

研究課題の総括表 (1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容	成果・達成状況	達成できなかった事項・理由	評価 (外部委員会)	国内外の状況	R 2 以降の実施内容	R 2 以降の研究課題	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
											前半	後半
人工バリア性能確認試験	<p>実際の地質環境下における処分孔 堅置き方式を対象とした熱-水-応力-化学連成現象に関する試験をと おして、設計や連成挙動評価手法の 適用性の確認、ならびに施工方法な どの工学的実現性の例示等を行い、 設計、施工および評価・解析といっ た一連の技術に関する基盤情報を整 備する。</p> <p>【補足】</p> <ul style="list-style-type: none"> ・実際の地質環境下における処分孔 堅置き方式を対象とした熱-水-応力-化学連成現象（ガラス固化体設 置以降の加熱時から浸潤時・減熱時 を模擬した現象※）に関する試験を とおして、設計や連成挙動評価手法 の適用性の確認（人工バリアの解体 調査および緩衝材の飽和度の確認を 含む）、ならびに施工方法などの工 学的実現性の例示等を行い、設計、 施工および評価・解析といった一連 の技術に関する基盤情報を整備する ・これらをとおして、廃棄体埋設後 において、廃棄体周辺で起こる現象 の理解を深め、安全評価において前 提としている環境条件が達成される こと確認するとともに、その予測技 術を確立することで、人工バリアの 設計に反映する ※）ガラス固化体は、処分孔に設置 した当初は発熱しており、時間の経 過とともに発熱量が低下して、温度 が下がっていく。緩衝材は、処分孔 に設置した当初は乾燥しているが、 坑道を埋め戻すと地下水が緩衝材に 入ってきて、時間の経過とともに浸 潤していく。また、温度が下がれば、 地下水が緩衝材に入りやすくなる。 このような熱と地下水の浸潤という 同時並行的に生じる現象を原位置試 験で再現するために、加熱時、浸潤 時・減熱時の試験を行うとともに、 最終的には緩衝材をサンプリングし て実際の浸潤状態のデータを解体調 査で取得する 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア（緩衝材、オーバ ーバック）に関する設計手法、製 作・施工及び品質管理手法の 確立 ・埋め戻し材、プラグに関する 設計手法、製 作・施工及び品質管理手法の確 立 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア（緩衝材、オーバ ーバック）に関する設計手法、製作・ 施工及び品質管理手法 の適用性確認 ・埋め戻し材、プラグ、 処分孔掘削技術に関する設計手法、製作・施 工及び品質管理手法の 適用性確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・湧水がある堆積岩の実際の環境下で 人工バリアを施工できることを確認し、 加熱・注水時の人工バリアの挙動に関 するデータを取得した ・堆積岩に対する、処分孔掘削技術、 の実証実験により、これらの技術の有 効性について見通しを得た 【補足】 ・緩衝材及びオーバ ーバックに関する 設計手法を構築し、幌延の地質環境条 件を例とした試設計を実施し、設計要 件に基づく設計の実施が可能であるこ とを確認した ・真空把持装置を用いた緩衝材ブロッ クの定置を実証した ・掘削スリ混合埋め戻し材を製作し、 締固め、ブロック方式等による原位置 施工や品質管理手法の適用事例を明示 ・人工バリア（緩衝材、オーバ ーバック）、埋戻し材、プラグ、処分孔掘削 技術に関する設計手法、製作・施工及 び品質管理手法は実証した 	-	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリアの設計、 製作・施工、品質管理 手法の適用性の確認は 適切と判断 	-	終了	-	-	-	-
