

地層処分研究開発の全体計画と資源エネルギー庁委託事業の現状について

北村 暁*1

高レベル放射性廃棄物 (HLW) および地層処分相当 TRU 廃棄物の地層処分のための研究開発について、資源エネルギー庁では実施内容を調整するための会議体を設置している。この会議体では、必要な研究開発内容を網羅するとともに、重複を排除するなどの調整を経た上で、5 年といった期間での全体的な計画 (全体計画) を策定してきている。あわせて、策定された全体計画の一部の内容について、資源エネルギー庁自ら地層処分研究開発に関する委託事業を実施している。本講演では、これまでの全体計画策定の経緯を紹介するとともに、資源エネルギー庁委託事業の現状を紹介する。

Keywords: 高レベル放射性廃棄物, TRU 廃棄物, 地層処分, 研究開発事業, 全体計画

Agency for Natural Resources and Energy (ANRE) in Japanese Ministry of Economy, Trade and Industry has established a coordination council for research and development (R&D) programs for geological disposal of high-level radioactive waste (HLW) and TRU waste. The council has been establishing R&D plans for a certain period (e.g., 5 years) through managing R&D programs from the viewpoint of their comprehensiveness and exclusion of duplications. Funding programs for part of the established R&D plans have also been performed by ANRE itself. The present lecture introduces a history for establishing general R&D plans and status of the present R&D programs funded by ANRE.

Keywords: high-level radioactive waste, TRU waste, geological disposal, research and development programs, general research and development plan

1 はじめに

使用済燃料の再処理に伴い使用済燃料からウラン・プルトニウムを分離した後に残存する物を固型化した高レベル放射性廃棄物 (HLW) および、使用済燃料の再処理工場や再処理によって回収されたウランやプルトニウムを取り扱う燃料加工工場から発生する低レベル放射性廃棄物 (これを「TRU 廃棄物」という) の一部は、地下 300 m 以上の深い地層中に埋設処分することが法令[1]で定められており、この法令に基づいて最終処分に関する基本方針[2]が示されている。平成 11 年に「地層処分研究開発第 2 次取りまとめ」[3] (以下、第 2 次取りまとめ) が公表されて以来、国 (資源エネルギー庁および文部科学省) は地層処分技術の信頼性向上に向けて研究開発を進める一方、地層処分の実施主体である原子力発電環境整備機構 (NUMO) が地層処分事業実施に向けた技術開発を進めてきた。

平成 30 年度からは、国が実施する基盤的な研究開発と NUMO が実施する実用的な技術開発について、内容の網羅と重複の排除を目的とした一体的な計画 (全体計画) [4] を策定し、研究開発を進めている。本講演では、第 2 次取りまとめ[3]以降の国の研究開発計画の経緯を整理して紹介するとともに、資源エネルギー庁の実施事業の現状を概説する。

2 地層処分研究開発に関する計画策定の経緯について

2.1 地層処分基盤研究開発に関する全体計画 (研究開発マップ) 策定の経緯

高レベル放射性廃棄物 (HLW) の地層処分に関する国の

基盤研究については、平成 11 年に公開された第 2 次取りまとめ[3]以降に包括的な計画を策定するようになった[5]。その後、平成 17 年の原子力政策大綱[6]を受け、国の地層処分研究開発を実施する関係機関が一堂に会し、研究開発項目の網羅的な設定や重複の排除を目的とした「地層処分基盤研究開発調整会議」(以下、基盤調整会議) が設立された。この基盤調整会議における議論に基づいて、フェーズ 1 が「平成 17 年度ごろまで」と定義されるとともに、フェーズ 2 (当初は平成 18~22 年度 (5 年) の予定だったが、平成 21 年 7 月の改訂時に平成 24 年度まで 2 年延長された) [7]およびフェーズ 3 (平成 25~29 年度) [8]の全体計画が策定されている。

また、TRU 廃棄物に対しても、「TRU 廃棄物処分技術検討書—第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ—」(第 2 次 TRU レポート) [9]の公開後、HLW 地層処分と時期を合わせる形でフェーズ 1~3 が設定され、HLW と同じく基盤調整会議における議論に基づいて全体的な計画が策定されている[8, 10]。

