

地層処分事業の技術開発計画

(2018 年度～2022 年度)



2018 年 6 月

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)

2018 年 6 月

原子力発電環境整備機構

©原子力発電環境整備機構: Nuclear Waste Management Organization of Japan, 2018

本資料の全成果は著作権により保護されています。全部または一部を無断で複写・複製・転載することを禁じます。複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒108-0014 東京都港区芝4丁目1番地23号 三田NNビル12階

原子力発電環境整備機構 技術部

All parts of this work are protected by copyright. No parts of this publication may be reproduced, stored in the retrieval system, or transmitted, in any form or by any means, without the prior permission of NUMO. Inquiries about copying and reproduction should be addressed to:

Science and Technology Department

Nuclear Waste Management Organization of Japan

Mita NN Bldg.1-23, Shiba 4-chome, Minato-ku, Tokyo 108-0014 Japan

目次

1. はじめに	1
2. 本計画における技術開発の内容	3
2.1 地層処分に適した地質環境の選定及びモデル化	4
2.1.1 現状と基本方針	4
2.1.2 自然現象の影響	6
(1) 地震・断層活動の活動性及び影響の調査・評価技術の高度化	6
(2) 自然現象の長期的な発生可能性及び地質環境の状態変遷の評価技術の整備	7
2.1.3 地質環境の特性	8
(1) 地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化	8
(2) ボーリング孔における体系的な調査・モニタリング・閉塞技術の整備	9
(3) サイト調査のための技術基盤の強化	12
2.2 処分場の設計と工学技術	14
2.2.1 現状と基本方針	14
2.2.2 人工バリア	16
(1) 人工バリア代替材料と設計オプションの整備	16
(2) TRU等廃棄物に対する人工バリアの閉じ込め機能の向上	17
(3) 高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの製作・施工技術の開発	18
2.2.3 地上・地下施設	20
(1) 処分施設の設計技術の向上	20
(2) 処分場建設の安全性を確保するための技術の高度化	21
2.2.4 回収可能性	22
(1) 廃棄体の回収可能性を確保する技術の整備	22
2.2.5 閉鎖前の安全性の評価	23
(1) 閉鎖前の処分場の安全性評価技術の向上	23
2.3 閉鎖後長期の安全性の評価	26
2.3.1 現状と基本方針	26
2.3.2 シナリオ構築	28
(1) 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	28
(2) 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	30
2.3.3 核種移行解析モデル開発	32
(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	32
(2) 施設設計等を反映した核種移行解析モデルの高度化	34
2.3.4 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	36

(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	36
3. 中長期的に研究開発を進めるうえでの重要事項	39
3.1 技術マネジメント	39
3.1.1 中長期的に研究開発を進めるための技術マネジメント	39
3.1.2 技術マネジメントを支える体制に係る取り組み	39
(1) 事業の進展に応じた NUMO 技術者の確保	39
(2) NUMO 技術者の人材育成	39
3.2 技術マネジメントを支える仕組みと今後の取り組み	40
3.3 国際連携・貢献	40
4. おわりに	42

添付 全体計画における本計画の位置づけ

1. はじめに

これまで、特定放射性廃棄物の最終処分に係る技術の開発のうち、最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究開発、深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び最終処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等については国及び関係研究機関が「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年3月 地層処分基盤研究開発調整会議」に基づき実施してきている。また、最終処分事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等を目的とする技術開発については原子力発電環境整備機構（以下、「NUMO」という。）が「地層処分事業の技術開発計画 一概要調査段階および精密調査段階に向けた技術開発一 2013年6月 原子力発電環境整備機構」に基づき進めてきている。

2015年5月に閣議決定された「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（以下、「基本方針」という。）では、「国、機構及び関係研究機関は、連携及び協力を行いつつ、最終処分の技術的信頼性等の定期的な評価を行うことを通じ、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に当該技術開発等を進める」との指摘がなされた。

また、2016年9月に原子力委員会決定された「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」では、国、関係研究機関による基盤研究開発に関する全体計画をNUMOが実施する技術開発計画と一体化し、包括的技術報告書¹を有効に活用し、NUMOによる一層のリーダーシップのもと、「真の全体計画」を策定することが指摘された。

こうした背景のもと、国及び関係機関並びにNUMOは、2017年5月から新たに「地層処分研究開発調整会議」を開催し、国及び関係研究機関が実施する研究開発並びにNUMOが実施する技術開発に係る計画を一体化して整理した「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）平成30年3月 地層処分研究開発調整会議」（以下、「全体計画」という。）を策定した。

全体計画の策定にあたっては、NUMOは「原子力発電環境整備機構 中期事業目標（平成28年9月）」を踏まえ、実施主体として処分技術に係る技術開発全体を俯瞰して検討を牽引した。具体的には、研究開発の成果をセーフティケース²の作成・更新に資するという基本的視点のもと、包括的技術報告書を作成する過程で明らかとなった課題の他、これまでの研究開発過程で抽出された課題、国の審議会等³で抽出された課題、科学的特性マップの作成及び提示に際して寄せられた技術的信頼性に関する国民からの声等も含めて網羅的に課題を抽出したうえで、各研究項目の相互関係を明確にしつつ検討を進めた。また、事業実施に必要な技術マネジメント能力の向上や人材育成、国際連携・貢献に関する事項も含め検討した。

全体計画に基づき、NUMOの「地層処分事業の技術開発計画」（以下、「本計画」という。）

¹ 包括的技術報告書：最新の科学的知見やこれまでの技術開発成果に基づき、サイトを特定せず、わが国における安全な地層処分の実現性について包括的に検討し、セーフティケースとしてNUMOが取りまとめる報告書。

² セーフティケース：IAEAでは「ある施設または活動の安全を裏付ける論拠及び証拠を収集したもの」、OECD/NEAでは「ある特定の（放射性廃棄物）処分場の開発段階において、処分場の長期の安全を裏付ける論拠を収集したもの」と定義され、事業主体が自主的に作成、更新する。

³ 国の審議会等：「地層処分技術WG」、「沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会」、「可逆性・回収可能性の確保に向けた論点整理に係る検討会」。

を新たに策定した。本計画では、全体計画のうち、事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等の観点からNUMOが実施する技術開発について、2018年度～2022年度の5ヶ年における技術開発項目と技術開発工程等を示すとともに、技術マネジメント、国際連携・貢献に関するNUMOの取り組みを示した。

なお、全体計画は、今後予定されている包括的技術報告書の外部レビューの進捗や、事業及び研究開発の進捗状況等の反映を考慮し、2019年度末を目途に2020年度以降の計画を見直す予定である。このため、本計画で示した2020年度以降の技術開発工程は現時点における参考的な位置づけであり、全体計画の見直しを踏まえて、本計画の2020年度以降の計画についても2019年度末を目途に見直す予定である。

2. 本計画における技術開発の内容

地層処分事業は、事業期間が長期にわたる。その実施にあたっては、地質環境調査・評価技術、工学・設計技術、処分場閉鎖後の長期安全性を確認するための安全評価技術など、技術分野が多岐にわたるため、個々の技術を全体として統合することが必要である。

このため、国及び関係研究機関が実施する研究開発とNUMOが実施する技術開発について、適切な役割分担のもと緊密に連携を図りつつ、研究開発成果の移転・継承や人材育成等にも配慮しながら、計画的に進める必要がある。

本章では、全体計画に基づき、事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等の観点からNUMOが2018年度～2022年度の5ヶ年で実施する技術開発項目について、その目的、実施概要、技術開発工程等を示すとともに、全体計画における研究項目との相互関係を添付「全体計画における本計画の位置づけ」に示した。なお、技術開発項目の中には、基盤的研究と応用的研究の両方の要素を含むものもあり、これらについては関係研究機関との共同研究として実施、あるいは国及び関係研究機関と役割を調整したうえで連携して取り組む。

2.1 地層処分に適した地質環境の選定及びモデル化

地層処分の実施に係る技術開発のうち、ここでは、地層処分に適した地質環境を選定するための地質環境の調査・評価技術及びモデル化技術について示す。

2.1.1 現状と基本方針

第2次取りまとめ⁴以降、国及び関係研究機関による研究開発を通じて地層処分事業の基盤技術が整備され、NUMOではサイト調査に向けた技術の体系化や実証などの観点から技術開発を進めてきた。これまでに整備された地質環境調査・評価技術は以下のとおり総括できる。

- 日本全国を対象に自然現象の発生、その傾向や影響などに係る科学的知見が網羅的に蓄積された（これらの成果の一部は科学的特性マップ⁵に反映されている）。
- 陸域を対象に、自然現象の影響及び地質環境特性を把握するための調査・評価技術がひと通り整備され、これらの技術の組み合わせにより概要調査の実施は可能である。
- 沿岸部海域を対象に、実証的な取り組みはないものの、陸域の調査・評価技術や資源探査などで整備された技術の組み合わせにより概要調査の実施は可能であると考えられる。

ただし、地層処分技術WG中間とりまとめ（最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価―地質環境特性および地質環境の長期安定性について―平成26年5月）（以下、「中間とりまとめ」という。）で示されたように、地層処分の技術的信頼性の向上に向けた技術開発は引き続き必要であり、そこで示された技術課題や包括的技術報告書を作成する過程で明らかとなった課題を踏まえると、2018年度～2022年度の5ヶ年では、国、NUMO及び関係研究機関が連携し、特に概要調査の的確な実施に向けた以下の取り組みを進めていく必要がある。

- ①自然現象の発生とその影響に係る将来予測の技術的信頼性の向上に向け、年代測定や地下探査に係る精度の向上、複数の手法の組み合わせによる適用範囲の拡大などの観点から調査・評価技術の高度化を図るとともに、特に深部流体に係る現象理解を深める。
- ②調査・評価技術の信頼性の向上の観点から特に重要な、ボーリング孔の掘削・調査技術の合理化・最適化を図るとともに、処分場の設計や安全評価と連携しつつ、地質環境特性の長期変遷モデル化技術及び広域的な水理・物質移動場に応じた方法論の整備を図る。
- ③沿岸部海域を対象とした調査・評価技術については、必要な情報が陸域と同程度の精度で取得できるように実証的な取り組みを通じて高度化を図る。
- ④多様な地質環境に対応できるようにするため、科学的知見や調査・評価事例に係る情報の蓄積、品質マネジメントシステムの拡充などを通じて技術基盤の強化を図る。

⁴ 第2次取りまとめ：旧核燃料サイクル開発機構（現日本原子力研究開発機構（以下、「JAEA」という。））が1999年11月に公開した報告書「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―」。

⁵ 科学的特性マップ：地層処分を行う場所を選ぶ際にどのような科学的特性を考慮する必要があるのか、それらは日本全国にどのように分布しているか等を、全国レベルの情報・データに基づいて大まかに俯瞰できるよう、マップの形で示したものの。