		<ul style="list-style-type: none"> ・熱-水-応力 -化学連成現象（ガラス固化体 設置以降の加熱 時から浸潤時・ 減熱時を模擬し た現象）の評価 手法（モデル化 ・解析手法）の 確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・加熱・注水試験による熱-水-応力-化学 連成評価手法の整備、 適用性確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・解析ツールの力学モデルを拡張（緩 衝材の膨潤に伴う密度低下による剛性 の低下を考慮）することにより、緩衝 材の膨潤挙動の再現性が向上するこ とを確認できた ・緩衝材の膨潤変形による密度変化に 伴う熱特性、水理特性及び力学特性の 密度依存性を考慮できるようモデルを 高度化した 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸潤時・減熱時の データが未取得である 【補足】 ・ガラス固化体設置 以降を模擬した全 ての現象（浸潤時・減 熱時までの現象を含 めて）はわかってい ない ・試験の成果を出す 上での重要なポイントとして、加熱・注 水試験をこれまでに 実施し、その成果、 評価結果を踏まえて、 さらに試験を行うか どうかを判断するこ ととしていたので、 浸潤時・減熱時の試 験は未実施 	<ul style="list-style-type: none"> 今後は、人工バリア 性能確認試験を継続し、 人工バリア内の過渡的 な現象を再現する予測 モデルの妥当性を検証 するとともに、得られ た研究成果を余す所無 く国内外の論文等に公 表し、海外の先行URLと 比肩しうる先進的な試 験サイトとして広く世 界にアピールすること を期待する 【補足】 ・試験を継続し、人工 バリア内の過渡的な現 象を再現する予測モデ ルの妥当性の検証が必 要 	<ul style="list-style-type: none"> ・国外でも、熱 -水-応力-化学 の連成現象の 再現モデルの検 証を課題として 取り上げられ、 プロジェクト (DECOVALEXな ど) が進行中 	<ul style="list-style-type: none"> ・注入する地下水の圧力や 量を増加させ緩衝材に地下 水を浸潤させた場合のデー タ（浸潤時・減熱時）を取 得する ・人工バリアの解体作業お よび緩衝材の飽和度の確認 を実施する 【補足】 ・浸潤時・減熱時及び実際 の飽和度等の検証データ取 得、連成モデルの適用性確 認 ・国際プロジェクト (DECOVALEX等) における 解析コード間の比較検証、 改良・高度化 	<ul style="list-style-type: none"> ・浸潤時・減 熱時のデータ を含め、ガラ ス固化体設置 以降の加熱・ 注水時から浸 潤時・減熱時 を全て模擬し たデータに基 づく熱-水- 応力-化学連 成現象のモデ ルの高度化 ・浸潤時の実 際の飽和度な どの確認（解 体調査による） 	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄体埋設後 において、廃棄 体周辺で起こる 現象の理解を深 め、安全評価に おいて前提とし ている環境条件 が達成されるこ とを確認すると ともに、検証さ れたモデル化・ 解析手法を整備 するためには、 浸潤時・減熱時 のデータを使ったモデル化・解 析技術の検証が 必要 	前半 の5年 程度で実 施	体系化して 取り組む課 題（(2)処分 概念オプシ ョンの実証のう ち人工バリア の定置・品質確認 などの方法論 に関する実証試験）で 実施
オーバ ーバック 腐食試験	<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材の再冠水過程では、飽和度 等の環境条件の不均一性によって不均 一な腐食の可能性がある。また、環 境条件の変化に伴って腐食挙動も 経時的に変化すると考えられる ・このような挙動を把握するには、 ある程度のスケールの試験が必要で あり、室内試験では限界があること から、工学的スケールでの検討が必要である ・緩衝材の再冠水～飽和の過程を工 学規模で再現し、オーバ ーバックの 腐食量や不均一性のデータを取得し て既往の腐食量評価手法の妥当性、 適用性を確認する。更に、環境条件 の不均一性に加えてオーバ ーバック 溶接部に代表される材料側の不均一 性も伴う系での不均一腐食挙動を確 認する 	<ul style="list-style-type: none"> ・実際の地質環 境でのオーバ ーバックの耐食状 況の確認 ・腐食モニタリ ング手法の検証 ・既往の腐食手 法の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・試験坑道に掘削した 試験孔に緩衝材と模擬 オーバ ーバックを設置 して腐食試験を実施 ・約3年間にわたる環境 条件や腐食挙動のモニ タリングデータを取得 し、経時的な変化を把握 	<ul style="list-style-type: none"> 実際の地下環境においてオーバ ーバック腐食試験を現地で行い、これま での地上での腐食試験結果の妥当性を 確認した 【補足】 ・オーバ ーバックの溶接部と母材で腐 食挙動に有意な差は認められないこと を確認した ・腐食センサーを用いたモニタリング が少なくとも数年間以上は可能である ことを確認した ・室内試験に基づく既往の評価手法の 保守性、妥当性を確認した 	-	概ね適切に研究が遂行 され、当期5カ年の目標 を達成	-	終了	-	-	-	-