一方、NUMO では、国の基盤研究に相対する形で、実用・実践的な位置づけとなる技術開発計画が策定されてきた (たとえば[11])。

2.2 「地層処分事業の技術開発計画」との統合による地層処分研究開発に関する全体計画の策定

このような経緯のもと、最終処分法における基本方針[2]に基づき設置された原子力委員会放射性廃棄物専門部会が平成 28 年秋に取りまとめた評価報告書[12]において、研究開発等における関係行政機関等の間の一層の連携強化が望まれるとともに、NUMO は一層のリーダーシップを発揮し、実施主体・基盤研究開発機関一体で「真の全体計画」を策定すること等が必要とされた。このことを受け、平成 29 年度に「地層処分研究開発調整会議」(以下、調整会議) [13]を設置し、NUMO の中期技術開発計画[11]を含める形で、平成 30 年度からの 5 年間における「地層処分研究開発に関する全体計画」[14] (以下、全体計画) をとりまとめた。この調整会議においては、全体計画を策定するとともに、

Status on general research and development plan for geological disposal and R&D programs conducted by Agency for Natural Resources and Energy by Akira KITAMURA (kitamura-akira@meti.go.jp)

*1 経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物対策課
Radioactive Waste Management Policy Division,
Agency for Natural Resources and Energy,
Ministry of Economy, Trade and Industry
〒100-8931 東京都千代田区霞ヶ関 1-3-1

本稿は、日本原子力学会バックエンド部会第 38 回バックエンド夏期セミナーにおける講演内容に加筆したものである。

成果の体系化、研究開発の連携および重複の排除について調整が行われた。さらに、令和2年3月には、NUMOが作成した包括的技術報告書の外部レビューや、処分事業および研究開発の進捗状況等の反映を考慮した改訂版[4]を公開している。

なお、第6次エネルギー基本計画[15]においても、「国、NUMO、国立研究開発法人日本原子力研究開発機構（JAEA）等の関係機関が、全体を俯瞰して、総合的、計画的かつ効率的に技術開発を着実に進める。この際、幌延の深地層研究施設等における研究成果を十分に活用していく」ことが明記されている。

2.3 現行全体計画（平成30年度～令和4年度；令和2年3月改訂）の目次と研究開発分担

現行全体計画（平成30年度～令和4年度；令和2年3月改訂）[4]の目次と研究開発分担をTable 1に示す。地層処分事業に必要な研究開発の進め方として、原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会が昭和55年に公表した「高レベル放射性廃棄物処理に関する研究開発の推進について」[16]において、①地層に関する調査研究、②工学バリアに関する研究、③地層処分システム研究を行うことが示された。以降はこれら3分野を軸に研究開発が進められてきており、上記①～③の各分野は現行全体計画のそれぞれ2.1～2.3節に対応している。現行全体計画では、さらに「中長期的に研究開発を進める上での重要事項」として、3.1節に技術マネジメント、3.2節に代替処分オプションについて記載され

Table 1 Table of contents on general research and development plan for geological disposal (FY2018–FY2022), revised in March, 2020 [4]

番号	標題	基盤的な 研究開発 (国・JAEA等)	実用的な 技術開発 (NUMO)
1.	はじめに		
2.	研究開発項目と内容		
2.1	地層処分に適した地質環境の選定及びモデル化		
2.1.1	自然現象の影響	○	○
2.1.2	地質環境の特性	○	○
2.2	処分場の設計と工学技術		
2.2.1	人工バリア	○	○
2.2.2	地上・地下施設	○	○
2.2.3	回収可能性	○	○
2.2.4	閉鎖前の安全性の評価	○	○
2.3	閉鎖後長期の安全性の評価		
2.3.1	シナリオ構築	○	○
2.3.2	核種移行解析モデル開発	○	○
2.3.3	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	○	○
3.	中長期的に研究開発を進める上での重要事項		
3.1	技術マネジメント	○	○
3.2	代替処分オプション	○	—
4.	おわりに		

ている。現行全体計画の実施内容については、調整会議の議論を経て、事業に必要な研究開発が網羅されるとともに、国（研究機関）が実施する基盤的な研究開発とNUMOが実施する実用的な技術開発が重複しないよう整理されている。