NUMO は、このうちの①及び②の一部について、最新技術の導入や既存技術の改良による技術の合理化・最適化の視点から、「2.1.2 (1) 地震・断層活動の活動性及び影響の調査・評価技術の高度化」及び「2.1.3 (2) ボーリング孔における体系的な調査・モニタリング・閉塞技術の整備」、関係研究機関の成果を統合した技術の実用化の視点から、「2.1.2 (2) 自然現象の長期的な発生可能性及び地質環境の状態変遷の評価技術の整備」、処分場の設計や安全評価との連携に必要な技術の整備の視点から、「2.1.3 (1) 地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」のそれぞれの技術開発を実施する。また、④についても「2.1.3 (3) サイト調査のための技術基盤の強化」として継続的に取り組む。

2.1.2 自然現象の影響

(1) 地震・断層活動の活動性及び影響の調査・評価技術の高度化

(i) 目的

ボーリング調査や地下坑道を利用した調査の段階で上載地層が確認できない（あるいは確認が困難な）断層や地質断層に遭遇した場合に、将来の断層の変位及びそれに伴う水理的・力学的影響をシミュレーションにより評価する技術を整備する。

(ii) 実施概要

(a) 上載地層がない場合の断層の活動性或地質断層の再活動性を把握するための技術の高度化

断層変位の有無の判定に係る年代既知の被覆層がない場合の断層の活動性或地質学的に古い時期に形成された断層の再活動性の評価について、地質構造発達史を背景とした断層の発達履歴などの検討に加えて、これまでに断層破碎帯内物質について定性的な特徴（鉱物粒子の形状など）に基づく検討が主に行われてきた。今後は、関係研究機関を主体として実施される断層の活動性に係る調査・評価技術の整備と並行し、特に調査対象地域の周辺で生じる地震・断層活動あるいは応力場や水理場の変化に伴う地質断層の変位量に加え、その変位が断層近傍の岩盤へ及ぼす水理的・力学的影響の範囲と程度を評価するためのシミュレーション技術について、実際の地質断層を対象とした現場試験などを通じて整備する。以上の技術は、概要調査及び精密調査の段階の主にボーリングや坑道調査において遭遇した断層に対する調査・評価技術として整備する。本実施項目の技術開発工程を表 2.1-1 に示す。

表 2.1-1 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 上載地層がない場合の断層の活動性或地質断層の再活動性を把握するための技術の高度化	水理・力学連成解析技術の有効性確認／予備的モデル化・解析		
	← 複数サイトを対象としたモデル化・解析／現場試験データを用いた検証 →		
	室内試験／新規試験孔における試験装置の性能確認		
	← 現場試験を通じた試験装置の有効性確認・高度化 →		

(2) 自然現象の長期的な発生可能性及び地質環境の状態変遷の評価技術の整備

(i) 目的

将来10万年程度を超える長期における自然現象の発生可能性に係る予測の信頼性向上を目的として、過去から現在までの自然現象の変動傾向の地域的特徴や一様継続性を踏まえ、自然現象に係る長期的なシナリオ設定と地質環境の状態変遷に係る評価技術を整備し、併せて自然現象の発生可能性とその不確実性を評価するための技術を整備する。

(ii) 実施概要

(a) 自然現象に係る長期的なシナリオ設定と地質環境の状態変遷に係る影響評価のための手法の整備

わが国における自然現象（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、気候・海水準変動）の発生可能性や変動特性に係る予測の信頼性向上を目的として、プレート運動や地殻応力状態に支配された自然現象の変動傾向に関し、科学的知見の蓄積に基づく現象理解を踏まえて必要な情報を整理したうえで、その一様継続性や発生様式の観点から地域的な特徴を類型化する。自然現象の著しい影響を回避したサイトにおいて、将来10万年程度を超える期間に新規に発生する可能性のある事象が地質環境へ及ぼす影響については、これまでにサイトを特定しないジェネリック⁶な条件における検討が進められてきた。今後は自然現象の地域的な変動傾向を踏まえた科学的知見に基づき、将来10万年程度を超える期間において考慮すべき自然現象が地質環境へ及ぼす影響の程度・範囲とその時間変化に係るシナリオを体系的に整理するとともに、地域性を考慮した自然現象による地質環境の状態変化に係る影響評価のための手法を整備する。本実施項目の技術開発工程を表2.1-2に示す。

表 2.1-2 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 自然現象に係る長期的なシナリオ設定と地質環境の状態変遷に係る影響評価のための手法の整備	情報（事象の地域性・不確実性要因）の整理		起因事象発生から地質環境への影響発生に至るシナリオの作成・影響解析
	シナリオ設定・影響評価手法に係る情報整理		取りまとめ／評価技術の体系化

⁶ ジェネリックな地質環境条件：地域を特定しない、幅広い地質環境条件。

(b) 長期にわたる自然現象の発生可能性及びその不確実性を評価するための技術の高度化
 将来10万年程度を超える期間において想定される自然現象が地質環境に及ぼす影響に係るシナリオの設定の科学的な説明性を向上させるための技術の整備が重要である。これまでに将来10万年程度を対象とした自然現象の発生可能性や変動特性に係る外挿法による将来予測の考え方が示され、確率論的な評価手法の開発とその適用性の検討が行われてきた。今後は将来予測における不確実性がより大きくなる将来10万年程度を超える期間を対象に、自然現象の変動傾向に係る地域的な特徴に基づき、プレート運動の継続性の変化や気候・海水準変動も考慮した自然現象の発生可能性や変動特性とそれらの不確実性を定量化（確率論的な数値化など）するための技術を整備する。本実施項目の技術開発工程を表2.1-3に示す。

表 2.1-3 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 長期にわたる自然現象の発生可能性とその不確実性を評価するための技術の高度化	情報（プレート運動の変動と関連する現象の変遷）の整理		起因事象の発生可能性及び地質環境への影響評価に係るケーススタディ
	a. の成果を反映したケーススタディの準備（対象事象・研究対象地域選定、実施方法・体制検討）		ITM-TOPAZ 手法の高度化／手順書の整備

2.1.3 地質環境の特性

(1) 地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化

(i) 目的

長期にわたる地形変化や気候・海水準変動に伴う地質環境特性の時間的・空間的变化について、地下浅部の状態変遷なども考慮に入れ、処分場の設計や安全評価との連携を図りながらモデル化する技術を整備する。

(ii) 実施概要

(a) 生活圏を考慮した地質環境特性の長期変遷をモデル化する技術の整備

これまでに実施された事例研究を通じて、地下深部の水理場・化学環境の長期変遷をモデル化する技術が整備されてきたが、それらとより直接的に関連づけて生活圏を考慮したモデル化について取り組んでいく必要がある。今後は地質環境特性の長期変遷モデルの反映を念

頭に置き、包括的技術報告書において提示する三岩種（深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類）の現実的な三次元地質環境モデルに、水みち⁷の微細透水構造モデル、わが国の沿岸部の水理場・化学環境モデルを統合し、長期にわたる地形変化や気候・海水準変動に伴う地表から地下深部までの地質環境特性の時間的・空間的变化に係る現実的なモデル（四次元地質環境モデル）構築を進める。このため、既存の浅層ボーリング孔における岩石・鉱物学的・地球化学的・水理学的調査などの結果を全国規模で集約し、地下浅部の酸化帯や希釈などに係る最新の科学的知見を反映したモデル化を行う。この取り組みを通じて地質環境特性の長期変遷に係るモデル化技術を整備する。本実施項目の技術開発工程を表2.1-4に示す。

表 2.1-4 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 生活圏を考慮した地質環境特性の長期変遷をモデル化する技術の整備	三岩種を対象に、長期的な地形変化や気候・海水準変動を考慮したモデルの構築		三岩種を対象に酸化帯や帯水層の分布および長期的な地形変化や気候・海水準変動を考慮したモデルの構築／方法論の構築／取りまとめ
	酸化帯や帯水層に係る既存情報の収集・整理および分布・特徴の類型化	酸化帯や帯水層の分布に係る調査手法の整理	
	河川の分類・パターン化／地表水系の発達プロセスに係る検討		取りまとめ

(2) ボーリング孔における体系的な調査・モニタリング・閉塞技術の整備

(i) 目的

わが国の多様な地質環境を対象としたサイト調査を的確に実施するために、実証的な取り組みなどを通じて技術課題の解決を図ることによって、サイトにおける適用性などを考慮しボーリング孔の掘削・調査から長期モニタリング及び閉塞に至るまでの一連の技術を体系的に整備する。

⁷ 水みち：岩盤中において、有意に高い透水性を有する領域をいう（Mazurek, 2000）。例えば、深成岩類や先新第三紀堆積岩類では、透水性の高い断層や割れ目などがそれに該当し、新第三紀堆積岩類などでは、透水性の高い地層などがそれにあたる。

(ii) 実施概要

(a) 脆弱層を対象としたボーリング孔の掘削・調査技術の整備

これまでに異なる地質環境を対象とした事例研究を通じて、地層処分におけるサイト調査の観点から陸域の地質環境を対象としたボーリング調査技術の整備が進められてきた。今後は、関係研究機関と連携し、膨潤性・崩壊性を有し脆弱な地層を挟在する岩盤を対象に、ボーリング孔壁の崩壊や押し出しの回避、高いコア回収率の確保、掘削泥水がボーリング孔周囲の地層に及ぼす水理的・化学的な影響の低減などに向け、新たに開発した掘削泥水や掘削機器の適用性の確認及び掘削手法の最適化を図る。また、サイト調査の観点から求められる地質環境情報の品質を念頭に置き、掘削泥水の影響を考慮した各種の検層や調査・試験及びコア試料を用いて調査・試験方法の合理化を図る。この取り組みを通じてボーリング孔の掘削・調査技術の体系的な整備を図る。本実施項目の技術開発工程を表2.1-5に示す。

表 2.1-5 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 脆弱層を対象としたボーリング孔の掘削・調査技術の整備	大深度ボーリング孔の掘削・調査／現場・安全管理		地質環境モデルの構築及び設計・安全評価パラメータ設定手法の整備／調査技術の体系化
	泥水の性状・選定などに係る情報共有及び泥水掘削時の水理試験・採水調査の品質評価手法の整備		
	泥水／水理試験・採水調査に係る情報の整理		水理試験・採水調査における泥水の影響評価手法の整備／調査技術の体系化

(b) 岩盤の力学的・水理学的変化及び地下水の地球化学的変化の長期モニタリング技術の高度化

これまでに異なる地質環境を対象とした事例研究を通じて、ボーリング孔を利用した岩盤の変形及び地下水の水圧・水質に係る個別のモニタリング技術が整備されてきた。今後は当該技術に必要な改良を加え、サイトにおける数十年という時間スケールを視野に入れつつ最先端の光ファイバセンシング技術などを用いて岩盤の力学的な変形を高精度で測定できるようにするとともに、水圧計や採水装置の小型化を図り、ガスの影響を排除した水圧観測及び採水を同一のボーリング孔内で同時に実施できるように整備する。さらに、こうした技術を実際のボーリング孔への適用を通じて、その適用性を確認する。本実施項目の技術開発工程を表2.1-6に示す。

表 2.1-6 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 岩盤の力学的・水理学的変化及び地下水の地球化学的変化の長期モニタリング技術の高度化	光ファイバによる応力モニタリング技術の有効性確認		データの取得・歪量の解析などを通じた技術の有効性評価／取りまとめ
	光ファイバ温度・圧力計及びパッカーシステムの開発		
			地下水モニタリング装置の設計・製作及び有効性の確認・体系化を通じた技術の有効性評価／取りまとめ