資料 - 2

研究課題の総括表 (1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容	成果・達成状況	達成できなかった事項・理由	評価(外部委員会)	国内外の状況	R2以降の実施内容	R2以降の研究課題	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
											前半	後半
物質移行試験	<p>・幌延地域に分布する泥岩は断層等の構造的な割れ目が分布することが知られているため、岩盤基質部(=健岩部)における拡散および割れ目(掘削影響領域などの人為的な割れ目も含む)を介した移流・分散が主要な移行形態として考えられる</p> <p>・したがって、割れ目を有する堆積岩での物質移行特性を総合的に評価することが必要</p> <p>・そのために、幌延の泥岩を事例として、岩盤基質部(=健岩部)および割れ目の双方を対象とした原位置トレーサー試験等を実施し、それぞれの構造の物質移行特性評価手法を構築することが重要</p> <p>・また合わせて、世界的にも事例が少ない泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法を確立することも重要。</p>	<p>・幌延の泥岩を事例とした岩盤基質部(=健岩部)および割れ目の双方を対象とした物質移行特性(物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等)の評価手法の検証</p> <p>・泥岩中の割れ目を対象としたトレーサー試験手法の検証</p> <p>・割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価手法の確立</p>	<p>・岩盤基質部(=健岩部)を対象とした原位置拡散試験を実施し、その後オーバーコアリングを実施</p> <p>・試験区間内のトレーサー濃度減衰データおよび岩石試料中の濃度プロファイルから物質移行パラメータを取得</p> <p>・割れ目を対象としたトレーサー試験(ダイポール試験)を実施</p> <p>・単一の割れ目を対象としたトレーサー試験を事例とし、溶存ガス環境下でのトレーサー試験における最適な試験条件を検討</p> <p>・トレーサーが移行した直接的な痕跡の情報に基づき、割れ目帯中の物質移行概念を検討</p>	<p>・室内試験と実際の地下環境におけるトレーサー試験により、岩盤基質部(=健岩部)や割れ目における物質の移動現象(物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等)を適切に評価することが可能な手法を確立した</p> <p>・幌延の堆積岩において、微生物や有機物が、放射性物質の岩盤への吸着を妨げ、閉じ込め効果を低下させる可能性が室内試験で確認されている</p> <p>【補足】</p> <p>・1次元の解析結果と実測値は整合的であり、1次元の解析でも健岩部における移行挙動を解釈可能であることを確認できた</p> <p>・原位置試験および室内試験で得られた各トレーサーの物質移行特性(実効拡散係数と収着分配係数:物質の移動速度や岩盤へのくっつきやすさ等を示すパラメータ)は同じ傾向を示しており、原位置試験データの妥当性を確認できた</p> <p>・割れ目内の選択的な流れを考慮したモデルにより、割れ目内の不均質な流れにおけるトレーサーの移行挙動を総合的に解釈可能となった</p> <p>・ガスが溶存する地下水環境下における物質移行試験技術を開発した</p> <p>・割れ目を有する堆積岩の物質移行の総合的な評価のためには、人為的に掘削影響領域において発生した割れ目の物質移行の評価が必要であるがこれについては分かっていない。