

－2024 事業年度業務実施結果に対する評価・提言－ （２）調査・技術開発

■はじめに

評議員会は、2024 事業年度業務実施結果（本資料別紙参照）に対し、評議員会としての評価・提言を取りまとめるよう原子力発電環境整備機構（以下、「機構」という。）理事長から諮問を受けたことを踏まえ、以下のとおり、機構の調査・技術開発に係る評議員会による評価・提言の内容を報告する。調査・技術開発の評価・提言に当たっては、機構の調査・技術開発に関する取組を以下 6 つのカテゴリーに分け、各カテゴリーについて評価・提言を行う手法をとる。

（評価カテゴリー）

- ①寿都町及び神恵内村における文献調査
- ②玄海町における文献調査
- ③地質環境の調査・評価
- ④処分場の設計と工学
- ⑤閉鎖後長期の安全評価
- ⑥技術マネジメント

なお、本報告に当たっては「特定放射性廃棄物の最終処分に関する技術開発の実施状況に係る事項」、「概要調査地区等の選定に係る技術的事項」及び「その他、関連する事項」を審議する技術開発評価委員会を開催し、委員会におけるご意見等を踏まえて評価・提言を作成した。

■評議員会による評価・提言

（総 論）

評議員会は、6 つの評価カテゴリーに関する進捗は良好であると評価する。カテゴリー①及び②については 2024（令和 6）事業年度事業計画に沿って、カテゴリー③から⑥についてはこれに加え、国の「地層処分研究開発に関する全体計画（令和 5 年度～令和 9 年度）」（以下、「全体計画」という。）及びそれを受けた機構の「地層処分事業の技術開発計画（2023 年度～2027 年度）－中期技術開発計画－」（以下、「中期技術開発計画」という。）に沿って着実に成果を挙げている。

今回の「2024 事業年度業務実施結果等に係る機構からの説明（自己評価資料）」においては、説明が各論に留まっていた評価カテゴリーもあったが、技術の適用先、全体計画や中期技術開発計画との関連付け、及び両計画に対する達成状況等について、技術開発の全体像も見据えた総合的な説明を行うことで、一層効果的な「評価・提言」につなげることができると考える。広く一般公衆における地層処分技術への信頼性に対して理解を深めていただいたり、技術開発の進展について関心を高めていただいたりするための情報発信にも共通する課題と言え、上記説明の実現を提言する。

①寿都町及び神恵内村における文献調査

〔評価〕

- ・文献調査報告書について、特定放射性廃棄物小委員会地層処分技術WGの意見・指摘を反映して報告書を完成させたこと、法定説明会等における技術的な質問に対して、適切な、分かりやすい説明で対応していると評価する。今後もより丁寧な説明を行うこと、様々な立場からの質問・意見に真摯に対応していくことを期待する。

〔提言〕

- ・法定説明会の説明資料について、概要調査の範囲を示す概要図で一般的事項を説明する図には改善の余地がある。「概要調査とは」のページの調査範囲を示す図において海域が範囲内とされていない。「さまざまな方法」のページのトレンチ調査の図は、穴の形が整っていないので自然に侵食されてできた穴のように見える。一般の方は視覚的イメージで認識するため、図の書き方は十分注意する必要がある。
- ・概要調査において、貫入岩が第四紀の年代と判明した場合の対応を明確にしておくことが必要である。
- ・文献調査報告書等について、一般の方向けの説明に加え、有識者（専門家）にも理解をいただける活動を行うことが必要である。
- ・概要調査に進ませていただいた際には、ボーリング掘削場所の優先順位の考え方、そこで得られたデータの精密調査段階以降への活用も含め、日本の多様な地質環境を踏まえた柔軟性を持ったデータ取得を進めていくことが必要である。

②玄海町における文献調査

〔評価〕

- ・文献調査開始前後の手続きを円滑に行ったこと、文献調査着手後は過去の経験を踏まえて工程の短縮に取り組んでいることを評価する。

〔提言〕

- ・例えば海域に係る文献である海上保安庁の水路情報データ等、多様な文献を収集し、調査を進めていくことが必要である。

③地質環境の調査・評価

〔評価〕

- ・ボーリング調査技術の整備のため実証試験を進めている点など、個々の技術開発項目についておおむね着実に成果を上げていると評価する。

〔提言〕

- ・概要調査段階での評価の考え方を検討していくことは難しい取組になると考える。

要素技術の開発を着実に進めるとともに、要素技術と概要調査の全体像とのつながりが分かる説明を用意し、上記取組に対する説明性を強化していくことが必要である。

- ・中期技術開発計画等の技術開発の計画に対して、現在どのくらい進捗しているのか、という説明も明確になされなかった。過去の機構の技術開発の成果を受けて、現在どのような背景で各業務を行っているのか、という説明を期待する。
- ・ボーリング孔の閉塞技術について、以下を提言する。
 - － ボーリング孔の閉塞材料として技術開発を行っている、ベントナイトペレットのコーティングについては、コーティングによる透水性の低下の原因や、性能評価の観点から有機物のコーティング剤の影響を検討していく必要がある。
 - － コーティングペレットについては、有機物影響や費用などを含め、コーティングをしない場合との得失を整理し、環境条件等に応じて適切な選択ができるよう、技術オプションとして整備をしていく必要がある。
- ・四次元地質環境モデルを用いた地下水流動解析において、底部境界条件を設定する地下深部は、火山・噴火、地震・断層、隆起・侵食活動等によって地下水流動場が影響を受け、単純ではないケースが少なくないことを考えると、その扱いにより解析結果に少なからず影響を与える場合があると考え、境界条件の曖昧さは解析結果の曖昧さにつながると思われ、慎重な取組を期待する。

④処分場の設計と工学

[評価]

- ・腐食試験技術の標準化の取組におけるラウンドロビン試験¹で良好な再現性が得られており、良い試験方法ができたと評価する。
- ・腐食試験技術の標準化の取組におけるラウンドロビン試験では、機構の若手技術者が実際に試験に携わり手を動かし、直接関与していることで、機構の熱意が長期腐食寿命評価技術検討委員会の委員の方々に伝わり、検討がうまく進んでいるように思う。機構自らが技術者の育成をしている事例であり、評価に値する。腐食以外の規格類の整備でも、このような若手技術者の関与を期待する。
- ・機構が制作・公開した動画（10 年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画）において、縦置き・ブロック方式と並んで、横置き・PEM方式が紹介されていた。このような最新の技術開発成果を公表していくことは、一般の方が新しい技術を受け入れやすくなるので、良い取組であると評価する。

¹ 複数の試験機関で同一の試験体、同一の試験手法を用いて、試験を実施し、結果を比較することで、試験手法の妥当性や試験者の技量を評価する試験法

- ・硫黄を多く含むと考えられる火山由来の酸性土壌が広がる日本では、硫黄による銅コーティングオーバーパックの腐食が懸念されていた。しかし、これまでの機構の取組から、日本にも銅コーティングオーバーパックを適用できる地質環境が存在するという見通しが得られ、耐圧代や腐食代をこれまでの炭素鋼オーバーパックと比較して薄くできる可能性を示したことは、評価に値する。また、カナダの事例なども参考に技術開発を効果的に実施したことも良好事例と言える。
- ・人工バリア材料の改良の取組における、オーバーパックの放射線遮蔽、緩衝材による微生物活動対策（ケイ砂を混合しない高い有効粘土密度の設定）、緩衝材の熱伝導特性といった多方面から検討を行い、合理化を進める試みは評価でき、継続を期待する。

[提言]

- ・ラウンドロビン試験の結果を踏まえて、整備された腐食試験技術を実際の環境に適用していく際には、環境のばらつきを考慮しても、同様に測定結果のばらつきが小さいのかなどについて確認が必要である。また、不確実性の評価の観点から、安全評価にどのように反映していくかについても機構の中でしっかり議論を行う必要がある。
- ・横置き・PEM方式の高度化に関して、ハンドリングの観点では十分に検討がなされているように思う。改良型PEMへの仕様の変更に起因して、安全評価結果に対する影響についても、安全評価シナリオの構築や不確実性などの観点で更なる検討が必要である。また、長期的な安全評価の観点を取り込んで議論できるような仕組みを作る必要がある。
- ・硫黄濃度が低い地質環境であれば銅コーティングオーバーパックは有効と考えるが、硫黄濃度が高い地下水環境にも対応するため、サイトの地質環境を考慮した設計オプションの選択ができるよう、複数のオプションに対して技術開発を継続していく必要がある。

⑤閉鎖後長期の安全評価

[評価]

- ・計算負荷が大きい数値解析に対応するため機械学習を導入したツールの構築を進めている点など、個々の技術開発項目についておおむね着実に成果を上げていると評価する。

[提言]

- ・これまでの機構の技術開発では、試験結果を外部から引用し、解析を機構の若手職員が実施するという流れが主であったと理解している。今後は、試験に機構職員が関与していくことが望まれる。
- ・数値シミュレーションは工学的な問題解決に広く活用されており、処分事業において

は、その重要性が高い。一方で、数値シミュレーションの実施に際しては、入力ミスや使用する解析コードのプログラムの不備などにより誤った計算結果が出力されることや、モデルを不十分なメッシュ数で分割することなどにより精度が低い計算結果が出力されるいわゆる品質上のリスクが常に存在しているとも言える。特に、原子力の安全評価等の重要な案件で数値シミュレーションの品質に問題があれば、多方面に大きな影響を及ぼす可能性が想定される。このことから、数値シミュレーションなど、数値解析に対する品質保証あるいは品質マネジメントについて継続的に取り組む必要がある。

- ・機械学習手法の導入による計算負荷低減の取組は、以下に留意しながら進めていく必要がある。
 - － 予測評価ツールの適用先が、安全評価なのか性能照査なのかを明確にしなが
ら、技術開発や成果の公表を行っていく必要がある。
 - － 高レベル放射性廃棄物（HLW）とTRU廃棄物で、廃棄体の特性に相違があ
ることから、これらの違いを考慮して開発を進めていく必要がある。
 - － 機械学習手法の技術的限界点を明確化しつつ、当該技術の信頼性向上に取
組む必要がある。
 - － 機械学習手法を導入した補完的解析ツールによる計算結果について、人間が行
う分析・判断の説明性向上に取り組む必要がある。

⑥技術マネジメント

〔評価〕

- ・「機構が事業を推進していくためには、事業の各段階で求められる技術を適切に準備し、利用可能な状態にしていくとともに、地層処分に係る技術が信頼に足るものであることについて、広く一般公衆からの理解を得ることが不可欠である」という姿勢は、機構が技術マネジメントに取り組む上で適切であると評価する。
- ・10 万年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画の公表のような、動画・漫画を活用した技術情報の発信の取組について、方向性は妥当であると評価する。現代では漫画の市場規模が非常に大きく、過去と比較すると日本の文化として定着してきている。
- ・機構による出前授業・講師派遣に受入側として関与した技術開発評価委員会の委員より、「自分たちの技術分野がこういった事業にも役立つのかという印象を学生が持ったようであり、かなり反応が良かった。」という評価があった。

〔提言〕

- ・第7次エネルギー基本計画では、地層処分の技術的信頼性の専門的な評価が国民に十分に共有されることが重要と記載されているが、これは国民一人一人に技術的な内容を理解していただくことが大切なのか、それとも、専門家が評価した結果を国

民に理解していただくことが大切なのか、機構としての理解活動を進めるに当たっては、整理をすることが必要である。

- ・地層処分に関する技術開発の進捗が世の中に正しく伝わっていないと見受けられる。地層処分に対する反対／慎重意見には、技術に対する不安／不信感が多く含まれ、技術開発の最前線と国民理解の間のギャップの解消が急がれる。技術開発の進捗を社会に発信する広報活動の活性化が待たれる。実感を得られやすい技術開発の例としては、ガラス固化体のP E M方式による横置きとコンパクト化の埋設プロセス（10 万年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画でのP E Mの紹介は好事例）、銅コーティングを施した炭素鋼製オーバーパックの技術開発、地質構造を探る物理探査での三次元反射法への着目と活用などが挙げられる。他にも多くの事例があるはずであり、こうした機構の技術開発部門のたゆみない取組の紹介を通じて地層処分事業への国民理解の促進につながることを期待する。
- ・学会発表や論文投稿も重要だが、地層処分技術に対する信頼を高める手段としては新聞等のメディアを通じての紹介が不可欠であるため、取組を強化することが必要である。
- ・地層処分事業において、原子力業界内だけで議論を固めるのではなく、外部の意見を積極的に取り入れるべきである。例えば、環境問題に関連付けて、そちらの専門家との連携を行うことが挙げられる。このような取組は、地層処分は一般の方々にとって身近な問題の一環として認識していただだけ、関心の喚起にもつながれると考える。
- ・昨今の気候問題やカーボンニュートラル政策により、原子力を含むエネルギー・環境問題に対する国民の理解や考える機運が高まっていると思う。二酸化炭素回収・貯留（C C S）といったエネルギー・環境問題とも関連付けた説明を行うことは、エネルギー・環境問題に関心のある若い人たちや学生に対しても意義があることである。
- ・降水／地表水／地下水モデリング・物質移行モデリング及び同位体分析技術は世界中の様々な問題（鉱山廃水、農業土壌・水管理、沿岸堆積層中のマイクロプラスチック等）における共通ツールであり、そういった取組の関係者との意見交換なども大変重要と考える。
- ・10 万年といった長期にわたる安全性の確保についての一般の方々向けの説明方法として、はじめは生活に身近な題材に焦点を当てるといったものがある。長期に及ぶ地質学的時間スケールにわたって資源が閉じ込められてきた背景と、その役割を果たす物質、支配的な物質移行に関する物理的・化学的過程の理解に基づき、長期にわたって閉じ込める設計を行い、安全評価で確かめることができることを説明し、理解していただく必要がある。
- ・技術情報の発信に関しては、海外事例の収集・分析をより一層充実させた上で取り

組むよう提言する。地層処分事業が進んでいるスウェーデンやフィンランドなどで、一般の方々への理解促進のためにどのように伝えたのかの情報を収集すれば、傾向が分かるのではないか。特に、マスメディアの活用といった海外における広報関係の情報を参考に、機構として情報発信に取り組むよう提言する。

- ・ 10 年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画について、一般の方向けに 23 分は長すぎると推察される。④処分場の設計と工学のカテゴリーにおいて、横置き・PEM方式を技術開発成果の公表の観点から評価すると言及したが、動画における安全確保策の概念の説明としては、冗長な情報であったと考える。
- ・ 大学から原子力関連学部が無くなって来ている現状では、今後、原子力関連の学生の採用は難しい状況となる。原子力を知らない人にどのように関心を持ってもらうか、また、原子力関連の学生を採用できない場合に備え、他の分野の学生の育成が必要となると考えられる。引き続き、育成プログラムの構築が必要である。
- ・ 機構による出前授業・講師派遣について、原子力以外の関連分野で講義を行うことで、すそ野の拡大が期待できるため、検討を行う必要がある。
- ・ 全国の高等専門学校には原子力に携わった先生方がおられるので、このような先生方のネットワークを活用した学生への関心喚起などの取組を行う必要がある。
- ・ 技術開発成果については、「成果を取りまとめ公表」というアクションも大切だが、第三者の専門家の評価を受けることが信頼性の確保の視点からも重要と考える。したがって、積極的に成果を論文（査読付きが望ましい）にするなどの取組が必要である。本取組は人材の育成にもつながるものである。その際の投稿先については、原子力学会に限らず、内容に応じてそれぞれ専門とする学協会を選択することが処分事業の技術開発を広く認知していただく上でも重要である。
- ・ 機構自らがすべての技術を保持・維持することは困難であると考えるが、コアとなる技術は、特に若手の職員を中心に他機関への出向や研修などを通じて戦略的、継続的に育成することが重要である。これまでの機構の取組について整理することが必要である。
- ・ 100 年を要する地層処分事業への南海トラフ地震の影響も本格的に検討すべき時期であると考える。南海トラフ地震は 30 年以内の発生確率が 80%程度とされており、新たな地点での文献調査の開始につなげるためにも、科学的特性マップ上グリーンとなっている東海地方以西の太平洋に面した沿岸部への脅威論に対する安全説明の準備を期待する。

以 上

2024事業年度業務実施結果等に係る機構からの説明（自己評価資料）

自己評価の考え方と資料の構成

■ 全体構成

文献調査、技術開発を対象に、以下のカテゴリーに分類して評価を実施

- ① 寿都町及び神恵内村における文献調査
- ② 玄海町における文献調査
- ③ 地質環境の調査・評価
- ④ 処分場の設計と工学
- ⑤ 閉鎖後長期の安全評価
- ⑥ 技術マネジメント

■ 文献調査の自己評価の考え方（①②に該当）

文献調査の着実な実施

- ・ 2024年度事業計画にて以下の活動を計画
- ・ 寿都町・神恵内村については、『文献調査報告書の取りまとめとその後の対応』として、文献調査報告書の適切な取りまとめ、法定説明会等における分かりやすい丁寧な説明を実施
- ・ 玄海町については、『「文献調査計画書」の提示、調査の提示』として、「文献調査計画書」の取りまとめ、調査の手順などの説明、「文献調査段階の評価の考え方」に従った、文献・データの収集、評価、検討を実施

自己評価資料の構成

- ・ ①寿都町及び神恵内村、②玄海町における背景・概要を整理し、文献調査の進展に応じた各々の論点を評価のポイントとして設定
- ・ 論点には、着実な実施に向けた適切性、円滑さ、説明のわかりやすさを考慮して設定

自己評価の考え方と資料の構成

■技術開発の自己評価の考え方（③～⑥に該当）

技術開発の方向性

- ・ 機構の技術開発は、最終処分事業の安全な実施、技術的信頼性の向上、経済性及び効率性の向上等を目的としており、5か年の技術開発計画「地層処分事業の技術開発計画（2023年度～2027年度）」を作成し、これに基づき技術開発を進めている。
- ・ 当該計画には、包括的技術報告書の国際レビューにおける指摘事項を反映しており、加えて毎年実施する技術開発評価員会でのご提言、国内外の技術アドバイザー委員会のご助言などを参考として進めている。

自己評価資料の構成

- ・ 上記技術開発の方向性に対して、各評価カテゴリー全体を俯瞰した自己評価として、各カテゴリーの目指すところ、現状の達成状況、技術開発計画の概要、2024年度の進捗状況、各カテゴリーの自己評価、今後の課題と取組をスライド数枚で総括
- ・ 技術開発を進めている中で、大きな節目を迎えた業務、成果が得られた業務などを論点として、各カテゴリー複数選定し、各論点について背景・概要からPDCA形式で自己評価を実施

共通評価のポイント

- ・ 各評価カテゴリーにおいて、以下の観点を考慮した評価ポイントを設定
A：事業の進展（概要調査、精密調査、安全審査）を見据えた取組
B：国際動向やアカデミアとの連携など、外部機関との協調
C：最新の科学技術的知見の反映

2

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

【評価カテゴリー①】

寿都町及び神恵内村における文献調査

- 背景・概要とトピックの設定
- トピック1：報告書案審議への対応と最終版の取りまとめ
（論点）位置づけ、内容、品質の観点で、適切に取りまとめできたか？
- トピック2：適切な説明、分かりやすい説明
（論点）疑問や慎重な意見に対して、分かりやすい説明、適切な説明ができたか？

3

● 背景・概要とトピックの設定

- 2024年度事業計画抜粋
- 2024年度の主な経緯
- トピックと論点の設定
- 2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応の抜粋

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

2024年度事業計画（2024.6変更）抜粋

1. 寿都町及び神恵内村を対象とした文献調査の着実な実施及び北海道内における対話・広報活動の充実

（2）文献調査の着実な実施

ア. 文献調査報告書の取りまとめとその後の対応

国により取りまとめられた「文献調査段階の評価の考え方」に沿って「文献調査報告書」を適切に取りまとめる。

報告書の取りまとめ後は、関係自治体の意見・要請を踏まえつつ、報告書等の北海道知事、寿都町長及び神恵内村長への送付、公告・縦覧、報告書の記載事項を周知させるための説明会、意見書の受領など、最終処分法をはじめとする最終処分関係法令に定められた手続を開始する。

法定説明会等については、最終処分事業や文献調査の結果について広くお伝えすることができる貴重な機会と捉え、**分かりやすく、丁寧な説明**を徹底する。

さらに「概要調査地区」の選定については、報告書の内容についての意見に配慮して行う。

赤字部分→トピックへ

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

2024年度の主な経緯

<審議会・国>

<機構>

<寿都町、神恵内村など>

●文献調査報告書（案）の審議

- 2024.2～2024.7技術WG
- 2024.4,8廃棄物小委

●2024.2技術WGに報告書（案）提示

- 2024.2～8技術WG，廃棄物小委の審議対応
- 2024.8廃棄物小委に報告書修正案提示

- 2024.4,6,10（神恵内対話の場）報告書案等の説明

●「文献調査報告書」を適切に取りまとめ

●分かりやすく、丁寧な説明

- 2024.11寿都町長神恵内村長北海道知事に報告書手交、公告
- 2024.11.30～2025.2.19 報告書縦覧、説明会
寿都町、神恵内村（4会場）、14振興局・総合振興局（札幌2会場）

- 法定外：泊・共和・岩内（12/19-21）、島牧（1/14）、苫小牧（2/17）
- 対話型全国説明会：大阪（12/19）、名古屋（1/20）、東京（1/23）、広島（2/13）

- 自治体主催
➢ 勉強会：寿都（12/2-4、9-11：7地区）、赤井川村（2/14）
➢ 寿都町シンポジウム：11/15、1/26

●～2025.3.5 意見書受付

● 札幌市における質疑の場（3/16）

●縦覧期間追加（2025.3.5-4.4）、意見書受付期間延長（～4.18）

技術WG：地層処分技術WG
廃棄物WG：放射性廃棄物WG（特定放射性廃棄物小委員会の前身）

6

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

トピックと論点の設定

2024年度事業計画（2024.6変更）抜粋

「文献調査報告書」を適切に取りまとめ

分かりやすく、丁寧な説明

2024年度の主な経緯から抜粋

- 2024.2～8技術WG，廃棄物小委の審議対応
- 2024.8廃棄物小委に報告書修正案提示

- 2024.11.30～2025.2.19 報告書縦覧、説明会

目標又は成果について確認する点

- 審議対応を通じた、以下の観点での適切な報告書の修正と取りまとめ
 - ✓ 概要調査地区選定プロセスにおける位置づけ
 - ✓ 技術的な内容
- 公告・縦覧などの後工程に向けて、時期や内容の観点での品質の確保

- 一般の方への分かりやすい説明
- 慎重な方への適切な説明（審議会における「声明」対応も含む）

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言も参照

トピック

トピック1．報告書案審議への対応と最終版の取りまとめ

論点

（論点）位置づけ、内容、品質の観点で、適切に取りまとめできたか？

トピック2．分かりやすい説明、適切な説明

（論点）疑問や慎重な意見に対して、分かりやすい説明、適切な説明ができたか？

7

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応（1/3）

（第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）

No.	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
【総論】			
1	■国内初の文献調査が2020年11月に北海道寿都町、神恵内村で開始され、翌2021年4月から地域の多様な方々との「対話の場」を両町村に設置し、2023年は3年目となる。今年度の対話では、特に文献調査項目に関する説明や質疑応答などを中心に、外部ファシリテーターを軸に丁寧な対話を重ねてきている。ただし、これまで文献調査は2年程度とされており、自治体や住民の方々の負担感が増していると思われ、軽減を図ることが必要と考える。	○玄海町の文献調査業務では委託内容の見直しにより効率化を図ることで、調査期間の短縮に努めている。 ○「文献調査段階の評価の考え方」、寿都町、神恵内村の報告書案に基づき、玄海町の文献調査業務の効率化を図る。	
【① 文献調査対象自治体と周辺地域等における対話活動の充実】(2)提言			
18	■住民の方からの希望で神恵内村では慎重な考えの専門家を招いたシンポジウムが開催された。これは、機構以外の多様な視点や考え方を紹介する前向きな試みだった。今後は、考えが異なる専門家との間で何が共通理解で、何が議論の対象なのか整理し、この取組が地域にどのような影響をもたらしたのか確認し、今後の対話活動に活かすことを提言する。	○神恵内村でのシンポジウムでは、参加された方から、「分かりやすかった。」「両方の意見を聞くことができてよかった。」といった御意見をいただいております。多様な意見があることを住民の方々に知ってもらう場づくりの重要性を認識している。今後は、提言を受け止め、寿都町や玄海町においても、神恵内村での知見を活かし地域の皆さまの理解がより深まるよう工夫しながら対話活動を進めていく。	
【② 文献調査の着実な実施】（1）評価 技術的観点からの評価・指摘事項			
26	■寿都町／神恵内村文献調査報告書（要約書）は読みやすいという声も、技術開発評価委員会の委員より上がっている。	○玄海町の文献調査においても、読みやすい報告書（要約書）の作成に努めていく。	【トピック2】 分かりやすい説明の観点
27	■慎重な考えの研究者への対応についても科学的な根拠に基づく適切な対応であったと評価する。	○今後の説明においても、科学的な根拠に基づく適切な対応に努めていく。	【トピック2】 適切な説明の観点

8

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応（2/3）

（第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）

No.	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
【② 文献調査の着実な実施】（1）評価 技術的観点からの評価・指摘事項			
28	■文献調査を通じて抽出した現状の問題点・課題についてどのように対処していくのかということについて整理する必要がある。	○「文献調査段階の評価の考え方」についての審議会対応、報告書案作成、報告書案の審議会対応を通じて、問題点の抽出・解決を行い、「評価の考え方」、報告書修正方針、報告書案最終案の形で整理した。これを、玄海町以降の文献調査にも適用していく。	【トピック1】 内容の観点
29	■寿都町の南方で深部低周波地震が確認されたが、このことは、概要調査段階での新たな火山形成に係る調査項目に影響すると考えられる。そのため地下地震波速度構造や比抵抗構造などの調査技術や、新たな火山形成に関する安全評価上の取り扱いの考え方や方法論の整備を進めるべきである。	○報告書案のうち「噴火」に関する説明書の概要調査に向けた考え方に調査・評価方法等を整理した。その中では、これまでに国の委託事業において整備されてきた調査技術である地下地震波速度構造や比抵抗構造といった情報取得についても言及している。 ○火山活動については処分地選定調査においてサイトから除外することから、新たな火山形成を考慮した安全評価は、包括的技術報告書の場合と同様に、稀頻度事象シナリオとして取り扱うことを考えている。	【トピック1】 内容の観点
30	■文献調査が当初の予定である2年という期間よりも長くなったが、今後は効率よく調査を実施できるよう、国と機構で作業プロセスをよく検討すべきである。	○「文献調査段階の評価の考え方」が策定されたことのほか、一連のプロセスが構築されたため、玄海町以降の文献調査ではこれをもとに、国との間で作業の見通し、効率化について検討・協議していく。	
31	■国内初の文献調査ということで、当初は調査結果の判断基準はなかったが、調査の過程で模索しながら、機構は一般論として「文献調査段階の評価の考え方（案）」を検討し、これを基に国として「文献調査段階の評価の考え方」が取りまとめられ公表された。こうした経緯については客観的な立場から審議され判断基準が設けられていることを、誤解を与えないよう、丁寧に説明することが必要である。	○「客観的な立場から審議され判断基準が設けられていること」について、最終処分法、規制委員会の「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」などに基づいていること、機構案は根拠となる文献とともに案を示していること、審議が公開であることなどを説明していく。	【トピック2】 適切な説明の観点

9

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応（3/3）

（第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）

No.	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
【② 文献調査の着実な実施】（2）提言			
35	■また、文献調査期間について、当初2年程度とされたものが、3年かかっている。初めての取組であり避けられない部分もあるが、今後、文献調査に応募していただける自治体の負担を軽減するためにも、期間の短縮に努めることが必要であると提言する。	○「文献調査段階の評価の考え方」が策定されたことのほか、一連のプロセスが構築されたため、玄海町以降の文献調査ではこれをもとに、短縮化を図っていく。	
36	■今後は法定手続きに丁寧に対応するとともに、文献調査結果に基づき、概要調査に向けての課題の整理を速やかに実施しておくことが必要であるとする。	○報告書本文や項目ごとの説明書に「概要調査に向けた考え方」の節や項を設け、概要調査の基本的な考え方、概要調査に向けて留意すべき事項及びその調査・評価方法などを整理している。	【トピック1】 位置づけの観点
技術的観点からの提言			
37	■沿岸海底下を文献調査の対象エリアとしたことについて、対話の場や説明会においてもわかりやすく説明できるようにしておくこと。	○2/13の報告書案では分りにくかった沿岸海底下の範囲について、水色ドットで示す工夫を施した。	【トピック2】 分りやすい説明の観点
38	■後続自治体の出現につなぐことを意識した、自治体向けの資料、報告書を作成すること。	○技術的観点から作成した報告書を踏まえて、法定説明会などに向けたわかりやすい説明資料を作成している。	【トピック2】 分りやすい説明の観点

10

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

トピック1． 報告書案審議への対応と最終版の取りまとめ

（論点） 位置づけ、内容、品質の観点で、適切に取りまとめできたか？

11

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

(論点) 位置づけ、内容、品質の観点で、適切に取りまとめできたか？

1.背景・概要

「背景・概要及びトピックの設定」のとおり

2.個別業務の内容（P）

- (1) 地層処分技術WG、特定放射性廃棄物小委員会への対応
- (2) 報告書最終版のとりまとめ

3.取り組んだ内容（D）

- (1) 地層処分技術WG、特定放射性廃棄物小委員会での意見を受けて、「概要調査に向けた考え方」などを報告書に追記した。
- (2) 地層処分技術WG、特定放射性廃棄物小委員会での審議を踏まえた最終案を機構大で品質確認し、報告書最終版をとりまとめた。

12

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

(論点) 位置づけ、内容、品質の観点で、適切に取りまとめできたか？

4.自己評価と課題（C）

- 位置づけの観点：概要調査地区選定プロセスにおける位置づけ
➢「概要調査に向けた考え方」の基本的な考え方と項目ごとの考え方を報告書の本文と説明書に追記した。→補足資料c、e
- 内容の観点：技術的な内容
➢報告書案について地層処分技術WGから「文献調査段階の評価の考え方」に基づいて作成されたものである」「一部不十分な点が確認されたため、修正が検討されるべき」の評価を得た。→補足資料b
➢同WGの意見を受けて修正方針を示し、「全体として了解」の評価を得るとともに、指摘を受けて適宜修正した。→補足資料b、c、d
- 品質の観点：公告・縦覧などの後工程に向けて、時期や内容の観点での品質の確保
➢地層処分技術WG、特定放射性廃棄物小委員会での審議を踏まえた報告書としてとりまとめることができ、2024年11月の報告書手交に至った。→補足資料a、e

5.今後の対応（A）

今後の最終処分事業に適切に反映する。

13

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

<補足資料>

- a. 2024年の地層処分技術WG，特定放射性廃棄物小委員会の経緯
- b. 地層処分技術WGの評価結果
- c. 概要調査についての記載の追加
- d. 新たな火山に関する概要調査に向けた考え方
- e. 修正後の報告書本文の構成

14

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 a. 2024年の地層処分技術WG，特定放射性廃棄物小委員会の経緯

<地層処分技術WG>		提出資料	参考資料
①2/13	・「文献調査段階の評価の考え方」に基づいた評価及び検討のプロセス		文献調査報告書（案）の要約書
②3/29		・文献調査における科学的特性マップの位置付け ・概要調査等での留意事項の考え方	文献調査報告書（案）及び別に添付する説明書
③5/2		・概要調査以降の対応、新知見への対応について	
④5/24	（技術WGの提出資料）・「文献調査段階の評価の考え方」の反映状況に関する技術的・専門的観点からの評価（案）	・第3回会合における御意見への回答	・委員からいただいた御意見と文献調査報告書（案）との対応関係
⑤7/4		・文献調査報告書（案）の修正方針（案）	・「文献調査段階の評価の考え方」に基づいた評価及び検討のプロセス ・文献調査報告書（案）の修正イメージ

<特定放射性廃棄物小委員会>		提出資料	参考資料
③4/30	・文献調査報告書（案）の概要 ・「文献調査段階の評価の考え方」に基づいた評価及び検討のプロセス（経済社会的観点からの検討）		文献調査報告書（案）及び別に添付する説明書
⑤8/1		・文献調査報告書（案）の修正の概要（技術WGの提出資料） ・「文献調査段階の評価の考え方」の反映状況に関する技術的・専門的観点からの評価 ・文献調査報告書（案）の修正方針に関する技術的・専門的観点からの評価	・要約書（2/13）の修正案 ・報告書（案）（2/13）の修正案及び別に添付する説明書（2/13）の修正案

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 b. 地層処分技術WGの評価結果

- 文献調査報告書(案)への「文献調査段階の評価の考え方」の反映状況に関する技術的・専門的観点からの評価のまとめ

- ①文献調査報告書(案)は膨大な文献情報を丹念に確認し、「文献調査段階の評価の考え方」に基づいて作成されたものであると認められる一方、項目ごとの基準に基づいた評価及び検討プロセスにおいて、評価時の考え方の表現や評価の基となるデータの示し方に一部不十分な点が確認されたため、修正が検討されるべきである。
- ②文献調査を通じて、今後の調査に向けた留意事項とされた項目については、概要調査に進んだ場合に何を実施するのか等の具体的な計画や、処分地として適さない地点を積極的に排除していくスタンス、留意事項について判断出来るかの目安を報告書内で示しておくべきである。
- ③文献調査から概要調査に進む場合の考え方について、最終処分法の要件、及びこれまでの審議会の議論の結果と齟齬がないことを確認した上で、報告書に明記すべきである。
- ④調査段階において得られる新たな知見を、NUMOとして地層処分の観点からどのように取り扱い、反映していくかは、今後も社会から常に問われるものである。NUMOとしての検討を丁寧に進め、社会、技術者への共有を進めていく必要がある。
- ⑤文献調査の結果や科学的特性マップ等の関連資料の内容について、いかに分かりやすく一般の方へ説明していくか、今後も継続して検討すべきである。また、「十分に」や「よく確認」といった不必要に曖昧な表現を避けることが重要である。

