 年 2 月 28 日に別途 Web 会議にて審議検討を実施。両委員の審議検討結果は、後日書面にて送付いただき、3 月 7 日の本委員会にて説明)

機構) 地層処分研究開発推進部: 瀬尾部長, 棚井課長, 天野主幹
西垣客員研究員 他
東濃地科学センター: 笹尾部長, 國分 GL, 竹内副主幹 他
幌延深地層研究センター: 岩月部長, 杉田 GL 他

オブザーバー) 電中研 長谷川 分野統括, 原環センター 江守 部長
NUMO 北川 グループマネージャー, 産総研 町田 研究グループ長

【配布資料】

資料 32-1 委員会の進め方と今後の予定

資料 32-2 幌延深地層研究計画に関する令和 4 年度の成果及び令和 5 年度の計画

資料 32-3 超深地層研究所計画(瑞浪)に関する令和 4 年度の実施内容及び令和 5 年度の計画

【議事概要】(委員からの意見を「○」、機構からの回答を「⇒」で示す。)

幌延深地層研究計画の令和 4 年度の成果及び令和 5 年度の計画に対する評価及び超深地層研究所計画(瑞浪)の令和 4 年度の実施内容及び令和 5 年度の計画に対する助言を頂くために、機構よりそれらの内容を説明し、各委員の専門分野の視点からの意見、議論を頂いた。

(1) 委員会の進め方と今後の予定

今回の委員会の進め方と、その後の総括や議事録の確認に関するスケジュール等について説明した。

(2) 幌延深地層研究計画に関する令和 4 年度の成果及び令和 5 年度の計画

令和 4 年度の成果と令和 5 年度の計画について説明した。

主な質疑は以下の通り。

○ 人工バリア性能確認試験の研究工程では、一旦中断した後に令和 8 年度から試験が再開されるスケジュールとなっているが、このように実施期間を分けた理由は何か。

⇒ 坑道の掘削工程を考慮して研究工程を最適化した。立坑を深度 500m まで掘削している期間は、人工バリア性能確認試験を実施している 350m 調査坑道での作業に制約が生じる。立坑掘削後に、人工バリア性能確認試験場所の解体試験を実施する工程としている。

○ ダクティリティ・インデックス (Ductility Index: DI, 以下 DI) は、具体的にどのような特性の指標になるのか。また、どのように定義されているのか。

⇒ DI は割れ目の透水性を評価するための指標として活用できると考えている。また、DI は岩石の平均有効応力を岩石の引張強度で除した値として定義している。

- 人工バリア性能確認試験の解体調査は減熱過程の後に実施されるが、その調査結果から加熱試験終了時における緩衝材の密度や水分飽和度などを逆推定することは可能か。解体調査によるデータを用いて、連成解析の補正等を行い、試験終了時の状態を評価できれば、成果を取りまとめる際に有益である。
- ⇒ ご指摘のような取り組みを予定している。現在、連成解析により緩衝材の温度や飽和度、応力分布を推定し、実測値との比較を実施している。解体試験においては、緩衝材の飽和度や塩濃度を測定し、得られたデータに基づいて解析モデルの妥当性を確認する予定である。

- 掘削損傷領域における物質移行挙動のモデル化／解析手法では、空間的に拡がりのあるモデルを作成するのか、それとも拡散現象を評価するようなモデルになるのか。
- ⇒ 空間的なモデルを作成する予定である。具体的には、掘削損傷領域内の割れ目の連結性や透水性の変化に着目したモデルを作成し、物質の移行挙動を評価する予定である。

- コロイドに関する物質移行試験においては、より長期の試験結果ではランタニド収縮の効果が顕著であり、何らかの固相の溶解度が希土類元素の挙動に影響している可能性がある。例えば、リン酸塩コロイドへの希土類元素の吸着が考えられるのではないか。
- ⇒ 今回、軽希土類元素がコロイドに収着しやすいのではないかと結果が得られている。今後、濾過で回収されたものを逐次抽出分析する等して、希土類元素の存在形態を明らかにしていきたい。

