

現行の全体計画に沿った研究開発の達成状況と今後の取組み案

章	中項目No/名称	目的	細目	平成 29 年度までの状況	平成 30 年度～令和 4 年度の状況			今後の 対応案	今後の取組み案
					設定課題	主たる 実施機関	達成状況		
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								
	【共通】							新規	・ 自然現象の地域性や自然現象間の相互関係を考慮した総合的な調査・評価技術の整備、最先端の科学的知見を反映した更なる技術的な信頼性向上。
	2.1.1(1) 火山・火成活動の発生及び影響の調査・評価技術の高度化	地殻～マントル内の地下構造の調査などを通じて新たな火山・火成活動の発生に係る予測の信頼性向上を図るとともに、火山の活動様式に応じたマグマの影響範囲の把握に係る調査・評価技術について調査・評価事例の蓄積を通じて整備する。また、沿岸部海域を対象に、陸域で有効性が確認されたマグマの有無を把握するための調査・評価技術を整備する。	(a) 将来の火山・火成活動の発生に係る評価技術の高度化	・ 非火山地域における地殻深部の部分熔融域の存在などに係る事例が示された。 ・ 地殻～マントル最上部を対象とした地下構造の調査技術（マグマなどの流体の有無や分布を確認するための地球物理学的手法など）に係る研究開発が進められた。	・ 将来の火山・火成活動に関与する地殻及びマントル内の流体の分布や移動の把握精度を地下数十 km 以深の領域まで向上させる。 ・ 遠地地震などを用いた地震波データの拡充などにより、特に背弧側地域における解析の分解能の向上を図る。	JAEA	・ 地震波トモグラフィに必要な地震データの検測（P波、S波それぞれ約 30 万個）と、マントル・ウェッジにおける空間分解能の評価と試解析による効果の確認により、水平分解能が向上し（33km→25km）、地下深部（400km 程度まで）の地震波速度構造から、流体が分布している可能性が高い領域を効果的に推定できるようになった。	継続	・ 手法の信頼性の向上のため、更なる事例研究の蓄積。 ・ 火山フロントの背弧側で第四紀火山が存在しない地域において火山・火成活動が新たに生じる可能性を調査・評価するための手法の高度化・信頼性の向上。
			(b) マグマの影響範囲を把握するための技術の高度化	・ 第四紀火山の活動特性や形成発達史などを把握するための地質学的手法の整備。 ・ 火山体の地下構造を把握するための地球 物理学的手法の整備。 ・ マグマの影響範囲については、火山の活動様式に応じて異なることなどが明らかにされてきたものの、その調査・評価の事例は限定的。	・ 特にマグマの影響範囲が第四紀火山の中心から半径 15km 以上に 及ぶ場合の調査事例の蓄積などを通じて調査・評価技術を整備する。	JAEA	・ 火山活動が広範囲に及ぶ単成火山群について、電磁探査（既往データの検証も含む）により地下の高温流体（メルトや水）を示唆する低比抵抗体の範囲を抽出し、第四紀火山の分布との関連性を検討することにより、現在の部分熔融域の分布から将来のマグマの活動範囲をある程度評価できるようになった。 ・ 火山中心から半径 15km の範囲を超えるような地殻浅部のマグマ水平移動（岩脈の伸展）に係る知見の収集・分析（地形解析等）から、将来の活動範囲を適切に評価できるようになった。	継続	・ 手法の信頼性の向上のため、更なる事例研究の蓄積。
			(c) 沿岸部海域におけるマグマの有無を確認するための技術の高度化	地下構造の調査技術（地震波トモグラフィ、電磁探査（地磁気・地電流法）などの地球物理学的手法、ヘリウム同位体比を指標とした地球化学的手法など）に係る研究開発が進められ、その事例が蓄積されてきた。	・ 沿岸部海域においても地殻及びマントルを対象として内陸部と同程度の精度や空間分解能で調査・評価が可能となるよう、特に内陸部とは調査・観測環境が大きく異なることが想定される地震学的手法について、上記(a)に成果を反映し調査・評価技術を整備する。	JAEA	・ 沿岸部を対象とした地震波トモグラフィ等の精度の向上のため、堆積層の層厚分布を考慮した解析により震源決定精度を向上させる手法を整備した。開発した手法による震源再決定を行ったうえで地震波トモグラフィを実施し、沿岸部において流体の存在を示唆する低速度域の検出精度を向上させた事例を提示し、成果を 2.1.1(1)(a)に反映させた。	完了	—
	2.1.1(2) 深部流体の移動・流入に係る現象理解及び影響の評価技術の整備	地下深部からの流入の可能性が想定される非火山性の深部流体について、調査・評価事例の蓄積を通じてその形成や移動に係る現象理解を深め、流入の可能性や影響の評価に必要な技術基盤の整備を図る。また、沿岸部海域を対象に、陸域で有効性	(a) 深部流体の形成・移動に係る調査・評価技術の整備	海洋プレートの沈み込みに伴う脱水流体を起源とする深部上昇水、古い海水などを起源とする長期停滞水などの存在が明らかにされてきた。	・ 深部流体の賦存域が地下深部に形成され得る地域の条件（発生・形成メカニズムを踏まえた分布の規則性など）や、地表付近への流入に関与する地殻内や地質環境の特性（流体の移動に関与する断層・クラックの性状など）の抽出に着目して、これらに関連する地質学的・地球物理学的手法の知見を調査の事例を通じて蓄積する。 ・ これらの知見に基づき深部流体の流入の可能性や熱・水理・地	JAEA CRIEPI	・ 深部流体の化学的・熱的特徴を把握するための手法として、同位体分析や熱年代解析等に基づく手法の適用性を提示するとともに、地震学・地質学的解析に基づき、深部流体の地下からの移行経路を把握する手法を提示した。	継続	・ 深部流体の知見の充実のため、深部流体が地質環境に与える影響の大きさ、影響範囲の検討。 具体的には、地球物理学、地球化学、地質学、年代学等の最新の科学的知見を取り入れ、深部流体の調査・評価技術を高度化・統合化してくための、複数の手法を組み合わせた検討事例の蓄積。

		が確認された深部流体の有無などを把握するための調査・評価技術を整備する。			化学的な影響の評価に係る技術基盤の整備を図る。				
			(b) 沿岸部海域における深部流体の有無などを確認するための技術の整備	2.1.1(1)(c)と同じ。	2.1.1(1)(c)と同じ。	JAEA	・ 2.1.1(1)(c)と同じ。	完了	—
	2.1.1(3) 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	地形的に不明瞭な活断層の分布・活動性、上載地層がない場合の断層の活動性、地震・断層活動の水理学的・力学的影響の調査・評価技術について、従来の地形・地質学的手法に加え、測地学的・地球物理学的・地球化学的・水理学的手法も組み合わせた調査・評価技術の体系的整備の観点から事例の蓄積を通じて整備する。また、海陸接合部付近における活断層の分布・活動性の調査・評価技術について、陸・海域で適用性が確認された個別技術の組み合わせに係る適用事例の蓄積を通じて整備する。	(a) 地表において特定が困難な活断層を検出し活動性を把握するための技術の高度化	変動地形学的手法や地球物理学的手法といった従来手法を補完する新たな調査技術として、断層沿いに放出されるガスの特徴を指標とした地球化学的手法などを用いた調査技術の開発が行われてきた。	・ 測地学的手法に加えて、地形・地質学的手法や地球物理学的手法などの組み合わせにより地下に伏在する断層の活動性を評価する技術を整備。	JAEA	・ 地形的に不明瞭な活断層の分布や活動性を把握するための調査技術としては、従来の地形・地質学的手法に加え、測地学・地球物理学・地球化学的手法も組み合わせたアプローチを提示した。	継続	・ 概要調査後半～精密調査段階でのボーリングや坑道掘削中に新たに遭遇する可能性のある断層の調査・評価技術の科学的信頼性の向上に向けた最先端の研究・技術開発。 ・ 手法の信頼性の向上のため、更なる事例研究の蓄積。 ・ 適用事例の拡充に加え、破碎帯内物質における元素移動のメカニズムの解明。 ・ 破碎帯内物質の年代測定に基づく検討、手法の確立に向けた実験的検証。
			(b) 上載地層がない場合の断層の活動性や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や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。 ・ 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。 ・ 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。	・ 断層の活動性評価技術の高度化を図る。 ・ 調査対象地域の周辺で生じる地震や応力場などの変化に伴う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学的・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を整備する。 ・ 主にボーリングや坑道調査の段階に遭遇した断層に対する調査・評価技術として整備するとともに、断層の活動性のみならず断層活動に伴う周辺岩盤の破碎などの影響の評価にも反映する。	JAEA	・ 上載地層がない場合の断層の活動性評価については、断層破碎帯内物質の化学組成に基づく評価手法（機械学習を用いた活断層と非活断層の分類）を新たに提示した。	継続	・ 2.1.1(3)(a)に統合して実施。
						NUMO	・ 地上からの調査（物理探査やボーリング調査など）、坑道からの調査において遭遇する断層について、周辺の断層活動に伴い調査対象となる断層の変位や断層周辺の間隙水圧や地下水水質などの地質環境の変化について、サンアンドレアス断層（米国）を対象とした高度化したモニタリング装置の設置及び観測の開始を通じて、当該装置の適用性に係る見通しを得た。 ・ 国内外の既存の地震・活断層に伴う調査対象となる断層及びその周辺における地質環境の変化をシミュレーションするための解析コードの有効性及び課題を確認し、原位置試験への適用に向けた準備が整った。	継続	・ 設置した観測装置による数ヵ年の計測を実施することによるデータの取得及びモニタリング技術の有効性や耐久性の確認。 ・ 取得した観測データを用いたシミュレーションによる断層周辺の地質環境の変化の評価を行うことによる当該シミュレーション技術の妥当性及び適用性の確認。
			(c) 地震及び断層活動による水理学的・力学的影響を把握するための技術の高度化	・ 断層運動に伴う破碎帯の分布と発達過程などに係る調査事例の蓄積により、地震及び断層活動による水理学的・力学的影響を把握するための技術が構築されてきた。 ・ 水理学的影響については地震に伴う地下水圧の変化の要因を明らかにするための検討が行われてきた。	・ 地震の発生に伴う長期間湧水や地下水圧・水質の変化に係る調査・解析事例を蓄積し分析することにより技術を整備。 ・ 地震・断層活動による水理学的影響などの評価に反映する。	JAEA	・ 地下の流体賦存域については、MT法電磁探査や地震波トモグラフィ等で把握することが可能になった。 ・ S波スプリッティング解析の適用により、地下からの流体移行経路の存在についても評価できる見通しを得た。	継続	・ 2.1.1(2)(a) 地球物理学的手法に統合して実施。
			(d) 陸域から海域にかけて活断層の分布を連続的に確認するための技術の高度化	陸域から海域にかけて連続的に分布する活断層を対象とした調査技術及び調査事例に係る技術情報が網羅的に収集・整理された。	・ 海陸接合部付近における活断層の検出・評価の観点から技術情報の取りまとめを行い技術基盤として整備し、2.1.2(2)(ii)(a)に成果を反映した。	JAEA	・ 過去の研究事例のレビューにより、日本列島沿岸部の断層分布・断層運動に関わる地形・地質学的特徴を整理するとともに、規模の大きな断層（長さ数 km 以上）については、沿岸部においても、既存の調査技術の適切な組み合わせにより、陸域と同様に断層の分布や活動履歴等の情報が取得できることを提示した。	完了	—
	2.1.1(4) 地形・地質学的	将来の隆起・侵食	(a) 地形学的手法	・ 隆起量・侵食量の推定の指標	・ 幅広い地質環境に対する隆起速	JAEA	・ 熱年代や宇宙線生成核種といった新しい手	継続	・ 地形発達シミュレーションの高度化、地質

	情報に基づく隆起・侵食の調査・評価技術の高度化	の予測の信頼性向上に向け、地形学的手法や堆積物などの年代測定に基づく隆起・侵食の調査・評価技術に加え、過去百万～数十万年前以前の隆起・侵食量の調査・評価に適用可能な手法を拡充するとともに、海成段丘などの有効な指標に乏しい沿岸部陸域及び海域における隆起・侵食の調査・評価技術を整備し、それらの適用事例の蓄積を通じて、気候・海水準変動も考慮した隆起・侵食の調査・評価技術を整備する。	や年代測定などをを用いた過去百万～数十万年前以前の隆起・侵食を把握するための技術の拡充	となる海成及び河成段丘などを用いた地形学的手法の検討。 堆積物の年代測定（広域火山灰による編年、放射性炭素年代測定など）に基づく検討。	度・侵食速度の評価が可能となる技術を整備。 - これらの技術の適用事例の蓄積を通じ、わが国の様々な時間スケールの隆起・侵食速度が把握できる見取り図を整備。 - 過去百万～数十万年前以前の隆起・侵食量の調査・評価に適用可能な手法を用いたデータ取得密度の拡充に資するため、鉙物の年代測定法における閉鎖温度の違いを用いた熱年代学的手法や、分布が局所的な堆積物を対象とした化学分析・年代測定などの適用を検討し、各手法の精度・適用限界について整理。	CRIEPI	法を導入し、沿岸部を含む幅広い地質環境に対する隆起・侵食についての評価が可能となった。 - 宇宙線生成核種等の最新の分析データと地形解析を組み合わせることで日本列島の侵食速度マップを整備し、時空間的に高精度な評価が可能になった。 - わが国の段丘構成層に関する情報のデータベース化や礫の風化実験により基礎情報を蓄積・整理し、テフラ（火山灰）層序とは独立した指標（礫の風化等の堆積物の諸性状）による段丘対比・編年に基づき、隆起・侵食の時空間的な傾向をより正確に把握することが可能になった。		年代学に関する技術基盤の強化に加え、地殻変動様式や気候変動などの影響も考慮した多様な時空間スケールにおける調査事例の蓄積。 隆起・侵食、気候・海水準変動の長期的変遷を考慮した地質環境のモデル化・評価に反映するため、長期的な地形変化を推定するための体系的な調査・評価技術を整備。
			(b)沿岸部の隆起・侵食を把握するための技術の高度化	- 岩石侵食段丘における露出年代測定（宇宙線生成核種の蓄積量などに基づく）の適用性に加え、礫層や土壌に係る経験的な風化指標を重視した総合的な段丘対比・編年手法の検討。 - 沿岸部で海水準変動により海底が陸化した際の下刻を考慮した長期的な隆起・侵食を精度よく把握する。 - 高精度の地形デジタルデータなどを用いた陸域～海域の地形解析に加え、地形地質断面図を用いた陸域での隆起・侵食様式の海域への外挿に基づく沿岸部の隆起量・侵食量の評価手法の検討。	個別の要素技術・評価手法の適用性について取りまとめを行うとともに、各手法を適切に組み合わせた最適なアプローチによる沿岸部での適用事例を蓄積し適用方法を整備する。	JAEA	2.1.1(4)(a)に同じ。	継続	2.1.1(4)(a)に統合して実施。
	2.1.1(5)長期的な自然現象の発生可能性とその地質環境への影響の評価技術の高度化	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に向け、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。	(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	自然現象の著しい影響を回避したサイトにおける不確実性に起因して、将来 10 万年程度を超える期間において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、サイトを特定しないジェネリックな条件における検討が進められてきた。	- 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。 - 自然現象の地域的な変動傾向を踏まえた科学的知見（「2.1.1 自然現象の影響(1)～(4)」で取得）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。	NUMO	- 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のシナリオ設定については、これまでのサイトを特定しないジェネリックな検討に加え、1,000 万年前以降の地域ごとの自然現象の空間分布や発生時期・継続期間などの時間変遷に係る最新情報を収集・整理し、地域性を考慮することが可能になった。 - これまでの断層運動による廃棄体の破損シナリオ（新たな断層運動）の発生可能性評価では地域性が考慮されていないことに対して、活断層の分布密度に基づく地域区分を行い、地域性を考慮した評価が可能になった。 - 深部流体の流入による地質環境（熱環境、水理場、化学場）の変化の事例に係る情報を収集・整理し、今後の閉じ込め機能の喪失シナリオの構築に必要な地質環境変化（THMC）に係る現象解析モデルの整備に向けた検討が可能になった。	継続	概要調査の段階におけるセーフティケース更新に向けて、国内の研究機関の検討成果（2.1.1.(1)、2.1.1.(2)など）を取り込み、安全評価に必要なシナリオ構築や現象解析モデルの整備。
			(b)長期にわたる自然現象の発生	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	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	NUMO	断層運動による廃棄体の破損シナリオ（新たな断層運動）の発生可能性評価及び及び	継続	精密調査の段階におけるセーフティケース更新までに、国内で耐震ハザード評価への