第5回 特定放射性廃棄物小委員会 地層処分技術ワーキンググループ(2024.7.4) 資料1より抜粋

- 文献調査報告書(案)の修正方針に関する技術的・専門的観点からの評価のまとめ

- ①文献調査報告書(案)の修正方針について、全体として了解できるものの、さらに検討をすることでより理解が深まり、文献調査報告書の完成度の向上が期待される。
- ②文献調査で留意事項として残された項目について、概要調査でしっかりと調査し評価を完了するという方針が示されたのは良いが、説明書に記載の一部の留意事項については、評価手法をより具体的に記述することが検討されるべきである。また、火山についてはその影響範囲が非常に広いため、概要調査で優先的に調査する方針を示すとともに、影響の範囲を示すべきと考えられる。
- ③文献調査報告書のわかりやすさは非常に重要であり、報告書中の表現を確認していく必要がある。
- ④最終処分法が制定されて以降も学術的な知見は蓄積されているため、NUMOとして常に新しい知見を取り入れ、最新の知見に基づいて評価をしていることを示す必要がある

第5回 特定放射性廃棄物小委員会(2024.8.1) 資料4より抜粋

16

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 c. 概要調査についての記載の追加

報告書本文5.2, 5.3より

- 最終処分法に示された要件、処分地選定段階における位置づけ、「最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層」(対象地層等)の抽出、といった概要調査の基本的な考え方を整理する。
- 留意事項とされた項目もこの考え方に沿い調査・評価し、確認が難しい場合も含めて対象地層等から除外するという結論が得られる見通しであることを述べる。

<本文5.2 概要調査地区の候補>

概要調査段階において、中心的に調査する「最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層」(以下、対象地層等という。)を選ぶために、この結果を参照する。多くの区域に影響が及ぶ「噴火」に関する留意事項は早い段階で確認する必要がある。

<本文5.3 概要調査に向けた考え方>

5.3.1 概要調査の位置付けと調査・評価の考え方

- 概要調査段階には「地震等の自然現象による地層の著しい変動」、「坑道の掘削への支障」、「活断層、破碎帯、地下水の水流による地下施設への悪影響」といった要件があり、文献調査段階の要件と関連がある。
- 「坑道の掘削への支障」、「活断層、破碎帯、地下水の水流の地下施設への悪影響」などの要件を満たす「最終処分を行おうとする地層及びその周辺の地層」(対象地層等)を選ぶ。
- 対象地層等を中心に段階的に調査し、「地層の著しい変動」である活断層や火山などについては、対象地層等からの距離などに応じて詳細度を変えて調査する。
- 「地層の著しい変動」などの広域的な現象は、基本的に概要調査により把握し、許容リスク内である(「おそれが少ない」など)ことの確認が難しいものも含めてその影響が及ぶ範囲を、概要調査段階で対象地層等から除外する。

5.3.2 概要調査に向けて留意すべきと考えられる事項について

- 概要調査に向けて留意すべきと考えられる事項も5.3.1で述べた考え方に沿って調査・評価する。
- 「断層等」などの避ける場所の基準に関する留意事項は、対象地層等からの距離などの影響の大きさに応じて詳細度を変えて調査・評価し、確認が難しいものも含めて影響の及ぶ範囲を対象地層等から除外する、という結論を得ることが基本的にはできると考えられる。
- 技術的観点からの検討の留意事項は、「坑道の掘削への支障」、「活断層、破碎帯、地下水の水流による地下施設への悪影響」の要件に照らした調査・評価などで扱う。
- 項目ごとの説明書に、調査・評価の方法や評価の見通しを示す。

17

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 d. 新たな火山に関する概要調査に向けた考え方

寿都町説明書「噴火」より

5.4 概要調査に向けた考え方

文献調査において十分評価できなかった点について、概要調査では、精密調査地区として選定しようとする地区に対して「マグマの貫入と噴出」などに伴う影響が及ぶおそれがないかを確認し、評価を行う。したがって、精密調査地区として選定しようとする地区からの距離に応じて、個別の火山などに対する調査・評価の詳細度が変わる可能性がある。また、**影響が及ぶおそれがないことの確認が難しい領域については、その領域から離隔距離を取ったうえで精密調査地区を選定することとする。特に、基準（イ）および（ウ）の評価に際しては、大きく離隔距離を取る必要が生じる可能性があり、精密調査地区として選定しようとする地区が残らないと結論づけられる場合も考えられる。**

上記の考え方で調査・評価していくことにより、文献調査において情報の不足により十分に評価できなかった点についても結論を得ることができる見通しである。

概要調査では、産業技術総合研究所深部地質環境研究センター編（2007）や産業技術総合研究所深部地質環境研究コア編（2012）、原子力規制委員会（2013）などを参照し、空中や地上の物理探査、地形調査、地表踏査、ボーリング調査及び岩石、地下水試料などの分析を組み合わせ、調査・評価を行う。**特に基準（ウ）に関しては、飯豊山地を例としたUmeda et al.（2006, 2007）などの既往の調査・評価例なども参照する。**

本調査において十分に評価できなかった点のうち、概要調査に向けて留意すべき事項を以下に示す。

基準（ウ）については、以下のとおり。

- 地震探査、電磁探査などの物理探査やボーリング調査により、本調査で十分に検討することができなかった**地下深部の温度構造、地下水等の化学特性、地震波速度構造を含む物理特性に関する情報を拡充**する必要がある。
- ただし、「現在、地殻及びマントル最上部にメルトが存在する可能性」については、地下の情報が拡充できたとしても**必ずしも評価が可能となるわけではないことに留意**が必要である。
- 「将来、より深部から地殻にメルトが貫入する可能性」については4.3.3で整理したように、メルトの生成に関連する温度構造についての数値シミュレーションを通じて、マントルウェッジの温度構造に基づくメルトの生成場と火山の分布傾向との関連性の定性的な説明が試みられている段階であること、現在の高温域・流体分布に関連する不均質構造については、広域的な火山分布の傾向との関連性について説明が試みられている段階であることを把握している。したがって、概要調査においては、現時点で確立された評価方法自体が見当たらない（原子力規制庁、2022）状況であることも踏まえ、**関連する数値モデルやシミュレーション、不確実性評価に関する技術的進展や適用性を精査し、可能性を有する手法を用いた評価の実施を検討する。**

18

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 e. 修正後の報告書本文の構成

＜主な修正点＞ **赤太字：追加。青太字：修正。**

- はじめに
- 1 機構の名称および住所
 - 2 文献調査対象地区の所在地
 - 3 文献調査対象地区の概況
 - 3.1 地理的な概況
 - 3.2 科学的特性マップの特性区分
 - 3.3 「調査の実施見込み」の確認と文献調査対象地区の範囲**
 - 4 文献調査の項目、手法および結果
 - 4.1 項目および手法
 - 4.1.1 調査のよりどころ
 - (1) 最終処分法および同法施行規則
 - (2) 文献調査計画書
 - (3) 「考慮事項」
 - (4) 「文献調査段階の評価の考え方」
 - 4.1.2 調査の項目
 - (1) 最終処分法に定められた要件に対応した項目
 - (2) その他の項目
 - 4.1.3 調査の手法
 - (1) 文献・データの収集と情報の抽出
 - (2) 最終処分法に定められた要件に対応した項目の評価
 - (3) その他の項目の評価および検討
 - (4) 十分な評価が行えない場合**
 - (5) 新知見への対応**
 - 4.2 調査の結果
 - 4.2.1 文献・データの収集など
 - 4.2.2 最終処分法に定められた要件に対応した項目の評価
 - (1) 地震・活断層
 - (2) 噴火**
 - (3) 隆起・侵食
 - (4) 第四紀の未固結堆積物
 - (5) 鉱物資源
 - 4.2.3 その他の項目評価および検討
 - (1) 地熱資源
 - (2) 技術的観点からの検討
 - (3) 経済社会的観点からの検討
 - 5 文献調査対象地区の評価およびその理由
 - 5.1 評価のまとめ
 - 5.2 概要調査地区の候補**
 - 5.3 概要調査に向けた考え方**
 - 5.3.1 概要調査の位置づけと調査・評価の考え方**
 - 5.3.2 概要調査に向けて留意すべきと考えられる事項について**
 - 6 文献調査の一部を委託した法人の名称および住所ならびにその代表者の氏名
引用文献

添付資料 A 概要調査地区の候補の区域ごとの特徴

トピック2. 分かりやすい説明、適切な説明

（論点）疑問や慎重な意見に対して、分かりやすい説明、適切な説明ができたか？

20

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

（論点）疑問や慎重な意見に対して、分かりやすい説明、適切な説明ができたか？

1.背景・概要

「背景・概要及びトピックの設定」のとおりに

2.個別業務の内容（P）

- (1) 地層処分技術WG、特定放射性廃棄物小委員会への対応
- (2) 法定説明会等への対応
- (3) 意見書への対応

3.取り組んだ内容（D）

- (1) 地層処分技術WGにおいて、「300人声明（地学の専門家ら300名余による地層処分に関する声明文）」への対応を実施した
- (2) 法定説明会等の説明資料作成において、技術的事項の分かりやすい説明を担当した。
- (3) 法定説明会等において、文献調査パートの説明及び技術全般と文献調査に関する質疑応答を担当した。
- (4) 意見書における技術全般及び文献調査パートの回答（見解）作成を担当中。

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

（論点）疑問や慎重な意見に対して、分かりやすい説明、適切な説明ができたか？

4.自己評価と課題（C）

- 適切な説明の観点：慎重な方への適切な説明（審議会における「声明」対応も含む）
 - 「300人声明」等に対して「NUMOの考え方」を地層処分技術WGで説明した（慎重な意見に対する適切な説明）。→補足資料 a, b, c
 - 法定説明会等の質疑応答及びいただいた意見に対して適切な回答の作成に努めた。→補足資料 f
 - 質問に回答する形で判断基準の客観性について説明した。→補足資料 f（その1）
- 分かりやすい説明の観点：一般の方への分かりやすい説明
 - 法定説明会等の資料作成において、専門用語を避け、一般的な表現を用いることで、住民の皆さまにとってわかりやすい説明に努めた。→補足資料 d, e
 - 法定説明会等の質疑応答およびいただいた意見に対してわかりやすい回答の作成に努めた。→補足資料 f

5.今後の対応（A）

意見書対応、実施計画変更申請、今後の「対話の場」などにおいて適切に対応する。

22

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

<補足資料>

- a. 「300人声明」への対応：地層処分技術WG、特定放射性廃棄物小委員会
- b. いただいている御指摘へのNUMOの考え方
- c. 「300人声明」に対する地層処分技術WGの審議結果
- d. 法定説明会資料の構成
- e. 法定説明会資料の抜粋
- f. 法定説明会質問票への回答（3/16質疑の場資料より）

23

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 a. 「300人声明」への対応：地層処分技術WG、特定放射性廃棄物小委員会

<地層処分技術WG>		提出資料	参考資料
①2/13			声明「世界最大級の変動帯の日本に、地層処分の適地はない」
②3/29		参考人（岡村聡氏、赤井純治氏、小野有五氏）出席 ・地学専門家による地層処分の声明について（参考人） ・地層処分の安全確保に向けた国としての考え方（資源エネルギー庁） ・ いただいている御指摘への考え方（NUMO）	地層処分技術 WG への提言
③5/2		・地学の専門家等による声明に関する参考人及び地層処分技術WG委員からのご意見について（資源エネルギー庁）	第2回地層処分技術 WG の国および NUMO の考え方への意見
④5/24		・地層処分に関する声明を踏まえた技術的・専門的観点の審議報告（案）（資源エネルギー庁）	
⑤7/4		・地層処分に関する声明を踏まえた技術的・専門的観点の審議報告（地層処分技術WG）	地層処分技術 WG の審議報告（案）に対する見解

<特定放射性廃棄物小委員会>		提出資料	参考資料
④6/17		・地層処分に関する声明を踏まえた技術的・専門的観点の審議報告（地層処分技術WG）	・声明「世界最大級の変動帯の日本に、地層処分の適地はない」 ・地層処分技術 WG への提言 ・地学専門家による地層処分の声明について ・第2回地層処分技術 WG の国および NUMO の考え方への意見 ・地層処分技術 WG の審議報告（案）に対する見解

https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/radioactive_waste/geological_disposal/index.html
https://www.meti.go.jp/shingikai/enecho/denryoku_gas/radioactive_waste/index.html

24

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 b. いただいている御指摘へのNUMOの考え方

御指摘「日本列島の脆弱な岩盤特性（寿都町・神恵内村の場合）」

- 文献調査対象地区内でハイアロクラスタイトを含む最終処分を行おうとする地層（地下300m以深の場所）の**透水性や強度の値は得られていません**。現時点では、**最終処分を行おうとする地層としての透水性や強度について、判断できない**と考えています。
- 現地調査における地質環境特性データ取得の観点から「岩相変化が著しく、高い不均質性を有することが想定されるハイアロクラスタイトを含む海底火山噴出物など（各岩相の分布と特性の把握）」を留意事項としています。概要調査へ進んだ場合には、最終処分法に定められた要件に照らして、**最終処分を行おうとする地層としての特性を評価すること**となります。

御指摘「活断層について 変動帯では、内陸活断層の危険が常にある。活断層は連動する」について

- 文献調査報告書（案）では、**地震の観点ではなく、ずれによる人工バリア損傷防止の観点から、個別の断層それぞれの断層面および断層コアを避けること**としています。
- 地震動の大きさなどに影響する活断層の連動の影響については、概要調査以降に検討していきます。

御指摘「能登半島地震の新知見（深部流体起源の地震と活断層帯への連動地震）」について

- 2024年能登半島地震を引き起こしたと考えられる海底活断層は、地震前の音波探査により、その存在が知られていたと考えられています。
- 文献調査報告書（案）では、**地震の観点ではなく、ずれによる人工バリア損傷防止の観点から、断層の断層面および断層コアを避けること**としており、**変動地形学的調査結果、地質調査結果、地球物理学的調査結果に関する知見を、総合的に評価**しています。
- 御指摘の**原子力規制委員会の規制基準は、変動地形学的調査、地質調査、地球物理学的調査により総合的に評価することを求めている**と考えられます。

御指摘「能登半島地震の新知見（寿都の深部流体起源の地震と黒松内低地活断層帯への連動地震）」について

- 文献調査報告書（案）では、**低周波地震や深部流体の有無に関わらず、断層のずれによる人工バリア損傷防止の観点から、断層面や断層コアを避けること**としています。
- 低周波地震の発生メカニズムおよび深部流体などと断層活動の関連性については**今後も情報収集、検討を進めて**いきます。

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料c. 「300人声明」に対する地層処分技術WGの審議結果

「地学の専門家ら300名余による地層処分に関する声明文」（2023年10月公表）に加え、参考人からの説明（提言（2024年2月）、第2回会合におけるご発言（2024年3月）、追加意見書（2024年4月））、国としての考え方、およびNUMOからの説明を踏まえ、技術的・専門的観点から審議を行った。地層処分技術WG委員による審議結果は、以下のようにまとめられる。

- 変動帯に属する日本において、高レベル放射性廃棄物を長期間地上で保管し続けることは適切ではない。地層というシステムの中で、多重バリアで保護するという地層処分システムの考え方やそのメリットなどを、国・NUMOは情報提供することが重要である。深部地下環境については、積極的に研究を進めるとともに、その成果を情報提供することが必要である。
- 日本よりも隆起が速い地域を抱える北欧においても、地層処分の大前提である深度確保等の留意事項がある中で、処分地を選定してきた点は参考とすべきである。
- 地層処分について、法律に基づくプロセスや地質環境の変化が少ない場所を探すといった方針を国・NUMOは国民に対して丁寧に説明する必要がある。また、NUMOが現地で調査を実施する際には、リスクの高い部分や処分地として適さない地点を積極的に調査し排除していくスタンスを示すことも必要であり、そのための調査の必要性や意義についても説明を通して理解を得ることが重要である。
- 処分地を選定するための段階的な調査プロセスにおいては、情報を繰り返し確認し、場合によっては立ち止まる・リセットすることも含めて議論するという認識を、国・NUMOは国民と共有することが重要である。
- 個別の地域の地質については地域の地質に詳しい専門家の知見を参考にすることが重要である。
- 処分地選定を進めていく中で、最新の知見や議論の結果、考慮すべきことをどのように導入していくか、国・NUMOとして考え方を整理することが必要である。

第4回 特定放射性廃棄物小委員会（2024.6.17） 資料3より抜粋

26

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料d. 法定説明会資料の構成

はじめに

NUMO：原子力発電環境整備機構とは
説明会の位置づけ

第一部 事業概要説明 地層処分とは・文献調査とは ＜地層処分とは＞

地層処分とは
なにを地層に処分するのか
ガラス固化体の放射能
高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）の処分方法
なぜ地下深くに埋めるのか
地層処分の仕組み
最終処分場の施設とは

＜文献調査とは＞

どうやって調査を進めるのか
どうやって調べて、確認したのか
何を評価するのか
概要調査地区の候補を選ぶ
誰が調査を担ってきたのか
文献調査報告書
報告書に引用した文献・データの数

第二部 文献調査の結果

＜寿都町における文献調査の結果＞

文献調査対象地区
8つの評価項目

なぜ避けるのか

文献調査結果のまとめ
概要調査地区の候補

＜寿都町における各項目の結果（8つの項目ごとに）＞

何を確認・評価するのか
評価・確認の結果

＜寿都町における調査結果のまとめ＞

概要調査地区の候補
技術的観点からの検討

＜神恵内村における文献調査の結果＞

文献調査対象地区
文献調査結果のまとめ
概要調査地区の候補

＜神恵内村における各項目の結果（8つの項目ごとに）＞

評価・確認の結果

＜神恵内村における調査結果のまとめ＞

概要調査地区の候補
技術的観点からの検討

第三部 今後の法定プロセスと概要調査について

今後の地域へのご説明（法定プロセス）

概要調査とは

さまざまな方法

評価項目と調査方法の組み合わせ：火山の例

27

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 e (法定説明会資料の抜粋) その1

文献調査とは：どうやって調べて、確認したのか

NUMO

- 国がとりまとめた「文献調査段階の評価の考え方」に基づいて、集めた文献・データを読み解き、評価を行いました



28

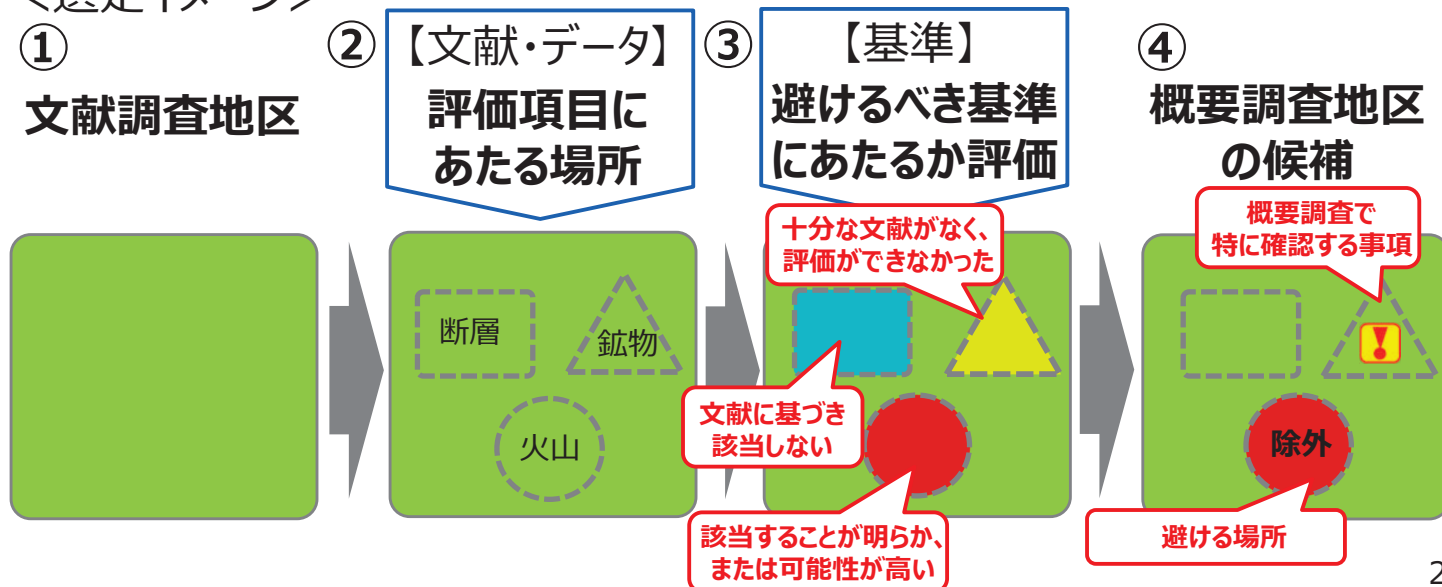
① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 e (法定説明会資料の抜粋) その2

文献調査とは：概要調査地区の候補を選ぶ

- 文献・データから、「避けるべき基準」に照らして、該当することが明らかまたは可能性が高い場所を、概要調査地区の候補から除外します
- 十分な文献がなく、評価できなかった場所は、概要調査で確認します

＜選定イメージ＞



29

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

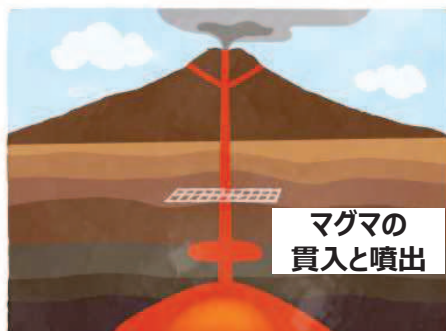
補足資料 e (法定説明会資料の抜粋) その3

なぜ避けるのか

1. 地震・活断層



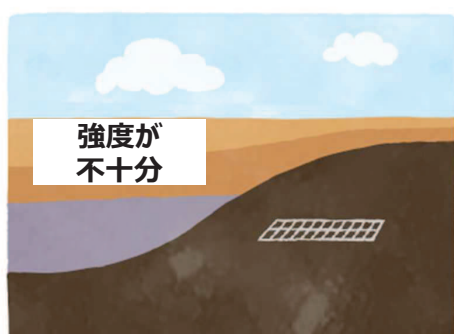
2. 噴火



3. 隆起・侵食

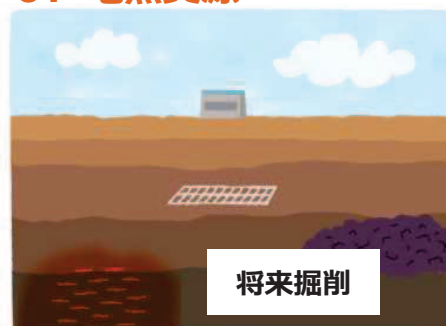


4. 第四紀の未固結堆積物



5. 鉱物資源

6. 地熱資源



7. 技術的観点



その他の
地質情報

8. 経済社会的観点



土地の
利用制限

30

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 e (法定説明会資料の抜粋) その4

地震・活断層：なにを確認・評価するのか

- “処分場を設置しようとする深さ”（地下300m以深）において、以下（ア）～（エ）の「基準」に該当する可能性が高い場所を避けます

地震・活断層の「避けるべき基準」

活断層の周辺の断層及び地すべり面（イ）

過去約12～13万年前以降に活動した、活断層の周辺の断層の面及び地すべり面

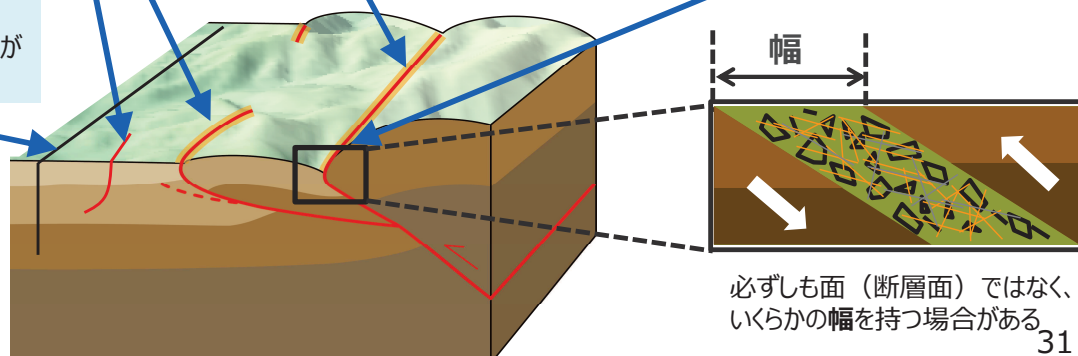
（ア）（イ）以外の規模が大きい断層（ウ）

過去約12～13万年前以降に活動していない、10km以上の規模が大きい断層の面

活断層（ア）

過去約12～13万年前以降に活動した、震源となりうる断層につながっている主な断層の面

（ア）～（ウ）周辺のずれている部分（エ）



31

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

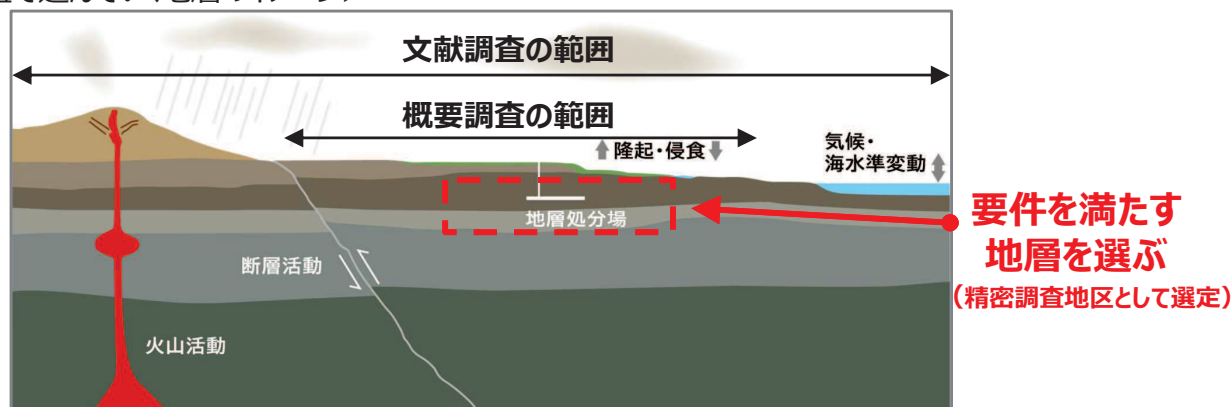
補足資料 e (法定説明会資料の抜粋) その5

概要調査とは

- 概要調査では、下の3つの要件を満たす地層を選んでいきます

- | | |
|-----------------|------------------|
| ① 地層の著しい変動がないか | → 断層、火山、隆起・侵食を調査 |
| ② 坑道の掘削への支障がないか | } 岩盤、地下水を調査 |
| ③ 地下水流等の悪影響がないか | |

＜概要調査で選んでいく地層のイメージ＞



- 「地層の著しい変動」である活断層や火山などの広域的な現象は、基本的に概要調査により把握し、許容リスク内である（「おそれが少ない」など）ことの確認が難しいものも含めて、その影響が及ぶ範囲を概要調査段階で除外します

地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果（地層処分技術WGとりまとめ）（地層処分技術WG，2017）図2.4.1から必要な部分を抜粋し，一部加筆

32

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 e (法定説明会資料の抜粋) その6

さまざまな方法

- 空中や地上からの探査や地表踏査などにより比較的広い範囲を概括的に把握します。また、範囲を絞ってボーリング調査やトレンチ調査などにより詳しく調査します
- 概要調査で特に確認する事項を調査する場合も、これらの手法を用います

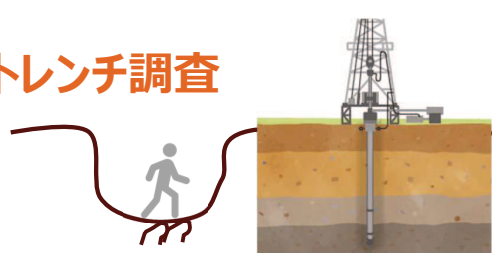
空中からの
探査



空中からの
地形調査

ボーリング調査

トレンチ調査



地上からの探査



とうさ
地表踏査

(地形調査、露頭調査など)

- この図の他に、海上からの探査など

33

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 f : 法定説明会質問票への回答（3/16質疑の場合資料より）その 1

ご質問と回答：評価の客観性

<質問>

- NUMOの調査部が調査したというが、推進する側が調査すると甘い調査になるのではないか。

<回答>

【国の審議会に取りまとめられた評価の考え方に従って調査・評価し、結果についても審議会でご確認いただいています。】

- 最終処分法では、NUMOが文献調査を行うこととされています。今回の文献調査は、地質学などの学会推薦による専門家などから構成される審議会において取りまとめられた「文献調査段階の評価の考え方」に従い、調査・評価しました。また、NUMOが取りまとめた報告書案についてもこの審議会でご確認をいただき、いただいたご意見を反映して修正しています。
- この「文献調査の評価の考え方」は、最終処分法で定められた要件、科学的特性マップ策定時の考え方、原子力規制委員会が2022年に公表した「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」等を踏まえて策定されたものです。
- なお、令和5年10月付けで、地球科学の調査・研究、教育、普及などで活躍されている専門家から御提言いただいた声明については、上記のNUMOが取りまとめた報告書案が審議された審議会において、声明の呼びかけ人である3名の先生方をお招きし、審議をさせていただきました。

34

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 f : 法定説明会質問票への回答（3/16質疑の場合資料より）その 2

ご質問と回答：文献調査から概要調査

<質問>

- 文献がなく評価できないのか。進めていって避けるべきものになった場合はどうなるのか。
- 文献調査し、まだギモンが残る点は概要調査に移行しないとわからないと、どんどん概要調査するように誘導する施策と受け取るのがいかがか。

<回答>

【文献調査では、避けるべき基準に該当するものがあるかどうか、という基準で調査を実施しており、概要調査に入ることを前提としたものではありません。】

- 文献調査では、避けるべき基準に該当するものがあるかどうかという基準で調査を実施しており、概要調査に入ることを前提としたものではありません。
- 文献に基づき、避けるべき基準に明らかに該当する場所、該当する可能性が高い場所を主に評価し、十分な文献が無く評価できなかった場所は、概要調査で特に確認する事項としてあらためて確認することとしました。
- 概要調査に進むことになれば、特に確認する事項を中心に真摯に調査を進め、地域の皆さまの安全を確認しながら場所を絞っていきたいと考えています。なお、「地層の著しい変動」である活断層や火山などの広域的な現象は、基本的に概要調査により把握し、許容リスク内である（「おそれが少ない」など）ことの確認が難しいものも含めて、その影響が及ぶ範囲を概要調査段階で除外します。

35

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 f : 法定説明会質問票への回答（3/16質疑の場合資料より）その3

ご質問と回答：磯谷溶岩^{いそや}

<質問>

- 岡村教授の磯谷溶岩は第四紀火山との新知見を今回反映していないのは納得できない。都合の悪い事は報告書に取り入れないのは問題だと思います。

<回答>

【ご指摘の岡村名誉教授による報告の内容では、避ける場所の基準に該当するかはまだ不確かであると考えています。引き続き確認に努めたいと考えます。】

- 文献調査では、学術論文など「品質が確保され一般的に入手可能な文献・データ」を用いています。ご指摘の北海道教育大学岡村聡名誉教授による報告については、学会で口頭発表されたものであり、現時点で、論文などになっていないと認識しています。引き続き、新たに公表される論文等の把握に努めます。
- また、避ける場所の基準に照らした評価としては、年代のみならず、火山活動の中心であったか否か等を確認する必要があると考えています。
- 概要調査に進むこととなれば、そこでしっかり確認したいと考えています。

36

① 寿都町及び神恵内村における文献調査

補足資料 f : 法定説明会質問票への回答（3/16質疑の場合資料より）その4

ご質問と回答：水冷破碎岩

<質問>

- 寿都、神恵内には水冷破碎岩を多く含む岩質があります。水が通りやすいと聞いています。どうして、このような場所で調査するのですか？ どうして4年間でデータがとれないのですか。

<回答>

【300mより深い場所の水冷破碎岩のデータはほとんどなく判断できませんでした。概要調査に進むことができれば詳しく確認したいと考えます。】

- 文献調査では水冷破碎岩のデータは300mより深い場所についてはほとんどなく、適性について判断できませんでした。
- 水冷破碎岩は1千万年前頃の海底火山が噴火して水中で冷やされて破碎されたもので、北海道南西部に広く分布し北海道新幹線のトンネルでも見られることを聞いています。岩石のでき方から特性にばらつきがあると言われていたので、現地調査する場合は気を付けていきたいと考えています。
- 最終処分法でも、岩盤や地下水の性質については、概要調査で現地調査することになっています。

37

【評価カテゴリー②】 玄海町における文献調査

- 背景・概要と論点の設定
- トピック1：適切、円滑な開始
(論点) 開始前、開始後の手続きを適切に処理して、調査の具体的業務に早期に着手できたか？
- トピック2：着実な実施
(論点) 過去の経験を踏まえて、適切な調査・評価を短縮化した工程で進めているか？

38

- 背景・概要とトピックの設定
 - 2024年度事業計画抜粋
 - 2024年度の主な経緯
 - トピックと論点の設定
 - 2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応の抜粋