これまでの研究成果から、微生物や有機物が、放射性物質の岩盤への吸着を妨げ、閉じ込め効果を低下させる可能性が確認されているが、物質移行に影響を与える微生物、有機物の影響などが分かっていない</p>	<p>幌延の泥岩の特徴的な構造として、岩盤基質部(=健岩部)及び割れ目を対象にした試験をこれまでに実施した</p> <p>その成果、評価結果を踏まえて、さらに試験を行うかどうかを判断することとしていたので、掘削影響領域を対象とした試験や微生物等の影響を考慮した試験は未実施</p>	<p>実験においては計測できなかった項目や、解析による計測結果の評価においては評価しきれない項目が見られる</p>	<p>・国外でも、掘削影響領域などの長期的影響や閉鎖後の擾乱の回復が課題</p> <p>・国内外で、微生物の特定について技術的に進展しているスウェーデンやオーストラリアにおいてベンチマークに関する原位置試験が実施中</p>	<p>・確立した試験手法を用いて掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得を実施するとともに、有機物や微生物が放射性物質を取り込んで移動する影響が限定的であることを確認するため、確立したトレーサー試験の手法を用いて実施する</p> <p>【補足】</p> <p>・物質移行評価手法の高度化</p> <p>・割れ目を有する堆積岩を対象とした掘削影響領域を含むブロックスケール(数m~100規模)における遅延性能評価手法の整備</p> <p>・有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化</p> <p>・確立したトレーサー試験手法を用いた掘削影響領域での物質移行に関するデータ取得</p>	<p>・掘削影響領域の物質移行の評価手法の確立</p> <p>・有機物、微生物、コロイドの影響を考慮した物質移行モデル化手法の高度化</p> <p>・割れ目を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価に資することによって、安全評価を適切に実施できるようになることが必要</p>	<p>割れ目(掘削影響領域など的人為的な割れ目も含む)を有する堆積岩での物質移行特性の総合的な評価に資することによって、安全評価を適切に実施できるようになることが必要</p>	<p>前半の5年程度で実施</p>	<p>体系化して取り組む課題(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験)で実施</p>

資料 - 2

研究課題の総括表 (2) 処分概念オプションの実証

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容	成果・達成状況	達成できなかった事項・理由	評価 (外部委員会)	国内外の状況	R 2以降の実施内容	R 2以降の研究課題	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
											前半	後半
処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験	<p>地層処分場の建設時には、高地圧・高間隙水圧条件が予想される。また、堆積軟岩の場合には割れ目・断層に狭在物が存在する影響で従来のセメント系材料の注入が難しいことなども想定される。さらに、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評価、多連接坑道を対象とした湧水対策効果を評価する手法の整備なども重要である。</p> <p>地層処分の地下環境条件を考慮した湧水抑制対策技術やグラウト材の浸透評価手法の開発など、実際の地質環境における一連の湧水抑制対策技術の実証を目標とする。</p>	<p>地層処分の地下環境条件を考慮した湧水抑制対策技術やグラウト材の浸透評価手法の開発など、実際の地質環境における一連の湧水抑制対策技術の実証</p>	<ul style="list-style-type: none"> 突発的な大量湧水を回避するための予測手法の開発 グラウト材の浸透評価手法の検討 海水条件下で使用可能なグラウト材料の開発 	<ul style="list-style-type: none"> 堆積岩に対する、湧水抑制技術、支保技術の実証実験により、これらの技術の有効性について見通しを得た 【補足】 突発的な大量湧水の発生原因となりうる粘土質せん断帯の分布の予測手法として、メルトインクルージョン※に着目した湧水抑制対策（グラウト）の事前予測が有効であることを確認した ※ガラス状の物質。結晶中に取り込まれたマグマが噴火時に急冷してガラスとなったもの。