3 資源エネルギー庁実施事業の概要と主な成果

本講演時点（令和4年8月）において、資源エネルギー庁では、「高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費」の中で8件の事業を実施している。あわせて、人材育成のためのプログラムを「放射性廃棄物共通技術調査等委託費」の中で実施している。令和4年度における事業名とそれぞれの実施事業者について、全体計画における主な実施項目番号とともにTable 2に示す。

以下に各事業の概要と主な成果を述べる。詳細については、資源エネルギー庁Webサイト[17]に掲載されている各事業の報告書を参照されたい。

3.1 地質環境評価関係

地質環境を適切に評価するための調査・評価技術を中心に、3事業を実施している。

地質環境長期安定性評価技術高度化開発では、火山・火成活動、深部流体の移動・流入、地震・断層活動、隆起・侵食などの自然現象に対して示された個別の研究開発課題に対し、各学術分野における最新の研究を踏まえた技術の適用による事例研究を通じて、課題の解決に必要な知見の蓄積や調査・評価技術の高度化を進めている。これまでに、電磁探査や地震波解析（S波スプリッティング解析、地震波トモグラフィ等）などの地球物理学的手法、小断層解析などの地質学的手法、地下水・ガスの同位体分析などの地球化学的手法を適切に組み合わせることにより、地下深部のマグマの活動範囲や、深部流体の化学・熱的特徴および移行経路、地下に伏在する活構造の分布などを高精度に把握しうる手法を提示した。また、幅広い時空間スケールでの隆起・侵食速度の評価手法として、熱年代法や宇宙線生成核種法、ルミネッセンス法等の個別要素技術の適用性を検討し、これまで年代測定が困難であった堆積物に対しても堆積年代の推定を可能とすることなどにより、隆起・侵食に係る調査・評価技術の拡充を図った。

岩盤中地下水流動評価技術高度化開発では、概要調査において重要となる涵養域から流出域までの広域的な地下水流動（移流場）や地下水が長期にわたり滞留する領域（拡散場）の三次元分布に係る調査・評価の信頼性向上に向け、これまでに整備された水理・物質移動場の特性に係る調査・評価技術の妥当性の確認を通じて、それぞれの水理・物質移動場のスケールや特徴に応じた方法論として整備する。これまでに、瑞浪地域（移流場）を事例として、スケールに応じた最適な水理・物質移行パラメータ設定の手法を提示するとともに、地下水年代を考慮して広域地下水モデルで使用するパラメータ（透水係数や間隙率など）を校正する方法を例示し、地下水年代の考慮が効果的であることを確認した。また、幌延地域（拡散場）を事例として、物理探査とボーリング調査を組み合わせ、広域スケールの範

Table 2 R&D programs and their implementers for geological disposal in FY2022

事業名	実施事業者	全体計画における 主な実施項目番号
【高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発委託費】		
地質環境長期安定性評価技術高度化開発	(国研)日本原子力研究開発機構, (一財)電力中央研究所	2.1.1
岩盤中地下水流動評価技術高度化開発	(国研)日本原子力研究開発機構, (一財)電力中央研究所	2.1.2
沿岸部処分システム評価検証技術開発	(国研)産業技術総合研究所, (一財)電力中央研究所, (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター	2.1.2, 2.2.1
地層処分施設閉鎖技術検証試験	(国研)日本原子力研究開発機構, (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター	2.2.2
回収可能性技術高度化開発	(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター, (国研)日本原子力研究開発機構	2.2.3
ニアフィールドシステム評価検証技術開発	(国研)日本原子力研究開発機構, (公財)原子力環境整備促進・資金管理センター	2.2.1, 2.3
TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発	(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター, (国研)日本原子力研究開発機構	2.2.1, 2.3.1
直接処分等代替処分技術高度化開発	(国研)日本原子力研究開発機構	3.2
【放射性廃棄物共通技術調査等委託費】		
放射性廃棄物に係る重要な基礎的技術に関する研究調査の支援等に関する業務	(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター	3.1

困から長期的に安定な水理場・化学環境が存在する施設スケールを絞り込み、その三次元分布を調査・評価する方法を例示した。さらに、塩素濃度と塩素-37 同位体比を用いて場の物質移行が拡散支配か移流支配かを判別する方法や、クリプトン-81 による地下水年代測定の採取・分析方法を整備し、その有効性を確認した。