39

② 玄海町における文献調査

2024年度事業計画（2024.6変更）抜粋

2. 玄海町を対象とした文献調査及び佐賀県域における対話・広報活動の実施

（2）文献調査の着実な実施

ア. 「文献調査計画書」の提示、調査の実施

調査の手順、収集する文献、評価のまとめ方等を「**文献調査計画書**」として取りまとめ、玄海町の皆さまでに丁寧に説明しながら、文献調査を実施していく。

調査に当たっては、「文献調査段階の評価の考え方」に従い、玄海町やその周辺地域に関する地質図や学術論文等の必要な**文献・データを収集**し、地震・活断層、噴火、鉱物資源などの最終処分法で定められた要件に対応した項目及び地熱資源について、**避ける場所の基準に基づいて評価**する。

また、地層や岩体、断層などの分布や地質環境特性を調査する**技術的観点からの検討**及び土地の利用制限などの**経済社会的観点からの検討**を進める。

赤字部分→トピックへ

40

② 玄海町における文献調査

2024年度の主な経緯

- 2024年4月15日、**町議会**の原子力対策特別委員会に**請願審査を付託**。26日、**町議会が請願採択**。
- **5月10日、脇山玄海町長が、文献調査の受入れを表明**。
- **6月10日、文献調査開始**（事業計画変更認可）。

（1）文献調査開始までの主な経過

- 4/15 : **町議会 定例会 4月 会議**
原子力対策特別委員会へ**請願審査付託を決定**
- 4/17 : 町議会 原子力対策特別委員会
国・原子力発電環境整備機構の
参考人招致、質疑
- 4/25 : 町議会 原子力対策特別委員会 請願採択
- 4/26 : **町議会 定例会 4月 第2回会議 請願採択**
- 5/1 : **国から文献調査申入れ**
- 5/7 : 脇山玄海町長・齋藤経済産業大臣の面談
- 5/10 : **脇山玄海町長会見（文献調査受入れ表明）**
- 6/10 : 事業計画変更認可、**文献調査開始**

（2）受入れ表明時のメッセージ

玄海町での取組みが、**国民的議論を喚起する一石となり、さらなる候補地の拡大につながる呼び水となることを期待**。



（参考）玄海町の概況
人口：4,908人(R6.3.31現在)
面積：35.92km²
財政力指数：1.18(令和4年度)
原子力発電所立地自治体

出典：佐賀県町村会HP
<https://www.saga-ck.gr.jp/map/>

41

② 玄海町における文献調査

トピックと論点の設定

2024年度事業
計画（2024.6
変更）抜粋

「文献調査計画書」として取りまとめ

文献・データを収集、避ける場所の基準に基づいて評価、技術的観点からの検討、経済社会的観点からの検討

2024年度の
主な経緯から
抜粋

●6/10：事業計画変更認可、文献調査開始

目標又は成
果について確
認する点

- 適切な処理と円滑な開始
 - ✓ 調査の実施見込みの確認
 - ✓ 文献調査計画書の作成
 - ✓ 委託発注手続き

- 適切な調査・評価
- 工程の短縮

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言も参照

トピック

トピック1. 適切、円滑な開始

論点

（論点）開始前、開始後の手続きを適切に処理して、調査の具体的業務に早期に着手できたか？

トピック2. 着実な実施

（論点）過去の経験を踏まえて、適切な調査・評価を短縮化した工程で進めているか？

42

② 玄海町における文献調査

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応（1/3） （第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）

No.	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
【総論】			
1	■国内初の文献調査が2020年11月に北海道寿都町、神恵内村で開始され、翌2021年4月から地域の多様な方々との「対話の場」を両町村に設置し、2023年は3年目となる。今年度の対話では、特に文献調査項目に関する説明や質疑応答などを中心に、外部ファシリテーターを軸に丁寧な対話を重ねてきている。ただし、これまで文献調査は2年程度とされており、自治体や住民の方々の負担感が増していると思われ、軽減を図ることが必要と考える。	○玄海町の文献調査業務では委託内容の見直しにより効率化を図ることで、調査期間の短縮に努めている。 ○「文献調査段階の評価の考え方」、寿都町、神恵内村の報告書案に基づき、玄海町の文献調査業務の効率化を図る。	【トピック2】 工程の観点
【① 文献調査対象自治体と周辺地域等における対話活動の充実】(2)提言			
18	■住民の方からの希望で神恵内村では慎重な考えの専門家を招いたシンポジウムが開催された。これは、機構以外の多様な視点や考え方を紹介する前向きな試みだった。今後は、考えが異なる専門家との間で何が共通理解で、何が議論の対象なのか整理し、この取組が地域にどのような影響をもたらしたのか確認し、今後の対話活動に活かすことを提言する。	○神恵内村でのシンポジウムでは、参加された方から、「分かりやすかった。」「両方の意見を聞くことができてよかった。」といった御意見をいただいております。多様な意見があることを住民の方々に知ってもらう場づくりの重要性を認識している。今後は、提言を受け止め、寿都町や玄海町においても、神恵内村での知見を活かし地域の皆さまの理解がより深まるよう工夫しながら対話活動を進めていく。	
【② 文献調査の着実な実施】（1）評価 技術的観点からの評価・指摘事項			
26	■寿都町／神恵内村文献調査報告書（要約書）は読みやすいという声も、技術開発評価委員会の委員より上がっている。	○玄海町の文献調査においても、読みやすい報告書（要約書）の作成に努めていく。	
27	■慎重な考えの研究者への対応についても科学的な根拠に基づく適切な対応であったと評価する。	○今後の説明においても、科学的な根拠に基づく適切な対応に努めていく。	

43

② 玄海町における文献調査

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応（2/3）

（第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）

No.	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
【② 文献調査の着実な実施】（1）評価 技術的観点からの評価・指摘事項			
28	■文献調査を通じて抽出した現状の問題点・課題についてどのように対処していくのかということについて整理する必要がある。	○「文献調査段階の評価の考え方」についての審議会対応、報告書案作成、報告書案の審議会対応を通じて、問題点の抽出・解決を行い、「評価の考え方」、報告書修正方針、報告書案最終案の形で整理した。これを、玄海町以降の文献調査にも適用していく。	【トピック2】適切な調査・評価の観点
29	■寿都町の南方で深部低周波地震が確認されたが、このことは、概要調査段階での新たな火山形成に係る調査項目に影響すると考えられる。そのため地下地震波速度構造や比抵抗構造などの調査技術や、新たな火山形成に関する安全評価上の取り扱いの考え方や方法論の整備を進めるべきである。	○報告書案のうち「噴火」に関する説明書の概要調査に向けた考え方に調査・評価方法等を整理した。その中では、これまでに国の委託事業において整備されてきた調査技術である地下地震波速度構造や比抵抗構造といった情報取得についても言及している。 ○火山活動については処分地選定調査においてサイトから除外することから、新たな火山形成を考慮した安全評価は、包括的技術報告書の場合と同様に、稀頻度事象シナリオとして取り扱うことを考えている。	
30	■文献調査が当初の予定である2年という期間よりも長くなったが、今後は効率よく調査を実施できるよう、国と機構で作業プロセスをよく検討すべきである。	○「文献調査段階の評価の考え方」が策定されたことのほか、一連のプロセスが構築されたため、玄海町以降の文献調査ではこれをもとに、国との間で作業の見通し、効率化について検討・協議していく。	【トピック2】工程の観点
31	■国内初の文献調査ということで、当初は調査結果の判断基準はなかったが、調査の過程で模索しながら、機構は一般論として「文献調査段階の評価の考え方（案）」を検討し、これを基に国として「文献調査段階の評価の考え方」が取りまとめられ公表された。こうした経緯については客観的な立場から審議され判断基準が設けられていることを、誤解を与えないよう、丁寧に説明することが必要である。	○「客観的な立場から審議され判断基準が設けられていること」について、最終処分法、規制委員会の「特定放射性廃棄物の最終処分における概要調査地区等の選定時に安全確保上少なくとも考慮されるべき事項」などに基づいていること、機構案は根拠となる文献とともに案を示していること、審議が公開であることなどを説明していく。	

44

② 玄海町における文献調査

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応（3/3）

（第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）

No.	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
【② 文献調査の着実な実施】（2）提言			
35	■また、文献調査期間について、当初2年程度とされたものが、3年かかっている。初めての取組であり避けられない部分もあるが、今後、文献調査に応募していただける自治体の負担を軽減するためにも、期間の短縮に努めることが必要であると提言する。	○「文献調査段階の評価の考え方」が策定されたことのほか、一連のプロセスが構築されたため、玄海町以降の文献調査ではこれをもとに、短縮化を図っていく。	【トピック2】工程の観点
36	■今後は法定手続きに丁寧に対応するとともに、文献調査結果に基づき、概要調査に向けての課題の整理を速やかに実施しておくことが必要であると考ええる。	○報告書本文や項目ごとの説明書に「概要調査に向けた考え方」の節や項を設け、概要調査の基本的な考え方、概要調査に向けて留意すべき事項及びその調査・評価方法などを整理している。	
技術的観点からの提言			
37	■沿岸海底下を文献調査の対象エリアとしたことについて、対話の場や説明会においてもわかりやすく説明できるようにしておくこと。	○2/13の報告書案では分かりにくかった沿岸海底下の範囲について、水色ドットで示す工夫を施した。	
38	■後続自治体の出現につなぐことを意識した、自治体向けの資料、報告書を作成すること。	○技術的観点から作成した報告書を踏まえて、法定説明会などに向けたわかりやすい説明資料を作成している。	

45

トピック1. 適切、円滑な開始

（論点）開始前、開始後の手続きを適切に処理して、調査の具体的業務に早期に着手できたか？

46

② 玄海町における文献調査

（論点）開始前、開始後の手続きを適切に処理して、調査の具体的業務に早期に着手できたか？

1. 背景・概要

「背景・概要及びトピックの設定」のとおりに

2. 個別業務の内容（P）

- (1) 調査の実施見込みの確認
- (2) 文献調査計画書の作成
- (3) 委託発注手続き

3. 取り組んだ内容（D）

- (1) 玄海町は科学的特性マップにおいてシルバーの地域であったことから、科学的特性マップの基準等を確認し、炭田分布域ではあるが「鉱物の存在が確認されていない範囲が確認できうる」ことから、調査の実施見込みがあることを確認した。
- (2) 「文献調査段階の評価の考え方」を反映した文献調査計画書を作成した。
- (3) 寿都町・神恵内村での文献調査の経験を踏まえ、委託発注構成の再編（5件名→3件名）を図った。

47

② 玄海町における文献調査

(論点) 開始前、開始後の手続きを適切に処理して、調査の具体的業務に早期に着手できたか？

4.自己評価と課題 (C)

- 適切な処理の観点
 - 調査の実施見込みにおいてシルバーの地域を適切に評価した。→補足資料 a
 - 文献調査計画書で調査内容を明確にした。
 - 早期着手の観点
 - 調査の実施見込みがあることを速やかに確認した。
 - 委託発注構成を再編し、重複していた部分を削減することで効率的な業務実施につながった。
→補足資料 b
- ただし、委託 3 件名のうち 1 件名の入札で予定価格を超過して不落となったため再入札となり、委託開始が2か月遅延した。論点 2 の知見概要把握などを先行して進め、遅延の影響を抑えた。

5.今後の対応 (A)

新規地点（第 4 地点）が浮上した際に、今回の経験を活用する。

48

② 玄海町における文献調査

<補足資料>

- a. 調査の実施見込みの確認、文献調査対象地区
- b. 委託構成の見直し

49

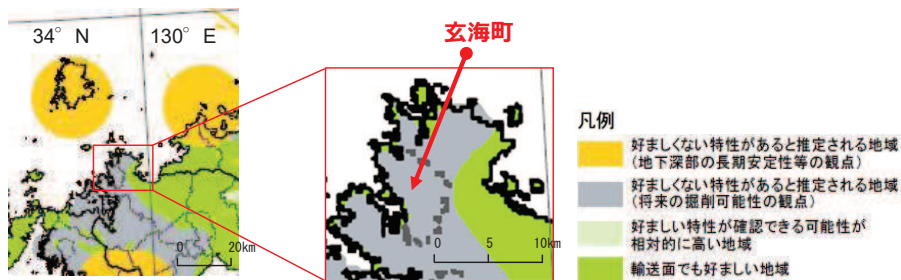
② 玄海町における文献調査

補足資料 a. 調査の実施見込みの確認、文献調査対象地区

- 文献調査開始に当たって、全国規模で整備された文献・データをもとに作成された科学的特性マップに照らして、調査の実施見込みを確認した。
- その結果から、玄海町全域を文献調査対象地区とした。また、沿岸海底下についても文献調査対象地区に含めることとした。

<調査の実施見込みの確認>

- 科学的特性マップにおいて、
 - ✓ 玄海町はシルバーの地域（将来の掘削可能性の観点から好ましくない特性があると推定される地域）（下図）。
 - ✓ シルバーの地域は、「当該地域内においては、鉱物の存在が確認されていない範囲もあり、調査をすればそうした範囲が確認できうることに留意する必要がある。」とされている。



玄海町における科学的特性マップの特性区分の状況

50

② 玄海町における文献調査

補足資料 b. 委託構成の見直し

【寿都・神恵内】

【①地震・活断層】

- ・地震活動
- ・活断層（断層ごとの位置，性状，活動史）
- ・変位地形，**地殻変動**

【②隆起・侵食】

- ・隆起・侵食の特性
- ・**地殻変動**
- ・気候・海水準変動の影響

【③噴火】

- ・火山・火成活動（貫入岩含む）
- ・熱・熱水活動
- ・**地温**，地下水の化学的特性（非火山性熱水・深部流体含む）

【④鉱物・地熱資源】

- ・既知の鉱山、鉱床、鉱徴などの概要
- ・未知の鉱物資源賦存の可能性に関する地質情報
- ・鉱物資源以外の資源（**地熱資源**）

【⑤地形、地質・地質構造及び第四紀の未固結堆積物】

- ・地形（陸域，海域）
- ・地質・地質構造（陸域，海域）
- ・第四紀の未固結堆積物（陸域，海域）

【玄海】

①と②を統合

（②で収集した文献のうち54%が①と重複していたため）

【A：地震・活断層及び隆起・侵食】

- ・地震活動
- ・活断層（断層ごとの位置，性状，活動史）
- ・変位地形，**地殻変動**
- ・隆起・侵食の特性
- ・気候・海水準変動の影響

③と④を統合

（④で収集した文献のうち33%が③と重複していたため）

【B：噴火及び鉱物・地熱資源】

- ・火山・火成活動（貫入岩含む）
- ・熱・熱水活動
- ・**地温（地熱資源）**，地下水の化学的特性（非火山性熱水・深部流体含む）
- ・既知の鉱山、鉱床、鉱徴などの概要
- ・未知の鉱物資源賦存の可能性に関する地質情報

【C：地形、地質・地質構造及び第四紀の未固結堆積物】

- ・地形（陸域，海域）
- ・地質・地質構造（陸域，海域）
- ・第四紀の未固結堆積物（陸域，海域）

51

トピック2. 着実な実施

（論点）過去の経験を踏まえて、適切な調査・評価を短縮化した工程で進めているか？

52

② 玄海町における文献調査

（論点）過去の経験を踏まえて、適切な調査・評価を短縮化した工程で進めているか？

1.背景・概要

「背景・概要及びトピックの設定」のとおり

2.個別業務の内容（P）

- (1) 文献調査工程の設定
- (2) 地域の特性の把握
- (3) 調査・評価方針の検討

3.取り組んだ内容（D）

- (1) 寿都町・神恵内村の実績により調査が一定程度フォーマット化されたことを受けて、調査開始から報告書案作成・提出までの工程を設定した。
- (2) 地域の特性（炭田分布域、重要な火山）を早期に把握した。現地での文献収集を実施した。
- (3) 比較鉱量、単成火山などの考え方、報告書構成の修正の必要性を検討した。

53

② 玄海町における文献調査

(論点) 過去の経験を踏まえて、適切な調査・評価を短縮化した工程で進めているか？

4.自己評価と課題 (C)

- 適切な調査・評価の観点
 - 現地での文献収集を着実に実施した。
 - 地域の特性を踏まえて調査・評価方針を確認し、着実な報告書作成につなげた。
- 工程の観点
 - 短縮化した実施工程を設定した。
 - 地域の特性を踏まえて調査・評価方針を確認し、効率的な報告書作成につなげた。

5.今後の対応 (A)

設定した全体工程に沿うように委託管理及び完成形を想定して知見・データの収集・把握などの作業を前倒して取り組み、業務を効率的に進めることにより、短縮した工程で文献調査を着実に実施する。

54

③ 地質環境の調査・評価

③ 地質環境の調査・評価 評価カテゴリー全体を俯瞰した自己評価

1.背景・概要

地質環境に期待される安全機能を損なう可能性のある自然現象の著しい影響を回避するとともに、変動帯に位置する我が国において、地層処分観点から好ましい特性が長期にわたって安定的に維持される地質環境を選定するためのサイト調査をより合理的・体系的に実施するための方法論の整備

2.技術開発計画（2023年度-2027年度）の概要（P）

我が国の多様な地質環境を対象として、以下を実施

- 1）長期的な自然現象の発生可能性及び地質環境への影響に関する評価技術（確率論的評価技術）の整備
- 2）地質環境特性の長期変遷に関するモデル化技術（四次元地質環境モデルの構築技術）の高度化
- 3）地上からの調査を念頭に、物理探査やボーリング調査、地下水等のモニタリング及びボーリング孔の閉塞等に関する、様々な調査・評価手法や、機器の適用に関する合理化及び最適化
- 4）概要調査に進ませていただいた場合を見据え、概要調査で取得する多種多様なデータを管理するために必要なデータベースシステムの開発

56

3.2024年度までの実施概況（D）

- 1）火山・火成活動（熱水流入を含む）や断層活動の発生シナリオとその起こりやすさの確率評価における説明性・透明性のより高い確率論的評価手法を整備するための具体的な方法を整理、及びこれらの具体的な発生シナリオの設定やその発生シナリオの確率評価モデルを構築
- 2）国内外の最新技術や知見に基づき、長期にわたる地形の変化や気候・海水準変動等に伴う地質環境特性の時間的・空間的な変化を表現することができる現実的な四次元地質環境モデル構築技術、モデルの妥当性・適用性の確認に関する方法論、及びモデルに内在する不確実性評価に関する方法論を整備
- 3）概要調査以降の地上からの調査を念頭に、様々な地質環境を対象としたボーリング試験による地質環境データ取得を通じて、ボーリング調査技術の適用性の確認を実施（トピックス1）
国際共同研究におけるボーリング孔閉塞技術の実証試験に向けて、国内産ベントナイトを用いた閉塞材（ペレット）の製造・運搬・設置に関する技術開発を継続（トピックス2）
- 4）先行事例で蓄積された知見に基づき、サイト調査で取得するデータや情報、及びそれらに基づく地質環境モデル構築結果を一元的に管理するためのデータベースシステム構築に向けたシステムの要件定義書の策定、及び基本設計を実施

57

③ 地質環境の調査・評価

4.自己評価と課題 (C)

中期技術開発計画に沿って、各技術開発課題において着実に成果を創出した。

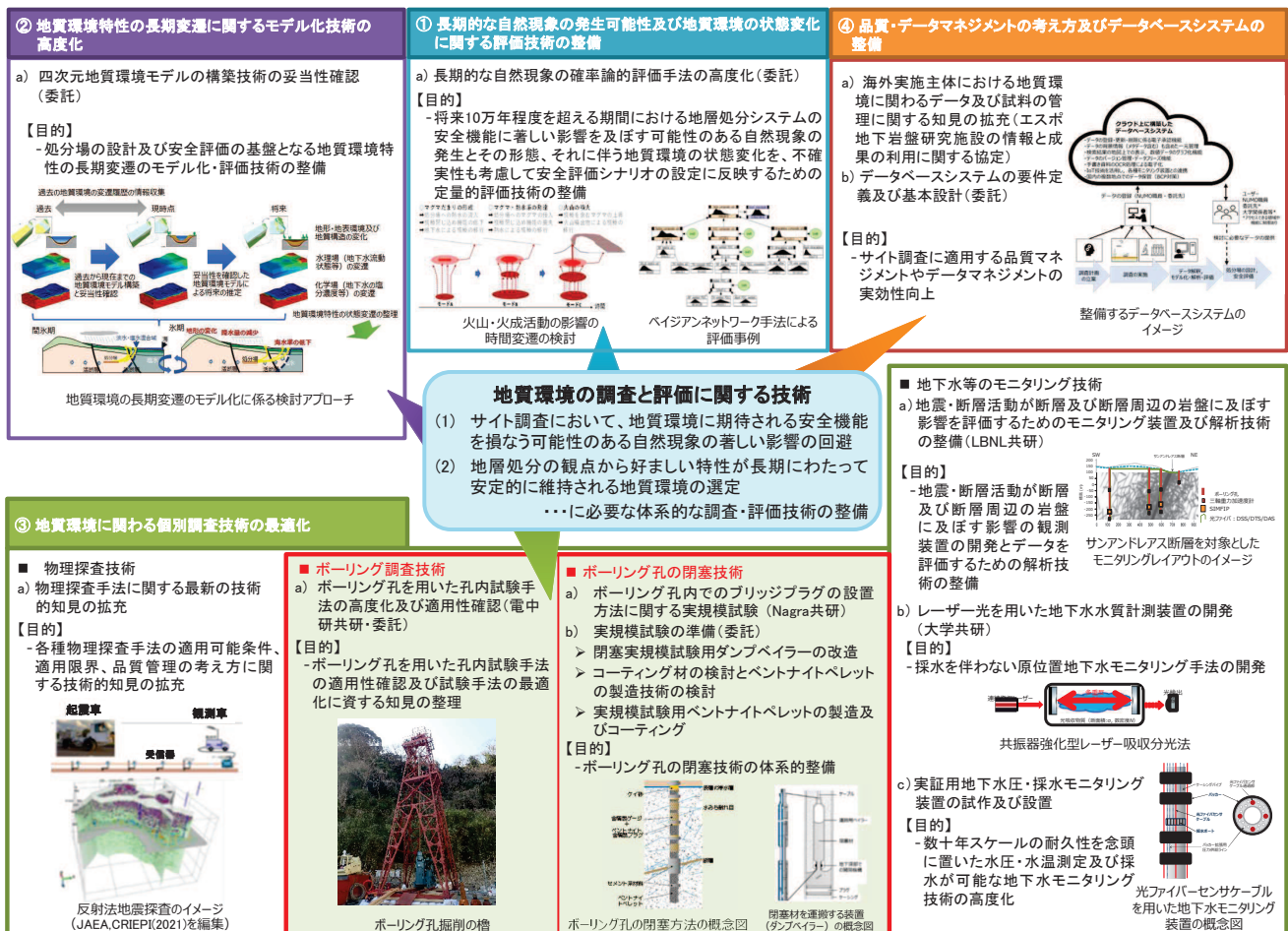
- 1) 説明性・透明性のより高い確率論的評価手法を整備するための具体的な方法や、その適用性確認に用いる確率評価モデルを構築し、次年度以降の検討内容を具体化した。
- 2) 地質環境の長期変遷に関する不確実性を評価するための考え方・手順や、モデルの構築やモデルに内在する不確実性の低減に有効なデータや調査項目などに関する技術的知見、及びモデルの妥当性確認の考え方を整理することができ、四次元地質環境モデル構築に関する方法論（作業手順や留意点等）を整備することができた。
- 3) 一連のボーリング孔内試験及び関連する室内試験を実施したことによって、概要調査に進ませていただいた場合を見据えたボーリング調査における各種試験手法の適用性を確認し、試験手法の最適化に資する知見が得られるとともに、現場での作業を通じて、知識・経験を獲得することで人材育成に役立った。
- 4) データを管理するうえで必要な情報や知見、ノウハウを収集するとともに、それらを反映したシステムの要件定義書を策定することができた。

5.今後の対応 (A)

- ・ 地質環境特性の長期変遷に関するモデル化技術、ボーリング調査技術については、成果をとりまとめ公表
- ・ 引き続き、以下の検討を継続し、技術の信頼性を向上
 - 長期的な自然現象の発生可能性及び地質環境の状態変化に関する評価技術の整備
 - 地質環境に関わる個別調査技術の最適化（地下水等のモニタリング技術、ボーリング孔の閉塞技術）
 - 品質・データマネジメントの考え方及びデータベースシステムの整備

58

③ 地質環境の調査・評価



59

③ 地質環境の調査・評価

中期技術開発計画（2023-2027年度）との対応関係

中期技術開発計画			2024年度の実施概要	記載箇所
3.1.1. 自然現象の影響	(1) 長期的な自然現象の発生可能性及び地質環境への影響に関する評価技術の整備		長期的な自然現象の確率論的評価手法の高度化	
3.1.2. 地質環境の特性	(1) 地質環境特性の長期変遷に関するモデル化技術の高度化		四次元地質環境モデルの構築技術の妥当性確認	
	(2) 地質環境に応じた個別調査技術の最適化	(i) ボーリング調査技術・物理探査技術の高度化	物理探査手法に関する最新の技術的知見の拡充 ボーリング孔を用いた孔内試験手法の高度化及び適用性確認	[トピック1]
		(ii) 地質環境特性に関するモニタリング技術の高度化	地震・断層活動が断層及び断層周辺の岩盤に及ぼす影響を評価するためのモニタリング装置及び解析技術の整備 レーザー光を用いた地下水水質計測装置の開発	
		(iii) ボーリング孔の閉塞技術の整備	実証用地下水圧・採水モニタリング装置の試作及び設置 ボーリング孔内でのブリッジプラグの設置方法に関する実規模試験とその準備 コーティング材の検討とベントナイトペレットの製造	[トピック2]
	(3) サイト調査のための技術基盤の強化		海外実施主体における地質環境調査に関わるデータ及び試料の管理に関する知見の拡充 サイト調査で取得するデータや情報、それらに基づく地質環境モデル構築結果を一元的に管理するためのデータベースシステム構築に向けたシステムの要件定義及び基本設計	

60

③ 地質環境の調査・評価

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応

（第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）（1/2）

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
2	■ 評議員会は、個々の開発項目についておおむね着実に成果を挙げていると評価する。特に、地質環境特性の長期変遷に関するモデル化技術については、年々高度化しており、四次元地質環境モデル（長期にわたる地形の変化や気候、海水準変動等に伴う地表から地下深部までの水理場や化学場といった地質環境特性の三次元空間分布とその長期的変化を表現し、処分場の設計や安全評価に反映することができる、現実的な地質環境のモデル）についても検討時の着目点は適切であり、モデル化の方向性は妥当であると評価する。様々な調査が進んでいて多くのデータがあり地質構造も変形過程も比較的単純である事例地域を対象として検討した結果は説得力がある。	○ 個々の開発項目について、高度な専門性を有する国内外組織との共同研究なども活用しつつ、効率的に技術開発を進める。 ○ 四次元地質環境モデルの構築技術に関しては、さらに事例地域を対象とした検討を進め、その結果を踏まえて、モデルに内在する不確実性の評価やモデルの妥当性確認の方法を含めた四次元地質環境モデルの構築技術として取りまとめる。	
3	■ 技術開発評価委員会の委員からは、「物理探査データの解析の妥当性の確認が、どのようになされたのか」、「例えば、「不確実性の評価手法」というのは具体的にどのようなものなのか」といった具体的な内容について質問があり、個別に回答を受けた。このような専門家からも関心の高い事項について、今後も丁寧な説明、回答を期待したい。	○ 物理探査や四次元地質環境モデルなどの関心の高い事項に限らず、目的や背景、それを解決するために設定した実施内容といった具体的な内容を丁寧に説明する。	
4	■ 四次元地質環境モデルのように超長期の地質環境の変遷をシミュレーションする困難な課題に挑戦する姿勢は高く評価する。一方で、そのモデル化にあたってはシナリオやパラメータ設定などの不確実性が大きく難しい課題であることから、構築したモデルの妥当性をどのように確認するのか、また得られた結果をどう解釈し安全評価につなげていくのか、十分な検討が必要と思われる。	○ 数十kmといった大規模な空間スケール、かつ数万年以上といった長期の時間スケールを考慮した四次元地質環境モデルの妥当性を確認する上では、そのモデルに設定する地質環境特性の空間的な不均質性に伴う不確実性に加えて、その長期変遷に関わる解釈や仮定などに伴う不確実性、さらには境界条件設定に関する不確実性などを評価する必要がある。事例地域を対象とした検討を通じて、四次元地質環境モデルの不確実性を評価するための考え方や手順、及びモデルの妥当性の確認方法を検討し、それらの結果をモデルの構築技術として整理する。また、不確実性を有するモデル構築結果を、処分場地下施設の設計や安全評価へ反映する方法について、両者と密に連携して検討を進める。	
5	■ 光ファイバーセンサーケーブルに付帯する技術に関しては、世界中で加速度的な進歩がみられるため、機構もより能動的に取り組むべきである。具体例を挙げると近年では DAS（Distributed Acoustic Sensing）による物理探査により、地盤内の可視化技術が進歩している。この技術は広域の地層探査に有用であり、機構においても活用の余地があると考ええる。	○ これまでの技術開発では、処分地選定調査で想定する深度のボーリング孔に設置可能な強度を有する光ファイバーセンサーケーブルを選定し、それとバッカーや採水ポート等との組み合わせ方法を検討してきた。今後は、これまでの成果と最新の知見に基づき、要求性能を有する光ファイバーセンサーケーブルを選定するための市場調査を継続的に進める。	

61

③ 地質環境の調査・評価

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応 (第80回評議員会(2024年9月17日開催)報告; 該当箇所抜粋) (2/2)

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
6	■ 四次元地質環境モデルと生活圏評価モデルは関連性が深いため、両者の検討を連携させながら行うことで具体的な説明性を高める必要がある。その際、表層近くの水理と、その深部地下水の水理の関係性について、現実的な影響の程度やパターンを把握し、モデルに反映させる必要があると考える。	○ これまでにも四次元地質環境モデルと生活圏評価モデルを連携させた検討を進めてきている(詳細は閉鎖後長期の安全性評価の欄を参照)。 ○ 生活圏評価モデルで対象とする表層部と四次元地質環境モデルで対象とする深部の地下水流動の関係性については、サイト特有の特性に応じた関係性を踏まえて、考慮すべき空間スケールや相互に考慮すべき要因、その要因のモデル化方法といった点を整理する。	
7	■ 深部流体に関する情報の整理、地域性を考慮した火山や断層活動の発生確率の評価に係るケーススタディはリスクを避けるために重要な検討課題である	○ 最重要課題の一つとして認識しており、今年度は、これまで開発してきたITM-TOPAZ 手法に新たな考え方や手法を組合せて、火山・火成活動(火山性熱水の流入を含む)や断層活動(深部流体の流入を含む)の発生可能性とその形態、それに伴う地質環境の状態変化を、不確実性を考慮して安全評価シナリオの設定に反映するための定量的評価技術の整備を目的とした検討を実施する。具体的には確率論的評価の枠組み構築及び評価手法の体系化、並びに来年度から実施するケーススタディに適用する情報の整備などを進める。	
8	■ 確率論的手法の導入は必要としても、その結果に基づいてどのように安全評価シナリオを設定するかを明確にする(蓋然性の程度に応じた安全評価シナリオの設定方法を検討する)こと。	○ 上記の確率論的評価手法の高度化については、安全評価と密に連携して、蓋然性の程度に応じた安全評価シナリオの設定方法の検討を進める。	
9	■ 先進的な技術、研究開発の分野であり、成果は学術講演会での発表のみならず、国際的な発信を強化していくことを前回に続き提言する。国際的なジャーナルにインパクトのある論文を掲載し、国際的なプレゼンテーションを示すことは、技術力の高さを示すこと、信頼性を得ることに繋がると思われる。	○ 機構の技術力を発信し、組織としての技術的な信頼性の向上を図るために、技術開発で得られた成果を国内外での学会発表だけでなく査読付き論文にも積極的に投稿する。	
10	■ 「四次元地質環境モデルを使うとこのようなことが可能である」といった内容の科学トピックスを機構が提供し、新聞、テレビでのニュースを通じて人々の関心と理解を深めること。	○ 四次元地質環境モデルは、数万年以上という超長期の時間スケールにおいて、地下という一般には見ることができない空間で生じる現象を効果的に可視化するための有効なツールの一つであると考え。科学技術情報のアウトリーチや社会の理解醸成を目的としたマスメディアやインターネット、SNS などを活用した情報発信に向け、モデル構築結果を分かりやすく可視化する方法についても検討する。	
11	■ ボーリング孔の閉塞技術は原位置での確認が不可欠であるため、海外機関との共同研究だけでなく、我が国でも原位置試験を行い、技術を蓄積すること。	○ 現段階では、ボーリング孔の閉塞概念の確認や、閉塞材の特性把握、閉塞材の設置方法などといった個々の要素技術に関する検討を進めており、共通の課題を有する海外機関との国際協力及び共同研究を通じて取り組むことが合理的であると考え。最終的には、我が国において原位置実規模実証試験を実施し、体系的なボーリング孔の閉塞技術として整備する計画である。	[トピック2] 62

③ 地質環境の調査・評価

③ 地質環境の調査・評価 委員会にてご説明する論点の自己評価

- [トピック1] ボーリング調査技術の整備
- [トピック2] ボーリング孔の閉塞技術の整備

③ 地質環境の調査・評価

[トピック1] ボーリング調査技術の整備

(論点) 事業進展を見据えて、地点固有の地質環境条件に適用できるよう、技術開発計画に沿って技術開発が適切に進められているか

以下の共通評価ポイントに対応

A: 事業の進展(概要調査、精密調査、安全審査)を見据えた取組

C: 最新の科学技術的知見の反映

1. 背景・概要

- 処分地選定調査に向けた準備の一環として、多様な地質環境条件に適用可能なボーリング調査技術の整備が重要
- 海外のサイト調査や、JAEAの深地層の研究施設計画における地上からの調査研究段階での検討に加えて、脆弱層を対象としたボーリング孔の掘削、孔内試験及び関連する室内試験に関する実証試験を電中研横須賀地区において実施し、これまでに以下の成果を取得
 - 破碎質で脆弱な膨潤性の地質を対象に、従来のボーリング孔掘削と比較して高いコアの回収率を確保し、安定したボーリング孔の掘削技術を確認
 - 現場作業の品質・安全等に係るマネジメント能力の向上
 - 比較的透水性の高い地質を対象とした水理試験装置の適用性や、流体電気伝導検層及びその結果評価・解析技術の有効性、岩盤の応力測定に係る調査・評価技術の有効性などの確認については、これらに適した地層（三浦層群）が出現しなかったため、未実施
- 三浦層群を対象とした孔内試験手法の適用性確認及び試験手法の最適化に資する知見の整理を目的として設定