- コンクリート支保の暴露試験では、大気中の二酸化炭素によりコンクリート試験体が中性化したのか。また、中性化のプロセスをモデル化する予定はあるか。
- ⇒ 中性化の要因については、大気中の二酸化炭素であると考えている。モデル化に関しては、機構内で実績のある部署との協力を通じて、検討を進めていきたい。

- DI と水みち割れ目の透水性との関係を示す図において、データが非常に広い範囲に分布しているが、指標の有効性についてどのように考えているのか。
- ⇒ 幌延以外にも海外の岩盤のデータを用いているため、広い範囲を示している。指標としての有効性については、引き続き検討していく。

- 幌延国際共同プロジェクトは、国際的に関心が高い研究内容を幌延がイニシアティブを持って進めており、素晴らしい取り組みである。各機関がどのタスクに参加するかは決まっているのか。また、欧州など先進国と同様な研究を実施することになるのか。
- ⇒ 幌延国際共同プロジェクトの準備会合において、各機関が希望するタスクの意向を確認している。また、本プロジェクトでは、令和 2 年度以降の幌延深地層研究計画の範囲において国際的にも課題として認識されている研究をタスクとして設定している。

- 幌延国際共同プロジェクトに参加した機関は、プロジェクト開始前のデータ、例えば人工バリア性能確認試験における加熱・減熱時のデータ等も利用することができるのか。
- ⇒ 参加した機関は、各タスクに関連する全てのデータを利用することができ、過去のデータも利用可能である。

- 研究の内容や成果の説明に加えて、処分事業等、成果の反映先の視点からの説明があると良

い(例えば、DIの使われ方や異なる深度で物質移行試験を行う目的等)。

⇒ 今後、成果の反映先を含めた説明に留意していく。なお、DIに関しては、広域スケールから坑道スケールまでの長期的な透水性の変化を推定する手法として、処分事業でも有効と考えている。

○ 各研究項目の目的としては、幌延を事例とした調査手法や解析手法に関する方法論の構築という方向性で進めていると理解して良いか。

⇒ その通りである。

○ 説明のあった個々の試験の結果については、他の委員会等で評価を受けているのか。

⇒ 資源エネルギー庁からの受託事業として実施している項目については、各事業における委員会で技術的な確認を受けている。

(3) 超深地層研究所計画(瑞浪)に関する令和4年度の実施内容及び令和5年度の計画

令和4年度の実施内容と令和5年度の計画について説明した。

主な質疑は以下の通り。

○ 立坑の埋め戻し以降に深度500mの地下水圧が顕著に回復している原因は何か。

⇒ 深度500mの水平坑道内は湧水量が少ないため、地下水圧の回復に時間を要している。立坑の埋め戻し時点では、坑道全体が地下水で満たされた状態であったため、地下水圧が顕著に回復したと考えている。

○ 地下水中のホウ素とフッ素の濃度が高いことは興味深い。ホウ素とフッ素の濃度が高い地域は炭酸の濃度も高い事例があるが、瑞浪ではどうか。

⇒ 炭酸の濃度が特別に高いということはない。瑞浪は花崗岩が分布しているため、ホウ素とフッ素の起源は炭酸塩鉱物ではなく花崗岩中の黒雲母に由来すると考えている。

○ 深度500mの12MI33号孔の区間1の地下水圧は、過去に実施した再冠水試験時にも応答を示さなかったのか。

⇒ その通りである。

○ 研究所周辺の騒音・振動調査を、地下坑道埋め戻し後も引き続き実施しているのはなぜか。

⇒ 自治体との協議に基づいて実施している。

○ 深度500mの12MI33号孔においては、区間1、区間2以外の観測も実施しているのか。

⇒ その通りであり、計5区間で観測を行っている。これらの区間では、冠水坑道掘削時に地下水圧の変化にそれぞれ異なる特徴が見られたことから、埋め戻しの際の水圧応答を観測する目的もある。