沿岸部処分システム評価検証技術開発では、沿岸部特有の地質環境特性と、それを調査するための手法について、体系化も含めてさらなる知見の集積を進めている。これまでに、文献調査から概要調査を想定した海陸連続三次元地質環境モデルについて構築手法の検討と不確実性の低減に向けた評価を実施した。また、沿岸部特有の地質環境特性把握に向けた新たな調査技術を含むボーリング調査の体系化や、海底湧出地下水調査ならびに浅海域における三次元音波探査など沿岸部海域を対象とした調査手法について技術開発と体系化に向けた検討を行った。さらに、全国を対象とした深層地下水データから類型化した沿岸部の地下水質に基づいて、地下水成分の影響を想定して実施した各種試験により、操業から再冠水までの期間を想定した支保工等の設計に関わるセメント系材料の化学的変質に伴う力学特性変化、ならびに緩衝材（ベントナイト）の自己シール性に関わる膨潤特性やイオン交換挙動の体系的な知見整備、さらに緩衝材中のオーバーパックの変位挙動に関するデータ拡充を実施した。

3.2 処分場の設計・工学技術関係

処分場の設計・工学技術関係のうち、工学規模の施工試験などを中心に2事業を実施している。

地層処分施設閉鎖技術検証試験では、坑道構築に必要なコンクリート覆工の化学的な劣化や地環境の長期的な変遷などの長期的影響も視野に入れつつ、坑道周辺の掘削損傷領域が水みちとなり地下施設と地上とが直結する物質移行経路となり得る可能性について検証するとともに、坑道シーリングに期待する性能の具体化や設計評価技術の改良・高度化や、施工オプションの整備や品質管理手法の高度化に資する基盤情報を整備している。これまでに、JAEA 幌延深地層研究センターの地下施設において、底盤部の止水

壁施工試験を実施するとともに、止水プラグ施工のためのベントナイト吹付け試験を実施し、吹付け工法の適用性や乾燥密度や含水比のばらつきなどの施工品質を確認した。また、岩種や配合に応じた埋め戻し材の材料特性に係る技術情報や、環境条件や処分場設計のバリエーションに応じて柔軟かつ適切な技術選択を可能とする複数の埋め戻し施工技術を整備した。さらに、オーバーバック・緩衝材・埋め戻し材に関する品質保証体系の素案を整理するとともに、地下調査施設の実証試験等を想定した原位置状態把握技術（光ファイバ等）の適用可能性を示した。

回収可能性技術高度化開発では、HLW 廃棄体回収技術の高度化（迅速化および回収容易性の向上）のための技術開発に取り組むとともに、回収可能性の維持に伴う影響評価技術の整備を進めている。これまでに、包括的技術報告書で示されている2つの定置概念（縦置き・ブロック方式と横置き・PEM方式）に対して、廃棄体を拘束する土質材料の除去技術の迅速化を図り、設定した目安の除去時間が達成できる見通しを得るとともに、廃棄体回収の作業時間短縮（容易性向上）を図る詳細設計オプション案を考案した。また、除去作業を省略するオプション案の成立性・実現性の提示に向けた技術開発課題を抽出・整理した。さらに、回収可能性の維持期間の追加に伴う安全性への影響について、建設～回収までの状態変遷を表現するストーリーボードを整備した。安全性に影響を及ぼす要因やシナリオを整理するとともに、定量化に必要な物性値や地質環境のモデル化手法を、実際の地下環境を活用し整備することで、回収可能性の維持が処分システムの安全性へ及ぼす影響を分析・整理した。