64

③ 地質環境の調査・評価

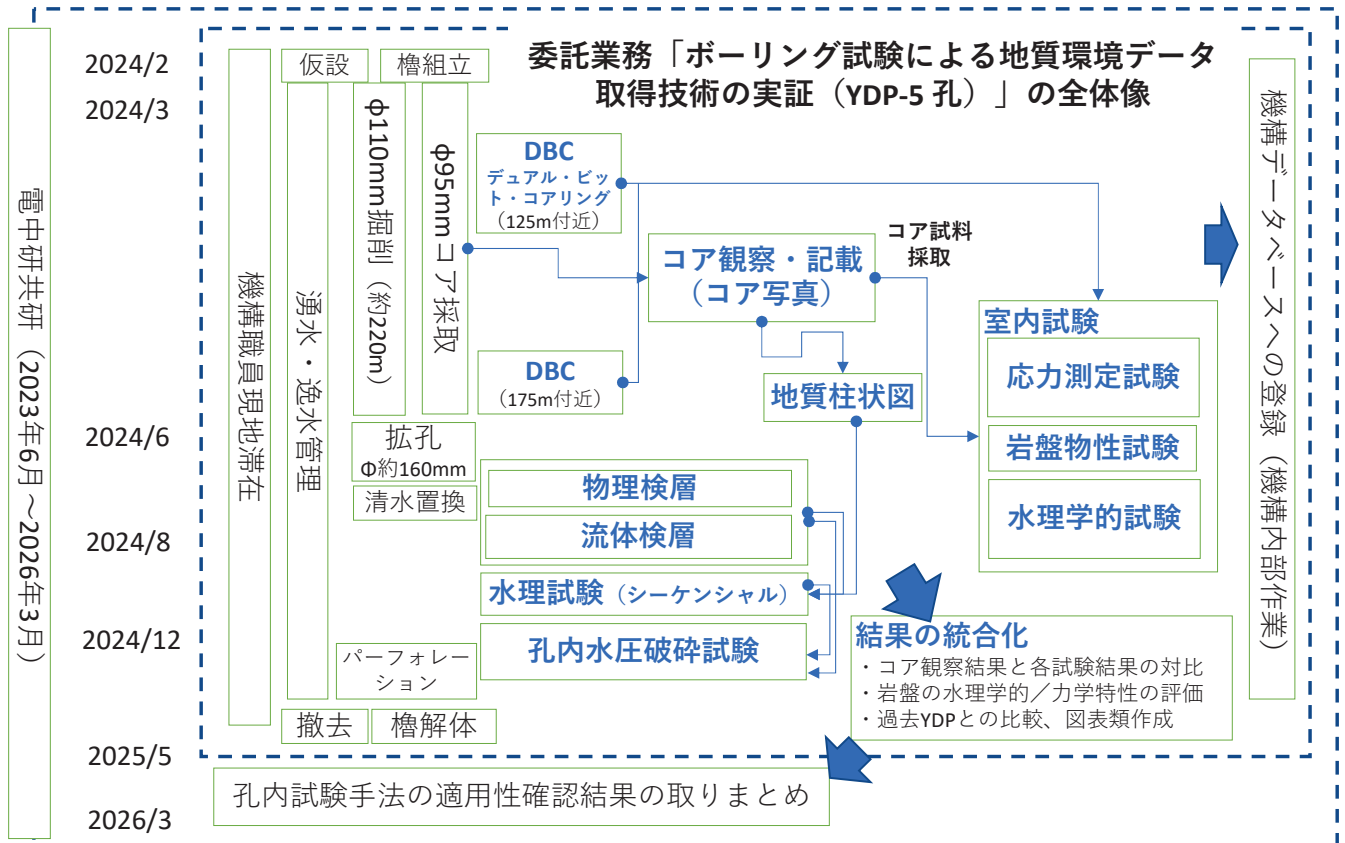
2. 個別業務の内容（P）

- 電中研横須賀地区において、深度220mの新規ボーリング孔掘削、三浦層群を対象とした水压破碎試験※等の各種孔内試験（物理検層、流体検層、水理試験等）及び室内応力測定等を実施し、それらの適用性を確認するとともに、試験手法の最適化に資する知見を整理
 - 各種孔内試験及び室内応力測定等を実施する国内技術者や機構職員の技術力の向上を図る
- ※ 改定された地盤工学会の基準に対して大孔径のボーリング孔での適用性を確認

65

③ 地質環境の調査・評価

2.個別業務の内容（P）（続き）

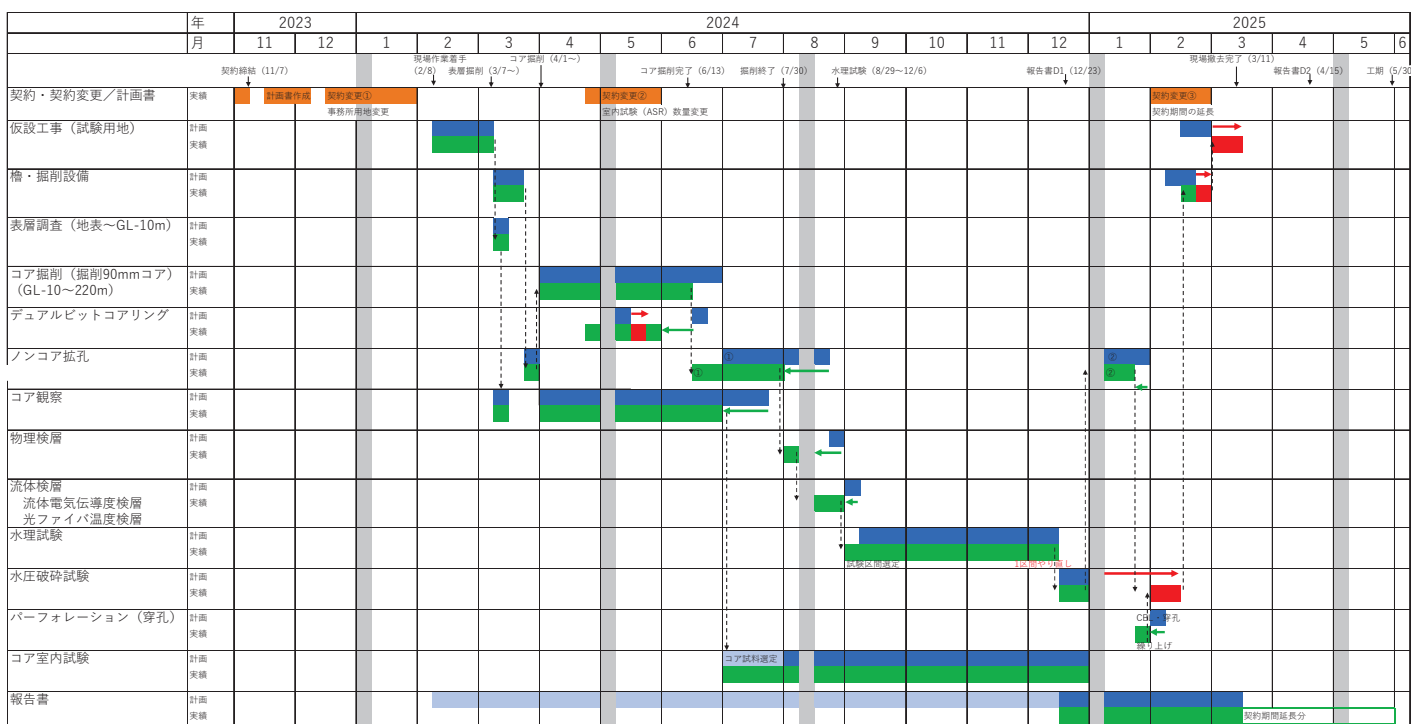


66

③ 地質環境の調査・評価

3.取り組んだ内容（D）

(1) 一部で再試験、各種試験装置不具合等により、実施期間を延長する必要はあったが、受託者、電中研、国と調整したうえで改善策を実行し、当初計画した試験を全て実施



67

③ 地質環境の調査・評価

3.取り組んだ内容（D）（続き）

(2) 約220mのコア掘削区間において、脆弱層や比較的固い岩盤を対象に、終始高いコア回収率を維持。ただし、硬岩用のDBC（デュアル・ビット・コアリング）を軟岩に適用することの課題を確認

・ 掘削区間ごとのコア採取率

【オールコア掘削区間（コア径φ95mm）】合計185m

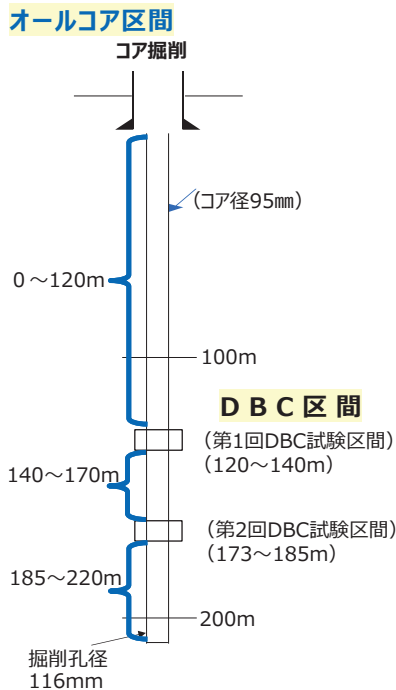
- ・ 深度0～120m：概ね100%
- ・ 深度140～170m：100%
- ・ 深度185～220m：概ね100%

【第1回DBC区間（オールコア掘削区間含む）】

- ・ 深度120～133m：φ40mmコアは0%又は40～60%
- ・ 深度133～140m：φ40mmコアは約80～100%
- * オールコア部分は概ね100%

【第2回DBC区間（オールコア掘削区間含む）】

- ・ 深度173～174m：φ40mmコアは67.2%
- ・ 深度174～185m：φ40mmコアは約90～100%
- * オールコア部分は概ね100%



68

③ 地質環境の調査・評価

3.取り組んだ内容（D）（続き）

(3) 各種孔内試験及び関連する室内試験に関する技術の実証試験を実施し、適用した技術の有効性及び課題を確認

孔内での試験（検層）

- ① 流体検層
 - 電気伝導度検層
 - 光ファイバ温度検層
- ② 物理検層
 - 孔径検層（キャリパー検層）
 - 比抵抗・自然電位検層
 - 密度検層
 - 温度検層
 - 音波検層
 - 孔壁画像検層

水理試験、坑内水圧破碎試験の区間選定に活用

コアを使用した室内試験

- ① 室内応力試験
 - 圧裂引張試験
 - DCDA法
 - ASR法
 - DSCA法
 - AE法
 - DRA法
 - 接線ヤング率法
 - 音弾性法
- ② 室内力学試験
 - ひずみ速度を交互に切り替える圧縮試験（1軸・3軸）
- ③ 室内水理測定
 - 室内透水試験
 - 含水比試験
 - 室内透気試験
 - 保水性試験
 - 室内不飽和透水試験

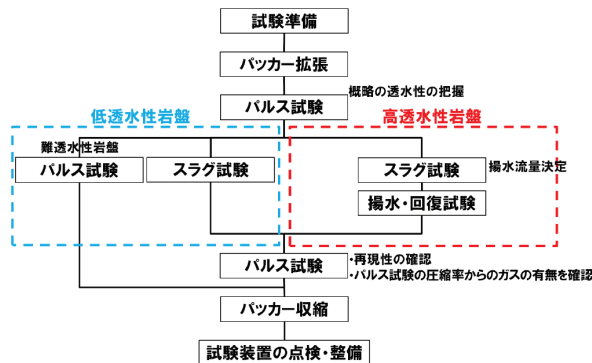
DBC、坑内水圧破碎試験結果と比較し、各手法の適用性・有効性を確認

69

③ 地質環境の調査・評価

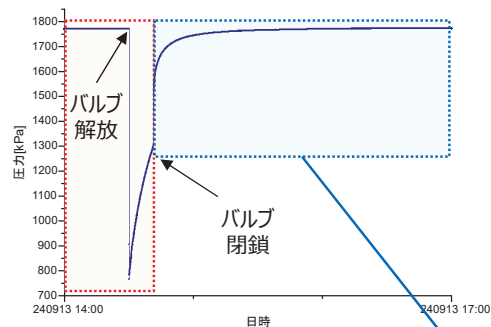
3.取り組んだ内容（D）（続き）

(4) 様々な条件で水理試験を実施することで、メインバルブの駆動条件、逐次データ収集と簡易解析の方法等の有効性と課題を抽出

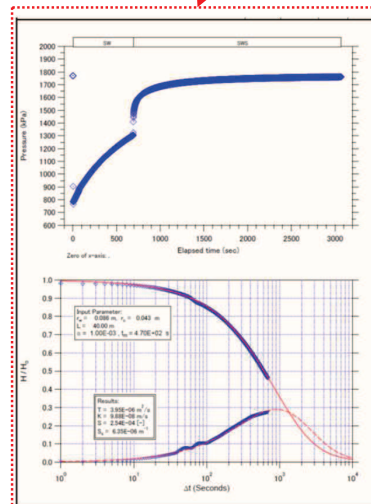


水理試験の実施手順（竹内他，2007 に一部加筆）

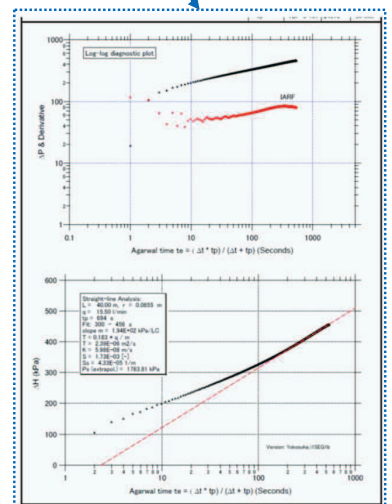
- コア観察結果、流体検層、物理検層結果等に基づき水理試験実施区間を選定。各区間について上図の水理試験実施手順に従って各種水理試験を実施
- 1回目のパルス試験から、YDP-5孔の岩盤は全区間において高透水性を示す結果を得たことから、高透水性の岩盤に対する上記手順に従った水理試験の実施
- 解析方法について、その有効性を確認（右図は、スラグ試験結果と解析の一例）



スラグ試験結果の例



スラグ試験（SW）解析結果の例



スラグ試験バルブ閉鎖後（SWS）の解析結果の例

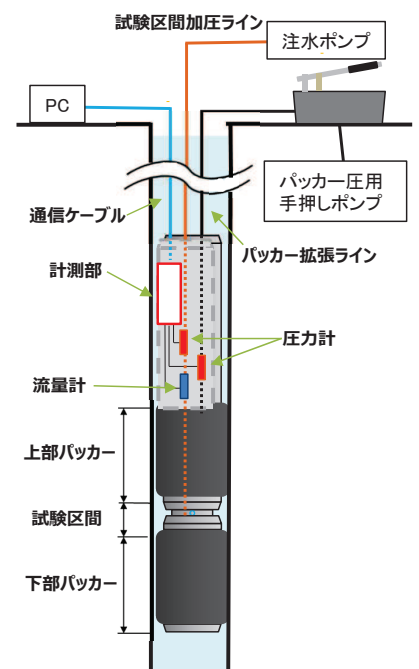
70

③ 地質環境の調査・評価

3.取り組んだ内容（D）（続き）

(5) 地盤工学会の新基準に沿った孔内水圧破碎試験では、大孔径のボーリング孔における試験の適用性及び試験機に関する課題を確認

- コア観察・物理検層・流体検層の結果を参考に試験区間を選定
- 6 区間型撮り、内 3 区間で破碎を実施後、き裂の型撮りを実施
- 脆弱な葉山層群と比較して硬質な三浦層群において、水圧破碎法により水平方向の最大・最小主応力及び主応力方向評価に必要なデータを取得し、孔内水圧破碎法を大孔径（約 160mm）ボーリング孔に適用することの有効性確認に必要な知見を整理
- 水圧破碎試験を適用する上での課題
 - 通信ケーブル貫通部から試験装置内（計測機器格納部）への漏水対策としてレジンを用いた止水処置を実施
 - 通信ケーブルの被覆の破損によって生じる試験装置内（計測機器格納部）への漏水対策として、被覆の強度が高い通信ケーブルに交換



水圧破碎試験は岩盤応力を直接計測でき、発生させたき裂からボーリング孔に直行する二次元（水平成分）の主応力方向の把握が可能

71

③ 地質環境の調査・評価

4.自己評価と課題（C）

- ・ 脆弱層や比較的固い岩盤を対象としたボーリング孔の掘削、水理試験等の各種孔内試験及び関連する室内試験に関する技術の実証試験を実施し、適用した技術の有効性確認に資するデータを取得できた。
- ・ 孔内水圧破碎試験は、地盤工学会の新基準に対し、大孔径のボーリング孔で適用性を確認するために必要なデータ、知見を得た一方で、孔内に持ち込む装置類を収納するボックスやケーブル類の止水性等の確保については課題・教訓を得た。
- ・ 上記の成果等は、最終処分事業の的確な実施に向けて非常に有益な経験であった。
- ・ 人材育成の観点では、実際の現場及び室内での調査・試験等を通じて、機構が最終処分事業を的確に行うためのマネジメント能力の向上及び国内の次世代技術者の育成などを図ることができた。
- ・ 特に経験の浅い機構若手職員が、信頼性の高いデータを取得するためにどのような品質管理を行うべきかや、安全管理（例えば、試験前の安全教育や安全ルールの順守など）に関する知識・経験を得ることができた。

5.今後の対応（A）

- ・ 水理試験によって得られた知見を高度化が必要な試験装置（水理試験装置や地下水採水装置等）の製作に反映
- ・ 2024年度に実施した孔内試験手法の適用性確認結果を取りまとめ（電中研共研）、ボーリング孔を用いた孔内試験手法の適用性確認及び試験手法の最適化に資する知見を整理
- ・ それら成果・知見は、の技術報告書（NUMO-TR）や学会等で発表する

72

③ 地質環境の調査・評価

[トピック2] ボーリング孔の閉塞技術の整備

（論点）事業進展を見据えた開発計画（目的設定、実施内容、工期設定）に対して、技術開発が適切に進められているか

以下の共通評価ポイントに対応

A: 事業の進展(概要調査、精密調査、安全審査)を見据えた取組
B: 国際動向やアカデミアとの連携など、外部機関との協調

1.背景・概要

- ・ 調査等に用いたボーリング孔が水みちとなり、閉鎖後の処分場の安全機能に影響を与えないよう、ボーリング孔を確実に閉塞できる技術の体系的な整備が必要（国際的な共通課題）
- ・ 閉塞材料の選定、地下深部での性能確認、及び地下深部への閉塞材料の設置技術の整備が課題

2.個別業務の内容（P）

- ・ ボーリング孔内でのブリッジプラグの設置方法に関する実規模試験の実施（国際共研）
 - ・ ブリッジプラグの設置装置の作動確認
 - ・ ベントナイト閉塞材の膨潤状況を確認するための実規模試験の実施
- ・ 実規模試験に向けた準備
 - ・ ボーリング孔閉塞実証試験用ダンプベイラー（運搬装置）の改造
 - ・ 実証試験用のベントナイトペレットの製造、ベントナイトペレットのコーティング
 - ボーリング孔の閉塞に使用するベントナイトペレットを、ボーリング孔内の深部まで運搬する際に、水中での膨潤を抑制する必要性が確認されたことから、ベントナイトペレットを溶解性の物質でコーティングする技術を検討
 - 選定したコーティング材を用いたベントナイトペレットを製造し、ボーリング孔の閉塞に要求される品質の確保に関する確認

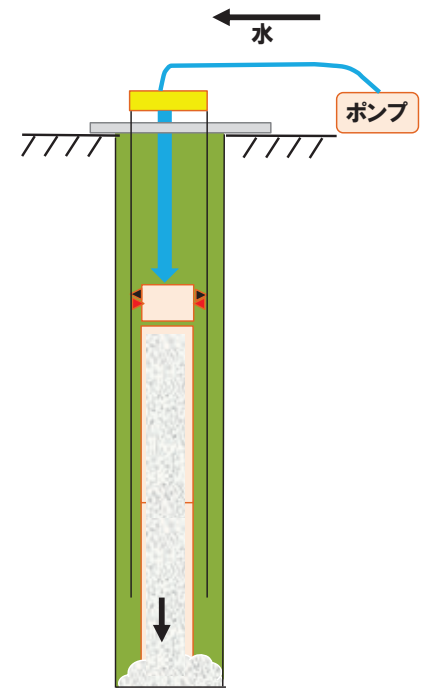
73

③ 地質環境の調査・評価

3.取り組んだ内容 (D)

(1) ボーリング孔閉塞実証試験用ダンプベイラー（運搬装置）の改造

- 2021年度に機構が試作したベントナイト閉塞材の運搬装置（ダンプベイラー、現状長さ約6m）を、スイスNagraのグリムゼル岩盤試験場において実証試験を実施するため、長さ3.5m以下のパーツに分解・組立可能な構造に改造する計画を立案
- ダンプベイラーの知的財産権については、2021年度の受託者と協議し、受託者の希望（特許取得を目指す）に応じ、権利を譲渡する覚書（ただし、機構及びその委託先が地層処分事業で必要な場合には無償で使用可能）を締結
- 2024年度は、技術的課題の解決に時間を有したことにより、Nagraへの輸送を2025年12月として、実証試験を開始する方向でNagraと合意



グリムゼル岩盤試験場における、運搬装置（ダンプベイラー）によるベントナイトペレット発出・ボーリング孔閉塞のイメージ

74

③ 地質環境の調査・評価

3.取り組んだ内容 (D) (続き)

(2) ボーリング孔閉塞実証試験用のベントナイトペレットの製造、ベントナイトペレットのコーティング

- コーティングを施していないベントナイトペレットはボーリング孔内の水と接触後、ベントナイトペレットが膨潤し発出できない事象が確認されたため、ベントナイトペレットの膨潤開始を一定時間遅らせることができるコーティング剤を塗布する方策を検討
- 無機物、有機物、生分解性のコーティング候補剤30種類を対象に、文献調査と簡易的な予備試験に基づくコーティング剤を絞り込み、有機物系のコーティング剤を選定
- ベントナイトペレットのサイズは大から極小の4種類を製造し、充填密度が高くてできる配合比を検討
- コーティングを施したベントナイトペレットの膨潤が抑制できているか膨潤確認試験を実施
- 別に制作済みの輸送容器であるダンプベイラーに見立てた模擬運搬装置内（あらかじめ水を入れてある）に、コーティングしたベントナイトペレットを5時間程度放置後、水中に投入する状況を確認するための模擬発出試験を実施
- 膨潤性・透水性・密度などに係る基本特性の試験を実施し、コーティングしたベントナイトペレットの膨潤圧・透水係数・密度のデータを取得
- ベントナイトペレットにコーティングを施すことで、ボーリング孔の形状に沿ってベントナイトペレットを充填し、ボーリング孔を閉塞できる見通しを取得

75

4.自己評価と課題（C）

- ボーリング孔の閉塞材料の特性を把握し、膨潤抑制（膨潤開始を遅延）の性能を有するコーティングを施したベントナイト閉塞材を開発できた。
- ボーリング孔内への閉塞材運搬・設置に関する知見を拡充できた。
- ベントナイトペレットのコーティング材料の選定及び特性把握、ボーリング孔内でのブリッジプラグの設置方法に関する実規模試験に向けて準備が進展した。

5.今後の対応（A）

- 閉塞の実規模試験を実施し、ボーリング孔の閉塞技術を体系的に整備
 - グリムゼル地下研究所に設置したボーリング孔内において実施する、ブリッジプラグの設置方法及びベントナイト閉塞材の膨潤状況の確認に関する実規模試験の準備
 - 上記実証試験用に供するダンプペイラー（ベントナイト閉塞材を孔内に送り込む装置）の改造、並びに閉塞実証試験用ベントナイトペレットの製造及びコーティングを実施し、スイスグリムゼル岩盤試験場に試験装置一式を搬送

④ 処分場の設計と工学

評価カテゴリー全体を俯瞰した自己評価

④ 処分場の設計と工学

1.背景・概要

処分場の設計と工学技術に関しては、概要調査の実施段階で必要となる技術的評価（地下施設の建設可能性の検討）が十分可能な技術レベルまで体系的な整備は完了。包括的技術報告書に対する国際レビュー等の指摘事項や精密調査以降に必要となる技術に関して、機構の中期技術開発計画に取り込み、実施中。

2.技術開発計画（2023年度-2027年度）の概要（抜粋）（P）

- 1) 設計の信頼性向上：人工バリアの長期健全性評価技術とその基盤データの整備
 - 金属製処分容器の長期腐食寿命評価の信頼性向上
 - ナチュラルアナログを活用した人工バリア長期健全性の信頼性向上
- 2) 設計の信頼性向上：大深度地下構造物に対する耐震性評価手法の整備
- 3) 設計の最適化：設計オプションの整備（銅-炭素鋼複合材の検討）
- 4) 人工バリアの製作施工技術の高度化：PEM施工技術、金属容器製作技術
- 5) 処分場建設・操業技術の高度化
- 6) 閉鎖前の安全性の評価技術

78

④ 処分場の設計と工学

3.2024年度までの実施概況（D）

- 1) 金属製処分容器の長期腐食寿命評価の信頼性向上として、（公社）腐食防食学会に設置している「長期腐食寿命評価技術検討委員会」において、地層処分環境における金属腐食の諸課題について専門家と機構で最新の科学的知見の整備状況と今後の課題について全体を俯瞰した課題整理表を取りまとめた。また、ラウンドロビン試験により、低酸素環境下における金属腐食量を高い再現性で測定可能であることを確認し、試験技術の標準化の見通しを得た。
また、緩衝材の長期健全性の技術的根拠の一つとなるナチュラルアナログの研究を進め、鉄—ベントナイト相互作用が起こりにくいことを示唆する事例を拡充するとともに、成果を国際会議で報告し、また報告書として公表した。
- 2) 大深度地下構造物に対する耐震性評価手法の整備については、電中研との共同研究により、評価手法の検証に必要となる試験データの測定と、試験装置の準備を進めた。
- 3) 設計オプションの整備においては、2017年度からNWMOと進めてきた銅-炭素鋼複合材の検討の成果を技術報告書に取りまとめた。
- 4) 人工バリアの製作施工技術の高度化については、これまでに取り組んできた技術開発の成果を「横置き・PEM方式の高度化」の報告書として取りまとめ、2025年1月に公表した。また、銅—炭素鋼複合材の接合技術について、円筒型容器に適用可能であることを接合試験により確認した。
- 5) 処分場建設・操業技術の高度化については、国内外の建設現場、鉱山等の遠隔・自動化技術の導入状況を調査し、今後の計画に反映した。
- 6) 閉鎖前の安全性の評価技術については、国内の原子力関連施設や海外の地層処分事業者の放射線防護対策について調査するとともに、成果を国際会議で講演した。

79

④ 処分場の設計と工学

4.自己評価と課題（C）

- ①国内外の専門家から協力を得ながら、人工バリアの長期健全性の信頼性向上における課題を共有することができた。また、特性データベースの整備に向け、品質保証に必要となる試験技術の標準化に貢献することができた。
- ②原位置試験技術の適用性評価が進捗。オーバーパックの製造技術、PEM方式の操業技術について、実用性を向上するため、要素技術の開発からスケールアップによる確認を今後進めていく。

5.今後の対応（A）

- ①長期健全性評価に必要となる解析モデルと特性データベースの整備にAI技術を活用し、効率的な技術開発を図る。また、学協会や海外実施主体と協力して、試験技術の標準化を推進する。
- ②精密調査の段階に必要となる原位置試験、人工バリアの製作施工技術を計画的に整備するとともに、現場経験を通じて将来、実証試験等を担う若手技術者の育成を図る。

80

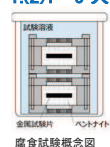
④ 処分場の設計と工学

設計体系の整備

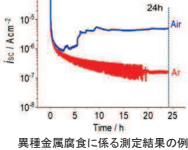
1.(2)1～5 人工バリアの長期健全性評価技術とその基盤データの整備

1) 金属製処分容器の長期腐食寿命評価の信頼性向上

- a) 金属製処分容器の長期腐食寿命評価技術の技術的課題の検討（腐食防食学会へ委託）
- b) 圧縮ベントナイト中における金属腐食試験技術の相互検証（ラウンドロビン形式）委託
- c) 腐食試験方法の規格化に向けた技術的根拠の整備（JAEA共研）



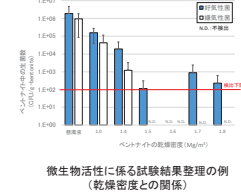
腐食試験概念図



異種金属腐食に係る測定結果の例

3) 緩衝材（ベントナイト）中の微生物影響等に関する知見の拡充

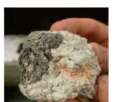
- a) 緩衝材中における微生物活性評価手法の検証（電中研共研）
- b) 緩衝材の長期圧密挙動に関する研究（JAEA共研）
- c) 締固めたベントナイトの線返しせん断特性に関する検討（JAEA共研）



微生物活性に係る試験結果整理の例（乾燥密度との関係）

4) オーバーバックと緩衝材の相互作用に関する事例の収集と現象の分析

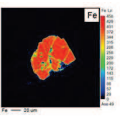
- a) オーバーバックと緩衝材との相互作用による長期変質挙動の調査（JAEA共研）
- b) 緩衝材の長期健全性に関するナチュラルアナログ事例の調査—地球科学モデルの構築（大学共研）



ベントナイト原鉱例（キルナ鉱山）

5) 緩衝材の長期健全性評価に関するナチュラルアナログ事例の収集

- a) 月布鉱山におけるベントナイトに関するナチュラルアナログ事例の整備（IDL国際共同プロジェクト）
- b) 緩衝材の長期健全性に関するナチュラルアナログ事例の調査—流出現象（大学共研）
- c) 人工バリア材料の長期健全性評価に関するナチュラルアナログ研究（JAEA共研）



試料のEPMA観察の例

設計情報

工学的成立性

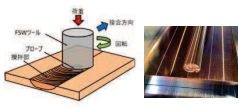
工学技術の実証的研究

1.(2)6 人工バリア代替材料の技術的成立性の検討及び設計オプションの整備

- a) 銅コーティングオーバーバックの製作技術の開発（NWMO共研）
- b) 銅コーティングオーバーバックの摩擦接合技術の開発（大学共研）



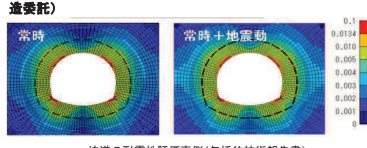
銅コーティングオーバーバックの構造



摩擦接合試験状況

1.(2)9 坑道の耐震性評価手法の整備に向けた各種試験及び評価モデルの開発

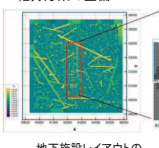
- a) 坑道の耐震性評価手法の整備（電中研共研）
- b) 耐震性評価用吹付けコンクリートの供試体の製造（製造委託）



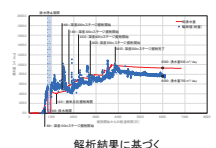
坑道の耐震性評価事例（包括的技術報告書）

1.(2)10 廃棄体回収技術の整備及び坑道の維持方策の整備

- a) 廃棄体回収技術の整備
- b) 湧水影響評価解析技術を活用した地下施設設計及び坑道の維持方策の整備



地下施設レイアウトの試行イメージ



解析結果に基づく湧水量の経時変化の例

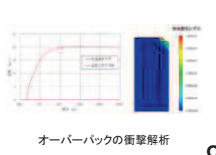
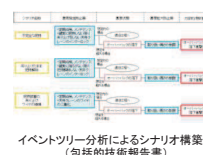
設計情報

評価結果

閉鎖前の安全性の評価

1.(2)8 閉鎖前の安全性に関する検討

- a) 海外の開発状況の情報収集（NEA EGOS参照）
- b) 評価シナリオの構築
- c) 事故対策の検討
- d) 廃棄物輸送時の安全対策の検討に係る情報整備



オーバーバックの衝撃解析

④ 処分場の設計と工学

中期技術開発計画（2023-2027年度）との対応関係

中期技術開発計画			2024年度の実施概要	記載箇所
3.2.1. 設計体系の整備	(1) 設計の信頼性向上	(i) 人工バリアの長期健全性を評価する技術と基盤データの整備	腐食試験技術規格の検討 ナチュラアナログの活用法ワークショップ	[トピック1]
		(ii) 大深度地下構造物に対する耐震性評価手法の整備	坑道耐震性評価手法の検討	
	(2) 設計の最適化	(i) 処分場設計オプションの整備	横置き・PEM方式の高度化	[トピック2]
		(ii) 処分場の設計最適化に関する方法論の整備	最適化の指標等の調査、検討	
3.2.2. 工学技術の実証的研究	(1) 人工バリアの定置及び坑道レイアウトに関わる調査・設計・工学的対策技術の体系化	(i) 人工バリア定置に関わる調査・設計・評価技術の適用性確認	(国の基盤研究成果を活用)	
		(ii) 人工バリア定置に関わる工学的対策技術の適用性確認	(国の基盤研究成果を活用)	
	(2) 人工バリアの製作・施工技術の高度化	(i) PEMの製作・施工技術の開発	横置き・PEM方式の高度化	[トピック2]
		(ii) 金属製処分容器の製作技術の開発	蓋接合技術の開発	
	(3) 処分場の建設・操業技術の高度化		国内外の鉱山、建設現場等で用いられている技術情報の調査	
	(4) 処分場閉鎖技術の開発		(国の基盤研究成果を活用)	
	(5) TRU廃棄体回収技術の開発		坑内湧水量評価技術の内製化	
3.2.3 閉鎖前の安全性の評価技術	(1) 閉鎖前の安全性に対する評価シナリオの構築		NEA-EGOS活動を通じた情報収集と専門家との討議（地下施設における放射線防護WS出席など）	
	(2) 閉鎖前の安全性に関する評価技術の高度化			
	(3) 事故対応技術の開発及び具体化		1Fの復旧対応に関するセミナーへの出席による最新の対応技術調査	