			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	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、 - 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するための技術の整備が重要。 - 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。	を超える期間を対象に、(a)で検討する自然現象の変動傾向に係る地域的な特徴に基づき、特に地震・断層活動や隆起・侵食への適用事例の蓄積を図るとともに、過去から現在までの地質学的な履歴に係る科学的知見を利用して、同手法の妥当性の評価を行う。		隆起・侵食による地表への接近に関する確率モデルを提示した。 - 断層運動の発生可能性については、活断層分布に基づく処分場での発生頻度の見積り事例を示した。 - 確率論的評価手法については、これまでの専門家との意見交換の結果を踏まえ、今後の開発方針（火山・火成活動の確率論的評価手法の整備）を設定することができた。		適用実績のある手法を取り込みつつ、将来の学会等による標準化を視野に入れ、将来 10 万年程度を超える期間を対象とした火山・火成活動の確率論的評価手法を整備（2.1.1.(5)(a)に統合）。
2.1.2 地質環境の特性									
2.1.2(1) 水みちの水理・物質移動特性の評価技術の整備	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。	(a) 内陸部の広域的な地下水流動を評価するための技術の高度化	事例研究を通じて広域地下水流動解析手法や地下水の水質・年代に係る調査技術の整備が進められてきた。	- 広域的な地下水の流動及び水質・年代の三次元分布を整合的に解釈することができるようにモデル化・解析技術を整備する。 - ボーリング孔を利用して取得される地質環境データを用いた広域地下水流動解析の結果と長期にわたる地下水流動に伴う地下水の水質・年代の三次元分布との対比を行い、水理地質構造モデル及び解析条件の設定方法の妥当性を確認。 2.1.2(1)(c)の結果を踏まえて解析結果に大きな影響を及ぼす条件や重要な地質環境データの種類・取得密度などを評価。 - 取得した科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。	JAEA CRIEPI	- 瑞浪地域を事例として、既存調査結果や本事業で実施した坑道・施設スケールでの水理試験・トレーサー試験で取得したデータ、広域スケールでの水圧・地下水年代データに基づいて、坑道スケール、施設スケール、広域スケールに応じた最適なモデル化手法及び水理・物質移行パラメータ設定手法を提示。 - 具体的には、坑道スケール、詳細スケールの DFN モデル構築のためのパラメータ設定、物質移行試験再現解析による妥当性確認、割れ目透水量係数、開口幅、分散長の推定手法を構築することができた。 - また、地下水年代を考慮することにより、広域的な地下水流動モデルの校正手法を高度化し、瑞浪地域で実証した。 - 開発した地下水流動評価高度化の技術の概要調査での適用方法について、坑道～広域スケールの地下水モデルの水理・物質移行パラメータ設定方法を構築するとともに、瑞浪地域の事例として、各スケールでの水理・物質移行パラメータを整合的に評価できることを示した。	完了	—	
		(b) 内陸部の地下深部に存在する長期的に安定な水理場・化学環境を評価するための技術の高度化	事例研究を通じて岩盤中の水みちの透水性を把握するための調査技術や水理学的な不均質性をモデル化・解析する技術の整備が進められてきた。	- 長期的に安定な水理場や化学環境の三次元分布を地表から把握する調査・評価技術の体系化を図る。 - 地下深部に水理学的に閉鎖的な環境が形成・維持されてきていると推定される化石海水が滞留している領域を対象に、ナチュラルアナログや古水理地質学に係る情報を取得する。 - 水理場・化学環境の長期的な変遷とその要因を評価する。 - ボーリング調査や物理探査などを組み合わせた調査・評価の方法論を整備。 - 取得した科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。	JAEA CRIEPI	- 物理探査とボーリング調査データを用いて、低流動域を判断する指標である地下水の Cl 濃度と酸素・水素同位体比の三次元分布を、地球統計学的手法により推定可能であることを明らかにするとともに、概要調査への反映を念頭に、その手法を適用する場合の物理探査（測点の数や地点、解析方法など）やボーリング調査（本数、地点、1 つのボーリング孔におけるサンプリング深度や数など）の考え方を整理した。 - 地下水の Cl 濃度は地下の比抵抗と相関性があり、深度 300 m 以深の三次元分布を求める場合は高密度測点の MT 法が有効であることが分かった。地下水の成因を評価できる酸素・水素同位体比は物理探査により直接推定することができないので、比抵抗、Cl 濃度と酸素・水素同位体比との相関性をボーリング調査により確認することを条件に、地球統計学的手法により三次元分布が	完了	—	

							推定可能であることを示した。以上の一連の三次元分布の推定に関して、概要調査への円滑な導入を念頭に、その手法を適用する場合の物理探査（測点の数や地点、解析方法など）やボーリング調査（本数、地点、1 つのボーリング孔におけるサンプリング深度や数など）の考え方を整理した。地下水から分離したガスサンプルで Kr-81 年代測定を実施するためのサンプリング、前処理、分析、評価方法を整備した。これにより、処分事業で重要な、10～100 万年程度の年代を測定する技術・地表付近の水の混入を評価可能な技術が強化された。 ・ 拡散で分離する物質を用いた拡散場評価方法の提示、拡散により分離・分別する物質・同位体の計測方法を確立した。 ・ 生物起源シリカ及び粘土鉱物を比較的多く含む海成堆積層中の長期的な地下水の水質形成機構の評価に取り組み、初生的な海水の塩濃度と酸素水素同位体比が、天水との混合を経ずとも、現在の幌延町の地下深部に見られる地下水の水質と同程度まで変質し得る知見が得られた。 ・ 低流動域を含む広域地下水流動解析を実施する上で考慮すべき古水理地質学的変遷に関する解析への影響因子の抽出を行った結果、地形変化の影響の他、密度流や異常高圧についても影響が大きいことが分かった一方、海水準変動や地表面における天水の涵養量変化の影響は小さいことが確認された。 ・ 2.(1)(a)の成果も踏まえ、物理探査とボーリング調査を展開し、移流場か、拡散場かを判断しながら、地質構造や地下水流動場（低流動域を含む）を評価する方法論を示した。その際、広域スケール（数十 km 四方）の範囲から地下水流動が緩慢な領域が存在する施設スケール（数 km 四方）を絞り込み、その範囲に対して具体的な水理場の三次元分布を評価する手順の考え方を示した。		
			(c) 水みちの水理・物質移動特性を調査・評価するための技術の高度化	岩盤中の水理・物質移動特性に係る調査・評価技術の整備が進められている。 事例研究として岩盤中の水みちを検出するための各種の検層や単一の水みちを対象としたトレーサー試験など実施。	・ 2.1.2(1)(a)、(b)の解析条件の設定に係る手法の最適化を図る。 ・ わが国に特徴的な高割れ目密度の岩盤を対象に、水みちの分布に起因する水理・物質移動場の不均質性を把握するための方法論を整備 ・ この取り組みで取得した様々な科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」にそれぞれ反映する。	JAEA CRIEPI	・ 結晶質岩中を対象とした原位置トレーサー試験と、その補足のための室内試験を実施し、物質移動に関するパラメータを取得し、これまでに開発してきた調査機器などの調査技術の適用性が確認できた。 ・ 割れ目と岩盤マトリクスを考慮した複合モデルを用いた解析では、破過曲線のピーク位置や濃度の推移を再現できた。深度 300 m の孔間トレーサー試験では、トレーサーの回収率からバックグラウンドの地下水の流れを推定した上で、割れ目の開口幅や分散長、吸着係数等の物質移行パラメータが同定できた。深度 500 m で試験結果の評価解析では、室内試験で推定した表面吸着係数を用いることで、破過曲線を良好に再現しマトリクスへの分配係数を同定することができた。 ・ 割れ目沿いの変質部と未変質部の岩石試料を対象として透過拡散試験を実施した結	完了	—

						果、実効拡散係数（De）は、変質試料の方が最大で 1 桁程度高い値を示し、割れ目の観察等から核種の移行経路を評価する手法と実際の核種の移行挙動が整合することを示した。 花崗岩中では、花崗岩の初生的な変質時に生じた斜長石中の空隙が物質移行経路としての役割を果たし、マトリクス拡散が生じていることが明らかとなった。これは、健岩部においても、マトリクス拡散を考慮する必要があることを示している。		
2.1.2(2) 沿岸海底下の地質環境特性の調査・評価技術の整備	沿岸部陸域から沿岸海底下までの広範囲を対象とした概要調査の的確な実施に向け、実証的な取り組みを通じて、サイト調査の観点からこれまでに整備された地質環境調査・評価技術の適用性を確認するとともに改良を図り、長期にわたり安定に存在する水理場・化学環境を把握するための調査・評価技術を体系的に整備する。	(a) 沿岸部陸域・海域を対象としたサイト調査の観点からの既存の調査技術の適用性確認及び高度化	資源探査や学術調査を通じて海域を対象とした物理探査やボーリング孔の掘削及び孔内試験に係る個別技術が整備されてきた。	下記の取組みを通じて地質構造や広域地下水流動などの調査技術について、地層処分におけるサイト調査の観点から適用性を評価し、陸域と同様に処分場の設計や安全評価に必要となる地質環境情報を求められる精度で取得することができるように整備する。 - 沿岸部の陸域から海域にかけて連続した三次元物理探査、海水の影響を考慮したボーリング孔の掘削及び孔内試験や地下水モニタリングなどの技術について実証的な取り組み。 - 沿岸部海域の微地形及び海底湧水の調査技術の体系化。 - この取り組みで取得した様々な科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。	AIST CRIEPI	- 駿河湾や既存の観測井の水質データ、水理試験結果、ならびに数値解析結果を用いて、塩淡水境界より下位では、海側から陸側に向かう地下水の動きを捉えることができた。また、地下水の流速についても、塩淡水境界より上位の淡水の 1/10 以下であることが確認できた。 - 既存の単孔試験や同位体水文学に基づく広域地下水調査法、応力試験の調査手法などを高度化した。これにより、今までの技術で捉えられなかったデータを取得することができた。 - 駿河湾での海底湧水調査や他地域の文献調査により、海底湧出地下水の湧出機構を整理することで、湧出場の条件に応じた有効かつ適用可能な調査技術を体系化した。 - 新しい音波探査技術を用いた水深 5～20m 程度の浅海域における地質構造の把握を目的とした調査手法の高度化を実施して、幌延の浜里沖での実証により陸域から海域までの地質構造を連続的に捉えられる実用的な技術として確立できた。	継続	- 異なる地形地質条件を有する、島嶼を含む沿岸部において、第三紀以前の古い地層を対象にボーリングや物理探査等を用いて塩淡水境界を含む地下水の特性、挙動を確認。 - 放射性希ガスなど新しい地下水年代測定技術の適用性確認。 - 採水技術・計測技術の多様化による地下水分析の適用性及び信頼性の向上。 - 各種海上物理探査と海底湧出地下水調査の適切な組み合わせと体系的な方法論に関する実証。 - 概要調査における地質・地下水調査と地下水モデルの構築・校正については、これらの技術の維持や技術の改良・更新のために、新規の沿岸地域において技術の適用、課題の抽出・解決を継続（2.(1)(a)のテーマを沿岸部対象として継続）。
		(b) 沿岸海底下に存在する長期的に安定な水理場・化学環境を把握するための技術の整備	事例研究が実施された地域において、沿岸海底下に 1～10 万年程度にわたる淡水の張り出しの形成やその下位に 10～100 万年オーダーの長期間にわたって安定な地下水の存在を確認。	以下の取組みを統合しわが国の沿岸部の水理場・化学環境モデルを構築と沿岸部陸域から沿岸海底下までを対象とした広域地下水流動の連続性や長期にわたり安定な水理場や化学環境の存在、断層の地下水流動への影響などが把握できるように調査・評価技術を体系的に整備する。 - 左記のような地質環境が想定される地域を対象に事例研究を実施。 - サイト調査の観点から適用性が確認された調査技術を組み合わせて地下水の水質や年代の三次元分布などを把握。 - わが国の多様な地質環境を考慮に入れつつ水理場・化学環境に係る地質環境情報を幅広く取得。 - わが国の沿岸部の水理場・化学環境モデルは「2.1.2(3)地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」に、この取り組みで取得した様々な科学技術的知	AIST CRIEPI	- 公的機関から公開されている地質図、海底地質図、海域地質構造図DB、地形図、海底地形図などのデータを収集し、全国 55 の沿岸部について、統計学的な処理を行い統一基準で地層区分を実施した後に、画像解析ソフト等を用いて地質構造モデルを構築した。これにより国内の沿岸部を同一の基準で比較できるようになった。 - 駿河湾を対象に文献調査～概要調査を想定し、不確実性を考慮した地質モデルの構築手順を示し、地下水流動解析を実施した結果、不確実性の低減する方法や有効なデータが明らかになり、現地調査において調査地点をより明確に示すことができた。	継続	- 最新の科学的知見を反映した地質環境のモデル化・校正技術の構築と妥当性・適用性確認。 - パラメータの不確実性や相関性などを考慮した予報技術の高度化及び不確実性を安全評価に反映する技術の整備。

					見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」にそれぞれ反映する。				
	2.1.2(3) 地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化	段階的な調査において対象とする地質環境の長期的な安定性を示すうえで必要であるだけでなく、安全評価の基盤となる地質環境特性の長期変遷モデルを構築するための技術について、地質環境の状態変遷に係る評価技術の高度化や安全評価との連携を考慮したモデルの構築を通じて信頼性向上を図る。	(a) 水理場・化学環境の長期変遷をモデル化する技術の高度化	事例研究を通じて、不均質性を有する地下深部を対象に水理場・化学環境の過去から現在までの長期変遷をモデル化する技術が整備されてきた。	以下の取組みにより水理場・化学環境の長期変遷をモデル化する技術の信頼性向上とモデル化技術を活用し、水理場や化学環境の時間的・空間的变化を将来予測するための方法論を整備する。 - 断層活動に伴う水理場などの地質環境の変化に係る調査・解析などを通じて評価技術の妥当性を確認。 - この取り組みで取得した様々な科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。	JAEA	- 断層運動や隆起侵食が断層や割れ目の局所的な透水性に与える影響について、生じ得る透水性の増加幅を岩盤の強度・応力状態から見積もることが可能となった。 - 高塩濃度の地下水の地球化学データを再整理するとともに地質環境の長期変遷を踏まえた地下水流動解析を行い、内陸部における緩慢な地下水流動系を評価するために必要な知見や調査解析技術の基盤を整備した。	継続	- 最新の科学的知見を反映した地質環境のモデル化・評価技術の妥当性・適用性確認。 - 断層や割れ目の局所的な透水性と岩盤の強度・応力状態との関係に関するモデルの適用範囲や条件の整理、及び断層や割れ目の水理的連結性との関係の整理。 - 断層運動や隆起侵食が地層の透水性に与える影響の評価技術の高度化。
			(b) 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	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ものの、それらと関連づけて生活圏を考慮したモデル化については十分な取り組みがなされていない。	以下の取組みとの連携とモデル統合により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を構築し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。 「2.3.2(2)施設設計等を反映した核種移行解析モデルの高度化」との連携（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 「2.1.2(1)水みちの水理・物質移動特性の評価技術の整備」で構築する水みちの微細透水構造モデル 「2.1.2(2) 沿岸海底下の地質環境特性の調査・評価技術の整備」で構築するわが国の沿岸部の水理場・化学環境モデルを統合。 - 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モデル化に反映。 - この取り組みで取得した様々な科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。	NUMO	- 包括的技術報告書で提示した三岩種（深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類）を対象として、公開情報に基づく現在から将来 100 万年の時間スケールにおける地下深部から地表の生活圏までの地質環境特性の長期変遷モデルの構築を通じて、特定のサイトを対象とした、より現実的な処分場の設計や安全評価に反映するための四次元地質環境モデルの構築に必要なデータやそれを取得するための調査項目、着目すべき点や留意事項を含むモデル化の作業手順等を整理することができた。 - 上記のモデルを活用して、地質環境特性の変化を考慮した合理的な処分場の設計やより現実的な安全評価を実施するための情報提供が可能となった。 - 実際の地質環境データを用いて地質環境のモデル化・評価技術の妥当性・適用性の確認を実施した。	継続	- 地表付近の放射性核種の移行プロセスとその長期変遷を対象とした生活圏を考慮した地質環境のモデル化・評価技術について、実際の地質環境データを用いた妥当性・適用性の確認事例の蓄積。 - 特に沿岸部海域における最新の科学的知見や調査技術開発を反映した調査・モデル化解析・評価技術の高度化。
	2.1.2(4) 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	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	(a) 脆弱層を対象としたボーリング孔の掘削・試験技	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	以下の取り組みを通じてボーリング孔の掘削・試験技術の体系的な整備を図る。 ボーリング孔壁の崩壊や押し出	AIST	軟弱層に対する傾斜掘削の実績を調査した結果、比較的低角（45° 以下）な掘削の実績があること、掘削中の任意の孔底において、条件によっては（ある程度固結した岩	完了	—