3.3 人工バリアの性能評価および閉鎖後長期の安全性評価関係

処分場の設計・工学技術関係のうち人工バリアの性能を評価する試験研究や、閉鎖後長期の安全性の評価のための試験研究やモデル化などについて、3事業を実施している。

ニアフィールドシステム評価検証技術開発では、HLW を対象として、人工バリアとその設置などにより影響を受けると考えられる人工バリア近傍の岩盤とを合わせた領域

(ニアフィールド)、廃棄体定置後の過渡的な時期から閉鎖後長期に至る期間を対象に、地層処分システムの構成要素間および諸現象間の相互作用を考慮した現象の評価、地質環境の条件に応じた核種移行現象理解とデータの取得、ニアフィールド環境の長期変遷を評価した結果を反映した核種移行解析手法の検討を実施している。これまでに、異なる材料が共存するニアフィールドの過渡期から長期の環境変遷を評価するため、原位置試験や天然類似試料分析等によって、金属の腐食、緩衝材の変質、セメントと岩石の相互作用に関する評価モデルを構築したほか、緩衝材の流出に関する抑制対策技術と評価方法を提示した。また、実際の地質環境の特徴やニアフィールドシステムの長期環境変遷を考慮した核種移行評価を可能とするため、結晶質岩や堆積岩を対象とした室内試験や原位置試験等を通じて、より現実的な核種移行評価モデルを構築した。さらに、上記の個別現象研究の成果を踏まえつつ、異なる材料の相互作用を含むニアフィールドの長期変遷と、その変遷に応じた核種移行特性の変化を考慮した評価技術を構築した。

TRU 廃棄物処理・処分技術高度化開発では、TRU 廃棄物を対象として、人工バリアの閉じ込め機能の向上、坑道閉鎖前の安全性の評価に向けた技術開発および地層処分システムの状態設定のための現象解析モデルの高度化に向けた研究開発を進めてきている。これまでに、プレキャストセメント系充填材と角型金属容器で構成される実規模大の廃棄体パッケージの製作性確認試験を実施し、溶接後熱処理による残留応力低減やガス発生抑制のための充填材製作時の乾燥条件等、閉鎖後数百年程度の核種の閉じこめ性をもつ容器の製作に必要な技術を取りまとめた。また、火災発生時のアスファルト固化体の延焼に伴う硝酸塩と有機物の化学反応の促進の可能性について評価するために、模擬アスファルト固化体の熱量測定を実施し、評価に必要となるアスファルト固化体の発熱速度モデルを整備した。さらに、モックアップによるガス移行試験により、既往の一次元要素試験と異なる三次元の二相流特性や低圧力での破過を確認し、それらの挙動を再現できるようにモデルを改良した。あわせて、TRU 廃棄物処分システムの状態設定のために、個別現象における各モデルの高度化を実施した。

直接処分等代替処分技術高度化開発は、わが国における地層処分の対象物がガラス固化体と一部の TRU 廃棄物である[1]という前提に対して、「将来に向けて幅広い選択肢を確保し、柔軟な対応を可能とする観点から、使用済燃料の直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を」[15]実施しているものである。本事業では、平成 27 年に公開された「直接処分第 1 次取りまとめ」[19]で抽出された使用済燃料の処分に特有の課題について、人工バリアの成立性の評価の高度化への対応、地質環境条件や使用済燃料の多様性への対応等に重点をおいて研究開発を進めている。これまでに、諸外国における直接処分の処分容器の材料である銅に着目し、日本の処分環境で想定しうる硫化物の濃度に応じた処分容器としての寿命評価の見通しを提示した。また、日本の地下水における炭酸濃度に着目し、炭酸濃度とウラン酸化物の溶解速度の関係を定量化した。さらに、超深孔処分に関する諸外国での検討事例や関連技術の現状

を調査し、技術的実現性に係る課題等を提示した。

3.4 技術マネジメント関係

放射性廃棄物に係る重要な基礎的技術に関する研究調査の支援等に関する業務では、主に若手研究者の育成を目指して複数のプログラムを実施している。これまでに、大学・研究機関の若手研究者に委託し、合計で 14 件の地層処分に関する萌芽的・基礎的研究テーマの実施により、若手研究者の育成支援と地層処分分野の研究者の裾野拡大に貢献した。また、地層処分に関する若手研究者が参加する人材育成セミナーを、内容や形式を見直しつつ平成 30 年度から 5 回開催し、参加者が異分野の専門家との相互理解を図るとともに協働の重要性等を学ぶことが可能なセミナープログラムを作成した。あわせて、学習者が地層処分事業全般について説明できる素養を独学で身に付けることを目的とした地層処分に関するリテラシー育成教材を作成中である。

4 次期全体計画策定に向けた準備状況

現行の全体計画の対象期間が令和 4 年度末で終了することから、令和 5 年度以降の次期全体計画の策定に向けて、調整会議[13]が令和 4 年 6 月から再開されている。第 7 回（令和 4 年 6 月 6 日）および第 8 回（令和 4 年 8 月 10 日）では、資源エネルギー庁、NUMO および JAEA による研究開発状況を共有・整理するとともに、次期全体計画の項目立ての案を提示した[13]。次期全体計画では、開発戦略を明示するとともに、地層処分事業の進展に伴い、実証に向けた内容の充実化や項目立ての見直しを図ることや、「技術マネジメントの整備」を研究開発項目として明示的に位置づけること、などを予定している。