火山灰に含まれる 等価多孔質媒体モデルによるグラウト浸透解析の結果と、現場透水試験の結果は整合的であり、設定したグラウトの改良範囲が妥当であることと、解析の有効性を確認した 海水条件下で処分孔まわりの低透水領域を改良することが可能となる溶液型グラウト材料の配合を示した ※処分孔掘削技術については、人工バリア性能確認試験の実施内容に記載 	-	<p>塩水環境下のグラウト材・工法に関する継続的な検討に加え、地層処分事業等において実用性のある形での知識の蓄積、技術の継承が望まれる。</p> 【補足】 <ul style="list-style-type: none"> 湧水対策技術の成果は十分に達成できていると考える 	-	終了	-	-	-	-
	<p>国内外の地下空洞開発事例において、支保設計、情報化施工技術、支保及び岩盤の計測技術が構築されている。このような事例がある中で、地層処分場で想定されるような、広範囲に及び、なおかつ深度300m以深という大深度に展開される大規模地下施設においても、既存の技術が適用可能かどうかを確認し、課題がある場合には技術の整備を行う必要がある。そこで、立坑や水平坑道における支保技術、情報化施工技術、長期的な計測技術を整備することを目標とする。</p>	<p>地層処分の地下環境条件を考慮した支保設計、情報化施工技術、長期的な継続技術の確立</p>	<ul style="list-style-type: none"> 立坑掘削時の情報化施工技術の構築 低強度・高地圧地山における大深度立坑支保設計手法の開発 岩盤および支保工の安定性を長期的に計測する技術の構築（二重支保の適用可能性の検討） 	<ul style="list-style-type: none"> 立坑掘削前のパイロットボーリング孔の情報やグラウト施工情報を基に、覆工コンクリートの打設長を決定するフローを構築した 吹付コンクリート・鋼製支保工応力計測と、弾性波トモグラフィ調査を組み合わせた解釈により、長期的に岩盤と支保工の両方の安定性をモニタリングすることが可能になった 光ファイバ式変位計の長期岩盤変位計測技術としての有効性を実証した 	-	<p>光ファイバーを用いたモニタリング技術に関する継続的な検討に加え、地層処分事業等において実用性のある形での知識の蓄積、技術の継承が望まれる。</p> 【補足】 <ul style="list-style-type: none"> 光ファイバーを用いたモニタリング技術や塩水環境下のグラウト材・工法に関する継続的な検討に加え、地層処分事業等において実用性のある形での知識の蓄積、技術の継承が望まれる 二重支保の現実的な施工方法も示されており、低強度・高地圧地山における支保設計手法としては妥当だと考える 	-	終了	-	-	-	-

資料 - 2

研究課題の総括表 (2) 処分概念オプションの実証

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容	成果・達成状況	達成できなかった事項・理由	評価 (外部委員会)	国内外の状況	R 2以降の実施内容	R 2以降の研究課題	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
											前半	後半
人工バリアの設置・品質確認などの方法論に関する実証試験	処分場の操業に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術を実証する。 【補足】 処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証を目的として、幌延の地下施設を事例に、原位置試験を実施し、人工バリアの搬送定置・回収技術及び閉鎖技術を実証する	・処分場の操業（廃棄体の搬送定置・回収、処分場の閉鎖を含む）に関わる人工バリアの搬送・定置方式などの工学技術の実現性、人工バリアの回収技術の実証 ・個別の要素技術の実証試験	・処分坑道横置き定置方式について、プレハブ式人工バリアモジュール（PEM: Prefabricated Engineered barrier system Module）方式の搬送定置・回収技術の実証 ・搬送・定置技術：エアベアリング方式を用いた搬送装置（重量物の搬送技術）の地下環境への適用性確認 ・回収技術：PEM-坑道間の狭隙隙間に対する隙間充填技術および充填材の除去技術の整備、実証 【補足】 ・緩衝材の定置方法や、埋め戻し材に関する施工及び品質管理手法の適用性確認は、(1)実際の地質環境における人工バリアの適用性確認のうち、人工バリア性能確認試験のなかで実施	