	の整備	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を考慮しボーリング孔の掘削・試験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。	術の整備	技術の整備が進められてきた。	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学的・化学的な影響の低減などに向け、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、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。 ・ 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試験及びコア試料を用いた試験の合理化を図る。 ・ この取り組みで取得した様々な科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。		体) 採水が可能であることを確認した。		
						NUMO	・ 新たに開発した掘削泥水や掘削機器を利用し、膨潤性・崩壊性を有する脆弱な地層を挟在する岩盤を対象に、安定したボーリング孔壁及び高いコア回収率を確保したボーリング孔が掘削できることを確認した。 ・ 水理試験の実施方法や評価方法、及び原位置での地下水の物理化学パラメータ計測を含む封圧地下水採水調査については、概ね現状の調査・評価技術でサイト調査に対応できると判断できることを確認できた。	継続	・ 試験のマネジメントや試験装置について抽出された課題（データ品質保証、装置耐久性など）の改善。 ・ 孔内水圧破碎試験を適用可能な地層が分布していなかったこと、供試体の作成が困難であったために未検討、検討不十分となった以下の事項に取り組む。 ➤ ボーリング孔の掘削孔径約 170mm に対応した孔内水圧破碎試験の有効性や課題の確認。 ➤ ボーリング孔の掘削・試験技術、岩盤の力学・物質移行に係る品質マネジメントに係る検討。
			(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	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。	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。 ・ 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。 ・ 上記のボーリング孔への適用を通じて当該技術の適用性を確認する。 ・ この取り組みで取得した様々な科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。	JAEA	・ 瑞浪における約 10 年間の観測経験に基づき、設置するモニタリングシステムに合わせて観測孔の孔径を大きくしておくことや、安定した観測の継続には定期的な水圧センサーのメンテナンス・交換が必要であるため、センサーの点検・整備に必要な時間やコストを予め想定しておく必要があることなどの留意点を抽出した。 ・ 瑞浪の調査坑道の埋め戻しに伴う地下水の回復状況を確認するために整備した、地上で地下水の水圧や水質のデータが取得できるモニタリングシステムにより、坑道埋め戻し作業中及び坑道埋め戻し後の地下水の水圧・水質の変化を実際に観測した。その結果、研究坑道周辺では地下水位が埋め戻しに伴って坑道掘削前の状態へと回復する傾向が確認されるなど、埋め戻し作業中においてモニタリングシステムが正常に作動していることが確認できたことから、モニタリングシステムの有効性を確認した。 ・ 幌延の地下施設における約 10 年間にわたる地中変位計測結果から、光ファイバー式地中変位計は、通常のトンネル施工時に用いられる電気式地中変位計と比べて長寿命（10 年以上）であることを確認した。	継続	・ 坑道の埋め戻し時及び埋め戻し後の地質環境回復過程の評価。 ・ 光給電技術や無線給電技術など、坑道内から電力供給が可能な技術開発と地下環境での適用。 ・ 無線通信距離の延長（地下数百 m から地上まで）。
						NUMO	・ 光ファイバーの素線を利用した水圧・水温計測では、十分な測定精度を有することが確認されていることから、これをボーリング孔内に設置するために、素線を高強度化するとともに水圧・水温が計測可能な光ファイバセンサケーブルを設計・試作した。 ・ 既存の地下水の水圧・水温及び地下水採水の長期モニタリング装置の課題に対応するために、光ファイバセンサケーブルを利用した長期モニタリング装置を設計・試作し、パッカーの遮水性能や採水口の作動確認を行い、サイトにおける数十年という時間スケールに対応可能な地下水の長期モニタリング装置を整備できる見通しを得た。	継続	・ 光ファイバセンシング技術を用いた長期モニタリング装置の整備を継続し、及び実際の地質環境を対象とした当該技術の有効性・適用性及び耐久性を確認。 ・ 採水を伴わずに地下水質を連続的に観測する装置の開発。 ・ 上記や 2.1.1(3)(b)等を組み合わせた総合的・体系的なモニタリング技術を整備。
			(c) ボーリング孔	処分場の閉鎖後に地表から掘削し	・ 大深度ボーリング孔内に残置し	NUMO	・ 処分場の閉鎖後に地表から掘削したボーリ	継続	・ ベントナイトペレット、ブリッジプラグ及

			の閉塞技術の整備	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、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。	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。 この取り組みで取得した様々な科学技術的知見やノウハウは「2.1.2(5)サイト調査のための技術基盤の強化」に反映する。		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ことから、NUMO は Nagra（スイス）及び RWM（英国）と当該技術開発に係る国際共同プロジェクトを開始し、これらの国々における先行事例を参考にして国産の閉塞材（ベントナイト及びセメント系材料）の性能を把握し、ボーリング孔の閉塞材として利用できることを確認した。 - 閉塞材であるベントナイトペレットの製造方法や充填密度の検討を実施するとともに、実際のボーリング孔の状態を考慮した室内試験を実施し、閉塞材の特性を把握した。 - Nagra との技術協力により閉塞材を運搬する基盤技術を確認するとともに、ベントナイトを地下深部に運搬する際の課題を確認した。 - 銅を材料とするプラグの設計・試作及び室内試験を実施し、ボーリング孔の閉塞時のプラグとして利用できる見通しを得た。		びセメント系材料の施工性の確認。 国産閉塞材の原位置性能確認やベントナイトペレットの加工方法の検討。
	2.1.2(5) サイト調査のための技術基盤の強化	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に向け、「2.1.1 自然現象の影響」及び「2.1.2 地質環境の特性(1)～(4)」の研究開発を通じて取得される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。	(a) 多様な地質環境の特性に係る科学的知見の拡充	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・整理が適宜進められ、その理解が深められてきた。	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、「2.1.1 自然現象の影響」及び「2.1.2 地質環境の特性(1)～(4)」の研究開発などを通じて、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加え、ナチュラルアナログや古水理地質学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。	NUMO	- 包括的技術報告書で検討を進めた 3 岩種のうち、わが国の地下深部に広く分布する先新第三紀堆積岩類を対象として、ボーリング試験及び採水分析を実施し、相互に関連付けられた体系的な地質環境データ（地質・熱・水理・力学・化学）を取得した。 - わが国の先新第三紀堆積岩類を対象とした地質環境データの取得に際し、これまでに整備されてきた地質環境データ取得に係る技術が、先新第三紀堆積岩類が分布する地域においても適用可能であることを実例として示した。 - 先新第三紀堆積岩類において体系的な地質環境データを取得したことにより、包括的技術報告書において科学的根拠を持って設定した仮想的な先新第三紀堆積岩類のデータセットに基づく検討結果について、実例を提示することによる妥当性の説明が可能となった。	継続	- 最新の文献や関係研究機関の研究開発成果等に基づく地質環境の特性に係る科学的知見を継続的な拡充。 - 自然現象が及ぼす影響等も考慮しつつ地下深部の地質環境特性とその長期変遷の検討に加えて、ナチュラルアナログや古水理地質学に係る最新の科学的知見を集約。
			(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	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。	「2.1.1 自然現象の影響」及び「2.1.2 地質環境の特性(1)～(4)」の研究開発に加え、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技術的知見を集約するとともに、特にその手法・適用方法、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適用す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、「2.1.2(4)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」などの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。	JAEA	2.1.2.(1)(a)、2.1.2.(1)(b)、2.1.2.2(a) に関連。	継続	- 開発してきた基盤技術の維持及び高度化、異なる地質環境で実施し、有効性の確認及び適用技術の整備。 - 新規に取得した地質環境特性データの DBS への登録を通じた格納データの拡充。 - DBS について、ユーザーの操作性・利便性等を向上させるための段階的な改良。 - NUMO の技術開発成果や、関係研究機関の研究開発成果、資源探査・海洋調査等に適用されている最新の調査技術に係る情報収集／調査技術シートの継続的な更新。 - 沿岸域に特有なボーリング調査技術の実証。
						NUMO	- 全国規模の既存文献に係る地質環境特性データの収集・整理し、キーワード検索や地図検索といった基本的な機能を備えた地質環境特性データベースシステム（DBS）を構築するとともに、全国規模の既存文献に係る地質環境特性データや NUMO が実施した調査・試験・評価に係るデータの DBS への登録を通じて、DBS の実用性を確認することで、データマネジメントの実効性を向上することができた。 - これまでに整備したサイト調査に適用す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については、2.1.2.(4)(a)の実証的な取り組みへの適用を通じて、特定のサイトを対象としたマネジメントに反映可能な実効性の向上や知見の拡充を行った。	継続	

章	中項目No/名称	目的	細目	平成 29 年度までの状況	平成 30 年度～令和 4 年度の状況			今後の対応案	今後の取組み案
					設定課題	主たる実施機関	達成状況		
2.2 処分場の設計と工学技術									
処分場の設計と工学技術に関する今後の取組み案についての補足説明									
・ 設計体系の整備 ✧ 信頼性向上：これまで蓄積されてきた人工バリアや地上・地下施設の設計に必要となる試験データや知見を拡充し、その信頼性を向上させる取組みが必要であるもの。 ✧ 設計最適化：サイト調査により取得された地質環境などの情報に基づく、処分場設計の詳細化及び最適化に向けて、人工バリア代替材料を含む設計オプションの整備を進めるもの。 ・ 工学技術の実証的研究：地下特性調査施設で実施する実証試験の計画を立案に向けて、機械装置の製作を伴う技術開発には時間を要することを念頭に、工学的成立性に係る課題を具体的に解決していくもの。実証のスケールアップを主要な目的とするものではなく、設計体系の整備との調和に配慮する。 ・ 閉鎖前の安全性の評価：今後制定される規制要求事項への対応を視野に、包括的技術報告書で示した閉鎖前安全性の評価の考え方を出発点として、許認可申請に向けて具体的な課題に取り組んでいくもの。									
	2.2.1 人工バリア								
	2.2.1(1) 人工バリア代替材料と設計オプションの整備	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。	(a) 人工バリア代替材料の成立性の検討	【ベントナイト】 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ているが、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。	・ 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、経済合理性や調達の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、これまで優先的に研究開発されてきた材料に加えて様々な代替材料（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、代替材料の技術的な成立性を確認する。	RWMC CRIEPI	・ 沿岸部の多様な地下水を想定した建設から再冠水に至るまでの坑道建設に必要なセメント系材料の変質機構と力学特性のデータを体系的に整備し、地下水組成の力学特性に対する影響について把握した。その結果、候補地点が決まった際に気をつけるべき事象を明らかにできた。 ・ これまでの知見が十分とは言えない塩水中における圧縮系での緩衝材のイオン交換選択係数と、その結果生じる緩衝材の自己シール性に関する膨潤率のデータを体系的に整備し、地下水の組成の膨潤率への影響はイオン強度との関係で整理でき、これまでの淡水と海水のデータに基づく仕様設定をより合理的にすることが可能となった。 ・ 加えて、これまでほとんど知見が得られていなかった海水環境下でのオーバーパックの変位挙動も含めた緩衝材（Ca 型も含む）の自己修復性（せん断時の透水挙動）の定量化から、Na 型と比べ、Ca 型は海水の濃度によらず緩衝材の性能が安定していることがわかった。	継続	・ 材料の選定や仕様設定において留意すべきセメント系材料の力学特性への影響要因についてその影響の程度、進展に関するデータと、定量的に把握するための評価モデルの整備。 ・ 緩衝材の自己シール性に関する要素試験による隙間充填性と充填部の緩衝材としての性能確認（膨潤率による評価方法の信頼性向上）。 ・ 従来の人工バリア材料（ベントナイト、モルタル等）の特性評価も含めた代替材料の適用性検討。
				技術的な成立性を確認した代替材料の特性データは、「2.2.1(1)(ii)(b)人工バリア設計オプションの整備」、「2.2.2(1)(ii)(a)設計技術の体系的整備」、「2.3.3(1)(ii)(a)想定される様々な処分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」へ反映する。	NUMO	【ベントナイト材料の特性試験】 ・ 国内産の複数のベントナイトが、多様な環境条件において緩衝材または埋め戻し材に適した基本特性を有しており、クニゲル V1 の代替材料としての技術的な成立性を確認できた。 ・ 100℃を超える高温環境におけるベントナイトの水理・力学特性のデータ取得を開始した。高温・高圧下で湿潤状態を長期間維持した試験体の養生方法など 100℃超に対応した試験が可能となった。	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上） ➤ 高温履歴を受けたベントナイトの性状分析と基本特性試験（水理・力学）の継続、緩衝材の設計要件に対する成立性検討。 ➤ 高温環境の制約条件（緩衝材の制限温度など）の緩和に向けた検討。	
							【ベントナイト材料の特性試験（長期圧密試験）】 ・ 人工バリア機能の長期健全性に関連して、ベントナイトの二次圧密の加速挙動が生じる現象を確認するため、外的要因（試験機器や試験環境が原因と考えられるもの）と内的要因（ベントナイト材料が潜在的に有すると考えられるもの）に分類して原因分析を実施し、原因を明らかにするための試験方法や試験ケースを設定した。	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上） ➤ ベントナイトの長期圧密試験の継続。 ➤ 締め固めたベントナイトの動的特性の取得。 ➤ 人工バリアの長期健全性を評価する技術の整備と実証。

							内的要因の原因を究明するため、複数の材料、試験条件にて長期間（10 年程度）の圧密試験を開始。試験開始 2 年経過後も二次圧密の加速挙動は確認されていない。		
							【ベントナイト材料の特性試験（微生物増殖活性試験）	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上） ➤ 微生物腐食に対する緩衝材の設計要件の更新。
							【ベントナイト材料の特性試験（材料長期挙動のナチュラルアナログによる傍証）】	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上） ➤ 緩衝材の長期挙動に関わる、国内外のナチュラルアナログ事例調査の継続。
						RWMC	・ 過渡期の性能評価に向けて、酸化環境での廃棄体パッケージの耐食性の評価に必要な溶接部（LAH、EB、TIG）の全面腐食に関する根拠データを取得した。	完了	—
						NUMO	・ 鋳鋼製オーバーパック及び銅コーティング材の耐食性の評価のため、ベントナイトに金属試験片を埋め込んだ腐食試験を実施し、これまでのところ、鍛鋼品と鋳鋼品の比較、銅コーティング材と純銅材の比較で腐食特性に大きな差異がなく、代替材料としての適用性を確認できた。	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上） ➤ 処分容器の長期腐食寿命評価技術の高度化。 ➤ 炭素鋼及び銅の耐食性に関する試験データの取得。 ➤ ナチュラルアナログ／考古学アナログ事例の調査。
				【オーバーパック】 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。					
	(b) 人工バリア設計オプションの整備	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。	以下の取組みによりサイトの地質環境特性に対し柔軟に対応して、より合理的な人工バリア仕様を設計できるようにする。この検討においては、緩衝材の設計条件に対する安全裕度の検討も含む。	研究機関	—			—	・ 処分場概念カタログ（NUMO-TR-04-03 参照）の概念のうち、過去に十分な検討がなされていない設計オプションについて、NUMOにおける最適化の検討を踏まえながら優先順位を明らかにして、最新知見や技術に基づいてより定量的に適用性を評価。 ・ 地下特性調査施設で実施するサイト環境条件に適合した実証試験に向けた品質管理手法の開発。
				工学的な実現性を試行的な設計検討により評価する設計オプションの候補として、 ・ 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。 ・ TRU 等廃棄物については PEM（Prefabricated Engineered Barrier System Module）方式を採用した場合の人工バリアなど。 ・ このほか、オーバーパックの腐食挙動に対する微生物の影響等の評価及び金属材料の長期寿命評価手法の高度化にも取り組む。	NUMO	【設計オプションに対する人工バリア仕様の最適化（金属材料の長期腐食寿命評価手法の高度化）】	継続		・ 設計体系の整備（設計最適化） ➤ 2.2.1.(1)(a)にまとめて記載。
							【設計オプションに対する人工バリア仕様の最適化（銅コーティングオーバーパック）】	継続	・ 設計体系の整備（設計最適化） ➤ 人工バリア代替材料や設計オプションの絞り込みに向けた方法論の整備。