今後、次期全体計画の案を提示し、調整会議で議論を行い、承認を得た上で、次期全体計画に基づいた研究開発を令和 5 年 4 月に開始する予定である。

5 おわりに

国および NUMO による地層処分研究開発については、「地層処分研究開発に関する全体計画（平成 30 年度～令和 4 年度）」に沿って、処分事業における各段階や各スケールに応じて着実に進めてきている。その一方で、処分事業として文献調査が開始され、対話活動が活発になっている現在では、地質環境の長期安定性をわかりやすく説明するとともに、研究開発計画を体系化する必要性を認識している。次期（令和 5 年度以降）の全体計画の策定に向けては、地層処分研究開発調整会議を再開し、現状の研究開発状況を共有するとともに、次期全体計画の項目立ての案を提示したところである。次期全体計画に基づいた研究開発は、令和 5 年 4 月に開始される予定である。

参考文献

- [1] 日本国政府：特定放射性廃棄物の最終処分に関する

- 法律. 平成十二年六月七日法律第百十七号（最終改正：平成二十八年四月一日法律第六十九号）(2016).
- [2] 日本国政府: 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針. 平成 27 年 5 月 22 日閣議決定 (2015).
- [3] 核燃料サイクル開発機構: わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性-地層処分研究開発第 2 次取りまとめ-総論レポート. JNC TN1400 99-020 (1999).
- [4] 地層処分研究開発調整会議: 地層処分研究開発に関する全体計画（平成 30 年度～令和 4 年度；令和 2 年 3 月改訂）. (2020).
- [5] 核燃料サイクル開発機構研究開発課題評価委員会（廃棄物処理処分課題評価委員会）: 平成 13 年度研究開発課題評価（中間評価）報告書: 課題評価「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発の全体計画」. JNC TN1440 2001-008 (2001).
- [6] 原子力委員会: 原子力政策大綱 (2005).
- [7] 資源エネルギー庁, 独立行政法人日本原子力研究開発機構: 高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画 (2006); 同 (平成 20 年度版) . (2009).
- [8] 地層処分基盤研究開発調整会議: 地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成 25 年度～平成 29 年度）(2013); 同【研究開発マップ】. (2014).
- [9] 電気事業連合会, 核燃料サイクル開発機構: TRU 廃棄物処分技術検討書-第 2 次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ-. JNC TY1400 2005-013 / FEPC TRU-TR2-2005-02 (2005).
- [10] 資源エネルギー庁, 独立行政法人日本原子力研究開発機構: TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画 (2006); 同 (平成 20 年度版) . (2009).
- [11] 原子力発電環境整備機構: 地層処分事業の技術開発計画（2018 年度～2022 年度）改訂版. NUMO-TR-20-05 (2020).
- [12] 原子力委員会放射性廃棄物専門部会: 最終処分関係行政機関等の活動状況に関する評価報告書. (2016).
- [13] 経済産業省: 地層処分研究開発調整会議 (online). https://www.meti.go.jp/shingikai/energy_environment/chiso_shobun/ (accessed 2022-11-28).
- [14] 地層処分研究開発調整会議: 地層処分研究開発に関する全体計画（平成 30 年度～平成 34 年度）. (2018).
- [15] 日本国政府: エネルギー基本計画. 令和 3 年 10 月閣議決定 (2021).
- [16] 原子力委員会放射性廃棄物対策専門部会: 高レベル放射性廃棄物処理に関する研究開発の推進について. (1980).
- [17] 資源エネルギー庁: 委託事業等の成果報告書 (online). https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/library/library06.html (accessed 2022-11-28).
- [18] 原子力発電環境整備機構: 包括的技術報告: わが国における安全な地層処分の実現-適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築-要約. NUMO-TR-20-01 (2021).
- [19] 日本原子力研究開発機構基盤技術研究開発部: わが国における使用済燃料の地層処分システムに関する概括的評価-直接処分第 1 次取りまとめ-. JAEA-Research 2015-016 (2015).