・堆積岩に対する、搬送定置・回収技術等の実証実験により、これらの技術の有効性について見通しを得た ・実際の環境下において、坑道の埋め戻し方法の違い（締固め、ブロック方式等）による埋め戻し材の基本特性（密度や均一性）を実証試験で把握した ・緩衝材の施工方法や坑道閉鎖に関する様々なオプションは未検討である 【補足】 ・現場打設のコンクリート坑道面においてもエアベアリング方式で重量物が搬送可能であることを確認した ・走行時の牽引力や空気供給量などのデータを取得し、実機の製作・運転方法などに反映した ・模擬PEM-坑道間の隙間に対し、下部狭隙部にはベレット方式、上部空間には吹付け方式による隙間充填試験を実施し、適用性を確認した ※搬送、定置を平成30年度（2018年度）までに実施 ※回収試験は平成31年度（2019年度）に実施 ・坑道の埋め戻しの施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いによる埋め戻し材の品質の違い（密度や均一性などの基本特性）が実証試験で確認できたが、緩衝材の施工方法や坑道閉鎖に関する様々なオプションの検討には至っていない ※坑道の埋め戻しの施工方法の実証試験については、(1)実際の地質環境における人工バリアの適用性確認のうち、人工バリア性能確認試験のなかで実施する	・処分坑道横置き定置方式のPEM方式の搬送定置・回収技術の実証試験を一つのオプションとて取り上げて実施し、それ以外のオプションについては、PEMの実証試験の結果をみて判断することとしていたため	今後は、PEMを用いた搬送定置・回収技術で計画されている試験の内、まだ実施されていない隙間充填材やPEMの回収試験を着実に実施することを期待する（※） また、光ファイバーを用いたモニタリング技術や塩水環境下のグラウト材・工法に関する継続的な検討に加え、地層処分事業等において実用性のある形での知識の蓄積、技術の継承が望まれる 【補足】 ・今後は、技術の確立が可能な水準に達するまで、処分概念オプションの実証に関する試験を継続する ・多くの既存技術も利用しつつ検討することが必要な課題と思われる。今般、開発～実証した技術と既存技術をどのように組み合わせるで適用していくのか、全体像として示して頂くが良い ※）PEMを用いた搬送、定置、回収試験については、平成30年度、平成31年度に実施したため、PEMを用いた搬送、定置、回収試験はR2以降の実施内容には含まれない	・国外でも、特定サイトの処分環境や処分概念に最適化された搬送定置技術の実証が実施中	・注入する地下水の圧力や量を増加させ、緩衝材に十分に水を浸潤させた状態を確保して施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いによる緩衝材の品質の違いの把握する ・埋め戻し方法（プラグの有無等） ・回収方法による埋め戻し材の品質の違いの把握する 【補足】 人工バリアの緩衝材と坑道の埋め戻し材の施工方法の違いに係る品質保証体系の構築 搬送定置・回収技術の実証（緩衝材や埋め戻し材の状態に応じた除去技術の技術オプションの整理、回収容易性を考慮した概念オプション提示、回収維持の影響に関する品質評価手法の提示） 閉鎖技術（埋め戻し方法：プラグ等）の実証 ・処分孔に設置する緩衝材や坑道内に設置する埋め戻し材の施工方法（締固め、ブロック方式等）の違いに係る品質保証体系の構築 ・回収方法とは機械的方法や高水圧を利用した方法などが想定される	操業・回収技術などの技術オプションの実証、閉鎖技術の実証	・緩衝材の施工方法や坑道閉鎖に関する様々なオプションの検討は未実施 ・処分事業において、地質環境に対して柔軟な施工を行うためには、オプションを整備しておくことが必要	前半の5年程度で実施	体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの設置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施