					・ 有望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。 なお、最適化を進めた人工バリア設計オプションの仕様は、「2.2.1(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(ii)(a)、(ii)(b)」、「2.2.2(1)(ii)(a)設計技術の体系的整備」、「2.2.3(1)廃棄体の回収可能性を確保する技術の整備(ii)(a)、(ii)(b)」へ反映する。		【性能を高めた設計オプションの比較検討 (TRU-PEM)】 ・ 処分場閉鎖後の閉じ込めが可能な TRU 等廃棄物廃棄体パッケージ（成果は 1.(2)(a)参照）を緩衝材とともに、炭素鋼製容器に一体化する PEM 概念 (TRU-PEM) を適用することにより、TRU 等廃棄物の人工バリア構成も高レベル放射性廃棄物と同様となるため、安全確保の考え方を両処分場で共通化することができた (TRU-PEM の回収技術は、3.(1)(b)参照)。	継続	・ 設計体系の整備（設計最適化） ➤ TRU-PEM を適用した処分概念と包括的技術報告書の処分概念の比較検討。
	2.2.1(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	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、閉鎖後長期の放射性核種の閉じ込め性に加えて、操業中の安全性や定置性などの性能の向上を図るために、製作性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改良を進める。また、閉じ込め機能の一層の向上を図るために、可溶性で収着性が低いと考えられる陰イオン核種に対する固定化技術の開発を継続するとともに、新たに吸着材の開発を進める。	(a) 廃棄体パッケージの閉じ込め性能に係る試験と評価	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について検討し、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提示。	・ 設計オプションについて、さらに安全性や定置性などの性能の向上を図るために、製作性及び構造健全性に関する実証的な試験等を実施して性能を評価し、廃棄体パッケージの設計オプションの改良を進める。 ・ 廃棄体パッケージの製作技術についてはパッケージ内の充填材に残存する水分の放射線分解による水素ガスの発生を抑制する技術や、廃棄体への熱影響を低減可能な遠隔蓋接合技術の開発に取り組み安全性の向上を図る。 ・ 廃棄体パッケージの長期間の閉じ込め性能を評価するために、応力腐食割れや内部ガス圧の増加などを考慮した構造健全性の評価に必要なデータを、様々な処分環境を考慮して取得する。 ・ さらに、操業期間中の落下事象等の異常事象を対象として、廃棄体パッケージの堅牢性の評価に必要なデータを解析等により取得する。	RWMC	・ 廃棄体パッケージの製作に必須の要素技術として、蓋溶接の品質、PWHT による残留応力低減、内部への入熱緩和を要素試験及び伝熱解析により確認した。数百年間の閉じ込め性を担保し得る容器の製作が可能であることを示すことを目的として、実規模廃棄体パッケージの製作確認試験を実施し、要素試験や電熱解析結果と比較して、閉じ込め機能を有するパッケージに求められる品質を担保して容器を製作するための技術を整備した。これにより、包括的技術的報告書の廃棄体パッケージ B の閉じ込め機能を保障するエビデンスを拡充することができた。 ・ 放射線分解によるセメント系材料の水素ガス発生量が、材料（セメントの種類）や配合等によらずセメント中の自由水量に依存すること、水素ガス発生抑制対策として、プレキャスト充填材の乾燥が有効であることを確認した。合わせて乾燥処理後の内部充填材からの水素発生量の評価方法を提示した。ガス発生低減と製作性を考慮した内部充填材の仕様と製作工程、品質管理及び施工管理方法を取りまとめ、内部充填材を製作するための方法論を整備した。 ・ 廃棄体パッケージの閉じ込め性について、処分環境下での構造健全性評価を実施し、閉じ込め性を有する廃棄体パッケージの仕様例を提示するとともに、耐食性の評価に必要な溶接部の腐食データを整備した。 ・ 廃棄体パッケージの堅牢性について、事例調査や予備解析により落下事象を対象とした試験条件を設定した。	継続	【廃棄体からの水素ガス発生量評価技術の整備】 ・ 廃棄体特性評価、ガス（水素）の発生量及び移行挙動の評価技術の高度化、放射能濃度の決定方法の開発。 ・ ガス発生量低減のための廃棄物の代替固化処理化技術の開発。 ・ ガス発生を極力抑制できる充填材等の開発。 【廃棄体パッケージの閉じ込め性能評価技術】 ・ 容器製作時に生じる残留応力の低減策の検討（溶接方法及び PWHT に代わる代替技術）。 ・ TRU 等廃棄物処分環境における長期材料腐食特性データの取得とデータベース化 ・ TRU 等廃棄物の構外輸送、坑内搬送、定置作業における閉じ込め性能の評価（落下解析及び落下実験など）。
						NUMO		継続	
			(b) 陰イオン核種に対する閉じ込め技術の開発			RWMC		継続	

				ハイドロタルサイトなどの複数の材料が陰イオンに対して高い吸着性能を有することを確認しているが、モルタル製充填材を使用すると化学環境が高アルカリ性になるため、適用性が低いと考えられてきた。	いと判断する固定化技術を対象として、最適な処分方法を評価できるように、様々な処分環境を考慮した固化体の長期浸出試験と評価モデルの開発を実施する。 今後、地層処分で想定される環境条件で陰イオン吸着材として適用可能性があると考えられる候補材料についての調査を実施し、その性能が発揮可能であるような人工バリア概念について検討するとともに、候補材料の適用可能性を評価する。		制成分の影響を考慮した理論式を導出し、マクロな拡散係数 D を算出した。これによって任意の時間までのヨウ素の放出量を予測できるモデルを示した。 - この予測式を用いて、地層処分で想定される地下水環境に応じて（HIP 固化体では地下水中の HS濃度が最も影響が大きい）、固化体の適用性及び寿命を見積もり、適用範囲を示した。 BPI ガラス固化体： 2500～4000 日の浸漬試験結果に基づいて、ヨウ素放出に係る BPI ガラスの溶解現象モデルを提案した。 BPI ガラスの地下水への溶解に関する理論計算を目標として、結合電荷拘束等の導入による RMC 法で構築したガラス構造の精緻化を実施し、理論計算に耐えるガラス構造を構築し、BPI ガラスの水和溶解過程の説明性を向上させた。 - これらの成果を受けて、BPI ガラス固化体の環境適応性に関するデータのアップデートとして、地下水環境と寿命及び適用性の関係を示し、炭酸濃度及び pH が高い条件を除いて適用できることがわかった。 陰イオン吸着材： - これまでは適用可能なものが無いと判断されていた高アルカリ（pH≧11）環境や、還元雰囲気への適用可能性のある吸着材を抽出した。 - また、長半減期かつ収着性が乏しいヨウ素及びセレンを対象に、処分場及びその周辺の化学環境と、陰イオン核種の移行遅延または沈殿、鉱物化等による固定化などについての調査、情報収集を実施しその性状から、利用可能性のある候補材料を選定した。 - 適用可能性有りと判断した吸着材について吸着試験を実施し、地層処分で想定される環境での適用範囲を推定するとともに、それらを有効に生かせる利用方法を検討・提案した。		
	2.2.1(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	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に向けて、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が閉鎖後長期の安全性を担	(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、堅置き方式を中心に研究開発が進められてきた。	- 有力な設計オプションと考えられる 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。 - これまでの検討による 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ために、安全性の確保を前提に PEM の設計仕様を合理化する。 PEM 容器は閉鎖後も残置されるため、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。 - 合理化した PEM の設計仕様	NUMO	【改良型 PEM 設計、 PEM 製作方法の検討、 PEM 及び緩衝材の製作性・品質に係る試験】	継続	- 工学技術の実証的研究 ➤ 人工バリアの製作・施工技術の高度化（PEM 組立試験・再冠水試験等を踏まえたによる PEM 容器仕様の検討）。
							【搬送定置・隙間埋め戻し装置の検討、搬送定置・埋め戻しに係る要素技術開発】	継続	

		保することを示すための品質保証体系を整備するために、施工プロセスの品質管理の具体化に加えてそれを補完するモニタリング技術の開発を進める。		対しては、組み立て試験を実施して、製作性や品質を確認。 • PEM 方式では搬送定置装置が走行するための 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。 なお、合理化した PEM の設計仕様と設計に基づく搬送定置方法についてはその結果を、「2.2.2(1)(ii)(a) 設計技術の体系的整備」へ反映する。		め戻し装置の検討を実施して、人工バリアの製作及び施工技術を具体化した。 • 人工バリア製作・施工に必要な複数の要素技術について今後試験を行って実現性を確認するための課題を明らかにした。		➤ 人工バリアの製作・施工技術の高度化。
		(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、主に炭素鋼鍛鋼品を対象とした開発が進められている。	• 「2.2.1(1)人工バリア代替材料と設計オプションの整備」で述べた炭素鋼铸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構築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、炭素鋼鍛鋼品及びそれぞれの代替材料に対しても適用できるように、溶接後の後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。	NUMO	【 铸鋼製オーバーパック製作技術 】 • 铸鋼製のオーバーパックが製作可能であることが確認できた。しかしながら、铸造欠陥の除去及び耐食性への影響など、適用する際の課題を整理することができた。	完了	—
						【 銅コーティング技術の開発 】 • 銅コーティングオーバーパックの製作を対象に、NWMO と共同でこれまでに開発してきた銅電気メッキ技術、炭素鋼蓋溶接部への銅スプレーコーティング技術を適用した連続製造試験を実施し、製作技術の実現性を高めることで、人工バリア構築技術の信頼性を向上することができた。	継続	• 工学技術の実証的研究 ➤ 人工バリアの製作・施工技術の高度化（銅コーティングオーバーパック製作技術の改良及び高度化）。
						【 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（溶接技術） 】 • 耐食性、残留応力の低減及び工学的成立性（溶接時間など）が課題であったアーク溶接の代替技術として、電子ビーム溶接を適用することで、蓋接合技術の実用化と製作物の検査技術等の信頼性を向上させる見通しを得ることができた。	継続	• 工学技術の実証的研究 ➤ 人工バリアの製作・施工技術の高度化（炭素鋼製オーバーパック溶接部の応力腐食割れ評価技術の整備と遠隔非破壊検査技術の開発）。
						【 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（銅コーティングオーバーパックの蓋部の機械接合と銅メッキ層の摩擦攪拌接合） 】 • 酸素含有量の低減及び欠陥の除去技術が課題であった銅スプレーコーティングの代替技術として、炭素鋼内側容器の機械接合技術と銅電気メッキ層の摩擦攪拌接合技術を組み合わせた蓋接合技術の適用により、蓋接合技術の実用化と信頼性向上の見通しを得ることができた。	継続	• 工学技術の実証的研究 ➤ 人工バリアの製作・施工技術の高度化（銅コーティングオーバーパックの製作技術及び品質管理技術の整備）。

			(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て、原位置試験の実施や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。また、人工バリアの状態把握に関連するモニタリング技術については、これまでに人工バリア性能への影響を考慮した無線伝送技術や従来の計測技術に関する実証的な研究開発を進めている。	・人工バリアの品質保証体系については、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検討。 ・今後は無線伝送技術等の長期運用性の向上などの他に、光ファイバーなどを用いた新たなセンサーに関する要素技術の開発にも着手し、モニタリング技術の整備を進める。	JAEA RWMC	・ 堅置き定置方式を対象に、幌延深地層研究センターの深度 350m 調査坑道の稚内層を対象に坑道埋め戻し材と力学プラグを設置し、閉鎖技術に関わる設計手法と製作・施工及び品質管理手法の適用性を確認した。 ・ オーバーパック、緩衝材、埋め戻し材を先行検討対象として、製造・施工品質を保証するための品質管理プロセスや管理項目を抽出・整理し、品質保証及び性能確認の手法の素案を作成した。 ・ 埋め戻し材については、複数の施工技術オプションの適用性を確認するとともに、品質保証プログラム（製造・施工プロセス管理手法）の素案を要素試験や工学規模試験等を通して提示した（2.2.2(2)(c)）。 ・ 品質保証及び性能確認に資する関連ハード技術として、光ファイバセンサ等を用いた密度測定、坑道天端の隙間検知、膨潤により発生する圧力測定を目的とした要素試験等により測定技術としての適用性を確認した。また、測定機器に関する共通技術として、力学プラグ等を介した無線給電システムの設計に資する情報を、要素試験結果等を踏まえて整備した。	継続	・ 地下特性調査施設における品質保証・性能確認プログラムの適用性の実証に向けた製造・施工プロセス管理。 ・ 性能確認プログラムの更なる具体化及び安全規制対応を見据えた標準化／自主基準化。 ・ 性能確認プログラムに組み込む過渡期（原位置施工～閉鎖）の信頼性のある性能評価ツールの整備。 ・ 品質保証・性能確認プログラムに実装可能な原位置状態把握技術（ハード技術）の実証的研究による信頼性・適用性の確認（モニタリング技術の整備として期待）。
						NUMO	【品質保証に係る基盤情報整備、原位置試験による品質保証体系の具体化】 ・ 2.2.1(3)(a)PEM の製作に係るラボスケールでの試験、2.2.1(3)(b)オーバーパックの蓋接合技術の開発などを通じて、人工バリアの品質保証体系を整備し、品質管理における重点項目を抽出できた。 ・ 品質保証体系の整備に係る国内外の地下研究施設で実施された原位置試験やモニタングの実施事例などの参考情報を収集できた。	継続	・ 工学技術の実証的研究 ➤ 人工バリアの定置基準及び性能確認に係る実証試験。 ➤ 人工バリアの製作・施工技術の高度化。
	2.2.2 地上・地下施設								
	2.2.2(1) 処分施設の設計技術の向上	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を	(a) 設計技術の体系的整備	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て、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ては、沿岸に処分場を設置する場合も含めて、適切に整備・更新を図っていく。 ・ 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など、実用性と合理性を高めてより最適化された処分場の設計検討の結果を示し、今後の事業実施に備える。 設計した処分場の仕様は閉鎖後長期の安全性の評価の初期条件として、「2.3.2(2)(ii)(a)施設設計を反映	—	—	—	・ 原位置での実証試験を通じた坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化。

		確保するための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。			した核種移行解析モデルの構築・高度化」へ反映する。	NUMO	【地下施設の設計要件に係る判断基準の検討】 ・ 処分場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し、包括的技術報告書において処分場の設計仕様例を提示することで、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が設計可能であることを示すことができた。 ・ 四次元地質環境モデル（深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類）を対象に、地下施設レイアウトの設計を試行し、内陸部の地形の影響や沿岸海底下に設置する場合の留意事項を設計要件として取りまとめることで、概要調査等に基づいて実施する地下施設レイアウトの設計にも適用可能な設計技術を整備することができた。 ・ 設計技術の向上に資する処分施設の安全機能を確保するための判断指標や設計要件を更新及び拡充することができた。	継続	・ 設計体系の整備（設計最適化） ➢ 設計手引書の整備・更新。 ・ 設計体系の整備（信頼性向上） ➢ 深部地盤における入力地震動の設定に関する検討、岩盤のゆるみを考慮した地震応答解析手法の開発、耐震安定性の評価指標・判断基準の検討と根拠の整備。
							【合理性を高めた処分場の設計検討】 ・ 環境負荷の低減、建設・操業の合理化の観点から、坑内湧水量の抑制を判断基準として、地下施設レイアウトを合理化するため、沿岸海底下における地下施設レイアウト、フットプリントの縮小が可能な多段配置レイアウト等の設計オプションを整備し、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を可能とすることができた。 ・ サイト調査の進展に応じた処分施設の設計最適化の考え方、手順及び方法の体系的整備を実施し、概要調査結果に基づく処分場設計の準備を進めることができた。	継続	・ 設計体系の整備（設計最適化） ➢ 換気・排水設備設計の観点からの地下施設の最適化技術の整備。 ➢ 地下施設建設、アクセス坑内搬送、定置、埋め戻しに関する地下施設内の設備類の設計体系の整備。
			(b) 建設・操業システムの設計技術の整備	地層処分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特殊な条件により、換気・排水システムの設計は技術的に難度の高いことが、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にものとするために、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。	NUMO	【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】 ・ 処分場の建設・操業・埋戻しを並行して実施する地下施設において、作業動線の確保、放射線管理区域の設定などの安全機能を確保した上で、換気・排水システムの成立性を複数の地下施設レイアウトを対象に確認し、包括的技術報告書にて設計の考え方と仕様例を提示できた。 ・ 2.2.2(1)(a)で実施した多段配置などの多様な地下施設レイアウトに対する換気・排水システムの設計技術の整備に資する課題を抽出することができた。	継続	・ 設計体系の整備（設計最適化） ➢ 2.2.2(1)(a)に統合して実施
							【異常事象に対する安全対策の具体化（坑内火災など）】 ・ 火災リスク要因となる搬送車両によるアクセス坑道内搬送方法の設計オプションとして、立坑エレベーターあるいは直線斜坑インクラインによる搬送システムの適用性を確認し、さらに課題となるエレベーターの落下や搬送装置の逸走の事故に対して多重の衝撃力緩和対策を具体化することで、アクセス坑道内搬送システムに対して多重防護の考え方に基づく安全対策の用意を進めることができた。	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上・設計最適化） ➢ 2.2.2(1)(a)に統合して実施