(c) ボーリング孔の閉塞技術の整備

処分場の閉鎖後に地表から掘削したボーリング孔が水みちとならないように確実に閉塞することが国際的にも課題となっているものの、これまで当該技術の整備は実証的な観点では十分に進められていない状況にある。今後は大深度ボーリング孔内に残置した試験装置やケーシングパイプなどの回収技術、対象とする地質環境に応じたボーリング孔閉塞材の選定・設置に係る技術について、国際的な枠組みにおける各国の実施主体との技術的な情報交換などを利用しつつ、既存のボーリング孔を対象とした適用試験などを通じて整備する。本実施項目の技術開発工程を表2.1-7に示す。

表 2.1-7 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
c. ボーリング孔の閉塞技術の整備	石油探査におけるボーリング孔内の設置物の回収技術などに係る情報収集		
	ベントナイト・セメント系材料の物性取得／配合選定		
			金属系材料及びコーティング材の選定
			閉塞材の運搬・設置方法の開発
			上記の成果に基づくボーリング孔の閉塞技術の有効性の確認・体系化

(3) サイト調査のための技術基盤の強化

(i) 目的

わが国の多様な地質環境を対象としたサイト選定の技術的な信頼性向上を目的として、地質環境特性に係る最新の科学的知見及び地質環境調査・評価に係る技術的知見の集約や品質マネジメントシステムなどの整備を継続し、サイト調査のための技術基盤の強化を図る。

(ii) 実施概要

(a) 多様な地質環境の特性に係る科学的知見の拡充

これまでに地下深部の地質環境特性とその長期変遷に係る科学的知見の収集・整理が進められ、その理解が深められてきた。今後もサイト調査やセーフティケースの構築・更新への反映を念頭に置き、自然現象が及ぼす影響なども考慮しつつ地下深部の地質環境特性とその長期変遷に係る最新の科学的知見を集約する。特にサイト選定において現実的に想定される地質環境のうち、情報量が少ない付加体堆積岩類などに係る科学的知見を優先的に拡充する。本実施項目の技術開発工程を表2.1-8に示す。

表 2.1-8 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 多様な地質環境の特性に係る科学的知見の拡充		付加体堆積岩類などの地質環境特性データの取得	
		最新の文献や関係研究機関の研究開発成果などに基づく地質環境の特性に係る科学的知見の拡充	

(b) 陸域～海域を対象とした地質環境調査・評価に係る技術基盤の拡充

これまでにわが国の多様な地質環境を対象としたサイト選定の実施に向け、調査・評価技術に係る技術的知見の蓄積・拡充や調査・評価に係る知識マネジメントシステムなどの整備が進められてきた。今後もこれらの研究開発を継続するとともに、二酸化炭素の地下貯留や海域を対象とした地下探査などに適用されている技術に係る最新の知見を集約し、地質環境データベースとして構築する。さらに、地層処分への有効性や技術的課題などを分析・整理する。また、これまでに整備したサイト調査に係る品質マネジメントシステムやデータマネジメントの考え方などについて、実証的な取り組みへの適用を通じて実効性の向上を図る。本実施項目の技術開発工程を表2.1-9に示す。

表 2.1-9 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 陸域～海域を対象とした地質環境調査・評価に係る技術基盤の拡充	地質環境特性データの拡充		
	地質環境データベースの構築		地質環境特性データの拡充／地質環境データベースの運用・更新
	現場調査・試験のリアルタイム管理システムの整備		
		現場適用を通じた品質マネジメントシステムの更新	
			関係研究機関の研究開発成果や資源探査・海洋調査などに適用されている最新の調査技術に係る情報収集／調査技術シートの更新
			概要調査計画策定の机上演習／計画策定の手引書・参考文書の整備

2.2 処分場の設計と工学技術

地層処分の実施に係る技術開発のうち、ここでは、処分場及び人工バリアを設計し、安全な処分場の建設・操業を実現する技術について示す。

2.2.1 現状と基本方針

第2次取りまとめ及び第2次 TRU レポート⁸以降、NUMO 及び関係研究機関による技術開発においては、これらのレポートで示された処分概念や人工バリアの仕様を出発点として、安全性と工学的実現性の確保に向けて体系的な設計手法の整備、人工バリア施工や地下施設建設のための湧水対策技術の実証的検討などの技術開発を進めてきた。また、2011年3月の福島原子力発電所事故以降は、操業安全に関する検討を進め、操業安全評価のための異常状態シナリオの構築と評価を行ってきた。更に、基本方針に基づき、廃棄体の回収技術に関する実証的検討を進めてきた。これまでに整備された処分場の設計と工学技術は以下のとおり総括できる。

- レファレンスとしてきた人工バリア材料の安全機能に関わる特性データが多く取得され、安全機能の成立条件が明確になった。また、人工バリアの製作・施工技術については、オーバーパックの溶接技術・検査技術に関する実証的な検討が進められ、実現性の見通しを得ている。緩衝材についても様々な施工方法による性能確認が行われ、堅置きと横置きの両方の処分概念について、好ましい施工方法の組み合わせが明確になってきた。特に、高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアを地上施設で一体化する PEM (Prefabricated Engineered Barrier System Module) 方式については、製作・搬送技術の実証的な検討がなされ、実現性の見通しを得ている。
- 人工バリア及び地下施設の設計を行うための手順、要件、要件への適合性を判断する指標や基準等が整備され、概要調査に基づく処分場の概念設計が実施可能なレベルにある。また、深地層の研究施設における建設や調査研究を通じて、掘削損傷領域に関する力学・水理データの取得や、透水性に応じた湧水対策技術が整備された。
- 高レベル放射性廃棄物については、廃棄体を回収するための技術が概ね整備された。
- 操業安全性の確保に関しては、異常状態（火災、落下等）に対する廃棄体の堅牢性の評価手法が概ね整備された。

こうした現状に対し、包括的技術報告書を作成する過程で明らかとなった課題等を踏まえると、2018年度～2022年度の5ヶ年では、国、NUMO 及び関係研究機関が連携し、地層処分の技術的信頼性の向上に向けた技術開発を引き続き継続するとともに、特に、安全性、実現性、経済性の確保を考慮した有望な設計オプションの選定とその実証に向けた以下の取り組みを進めていく必要がある。

⁸ 第2次 TRU レポート：電気事業連合会・旧核燃料サイクル開発機構（現 JAEA）が2005年9月に公開した報告書「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－」。

- ①安全確保を第一に経済合理性や調達が多様性を考慮して、人工バリア材料の選定を進めるために、様々な代替材料の適用に関する技術的な成立性を確認する。
- ②地層処分相当低レベル放射性廃棄物⁹（以下、「TRU 等廃棄物」という。）に対する閉じ込め性能の一層の向上を図るため、製작성及び構造健全性に関する実証的な試験等を実施して、廃棄体パッケージの設計オプションの改良を進める。
- ③高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの有力な設計オプションの一つと考えられる PEM 方式を対象として、地下での搬送定置作業を効率的に実施するための仕様の合理化を進め、適用性・実用性という観点で段階的に技術の実証に取り組む。
- ④これまでに整備してきた体系的な設計手法に従い、安全確保を第一に、実現性と経済性を考慮した処分場の仕様の最適化を進める。
- ⑤坑道シーリングによる処分場全体の閉じ込め性能を評価するために、これまでの設計概念の詳細化、室内試験や工学規模の試験による性能確認並びに施工技術の高度化などを進める。
- ⑥安全性、効率性、品質向上を指向した建設・施工技術の遠隔操作化・自動化の見通しを得る。
- ⑦処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の管理の在り方の具体化に向けて、回収可能性を維持することに伴う安全性への影響等に関する評価、影響を最小化するための対策技術の開発に取り組む。
- ⑧閉鎖前の安全性の評価シナリオの網羅性を確保するため、事象の重畳などの複合的な事象の発生等にも留意して評価シナリオの検討を進めるとともに、異常事象への対応策として、異常発生防止策、異常拡大防止策、影響緩和策の具体化を進めていく。

このうち NUMO では、①、②、③、④について TRU 等廃棄物処分の安全性向上、工学的実現性及び経済的合理性向上のための設計オプションの整備の観点から、「2.2.2 (1) 人工バリア代替材料と設計オプションの整備」、「2.2.2. (2) TRU 等廃棄物に対する人工バリアの閉じ込め機能の向上」、「2.2.2 (3) 高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの製作・施工技術の開発」、「2.2.3 (1) 処分施設の設計技術の向上」の技術開発を実施する。また、⑥、⑦、⑧について処分場の建設・操業から閉鎖までの安全性向上のための具体策の整備の観点から「2.2.3 (2) 処分場建設の安全性を確保するための技術の高度化」、「2.2.4 (1) 廃棄体の回収可能性を確保する技術の整備」、「2.2.5 (1) 閉鎖前の処分場の安全性の評価技術の向上」の技術開発を実施する。なお、当面 2 ヶ年程度実施する技術開発成果は、主に「処分場の概念設計書」¹⁰の取りまとめに反映する。

⁹ 地層処分相当低レベル放射性廃棄物：「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」でいう第二種特定放射性廃棄物。再処理工場や MOX 燃料工場の操業及び解体に伴って発生する放射性廃棄物のうちの一部。

¹⁰ 処分場の概念設計書：包括的技術報告書で示した合理化の方向性などの技術開発課題を踏まえて、安全性の確保を第一としてさまざまな合理化対策を取り入れ最適化を図った処分場の設計を取りまとめるもの。

2.2.2 人工バリア

(1) 人工バリア代替材料と設計オプションの整備

(i) 目的

人工バリア材料の合理的な選定や仕様設定を進めるために、様々な代替材料の特性データを多様な環境条件を考慮して取得し、代替材料の技術的な成立性を確認する。また、安全性に加え回収の容易性なども考慮した設計オプションの選定を行い、人工バリア仕様の最適化を進めるために、上記の代替材料に関する研究を踏まえて、人工バリア設計オプションの検討を進める。

(ii) 実施概要

(a) 人工バリア代替材料の成立性の検討

これまでオーバーパックに用いる材料は炭素鋼鍛鋼品をレファレンスの仕様として検討を行ってきたが、炭素鋼であれば鋳鋼品も経済合理性の観点から候補材料として考えられる。さらに、より耐食性の高い材料として、銅複合オーバーパックやチタン複合オーバーパックについても、海外実施主体などで研究開発が進められている。また、緩衝材に用いるベントナイトについては、Na型ベントナイトのクニゲルV1を候補材料として、さまざまな材料特性の取得が実施されてきたが、経済合理性や調達が多様性を確保する観点からは、上記のベントナイト以外についてもその適用性を確認していく必要がある。今後は、安全性の確保を前提に合理的な人工バリア材料の選定や仕様設定を進めるために、関係研究機関と連携し、様々な代替材料（例えば、炭素鋼鋳鋼品や銅コーティングによるオーバーパック、Ca型ベントナイトによる緩衝材など）の特性データを多様な環境条件を考慮して取得し、これまで優先的に研究開発されてきた材料での特性データとの比較検討等により代替材料の技術的な成立性を確認する。特に、設計要件に係る人工バリアの長期的な挙動については、10年を超えるような人工バリア材料の長期試験や微生物影響に関する試験などにも取り組むことにより不確実性の低減を図る。本実施項目の技術開発工程を表2.2-1に示す。