82

④ 処分場の設計と工学

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応

（第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）（1/2）

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
12	■ 評議員会は、個々の開発項目についておおむね着実に成果を挙げていると評価する。具体的には、緩衝材（ベントナイト）の高温特性、及びベントナイトの止水性能に関する長期間にわたるデータ蓄積などは、取組みの方向性や成果が望ましいものであると評価する。また、幅広い地質環境に対応して設計オプションを整備していることの事例として、改良型PEM（Prefabricated Engineered Barrier System Module：以下「PEM」）の技術開発成果、及び銅コーティングオーバーバックの成立性について、我が国で想定される地質環境との関係について説明がなされ、昨年度の評議員会の提言に対応して、優れた成果を挙げている。	○ 将来のセーフティケースの更新及び安全審査を見据えて、人工バリアの設計に必要な特性データの取得とデータベース化について計画を策定し、体系的に取り組むを進める。 ○ 開発中の設計オプションについては、これまでに得られている成果に基づいて、NUMO-TRを作成するとともに、我が国で想定される地質環境との関係について検討した成果を報告書に取り込む。 ○ 設計オプションの絞り込み方法についても継続して検討する。	[トピック2]
13	■ 公益社団法人腐食防食学会と連携した、標準化（ラウンドロビン試験：複数の試験者により同一の方法で行う試験）、継続的な議論、新規アプローチの提示などの取組みは、当該分野の継続的な研究力の強化につながるものとして重要な成果であるといえる。引き続き上記のような取組みを行い、機構の技術開発に活かしていただきたい。	○ 科学技術の豊富な知識と人材確保、育成の観点から、機構の技術力の基盤となる各学協会との連携に継続的に取り組む。腐食だけでなく、ベントナイト、土木工学など、処分場の設計と工学技術の開発に必要な学協会から信頼と協力を得られるよう、機構技術者の能力向上に継続して取り組む。	[トピック1]
14	■ 銅コーティングオーバーバックの技術開発に関して、銅は将来的にレアメタル化する可能性が経済産業省の見解でも示されている。将来的な調達上のリスクにも留意すべきである。	○ 銅資源の動向については、関連業界へのヒアリングも実施しており、今後も継続的に情報収集を行う。金属資源動向、海外実施主体での対応状況、規制要求等、将来における様々な状況に柔軟に対応し、その時々で最適な選択ができるよう今後も設計オプションを整備していく。	

83

④ 処分場の設計と工学

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応

(第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）（2/2）

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
15	■炭素鋼製オーバーバックの技術開発に関して、過去には、鑄鋼に着目した開発を実施していた。様々な鉄材料を対象として技術開発の状況は年々変わっており、良い方向に向かっていると思うが、過去の研究開発成果と現在の研究開発の目的との関係性について、技術的意義を明確にするともに一般の方に誤解を生じないように説明する必要がある。技術開発の前進には苦労譚が多いが、そこを説明できれば、読者に興味と共感を持ってもらえるのではないかと。	○オーバーバックの技術開発の経緯と成果について NUMO-TRを作成する。さらに、一般の方にも成果を分かりやすく伝えるよう、学会での講演、Webサイトなどを活用した情報発信を検討する。	[全体]
16	■改良型PEMについては、人工バリアの厚さや乾燥密度などの設計の技術的根拠を準備し、説明できるようにしておくべきである。	○改良型PEMの人工バリアの設計に関する技術的根拠をNUMO-TRに取りまとめ、公表する。	[トピック2]
17	■設計オプションをはじめとする個々の技術開発成果が着実に得られていると評価するが、人々の持つ地層処分技術的な成立性に対する漠然とした不安を取り払うためにも、学会講演や技術資料などに留まることなく、広報資料など多面的な手段を用いて、より一層の情報発信を行うことを提言する。特にPEM方式による放射性廃棄物の埋設や銅コーティングオーバーバックなどの最新の設計オプションの開発成果を早い段階から積極的に情報発信することを望む。	○NUMO-TRとして技術的根拠を取りまとめるにとどまらず、広報部と協力して、機構のWebサイト、シン・ちか通信など複数の媒体を通じた情報発信に努める。	[トピック2] [全体]

84

④ 処分場の設計と工学

[全体]技術開発成果の公表に関する取組結果（提言15、17に基づく）

オーバーバックの技術開発の経緯と成果について NUMO-TRを作成中（2025年度上期に公表を計画）。さらに、一般の方にも成果を分かりやすく伝えるよう、NUMO-TRにとどまらず、広報部と協力して、機構のWebサイト、シン・ちか通信など複数の媒体を通じた情報発信を実施した（総数24件）。

媒体	件数	掲載先、掲載内容（共著含む）
マスコミ等	1	産経新聞コラム、銅コーティングオーバーバックの技術開発の現状について（2024年10月23日）
学術論文（査読付き）	1	Watanabe et al. (2025) Seawater impact on permeability of compacted bentonite-sand mixtures: role of montmorillonite content and its interlayer cations, Canadian Geotechnical Journal, https://doi.org/10.1139/cgj-2023-0440
紀要 （雑誌寄稿、プロシーディングス）	4	IGSC Safety Case Symposium Proceedings 2件（2024年10月）、SKB 技術報告書（KiNaプロジェクト報告書）（2024年12月）、バックエンド部会誌、ナチュラルアナログ国際ワークショップ参加記（2024年11月）
学会講演等	12	腐食防食学会 7 件（2024年10月）、IGSC Safety Case Symposium講演 2件（2024年10月） など
NUMO-TR	1	「高レベル放射性廃棄物における横置き・PEM方式の高度化」NUMO-TR-24-04（2025年1月）
FacebookなどのSNS	3	ナチュラルアナログ研究国際ワークショップ（2024年9月）、IGSC Safety Case Symposium参加記（2024年10月）、NWMO講演会（2024年10月）
シンちか通信	2	「地層処分の長期的安全性を示すためにナチュラルアナログワークショップを開催！」vol. 10（2024年12月）、「あなたのギモンにお答えします。ガラス固化体の処分方法を横置き・PEM方式にすると、どんなメリットがあるのですか？」vol. 12（2025年3月）

85

④ 処分場の設計と工学 委員会にてご説明する論点の自己評価

- [トピック1] 学会と連携した腐食試験技術の標準化の取組
- [トピック2] 横置き・PEM方式の高度化検討

86

④ 処分場の設計と工学

[トピック1] 学会と連携した腐食試験技術の標準化の取組

（論点） 処分場への適用を見据えた設計や性能評価の品質保証の観点から、評価手法や試験方法などの標準化の取組が進んでいるか？学協会への働きかけなどが適切に行われているか？

以下の共通評価ポイントに対応

A：事業の進展（概要調査、精密調査、安全審査）を見据えた取組

B：国際動向やアカデミアとの連携など、外部機関との協調

1.背景・概要

オーバーパックの長期腐食寿命評価の信頼性向上のため、長期腐食寿命評価モデルの高度化、腐食データの品質保証に必要となる腐食試験技術の標準化、評価上の不確実性となる腐食現象の理解（過渡期の腐食、微生物腐食）について検討。このうち、腐食試験技術について（公社）腐食防食学会に規格化を要請。

2.個別業務の内容（P）

腐食寿命を推定するため、低酸素条件下の極めて遅い腐食速度を精度よく測定する必要があるが、試験方法が大学、試験機関ごとに異なっており、結果のデータベース化が容易ではなかった。腐食試験に関する各機関のノウハウを集約し、統一された試験技術として規格化することを目指した。

3.取り組んだ内容（D）

試験実績が最も多いJAEAの試験方法を参照して規格原案を作成し、大学、民間企業のノウハウを集約して規格案を作成。規格案の妥当性を確認するため、ラウンドロビン試験により3つの試験機関で試験結果を比較。また、設定根拠が曖昧であった試験条件や手順（液固比）について追加試験を実施し、妥当性を確認のうえ、規格案の付属書としてまとめた。

87

学会と連携した腐食試験技術の標準化の取組

4.自己評価と課題（C）

規格原案から規格案を取りまとめるまでに2年、ラウンドロビン試験の実施に3年を要したが、低酸素環境下における金属腐食速度を高い精度で測定可能な試験手順であることを確認できた。規格の適用範囲を広げること、及び国内だけでなく海外でも利用可能な規格とすることが今後必要となる

5.今後の対応（A）

試験規格として適用可能な試験条件の範囲（温度、試験期間、異なるベントナイトなど）の拡大
国際規格化の必要性の検討（海外実施主体との協力など）

腐食試験技術以外の試験技術の標準化について必要性を専門家にヒアリング（例：ベントナイトの膨潤試験技術など）

1. 専門家からの指摘
2. 腐食試験の課題と標準化の必要性
3. 学会標準化の流れ
4. 規格素案の概要
5. ラウンドロビン試験の結果
6. そのほかの規格類の整備状況

④ 処分場の設計と工学

1. 専門家からの指摘事項

「処分容器の長寿命化・破損時期の分布の定量化に関する検討委員会」（2019年度JAEAが設置した専門家委員会）における機構の包括的技術報告書の説明に対するコメント

- 実寿命の評価のためには、非常に低い腐食速度をいかに正確に評価できるかであり、計算技術的な評価だけではなく、実験的にデータを取得していかないと説得力がなくなる。低い腐食速度を評価するための技術をどのように高めていくか、そしてそれをどのように用いていくかが重要である。
- 炭素鋼オーバーパックでは、計算技術的な寿命評価の手法の整備が遅れている印象を受けた。銅オーバーパックであれば、十分ではないが、ある程度までは検討が進んでいる。
- 埋設期間に対する環境の変化、溶存酸素の減少や温度変化に伴う腐食速度の変化を表現できる計算プログラムがまだない。埋設期間に対する溶存酸素や地下水成分、オーバーパックの表面温度など、全体の環境変化に伴う腐食速度の変化を計算できる計算プログラムがあるとよい。指摘したコメントの2つ目がこれに対応するものである。是非ともこれをテーマとして研究をしていただけるとよいのではないか。

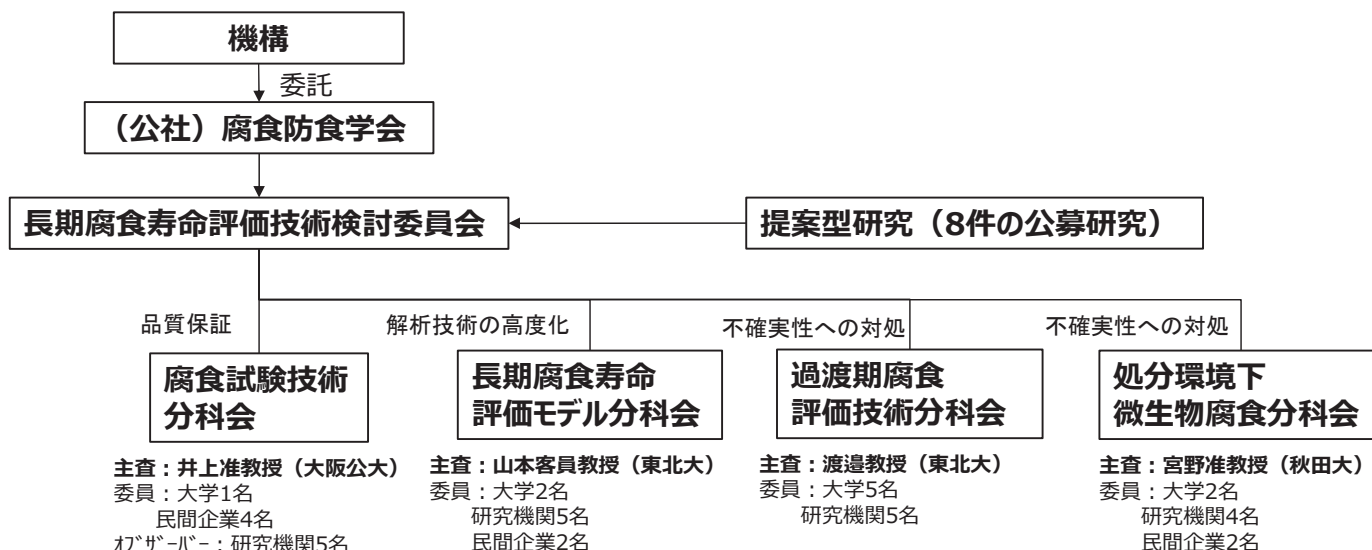
90

④ 処分場の設計と工学

2. 長期腐食寿命評価技術検討委員会の構成

検討委員会の目的：

- 処分容器の長期に及ぶ腐食寿命の信頼性を向上させるためには、炭素鋼はもちろんのこと、代替材料の一つとして位置づけている銅も含めた、処分容器用金属材料の腐食現象に関する科学的根拠をより充実させることが必要である。また、長期腐食寿命の評価技術についても幅広く専門家の意見を取り入れ、より適切なものとしていくことが重要
- 処分容器の長期腐食寿命評価において重要となる課題について議論する場として、「長期腐食寿命評価技術検討委員会」（以下、「検討委員会」という）を設置

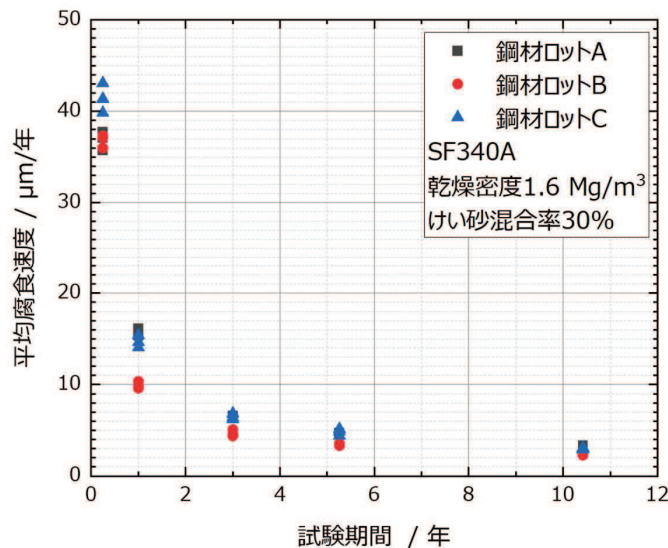


91

④ 処分場の設計と工学

3. 腐食試験の課題と標準化の必要性

- 炭素鋼の長期腐食寿命評価は、試験に基づいて既往の腐食試験では、同一条件、同一材料でも腐食速度が異なることがあった。例えば、鋼材ロットの違いによるものか、試験者の技能によるものか原因は不明
- 将来、調査対象地域の地下水の条件で腐食試験を実施する際には、JAEAなどの研究機関だけでなく、民間試験機関にも作業を委託する可能性があり、品質保証された試験データを取得するために、標準化された試験手法が必要



92

④ 処分場の設計と工学

4. 学会規格の作成プロセス（公社）腐食防食学会の場合に限る

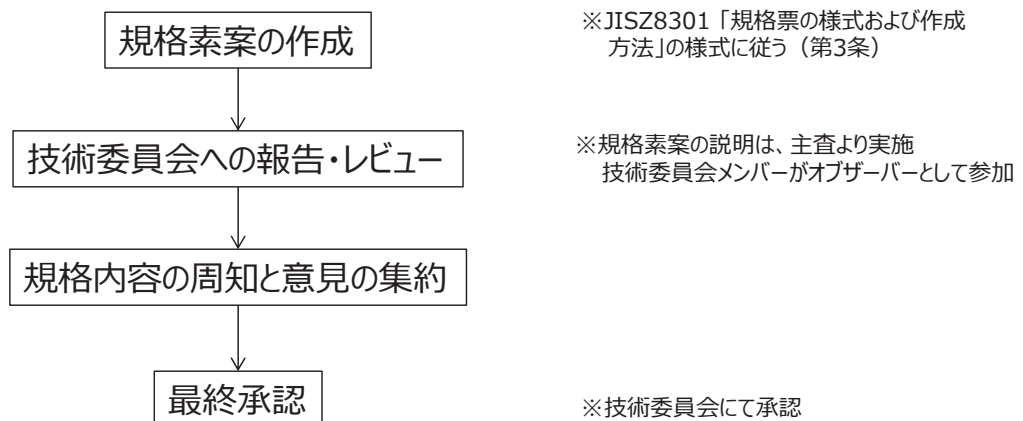


図 学会規格の作成プロセス

経緯

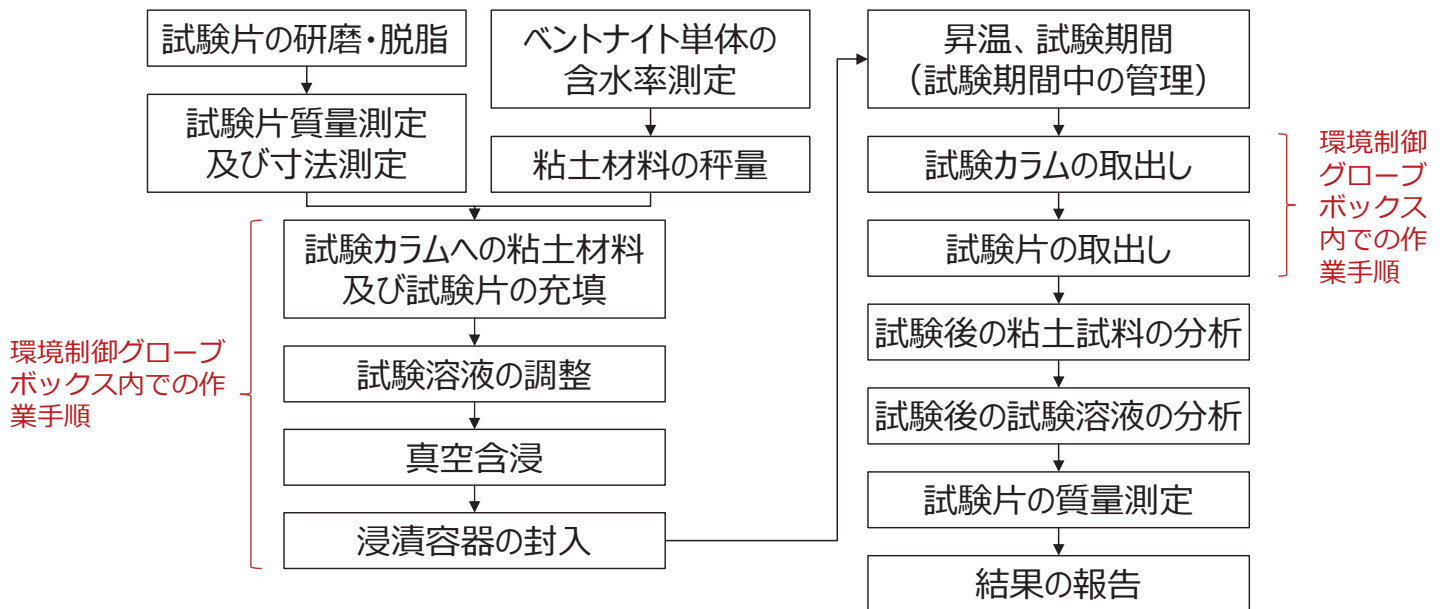
- 2021年度 規格の作成について、学会理事会、技術委員会において承認。
- 2022年度 腐食試験技術分科会にて、規格原案を作成。
ラウンドロビン試験により試験手順の妥当性評価が必要との判断
- 2023年度～ 複数の試験機関による試験結果の相互検証を実施（ $N=5 \times 3 \text{ 機関} \times 2 \text{ 回} = 30 \text{ 試験点}$ ）
- 2024年11月 学会 技術委員会の下に、規格小委員会を設置
- 2025年3月 ラウンドロビン試験結果などを踏まえ、規格素案を作成
- 2025年8月 分科会主査より、技術委員会に規格素案を提出（予定）

93

④ 処分場の設計と工学

5. 規格素案「圧縮粘土材料中における浸せき試験方法」の概要

- 炭素鋼を対象とし、地層処分場の処分場閉鎖後長期の腐食度の評価を目的
- Na型ベントナイト（モンモリロナイト含有率50%前後）を乾燥密度 1.4 g/cm^3 となるように圧縮成型して製作する粘土材料中に金属試験片を埋め込んで実施する試験
- 粘土材料中に浸潤した溶液との接触による腐食減量を測定する浸せき試験方法を規定



94

④ 処分場の設計と工学

6. 規格素案の設定根拠の整備

(1) 実施経緯

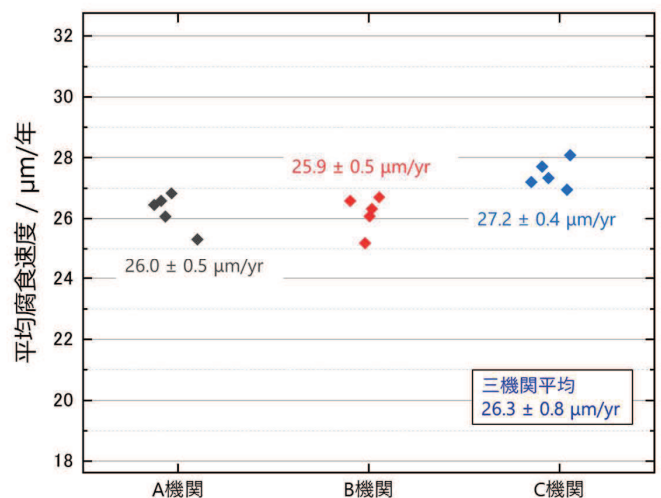
規格素案の作成過程において、要求事項の設定根拠の補強の必要性が指摘された。このため、追加試験を実施するとともに、ラウンドロビン試験により、試験結果を統計的に比較することによって、規格の有効性を評価することが必要とされた

(2) ラウンドロビン試験とは？

試験方法の信頼性や試験者の技量について信頼性を評価することを目的として実施する試験法の一つであり、複数の試験者が同一条件、同一試料を用いて試験を行い、結果を比較する方法

(3) ラウンドロビン試験の結果

従来より試験法よりも標準偏差が小さく、平均値の3%程度。2025年度も再度同じ3機関で同一条件で試験を実施し、再現性を確認



95

7. そのほかの規格類の整備状況

(1) 地下施設の設計に関する検討

- 「地層処分事業の地下施設を対象とした設計・施工技術の整備」技術検討会
機構に設置する委員会。土木学会より専門家を推薦いただき2025年度より実施
- 「坑道の耐震性評価手法の整備に関する共同研究」専門家委員会
電中研－機構共同研究の検討成果について技術的妥当性のレビューを目的に実施。
将来、学協会に評価手法の指針の制定を依頼することも視野

(2) 人工バリアの設計、試験技術等の標準化の検討

○策定中の規格類

緩衝材の膨潤圧試験に関するISO規格（ISO/WD 24012-1「Swelling pressure test」）（電中研の専門家が日本代表として出席。今後、緩衝材に関するISO 規格として、透水試験、熱伝導率、三軸圧縮試験を予定）

○整備を検討中の規格類

ベントナイト中の微生物活性の定量評価に関する規格

(3) 地上施設の設計

原子力関連施設の規格類を準用して検討が可能

96

[トピック2] 横置き・PEM方式の高度化検討

（論点） 精密調査段階に実施する人工バリア等の製作施工技術の実証試験を見据えた技術開発計画は適切か？

上記の技術開発計画における機構の役割に必要な技術開発レベルを、研究開発や最新知見収集により達成できているか

以下の共通ポイントに対応

A 事業の進展（精密調査、安全審査）を見据えた取組

C 最新の科学技術的知見の反映

1. 背景・概要

包括的技術報告書のピアレビューにおいては、国内及び海外のレビュー委員会より、複数の課題（微生物活動など）について、技術開発が推奨された。これらの課題に取り組むことで人工バリア性能の信頼性向上及び横置き・PEM方式の工学的成立性の向上を目指した。得られた成果を「高レベル放射性廃棄物における横置き・PEM方式の高度化」（NUMO-TR-24-04）技術報告書として取りまとめ、2025年1月7日に公表

2. 個別業務の内容（P）

最新の科学的知見を反映し、人工バリアに使用する材料の改良を行うとともに、成果を横置き・PEM方式に適用することにより、PEMの重量の軽減を図った。

97

3. 取り組んだ内容（D）

人工バリア材料の改良として、鋼種、緩衝材の配合などを変更。例えば、強度の高い材料をオーバーパックに適用し耐圧代を合理化したほか、求める放射線遮蔽に必要厚さを合理化。また、緩衝材のケイ砂混合をやめ、有効粘土密度を高めることで微生物腐食の防止性能が向上。緩衝材の熱伝導性の低下が問題とならないことも確認。これらの結果に基づき、所要の安全機能を確保可能な人工バリアの設計を例示

新たな人工バリアの設計例を横置き・PEM方式に適用することにより、人工バリアに期待する安全機能を確保しつつ、PEMの重量を従来方式より軽減可能

これに伴い、PEMを搬送し地下の坑道内に設置するための装置類の小型化も期待され、地下施設について安全性を維持しながらさらに柔軟性のある設計が可能

4. 自己評価と課題（C）

横置き・PEM方式を改良した設計例とその技術的根拠を公表することができた。新たな設計例についても、従来方式を対象に開発された技術を適用して、実現は可能である見通しはあるものの、今後、実証的な確認が必要

5. 今後の対応（A）

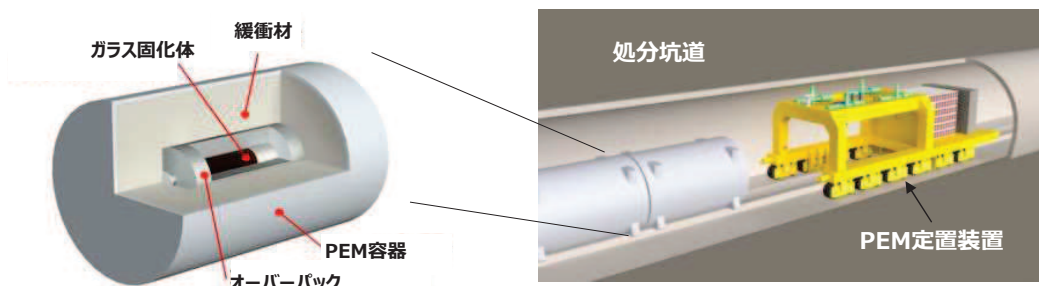
国際レビューでの指摘事項を踏まえ、PEMの製作施工性に関して実証試験を通じて、改良型PEM方式の工学的成立性及び回収可能性に対する信頼性を向上させていく。例えば、PEMの組立及び再冠水プロセスの実証試験、湧水及びパイピング現象に対応した埋戻し材及び埋戻し工法の検討、改良型PEMの構成要素を考慮した現象解析モデルの高度化、小断面坑道の建設システムの検討、閉鎖前安全性の検討などに取り組む

1. 横置き・PEM方式の開発経緯
2. 高度化のポイント
3. 人工バリアの改良点
4. 作業方法、地下施設設計の改良点
5. 改良に関する安全性への影響
6. 国際レビューの指摘事項を踏まえた今後の計画
7. 設計オプションの選定スケジュール案

④ 処分場の設計と工学

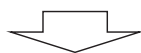
1. 横置き・PEM方式の開発経緯

- PEM (Prefabricated Engineered Barrier System Module) 方式とは、地上施設で人工バリアを一体化したモジュールを地下施設に搬送・定置する技術
- 地下に緩衝材を施工する工法（ブロック工法など）に比べ、地上施設でPEM容器内に緩衝材を設置するため、品質管理が容易であり、また、処分坑道内に設置した緩衝材ブロックが水滴や高温度により膨潤するなどのトラブルが発生しにくいという利点がある。



包括的技術報告書で示されたPEMの課題

- 総重量が約 37 トンであり重量物
- PEM の組立、搬送、定置の安全性と効率性を向上させるには、軽量化が望ましい。



操業時の安全性と効率性を向上させるため、人工バリアの安全機能の確保を前提に、最新知見を適用してPEMの軽量化を検討

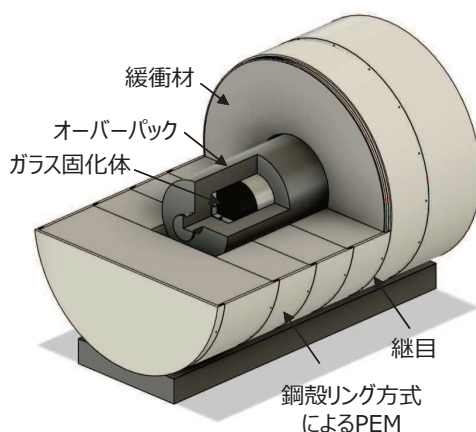
100

④ 処分場の設計と工学

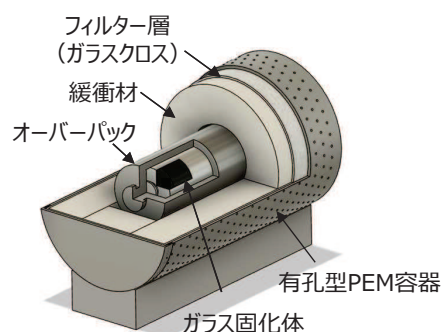
2. 高度化のポイント

- 最新の科学的知見や技術開発成果を適用して、人工バリアの設計要件を満足する条件を更新し、それに適合する人工バリアを例示した結果、PEMの軽量化が可能であるという見通しが得られた。
- 改良型PEMの搬送定置システムを検討した結果、連絡坑道と処分坑道を繋ぐ取付部の坑道掘削幅を従来よりも削減でき、結果として処分坑道間中心間距離も短くなるため、地下施設の占有面積の縮小及び坑道の総掘削土量の削減が可能となった。
- 処分場閉鎖後長期の安全性についても、核種移行解析を実施した結果、基本シナリオ、変動シナリオともに、線量評価結果は線量めやす値を十分に下回った。

包括的技術報告書PEM



改良型PEM



101

④ 処分場の設計と工学

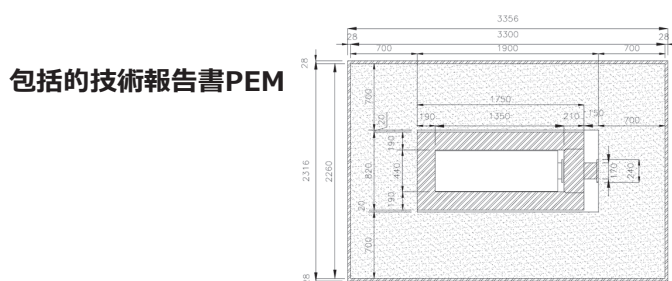
3. 人工バリアの改良点

包括的技術報告書で示した設計因子として取りまとめた要求事項と安全機能は、改良型PEM方式でも共通である。本報告書では、**最新の科学的知見や技術開発成果を適用して、人工バリアの設計要件を満足する条件を更新し、それに適合する人工バリアを例示した。**

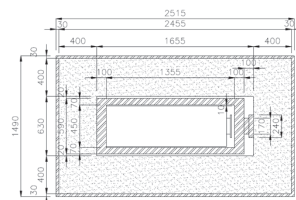
オーバーパックについては、**より強度の高い鋼材を使用することによって必要耐圧厚さを合理化**できること、及び放射線による腐食の加速に関する**最新知見**（p.32, 33参照）を適用することによって、**必要遮蔽厚さを合理化**できることを示し、オーバーパックの仕様を更新した。また、**約20年経過しても腐食速度の低下が継続している**といった最新知見も踏まえて、腐食寿命を評価し、**更新された仕様でも、オーバーパックに期待する安全機能を確保可能**であることを示した。

緩衝材については、**ベントナイト含有率を100%に高め、さらに有効粘土密度を高める**ことによって、**微生物影響抑制の性能を向上**させた（p. 34参照）。加えて、低透水性、コロイドろ過能、自己シール性、及び物理的緩衝性といった**所要の設計要件に適合するように緩衝材の仕様を更新した。**

このように人工バリアに期待する安全機能が確保可能であることを確認のうえ、更新された人工バリアの設計例を横置き・PEM方式に適用したところ、**PEMの軽量化が可能**であるという見通しが得られた。



改良型PEM



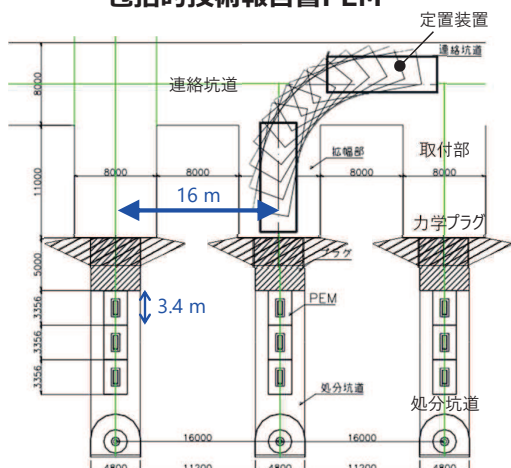
102

④ 処分場の設計と工学

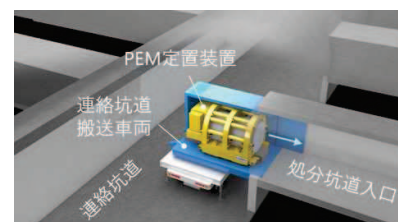
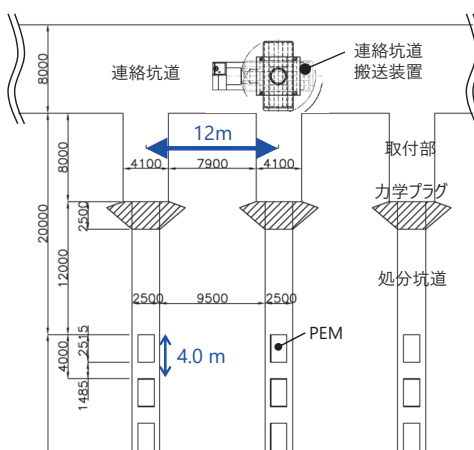
4. 操業方法、地下施設設計の改良点