	2.2.2(2) 処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備	処分場の閉鎖後に坑道が水みちとなることを防止することを目的として設置するプラグや埋め戻し材などの坑道シーリング技術については、これまでの設計概念の詳細化や施工技術の成立性を確認するために、坑道シーリングが処分場全体の閉じ込め性能に与える影響の評価や、湧水をとまなう割れ目帯などの様々な地質環境の特性を考慮した試験を行う。	(a) 坑道シーリングの設計・評価技術の整備	原位置での人工バリア性能確認試験等を通じて試行的な設計とその適用性などに関する検討が進められており、現在、再冠水過程のモニタリングデータを分析して、設計で期待したシーリング材の性能の評価を実施中である。	坑道シーリングにより処分場全体の閉じ込め性能を評価すること、これまでの設計概念をさらに詳細化することを目的とした検討を進める。 ・わが国の多様な地質環境条件を想定した地下水流動解析等により、埋め戻し後の坑道や掘削損傷領域が処分場の安全機能に与える影響を把握し、止水プラグや埋め戻し材に期待する役割を明確化する。 ・また、操業から閉鎖後長期にわたって処分場の安全機能に影響を及ぼす可能性のある事象を特定して、これら坑道シーリングを構成する要素の設計要件を整理する ・構成要素を組み合わせた場合のシステムとして設計が可能となるように、設計・評価技術を整備する。	JAEA RWMC	・シーリングシステムの安全機能が長期的に維持できるかについて、シナリオ解析や、坑道規模の反応輸送解析、物質移行解析を通じて検討を行い、リスク論的な考え方に基づき、シナリオの生起可能性や安全機能への影響度を評価できる手法を例示した。 ・埋め戻し材の施工初期において、その安全機能に影響を及ぼし得る流出・侵入現象が生じ得る条件を坑道及び周辺岩盤の環境条件とその変遷を考慮した上で整理することで、埋め戻し材の設計・施工において天端部に隙間ができないようにするなど、考慮すべき事項を提示した。 ・2.2.2(2)(b)及び 2.2.2(2)(c)の成果に基づき、実際の地質環境下や実規模の実証試験結果を踏まえた複数の施工技術に対する品質管理手法を含むシーリングシステム設計技術を提示した。	継続	・処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備。 ・軟岩系の岩盤に対する切欠き部の施工方法を含むプラグの詳細設計の検討。
			(b) 坑道シーリング技術の性能確認	ベントナイトを中心とした基本特性データを用いた解析的な検討や要素試験などにより評価を行ってきた。	坑道シーリングの設計は「2.2.2(1)(ii)(a)設計技術の体系的整備」へ、坑道シーリングの評価技術は「2.3.2(2)(ii)(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」へ反映する。	NUMO	—	新規	・設計体系の整備（設計最適化） ➤ 開発されたシーリングシステム設計技術の反映
						JAEA	・緩衝材と埋め戻し材を組み合わせた室内試験を実施し、埋め戻し材と緩衝材の力学的な相互作用を検討する上で重要な基礎的なデータが取得できた。 ・止水プラグについて、調査坑道の底盤部にベントナイト止水壁を設置した EDZ シーリング試験により、止水壁により EDZ を含む領域の低透水性を確保できることを確認できた。 ・止水プラグの切欠き部へのベントナイト系材料の施工方法として吹付け工法の適用性を確認するための原位置施工試験を実施し、止水プラグに要求される乾燥密度で施工可能なことを実証した。 ・坑道内からのボーリング孔閉塞技術の構築・高度化を目的とした室内試験及び原位置試験を実施し、地下水が存在するボーリング孔におけるベントナイトブロック充填方法の適用性を確認するとともに、充填作業のサイクルタイムや施工時の品質管理、閉塞確認の方法などを例示した。 ・代替手段として、EDZ シーリングに対するコンクリーション化充填材を用いた注入工法の適用可能性を検討するための原位置試験を実施し、EDZ を含む領域の低透水性を確保できることを確認できた。	継続	・底盤部 EDZ シーリング試験における透水性評価の継続と最終的な解体調査によるプラグの性状評価。
						NUMO	—	新規	・設計体系の整備（設計最適化） ➤ EDZ シーリング施工技術に関する成果の反映

			(c) 坑道シーリングに関わる施工技術の整備	原位置での人工バリア性能確認試験においてブロック積みや転圧による坑道の埋め戻し施工を実施し、施工時の品質管理手法の適用事例が示されている。	- これまでに検討されたプラグや埋め戻し材の設計概念や諸外国の先行研究成果を踏まえ、多様な地質環境や設計オプションへの柔軟な対応を可能とするために、複数の施工技術を整備する。 - 施工技術については、湧水等の施工品質に影響を与えることが想定される事象に対する対策技術と関連させて開発を行い、影響事象に対する管理基準を明確にするように品質管理手法を整備する。	JAEA RWMC	- 深度 300m 以深の地質環境において埋め戻し材の全断面吹付けが可能であることをその品質管理手法とともに実証的に示し、処分事業における施工オプションの一つとして提示した。 - 幅広い混合土を念頭に置いた埋め戻し材の材料特性に係る試験を実施し、候補サイトに応じた設計に使用するデータベースを作成した。 - 汎用技術を導入した転圧、吹付け工法については、地上での実規模試験等をとおして、将来の施工技術オプション（転圧、吹付け）の選定（仕様検討）のための一覧表（材料製造及び施工プロセスにおける管理項目、フロー等）を作成して、品質管理プログラムを具体化し、適切な施工方法を選択できる見通しを得た。 - 施工手順の合理化が期待できるスクリーやブロック工法については、要素試験を通して将来の候補技術としての見通しを得た。 - 埋め戻し施工後の乾燥密度のばらつきの許容範囲を巨視的な透水係数の評価で設定できる見通しが得られた。	継続	- 坑道全周の EDZ を対象とした止水プラグについて、幌延原位置における施工試験を実施し、実規模スケールでの止水プラグの施工技術を構築。 - 地質環境や詳細設計のバリエーションに対応可能な埋め戻し材の施工技術オプションの拡充（ブロック工法、スクリー工法など）。 - 埋め戻し材の乾燥密度のばらつきの許容範囲を設定するために、施工技術に応じて巨視的透水係数評価における適切な解析条件の設定方法を検討。
2.2.2(3) 処分場建設の安全性を確保する技術の高度化	掘削に伴う損傷領域の評価技術の信頼性の向上を図るため、坑道の掘削損傷領域における長期的な水理特性の変化や坑道交差部の力学特性の変化についてデータの拡充を図る。また、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ため、施工の遠隔操作化・自動化について検討を進める。さらに、湧水に対する安全性を向上することに加えて排水及びその処理にかかる費用を低減するために、多連接坑道への適用を目標に評価技術を整備する。	(a) 坑道の掘削損傷領域の評価技術の整備	水平坑道や立坑における掘削損傷領域の大きさや水理特性の変化については、原位置試験や数値解析により定量的な評価が実施され、掘削方法の違いによる亀裂発達状況の違いなどの知見が得られている。得られた情報は、単設坑道における局所的なものが主であった。	坑道周辺の応力方向や大きさ、岩盤の力学特性や亀裂特性、透水性が増大した領域、坑道形状の影響などについて、数値解析や計測データ等に基づき、坑道が接続するような場合も含めて広範囲な領域における掘削損傷領域の拡がりや経時変化を把握できるように、評価技術を整備する。 掘削損傷領域の大きさや特性については、「2.2.2(2)(ii)(a)坑道シーリングの設計・評価技術の整備」、「2.3.2(2)(ii)(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」の設定値に反映する。	JAEA	- 長期的な EDZ の経時変化を評価するための弾性波探査と比抵抗探査の統合的な解析手法を構築。 - 堆積軟岩を対象とした場合の、EDZ の範囲や割れ目の連続性評価等に対する高密度弾性波・比抵抗探査の適用性を、幌延地下研を活用して例示。 - 幌延地下研の各深度におけるトモグラフィ結果や、透水試験などの原位置試験結果、数値解析結果、室内試験結果を統合して解釈することにより、EDZ の水理・力学的な空間分布の経時変化を調査する手法を確立。	継続	処分坑道閉鎖後の EDZ の長期挙動の調査・評価手法の構築。 ※2.2.2(1)(a)「原位置での実証試験を通じた坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化」において取得されるデータも活用。	
		(b) 掘削技術の高度化	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である。	- 処分場建設における作業の安全性や効率性の向上を目的として、掘削技術の遠隔操作化・自動化について海外の技術動向等も含めて検討する。 - 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。	JAEA	- 研究坑道掘削工事を実施する際に必要となる設計、施工、計測・品質管理までの各段階における事例を提示し、今後の研究坑道掘削工事への指標及び必要事項が適正に選定されることを目的として、その項目及び内容をとりまとめた。また、大量出水など、実際に経験したトラブルとその対処法についても経験論的にとりまとめた。 - 地下研施工事例に基づく情報化施工、設計技術の高度化。	継続	処分場地下施設の建設・操業に係わる Information and Communication Technology (ICT) の適用性に係る検討（2.2.2(1)(a)、2.2.3(1)(a)にも関連）。	
						NUMO	- 国内外の様々な産業（建設分野を含む）に適用されている遠隔操作化・自動化技術の調査を通じて、地層処分事業における処分場建設技術のさらなる安全性と効率性向上の見通しを得ることができた。 - 地層処分事業への遠隔操作化・自動化技術	継続	- 工学技術の実証的研究 - 地下施設の建設技術の高度化（地質環境、坑道断面仕様に応じた掘削技術の整理、掘削工法に応じた遠隔操作化・自動化技術の整備）。

							の適用性及び地層処分特有の条件を考慮した技術開発の要点とその必要性について確認し、検討に着手することができた。		
		(c) 湧水対策技術の整備	グラウトの周辺岩盤や人工バリアシステムに与える影響低減策として、地下坑道を対象として、低アルカリセメントを用いたグラウト施工の実証的な検討が進められている。 原位置におけるグラウト施工実績により得られた湧水抑制対策に関して、単一坑道を対象に適切な止水効果が得られることが確認されている。	- 沿岸部など多様な環境条件に対するグラウト施工の適用性の向上を図ることを目的として、周辺環境への化学的影響がより小さいと考えられる活性シリカを用いた溶液型グラウトの海水系条件における適用性を評価する。 - 湧水に対する安全性の向上と排水及びその処理にかかる費用を低減することを目的として、多連接坑道を対象としたグラウト施工の影響と対策効果について、解析などによる湧水量評価を実施して検討するとともに、多連接坑道において適切な止水効果を得るためのグラウト施工手法について知見を取りまとめる。 湧水対策技術の考え方は、「2.2.2(1)処分施設の設計技術の向上(ii)(a)、(ii)(b)」へ反映する。	JAEA	- グラウチングの目標設定、計画策定及び結果の検証に有効な手法であり、排水処理費の削減や、人工バリア施工時の作業環境において湧水箇所や湧水量を低減することにより施工精度の向上に寄与。人工バリアの定置に必要な湧水量の低減をはかることを目標としてグラウチングの計画を策定することが適切であることを確認。 - グラウト材として使用されるセメント量は坑道の構築作業全体から見ると少ないことから、グラウト材中のセメントが地層処分システムの長期安全性に影響を及ぼす可能性は高くないと評価。 - 突発湧水の発生の原因となりうる粘土質せん断帯の事前予測手法として、グラウト実施前の調査ボーリングにおいて、メルトインクルージョンの含有に着目した事前予測が有効であることを示した。 - グラウト材の浸透範囲の予測手法として、等価多孔質媒体モデルによるグラウト浸透解析が有効であることを示した。 - 海水条件下で処分孔周辺の高透水性領域を改良することが可能となる溶液型グラウト材料を開発し、沿岸海底下の処分場において長期的な止水効果が期待できることを示した。	継続	- 坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化。 - 地質環境条件等に応じた湧水抑制対策や止水技術の適用性検討。	
	2.2.3 回収可能性								
	2.2.3(1) 廃棄体の回収可能性を確保する技術の整備	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と段階的な技術実証を進める。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、回収可能性を維持した場合の影響等に対する評価技術や対策技術を整備する。	(a) 高レベル放射性廃棄物に対する廃棄体回収技術の開発	堅置き方式を対象として緩衝材の除去技術など、回収方法の要素技術の開発とその適用性の確認が進められてきた。	横置き PEM 方式を含めて、これまでの開発成果を踏まえ、回収技術の高度化を図る。また、回収装置については遠隔操作化・自動化に関わる研究開発を進める。	RWMC	- 処分坑道横置き・PEM 方式の操業技術について幌延深地層研究センターの深度 350m 調査坑道において実規模スケールの実証試験を実施し、処分孔堅置き方式と処分坑道横置き・PEM 方式の 2 つの定置概念に対して、定置から回収までの一連の操業技術の実現性の見通しを得た。 - 除去対象である土質材料の性状、除去方法、除去効率（時間短縮）の関係を取得し、目標とした回収時間の達成可能性を確認し、回収作業中のリスク低減の見通しを得た。 - 重量物である廃棄体を摺動させるためのスライダー部材などの機械的強度、推進・牽引装置の概念設計をとおして、回収時における土質材料除去を削減／省略するオプションについて、技術的実現性の見通しを得た。	継続	- 回収技術システムの適用性確認。 - PEM 容器の状態に依存しないオーバーパックとしての回収技術。
			(b) TRU 等廃棄物に対する廃棄体回収技術の開発	—	TRU等廃棄物に対する人工バリア設計オプションの整備（「2.2.1(1)人工バリア代替材料と設計オプションの整備」、「2.2.1(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」）を踏まえて、各設計オプションに適用可能な回収技術	—	—	新規	埋め戻し材を除去する技術（高レベル放射性廃棄物との共通技術として）。
						NUMO	【設計オプションに対応した回収技術の概念検討（包括的技術報告書の処分概念）】 信頼性と実現性の高い回収技術を確立すべく、包括的技術報告書で示した TRU 等廃棄物の処分概念を対象に、廃棄体パッケージ間充填材（モルタル）の遠隔操作により	完了	—

				の概念検討を実施する。 ・ その上で、設計オプションに対応した有望な回収技術概念について段階的な研究開発と技術実証への取り組みを進め、信頼性と実現性の高い回収技術を確立する。		除去する技術について検討したが、廃棄体パッケージを破損せずに回収できる見通しは得られていない。		
						【設計オプションに対応した回収技術の概念検討（TRU-PEM）】 ・ 廃棄体パッケージ間充填材のモルタルを使用しないため、回収が容易と考えられる TRU-PEM の概念について（2.2.1(1)(b)参照）、処分坑道埋め戻しを閉鎖措置の実施直前に実施すること、及び高レベル放射性廃棄物の回収技術として開発された埋め戻し材除去技術を適用することで回収が容易となる見通しを得ることができた。	継続	・ 設計体系の整備（設計最適化） ➤ 高レベル放射性廃棄物及び TRU 等廃棄物の回収容易性、回収可能性の維持に伴う地層処分システムへの影響低減の観点からより適した処分概念の検討（定置後の回収だけでなく、地上への搬送と解体までを含む）。 ➤ 設計体系に適用する湧水に伴う化学影響評価技術の整備を継続して実施。
		(c) 回収可能性の維持に伴う影響評価技術の整備	様々な処分概念や坑道埋め戻し状態に対する回収の容易性を設計に反映するため、回収可能性を維持した場合の地質環境や人工バリアへの影響について、包括的に影響要因等を抽出している。	・ 定置作業後に回収可能性の維持期間を設けることに伴い坑道の開放期間が延長されることによる安全性への影響について、操業期間中の安全性（開放坑道の健全性、埋め戻した坑道及び定置済み廃棄体容器の回収時期での健全性など）及び閉鎖後長期の安全性（維持期間中の地下環境の擾乱継続に伴う人工バリアに期待する機能の変化、母岩への擾乱影響など）の双方の観点から、個々の影響に関する解析的な評価技術を整備する。 ・ 回収可能性の維持に伴う安全性への影響を最小化するための対策技術の開発に取り組む。 回収可能性を維持した時のニアフィールドの状態については閉鎖後長期の安全性の評価の初期条件として、「2.3.2(2)(ii)(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」へ反映する。	RWMC JAEA	・ 定置完了後の回収可能性の維持期間中（及び回収作業中）の安全性に関わる事象がストーリーボード上に表現することが可能になり、安全性への影響の定量化で候補となる事象を網羅的に把握でき、シナリオ作成が試行できるようになった。 ・ 幌延地下研において、低アルカリ性コンクリート支保工の物性変化に関する室内試験、複雑な現象が生じている坑道周辺地質環境のモデル化・解析評価を試行し、回収維持期間評価のための長期的な坑道安定性評価モデルの構築に資する知見を得るとともに、維持期間が及ぼす処分システムの長期安全性への影響評価方法を例示した。	継続	・ 長期的な開放坑道の健全性評価モデルの構築、及び吹付けコンクリート物性試験の継続と幌延地下研を活用したモデルの検証（長期モニタリングの観点を含む）。
					NUMO	【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】 ・ 建設・操業期間中の湧水量の評価に適した解析コードを選定し、様々な地質環境や地下施設レイアウトを対象とした試行を繰り返すことで、評価技術の適用性を向上させることができた。 ・ 整備した評価技術を用いて 2.2.2(1)(a)の技術開発に反映することができた。	継続	・ 設計体系の整備（設計最適化）
						【影響評価技術の検証】 ・ 回収可能性の維持に伴う影響評価技術として、建設・操業期間中の湧水量の評価技術を整備し、国内外の地下研究施設の坑内湧水量の実測例との比較により評価技術のV&Vを実施し、開発した評価技術の適用性を確認できた。 ・ 回収可能性の維持方策として、坑内湧水量低減の観点から回収可能性を維持するために開放する坑道、処分区画の最適化などの適用性を見通しを得ることができた。	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上・設計最適化） ➤ 2.2.3(1)(b)に統合して実施。 ➤ 数値解析に用いる解析コードの検証と使用実績の蓄積、及び解析結果の妥当性評価方法の整備。
		2.2.4 閉鎖前の安全性の評価						
2.2.4(1) 閉鎖前の処分場の安全性評価技術の向上	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・操業において発生する可能性がある異常事象を網羅的に把握した安全性の評価シナリオを作成、及び廃棄体への衝	(a) 閉鎖前の安全性の評価シナリオの構築	建設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、廃棄体の落下、火災、爆発、水没、外部電源喪失を特定し、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。	・ さらにシナリオの網羅性を高めていくために、地震や津波などの外部起因事象を契機として発生する複合的な事象の発生についても評価シナリオを検討する。 ・ また、国内外の原子力施設などのシナリオ分析事例についても情報を収集し、検討に反映する。	NUMO	【海外の分析事例の情報収集、ハザードデータベースの更新】 ・ ハザードデータベース、廃棄体受入要件、火災リスク対応についての調査を通じて、自然現象に対する安全対策について検討を深めることができた。 ・ 廃棄体等の輸送に関する情報収集を実施し、放射性廃棄物の輸送に関する法令、具体的な方法論等の情報を得て、港湾からの地上施設及び構内の輸送のための具体的な	継続	・ 閉鎖前の安全性の評価 ➤ 閉鎖前の安全性の評価シナリオの構築。 ➤ 国内外の廃棄体等の輸送等に関する情報収集。