表2.2-1 今後5年間の技術開発工程

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度～2022年度
a. 人工バリア代替材料の成立性の検討	オーバーパックの代替材料の特性試験	→	
	ベントナイト材料の特性試験	←	(必要に応じて継続、海外産ベントナイトなど)
	ベントナイト共存下での微生物影響腐食試験	←	
	人工バリア材料の長期試験 (オーバーパック材料の長期腐食試験、ベントナイトの長期圧密試験)		→

(b) 人工バリア設計オプションの整備

これまで安全性に加えて、操業の効率性や回収の容易性などにも考慮した設計オプションを整備してきた。今後、サイトの地質環境特性に対し柔軟に対応して、安全性に係る性能や回収の容易性などをさらに高めた設計オプションや上記の代替材料に対する技術的な成立性を踏まえた合理的な設計オプションを検討する。高レベル放射性廃棄物については、耐食性を高めた銅複合オーバーパックや蓋部をドーム型構造にして耐圧性を向上させたオーバーパックを採用した場合の人工バリアなどが、TRU等廃棄物についてはPEM方式を採用した場合の人工バリアなどが新たな設計オプションとして考えられ、これらの設計オプションの工学的な実現性を試行的な設計検討により評価する。有力な設計オプションについては、人工バリア仕様の最適化に取り組む。本実施項目の技術開発工程を表2.2-2に示す。

表 2.2-2 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 人工バリア設計オプションの整備	性能を高めた設計オプションの比較評価		有力な設計オプションに対する人工バリア仕様の最適化

(2) TRU 等廃棄物に対する人工バリアの閉じ込め機能の向上

(i) 目的

これまでの設計概念に基づくTRU等廃棄物の廃棄体パッケージについて、内部ガス圧に対する構造健全性などの課題に対する対策を具体化し、閉鎖後長期の放射性核種の閉じ込め性能の一層の向上を図った廃棄体パッケージ仕様の開発を進める。

(ii) 実施概要

(a) 閉じ込め性能を高めた廃棄体パッケージ容器の設計

操業期間中の安全性の向上を目的としたTRU等廃棄物の廃棄体パッケージの設計オプションについて検討し、これまでに操業中に加えて閉鎖後数百年程度の放射性物質の閉じ込め性能が期待できる廃棄体パッケージの設計仕様を示している。一方で、こうした設計オプションの閉じ込め性能を確実なものとし一層の性能の向上を図るためには、放射線分解により廃棄体パッケージ内に発生することが見込まれる水素ガスによる内圧の増加や蓋溶接後の熱処理に起因するアスファルト固化体の熱反応暴走などへの対策が課題として挙げられた。そこで、これらの課題に対する対応策を示すとともに、それぞれの事象に対する影響評価を実施して、最適な構造を有する廃棄体パッケージ仕様を開発する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-3に示す。

表 2.2-3 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 閉じ込め性能を高めた廃棄体パッケージ容器の設計	閉じ込め性能を高めた容器の設計と評価		必要に応じて更なる最適化設計

(3) 高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの製作・施工技術の開発

(i) 目的

地上施設でガラス固化体と人工バリアを一体化するPEM方式などの人工バリアの製作・施工、搬送定置といった人工バリアの構築技術の実用化と信頼性向上を目的として、段階的に技術の実証と遠隔操作化・自動化を含む装置の改良を進める。また、構築された人工バリアの閉鎖後長期の安全性を担保するための品質保証体系を整備するために、施工プロセスにおける品質管理方法を具体化する。

(ii) 実施概要

(a) PEM の製作・施工技術の開発

高レベル放射性廃棄物に対する人工バリアの製作・施工技術については、これまで縦置き方式を中心に研究開発が進められてきた。今後は有力な設計オプションの一つと考えられるPEM方式を対象として、適用性・実用性という観点で段階的に技術の実証に取り組む。そのために、これまでの検討によって示された仕様ではPEMの重量は約37トンと重いことから、地下での搬送定置作業を効率的に実施することを目的として、安全性の確保を前提にPEMの設計仕様を合理化する。この際、PEM容器は処分場閉鎖後も残置されることに留意して、容器の水密性や緩衝材の再冠水挙動に関する検討を実施して、緩衝材の安全機能に支障を生じないように設計仕様を決定していく。合理化したPEMの設計仕様に対しては、組み立て試験を実施して製작성や品質を確認する。さらに、PEM方式では搬送定置装置が走行するために必要なPEM容器と処分坑道の坑壁との隙間の埋め戻しが技術課題と考えられるので、処分坑道内に湧水がある場合にも適用可能な隙間埋め戻し材の開発と作業の遠隔・自動化を前提とした施工技術を開発する。搬送定置技術については、従来装置の把持方法などの機構や遠隔操作化・自動化技術に改良を加えて安全性と効率性を高めた搬送定置装置の設計検討を進める。その上で、搬送定置装置の試作に向けた把持機構や遠隔操作化・自動化に必要な要素技術の開発を進めて、操業技術の実証試験の準備を整える。本実施項目の技術開発工程を表2.2-4に示す。

表 2.2-4 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. PEM の製作・施工技術の開発	改良型 PEM 設計		PEM の製作性・品質に係る試験
	搬送定置装置の概念設計		搬送定置・隙間埋め戻しに係る要素技術開発

(b) オーバーパックの製作技術の開発

オーバーパックの製作技術については、これまでに主に炭素鋼鍛鋼品を対象とした開発が進められてきた。今後は炭素鋼鋳鋼品や銅との複合品などの代替材料に対する製作技術の整備を目的として開発に取り組む。また、蓋接合技術については、炭素鋼鍛鋼品だけでなく代替材料に対しても適用できるように、溶接後の熱処理や検査技術を含む遠隔操作化・自動化技術を前提とした開発を進める。本実施項目の技術開発工程を表2.2-5に示す。

表 2.2-5 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. オーバーパックの製作技術の開発	鋳鋼製オーバーパック製作技術		
	銅オーバーパック製作技術の適用性評価		銅コーティング技術の開発
	遠隔操作化・自動化技術の調査・検討		設計オプションに対応した蓋接合技術及び検査技術などの開発

(c) 製作・施工技術に係る品質保証体系の整備

人工バリアの品質保証体系については、施工プロセスの品質管理に加え、モニタリングに関してこれまでに国際共同研究として検討されてきた情報などを踏まえたうえで、人工バリアが設計で想定した状態に対して性能が発揮されていることを確認し評価するための考え方と具体的な方法について、関係研究機関と連携して検討を進める。本実施項目の技術開発工程を表2.2-6に示す。

表 2.2-6 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
c. 製作・施工技術に係る品質保証体系の整備			← 品質保証体系の具体化 →

2.2.3 地上・地下施設

(1) 処分施設の設計技術の向上

(i) 目的

多様な地質環境に柔軟に対応して安全で合理的な処分施設の設計が可能であることを示すことを目的として、地上・地下施設が所要の安全機能を確保するための設計の考え方、手順及び方法を体系的に整備する。また、設計技術の向上を図るために、処分施設の安全機能に係る判断指標や設計基準について、今後拡充される知見を取り込みつつ継続的に整備・更新を進める。

(ii) 実施概要

(a) 設計技術の体系的整備

これまでにサイト選定で想定される三種類の候補母岩を対象として処分場の設計を試行し、所要の設計要件を満足する処分場の仕様を提示している。この中で、現実的な地質環境に対応した地下施設の設計手法として、断層の分布を考慮したレイアウトの判断指標、割れ目からの湧水を考慮した廃棄体定置の判断指標など安全機能を確保するための判断指標を導入し、既存の知見に基づいた設計基準値の目安を設定している。これらの判断指標及び基準の目安に関しその妥当性をより確かなものとするため、適切に整備・更新を行っていく。また、人工バリア設計オプションの整備等を踏まえつつ、事業期間中の安全対策を含め実用性と合理性を高めより最適化された処分場の設計を「処分場の概念設計書」として示すことによって、今後の事業実施に備える。本実施項目の技術開発工程を表2.2-7に示す。

表 2.2-7 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 設計技術の体系的整備		地下施設の設計要件に係る基準値の整備・更新	→
		「処分場の概念設計書」の取りまとめ	

(b) 建設・操業システムの設計技術の整備

地層処分場の地下施設の坑道は複雑で長大であり地下深くに展開されること、また、坑道掘削（建設）と廃棄物の埋設（操業）とを同時並行で実施するなどの条件により、換気・排水システムの設計は技術的に難度の高いことが、これまでの検討で示されている。建設・操業期間中の安全で良好な作業環境の維持を確実なものとするために、特に換気・排水システムについて、今後坑道内の火災などさらにシステムの異常状態までも考慮できるように信頼性の高い評価技術を整備し、多重防護の考え方に基づく安全対策を用意する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-8に示す。

表 2.2-8 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 建設・操業システムの設計	排水システムの設計・評価技術の整備		換気システムの設計・評価技術の整備
	異常事象に対する安全対策の具体化（坑道内火災など）		

(2) 処分場建設の安全性を確保するための技術の高度化

(i) 目的

処分場建設技術のさらなる安全性と効率性の向上を図る観点から、建設作業の遠隔操作化・自動化について検討を進める。

(ii) 実施概要

(a) 処分場建設技術の高度化

処分場建設技術において、例えば坑道掘削技術については基本的に一般のトンネル工事技術が利用可能と考えられるが、将来予測される技能者不足に対する備えや安全性と効率性の向上を指向して、建設技術の遠隔操作化・自動化の検討を進めることも今後は必要であると考えられる。そこで、坑道の掘削と埋め戻し作業を対象として、遠隔操作化・自動化による効果や将来的な技術の進展を見据えた技術的な実現性について検討を実施したうえで、必要とされる遠隔操作化・自動化に係る要素技術の整備を進める。この際、閉鎖後長期の安全性も見据えて、掘削損傷領域の低減にも十分に配慮する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-10に示す。

表 2.2-10 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 処分場建設技術の高度化	遠隔操作化・自動化技術の調査・検討	(必要に応じて、遠隔操作化・自動化に係る要素技術の整備を実施)	

2.2.4 回収可能性

(1) 廃棄物の回収可能性を確保する技術の整備

(i) 目的

回収可能性に関わる技術的実現性を示すため、設計オプションとして整備する処分概念に対応した廃棄体回収技術の開発を進める。また、処分施設の閉鎖までの間の廃棄物の管理の在り方を具体化するため、回収可能性の維持による処分場の安全性に与える影響等に対する評価技術を整備する。

(ii) 実施概要

(a) TRU 等廃棄物に対する廃棄体回収技術の開発

TRU等廃棄物に対する回収技術の開発では、廃棄体グループに応じた処分方法を対象とした取り組みを進め、信頼性と実現性の高い回収技術を確立する必要がある。ここで、適用する回収技術は廃棄体回収時の人工バリアの状態によって異なるため、TRU等廃棄物に対する人工バリア設計オプションの整備を踏まえて、各設計オプションに適用可能な回収技術の概念検討を実施する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-11に示す。