○ 研究坑道全体では地下水圧の不均質性などは確認されているのか。

⇒ 明瞭な不均質性は、確認されていない。なお、坑道に近い区間では、坑道掘削後に大きく低下していた地下水圧が立坑の埋め戻しに伴い上昇している。一方、坑道から離れた区間では、地下水圧の上昇は緩やかである。また、主立坑断層の北側と南側の地下水圧を比較すると、最近では北側の水圧が若干低い状況である。このような傾向は、立坑の掘削前及び掘削中の状況と類似している。

- 主立坑断層について詳細を説明してほしい。
⇒ 主立坑の花崗岩に分布する規模の大きい断層のことで、6～10m 程度の幅を有し、強い粘土変質を伴っている。水理学的には、遮水構造と考えている。
- MIU-1, 2 号孔は、現在どのような状況になっているのか。
⇒ 観測を終了した状態となっている。今後、閉塞する予定である。
- 閉塞の際には観測機器も撤去するのか。MIU-1, 2 号孔内には、遮水構造である月吉断層が分布していると思うが、撤去に伴う水理学的な影響は予想しているのか。
⇒ 観測機器は撤去する予定である。ご指摘の通り、撤去に伴う水理学的な影響が生じる可能性があるため、必要な対策等を検討している。
- 研究所用地周辺では、地下水はどのように流れているのか。
⇒ 大局的には、北東から南西に向かって流れている。
- 瑞浪用地と正馬様用地の間で水理学的な連続性は確認されているのか。
⇒ 顕著な連続性は、確認されていない。地下水圧のモニタリング結果により、引き続き確認していく。
- 水脈となる水みちに着目したモデルは構築されているのか。また、埋め戻しを含め、水みちの時間的変化を評価することは可能か。
⇒ 埋め戻し前までのモデルは構築されているが、埋め戻し後については実施していない。
- モデル化を行う予定はあるか。また、そのためのデータは取得されるのか。
⇒ 地下水圧のデータは、モニタリング期間中、取得される。モデル化については未定である。
- 地下の鉱山開発では、採掘後の埋め戻しにおいて地下水、特に水みちがどのように変化するかといった情報は非常に重要であり、瑞浪のデータも活用できる可能性がある。
⇒ 拝承。
- ボーリングコアの提供は、岩盤の物性試験を行っている民間企業や大学の活動等に役立つ。希望者にコアを提供する代わりに試験結果を共有してもらうことで、提供する側とされる側の双方にメリットがある。
- JAEA にもメリットがある形で研究資源を提供することは、良い考えである。試験内容を追跡できるようにすると更に良い。
⇒ 拝承。

(4) 総合討論

出席した各委員から一名ずつコメントを頂いた。
主なコメントは以下の通り。

- 幌延については、研究開発が着実に実施されていると思う。今後の評価に際しては、論文や学会発表などの件数や、代表的な研究内容の説明があると良い。瑞浪については、関連分野の研究者との連携も視野に入れつつ、環境モニタリングを継続してほしい。また、モニタリングデータは広く活用されることが望ましい。
⇒ 拝承。幌延の研究成果リストは後日委員の皆様にお送りする予定である。手元に数字がなく正確ではないが、令和 4 年度の論文の件数は地層処分研究開発全体で 40 報前後と思う。なお、第 3 期中長期目標期間の 7 年間では論文が 500 報、学会発表が 800 件程度である。
- 幌延については、令和 4 年度は計画通りに進んでいると思う。研究成果の公表も積極的に行っ

てほしい。また、人工バリア試験確認試験については、飽和度と電気探査で得られた値の関係はどのようなものに使われているのか。令和 5 年度の計画についても妥当であると思う。瑞浪については、深度 500m のボーリング孔内でのモニタリング結果において、近接する 2 つの区間の水圧が大きく異なっており、貴重な情報と考えられる。このような情報を外部の専門家が活用できるようにしてほしい。

⇒ 拝承。幌延に関して、緩衝材中での比抵抗値はベントナイト中の塩濃度や温度、乾燥密度の違いを反映すると考えられる。これらのうち、塩濃度は比抵抗値に影響を与えるほどの差を示しておらず、温度については実測値があるため、比抵抗値の変化を飽和度の違いとして算出している。比抵抗値は、緩衝材ブロックの円周上に比抵抗電極を設置して測定している。