		撃や火災などの地下施設特有の事象に対する影響評価技術のさらなる整備を進める。					方法について検討するための準備を進めることができた。		
							【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】 ・放射性物質を扱う施設（高レベル放射性廃棄物の受入・検査・封入施設及び TRU 等廃棄物の受入・検査・封入施設等）に対して、自然現象（地震・津波）を仮想的に想定し、放射性物質が漏えいする恐れがある事象を選定し、自然現象と内部事象の複合事象等の評価シナリオについて整備を進めることができた。	継続	・ 閉鎖前の安全性の評価 ➤ 閉鎖前の安全性の評価シナリオの構築。 ➤ 地上施設・地下施設における外部起因事象を契機として発生する複合的な事象の評価シナリオの検討とハザードデータベースの見直し。
			(b) 閉鎖前の安全性評価技術の整備	廃棄体の落下、火災、爆発、水没、外部電源喪失を異常事象として抽出し、閉鎖前の処分場の安全性確保の見通しについて評価を行ってきた。	・ 地震、津波などの外部起因事象を契機として発生する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。 ・ 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を実施する等し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施して取得する。 ・ アスファルト固化体の火災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、特性評価試験を実施し、反応評価モデルの開発と検証を実施する。 異常事象に対する評価結果は「2.2.2(1)(ii)(a)設計技術の体系的整備」へ、ガス発生量やアスファルト固化体に対する評価結果は「2.2.1(2)(ii)(a)廃棄体パッケージの閉じ込め性能に係る試験と評価」へ反映する。	JAEA	・ 模擬アスファルト固化体の発熱特性などの特性評価を行い、反応評価モデルの開発として、アスファルト固化体の発熱速度モデルを整備し、アスファルト固化体の火災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が評価できるようになった。	完了	—
						NUMO	【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】 ・ TRU 等廃棄物の廃棄体パッケージの充填材として使用するモルタルを対象に、照射試験を実施し、硬化過程における水素ガス発生量を見積もるためのデータを取得し、人工バリア及び地下施設設計(換気設備等)に反映する知見を整備することができた。	継続	・ 設計体系の整備（信頼性向上）
							【複合的な事象に対する評価】 ・ 2.2.4(1)(a)で構築した評価シナリオを対象として、放射性物質を扱う施設（高レベル放射性廃棄物の受入・検査・封入施設及び TRU 等廃棄物の受入・検査・封入施設等）設計へ反映するための評価技術の現状を整備することができた。 ・ 原子力施設への適用が検討されている確率論的リスク評価の地層処分施設への適用性について課題を抽出することができた。	継続	・ 閉鎖前の安全性の評価 ➤ 閉鎖前の安全性評価技術の高度化。
			(c) 事故対応技術の整備	評価シナリオに基づく異常事象への対応策として、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。	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故事例を参考に実践的な検討を実施。 事故対策及び影響緩和策を「2.2.2(1)処分施設の設計技術の向上(ii)(a)、(ii)(b)」の施設設計に反映。	NUMO	【事故事例の分析、事故等に対する対応策と復旧策の検討】 ・ 放射性物質を扱う施設（高レベル放射性廃棄物の受入・検査・封入施設及び TRU 等廃棄物の受入・検査・封入施設等）に対して、自然現象で発生した事故を精査し、復旧可能性の検討をするための準備を整えた。	継続	・ 閉鎖前の安全性の評価 ➤ 事故対応技術の開発及び具体化。

章	中項目No./名称	目的	細目	平成 29 年度までの状況	平成 30 年度～令和 4 年度の状況			今後の 対応案	今後の取組み案
					設定課題	主たる 実施機関	達成状況		
2.3 閉鎖後長期の安全性の評価									
	2.3.1 シナリオ構築								
	2.3.1(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	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、 熱、水理、力学、 化学（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、主に保守的な 解析モデルの開発 を行ってきた。今 後は、より現実的 に地層処分場の閉 鎖後長期の安全性 について検討する ため、廃棄体定置 直後の過渡的な時 期から閉鎖後長期 に至るまでの期間 を対象に地層処分 システムの構成要 素間及び諸現象間 の相互作用による 場の変化を評価す ることができるよう 、現象解析モデル の高度化や統合化 を可能とする技 術の開発を行う。	(a) 廃棄体からの 核種溶出モデル の高度化	【ガラス固化体】 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 プロセスの特定を行った。	- 特定した現象の中で重要と考え られるオーバーパック由来の鉄 の影響と変質層の保護的効果に 関する長期の浸漬試験等を実施 し、既存の核種溶出モデルの妥 当性を確認する。 - 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。	JAEA	一般的な模擬廃棄物ガラスより組成が単純 な国際標準模擬ガラス（ISG）を用いた浸 出試験を実施し、二次鉱物の変遷及び変質 層の保護性の変化に関する知見を拡充し た。	継続	- 廃棄体からの核種溶出挙動に関するデー タに基づくソースタームモデル作成の方法論 の構築。 - 二次鉱物への核種の取り込み現象を含め、 ニアフィールドの環境変遷を考慮した核種 移行評価技術の開発に資するためのデータ 拡充。
			【ハル等圧縮体】 ハルを中心に 溶出モデルの構築に 必要なデータ取得を実施してき た。	エンドピースを含めた実廃棄体か らの核種溶出試験等を実施すると ともにハル等圧縮体中の核種分布 について分析し、ハル・エンドピ ースからのより詳細な核種溶出モ デルを構築。	RWMC	- AMS による高感度分析により、C-14、Cl- 36 等の核種インベントリ分析値が取得で きるようになり、安全評価の不確実性を低減 するための方法を提示した。 - エンドピース試料の IP 露光を実施し、核種 分布評価のためのデータを取得できるよう になり、不確実性の低減の道筋をつけた。 - 実測値の活用等により、3D 詳細解析の解析 手法の適用性に関して取りまとめ、インベ ントリ分布を解析によって設定するための 課題を整理した。	継続	廃棄体パッケージからの核種溶出挙動の評 価技術の開発。	
			(b) ニアフィール ド構成要素の 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、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を取得し、こ れらを表現できる解析モデルの構 築を実施してきている。	- 沿岸部を含む幅広い地下水環境 に留意し、オーバーパックやセ メント系材料による緩衝材変質 等について 100℃を超える条件 も含めた THMC の観点から原 位置等においてデータを取得し、 現象解析モデルの妥当性確認 を行う - 重要な反応系が明らかになった	JAEA RWMC	【オーバーパックの腐食挙動評価】 - 過渡期において、工学的規模で腐食生成物 種及び緩衝材中の微生物種、pH や酸素濃度 等の状態が不均質に分布していることを時 間的・空間的に把握した。 - 高炭酸ガス条件、高塩化物条件、人工海水 条件などいずれの条件においても全面腐食 であり腐食の局在化がないこと、及び腐食 生成物による腐食抑制効果が発現されるこ	継続	- 腐食挙動説明の根拠としての金属腐食現象 の素過程（電気化学反応、溶液化学反応、 物質移動、微生物腐食など）の理解。 - 工学規模や実規模で生じうる環境条件の不 均質性や過渡期から長期への環境条件（温 度、酸化還元条件等）の変遷を考慮したこ れまでの評価モデルの妥当性確認。 - ニアフィールドの状態変遷の推定に用いる 現象解析モデルの構築に資する、変質した

				場合には現象解析モデルへ取り込む - 先進的なセメント系材料である HFSC（ Highly Fly-ash contained Silica-fume Cement）については、変質に関して重要となる二次鉱物の生成現象について現象解析モデルへ反映する - 原位置でのグラウト施工事例を対象に試験・分析等を実施し、母岩中のアルカリブルームの反応輸送解析モデルの構築に資する - 処分場の閉鎖前から閉鎖後に至る過渡期に想定される緩衝材流出現象については、原位置での試験等によるデータの取得と現象解析モデルの開発を行う。 - 開発した現象解析モデルを用い、緩衝材流出対策の妥当性評価を実施する - 堆積岩においては、緩衝材の膨潤に伴い掘削影響領域の閉塞が期待されるため、地殻変動の影響も含め、このような現象を明らかにし、堆積岩におけるニアフィールドの状態変化を評価する手法を構築する。 構築した現象解析モデルは「2.3.1(1)(ii)(f)現象解析モデルの統合化技術の構築」へ反映し、取得したデータは、「2.3.3(1)(ii)(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」へ反映。		とを確認した。 【緩衝材の変質挙動評価】 - 長期的に土壌中に埋蔵されていた土壌が付着した状態の鉄遺物等との接触界面近傍で腐食生成物の沈殿による土壌粒子のセメンテーションが生じていることや、鉱物の変質が起きていないことなどを確認。シナリオ構築に役立つ情報が得られた。 - セメンテーションのナチュラルアナログとして原鉱石の微細組織を確認し、セメンテーションが膨潤圧の低下及び剛性の増加に影響を及ぼしていることを確認した。 【ニアフィールド THMC 連成挙動評価】 - 塩濃度の違いに応じた浸潤挙動が評価できる THMC 連成解析手法を構築し、室内試験や原位置試験データを活用して、構築した手法の妥当性を確認した。 - ニアフィールド長期力学解析コード MACBECE について、過渡期の力学挙動を解析できるように拡張を行い、処分施設の変形を過渡期から長期まで一貫して評価できるようになった。過渡期の緩衝材の解析機能の検証を行い、地下水の浸潤に伴う膨潤圧の発生や膨潤変形が表現できることを確認した。 - 結晶質岩において、原位置の状況に応じたグラウト材の変質状態を把握する手法を整備し、グラウトの状態の評価に適用できることを示した。 - セメント影響に伴い、ニアフィールド岩盤の物質輸送特性が変化する範囲や程度を評価するための解析手法を整備した。 - 単一亀裂を対象に高アルカリ溶液による岩盤中の亀裂の状態変遷（開口／閉塞）に与える条件の定量化に向けた手法を整備した。 【流出現象等を考慮した緩衝材の健全性評価】 - 処分孔湧水環境に応じた隙間処理施工オプション（隙間未充填、ケイ砂充填）の選択のための評価指標案を策定し、緩衝材流出量評価モデルの構築方法を開発するとともに、その適切性を確認した。 - 施工後から地下水の浸潤を経て飽和に至るまでの緩衝材の乾燥密度分布を予測するための解析モデル構築について、隙間充填と膨潤による乾燥密度の均一化挙動の評価が可能となる様に HM 連成モデルを高度化して実規模 1/4 スケールで再現性を確認、閉鎖後長期の性能評価における確からしい初期条件の設定の情報を得るための実規模での解析に向けた方法論を示した。 ・ 上記により得られたデータを、オーバーバックデータベース、緩衝材基本特性データベースなどに収録して公開した。 【HFSC と地下水の反応試験】 - HFSC と地下水との反応モデルと蓄積され		ベントナイトの力学的特性に関する知見の拡充。 - 原位置試験試料やナチュラルアナログ試料等を用いた鉄とベントナイトの相互作用に関する知見の拡充とモデルの適用性確認。 - 工学規模等の模型や原位置における THMC 連成挙動に関する実験による現象理解の深化に基づく現象解析モデルの高度化。 - 室内及び原位置における岩盤中の高アルカリ成分の移行挙動に関する実験による現象理解の深化。 - セメント系材料と岩石との相互作用に伴う反応輸送モデル、ニアフィールド岩盤中におけるアルカリブルームの影響を評価するモデルの信頼性向上。 - HFSC と地下水との反応において、温度の影響を考慮したデータの取得とモデルの開発。 - 温度影響を考慮したセメント水和物等に対する熱力学データベースの整備。 - HFSC と緩衝材との長期の接触実験による接触界面近傍の変質状況の把握と変質に伴う物質輸送特性変化の把握。接触実験結果に対する再現解析による評価モデルの信頼性向上。地下水の多様性の影響を考慮した接触試験の実施。ナチュラルアナログによる緩衝材の長期安定性の検証。 - 現状では十分でない前駆体となる水和物等の熱力学データの取得・整備等による化学解析モデルの高度化とナチュラルアナログの再現解析によるモデルの信頼性向上。 100℃を超えた状態での人工バリアやニアフィールドの挙動に関する現象理解の深化。 - 処分孔竖置き方式を対象に処分孔内への湧水による緩衝材の膨出・流出挙動を踏まえた廃棄体定位置決定特性の考え方の構築（坑道スケール～ピットスケールでの調査・設計・評価技術の体系化と連携）。 - 緩衝材の膨潤や廃棄体の熱によるニアフィールド岩盤内の応力・水圧変化が同岩盤内の割れ目の透水性に与える影響の評価（2.1.2(3)(a)と連携）。
--	--	--	--	---	--	--	--	---

						たデータとの比較により、室温・多様な溶液条件でモデルの信頼性を向上させた。 【セメント水和物等の熱力学データの整備】 【先進的セメントー緩衝材相互作用評価モデルの高度化】 - カルシウムケイ酸塩水和物（C・S・H）にアルミニウムが固溶したアルミノカルシウムケイ酸塩水和物（C・A・S・H）の熱力学モデルの構築し、C・A・S・H の溶解・沈殿を考慮したモデルによる解析が可能となった。 - エトリンガイトやモノサルフェートなど、一部のセメント水和物について温度依存性に関わる熱力学データの取得を行った。 【先進的セメントー緩衝材相互作用評価モデルの高度化】 - セメントー緩衝材接触試験により、相互作用により生成した二次鉱物の種類など、セメント及び緩衝材の変質状態を把握するとともに、得られた結果に対して、反応・物質輸送連成モデルによる解析を行い、モデルの信頼性を向上させた。 【ナチュラルアナログによる緩衝材の長期安定性の検証】 - Fe、Mg に富む環境でアルカリ溶液から C・S・H を伴い沈殿した非晶質の FMSH がスメクタイトに結晶化するプロセスを明らかにした。分析結果からアルカリ変質によるスメクタイト化には鉄成分が必要ことが示唆されており、類似する他の天然環境や合成実験の事例調査も併せて、スメクタイト化に進む環境条件が示せる見込み。 - Fe、Mg に富む環境でアルカリ変質によるスメクタイト系の二次鉱物の生成を評価することができるようになった。		
					NUMO	- セメントーベントナイト相互作用及び鉄ーベントナイト相互作用に関する現象解析モデルの高度化において、想定される複合的なプロセスを細分化し、それぞれに対応する室内実験を行いデータ取得中。これと並行して、ベントナイトの変質挙動解析モデルを用いた感度解析及び不確実性解析を実施するためのツールを整備し、実験データと数値シミュレーションの出力との比較・評価による、当該解析モデル適用の妥当性確認を行う準備を整えた。 - 鉄ーベントナイト相互作用において、変質の進展を詳細に把握するための試料の作製方法を構築することができた。 - スイスのグリムゼル試験場において実施されている、国際共同プロジェクト “High Temperature Effects on Bentonite Buffers (HotBENT)” に参加し、原位置におけるベントナイト緩衝材の最高温度が 100℃を超える条件での、温度、水分量、応力状態等に関するデータの取得を継続。また、緩衝材の最高温度が 100℃を超える条件を対象とした、熱ー水連成解析モデルを作成し、数値解析結果と原位置実験でその時点まで	継続	- 閉鎖後長期の安全性評価に対する技術的信頼性を向上させるために、核種移行抑制に重要な役割を持つベントナイト緩衝材に関して、セメントーベントナイト相互作用及び鉄ーベントナイト相互作用に関する現象解析モデルの高度化に向けて、実験データの取得を継続し、数値シミュレーションの出力との比較・評価による、解析モデル適用の妥当性の確認と、必要に応じた改良。 - 緩衝材の安全機能への影響を分析可能とするために、緩衝材の最高温度が 100℃を超える条件における THMC 連成解析技術の整備。 - 国際共同プロジェクト HotBENT において、2021 年度から継続している原位置のモニタリングデータと、当該実験を対象とした数値シミュレーションの出力との比較・評価による解析モデルの妥当性の確認と必要に応じた改良。 - 処分場の状態設定をより合理的なものとするために、地質環境条件や数理モデルにおけるパラメータ等の不確実性の伝播によるニアフィールドの状態設定への影響を定量化する手法を開発。