表 2.2-11 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. TRU 等廃棄物に対する廃棄体回収技術の開発	設計オプションに対応した回収技術の概念検討		(必要に応じて、廃棄体回収に係る要素技術の開発を実施)

(b) 回収可能性の維持に伴う影響評価技術の整備

回収可能性を維持することに伴い、閉鎖後長期の安全性に有意な影響を与えないように埋め戻しの方法や排水対策などを検討するなどして、処分場の操業を実施する必要がある。これまでに、回収可能性を維持する状態を坑道の維持管理や人工バリアに対する影響などについて定性的に論じることで比較評価したが、今後は解析や試験などを通じてより定量的に評

価していく必要がある。このため、回収可能性を維持した場合の岩盤からの湧水量や坑道周辺の水理場の変化、および湧水に伴う地下の酸化還元環境の変化などに関する解析技術などの開発に、関係研究機関と連携して取り組む。これらの成果に基づいて、地下環境の回復過程に関連する事例研究などを活用した解析技術の検証、および閉鎖後長期安全性への影響低減の観点からより適した回収可能性の維持方策を整備する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-12に示す。

表 2.2-12 今後5年間の技術開発工程

実施項目	2018年度	2019年度	2020年度～2022年度
b. 回収可能性の維持に伴う影響評価技術の整備	建設・操業期間中の湧水量の評価技術の整備	湧水に伴う化学影響評価技術の整備	地下環境の事例研究を活用した解析技術の検証、および閉鎖後安全性への影響低減の観点からの回収可能性の維持方策の整備

2.2.5 閉鎖前の安全性の評価

(1) 閉鎖前の処分場の安全性の評価技術の向上

(i) 目的

閉鎖前の安全性の評価の信頼性向上を図るため、処分場の建設・操業から閉鎖までの期間において発生する可能性がある異常事象を網羅的に考慮した安全性の評価シナリオを作成するとともに、廃棄体への衝撃や火災などの事象について地下施設特有の条件を考慮した影響評価技術のさらなる整備を進める。

(ii) 実施概要

(a) 閉鎖前の安全性の評価シナリオの構築

建設・操業から閉鎖までの処分場の地上・地下施設で発生する可能性のある異常事象として、これまでに火災、水没、電源喪失、廃棄体の落下などを特定し、それらが最終的にどのような事故に発展する可能性があるかについてイベントツリー分析を実施して評価シナリオを作成した。今後さらにシナリオの網羅性を高めていくために、事象の重畳など複合的な事象の発生を考慮した検討を実施する。このため、引き続き海外の分析事例についても情報を収集し、検討に反映する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-13に示す。

表 2.2-13 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 閉鎖前の安全性の評価シナリオの構築	← 海外の分析事例の情報収集		→ 複合的な事象を含むシナリオの構築 → ハザードデータベースの更新

(b) 閉鎖前の安全性の評価技術の整備

これまでに異常事象として抽出した火災、水没、電源喪失、廃棄体の落下を考慮した評価シナリオについて、閉鎖前の処分場の安全性確保の見通しに関する評価を行ってきた。今後は上記の複合的な事象の発生などさらに過酷な状況を想定した評価シナリオの発生可能性を検討するとともに、それらに対する影響評価結果の妥当性、信頼性の向上のために、必要に応じて異常事象を模擬した試験の実施等を通じて評価技術の整備を進める。廃棄体周辺の放射線分解による水素ガスの発生量など安全性の評価上重要なパラメータについては、今後の人工バリア仕様の検討結果を踏まえた条件等に対して試験を実施して取得する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-14に示す。

表 2.2-14 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 閉鎖前の安全性の評価技術の整備	→ 充填材からの水素ガス発生量データ取得試験	← 評価結果を踏まえた安全対策の検討	← 複合的な事象に対する評価 (必要に応じて、異常事象の模擬試験を実施)

(c) 事故対応技術の整備

評価シナリオとして取りあげた異常事象について、これまでにアクセス坑道で搬送車両が逸走した場合や定置作業中の異常出水等に伴い水没した状態を想定して、その対応策及び復旧作業の進め方の検討を行っている。今後閉鎖前の処分場のさらなる安全性の確保を目的として、関連する施設の具体的な事象事例を参考に実践的な検討を実施し、事故対策及び影響緩和策を施設設計に反映する。本実施項目の技術開発工程を表2.2-15に示す。

表 2.2-15 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
c. 事故対応技術の整備		事件事例の 調査・分析	事故等に対する対応策と復旧策の検討

2.3 閉鎖後長期の安全性の評価

地層処分の実施に係る技術開発のうち、ここでは、閉鎖後長期の安全性を評価する技術について示す。

2.3.1 現状と基本方針

第2次取りまとめ及び第2次 TRU レポート以降、国及び関係研究機関により、主にジェネリックな地質環境条件を念頭に研究開発を進められてきた。NUMO は、これらの成果を反映して検討した包括的技術報告書において、三つの岩種を対象とする地質環境条件を想定し、そこに構築した地層処分システムの安全性の評価を行った。閉鎖後長期の安全性の評価技術を構成する主要な三つの分野である、シナリオ構築、核種移行解析モデル開発及び核種移行解析に用いるデータの整備に関し、主要な技術開発の成果はそれぞれ以下のようにまとめることができる。

- シナリオについては、実験事実、ニアフィールドを対象とした熱、水理、力学、化学（以下、「THMC」という。）の観点から重要と考えられる個々の現象に対する解析モデル（以下、「現象解析モデル」という。）による数値シミュレーションやナチュラルアナログから得られる最新の科学的知見を用いて地層処分システムの状態の変遷を設定し、それに基づき発生可能性を考慮に入れて構築する技術が開発されている。
- 核種移行解析モデル開発については、ニアフィールドを対象とした空間スケールが 100m×100m×100m 程度の三次元のモデルを用いて、地層処分場の設計上の特徴や母岩の割れ目ネットワーク構造を反映して核種移行解析を実施することが可能な技術を整備している。
- 核種移行解析に用いるデータの整備に関しては、第2次取りまとめ以降、地質環境条件をジェネリックにとらえて核種移行パラメータを設定するためのデータを整備しており、これらを用いて、幅広い地質環境条件における核種移行パラメータを設定するための基盤が整備されてきている。

上記のような背景のもと、中間とりまとめや包括的技術報告書を作成する過程で明らかとなった課題を踏まえると、2018 年度～2022 年度の 5 ヶ年では、国、NUMO 及び関係研究機関が連携し、以下の取り組みを進めていく必要がある。

- ①これまでに、地層処分システムの状態の変遷を想定したうえで安全性の評価を行うという枠組みが整備され、保守性を考慮した簡略化を基本的なアプローチとして、システムの状態からシナリオを作成し、核種移行解析のためのモデルやパラメータを設定するという方法論が構築されている。今後、この過程で考慮されている保守性をより合理的なものとするため、上記の一連のプロセスにおいて、処分場の構成要素や仕様、地質環境特性などをより現実に即して考慮した評価を行うための技術を開発する。
- ②上記技術開発に関し、実際のサイトが明らかになった後、その地質環境条件に応じて設計した地層処分システムが本来有するバリア性能をより忠実に示し、サイト間の比較や設計

の最適化に資することが可能となるよう、その適用性について検討を行う。

- ③安全評価シナリオの網羅性を確認するうえで重要となるシナリオの構築過程の追跡性を向上させることを目的として、その過程で用いられる様々な根拠情報を体系的に管理するツールの整備を行う。
- ④様々な地質環境条件や人工バリアの状態変遷などに対して、核種移行パラメータの設定に必要なデータの拡充を継続的に進める。

これらに対応して、NUMO では以下の技術開発を実施する。

- ①包括的技術報告書で示した安全性の評価に係る一連の作業における保守性を考慮した簡略化の妥当性を、室内実験や原位置試験のデータを用いて確認する（2.3.2（1）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）。
- ②①に併せて、安全性の評価における様々な簡略化において、より合理的に保守性を設定するための方法論を検討することにより、簡略化のプロセスの厳密性の向上とその妥当性の確認を行う（2.3.2（1）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、2.3.3（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、2.3.3（2）施設設計等を反映した核種移行解析モデルの高度化、2.3.4（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）。
- ③シナリオを作成するための根拠情報を体系的に管理可能なツールを開発し、シナリオ構築過程の追跡性の向上を図り、安全評価で取り扱うべきシナリオの網羅性の確保に資する。併せて、シナリオの発生可能性に関するより定量的な検討を行う（2.3.2（2）リスク論的考え方に則したシナリオ構築手法の高度化）。
- ④様々な地質環境条件が想定される文献調査の段階に向けて、核種移行に関する不十分なデータを拡充する（2.3.4（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）。

2.3.2 シナリオ構築

(1) 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

(i) 目的





これまで、シナリオ構築に必要な処分場閉鎖後の地層処分システムの状態理解のため、ニアフィールドを対象として、THMCの観点から重要と考えられる個々の現象に重点を置き、現象解析モデルの開発を行ってきた。今後は、室内における長期試験データや原位置試験データを取得し、構築してきた現象解析モデルの合理的簡略化に関する妥当性の確認と精度の向上を行う。

(ii) 実施項目

(a) 廃棄体からの核種溶出モデルの高度化

これまで、主に関係研究機関により、ガラス固化体周辺で生じる現象の中からガラス溶解速度を支配するプロセスの特定が行われてきた。今後は、既存の核種溶出モデルの妥当性確認と精度の向上を目的として、関係研究機関と連携し、ガラス溶解へ影響をおよぼす現象の中で重要なものと特定された、オーバーパック由来の鉄の影響とガラス表面の変質層の保護的効果の評価するための長期の浸漬試験等を実施する。また、試験等により取得した知見に基づき、必要に応じて核種溶出モデルの改良を図る。本実施項目の技術開発工程を表2.3-1に示す。

表 2.3-1 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 廃棄体からの核種溶出モデルの高度化	オーバーパック由来の鉄の影響に関するガラスの長期・短期浸出試験等の実施 		ガラスの長期・短期浸出試験等の実施  ガラスの溶出モデルの妥当性確認・改良 
	変質層の保護的効果に関するガラスの長期・短期浸出試験等の実施 		

(b) ニアフィールド構成要素に関する現象解析モデルの構築・高度化

複数の異なる構成材料からなるニアフィールドの状態変遷の評価を目的として、主に関係研究機関により、オーバーパックやセメント系材料による緩衝材の変質に関する試験データの取得とそれを表現するための現象解析モデルの構築が行われてきた。今後は、現象解析モデルの妥当性確認と精度の向上を目的として、関係研究機関と連携し、幅広い地下水環境に留意して、オーバーパックやセメント系材料による緩衝材変質について長期試験データを取得する。こうした知見に基づき、重要な反応系を現象解析モデルへ反映してモデルの改良を行う。本実施項目の技術開発工程を表2.3-2に示す。