○ 幌延の令和 4 年度の研究開発については、計画通りに計測、試験、解析が行われていた。得られた成果は最終目標に資するものである。令和 4 年度の主な業務の実施内容が示されたことにより、実施内容が明確となり理解しやすくなった。令和 5 年度も計画通り進めて頂きたい。また、設定された課題は適切である。なお、人工バリア性能確認試験結果で、緩衝材 5 段目の計測値と比較解析結果が示されているが、他の段の結果も合わせて示して 3 次元的な比較も確認してほしい。また、熱-水-応力-化学連成解析の化学についてどのように、何を考慮しているのか十分に理解できないため、より具体的に示してほしい。瑞浪については、水質分析に際し、同一試料から複数の試料を分取し、それぞれの分析結果を比較することにより、分析値の信頼性を示すと良い。また、過去の試料が残存している場合には、それらの試料の再分析も品質管理の観点から有益である。令和 5 年度も計画通り継続してモニタリングを実施してほしい。また、上記に示したように過去に採取した試料の再分析も検討してほしい。

⇒ 拝承。幌延に関して、今回は 5 段目のデータを示したが、各段でデータを取得できているので、今後、各データの 3 次元分布についても提示できるように検討する。また、熱-水-応力-化学の全てを連成可能な計算コードがないため、化学については、塩濃度の違いによるベントナイトの膨潤性の違いのみを考慮している。

○ 幌延については、計画に沿って研究開発が行われていると評価できる。今後の評価に際しては、アウトプットやアウトカム、技術的・経済的優位性、目標や達成のための方策等の観点から、整理されると良い。論文数については、非常に高い水準である。個別には、止水プラグに関する詳しい目的や内容が知りたかった。指標に関する成果の報告があったが、それらに固執し過ぎることなく、より柔軟な視点も重要ではないか。瑞浪については、データが広く活用されることを期待する。特に、埋め戻し前後のモデルは他分野、特に鉱山開発における環境保全の分野にも役立つものと期待される。環境モニタリングはこれまで通り継続してほしい。

⇒ 拝承。幌延の止水プラグについては、物理探査により坑道の掘削損傷領域が壁面からどれくらいの深度まで達しているかを検討した上で、仕様を検討する予定である。粘土プラグの施工方法は、吹き付け施工まで実証済みである。施工から 2 年が経過し、今後、所期の品質目標を達成したかどうか確認できるので、ご意見を頂きたい。

○ 幌延については計画に沿って研究開発が行われており、研究方法についても、技術的水準が高い。研究成果については、試験の結果が得られつつあり、今後、科学的な解釈及び論文化が進んでいくことを期待する。瑞浪については、計画通りに継続的なモニタリングが着実に進められている。取得されたデータについては、解釈に必要な情報も含めて、分かりやすく説明することを心がけてほしい。

⇒ 拝承。

- 幌延については、計画に沿って着実に実施されている。ただし、資料が全体的に多く、理解しにくい部分もあるため改善してほしい。例えば、5 頁目の調査坑道の図について、なぜこのようなレイアウトになったのか等の説明があると良い。科学的、技術的な観点からは、回復挙動試験が大変興味深く、岩石中のマイクロクラックに関する研究や実際の地下での事例(釧路コールマイン等)が参考になるのではないかと。回復挙動は、長期的な視点からの地下施設設計に関わるため、是非研究を継続してほしい。瑞浪については順調に進められており、環境モニタリングの継続が望まれる。
⇒ 拝承。幌延の坑道レイアウトや試験場所は、地質構造に基づき決定している。研究計画の経緯については、来年度以降に適宜、情報提供していく。また、現場での説明や技術的な議論を通じて、理解を深めて頂きたい。