改良型PEMを地下施設に搬送する車両、地下施設内を搬送する車両、及び処分坑道内への定置装置について、**一連のシステムを検討した**。その結果、**連絡坑道と処分坑道を繋ぐ取付部の坑道掘削幅を従来よりも削減**でき、結果として**処分坑道間中心間距離も短くなる**ため、地下施設の占有面積の縮小及び坑道の総掘削土量の削減が可能となった。このことは処分場の建設、操業に伴う環境負荷の低減にも貢献することが期待される。

包括的技術報告書PEM



改良型PEM

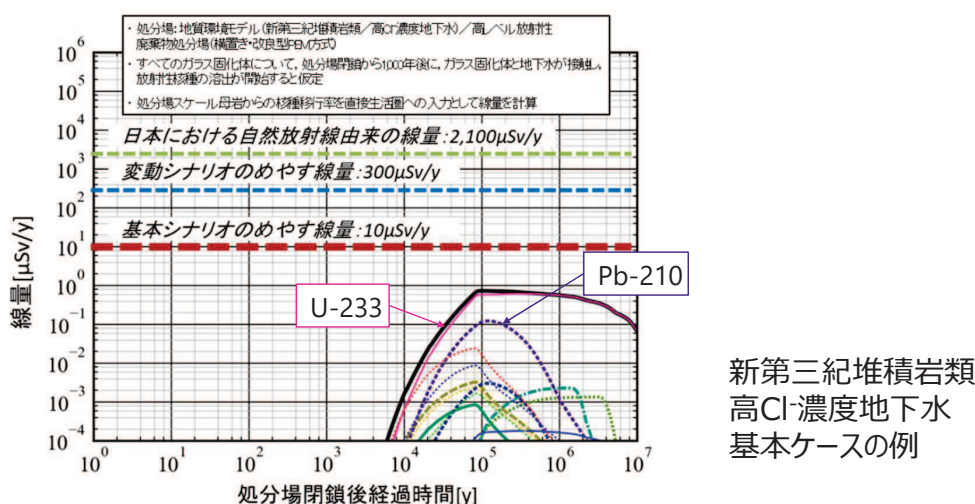


103

④ 処分場の設計と工学

5. 改良に関する安全性への影響

処分場閉鎖後長期の安全性についても、包括的技術報告書で示した安全評価の考え方と方法論を適用して、人工バリアの長期健全性の評価に基づいた状態設定、安全評価シナリオの構築、及び核種移行解析を実施した。包括的技術報告書でも示した3種類の検討対象母岩において、**基本シナリオ**、**変動シナリオ**ともに、**線量評価結果は線量めやす値を十分に下回っており**、TRU等廃棄物処分場の併置を考慮しても同様であった。



104

④ 処分場の設計と工学

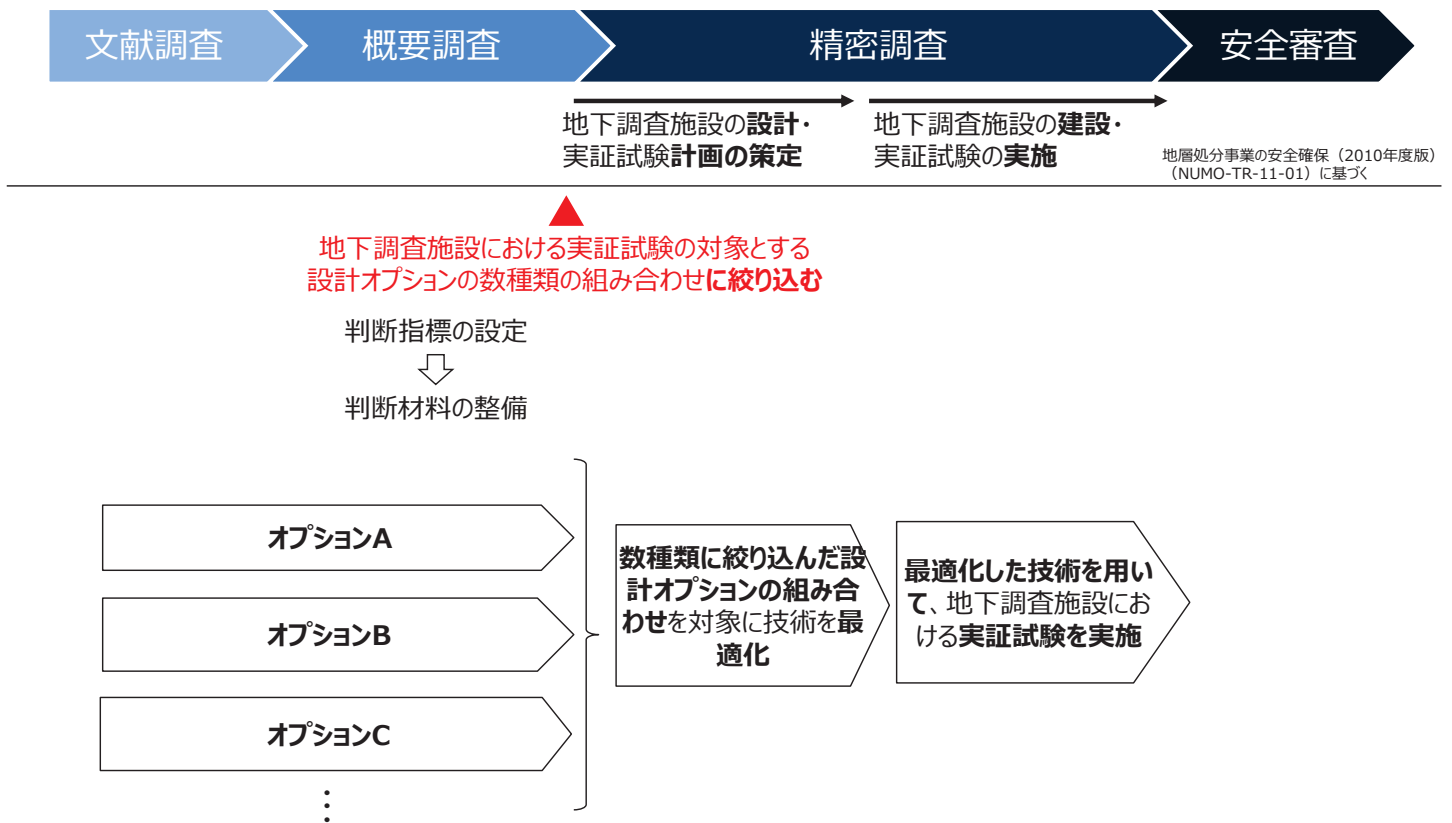
6. レビューの指摘事項を踏まえた今後の計画

- ・ NUMOが従来の設計に留まることなく、最新の知見を踏まえた人工バリアの設計の更新、PEMサイズの縮小、軽量化、緩衝材の再冠水を促進するためのPEM容器の有孔化、フィルター層の導入などの改良を進めたことを評価する。
- ・ これらの改良は、安全性を高めることに寄与するだけでなく、オーバーパックの溶接施工性や緩衝材の製作性の向上等、人工バリアの品質を向上させることにもつながる。処分坑道の断面サイズや地下施設の専有面積が縮小されたことは、環境負荷の低減にも寄与すると評価できる。
- ・ 今後設計オプションを比較するためには、閉鎖後の長期安全性の評価手法について、保守的なものから現実的なものへ移行する必要がある。比較にあたっては、人工バリアとその周辺岩盤の性能を確認するために、被ばく線量だけではなく、放射性物質が周辺岩盤の外側へどの程度移行するのかを評価することも有効である。
- ・ 将来、サイトの地質環境条件に対する適用性の観点から改良型PEM方式と縦置き・ブロック方式を比較していくことになるが、どのような特性が、意思決定の要因となるかなど、今から設計オプションの絞り込みに向けた議論を進めるべきである。
- ・ 今後も人工バリア性能向上や長期性能の不確実性低減、操業安全対策の充実など、改良型PEMの信頼性の向上に継続的に取り組むとともに、実証的な試験により実用性を確認することを推奨する。
- ・ また、社会経済的側面からの議論として、改良型PEMを適用した処分場が温室効果ガスの削減にどう寄与するのかといった検討も推奨する。

105

④ 処分場の設計と工学

7. 設計オプションの選定の進め方（案）



106

④ 処分場の設計と工学

④ 処分場の設計と工学 補足説明資料

107

④ 処分場の設計と工学

- 遮蔽厚さについては、包括的技術報告書と同様に、オーバーパック周辺の水の放射線分解に伴い生成される過酸化水素などの酸化性化学種により腐食速度が加速されないように遮蔽厚さを設定する。
 - 包括的技術報告書 付属書4-11では、放射線環境下における腐食試験の例として、3～500 Gy/hのγ線照射下、低酸素環境、人工海水中及び人工海水を飽和させた緩衝材中での浸漬試験（JAEA, 2013；Marsh et al, 1989）について示した。
 - 当該腐食試験では、人工海水中の場合、3 Gy/hでは腐食の加速が見られず、30 Gy/h以上で腐食速度の加速の兆候が見られている。
 - 一方、人工海水を飽和させた緩衝材中では少なくとも500 Gy/hまで加速しない結果が得られている。
 - 緩衝材中において加速しない理由としては、緩衝材中ではパイライト等の還元性物質や2価鉄腐食生成物により放射性分解生成物が消費されたことが要因の一つとして考えられている（JAEA, 2013）。
 - 緩衝材中の還元性物質による放射性分解生成物の消費については、効果の持続性に不確実性があるため、包括的技術報告書では、緩衝材が共存しない系でも影響が無視できる吸収線量率以下（3 Gy/h以下）となるように、オーバーパックに80 mmの遮蔽厚さを設けた。
 - このように包括的技術報告書では、低酸素環境において人工海水中または人工海水を飽和させた緩衝材中での放射線照射下における腐食試験結果に基づき評価を行ったが、実際の地層処分環境においては、放射線量率の高い埋設後初期の期間は、酸素が残存し、かつ緩衝材が飽和に至っていない可能性がある。

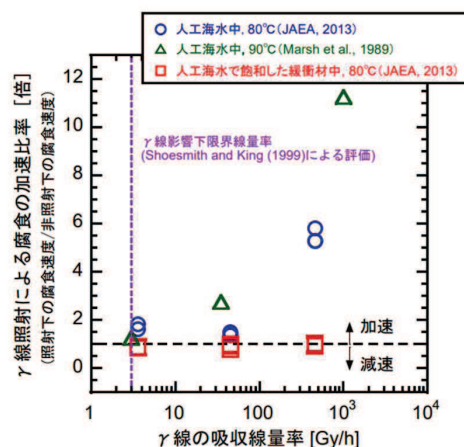
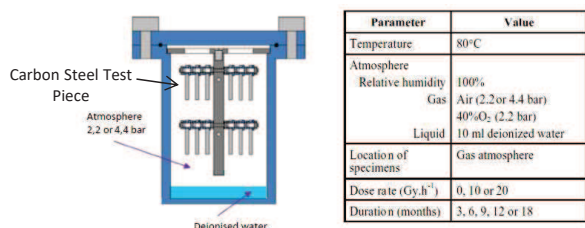


図1 吸収線量率と腐食の加速比率の関係
(JAEA, 2013を参考に作成)

108

④ 処分場の設計と工学

- 酸化性環境かつ不飽和環境を想定した放射線照射下の腐食試験の一例として、大気中、相対湿度100%、0～20 Gy/hの条件において腐食試験が行われている（Fénart, et al., 2021）。
 - その結果、0 Gy/h（非照射）と比較して10 Gy/hでは腐食速度が低下し、20 Gy/hではほぼ同程度であるものの若干の腐食速度の増加が報告されている。



(Fénart et al., 2021)

FIGURE 2 Schematic view of the autoclave in which the specimens (12 in the illustration) were exposed to an atmosphere with 100% humidity, and a summary of the experimental conditions [Color figure can be viewed at wileyonlinelibrary.com]

TABLE 2 Depths of corrosion (μm) after a 6-month exposure at 80°C of carbon steels coupons exposed to atmospheric conditions (100% humidity), and to a relevant aqueous solution (both semi-immersed and fully immersed coupons)

Irradiation	No irradiation		10 Gy/hr		20 Gy/hr	
	"Uniform"	Maximum	"Uniform"	Maximum	"Uniform"	Maximum
Corrosion depth (μm)						
100% RH ^a	3-18	170 ^b	1-3	40	2-30	180
Semi-immersed ^c	6	70	8-9	100	7	50
Immersed ^c	3	15	2-3	50	4	50

(Fénart et al., 2021)

- これらの結果に基づくと、少なくとも緩衝材が不飽和な期間は10～20 Gy/h以下、飽和後は3～30 Gy/h以下※1となるように遮蔽厚さを設定※2すれば、放射線による腐食の加速は防止できると考えられる。
 - 遮蔽計算の結果、埋設直後の放射エネルギーにおいて10 Gy/h以下となる遮蔽厚さは60 mm、飽和後（90年後、付属書4参照）の放射エネルギーにおいて3 Gy/h以下となる遮蔽厚さは44 mmと計算された。
 - このことから、オーバーパックの遮蔽厚さは60 mmと設定した。
- 上述のとおりこれらの評価は、腐食の加速に対する緩衝材による緩和効果の無視や、腐食の加速が生じる放射線量率のしきい値の保守的な設定など、余裕を持った評価に基づいている。

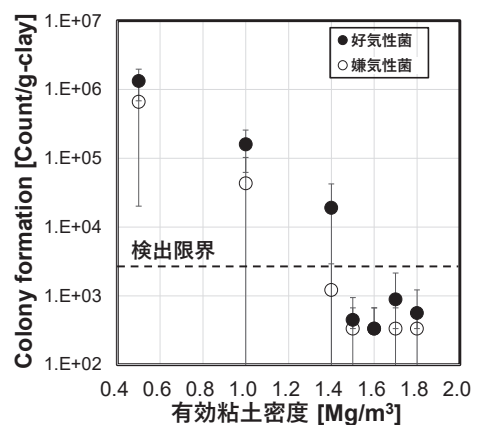
※1 スイスNagraでは、水溶液中において10 Gy/h以下であれば顕著な腐食速度の加速は見られないと評価している（Nagra, 2024）。

※2 フランスAndraでは、10 Gy/h以下であれば腐食に影響を与えないとし、10 Gy/hを下回るようにオーバーパックの厚さが設定されている（Andra, 2022）。

109

④ 処分場の設計と工学

- 包括的技術報告書において、「微生物影響の防止」の設計要件に関しては、「国内外の研究機関による評価の動向を踏まえ、継続的な研究が必要」との課題も示していた。
- また、包括的技術報告書のOECD/NEAによるレビューに基づく提言においても、微生物プロセスの理解を深める**必要性が強調**され、このような提言に対する機構の対応としても、微生物活動が腐食挙動に及ぼす影響に関する知見の拡充について、より強力に進めていくことを示していた。
- 包括的技術的報告書では、微生物腐食の防止に必要な有効粘土密度条件として**0.56 Mg/m³**を示していた。
- この条件は、谷口ほか（2001）で示された炭素鋼の微生物腐食の原因菌とされている硫酸塩還元菌の増殖活性の試験結果に基づいて設定したものであるが、海外では硫酸塩還元菌以外にも幅広く微生物の増殖活性を調査したケースや、増殖活性だけでなく、硫化物などの代謝物の測定に基づいて、微生物の増殖活性評価が実施されている。
- このため、海外と同様な試験方法により微生物の増殖活性を評価した。
- 微生物腐食の代表的な原因菌である硫酸塩還元菌が含まれる嫌気性菌は、乾燥密度**1.4 Mg/m³**で増殖できないと考えられる。また、好気性菌までを含めると**1.5 Mg/m³**以上で増殖を抑制可能である。
- 好気性菌の中に地層処分のように低酸素の環境下において、腐食を促進するような菌が含まれているかについては、今後も継続的に調査していくが、本検討では、硫酸塩還元菌などの嫌気性菌に対する緩衝材の増殖活性の防止に必要な有効粘土密度条件を**1.4 Mg/m³**に設定する。



微生物の増殖活性と有効粘土密度の関係

110

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

⑤ 閉鎖後長期の安全評価 評価カテゴリー全体を俯瞰した自己評価

111

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

1. 背景・概要

- サイトの環境条件や、それに応じた処分場設計の特徴をより忠実に安全評価へ反映するため、人工バリアの状態変遷をより確からしく評価するための連成解析技術の開発やこれの妥当性確認等に必要となる室内・原位置試験データの取得を継続。T R U 廃棄物処分場の設計等を反映したより確からしい核種移行解析モデルの構築や核種移行パラメータの設定に必要なデータ拡充等を実施
- 安全評価結果をサイト選定や設計の最適化へフィードバックするためには、膨大な条件での数値解析が必要。機械学習を用いた数値解析の高速化技術の開発を開始

2. 技術開発計画（2023年度-2027年度）の概要（P）

（1）シナリオ構築

- ア. 地層処分システムの状態設定に資する現象解析モデルの高度化
- イ. リスク論的考え方に則したシナリオの構築手法の高度化

（2）核種移行解析モデル開発

- ア. 地層処分システムの状態変遷等を反映した核種移行解析モデルの高度化
- イ. 施設設計等を反映した核種移行解析モデルの高度化

（3）核種移行解析に用いるパラメータ等に関するデータの整備

- ア. 核種移行等に関するデータの取得及びデータベース整備

112

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

3. 2024年度までの実施概況（D）

（1）シナリオ構築

- ア. 地層処分システムの状態設定に資する現象解析モデルの高度化
 - ガラス固化体の長期溶解挙動モデル（トピック1）やセメント-ベントナイト反応に関する反応輸送解析モデル、及び、T H M C 連成現象解析技術（トピック2）に関して、J A E A や大学との共同研究、及び、グリムゼル地下研究施設等における原位置試験を対象とした国際共同プロジェクトを通じて、モデルの妥当性確認に用いる室内・原位置試験データを取得。室内試験を対象とした数値解析を機構職員自ら実施しデータと比較
 - 緩衝材からのコロイド生成評価に必要なコロイドの生成条件を把握するため、室内試験データを拡充。コロイド-核種の単一割れ目中の移行モデル構築のため、単一割れ目試料を対象としたコロイド-核種移行試験を開始
- イ. リスク論的考え方に則したシナリオの構築手法の高度化
 - サイト選定に係るセーフティーケース作成では調査の進展による地質環境・設計仕様の変更は頻繁。包括的技術報告書（以下、N U M O - S C）第6章「閉鎖後長期の安全性の評価」について、地質環境や設計の情報の更新時に、迅速に変更管理できる情報管理ツールを構築

（2）核種移行解析モデル開発

- ア. 地層処分システムの状態変遷等を反映した核種移行解析モデルの高度化
 - S K B との共同研究を活用し、T R U 廃棄物処分場の設計や状態変遷を反映した核種移行解析モデル（トピック3）と、地表環境の特徴を反映した生活圈評価モデルを構築。モデル構築に際しては、機構職員自らが数値解析を実施

113

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

3.2024年度までの実施概況（D）（続き）

（2）核種移行解析モデル開発

- ア. 地層処分システムの状態変遷等を反映した核種移行解析モデルの高度化
 - ・ グリムゼル地下研究施設での原位置試験を対象とした国際共同プロジェクトへ参画し、母岩中の単一割れ目における核種移行解析モデルの妥当性確認に用いる原位置試料を取得。エスポ地下岩盤研究施設での原位置試験データを用いて割れ目系母岩における割れ目ネットワーク構造のモデル化とその妥当性確認の方法論を構築
- イ. 施設設計等を反映した核種移行解析モデルの高度化
 - ・ 機構が安全評価で使用する数値解析のうち、特に計算負荷が高く、かつ膨大なデータが出力される解析コードPartridgeを用いた粒子追跡解析について、機械学習を導入し、パネルスケール（1 km × 1 km × 数100 m）を対象とした解析結果の予測評価ツールと解析結果を分析するためのクラスター分析ツールを整備（トピック4）

（3）核種移行解析に用いるパラメータ等に関するデータの整備

- ア. 核種移行等に関するデータの取得及びデータベース整備
 - ・ 緩衝材・セメント系材料を対象として、不足している試験条件のデータを拡充
 - ・ 試験時間を要する拡散試験を用いた緩衝材の収着分配係数の設定方法を、試験時間が短く試験条件の制御が容易なバッチ試験で代替する方法の構築に必要なデータを拡充
 - ・ 整備してきたボーリング調査で取得される岩石・地下水試料を用いた母岩の核種移行パラメータ（収着分配係数・実効拡散係数）設定手法について、データが少ない先新第三紀付加体堆積岩（整然相）を対象に拡散・収着試験を行い（一部、機構職員実施）、改良点を抽出 114

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

4. 自己評価と課題（C）

- ・ 中期技術開発計画に沿って、各技術開発課題において着実に成果を創出した
- ・ JAEA等との共同研究や国際共同プロジェクトを活用して取得した室内・原位置試験データを用いたTHMC連成現象解析技術や核種移行解析モデルの妥当性確認などにより、評価技術の信頼性を向上することができた
- ・ SKBとの共同研究を通じて、TRU廃棄物処分場を対象とした核種移行解析モデルや生活圈評価モデルを高度化し、処分システムの性能をより確からしく評価可能となった
- ・ サイトの特徴を反映した緩衝材のパラメータ設定に重要なデータ取得は、おおむね完了。これにより、処分システムの特徴をより確からしく評価可能となった
- ・ 解析コードPartridgeを用いた粒子追跡解析について、機械学習を用いた補完的解析ツールを導入することにより、膨大な解析ケースを合理的な時間で実施できる見通しが得られた
- ・ 技術開発を活用した人材育成に貢献
 - JAEAやSKBとの共同研究において、専門家との意見交換を踏まえながら、機構職員自ら数値解析を実施し、これに基づくシナリオや核種移行解析モデルなどを作成。これらを実施するうえでの留意点（例えば、数値解析における境界条件の取扱や一連の作業における品質管理など）に関する知見を取得
 - JAEAとの共同研究を通じて岩石試料を用いた収着試験等を、JAEAの指導の下、機構職員自ら試験体準備から試験結果の分析までを実施し、その留意点（例えば、試験誤差の原因など）や安全管理（例えば、試験時の安全ルールなど）に関する知見を習得

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

5. 今後の対応 (A)

- ・ 国内外の会議での発表や論文発表を通じて、各技術開発の成果について公表
- ・ T H M C 連成解析技術や核種移行解析モデルなどの妥当性確認や、これに必要となる室内・原位試験データの拡充を J A E A や S K B との共同研究、国際共同プロジェクトを活用して継続
- ・ 予測評価ツールと解析結果を分析するためのクラスター分析ツールをより広域のスケールへ適用するための高度化
- ・ バッチ試験を用いた緩衝材の収着分配係数設定方法や母岩を対象とした核種移行パラメータ（収着分配係数・実効拡散係数）設定手法の高度化
- ・ 試験や数値解析の品質管理を適切に実施できる人材の育成に向け、機構職員自らこれらを実施する機会を創出

116

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

シナリオ構築

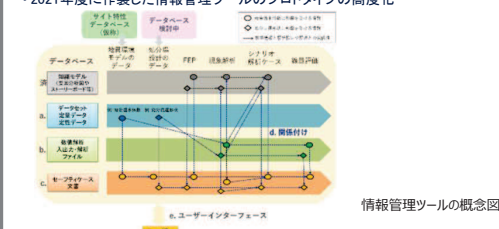
■ 時間的変遷を考慮した処分場の状態設定と核種移行評価に関する技術整備

- ガラスの長期溶解挙動評価モデルの高度化：大学・JAEAとの共研
- ベントナイトコロイドによる核種移行への影響評価手法の高度化：JAEA共研、国際共同プロジェクト Colloid Formation and Migration project (CFM)
- 緩衝材の長期的な状態変遷を評価するための解析モデルの妥当性確認と改良：JAEA共研
- 処分場のTHMC場々の変遷に関する解析評価技術の高度化：JAEA共研、国際共同プロジェクト High Temperature Effects on Bentonite Buffers (HotBENT)、プロトタイプレボトリ回収プロジェクト



■ 情報管理ツールの改良と関連する情報・データ・知識の一元的管理の促進：委託

- ・ セーフティケースの構築においては、地質環境調査によって得られるサイトの条件に基づいて、処分場設計及び閉鎖後長期の安全性の評価を実施し、その結果を相互にフィードバックしながら作業を進める
- ・ 安全評価に用いられる情報とその変更の管理の確実な実施が品質保証の観点から必要
- ・ 2021年度に作製した情報管理ツールのプロトタイプの高度化

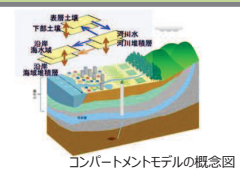


*: Thermal (熱的) - Hydraulic (水理学的) - Mechanical (力学的) - Chemical (化学的)

核種移行解析モデル構築

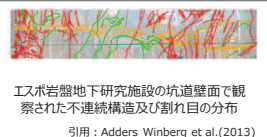
■ 地下深部から生活圏に至る広域スケールでの核種移行解析技術の構築

- 地下浅層を含む地表環境の特徴をより詳細に考慮した生活圏評価手法の構築：内部実施
- TRU廃棄物を対象とした核種移行解析モデルの高度化：JAEA共研・国際共同プロジェクト Carbon-14 and Iodine Migration in Cement (CIM)
- 拡散場を対象とした粒子追跡解析と核種移行解析モデル作成：役務調達



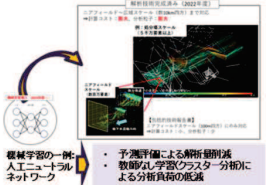
■ 地下水流動・物質移行解析モデルの妥当性確認手法の整備

- 母岩中の単一割れ目における核種移行解析モデルの妥当性確認：JAEA共研
- 割れ目ネットワークを対象とした物質移行解析モデルの妥当性の評価・確認方法の作成：JAEA共研・SKBタスクフォース・委託



■ 大規模な数値解析を高速に処理する手法等の検討：委託

- ・ 2022年度末までに開発した広域スケールの地下水流動・粒子追跡解析における計算負荷及び出力データの分析負荷の低減を目的
- ・ 数値解析における入力と出力の対応関係について一部のサンプルを対象として機械学習させ、計算負荷の低い解析モデルを作成する技術を開発
- ・ 膨大な出力データの分析を教師なし機械学習により高速化



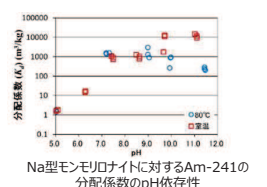
データの整備

■ 地質環境の調査結果を踏まえたパラメータの適切な設定手法の構築

- 地質環境調査に基づく母岩の核種移行パラメータ設定手法の整備：JAEA共研
- 土壌分配係数取得の手順書作成：内部実施

■ 核種移行挙動の解析に用いるパラメータに関するデータの拡充とデータベースの整備：JAEA共研

- 炭酸共存条件下でのテクネチウムの緩衝材への収着分配係数
- 複数の温度環境における緩衝材への収着分配係数
- カルシウム型ベントナイト中の2価陽イオンの実効拡散係数
- 様々な地下水組成を考慮したセメント系材料への収着分配係数
- 硝酸塩及び有機物が共存する条件下での人工バリア材料への収着分配係数
- 安全評価上重要な3個アクチノイド元素と化学的に類似するサマリウムについての温度影響を考慮した溶解度設定に資するデータの取得



117

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

中期技術開発計画（2023-2027年度）との対応関係

中期技術開発計画			2024年度の実施概要	記載箇所
3.3.1. シナリオ構築	(1) 地層処分システムの状態設定に資する現象解析モデルの高度化	(i) 廃棄体に対する核種溶出モデルの構築・高度化	ガラスの長期溶解挙動モデルの高度化	[トピック1]
		(ii) ニアフィールド構成要素に関する現象解析モデルの高度化	処分場のTHMC場の変遷に関する解析評価技術の高度化	[トピック2]
		(iii) コロイド・有機物の影響評価手法の構築・高度化	ベントナイトコロイドによる核種移行への影響評価手法の高度化	
	(2) 地質環境に応じた個別調査技術の最適化	(i) 閉鎖後安全評価に関する情報管理ツールの整備	情報管理ツールの改良	
		(ii) 人間侵入シナリオと稀頻度事象シナリオに関する検討	諸外国の関係機関との情報交換や国際会議等を通じた情報収集と、シナリオやその様式化方法の検討	
3.3.2. 核種移行解析モデル開発	(1) 地層処分システムの状態変遷等を反映した核種移行解析モデルの高度化	(i) ニアフィールドにおける状態変遷を考慮した核種移行解析モデルの高度化	TRU廃棄物の核種移行解析モデルの高度化	[トピック3]
		(ii) 水みちの微細透水構造などを反映した核種移行解析モデルの構築・高度化	母岩中の単一割れ目における核種移行解析モデルの妥当性確認 割れ目ネットワークを対象とした物質移行解析モデルの妥当性の評価・確認方法の作成	
	(2) 施設設計等を反映した核種移行解析モデルの高度化	(i) 施設設計を反映した核種移行解析モデルの構築・高度化	大規模な数値解析を高速に処理する手法等の検討	[トピック4]
		(ii) 地質環境の変遷に応じた生活圏評価手法の高度化	時間変遷を考慮した生活圏評価手法の構築	
3.3.3. 核種移行解析に用いるパラメータ等に関するデータの整備	(1) 核種移行等に関するデータの取得及びデータベース整備	(i) 想定される様々な処分場環境を対象とした核種移行パラメータ設定に資するデータの拡充	核種移行挙動の解析に用いるパラメータに関するデータの拡充とデータベースの整備	
		(ii) サイト調査を反映した核種移行パラメータの設定手法の高度化	地質環境の調査結果を踏まえた母岩に関する核種移行パラメータの適切な設定手法の構築	

118

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応

(第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）（1/4）

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
18	■ 評議員会は、個々の開発項目についておおむね着実に成果を挙げていると評価する。特に地表近傍における核種移行と被ばくプロセスを表現する「生活圏評価モデル」に関する技術開発成果を高く評価する。また、各種数値解析や AI の活用などの、世界でも最先端に位置するチャレンジングな技術開発に取り組んでおり、これらを広く学会でアピールすることは、地層処分分野の魅力や次世代の研究者に伝えることに繋がるかと推察される。加えて、海外機関などとの共同研究を通じて機構の立ち位置を確認し、相互の強みを活かして知識、技術を高度化させていく体制が作れていると判断する。	○ サイトの地表近傍の空間的特徴を反映した生活圏評価モデルについては、時間的変遷も反映可能となるよう技術開発を継続し、サイトをより確からしく評価できる生活圏評価モデルの構築技術を整備する。 ○ 御提案いただいた最先端に位置するチャレンジングな技術開発のアピールについては、人材に限られている地層処分分野にとって有効な取組と考えられるので様々な機会を捉えて実施したい。 ○ 海外機関などとの共同研究においては、最新の知見の収集と評価技術の高度化に加え、機構職員の技術習得の場としても活用している。今後も継続的に海外機関などとの共同研究の場を活用して、機構の技術力向上に努める。	[トピック2] [トピック3] [トピック4]
19	■ 技術開発評価委員会の委員からは、「評価モデルの検証方法」、「機械学習の学習データ数や特徴量の数」といった具体的内容について質問があり、個別に回答を受けた。このような専門家からも関心の高い事項について、今後も丁寧な説明、回答を期待する。	○ 技術的質問について、詳細な内容まで具体的に回答できるよう機構職員の技術力向上を図るとともに、回答する際には、質問者の意図を的確にとらえ、具体的な根拠を用いて丁寧に説明できるよう、対話力の向上に努める。	
20	■ 四次元地質環境モデルと生活圏評価モデルは関連性が深いため、両者の検討を連携させながら行うことで地層処分による安全確保に対する信頼性を高める必要がある。	○ 2022 年度までに、四次元地質環境モデルを対象に設計された地層処分システムについて、隆起・侵食に伴う地形変化や、気候・海水準変動を反映した水理場の境界条件の時間変化を考慮可能な、廃棄体位置位置から生活圏までを対象とした粒子追跡解析技術を構築した。これにより、核種の地表への流出点の位置やその時間変遷を評価可能とした。 ○ 2023 年度までに、国際的に認められている IAEA が示した生活圏評価の方法論 BIOMASS のアプローチに従って、河川の位置や流量、居住地域等の土地利用状況といった地表近傍の特徴をより確からしく評価するための生活圏評価モデルを構築することを可能とした。 ○ 今後は、地質環境の長期変遷及び核種ごとの移行遅延特性を考慮した核種の地表への流出点の評価と生活圏評価とを整合的に取り扱う評価技術を構築する。	
21	■ 反応輸送解析などは基本的に適用分野が広い。地層処分の分野で積み上げている知見と、他分野におけるそれとの共通性等を整理し、ベンチマーク等で協力していくことができれば、分野横断的に学際的で継続的な議論、新規アプローチの提示などが可能となる。加えて、次世代研究者への反応輸送解析を開発する分野に対する魅力向上に寄与するものと推察される。	○ 御提案については、人材に限られている地層処分分野にとって、効率的な技術開発や人材獲得の観点から重要な取組と考える。 ○ 機構が、(国研) 日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」）との共同研究や委託業務で整備している連成解析技術などについては、他分野（CCS など）との技術的な共通点を整理し、様々な学会発表などを通じて他分野の専門家や研究者と連携する試みを図る。	