表 2.3-2 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. ニアフィールド構成要素に関する現象解析モデルの構築・高度化	オーバーパック腐食による緩衝材変質に関する室内試験データの取得		
			オーバーパック腐食による緩衝材の変質モデルの妥当性確認・改良
	セメント/ベントナイト界面クロッキングの環境依存性の調査・試験		
	セメント/ベントナイト界面変質層の特性把握のための調査・試験		
	セメント/ベントナイト変質層の分光を用いた分析技術開発		(必要に応じて、セメントベントナイト界面の変質層にかかる調査・試験を実施)
	セメント/ベントナイト相互作用に関する長期試験データの取得		
		セメントによる緩衝材の変質モデルの妥当性確認・改良	

(c) コロイドの影響評価手法の構築・高度化

これまで、主に関係研究機関により、緩衝材に起因するベントナイトコロイドの核種移行への影響を評価するための解析モデルの構築が進められてきた。今後は、関係研究機関と連携し、ベントナイトコロイドの生成挙動をこの影響評価モデルへ反映した後、試験等を通じてモデルの妥当性確認と精度の向上を実施する。本実施項目の技術開発工程を表2.3-3に示す。

表 2.3-3 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
c. コロイドの影響評価 モデルの構築・高度化	室内試験によるベントナイトコロイド生成挙動データの取得		室内試験によるベントナイトコロイド生成等のデータ拡充
	コロイドへの核種の収脱着試験等の実施		
	原位置試験試料とデータ*の分析		室内試験データ及び原位置試験データ*を用いたベントナイトコロイド影響評価モデルの妥当性確認・改良

*：スイス Nagra グリムゼル地下試験施設における原位置試験により取得

(2) 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

(i) 目的

これまでに、国際機関によって提唱されている地層処分の安全規制の考え方などを参考とし、リスク論的考え方に基づく発生可能性を考慮した体系的なシナリオ構築手法を開発した。また、この手法を適用するため、シナリオに係る個々の現象の発生可能性に関する判断やその論拠の分析ツールを構築した。今後は、安全性の評価の実施に係る信頼性向上を目的として、構築したシナリオに対応する核種移行解析ケースの設定作業に関する情報の管理ツールを整備するとともに、シナリオの発生可能性の議論をより効果的かつ効率的に進めるため、関連する様々な情報を提示する機能を備えたストーリーボードの整備を行う。また、極めて発生可能性が小さいシナリオとして分類される人間侵入シナリオと稀頻度事象シナリオについては、国内外における最新の考え方等について今後も引き続き情報収集を図り、評価手法への反映を図っていく。

(ii) 実施項目

(a) シナリオ構築から核種移行解析ケース設定に用いる情報の管理ツールの整備

これまで、安全機能を視軸として、関連するFEP (Features, Events and Processes) の発生可能性に基づきシナリオを構築する手法を開発し、この方法に基づくシナリオ作成過程の追跡性等を確保するため、様々な管理ツールの整備を行ってきた。今後は、構築したシナリオから核種移行解析ケース設定までのプロセスについても同様に、判断の経緯や結果、及びその論拠を管理するためのツールを開発し、全体として体系的なツールとなるように整備を図る。また、シナリオ構築手法において必要となるFEPリスト (NUMO-FEPリスト) については、これまでにOECD/NEAのNEA International FEP Database Projectへの参画や包括的技術報告書

の策定を通じて更新を行ってきた。今後も、関係研究機関や諸外国における検討の情報を収集し、適宜FEPリストの更新を図る。本実施項目の技術開発工程を表2.3-4に示す。

表 2.3-4 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. シナリオ構築から核種移行解析ケース設定プロセスに用いる情報の管理ツールの整備	システムの状態理解からシナリオ作成・解析ケース設定に至る手順に関する分析ツールの高度化検討		分析ツールの高度化 諸外国の関係機関との情報交換や国際会議などにおける情報収集を通じた NUMO-FEP リストの更新

(b) 様々なデータを利用可能なストーリーボードの高度化

これまで、作成したシナリオの安全評価上における十分性の確保に資するため、最新の科学的知見を様々な分野の専門家が共有し、処分システムの状態の設定について議論することを目的としたストーリーボードによる方法論の開発を行ってきた。今後は、ストーリーボードの電子化を進め、閉鎖前も含めた処分システムの状態に関する一貫した理解に資するために、地質環境の長期変遷モデルや緩衝材の変質の進展挙動に関する現象解析モデルなどを用いたシミュレーションの結果をアニメーションとして描画する機能を取り入れる。また、こうしたシミュレーション結果も含め、ストーリーボードに示した処分システムの状態に関する論拠を閲覧できるよう関連するデータベースとのリンク機能を取り入れる。加えて、リスク論的考え方に則したシナリオの作成に資するため、処分システムに生起すると考えられる複数の状態についても視覚的に表現できるよう開発を進める。また、これらの機能を活用してシナリオの発生可能性のより定量的な検討を行う。本実施項目の技術開発工程を表2.3-5に示す。

表 2.3-5 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 様々なデータを利用可能なストーリーボードの高度化	計画策定	プロトタイプ の設計	電子化ストーリーボードの製作 電子化ストーリーボードにリンクする 根拠データベースの構築

(c) 人間侵入シナリオと稀頻度事象シナリオに関する検討

これまで、国際機関や諸外国の実施主体、規制機関、国内における類似事業で示された評価の考え方や具体的なシナリオなどを参考に、人間侵入シナリオや稀頻度事象シナリオで取り扱う事象の選定や様式化に関する方法を検討してきた。今後も諸外国の関係機関との情報交換や国際会議等を通じて情報（例えば、人間侵入に対する記録の保存の有効性など）を収集し、最新の知見を反映した評価手法の検討を実施する。本実施項目の技術開発工程を表2.3-6に示す。

表 2.3-6 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
c. 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を通じたシナリオやその様式化方法の検討 		

2.3.3 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) 目的

核種移行解析モデルについては、例えば解析の初期から緩衝材がすべて変質したと仮定してパラメータを適用することや、母岩割れ目中の水みちの微細透水構造や充填物への収着等を考慮しないなど、安全評価上の保守性を十分に確保することを基本的なアプローチとしてきた。今後は、地層処分システムが本来有する安全性をより忠実に示すため、原位置試験等で取得したデータを用いて、モデルが有する保守性の合理化と妥当性確認を行うとともに、より現象に即したものとなるよう改良を図る。

(ii) 実施項目

(a) 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構築

これまで、主に関係研究機関により、セメント系材料と緩衝材との反応など、様々な現象が複合的に進行するニアフィールドを対象として、緩衝材等が変質した場合の基礎データ等の取得が行われてきた。今後は、関係研究機関と連携し、ニアフィールドの間隙水化学の変遷に関する情報等に基づき、ニアフィールドの状態の変遷を現象に即してより忠実に設定し、その変遷に応じた変質状態にあるセメント系材料の核種の移行挙動に係るデータを原位置試験や室内試験により取得する。こうしたデータに基づき、保守性を合理的に設定した核種移行解析モデルの構築とその妥当性を確認するための取り組みを進める。本実施項目の技術開発工程を表2.3-7に示す。

表 2.3-7 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 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構築	室内試験用変質セメント系材料試料の作成	室内拡散試験	室内拡散試験
		原位置試験*によるセメント系材料中の核種移行データの取得	
	セメントの変質を考慮した核種移行解析モデルの構築		室内拡散試験・原位置試験*で取得したデータを用いた核種移行解析モデルの妥当性確認・改良

*：スイス Nagra グリムゼル地下試験施設における原位置試験により取得

(b) 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

割れ目を水みちとした核種移行に関しては、これまで、割れ目を平行平板と仮定し、割れ目内のチャネリングの効果をパラメータによる簡易な近似によって取り扱うとともに、結晶質岩（花崗岩）及び堆積岩（泥岩）に対して、岩盤マトリクス部の核種の拡散・収着を考慮した核種移行解析モデルを適用してきた。今後は、関係研究機関と連携し、グリムゼル地下試験施設における原位置試験などにより、そのモデルの妥当性を確認するとともに割れ目中の微細透水構造などを反映して改良を行う。また、複数の割れ目が連結したよりスケールの大きな場（数十 m から 100 m 程度のスケールの空間領域）を対象として、既存の水理・物質移動モデルの妥当性を確認するために必要なデータ等の準備とそれらを用いたモデル化や、モデルによる計算値と実測値の比較等を通じたモデルの妥当性確認手法の整備を進める。本実施項目の技術開発工程を表2.3-8に示す。

表 2.3-8 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 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	原位置拡散試験データ*1に基づく拡散モデルの妥当性確認		
		割れ目を対象とした原位置拡散試験データ*1の取得	
			原位置拡散試験データ*1を用いた割れ目中の核種移行解析モデルの妥当性確認
	地下研データ*2を用いた地下水流動・物質移行モデルの妥当性確認のための準備	地下水流動・物質移行モデルの構築や実測値との比較、モデル化手法間の比較	
		モデルの妥当性確認手法の整備	

*1：スイス Nagra グリムゼル地下試験施設における原位置試験により取得

*2：SKB International と NUMO/JAEA/電力中央研究所との協力協定「エスポ地下岩盤研究施設の情報と成果の利用に関する協定」に基づき入手したデータ

(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) 目的

閉鎖後長期の安全性の評価に関する信頼性の向上を目的として、これまで、ニアフィールド領域を対象に地質環境条件や施設設計仕様をできるだけ忠実に反映した核種移行解析モデルの開発を進めてきた。今後は、こうした技術をさらに発展させ、処分場パネルやアクセス坑道などの配置等を含めたより規模が大きい領域を対象とした核種移行解析モデルの構築を図る。加えて、地質環境特性の長期変遷等の成果を反映し、地質圏－生活圏インターフェイス（GBI：Geosphere-Biosphere Interface）の時間的変化をより忠実に取り扱うことが可能な生活圏評価手法を構築する。

(ii) 実施項目

(a) 施設設計を反映した核種移行解析モデルの構築・高度化

これまでに、ニアフィールド領域を対象に、人工バリアの構成要素を含んだ母岩の割れ目ネットワークモデルによる三次元の粒子追跡解析に基づき、人工バリアの機能や母岩中の割れ目の連結性や岩盤基盤部における拡散を反映した一次元マルチチャンネルモデルへの簡略化のための手法を開発した。さらに、この一次元マルチチャンネルモデルによって、ニアフィールド領域と、パネル配置等を考慮した処分場領域とを簡易に結合して核種移行解析を行うための手法を開発した。今後は、地質環境の長期変遷モデルや設計仕様を考慮して、広域

から、処分場領域、パネル領域、ニアフィールド領域までの各スケールに応じ、スケール間の整合性を確保して核種移行解析を実施することが可能な手法とモデルの開発を進める。これにより、核種移行解析において、気候・海水準変動などによる地下水流動方向や地下水組成の変化、坑道や人工バリア、埋戻し材といった処分施設の構成要素の配置や形状、物理化学的特性をより明示的に取り込んでいく。また、こうした解析計算をより効率的に行うため、並列計算などにより高速処理する手法についても併せて開発を進める。本実施項目の技術開発工程を表2.3-9に示す。