							で得られたデータとの比較による解析モデル適用の妥当性を評価する方法論を作成し、当該モデルの信頼性向上に必要な技術の一部を整えた。		
			(c) 廃棄体由来の発生ガスに関する現象解析モデルの妥当性検討	廃棄体による水の放射線分解等に由来して発生するガスの影響評価を目的として、緩衝材及びセメント系材料のガス移行試験を実施し、ガス移行特性に係るデータを取得するとともに、ガス移行に加え力学の連成解析が可能な現象解析モデルの構築を進めてきた。	- 処分坑道を模擬した小規模試験体によるガス移行実験などにより既往の現象解析モデルの妥当性を確認する。 - 加えて、この現象解析モデルを用いることにより、核種移行挙動へのガス影響を検討する。	RWMC	- 三次元の二相（気／液相）流特性や低圧力での破過、また再破過試験による（再飽和条件での）自己修復性を確認した。 - 小規模モックアップ試験結果に基づき同定した二相流パラメータを反映して、気／液相移動－力学連成解析モデルを高度化した。 - 廃棄体発生から閉鎖後長期のガス発生量解析、ガス移行解析、ガスによる破過や人工バリアの状態変遷等を考慮した核種移行解析を連携させて、発生ガスの影響を評価できるようになった。 - ガス移行挙動の異方性を評価するためには、試験体の不均質性や締固め等の施工方向が反映できる気／液相移動－力学連成解析モデルが必要なことを明らかにした。	継続	人工バリア及び母岩中における気／液相移動－力学連成現象の理解に基づく現象解析モデルの開発（ガスの液相への溶解及び脱ガスを考慮）。
						NUMO	—	新規	- 室内試験等によるデータを用いた既往の現象解析モデルの妥当性の確認。 - 現象解析モデルを用いた核種移行に対するガス影響評価の方法論の構築。
			(d) コロイド・有機物・微生物の影響評価手法の構築・高度化	【ベントナイトコロイド】 緩衝材に起因するベントナイトコロイドの移行に伴う核種移行への影響評価モデルの構築を進めてきた。 【地下水中天然コロイド】 地下水中に存在する天然コロイドについては、比較的大きいコロイド（$>0.2\ \mu\text{m}$）を対象として、核種移行に対する影響評価モデルを構築。 【有機物による核種移行への影響】 廃棄体由来のイソサッカリン酸（ISA）によるアクチノイド元素の溶解度への影響評価や、天然有機物と核種の錯体形成モデルの構築を実施。 【微生物の核種移行への影響】 一部の種類の微生物を対象に核種の取り込み等に関するデータを取得してきた。	【ベントナイトコロイド】 - 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を実施する。 【地下水中天然コロイド】 - 原位置での試験を実施しながら、粒径の小さいコロイドに固有の特性を考慮したモデルへの拡張を図る。 【有機物による核種移行への影響】 - 今前者については、遷移元素の溶解度や収着への影響に関するデータを、後者については原位置等において天然有機物・核種・岩石の三元系における核種収着データを取得することなどにより、影響評価モデルの構築をさらに進める。 【微生物の核種移行への影響】 - 他の主要な微生物についても同様に原位置等においてデータの取得を行う。 以上の研究開発によって得られた知見は、「2.3.3(1)(ii)(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」へ反映する。	JAEA	- 天然有機物の核種との錯生成データ取得とモデルパラメータの信頼性の向上、核種－有機物－岩石三元系のデータ取得と二元系モデルの加成則による核種収着への影響評価手法の適用性を提示した。 - 地下水中のコロイド（無機／有機・微生物）への元素収着挙動、堆積岩地下環境のバイオフィーム形成領域と元素濃集挙動の現象を理解し、核種移行への影響評価手法を提示した。 - 未知微生物を含む包括的な地下微生物代謝の評価手法を、先端的・革新的な手法を用いて構築した。 - アルカリ環境でのセルロースの分解生成物であるイソサッカリン酸（ISA）の核種移行パラメータへの影響を調べたところ、Sn については、顕著な溶解度への影響がみられないことを確認した一方、Pd については、溶解度への影響がみられ、ISA との錯生成定数を算出した結果、安全評価への影響を定量的に見積もることができるようになった。 - ISA の溶解度への影響がみられた Pd について、ISA の共存条件におけるセメント系材料に対する収着への影響を評価した。	継続	- 天然有機物と核種との相互作用の現象理解とそれを反映したモデル構築。 - 核種・天然コロイド（もしくは微生物）・岩石三元系における核種移行挙動評価モデルの開発。 - バイオフィームによる核種移行挙動への影響評価手法の開発。 - 微生物代謝が地下水水質や周辺の地球化学環境に及ぼす影響評価手法の構築。 - 天然有機物、コロイド、微生物による核種移行評価モデルの深部地下環境での原位置試験による妥当性確認。 - TRU 等廃棄物処分で考慮すべきイソサッカリン酸等の有機物と核種の錯生成及び収着影響に関するデータ拡充、評価モデル及びパラメータの整備。
						NUMO	- ベントナイトコロイドが安定して存在する（生成の可能性がある）地下水のイオン強度の範囲を室内実験により把握し、コロイド生成条件の検討範囲を絞り込むことができた。 - スイスのグリムゼル試験場において実施されている、国際共同プロジェクト“Colloid Formation and Migration (CFM)”に参加し、原位置におけるベントナイトコロイドの移行挙動実験後のオーバーコアリング試	継続	- ベントナイトコロイドが安定して存在する条件下での、ベントナイト生成条件の把握。 - 生成したベントナイトコロイドの、核種移行挙動への影響評価手法の構築。 - データやモデルに存在する不確実性を定量的に考慮する手法の開発。

							料を取得・分析し、現象解析モデルの妥当性の確認に資する情報を獲得することができた。		
			(e) 硝酸塩の現象解析モデルの妥当性検討	TRU 等廃棄物に含まれる硝酸塩による地層処分システムへの影響評価を目的として、地下深部における硝酸イオンの化学的変遷モデル（硝酸イオン・金属等）の開発を行ってきた。	- 長期浸漬試験により取得したデータや地下水の硝酸塩汚染事例等を用い、モデルの妥当性の確認や必要に応じた改良を進める。 - 硝酸イオンに加え、反応生成物であるアンモニアなどが核種移行に及ぼす影響に関する知見の拡充を行う。	JAEA	- 地下深部の岩盤中に存在する鉱物として、硝酸イオンの還元をする能力を有する黄鉄鉱について、硝酸イオンの変遷速度に関するデータを取得した。これにより硝酸イオン変遷モデルの信頼性が向上した。 - 硝酸イオンがアンモニウムイオン変遷した場合におけるベントナイトの長期挙動への影響を調査・評価した結果、ベントナイトの変質が限定的であることが示された。 - 硝酸イオンとその変遷物質であるアンモニアなどの核種移行データ（溶解度、収着分配係数）への影響について調査し、硝酸イオンによる核種の酸化に伴う溶解度の上昇やアンモニア錯体の形成に伴う収着分配係数の低下等を最新の知見に基づき整理し、処分の安全性の評価における取り扱いを提示した。	継続	- 実測データが少ないと思われる硝酸イオンとその変遷物質（NO₂⁻、NH₄⁺/HN₃）共存におけるより現実に即した核種移行データの取得。 - 硝酸イオンの化学的変遷モデルにおける感度の高いパラメータに関するデータの拡充。 - 地下深部の環境における硝酸イオンの化学的反応に関する理解の深化。 - 硝酸塩による緩衝材の核種移行抑制性能への影響評価技術の開発。
			(f) 現象解析モデルの統合化技術の構築	地層処分システムの時間的・空間的な変遷を理解するため、ニアフィールドに注目し、様々な現象解析モデルを統合して連成解析を行うことを可能とするプラットフォームの構築技術の開発を行ってきた。	「2.3.1(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」において開発する、それぞれの現象解析モデルを取り込み、より高度な連成解析を可能とするようプラットフォームの拡張を行う。 - さらに、試行的な連成解析により、安全上の重要な課題を抽出する。	JAEA	- ニアフィールド（NF）を対象とした複合現象評価のためのシステム開発にあたり、トップダウンとボトムアップの双方の視点から検討するアプローチに基づき、システム開発で着目すべき評価課題を選定する手法を提示 - 選定された課題「緩衝材の長期的変質挙動の予測」の評価にあたり重要となる複合現象（コンクリート支保及びオーバーバックとの水理（H）－力学（M）－化学（C）相互作用による緩衝材の状態変化）を対象にシステムの開発を行い、プロトタイプの評価システムを構築。 - プロトタイプの評価システムを用いて、HMC 及び HC を連成させた緩衝材の長期変質挙動に関わる感度解析を行った結果、H 及び C への影響が M よりも相対的に大きいことが示された。 - 連成に伴うフィードバック影響の大きい HC 連成解析に重点をおき、解析コード検証のためのベンチマーク解析やモデルの検証に係る既往成果を整理し、解析コードの適切性を再確認すると共に、試行的な連成解析により、低透水性等の安全機能への影響が大きい現象を評価する上で重要となる課題を整理した。	継続	- 複合的な現象のうち、核種移行挙動（安全機能）への影響に感度が高い現象の組み合わせの特定。 - 緩衝材中の間隙構造、間隙水化学、鉱物溶解・沈殿、間隙閉塞等に関わる最新の知見等に基づいたモデル等を取り込んだ複合現象評価システムの高度化や、実測データや既往の解析手法との比較に基づく妥当性確認。 - 最新の知見を取り込んだモデルを用いた解析と複合試験や天然類似事例との比較によるモデルの妥当性確認。 - 安全機能への影響に感度が高い現象に着目した感度解析による影響の不確実性の評価。
	2.3.1(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	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	(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	安全機能を視軸として、FEP 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、シナリオ構築の追跡性等を確保するため、様々な管理ツールを整備してきた。 シナリオ構築手法において必要となる FEP リストについては、OECD/NEA の 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。	- 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、及びその論拠をもって管理するための体系的なツールの整備を図る。 - 今後も、基盤研究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。	NUMO	- 閉鎖後長期の安全性の評価に関わる情報管理ツールのプロトタイプを作成した。さらに、作成したツールを用いて、高レベル放射性廃棄物処分場を対象とした閉鎖後長期の安全性の評価に関わる情報を知識モデルとして整理した。 - これにより、閉鎖後長期の安全評価に関する品質管理を支援するための基盤を整えることができた（2.3.1(2)(b)と統合）。	継続	情報管理ツールのプロトタイプに関する実用性の検証及び改良。

		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。	(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	シナリオの十分に資するため、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を開発してきた。	- 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、「2.1.2(3)地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」で整備する地質環境の長期変遷モデルや「2.3.1(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」において整備する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。 - 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データベースとのリンク機能を取り入れる。 - 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、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。	NUMO	2.3.1(2)(a)の情報管理ツールにおいて、閉鎖後システムのふるまいに関するストーリーボードを電子化して実装し、ストーリーボードに示される状態設定の根拠となる現象解析モデルによるシミュレーション結果や、状態設定に基づく安全評価シナリオとの関連を知識モデルの一部として整理し、閉鎖後長期の安全評価に関する品質管理を支援するための基盤を整えることができた。	継続	2.3.1.(2)(a)と統合して取り組む。
			(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	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。	- 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。 - 稀頻度事象の発生可能性の検討に当たっては、「2.1.1(5)(ii)(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」の成果を反映する。	NUMO	国内の中深度処分の規制制度の情報を収集し、それらの規制が地層処分事業に適用された場合の影響について分析し、ボーリングシナリオの核種移行経路の評価における課題を明確にするとともに、評価手法の高度化に資することができた。	継続	- 人間侵入シナリオと稀頻度事象シナリオに関する国内外の最新の情報の収集と評価手法の検討を継続。これらシナリオの取り扱いに関する基本的考え方を提示。 2022 年度までに明らかになった核種移行経路の評価における課題に対して、2.3.2(2)(a)で開発した解析モデルの適用性の検討。
	2.3.2 核種移行解析モデル開発								
	2.3.2(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	核種移行解析の場として設定するニアフィールドの状態の時間変遷については、それに伴う不確実性を考慮し、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など、安全評価上の保守性を確保することを基本的なアプローチとしてきた。また、母岩の割れ目中の核種移行解析モデルでは、水みちの微細透水構造や充填物への収着等を詳細に考慮して	(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	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を行ってきた。これによって、例えば、セメント系材料により Ca 型化した緩衝材やオーバーパックの腐食により Fe 型化した緩衝材における核種の収着・拡散に係るデータなどを蓄積している。	「2.1.2(3)地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」において取得した地下水化学の変遷に関する情報や「2.3.1(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」において得られる情報に基づき、ニアフィールドの状態の変遷をより現実的に設定し、その変遷に応じて変質セメント系材料や変質緩衝材中の核種の移行挙動に係るデータを取得し、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研究開発を進める。 - 時間変化を考慮した地質環境モデルやニアフィールドを対象とした複合的な現象に関する連成解析の結果を、核種移行解析モデルへ反映する手法を構築する。 - 例えば、ニアフィールドの状態	JAEA	- オーバーパックの鉄共存が緩衝材中の核種の溶解度や収着挙動に及ぼす影響を把握・評価するため、鉄と核種の競合収着や、鉄腐食生成物への核種の取り込みが生じる元素や条件を把握し、それらを評価可能なモデルを提示した。 - セメント共存が緩衝材や岩盤中の核種移行に及ぼす影響として、セメント共存によるベントナイトの変質を考慮したコロイドろ過性能の発現条件、泥岩ーセメント接触界面で生じる現象を把握し、それらの核種移行への影響評価手法を提示した。 - ニアフィールドの状態変遷に関わる解析結果を反映しつつ、核種移行評価が可能なプラットフォームを利用し、核種移行解析の試行が可能なシステムを開発した。 「ニアフィールド環境変遷を考慮した核種移行評価技術の開発」とも連携し、「現象解析モデルの統合化技術の構築」における連成解析で得られた緩衝材の変質に関わる場の状態変遷（イオン強度、間隙率、構成鉱物等）を考慮し、核種移行パラメータを設	継続	- ニアフィールドにおいて生起する複合現象によりもたらされる状態における、核種移行メカニズムの理解の深化を通じた核種移行評価モデルの開発。 - 鉄共存やセメント共存によるベントナイト中の間隙水・間隙特性の変化とその核種移行やコロイド移行への影響について、先端分析・計算科学等の適用による現象理解の深化と、それらを反映した影響評価モデルの高度化。 - バリア構成材料間（ガラスー金属ーベントナイトーセメントー岩石）の界面における鉱物生成現象と核種の取り込み現象に関する現象理解の深化と、それらを反映した影響評価モデルの高度化。