119

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応

(第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）（2/4）

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
22	■ 深部の地下水流動と、地表近傍の地下水流動の関係性についてデータに基づいたシナリオの検討が必要ではないか。日本は典型的な火山国である。過去に大規模な噴火が度々起こり、基盤岩の上部に火山灰が幾重にも堆積し上部の比較的厚い地層を形成している場合も想定される。中でも、玄武岩の火山灰（スコリア）の堆積では堆積後の風化に伴い不透水性の粘土層が形成され、深部と地表近傍の地下水流動を緩やかに隔絶している場合も想定される。その隔絶の程度やパターンを評価し整理することが重要で、サイトごとのその役割の大小は概要調査以降の展開に関するキーポイントの一つではないかと考える。	○ 表層と深部の地下水流動の関係性は、サイトの特性に応じて異なるものである。このため、サイトごとにその関係性を調査によって把握し、その結果を踏まえて、四次元地質環境モデルと生活圏評価モデルのそれぞれにおいて、空間スケール（モデル化領域）の設定や、モデル化すべき要因等の特定を実施する。	
23	■ 国立研究開発法人日本原子力研究開発機構やスイスのグリムゼル試験場等で機構職員が共同研究プロジェクトに参加し成果を挙げていることは評価できる。一方で、地層処分取組は長く続くことから、将来に向けて間断なく若い研究者がバックエンドの分野に加わり続けることが欠かせない。そのためには、大学の関係する研究室と共同研究を進め、指導する教員と学生が共に地層処分研究に係る機会を後押しする必要がある。機構職員の研究水準の向上と大学における若い研究者の育成に向けた取組をしっかりと並行して進める必要がある。その場合、公益財団法人原子力安全研究協会や公益財団法人原子力環境整備促進・資金管理センター、一般財団法人エネルギー総合工学研究所といった関連組織の協力を得ながら進めることも効果を高めるうえで選択肢の一つと考える。	○ これまでも大学との共同研究を複数件実施してきた。共同研究における先生方との交流を通して、学生や若手研究者を地層処分分野に定着させるために重要なことは、研究資金を提供するだけではなく、機構が彼らの知的好奇心を刺激するよう技術開発ニーズを説明し、得られた成果を機構の事業に反映することだと認識している。このような取り組み方を継続していく。また、JAEA 等の適切な関連組織の協力を得ながら、機構職員が解析や試験を行う機会を継続的に創出することで、機構職員の人材育成を実施する。	【トピック1】 【トピック2】 【トピック3】
24	■ 地層処分施設の設計上、放射性核種が地表付近に移行してきたとしても、その濃度は極めて低く、そのリスクは許容できる範囲に大幅に低減されているが、地表付近の核種移行評価は被ばく線量の評価に必要であり、一般の方も生活圏である地表の評価を重視する傾向があるため、重要な技術開発項目である。	○ これまでに、国際的に認められているIAEA が示した生活圏評価の方法論BIOMASS のアプローチに従って、河川の位置や流量、居住地域等の土地利用状況といった地表近傍の特徴をより確からしく評価するための生活圏評価技術を整備した。今後は、地形変化や気候・海水準変動に伴う土地利用状況などの時間変遷を反映した生活圏評価技術の整備を行う。	
25	■ 炭酸イオンと炭酸水素イオン濃度が比較的高い地下水の場合は、ベントナイト中で廃棄体パッケージを構成するコンクリートから溶脱したカルシウムイオンと地下水中の炭酸イオン/炭酸水素イオンがカルサイトを形成する可能性があり、その場合、カルサイト形成部のコンクリート側では強アルカリ性の領域が、その反対側では弱アルカリ性の領域が形成される可能性がある。仮にこの状況が発生した場合、高pH 側では緩衝材の変質が懸念されるこういった過程はサイトに依存するが、炭酸イオン/炭酸水素イオンが存在するケースは少なくないと考えられることから、このような過程の成立性の有無についてより詳細な検討が必要である。	○ 御懸念の点を評価する手法として、地下施設の設計仕様を忠実に表現した三次元の解析体系を構築した上で、これを対象に化学場と水理場の連成解析の活用が考えられる。 ○ 機構では、核種移行場の熱的（Thermal）-水理学的（Hydrological）- 力学的（Mechanical）- 化学的（Chemical）な状態（以下、「THMC 状態」）の評価に用いる連成解析技術を段階的に整備している。 ○ 連成解析技術について、多様な地質環境に適用できるよう解析モデルの改良を継続するとともに、整備した解析技術の信頼性の向上に向け室内試験や原位置試験を用いた妥当性確認を実施する。	【トピック2】 【トピック3】

120

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応

(第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）（3/4）

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
26	■ 現象をより確からしく取り扱う数値解析モデルを、保守性を確保しながら簡略化し、線量などの処分施設の性能を評価するための数値解析モデルを構築することだが、簡略化の過程において保守性が確保されていることの確認が重要。この確認方法として、エキスパートジャッジだけに頼るのではなく、何らかの指標による定量評価を導入することも考えられるのではないかと。	○ 現象理解のためのモデル（以下、現象解析モデル）を用いて、性能評価モデルや安全評価モデル（以下、システム評価モデル）を構築する場合、ある指標（例えば、緩衝材の長期健全性を評価するための変質量など）を用いて現象解析モデルを用いた感度解析を行い、抽出された重要なプロセスを単純化した上でシステム評価モデルに組み込むことが考えられる。 ○ このような単純化の説明に資する指標については、単純化の過程に積極的に導入し、単純化の信頼性向上に活用する。	【トピック1】 【トピック3】
27	■ 地層処分施設の検討を行ううえでは、閉鎖後長期の気候変動を考慮する必要があるため、古気候学のデータの適用や解釈も重要になると考える。	○ 数万年以上という長期の時間スケールを考慮した四次元地質環境モデルの構築においては、気温・降水量の変化や海水準変動などの古気候学に関する情報を用いてモデルの境界条件を設定する。今後も最新の知見を取り入れながら、信頼性の高いモデルの条件設定を実施する。	
28	■ 被ばく影響の評価は数万年から数十万年後にわたるので、この間には、1 から数回の氷期、間氷期を経る。したがって、今後120m 程度の海水準の低下と上昇が生じる。また氷期には平均気温が約 10℃低下して現在の鹿児島市が札幌市程度の平均気温になるとも言われている。これらのことから、今後の評価では、評価に係る多くの項目から成る前提条件をリストアップし、条件の設定について丁寧に説明してから評価手法や評価結果の説明をすることが重要である（2.④の四次元地質環境モデルにも関連）。また、発生の可能性の小さい条件も考慮した保守的評価の中で地下水が深地中から断層に沿って上昇し、帯水層に入る時点での核種濃度と処分後の経過時間についても、地層処分システム全体の機能に関する把握の中で生活圏評価の位置づけを伝えるうえで重要であると考えられる。	○ 気候・海水準変動に伴う、地下水の涵養量や河川流量といった生活圏における地表水の流動や、土地利用状況などについては、御指摘のとおり、モダンアナログ的なアプローチを用いたモデルの条件設定を実施する。 ○ 前述したとおり、四次元地質環境モデルと生活圏評価モデルとの連携を密にすることによって、現実的かつ説明性の高い安全評価シナリオを設定する。	
29	■ 深部流体に関して、地震発生時、深部流体が急速に移動した例が存在する。処分場に断層が新たに形成されるというのは稀発現象ではあるが、断層に沿って流体（地下水）が急速で移動するという現象が仮に発生した場合、これまでの定常状態での地下水流動では把握できない事態が生ずるので、引き続き最新知見の調査と安全評価に与える影響等の検討をお願いしたい。また、今後ともこうした新たな科学的知見が現れる可能性は高いので、こうした分野における新たな科学的進展を絶えず視野に収めつつ、技術開発を進めていただきたい。	○ 「全体計画」（令和5年度～令和9年度）に基づく国の委託事業「地質環境長期安定性総合評価技術開発」の中で、JAEA と電中研が深部流体に関する検討を進めている。ここでは、最新の科学的知見を取り入れた事例研究の蓄積を通じて、地下深部における断層の形成や地下深部から地表付近への深部流体の移動に関する現象理解や、発生可能性とその影響を把握するための体系的な調査・評価技術を整備しており、機構はその成果を活用することとしている。また、機構のニーズを反映するために、機構はこの事業に技術アドバイザーとして参画している。	

121

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応

(第80回評議員会（2024年9月17日開催）報告；該当箇所抜粋）（4/4）

	評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
30	■ 火山や断層の発生確率であるが、これらを調査地域のような狭い範囲のみを対象に求めることは困難なので、ITM-TOPAZ 手法などのシナリオの起こりやすさを評価可能な手法を用いて、全国的な規模での発生確率マップを作成し、これを用いて調査地域における火山や断層の発生確率を評価することが合理的と思われる。ただし、この分野での確率評価の精度には問題が大きく、火山や断層の発生確率をどのように安全評価に活かすのか、さらなる検討が必要である。	○ 火山活動については、火山フロント背弧側を対象としたケーススタディを通じて、地域的なスケールにおいてITM-TOPAZ 手法をどこまでの精度で評価できるか検討する。断層活動については、ひずみ速度に基づき特定規模の断層変位を生じさせる地震活動の発生確率を算出する手法が有する課題解決策を見出すとともに、活断層の分布密度に基づきカーネル法などを用いて断層の発生可能性を評価する新たな手法の導入についても検討する。これらの検討を通じて、各々の自然現象の発生確率に関する評価に必要な空間スケールを整理する。また、確率論的評価手法の検討、安全評価と密に連携して進めることにより、蓋然性の程度に応じた安全評価シナリオの設定方法の検討を進める。	
31	■ GoldSim（物質移行解析コード）や PHREEQC（地球化学反応解析コード）等の汎用解析コードの利用が進むよう、機構で整備した関連データセットを公開して一般的な活用を促進すること。	○ 機構が包括的技術報告書で使用した解析コードについては、すでに使用したデータセット共に公開しており、これが解析コードの活用の一助になると考える。また、包括的技術報告書作成後に整備した解析コードについては、技術報告書や論文、学会において発表する際、第三者が再現解析を可能とできるよう、関連データセットを併せて示すこととする。	
32	■ 単純な系で再現可能であっても複雑な系では多様な因子が相互に影響しあい、それぞれの因子に対し概念モデル、数理モデル、パラメータ、解析体系が適切に用いられているのか否かを見極めることは大変困難なことであるが、今後も数値解析の妥当性確認を継続して取り組むこと。	○ 機構は、JAEA 等との共同研究や国際共同プロジェクト等を活用して室内試験データや原位置試験データを取得し、これらを用いた数値解析の妥当性確認を実施してきた。今後も試験データの取得とこれを用いた数値解析の妥当性確認を継続する。	[トピック2]

122

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

委員会にてご説明する論点の自己評価

- [トピック1] ガラスの長期溶解挙動モデルの高度化
- [トピック2] 処分場のT H M C場の変遷に関する解析評価技術の高度化
- [トピック3] T R U廃棄物の核種移行解析モデルの高度化
- [トピック4] 大規模な数値解析を高速に処理する手法等の検討

123

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

[トピック1] ガラスの長期溶解挙動モデル（以下、評価モデル）の高度化

（論点）事業許可申請までに妥当性が確認された評価モデルを整備するための進め方は適切か

以下の共通評価ポイントに対応

A: 事業の進展（概要調査、精密調査、安全審査）を見据えた取組

1. 背景・概要

ガラス固化体と地下水や人工バリア材料との相互作用等を考慮可能な評価モデルを整備するため、ガラス固化体近傍で生じる多様な諸現象に関する知見・データを拡充

2. 個別業務の内容（P）

- （1）評価モデルの妥当性確認を目的としたガラス固化体近傍の環境を想定したガラス長期溶解試験データ取得（最大10年）
- （2）多様な地下水条件下でのガラス溶解速度のデータ拡充
- （3）ガラス表面に形成する変質層により溶解速度が低減する現象に関する知見を拡充

3. 取り組んだ内容（D）

- （1）地下水由来のMgまたはオーバーパック由来のFe共存を想定した、Mg溶液/Fe溶液でのガラス浸漬試験（図1）を継続中（2023年度開始）

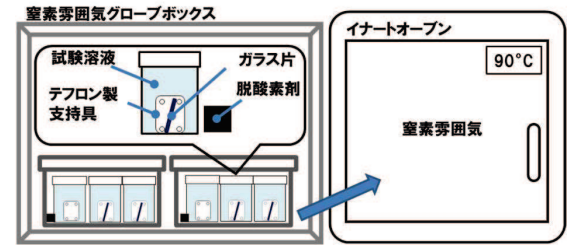


図1. ガラスの長期溶解挙動を調べるための静的ガラス溶解試験

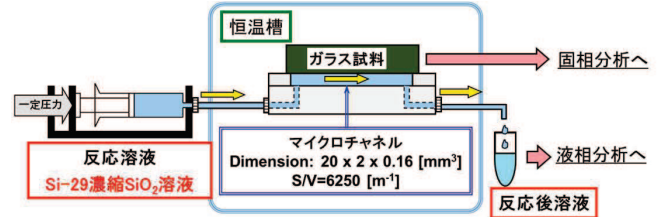
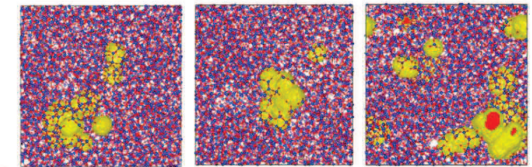


図2. 溶液条件を一定に制御可能なガラス溶解試験装置



青: Si, 赤: O, シアン: Al, 黄: サブナノポア（半径3 Å以上の細孔）

図3. 変質層の構造モデルの一例

124

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

3. 取り組んだ内容（D）

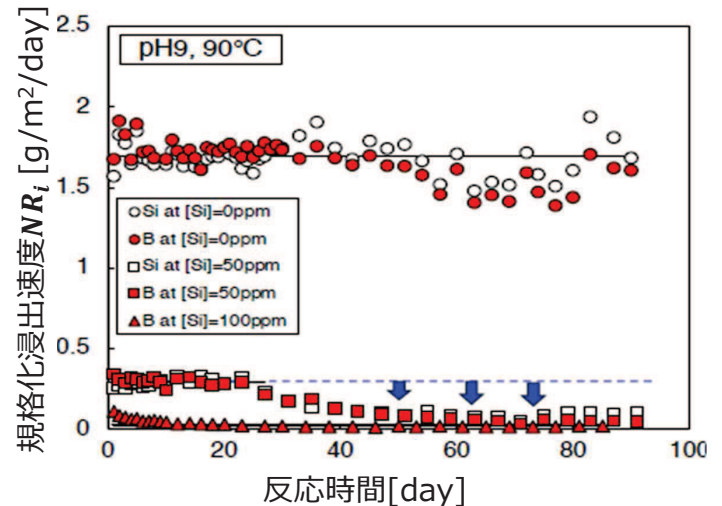
- （2）溶液条件（pH、温度、Si溶存濃度）を一定に制御したガラス溶解試験（図2）
- （3）分子動力学計算により、変質層内の物質移行を抑制する要因はその空隙構造（図3）や空隙内での水素結合などであることを特定

4. 自己評価と課題（C）

- （1）当初計画通り、着実にデータを取得。試験データの拡充が課題
- （2）当初計画の試験点数でデータを取得完了（図4）。試験データの拡充が課題
- （3）当初計画通り、変質層により溶解速度が低減する現象に関する知見を拡充

5. 今後の対応（A）

- （1）評価モデルの妥当性確認に用いる長期試験データ取得を継続
- （2）（3）評価モデルの高度化や基盤研究的なデータ取得は基盤研究機関が実施予定



規格化溶解速度

$$NR_i \text{ [g/m}^2\text{/day]} = \frac{C_i}{\Delta t} \frac{1}{f_i} \frac{V}{S}$$

Δt : 反応時間 [day]

C_i : 浸出液中の*i*元素濃度[g/m³]

f_i : 反応前ガラス試料中*i*元素重量分率[-]

V : 浸出液体積[m³]

S : ガラス試料表面積[m²]

図4. 規格化浸出速度の経時変化の溶存Si濃度性

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

[トピック2] 処分場のT H M C場の変遷に関する解析評価技術の高度化

(論点) 国際共同プロジェクトで取得する原位置試験や室内試験データを活用したモデルの妥当性確認の方法や手順は適切か

以下の共通評価ポイントに対応

B: 国際動向やアカデミアとの連携など、外部機関との協調

1. 背景・概要

処分場システムの状態を現実的に設定するために、廃棄体定置直後の過渡的な時期から処分場閉鎖後長期における地層処分システムの熱-水-力学-化学 (T H M C) 状態の変化を評価するための連成解析技術を整備

2. 個別業務の内容 (P)

- (1) 原位置試験データを用いた連成解析評価技術の妥当性確認の準備作業として、室内試験データを用いた入力パラメータの不確実性が及ぼす解析結果への影響を評価
- (2) 解析評価技術の妥当性確認に必要とする原位置試験でのデータの取得

表 1. データを取得する各原位置試験プロジェクトの試験条件

定置方式	温度条件	NUMO-SCで示した緩衝材 (Kunigel V1-30wt% ケイ砂)	NUMO-SCで示した緩衝材以外 (海外産ベントナイト)
縦置き	100℃以上	資源エネルギー庁の委託事業*5	-
	100℃未満	H I P Task C *1	D P R *2
横置き	100℃以上	-	H o t B E N T *3
	100℃未満	-	F E B E X *4

*1: Horonobe International Project (H I P) Task C @ 幌延深地層研究センター

*2: Dismantling of the Prototype Repository (D P R) @ エスボ岩盤研究所 (スウェーデン)

*3: High Temperature Effects on Bentonite Buffers (H o t B E N T) @ グリムゼール試験場 (スイス)

*4: Full - Scale Engineered Barriers Experiment (F E B E X) @ グリムゼール試験場 (スイス) ※試験完了

*5: 高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業「地層処分安全評価検証技術開発 (ニアフィールド長期環境変遷評価技術開発)」@ 幌延深地層研究センター

126

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

3. 取り組んだ内容 (D)

- (1) F E B E X ベントナイトで適用性を示した連成解析技術を用いて、J A E A が過去実施した Kunigel V1 ベントナイトを使用した室内浸潤試験を対象とした T H / T H C 連成の感度解析を機構職員が実施。Kunigel V1 ベントナイトに関して入力パラメータの不確実性が解析結果に及ぼす影響を評価
- (2) 2024年度より D P R プロジェクトに新規参画し、縦置き方式における原位置試験データを拡充

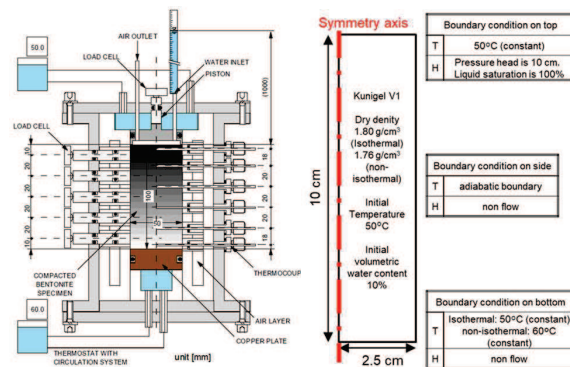


図 1. 解析条件 (試験装置概要出典: 鈴木 他 (2001))

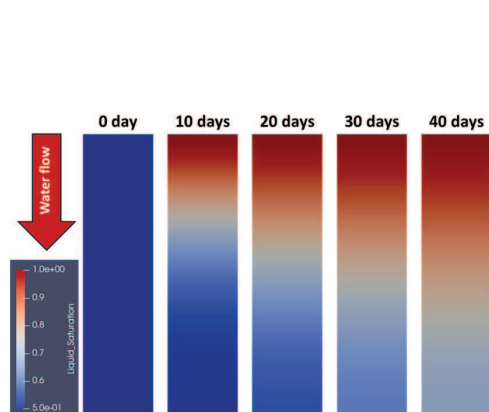


図 2. 飽和度の時間変化

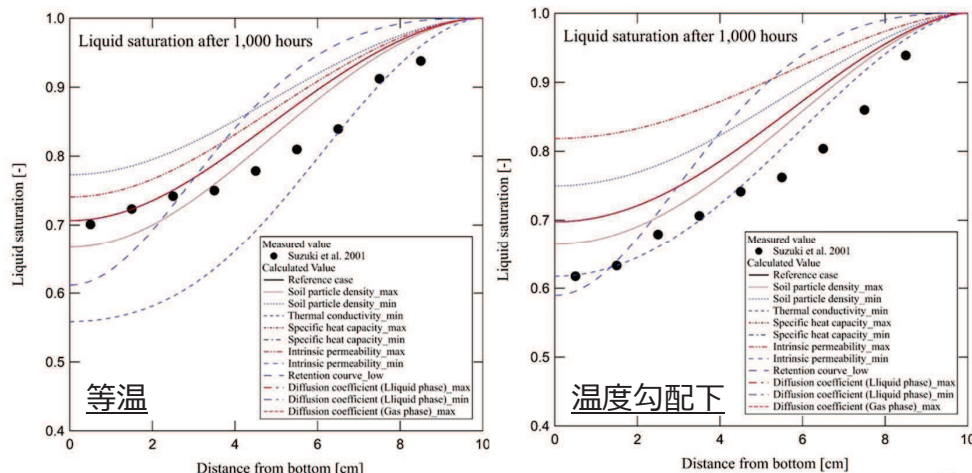


図 3. 試験期間1,000 時間における実験値との比較

127

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

4.自己評価と課題（C）

- (1) Kunigel V1ベントナイトもF E B E Xベントナイトと同様に、乾燥密度が規定するパラメータ（固有透過度等）が緩衝材の温度場や水理場の状態評価へ及ぼす影響の大きいキーパラメータであることを特定。力学場と化学場の状態変遷評価に対してもキーパラメータを特定し、各入力パラメータの不確実性が解析に及ぼす影響を定量化することが必要。これが完了後、原位置試験データとの比較評価によるモデルの妥当性を確認することを計画
- (2) 計画的に原位置試験データを拡充

5.今後の対応（A）

- (1) 過去実施された膨潤圧試験、膨潤変形試験、塩濃縮試験を対象にしたT H M/T H C連成解析を実施し、緩衝材の力学場、化学場の解析評価の適用性を評価。原位置試験レイアウトの非対称性についても考慮可能な三次元幾何学モデルを構築
- (2) 原位置試験の連続的なデータ（温度、相対湿度、間隙圧、全圧、膨潤度及び電気抵抗率）取得を継続



図4.
Hot BENT
原位置試験
(Kober et al.
(2023)を編集)

128

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

[トピック3] T R U廃棄物の核種移行解析モデルの高度化

(論点) T R U廃棄物の核種移行解析モデルの高度化方法や手順は適切か

以下の共通評価ポイントに対応

B: 国際動向やアカデミアとの連携など、外部機関との協同

1.背景・概要

- NUMO-SCの安全評価では、処分坑道に使用されるセメント系材料の状態変遷の不確実性（地下水接触による変質、金属腐食による亀裂発生等）を踏まえ、その安全機能を保守的に取扱
- 地層処分システムの性能をより確からしく評価するため、処分坑道の状態を反映可能な核種移行解析モデルへ高度化

2.個別業務の内容（P）

- (1) T R U廃棄物グループ3（以下、T R U Gr.3）のパッケージA（核種溶出開始時期：処分場閉鎖直後）を対象とした処分坑道の状態変遷評価
- (2) (1)を反映した核種移行評価モデルの構築

3.取り組んだ内容（D）

- (1) T R U Gr.3の処分坑道の状態評価を機構職員自ら実施
- SKBと協働で取得した情報^{*1-5}に基づき金属腐食で発生する亀裂はセメント系材料が有する自己治癒機能により閉塞すると評価
- 地下水接触によるセメント系材料の変質を最新知見を反映した反応輸送解析モデルにより評価

^{*1} 人見 尚、片岡 弘安 (2011) , ^{*2} Desheng LiHao et al. (2023) , ^{*3} Chao Yao et al. (2023) , ^{*4} Gürkan Yıldırım et al. (2015) , ^{*5} Heesup Choi et al. (2016)

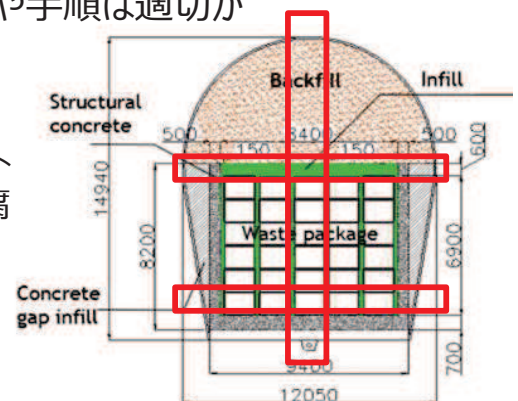


図1. 反応輸送解析のための解析体系（赤枠：解析領域）

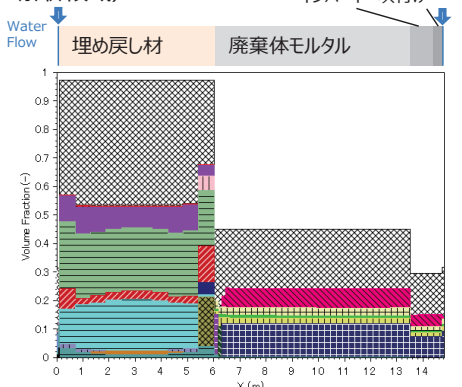


図2. 反応輸送解析によるセメント系材料の状態評価（10万年後）

129

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

3.取り組んだ内容（D）

（2）（1）の評価結果に基づき透水係数と実効拡散係数を設定した三次元地下水流動・粒子追跡解析（図3）と線量評価（図4）を機構職員自ら実施

4.自己評価と課題（C）

- ・ 計画通り、セメント系材料の変質の影響を反映した核種移行解析モデルを構築
- ・ 処分坑道の状態設定はS K B専門家によって適切であることを確認
- ・ 核種移行解析モデルの適切性についてS K B専門家による確認が必要
- ・ 反応輸送解析モデルやセメント系材料中の物質移行モデルの妥当性確認が必要

5.今後の対応（A）

- ・ S K Bとの共同研究を通じた、核種移行解析モデルの高度化
- ・ グリムゼル地下研究所のセメント系材料を対象とした原位置核種移行試験の結果を用いたモデルの妥当性確認

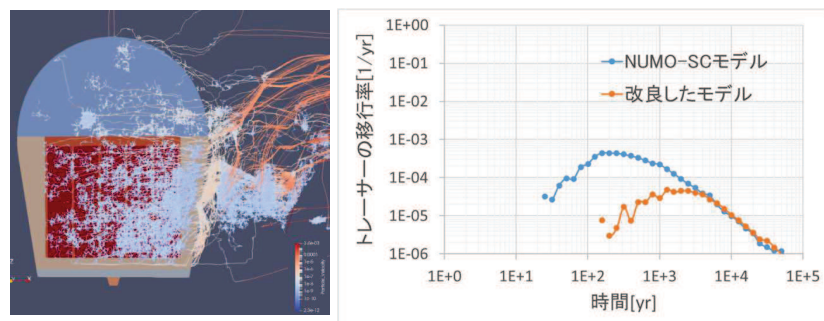


図3. 改良した粒子追跡解析 左：粒子軌跡、右：移行率

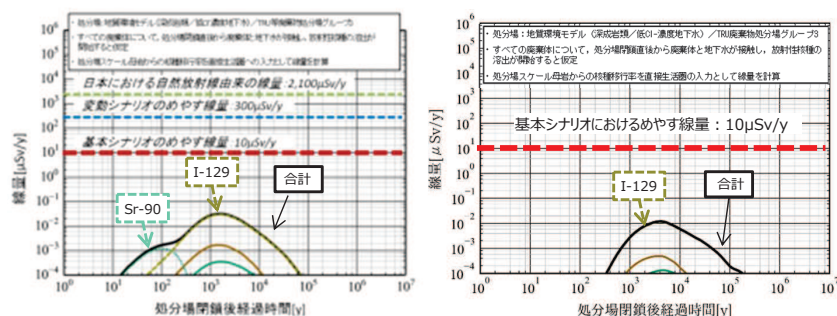


図4. T R U Gr.3深成岩低Cl地下水の線量評価結果
左：NUMO-SC、右：改良したモデル

130

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

[トピック4] 大規模な数値解析を高速に処理する手法等の検討

（論点）大規模粒子追跡解析の計算負荷低減のために導入した補完的解析ツールの開発手順や採用している機械学習手法は適切か

以下の共通評価ポイントに対応
C: 最新の科学技術的知見の反映

1.背景・概要

- ・ 処分場閉鎖後の安全評価では廃棄体から地表までの核種移行挙動を解析コードPartridgeで評価
- ・ 処分場設計の最適化やサイトの調査計画の立案には、条件を変えた解析が多数必要。また、膨大な出力データに対し統計処理や可視化といった適切なデータ処理が不可欠
- ・ 機械学習を適用した解析コードPartridgeの補完的解析ツールを開発

2.個別業務の内容（P）

- ・ 深成岩類高レベル放射性廃棄物処分場のパネルスケール（1 km×1 km×数100 m程度）を対象に二つのツールを開発
- ・ 一部の廃棄体からの核種移行率の結果を基に、残りの廃棄体の結果を予測する予測評価ツール（ニューラルネットワーク*1を利用）
- ・ 粒子の移行挙動から廃棄体をグループ化するクラスター分析ツール（k-means法*2とD B S C A N *3を利用）

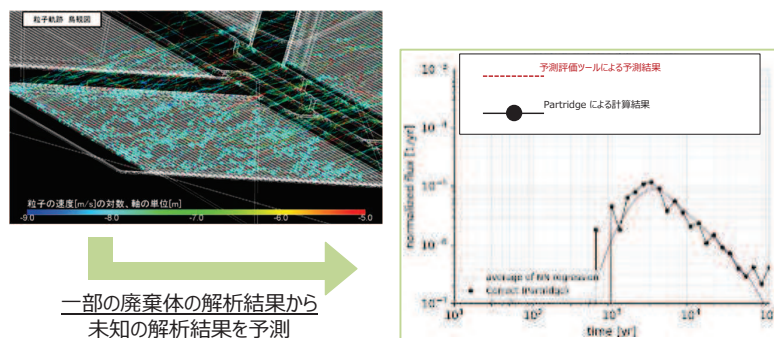


図1. パネルスケールを対象とした予測評価ツールによる結果とPartridgeを用いた解析結果との比較
（対象母岩と設計はNUMO-SCと同様。）

*1 Hinton, Geoffrey E. (2006), *2 Lloyd, Stuart P. (1982), *3 Ester et al. (1996)

131

⑤ 閉鎖後長期の安全評価

3.取り組んだ内容（D）

- 予測評価ツールを開発。パネルスケールの解析へ適用し、一部の廃棄体の解析結果から未知の破過曲線が予測できることを確認
- クラスタ分析ツールを開発。これを用いて廃棄体を分類（図2）し、主成分分析によりトレーサーの移行挙動については、移行挙動に対する亀裂の影響よりも、評価断面までの距離を指標とすることで概ね分類可能と解明

4.自己評価と課題（C）

- パネルスケールを対象とした予測評価ツール、クラスタ分析ツールの開発を通じて、これらのツールが当初挙げた計算負荷低減課題に対する解決手段として有効であることが示された
- スケール拡張の必要性や、観測面の位置の違いによる影響分析等が課題

5.今後の対応（A）

- 予測評価ツールとクラスタ分析ツールの解析スケール拡張に伴う改良
- 両ツールの精度向上に向けた高度化（移行率の時間的連続性を考慮に入れた予測評価ツールの改良など）

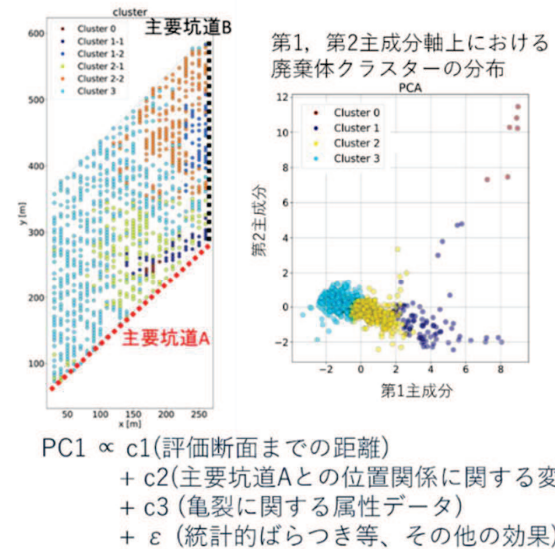


図2. クラスタ分析による廃棄体の分類。第一主成分（PC1）を移行の速さを特徴づける一次元の量と捉え、属性データ（c1-c3）との定量的な相関関係評価を実施、上式の係数を決定していくプロセスを試行。 132

⑥ 技術マネジメント

⑥ 技術マネジメント

評価カテゴリー全体を俯瞰した自己評価

⑥ 技術マネジメント

1. 背景・概要

- ・機構が処分事業を推進していくためには、事業の各段階で求められる技術を適切に準備し、利用可能な状態していくとともに、地層処分に係る技術が信頼に足るものであることについて、広く一般公衆からの理解をえることが不可欠である。
- ・このため、機構では、技術マネジメントとして、人材育成を含む組織・体制の整備、国内外との関係機関との連携や専門家のレビューを通じた技術開発成果の品質向上に関する取組、知識マネジメントに関する取組等を進めている。

2. 取組内容 (P,D)