表 2.3-9 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 施設設計を反映した核種移行解析モデルの構築・高度化	空間スケールに応じた三次元粒子追跡解析に基づく核種移行解析モデルの構築		
	パネル／処分場スケール		処分場／広域スケール
	大規模領域を取り扱う計算手法／技術の開発計画立案	大規模領域を取り扱う計算手法／技術の開発	
	処分場の状態変遷を反映するための手法の検討		

(b) 地質環境の変遷に応じた生活圈評価手法の高度化

これまで、気候や地形の観点から、日本全体を類型化し、それぞれに対してコンパートメントモデルに基づく簡易な生活圈モデルを整備し、農作業従事者などの決定グループを対象としてサイトを特定しない一般的な生活圈評価を実施してきた。今後は、コンパートメントモデルの改良によって生活圈モデルの詳細化を図るとともに、地質環境の長期変遷モデルを用いて、時間変化するGBIの空間分布を反映した手法への高度化を図る。また、本検討において、生活圈評価に係る重要かつ整備に時間を要するデータや課題について分析し、適宜、評価に必要なパラメータ設定のためのデータ取得計画へ反映する。本実施項目の技術開発工程を表2.3-10に示す。

表 2.3-10 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 地質環境の変遷に応じた生活圏評価手法の高度化	サイト調査と関連させた生活圏評価の考え方の検討		
		三次元粒子追跡解析を用いた GBI の評価方法の検討	
			GBI の時間変遷の取扱いに関する検討

2.3.4 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) 目的

地層処分システムの状態変遷や処分場設計の特徴をより忠実に反映可能な核種移行解析や生活圏評価のためのモデルに対応して、解析に必要となるパラメータの設定に資するため、熱力学、収着・拡散、生活圏における核種移行に係るデータベースについて、不十分なデータを拡充するとともに信頼性の向上を図る。また、従来こうしたデータベースは、幅広い地質環境などに対応できるように汎用性を重視して一般的な条件で取得されてきており、今後、概要調査段階の準備を目的として、サイトで取得した地下水水質などのサイト固有の条件を反映して、パラメータを設定する手法の構築を進める。

(ii) 実施項目

(a) 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

これまででは、関係研究機関と連携し、最新の文献などの調査に加え、室内試験を通じて熱力学データベース (TDB : Thermodynamic Data Base)、収着データベース (SDB : Sorption Data Base)、拡散データベース (DDB : Diffusion Data Base) に資する情報の拡充を図ってきた。今後も引き続き、データが十分に整備されていない比較的炭酸物質濃度が高い地下水が存在する場の条件等に重点を置き、緩衝材及び主要鉱物等への核種の収着分配係数や拡散係数の設定に係るデータ、溶解度設定に係る熱力学データを取得する。さらに、ニアフィールドにおける人工バリア間、人工バリアと周辺母岩との相互作用等による長期的な状態変遷を考慮した核種移行パラメータの設定のため、例えば、Na型ベントナイトが変質して形成されるCa型ベントナイトへの核種の収着分配係数や拡散係数の設定に係るデータの取得を行う。本実施項目の技術開発工程を表2.3-11に示す。

表 2.3-11 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
a. 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	高炭酸物質濃度地下水環境におけるデータの取得		
	還元性・高炭酸物質濃度地下水環境における収着分配係数取得方法の開発		収着分配係数取得方法の高度化とデータの取得
	高炭酸物質濃度地下水環境における収着データの拡充		
	熱力学的収着モデルを用いたパラメータ設定に係る適用性検討		収着モデルの改良
		還元性・高炭酸物質濃度地下水環境における溶解度設定に係るデータ取得	
	溶解度の温度依存性評価		熱影響を考慮した炭酸物質の溶解度への影響に関する検討
	緩衝材の変質を想定した核種移行パラメータ設定のためのデータ取得		
		Ca 型ベントナイトに対する収着・拡散データの取得	
	高 pH 環境における Na 型ベントナイトへの核種の収着分配係数の取得		データの拡充
		変質した緩衝材に対する収着・拡散に係るパラメータ設定手法（モデルの適用等）の検討	

(b) 様々な生活圏を想定した生活圏評価に係るデータの拡充

これまでは、主に関係研究機関により、日本全体を幅広く対象として、安全性の評価上重要な核種の地表土壌への収着分配係数等のデータ取得や、地表における炭素の循環メカニズムなどに関する研究が実施されてきた。今後は、関係研究機関と連携し、生活圏評価に必要なデータが十分に整備されていない沿岸海底下を含む領域を対象として、また、比較的炭酸物質濃度が高い表層地下水水質に対するアクチニドやその子孫核種に重点をおいてデータの拡充を図る。また、線量を支配する核種の一つとして重要であるヨウ素を対象に、地表における循環に関するデータについて拡充を図る。さらに、生活圏評価手法の高度化に応じて、必要となるデータについては適宜データ取得を進める。本実施項目の技術開発工程を表 2.3-12 に示す。

表 2.3-12 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
b. 様々な生活圏を想定した生活圏評価に係るデータの拡充	データ取得計画の策定 ←→		
	安全評価上の重要核種の土壌への収着分配係数設定のためのデータの取得 ←→		
	ヨウ素の揮散率設定に係る調査・予察的試験の実施 ←→		ヨウ素の揮散率設定に係るデータ取得 ←→
	線量への換算係数*の算出手順の整備 ←→	線量への換算係数の算出と線量への影響度の評価 ←→	

*: 生活圏への核種移行率を簡易に線量に換算するため生活圏評価モデルを用いて算出する係数

(c) サイト調査を反映した核種移行パラメータの設定方法の構築

これまでは、一般的に想定される地質環境を対象に、主要な因子に着目して設定された試験条件に基づき実験室で取得されたデータを用いて、溶解度や収着分配係数、拡散係数といった核種移行パラメータを設定する手法を構築した。今後は、関係研究機関と連携し、実際のボーリング調査により取得された現実的な地質環境情報や核種移行に係るデータなどに対して、核種移行パラメータ（溶解度、収着分配係数、拡散係数等）を設定する手法を構築する。本実施項目の技術開発工程を表2.3-13に示す。

表 2.3-13 今後 5 年間の技術開発工程

実施項目	2018 年度	2019 年度	2020 年度～2022 年度
c. サイト調査を反映した核種移行パラメータの設定方法の整備	核種移行パラメータ設定手法の整備・高度化 ←→		
	サイト調査で取得するデータを用いた核種移行パラメータ設定手法の検討 ←→		サイト調査で取得するデータを用いたパラメータ設定手法の高度化 ←→
			サイト調査に基づく核種移行パラメータ設定の手引書の作成 ←→

3. 中長期的に研究開発を進めるうえでの重要事項

3.1 技術マネジメント

3.1.1 中長期的に研究開発を進めるための技術マネジメント

地層処分事業を進めるにあたっては、長期にわたる事業期間における科学技術の進歩や社会的要件の変化への適確な対応が求められる。また、様々な論拠を統合したセーフティケースを用いて、長期にわたる安全性を示すことが必要となる。このためには、事業全体を見通し、必要な最新技術・知見を見極めて廃棄物処分に関連する様々な機関からも幅広く吸収するとともに、多岐にわたる技術分野の研究を連携・統合し、多様なステークホルダーとの対話の促進も視野に入れて事業を推進するプロジェクトマネジメント力が必要である。

研究開発は、地層処分に関するこうした技術マネジメントのもとに適切に行われることが必要である。技術マネジメントに関しては、全体計画においてその構造が示されており、また、技術マネジメントを支えるためには、人材と研究基盤からなる体制の確立と、作業を円滑に進めるための仕組みが不可欠であるとして、今後の取り組みが整理されている。

本章では、技術マネジメントを支える体制及び仕組みの観点から NUMO が取り組む内容を記述する。

3.1.2 技術マネジメントを支える体制に係る取り組み

(1) 事業の進展に応じた NUMO 技術者の確保

地層処分事業では、事業の進展に応じて各段階で必要となる技術者の専門性や要員数が変化する。今後、NUMO は、事業を通じた各段階において必要とする人材の特徴と要員数について、長期的視点に立ち、特に初期の段階である文献調査や概要調査に焦点を当てて、具体的に検討を進めていく。また、事業の進展によって NUMO が人材確保に急を要するような場合に、関係機関の人的支援等の連携・協力を柔軟に得られるよう、連携を強化していく。

また、長期的視点に立って、若手技術者を継続的に確保していくための施策を講ずることが必要であるが、これにあたっては、若手技術者が将来にわたり活躍できるイメージや目標を持てるような材料を提供すること等により、地層処分分野の魅力と認知度を高めていく必要がある。

今後は、NUMO を中心として、産業界と大学・研究機関との共同研究を幅広い分野で積極的に実施することで認知度を高めていく。

(2) NUMO 技術者の人材育成

技術マネジメントを支える体制の整備にあたっては、人材の確保とともに育成も重要な課題である。これまでの長年にわたる研究開発によって関係研究機関のベテラン層に蓄積されている知見・経験を、NUMO の若手技術者に継承していくことが必要である。

技術継承については、これまで NUMO と国内外の関係機関との技術連携・交流を通し、NUMO からの協力要請に対して、相手先から研究開発成果の提供を受ける形式によるものが主であったが、今後は、成果の提供のみならず、NUMO と関係研究機関の間で共同研究や人材派遣等の人事交流をより積極化し、協働を通じた、暗黙知も含めた知見・経験の継承を図

っていく。また、関係研究機関のみならず関連する産業界と広く連携を模索し、様々な技術情報や動向等の情報交換を可能とするような場の構築を図っていく。

多岐にわたる技術を統合する能力の向上を図るため、若手技術者が、様々な技術が活用される現場で経験を積むことができる環境を確保することが必要である。

このため、国内外の関係機関との共同研究等において、若手技術者を長期的に研究現場へ派遣するとともに、IAEA等の国際機関が主催するトレーニングコースへの参加等を通じて、人材育成を図ってきているが、今後は、国内外の関係機関等の連携により、現場経験をもとに技術力の継承・発展を図る場を創設するなど、若手技術者が現場経験を積むことができる仕組みをさらに整備していく。この際、地層処分に直接関連しない他産業でも部分的には地層処分と共通的で実践的な現場経験が得られると考えられることから、他産業での現場経験の機会も念頭において取り組んでいく。こうした現場経験を積むことが可能な、より実践的な研究基盤の長期にわたる活用や、国内外での共同研究・共同プロジェクト、国際機関主催の研修への参加の拡大等により、若手技術者を継続的に育成していく。

3.2 技術マネジメントを支える仕組みに係る取り組み

技術マネジメントを適切に進めるためには、技術に対する様々な要件、関連のある多岐にわたる科学技術的知識・情報・データと、それらの品質を体系的に管理することが必要である。

要件の管理については、法令、国際的原則・指針、廃棄体要件、ステークホルダーからの様々な要求事項等を基に、サイト調査、処分場の設計、安全評価等に係る要件を階層的に整理し、上位の要求事項から具体的な設計へと展開するための仕組みとこれを支援するツールの開発・整備を行う。