		いなかった。			変遷に応じて核種移行パラメータの時間変化を考慮し、これに対応して核種移行解析が可能となるようなモデルの構築とそれを適用した解析の実施などを進める。		定するための方法論を整理した。 ・ 緩衝材の長期的な変遷が核種の移行遅延に及ぼす影響を評価した。		
		今後は、地層処分システムが本来有する安全性を示すため、保守的に取扱ってきた諸現象をより現実的に反映することが可能な核種移行解析モデルの開発を行う。				NUMO	・ TRU 等廃棄物処分場の処分坑道内のジオメトリーを明示的に反映した解析モデルを作成し、セメント系材料のバリア性能を現実的に評価する手法を構築することができた。 ・ 変質（セメント成分が溶脱、及びセメント水和物が変質）したセメント硬化体の拡散係数を取得し、上記の解析モデルにおいて、現実的なパラメータ値の設定ができるようになった。 ・ スイスのグリムゼル試験場において実施されている、国際共同プロジェクト“Carbon-14 and Iodine-129 Migration in Cement (CIM)”に参加し、原位置におけるセメント系材料中の放射性核種を用いたトレーサー実験を行い、室内実験に基づいて作成したセメント系材料中の核種移行解析モデルを原位置に適用することの妥当性確認に資する情報を獲得することができた。	継続	・ 廃棄体パッケージからの核種溶出挙動に関する、より現象に即した性能評価技術の開発。 ・ 原位置実験のデータを用いたセメント系材料中の核種移行解析モデルの妥当性の確認。 ・ 上記データやモデルに存在する不確実性を定量的に考慮する手法の開発。
			(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、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）のマトリクス中の核種の拡散・収着を考慮した解析モデルの構築と適用を行ってきた。	・ 割れ目内における充填鉱物中の微細空隙や充填鉱物への収着、掘削影響領域を含むマトリクス部の間隙構造や鉱物分布等の不均質性といった水みちの微細透水構造を反映したより現実的な場を対象とした核種移行解析モデルを開発する ・ 試験等を通じて、構築した核種移行解析モデルの妥当性を確認する。 ・ 複数の割れ目が存在するよりスケールの大きな場（数十 m から 100 m 程度の空間領域）を対象として、既存の水力・物質移動モデルの妥当性を確認するための手法の開発と試験データの整備を進める（「2.1.2(1)(ii)(c)水みちの水力・物質移動特性を調査・評価するための技術の高度化」と連携）。	JAEA	・ 結晶質岩について、主に海外の結晶質岩のマトリクス部及び割れ目部を対象に、鉱物・間隙の不均質性や核種移行特性に関するデータを取得し、不均質性が核種移行に及ぼす影響の把握とそれを反映した核種移行モデルを構築した。 ・ 堆積岩については、主に幌延深地層研究センターの岩石のマトリクス部及び割れ目部を対象に、室内試験による核種移行データの取得と核種移行モデルの構築を行い、原位置トレーサー試験データやナチュラルトレーサーデータ等を用いたモデルの適用性を確認した。 ・ 上記の成果を反映して、地質環境の不均質性や長期環境変遷等を考慮可能な核種移行解析手法と解析評価事例を提示した。	新規	・ わが国の多様な岩盤特性へ適用可能な、割れ目部からマトリクス部を含む微細スケールからマクロスケールにおける核種移行挙動の理解の深化に基づく、核種移行評価モデルの開発と妥当性の確認。 ・ 岩盤の不均質性を起因した核種移行に関わる諸現象を反映可能な核種移行解析モデルの開発と妥当性検証の方法論の整備。 ・ 幌延深地層研究センターの地下深部環境における、より複雑な割れ目特性やより大きなスケールを対象とした原位置トレーサー試験手法の構築と、割れ目等の不均質性を考慮した核種移行モデルの高度化と妥当性確認。 ・ 上記の成果を反映した、地質環境の不均質性や長期環境変遷等をより現実的に取り扱うことができる核種移行評価手法の構築と、ナチュラルトレーサー等の天然事例に基づく妥当性の確認。
						NUMO	・ スイスのグリムゼル試験場において実施されている、国際共同プロジェクト” Long Term Diffusion (LTD)”に参加し、原位置において放射性核種を用いて母岩のマトリクス部への拡散実験を行い、核種移行解析モデルの妥当性確認に資する情報を獲得した。 ・ 次フェーズ LTD における実験の準備として、実験を模擬した予備的な数値シミュレーションを行い、この結果を参考にして効果的にデータを取得可能な実験条件を設定した。 ・ 瑞浪超深地層研究所で取得された水力場及び物質移行特性に関するデータを用いて、三次元の水力・物質移動解析モデルの妥当性確認に関する事例や技術的知見を蓄積した。	継続	・ 国際共同プロジェクト LTD において取得されるデータを用いた割れ目中の微細透水構造等のミクロスケールにおける現象理解に基づく既往の核種移行解析モデルの簡略化の妥当性確認。 ・ 国内外の室内及び原位置実験データを用いた、水力・物質移動解析モデルに対する妥当性確認の方法論の構築。 ・ データやモデルに存在する不確実性による解析出力への影響を定量的に評価可能とするための数値解析の効率向上に向けた、解析技術の高度化。
	2.3.2(2) 施設設計等を	閉鎖後長期の安全	(a) 施設設計を反	ニアフィールド領域を対象に、人	・ 三次元の粒子追跡解析手法の計	NUMO	・ 包括的技術報告書で用いたニアフィールド	継続	・ 開発した核種移行解析モデルを用いた感度

反映した核種移行解析モデルの高度化	性の評価の信頼性の向上を目的として、ニアフィールド領域を対象に地質環境条件や施設設計をできるだけ現実的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）の時間的変化をより現実に取り扱うことが可能となる生活圏評価手法を構築する		映した核種移行解析モデルの構築・高度化	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ている。	- 算能力の向上を図る。 「2.1.2(3)地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」で整備する地質環境の長期変遷モデルや「2.2 処分場の設計と工学技術」等で検討される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。 - 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。		スケールの核種移行解析の対象スケールを広域スケール（涵養域から流出域を包含する数十 km×数十 km の領域）に拡張した。さらに、2.1.2(3)(b)の成果を反映することで、広域スケールの地質環境の時間変遷を考慮可能とした。	上記の核種移行解析モデルと整合させて核種移行経路の水理及び化学場を設定するために、不均質な母岩を対象としてセメント系材料から溶出する高アルカリ成分の広がりを評価する技術を高度化した。		- 解析を実施し、感度の高いパラメータに関する不確実性要因の特定と、それに基づくデータ取得の優先順位の設定。 - データやモデルに存在する不確実性による解析出力への影響を定量的に評価可能とするための数値解析の効率向上に向けた、解析技術の高度化。 2022 年度までに開発した解析モデルの地下水移行シナリオ以外のシナリオ（人間侵入シナリオ等）への適用性の検討。	
		(b) 地質環境の変遷に応じた生活圏評価手法の高度化	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圏モデルを整備し、農作業従事者などの決定グループを対象にサイトを特定しない一般的な生活圏評価を実施してきた。	- コンパートメントモデルの改良によって生活圏モデルの詳細化を図るとともに、「2.1.2(3)地質環境特性の長期変遷のモデル化技術の高度化」で整備する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、生活圏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（「2.3.3(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」）へ反映する。	—	—	新規	目的に応じた生活圏評価を行うために考慮すべき核種移行／被ばくプロセスの抽出及び評価モデルの整備を実施するとともに、各プロセスに関するモデルの妥当性及び評価への適用条件、不確実性を検討し、生活圏評価上の重要課題を整理。			
		NUMO		GBI の空間分布を考慮した生活圏評価モデル作成の方法論を構築することができた。	継続	- 地表と浅部の地下環境の時間変遷を考慮可能な生活圏評価モデルの開発。 - 時間変化を考慮した広域スケールの核種移行解析により得られる GBI の情報の生活圏評価モデルへの反映方法の構築。 - データやモデルに存在する不確実性による解析出力への影響を定量的に評価可能とするための数値解析の効率向上に向けた、解析技術の高度化手法の開発。 - 将来の人間の生活様式に関するモデル化とその妥当性の検討。					
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											
2.3.3(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 核種移行解析モデル開発」で整備される地層処分システムの状態変遷や設計の特徴をより現実的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、解析に必要な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率といった	(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	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）、収着データベース（SDB）、拡散データベース（DDB）の拡充を図ってきた。	- データが十分に整備されていない沿岸海底下や比較的炭酸濃度が高い地下水が存在する場合に重点を置き、岩石、緩衝材及び主要鉱物等への収着・拡散データ、溶解度設定に係る熱力学データを取得する。 - 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、「2.3.1(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」や「2.3.2(1)地層処分システムの状態変遷等を反	JAEA	- 高炭酸条件での核種の収着・拡散データの取得と、先端分析技術や分子動力学計算等の適用による拡散・収着の現象を解明し、間隙特性、収着特性をより精緻に取り扱うモデルを構築した。 - 核種移行データベースのうち、熱力学データベースについて、NEA-TDB の最新の知見の取入れや、溶解度の温度影響を評価するためのデータの拡充など段階的に更新。収着データベースについて、最新のデータや信頼度情報の拡充を行うとともに、特にデータが不足していたセメント系材料の収着データの大幅な拡充を実現。	継続	- 多様な地質・地下水条件や長期環境変遷を考慮した核種移行パラメータ設定に資するための、岩石に対する核種の収着・拡散データの拡充、先端分析や計算科学手法による現象解明と、それらを反映した収着・拡散モデルの構築。 - 有用な熱力学データとなるように、妥当性が確保されたデータの拡充（多様な核種、多様な環境）。 - 最新のデータベースに基づく核種移行解析が可能な環境を維持するため、国内外の最新の知見を取り込み、核種移行データベースを更新（熱力学データを含む）。			
					NUMO	下記の内容の実施により、様々な環境条件を想定した核種移行パラメータ設定における不確実性を低減することができた。	継続	溶解度の温度依存性を考慮するために、性能評価結果に対する溶解度の感度が高いアクチニド元素を対象としたデータの拡充。			

		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。			映した核種移行解析モデルの高度化」で重要性が明らかにされるデータ（例えば、高濃度硝酸塩環境下における鉱物への核種の収着データや Ca 型ベントナイトへの核種の収着データ等）について取得を行う。 これらのデータはデータベース（TDB、SDB、DDB）へ反映し、一元的な管理に資する。		- 還元環境かつ高炭酸濃度の地下水を対象とした、アクチノイド（U、Np）のスメクタイトに対する収着モデルを作成。 - 高炭酸濃度条件における収着分配係数が不足する元素（ジルコニウムとテクネチウム）についてスメクタイトに対する収着係数のデータを拡充。 - 溶解度の温度依存性を考慮可能とするために、データを拡充（対象元素：セレン）。 - ベントナイトの Ca 型化を考慮可能とするために、収着係数及び拡散係数のデータを拡充。 - 先新第三紀堆積岩類の付加体について、代表的な元素を対象に収着係数及び拡散係数のデータを拡充。		- 収着分配係数の温度依存性を考慮するために、評価対象核のうち代表的な元素を選定しデータを拡充。 - 付加体について、評価対象核種に対する収着データ及び拡散データの拡充。 - 核種移行パラメータ等のデータ測定手法の標準化。
			(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	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を実施し、生活圏評価に反映を行ってきた。	今後は、 - 生活圏評価に必要となる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置いてデータの拡充を図る。 - 線量を支配する核種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、「2.3.2(2)(ii)(b)地質環境の変遷に応じた生活圏評価手法の高度化」の検討に応じて、必要となるデータについて適宜データ取得を進める。	—	—	新規	- 湖沼や汽水域等の土壌への収着分配係数に関わるデータの拡充。 - 土壌への移行係数、生物への濃縮係数等のパラメータに関するデータの拡充。 - データ利用側のニーズを踏まえたデータベースの公表に向け、最新知見を整備。
						NUMO	- 水田及び畑地を対象とした土壌の収着分配係数のデータを拡充し、生活圏評価における土壌の分配係数設定における不確実性を低減した。 - 上記のデータ取得の手順書を作成し、専門家によるレビューを受け、コメントに対応することで試験データの品質を確保可能な手順書とした。これにより、サイト選定段階における生活圏評価の品質保証に貢献した。 - 湖沼や汽水域を対象とした収着分配係数について、既存の情報の整理を行い、不足するデータを特定し、次期に取り組むべき課題を明らかにすることで、当該データの不確実性の低減に対して貢献することができた。	継続	2.3.2.(2)(b)で作成する生活圏評価モデルにおいて感度の高いパラメータの特定と、それに基づくデータ取得の優先順位の設定。
			(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	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、拡散係数のパラメータを設定する手法を構築した。	概要調査への準備として、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。	NUMO	- サイト調査データを用いた核種移行パラメータ設定の考え方を提示した。 - 上記考え方に基づき核種移行パラメータの設定を可能とするための課題を優先順位とともに整理した。 - 以上によりサイト調査データを用いた核種移行パラメータ設定手法の構築について実現の見通しを示すことができた。	継続	見通しが得られた核種移行パラメータの設定手法について、原位置で取得されたデータを用いて適用性を確認。

章	中項目No./名称	目的	細目	平成 29 年度までの状況	平成 30 年度～令和 4 年度の状況			今後の 対応案	今後の取組み案
					設定課題	主たる 実施機関	達成状況		
3 中長期的に研究開発を進める上での重要事項									
	3.2 代替オプション								
	3.2.1 使用済燃料直接処分								
	—	—	(1) 処分容器の挙動評価	—	環境条件によっては極めて長い寿命を期待できる純銅について、わが国における適用条件や長寿命達成の可能性を提示するとともに、銅に長寿命が期待できない条件等への柔軟な対応を図るため、他の候補材について長寿命化の見通し、条件等を提示する。 また、処分後、容器内部において未臨界状態が維持される条件等を把握するための臨界安全評価技術の高度化を図る。	JAEA	- 地下水中の硫化物濃度を考慮した保守的な腐食モデルを構築し、硫化物濃度に応じた処分容器としての寿命の見通しを提示できた。また、代表的な高耐食性金属を対象とした酸性化性環境下での耐食性の比較によりニッケル基合金を代替材料として選定し、処分環境下での適用性について見通しを提示した。 - 処分容器内部における材料の現実的な状態・配置の変化を反映した臨界安全評価手法を検討し、各想定に応じた臨界安全評価モデルの候補とそれを活用した評価手法を例示するとともに、処分後の再臨界の可能性が小さいことについて概略的な見通しを得ることができた。	臨界安全評価のみ継続	未臨界状態が長期間にわたって確実に確保されることを担保し得る評価事例を示すとともに、処分容器の設計の合理化に向けた燃料集合体の収容体数の合理化事例を、未臨界状態が確保される根拠とともに提示。
			(2) 使用済燃料、緩衝材の挙動評価	—	核種移行の検討をより適切なものとするために、使用済燃料（集合体）からの放射性核種の特徴的な浸出挙動や長寿命容器の候補材料である銅等と緩衝材との相互作用等についての理解を深めるための調査研究を実施する。	JAEA	- 瞬時放出率や、長期溶解速度の全炭酸濃度依存性に関するデータ等を取得し、取得データに基づく瞬時放出率と長期溶解速度の評価を行うことにより、ソースタームパラメータの暫定的な設定値を提示できた。 - わが国特有の条件下での銅の腐食に伴う緩衝材の変質挙動の実験的調査を行い、緩衝材変質量と銅の腐食量の関係式を導出した。これにより、長期にわたる銅製処分容器の腐食に伴う緩衝材の変質の可能性を評価できた。	使用済燃料挙動評価のみ継続	- 実燃料を用いた溶出データの拡充と解析的手法の活用等に基づくわが国で想定される条件に適した瞬時放出率設定手法の構築や暫定値の更新を実施。 - 溶出データの拡充と溶解メカニズムの詳細な把握等に基づくわが国での環境条件に対応した長期溶解速度評価手法の構築や暫定値の更新を実施。
			(3) 直接処分システムの成立性の多角的な確認		人工バリアの成立性の検討をより確かなものとするために、直接処分システムの性能評価の全体像（枠組み）の検討を進めるとともに、人工バリアの成立性に関する多角的な検討に資する最新の知見を把握し適宜検討に反映できるように整備する。	JAEA	本事業で取組んできた直接処分に係る課題の位置づけの確認、保障措置・核セキュリティについての諸外国や国際機関での情報・知見の整備なども含めて、使用済燃料の直接処分の研究・調査の成果に加えてその他の代替処分オプションの研究・調査の成果を一体的に取りまとめた。これによって、直接処分の成立に向けた技術開発の現状と課題をわかりやすい形で示すことができた。	継続	- わが国で想定される諸条件に対応した直接処分システムの成立性に係る検討を行うための基本的枠組みと、その枠組みにおいて必要となる情報を提示。 - さらに、この整理を踏まえて、わが国を対象とした直接処分の検討にあたって重要となるものの不足している情報を更新・拡充するとともに、既存情報とあわせて成立性検討に向けた最新の技術基盤として集約・体系化。
	3.2.2 その他の代替処分オプション								
	3.2.2 その他の代替処分オプション	—	—	超深孔処分に関して、事例調査を通じて諸外国での考え方、特徴、検討の背景、技術的課題等を整理した。	わが国の諸条件を考慮した場合の適用性・成立性を検討していくための留意点や検討方法を整備する。	JAEA	超深孔処分に関係する掘削技術や地質環境調査技術の調査等を行い、現時点での諸外国における超深孔処分の検討状況及び、超深孔処分の実施において鍵となる掘削関連技術等の現状、超深孔処分の技術的実現性に係る課題等を提示できた。	継続	超深孔処分の成立の判断のポイントを明らかにするとともに、超深孔処分の成立性の判断や超深孔処分の実現に向けて今後解決すべき課題を具体化。