2024年度においては、以下の取組を計画し実施した。

- ① 事業の進展に対応可能な体制整備・能力強化
 - ・概要調査に進ませていただいた場合を見据えた実施体制、調査計画、調査で必要な資機材等の確保についての検討・準備
- ② 国内外機関との連携・国際貢献の推進
 - ・関連研究機関や大学等の共同研究を進めるとともに、様々な国際共同プロジェクトへの参画を通じ、技術的成果や経験を各国と共有することで、国際レベルの技術水準を維持
- ③ 技術開発成果の品質向上に関する取組
 - ・国内外の関連分野の研究開発動向の把握、評議員会による評価・提言や、技術アドバイザリー委員会などのご意見等の技術開発計画へのフィードバック
- ④ 知識マネジメント基盤の強化
 - ・OECD/NEAの知識マネジメントに係る活動に参加し国際動向を把握、生成AIの導入に係る検討
- ⑤ 人材育成に係る取組
 - ・国際機関(OECD/NEA)への派遣、国際共同研究プロジェクトへの参画（試験現場の立合い/作業への参加を積極的に実施）、横須賀ボーリング実証試験、関連学会・研修等への参加 等

134

⑥ 技術マネジメント

2. 取組内容 (P,D) (の続き)

- ⑥ 地層処分技術に対する信頼を高めるための情報発信
 - ・機構の技術力のアピールや一般の方々を対象とした地層処分技術の理解の促進を図る取組
 - 技術情報の発信（NUMO-TR、技術開発トピックス、学会発表、論文投稿、技術的な説明）
 - 学会（アカデミア）との連携（原子力学会バックエンド部会、大学との共同研究ほか）
 - ・次世代への理解醸成・地層処分の魅力の発信
 - 出前授業・講師の実施
 - オンライン講演会の開催
 - エンジニアリング協会賛助会員企業との意見交換会開催

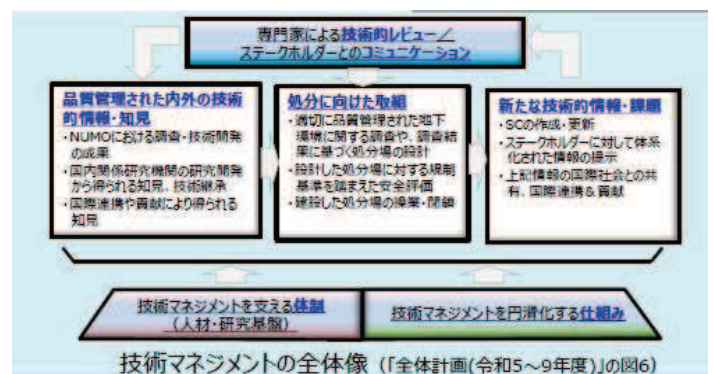
3. 自己評価 (C)

- ・計画していた取組は着実に実施できた。

4. 今後の対応 (A)

- ・2024年度での取組内容は、2025年度においても継続実施する。
- ・継続的に組織の検討を進めるとともに、計画的に必要な人材の育成・確保を進めていく。
- ・分野間の連携も考慮したデータ/情報/知識マネジメントについて、生成AIの活用も含め検討を進める。

参考



⑥ 技術マネジメント

事業を推進する技術マネジメントの強化

(1) 【技術開発成果の品質向上に係る取組み】

■技術開発業務の品質保証プロセスの整備【内部実施】

- ・技術開発成果の品質・信頼性向上に向けた品質保証プロセスの体系的な考え方の整備

- 評議員会による評価・提言や技術アドバイザー委員会等の助言を踏まえた技術開発の取組みについての継続的な自己評価と改善【内部実施】

- a) 評議員会及び技術開発評価委員会の適切な運営と評価・提言の技術開発業務への反映
- ・技術開発評価委員会開催(4/10)
- ・「評価・提言」取りまとめ(6月)、「評価・提言」への対応とりまとめ(9月)
- b) 技術アドバイザー委員会の適切な運営と委員会からの助言の技術開発業務への反映
- ・国内外専門家合同の技術アドバイザー委員会及び公開セッションの開催報告を公表(3/31)
- ・次年度の技術開発計画に関する議論(12/27)

(5) 【人材育成に係る取組み】

- 関係機関と協働した合同研修会やベテラン職員によるOJT等による人材育成【内部実施】
- ・人材育成セミナー(関係5機関による合同研修)プログラム案の作成(9月)及び開催(11/22-26)



- ・ベテラン職員からの技術伝承講座の企画検討(9月)実施(計13回): 地質環境のモデル化・解析
- ・機構若手職員の長期出張(OECD/NEA)の支援: 一時帰国報告会の開催、夏季インターンシップへの貢献等(8/16-31)、NEA内優秀職員賞の受賞

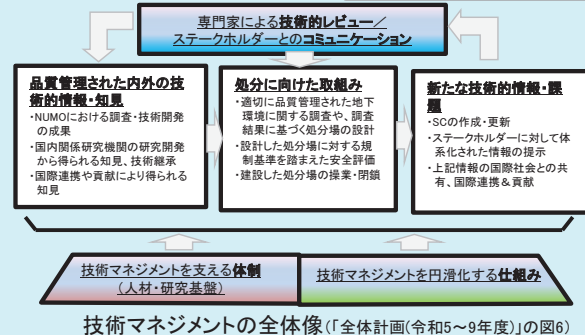
(4) 【要件及び知識を収集、管理するマネジメントシステムの構築】

- 要件及び知識を収集、管理するマネジメントシステムの構築【役務・内部実施】

- a) 知識の活用を支援するデジタルツールに関する既存技術の調査と要件整理
- ・WP-IDKMシンポジウム(日本開催)の運営補助業者の選定(3/26)
- ・生成AI導入に向けた準備完了(3/31)

- b) 要件と知識整備に関するロードマップの改良
- ・技術的事項に関するロードマップ案を作成(3/7)

- c) 規制基準の考え方や整備状況等に関する情報収集
- ・IAEAやICRP等の国際機関の新たな考え方や基準、諸外国の基準等の動向を継続して把握('25年3月)
- ・原子力規制委員会(以下、NRA)が取り組んでいるLLWも含めた検討状況等を引き続き把握('25年3月)
- ・NRAの技術評価検討会に参画('25年10月~'26年9月)
- ・中期的に取組む技術開発に関するNRAと意見交換(4/12.5/30.7/4)し、当初予定のテーマを終了、性能評価に関するNRAとの意見交換実施(2/14)
- d) 廃棄体受入基準の策定に向けた関係機関との連携による情報整備
- ・再処理事業者(JAEAやJNFL)や発電事業者と連携しながら、廃棄体受入基準(WAC)に関する放射能インベントリ等の情報を収集整理('25年3月)
- ・WAC設定に関する廃棄体中のガスや有機物量などに関する情報等の整備('25年3月)
- e) 最新知見を反映したガラス固化体の放射能インベントリの設定(役務)
- ・公開情報に基づき廃棄体の発熱率等を検討し、処分場設計等に用いるモデルインベントリを設定('25年3月)



技術マネジメントの全体像(「全体計画(令和5~9年度)」の図6)

(2) 【地層処分技術に対する信頼を一層高めるための情報発信】

■技術開発成果の分かりやすい情報発信【内部実施】

- a) 様々な学術分野の専門家や一般の方々など相手に応じた情報発信
- ・10年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画制作(3/28完成)
- ・技術開発トピックスの更新(24年度:30件)
- ・原子力学会でのブース展示(9/11-13)
- b) 広報活動・対話活動における技術的な説明
- ・対話型全国説明会における事前質問への情報整理(24年度:281件)
- ・広報部及び地域交流部からの依頼への対応(24年度:20件)
- ・高校生のスウェーデン訪問と報告会の支援
- c) 技術報告書(NUMO-TR)の発行管理
- ・技術報告書(NUMO-TR)の発行(適宜)
- ・「技術開発成果概要2023年度」の公表(10/22)
- d) 学会等への投稿・発表の管理
- ・これまで関わりの少なかった学会等も含めつつ、外部発表計画に沿った計画的な成果の投稿・発表(37件)
- e) 「語彙基盤(地層処分の言葉)」等を活用した技術コミュニケーションの実施
- ・理系の大学生を対象とした地層処分技術に関する基礎講座の開催(目標4回)
- ・原子力学会特別専門委員会が作成した「語彙基盤(地層処分の言葉)」等を活用した様々な学術分野の専門家との技術対話を企画・推進(適宜)

(3) 【共同研究等を通じた国内外機関との連携・国際貢献の着実な推進】

- 国際共同プロジェクトへの参画や共同研究を通じて技術的成果や経験の各国との共有
- ・海外実施主体との活動・連携
- ・共同研究、国際共同プロジェクトの実施
- 幌延国際共同プロジェクトへの参加継続による技術力向上と人材育成
- ・原子力学会企画セッションでの発表(9/11)
- ・現地での現場確認や解析の実施(24年度:5回)
- ・年次報告書の作成(3/31)
- ・'25年度及び'26年度の計画と分担金に合意(3/6)

■国際機関の活動への参加による国際動向の把握と国際貢献

- a) 国際機関の活動への参加と国際動向の把握
- ・OECD/NEAが主催する会合に参加
- b) 諸外国との情報交換
- ・Nagra グリムゼル試験場40周年シンポジウム(9/3-6)
- ・中国CNNCとの意見交換(10/9)
- ・韓国KORADとの二機関会合(11/28)
- ・フィリピン視察団及びチェコ訪問団との意見交換(1/24.2/4)
- c) 機構内における国際情報の水平展開
- ・諸外国の最新情報をタイムリーに機構内に共有(12回)

136

⑥ 技術マネジメント

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応 (第80回評議員会(2024年9月17日開催)報告; 該当箇所抜粋)(1/2)

評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
学会でブースを展示することや、機構との共同研究に関与した学生をリクルートするなど、学生と接点を持つことが効果的だと推察される。	引き続き、学会主催による企業説明会等の機会や大学等との共同研究を通じて、 学生に地層処分技術の魅力を伝える機会 を増やしていきたい。(取組①)	[トピック1]中の・技術情報の発信
学生に研究する機会を与え、地層処分事業の面白さを感じてもらうことが効果的だと思う。いろいろな機関にそのような機会を持ってもらい、合同で発表会を行い学生同士で切磋琢磨してもらうことで、学生に志望してもらえるのではないかな。	大学との共同研究を通じて、 学生に地層処分技術の魅力を伝える機会 を増やしていきたい。(取組①)	[トピック1]中の・技術情報の発信
海外に派遣するキャリアパスを示すことや、地層処分事業の社会的意義を伝えることなどで、学生に夢を持たせることも大事。人材育成の観点では、電力会社では人材育成にコストをかけ、博士号を取得させる例もある。	海外派遣は2023年度より1名実施しているが、活躍する場が様々にあることが学生に対して 魅力ある職場 と映る可能性はあると考えている。ただし、海外派遣や学位の取得については、機構からの押し付けとならないように本人の意向も勘案して慎重に取り組んでいきたい。(取組①②)	[トピック1]中の・技術情報の発信
機構で身に着けた技術力、スキルが地層処分事業以外でも活用でき、国際的に活躍できる人材になれる、というアピールができれば魅力の向上にもつながるのではないかな。	地層処分技術が様々な技術分野からなる総合的で、また国際的であることを発信して、 魅力向上 に努めていきたい。(取組②)	

137

⑥ 技術マネジメント

2023事業年度業務実施結果に対する評価・提言への対応 (第80回評議員会(2024年9月17日開催)報告; 該当箇所抜粋) (2/2)

評議員会からの評価・提言	評価・提言に対する取組	記載箇所
事業が次の段階に進む等の業務環境の急な変化に対して、電力会社や関係機関から要員の支援を期待するというのは一つの考えではあるが、必ずしも地層処分の専門的な知識を有する方が集まるわけではなく、また短期で離れてしまう可能性があると思定される。このような方々に活躍いただけるように短期でスキルを身に付けてもらうよう育成する仕組みは、要員確保のために機構として有しておかなければならないものである。	電力会社や関係機関の要員が潤沢であるわけではないので、機構としては自ら、事業進展に伴い必要となる技術分野や専門性を予測して、必要となる要員を確保すること及び必要となる技術を具備すべく育成していくことは重要であると考えている。このための 要員確保 や効率的な 人材育成策 については引き続き取り組んでいきたい。(取組②③)	[トピック1] 中の ・オンライン講演会
関連分野並びに周辺分野の技術者、研究者を内外から巻き込んで国際的なワークショップやシンポジウムを開催することは、周辺分野の技術者、研究者との議論を深めるのに役立ち、地層処分分野のプレゼンスも高まると考えられる。	2024 年度は、 技術アドバイザリー委員会の海外委員から地層処分に関与する魅力 を日本のステークホルダー（特に若手世代）に対して直接訴える公開セッションの開催を企画している。今後は、OECD/NEA 等の国際機関と連携し、国内外の技術者や研究者が参加するシンポジウムの開催についても検討していく。(取組①③)	[トピック1] 中の ・技術情報の発信 ・オンライン講演会
若い人に当該分野に入っていただくことは理想ではあるが、シニア人材が長く活躍できる方策を併せて考える必要がある。	シニア人材に限らず、経験等に基づく高い専門性が必要となる分野に対して、 どのように人材配置するか という点は、総務部と協働して今後の検討課題として取り組んでいきたい。(取組③)	[トピック1] 中の ・オンライン講演会

138

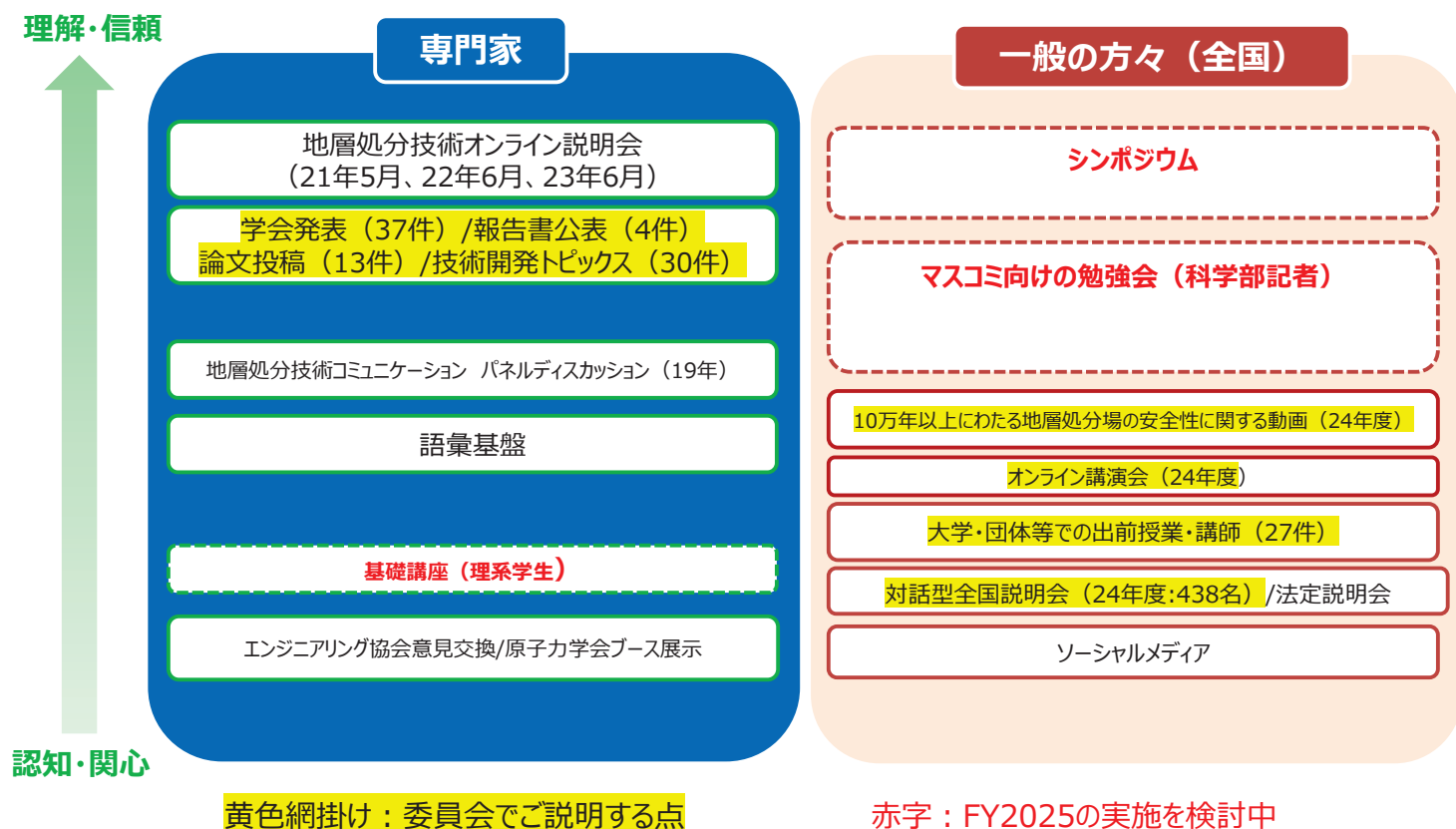
⑥ 技術マネジメント

⑥ 技術マネジメント 委員会にてご説明する論点の自己評価

- [トピック1] 技術情報の発信（NUMO-TR、技術開発トピックス、学会発表、論文投稿、技術的な説明）

⑥ 技術マネジメント

技術情報の発信の全体像



140

⑥ 技術マネジメント

[トピック1] 技術情報の発信（NUMO-TR、技術開発トピックス、学会発表、論文投稿、技術的な説明）

（論点）

訴求先や目的に応じた適切な技術情報の発信ができていますか

以下の共通評価ポイントに対応

B: 国際動向やアカデミアとの連携など、外部機関との協調

1. 背景・概要

- 地層処分の技術的信頼性の向上：全体を俯瞰して技術開発を着実に進めるとともに、その専門的な評価が国民に十分に共有されることが重要（第7次エネルギー基本計画）
- このため、地層処分技術の成熟度や信頼性向上を目的とした技術開発の成果について、広報活動・対話活動を通じ一般の方々にもわかりやすく発信していくことが必要
- また、世代間の知識継承の仕組みやコミュニケーションの仕方、人材育成の仕組み、地層処分事業に関わる魅力などについても、ステークホルダー（特に次世代）へ発信していくことが必要



- 技術開発成果に関して、NUMO-TRや技術開発トピックスとして取り纏めた上で、機構のホームページに掲載を行うと共に、学会発表、論文投稿を継続的に実施する事で、専門分野における機構の技術力のアピールを行った
- 技術部職員が、全国の対話活動や対話の場、広報活動の場を活用し、技術的な観点から情報発信をする事で、一般の方々を対象とした地層処分技術の理解の促進を行った
- 「地層処分事業の推進と安全コミュニケーションにおける世代を超えた挑戦」をテーマとしたオンライン講演会を開催し、次世代への理解醸成・地層処分の魅力の発信に取り組んだ

141

⑥ 技術マネジメント

2.個別業務の内容（P）

（１）学会などの専門分野における機構の技術力のアピール

- ・技術開発成果に基づき、学会発表や論文投稿を計画的に実施
- ・技術開発成果に基づき、NUMO-TR、技術開発トピックスを機構のホームページに掲載

（２）一般の方々を対象とした地層処分技術の理解の促進

- ・対話型全国説明に技術部職員を派遣
- ・10万年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画の制作

（３）次世代への理解醸成・地層処分の魅力の発信

- ・大学・団体等での出前授業・講師の実施
- ・諸外国の実施主体や研究機関の専門家が地層処分事業に関わる魅力や次世代への知識継承を語るオンライン講演会を開催

142

⑥ 技術マネジメント

3.取り組んだ内容（D）

（１）学会などの専門分野における機構の技術力のアピール（赤字：今年度、初めての発表を実施）

ア.学会発表

2024年度の学協会等での技術開発成果等の発表は、15学協会で、合計35件の発表を実施

No	学会名(団体、会議)	発表済	計画
1	日本原子力学会	13	14
2	腐食防食学会	5	6
3	日本セラミック協会	3	3
4	土木学会	2	2
5	日本粘土学会	2	2
6	日本地下水学会	2	2
7	日本地質学会	1	1
8	岩の力学連合会	1	1
9	地盤工学会	1	1
10	全国地質調査業協会連合会	1	1
11	日本保全学会	1	1
12	日本原子力産業協会	1	1
13	The Clay Minerals Society	1	1
14	the Migration	1	1
	合 計	35	37

イ.論文投稿

2024年度の論文投稿に関しては、3学協会に7件、海外ジャーナルに6件の論文投稿を実施

学会名	投稿数
その他（海外ジャーナル）	6
日本原子力学会	4
日本環境測定分析協会	2
腐食防食学会	1
合 計	13

ウ. NUMO-TRの機構のホームページ掲載

2024年度に機構のホームページに、NUMO-TRを4件掲載

名 称	タイトル	ページ数
NUMO-TR-24-01	技術開発成果概要2022	165
NUMO-TR-24-02	2023年度ナチュラルアナログ研究ワークショップ開催報告	74
NUMO-TR-24-03	技術開発成果概要2023	110
NUMO-TR-24-04	高レベル放射性廃棄物処分における横置き・PEM方式の高度化	116

143

⑥ 技術マネジメント

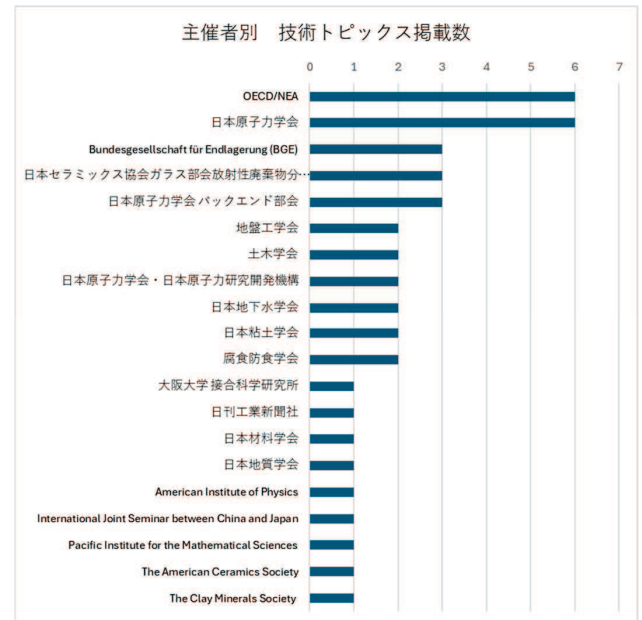
3.取り組んだ内容（D）（続き）

（1）学会などの専門分野における機構の技術力のアピール

エ．技術開発トピックスの機構のホームページ掲載

No.	主 催	掲載数
1	OECD/NEA	6
2	日本原子力学会	6
3	Bundesgesellschaft für Endlagerung (BGE)	3
4	日本セラミックス協会ガラス部会放射性廃棄物分科会	3
5	日本原子力学会 バックエンド部会	3
6	地盤工学会	2
7	土木学会	2
8	日本原子力学会・日本原子力研究開発機構	2
9	日本地下水学会	2
10	日本粘土学会	2
11	腐食防食学会	2
12	大阪大学 接合科学研究所	1
13	日刊工業新聞社	1
14	日本材料学会	1
15	日本地質学会	1
16	American Institute of Physics	1
17	International Joint Seminar between China and Japan	1
18	Pacific Institute for the Mathematical Sciences	1
19	The American Ceramics Society	1
20	The Clay Minerals Society	1
	合 計	42

技術開発成果等は、機構のホームページに技術開発トピックスとしても掲載しており、2024年度の実績は、20主催学協会等に対して、42件の技術開発成果を掲載した。



144

⑥ 技術マネジメント

3.取り組んだ内容（D）（続き）

（2）一般の方々を対象とした地層処分技術の理解の促進

ア．対話型全国説明会に技術部職員を派遣

- ・15開催都市での対話型全国説明会に累計70名の技術部職員を派遣
- ・累計474人の一般の方々に地層処分技術を説明／機構職員が説明する経験を蓄積

No	開催都市	開催日	技術部派遣人数	説明会参加人数
1	栃木県栃木市	2024/5/13	4	33
2	沖縄県沖縄市	2024/5/23	1	12
3	奈良県生駒市	2024/6/11	4	31
4	群馬県太田市	2024/6/20	3	21
5	滋賀県彦根市	2024/6/27	3	18
6	高知県宿毛市	2024/7/10	5	51
7	長野県上田市	2024/7/24	4	26
8	宮崎県都城市	2024/8/27	2	17
9	大阪府大阪市	2024/12/19	7	47
10	愛知県名古屋市	2025/1/20	7	50
11	東京都中央区	2025/1/23	9	45
12	広島県広島市	2025/2/13	8	56
13	島根県大田市	2025/2/20	4	19
14	岐阜県大垣市	2025/3/6	4	22
15	愛媛県松山市	2025/3/13	5	26
	合 計		70	474



事前に頂いた297個の質問に対する回答を事前整理

145

⑥ 技術マネジメント

3.取り組んだ内容（D）（続き）

（2）一般の方々を対象とした地層処分技術の理解の促進

イ. 10万年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画の制作

地層処分の安全評価に関する一般の方の理解を深め、長期の安全確保に納得感を持っていただくため、以下をわかりやすく視覚的に伝える動画を製作した。

- 地層処分システムで生じると想定される現象の時間的変遷
- これに対する安全評価上の考え方

【訴求点】

- ✓ 文章・図では十分な説明が難しい処分場の時間的な変化や放射性核種のふるまいをCGを用いて伝える
- ✓ 適切なサイト選定と設計が行われた処分場は、長期にわたって隔離・閉じ込め機能が発揮される
- ✓ ただし、国際的に合意された考え方に沿って、不確実性を考慮し、あえて厳しい条件を設定して安全性を評価する
- ✓ 現象の理解や解析のデータは、実験（室内試験、地下研究所などにおける原位置試験）やナチュラルアナログなどの科学的根拠に基づいている



制作した動画の一部

146

⑥ 技術マネジメント

3.取り組んだ内容（D）（続き）

（3）次世代への理解醸成・地層処分の魅力の発信

ア. 大学・団体等での出前授業・講師の実施

27大学・団体等に対し、出前授業・講師を派遣し、延べ786人に対し地層処分技術の理解促進を図る機会を創出する事ができた。

No	実施時期	対象の大学・団体名称	出席者数	No	実施時期	対象の大学・団体名称	出席者数
1	24/5/13	環境省／地域WG勉強会	20名	13	24/10/3	四国電力	4名
2	24/5/29	KRS Conference	50名	14	24/10/7	東北大学	15名
3	24/6/8,9,24/9/14,24/11/2	神奈川大学附属中・高等学校	91名	15	24/10/9	中国CNNC他	5名
4	24/7/3	東京都市大・早稲田大の合同	30名	16	24/11/3	NPO法人地球感（東京都市大学）	16名
5	24/7/29	広島大学	97名	17	24/11/11	山口大学大学院	12名
6	24/8/2	NPO法人ハッピーロードネット（福島県、福井県、北海道、東京都の高校生）	13名	18	24/11/30	山陰エネルギー環境教育研究会	9名
7	24/8/5-24/8/13	NPO法人ハッピーロードネット（福島県、福井県、北海道、東京都の高校生）	13名	19	24/12/6	国際情報工科自動車大学校	14名
8	24/8/26-24/8/28	NPO法人地球感（新潟工科大学、東京都市大学）	17名	20	24/12/12	千葉大学ディベート講義	30名
9	24/9/9	NPO法人地球感（新潟工科大学、東京都市大学）	19名	21	24/12/13	長岡技術科学大学	15名
10	24/9/21	磐城桜ヶ丘高校	7名	22	24/12/18	埼玉大学	20名
11	24/9/30	福島工業高等専門学校	119名	23	24/12/23	北海道大学工学部	97名
12	24/9/21	磐城桜ヶ丘高校	6名	24	25/1/22	宇部高専	45名
				25	25/1/22	九州大学	10名
				26	25/1/24	フィリピン研究者	3名
				27	25/1/29	静岡大学	9名
						合 計	786名

147

⑥ 技術マネジメント

3. 取り組んだ内容（D）（続き）

（3）次世代への理解醸成・地層処分の魅力の発信

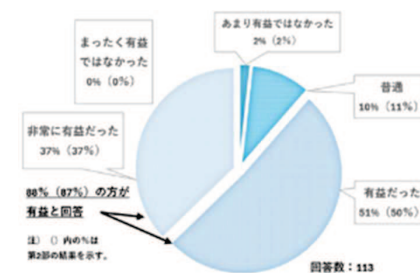
イ. オンライン講演会（24年度）

- 2024年11月22日に、「地層処分事業の推進と安全コミュニケーションにおける世代を超えた挑戦」をテーマとしてオンラインにて講演会を開催した。講演会は、講演とパネルディスカッション（質疑応答を含む）で構成し、イギリス、韓国、スウェーデン、フランス、アメリカの専門家に登壇いただいた。
- 当日の講演映像と講演資料を機構ホームページ上で掲載し、開催報告を行った。
- 研究機関や大学などから約160名*にご参加いただいた。113名の方にご回答いただいたアンケートの結果、第1部講演は88%、第2部のパネルディスカッションは87%の方から有益との回答が得られた。

*参加者の年代別内訳：20代16%、30代12%、40代9%、50代27%、60代以上37%



第2部パネルディスカッションの様子



第1部講演会と第2部パネルディスカッションに対する意見

148

⑥ 技術マネジメント

4. 自己評価と課題（C）

（1）学会などの専門分野における機構の技術力のアピール

15学協会、合計37件の学会発表や3学協会7件、海外ジャーナル6件の論文投稿を実施したが、1つの学協会当たりの情報発信量が絶対的に少ない状況のため、引き続き技術開発成果の学会発表や論文投稿を通じて機構の技術力をアピールする必要がある。

（2）一般の方々を対象とした地層処分技術の理解の促進

15開催都市における対話型全国説明会に技術部職員を派遣し、延べ474人の一般の方々に、地層処分技術の理解促進を図る事ができたが、地層処分技術の理解が醸成されたとは言えないため、引き続き理解促進のための継続する必要がある。

（3）次世代への理解醸成・地層処分の魅力の発信

27大学・団体等での出前授業や講師派遣に技術部職員を派遣し、延べ786人の次世代への地層処分技術の理解促進を図る事ができた。

オンライン講演会で取得したアンケート結果では8割以上の方から有益と回答いただき、地層処分への関心喚起の一助となったと評価。

訴求先や目的に応じて、様々な取組を行った事で、技術情報の発信を行う事ができたと評価する。

149

⑥ 技術マネジメント

5.今後の対応（A）

（１）学会などの専門分野における機構の技術力のアピール

引き続き、技術開発成果に関して、学会発表や論文投稿、技術開発成果に関して、機構のホームページでの情報掲載は継続する。また、機械学会などの接点の少ない分野のアカデミアに対する理解促進を図るための施策（語彙基盤の活用なども視野）を計画し、実施していく。

（２）一般の方々を対象とした地層処分技術の理解の促進

引き続き、対話型全国説明会に技術部職員を派遣し、地層処分技術の理解促進を継続する。また、2024年度に10万年以上にわたる地層処分場の安全性に関する動画を作成し、伝える質の向上に取り組んだので、これらのツールを有効活用する方策を検討し、地層処分技術の理解促進を実施していく。

地層処分技術の進展をわかりやすく説明する資料を作成する。

国民への技術的信頼性の理解促進には、専門家の周辺から一般に浸透させていくというアプローチが効果的と考えられるため、専門家への理解促進を図るアプローチを強化する取組を実施する。

（３）次世代への理解醸成・地層処分の魅力の発信

引き続き、出前授業や講師派遣、学会誌への寄稿などを通じて、次世代への地層処分の理解醸成や魅力の発信を実施する。また、ターゲットやテーマを変更し、国際シンポジウムの開催を検討していく。

引き続き、訴求先や目的に応じて、様々なツールを駆使しながら、技術情報の発信を行う事で、地層処分技術の理解促進を図る取組を実施していく。

150

⑥ 技術マネジメント

【参考】：日本原子力学会ブース出展）2024年秋の大会

概要

✓ 原子力を専攻する学生に、NUMOと地層処分について理解いただくことを目的としてブースに出展

✓ 2024年9月の3日間で計71名（内、学生19名）がブースを訪問

✓ 学生の声（15名：就職活動を終えた学部4年生、修士2年生を除く）



インターンや機構説明会に参加してみたいと思いましたか。（n=15）



➤ 関連するスキルや知識を持つ学生にアプローチしやすく、採用活動につながる取組として期待できる

➤ インターンや機構説明会参加者数への貢献度については効果測定を継続

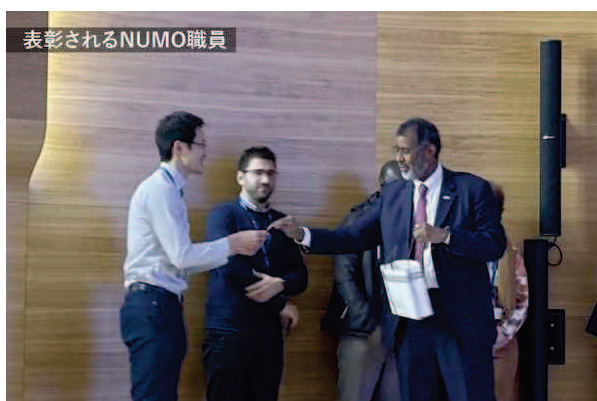
151

⑥ 技術マネジメント

【参考】：OECD/NEAへの長期出張中の機構職員が表彰

概要

- ✓ OECD/NEAに長期出張している機構技術系職員が、所属部署の功労者として表彰。
- ✓ この賞は、OECD/NEA内部の表彰プログラムの一環で、各課から1名が所属課長によって選出されるもの。
- ✓ 今回は全職員152名中7名が選出され、その内の1名に機構技術系職員が選出。



➤ 地層処分技術全般に関するマネジメント能力の向上、国際人脈の形成に効果