- 幌延については、今後更なる掘削を経て、人工バリア性能確認試験の解体調査が予定されており、非常に綿密かつ適切な研究計画となっている。地層処分に関する研究開発は世代交代の時期を迎えており、幌延国際共同プロジェクトを通じて国内外の研究者、技術者が参画することは、次世代の人材育成の観点で非常に有益である。瑞浪については、限られたモニタリングではあるが、施設全体スケールの再冠水という前例のない規模の大きな変化をもたらす条件でのデータである。過去のより局所的な変化におけるデータとの比較から説明できることがあるのではないかと。データの活用については、学会などで広く配布されると良い。
⇒ 拝承。瑞浪のデータの活用については、学会発表や学会のメーリングリストを通じて、案内することを検討している。試行的に実施した上で、改めて報告する。

- 幌延については、情報量が膨大ではあるが、令和 4 年度は最終的な目標に向かって計画通り順調に研究が実施されている。令和 5 年度の計画も十分に練られているが、令和 4 年度に抽出された様々な課題を反映し進めて頂きたい。各研究テーマについて目的や手法、計画等の説明があったが、より詳細な情報の提供をお願いしたい。先進的な研究に取り組んでおり、学会等での積極的な成果の発表を期待する。瑞浪については、貴重なモニタリングデータが継続的に取得されている。水理学的なコンパートメント構造は、岩盤中の地下水や物質移行を考える上で重要と考えられるため、今後もデータの蓄積を図ってほしい。

- 水理学的なコンパートメントについては、詳細について別の機会に説明してほしい。
⇒ 拝承。

- 幌延は令和 4 年度は当初の計画通り適切に実施していると評価できる。成果についても国内外の雑誌の論文や報告書として公表しつつあり、今後の成果に期待する。我が国の地層処分研究開発に関する全体計画において、大きな一端を担って成果を出していることは極めて重要であり評価できる。令和 5 年度の計画については、今年度の成果を反映しながら長期的な展開も見据えつつ適切に計画されている。特に、地質学、地盤工学、岩盤工学、水理学など多くの分野を統合した視点、実際の地質環境における地殻変動の影響の評価方法や技術を確立することは極めて重要であり、その点においても適切に研究を計画している。瑞浪については、地下研究施設の埋め戻し後の環境モニタリングや環境影響評価が適切に実施されている。コアの有効利用のために見学者に配布するという試みは、一般の方に地下の環境や岩石への関心を持って頂く上で、大いに評価できる。令和 5 年度においても環境モニタリングの継続は不可欠であり、適切に計画されている。引き続き、データの公表やコアの有効活用に期待したい。
⇒ 拝承。

- 資料の分量が多いほか、地層処分に直接関連していない委員もいることを踏まえ、今後、個別説明の機会を設け疑問の解消に応える等、一層工夫してほしい。また、地層処分計画全体における深地層の研究施設計画の役割についての説明があると良い。技術継承は大変重要な視点であり、JAEA はもとより関係研究機関とも技術を共有し継承していくことを視野に入れてほしい。
- ⇒ 今後、分かりやすい説明に心がけ、改善していきたい。分かりやすい説明という観点では、一般の方々の理解を得ることも大事と考えており、研究成果を論文として継続的に公表することに加え、エネルギーや原子力政策も踏まえた情報発信を進めていく必要があると考えている。

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。

- 幌延については、令和 4 年度は計画通り着実に進んでいる。特に、掘削影響領域の評価や人工バリア試験関連では成果が得られているほか、地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験関連では、論文が公表されており評価できる。令和 5 年度の計画については、全体計画に沿って順調に進んでいる。成果は学術雑誌に積極的に公表してほしい。国際共同プロジェクトも開始されることから、世界各国の研究者・技術者とともに着実に進めて頂きたい。
- 瑞浪については、モニタリングデータがトラブルなく取得できていることは評価できる。データの解釈も含め、今後継続的にデータを取得し、今年度の結果と次年度の計画をもう一度吟味してほしい。モニタリングデータについては学会等で積極的に周知してほしい。

(委員会結果の取りまとめ及び今後の予定について)

今回の委員会における意見や確認内容については、3月10日中に総括案として取りまとめ、各委員に送付する予定としており、3月17日までに確認をお願いする。確認後、確定した総括結果については、3月29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頂く予定である。

以上