知識の管理については、NUMOにおいて関係研究機関等から移転された技術、包括的技術報告書で取りまとめた地質環境の調査・評価結果、処分場の設計・安全評価の内容、その作成に伴って整備した国内外の最新の知識・情報等を階層的に分類して体系的に整理するとともに、透明性・追跡性・取出しの容易性を確保した知識・情報・データを一元管理するための仕組みの構築を図る。

知識・情報・データの品質の確保については、品質管理／品質保証に関する体系的な考え方を整備するとともに、データ等に必要となる品質レベルを確保するため、取得のための要素技術、プロセス、作業者の技量などを継続的に改善していく。

これら技術マネジメントを円滑化する仕組みと支援ツールの構築にあたっては、先端的なITを活用するとともに、継続的な改善を図る。また、NUMOや関係研究機関間のデータベースの連携などを進める。

3.3 国際連携・貢献

人材の確保と育成、セーフティケースの質的向上、それを用いた様々なステークホルダーとのコミュニケーションを効果的に進めるためには、国内のみならず国外の関係機関とも緊密に連携することが必要である。その際、技術的成果や経験を相互に共有することを通じ、

世界的なレベルでの地層処分に係る技術の安全性と信頼性向上、様々なステークホルダーの理解促進に継続的に貢献していく。

4. おわりに

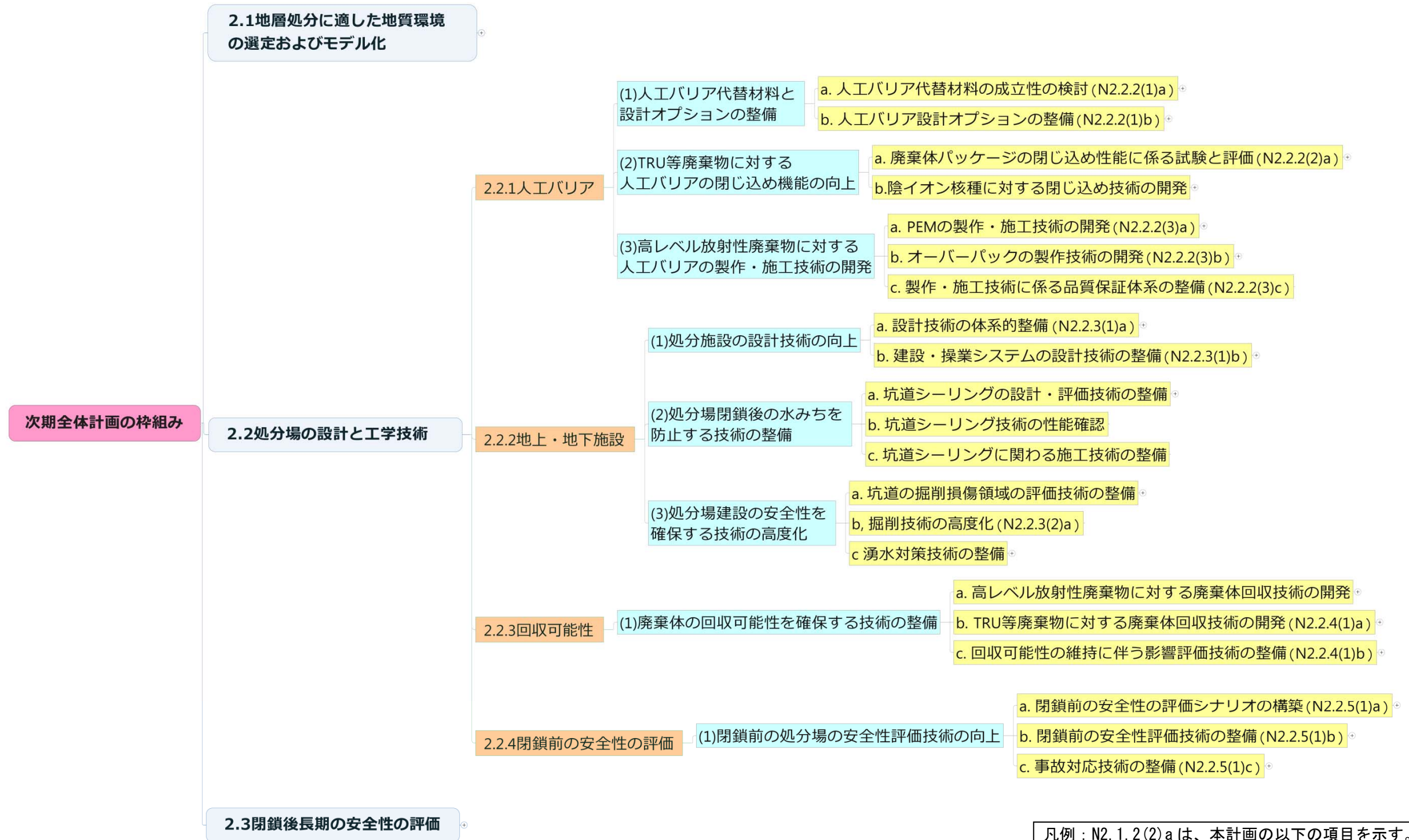
地層処分に係る技術開発は、国及び関係機関とNUMOが、適切な役割分担のもと緊密に連携・協力を図りつつ、研究開発成果の移転・継承や人材育成等にも配慮しながら、計画的に進めていくことが重要である。

全体計画に基づき、本計画において、事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等の観点からNUMOが2018年度～2022年度の5ヶ年で実施する技術開発について、目的、実施概要、技術開発工程等を示すとともに、全体計画における研究項目との相互関係を示した。今後、NUMOは本計画に従って、地層処分事業及び全体計画に基づく研究開発の進捗状況等を考慮し、適宜見直しを図りながら、技術開発を計画的かつ着実に進めていく。

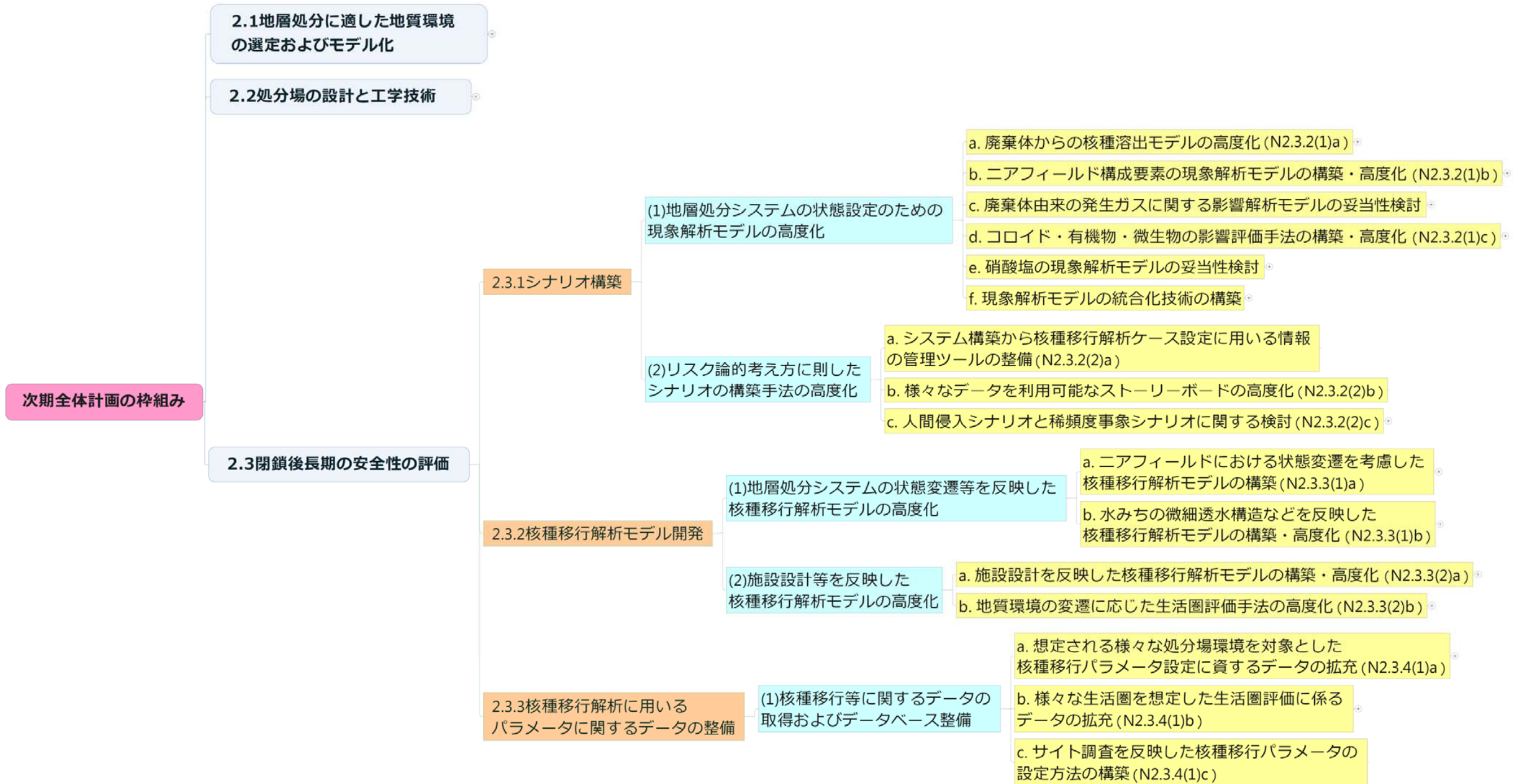
技術開発成果については、国内外に情報発信するとともに、地層処分事業に着実に反映していく。また、ステークホルダーとの対話の促進や社会的合意形成に向けた取り組みにおいて、こうした技術開発成果を常に念頭において取り組む。



凡例：N2.1.2(2)aは、本計画の以下の項目を示す。
 2. NUMO 技術開発計画
 2.1 地層処分に適した地質環境の選定及びモデル化
 2.1.2 自然現象の影響
 (2) 長期的な自然現象の発生可能性及び地質環境の状態変遷の評価技術の整備
 (ii) 実施概要
 (a) 自然現象に係る長期的なシナリオ設定と地質環境の状態変遷に係る影響評価のための手法の整備



凡例：N2.1.2(2)aは、本計画の以下の項目を示す。
 2. NUMO 技術開発計画
 2.1 地層処分に適した地質環境の選定及びモデル化
 2.1.2 自然現象の影響
 (2) 長期的な自然現象の発生可能性及び地質環境の状態変遷の評価技術の整備
 (i) 実施概要
 (a) 自然現象に係る長期的なシナリオ設定と地質環境の状態変遷に係る影響評価のための手法の整備



凡例：N2.1.2(2)aは、本計画の以下の項目を示す。
 2. NUMO 技術開発計画
 2.1 地層処分に適した地質環境の選定及びモデル化
 2.1.2 自然現象の影響
 (2) 長期的な自然現象の発生可能性及び地質環境の状態変遷の評価技術の整備
 (i) 実施概要
 (a) 自然現象に係る長期的なシナリオ設定と地質環境の状態変遷に係る影響評価のための手法の整備