人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する 実際の処分事業では、オーバーバックが100℃以下になってから処分することが基本であるが、何らかの要因によって100℃を超えた状態になることを想定して、人工バリアシステムの安全裕度を検証する	100℃超の高温での限界環境が人工バリアに与える影響と上限温度設定の考え方の整備	・100℃超の高温環境下における人工バリアの閉じ込め機能を確認する研究に関する机上検討	・当該研究課題は深度500mでの実施を想定していた。深度350mでの他の原位置試験に注力したため、500mの掘削に至っていない、このため当該課題は机上検討のみを実施	・机上検討のみの成果であるため対象外	・100℃超時に人工バリアに発生する現象とその影響、および上限温度の設定や人工バリアや処分場設計への対応策（オプション）が未整理	・多くの既存技術も利用しつつ検討することが必要な課題と思われる。今般、開発～実証した技術と既存技術をどのように組み合わせるで適用していくのか、全体像として示していただくのがよい	・処分事業が進んでいるフィンランドの取り組みにおいて、実施主体ポシバ社の処分場建設許可段階のセーフティケースに関する規制機関（フィンランド：STUK）のレビュー報告書に示された操業許可申請に向けた課題として、廃棄体設置の最終判断や廃棄体間隔の設定のための個別技術の体系化の必要性が示されている。	・人工バリアの品質を踏まえて、廃棄体の設置方法（間隔など）を確認する 【補足】 ・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 ・先行ボーリングによる地質環境特性調査ならびに工学的対策技術を考慮した、地下施設及び人工バリアの設計評価技術の体系化 ・多連接坑道を考慮した湧水抑制対策技術及び処分孔支保技術の適用事例の提示、緩衝材流出・侵入現象評価手法及び抑制対策技術の提示 ・廃棄体設置の判断や間隔の設定に必要な情報の整理	・事業や規制が重要と判断する廃棄体設置の判断や間隔の設定についての情報を整備することは必要	—	後半の5年程度で実施	
人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する 実際の処分事業では、オーバーバックが100℃以下になってから処分することが基本であるが、何らかの要因によって100℃を超えた状態になることを想定して、人工バリアシステムの安全裕度を検証する	100℃超の高温での限界環境が人工バリアに与える影響と上限温度設定の考え方の整備	・人工バリアが高温になった状態を生じる現象を把握し、人工バリアの安全裕度を検証することは、処分事業を安全に行うためには必要	・当該研究課題は深度500mでの実施を想定していた。深度350mでの他の原位置試験に注力したため、500mの掘削に至っていない、このため当該課題は机上検討のみを実施	・机上検討のみの成果であるため対象外	・100℃超時に人工バリアに発生する現象とその影響、および上限温度の設定や人工バリアや処分場設計への対応策（オプション）が未整理	・多くの既存技術も利用しつつ検討することが必要な課題と思われる。今般、開発～実証した技術と既存技術をどのように組み合わせるで適用していくのか、全体像として示していただくのがよい	・国外でも、スイスがその重要性を認識し、プロジェクトを開始	人工バリアシステムの安全裕度の検証に向けて、緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法を開発する 【補足】 ・高温(100℃以上)などの限界条件下での人工バリア性能確認試験 ・100℃超時の二アフィールドにおいて発生する現象の整理 ・二アフィールドにおける上限温度設定の考え方を提示（国際プロジェクト情報を収集し、発生する現象を整理）	高温(100℃以上)などの限界条件下での人工バリア性能確認試験による緩衝材が100℃超になった状態を想定した解析手法の開発	・人工バリアが高温になった状態を生じる現象を把握し、人工バリアの安全裕度を検証することは、処分事業を安全に行うためには必要	前半の5年程度で実施	体系化して取り組む課題（(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの設置・品質確認などの方法論に関する実証試験）で実施

資料 - 2

研究課題の総括表 (3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

区分	目的・背景・必要性・意義	課題	実施内容	成果・達成状況	達成できなかった事項・理由	評価(外部委員会)	国内外の状況	R 2以降の実施内容	R 2以降の研究課題	引き続き研究が必要な理由	研究期間	
											前半	後半
水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化	<p>岩盤中には大小様々な断層が存在するが、小規模なものいくつかは処分場に取り込まざるを得ない可能性がある。それらの断層が地震や隆起などの地殻変動の影響を受けた場合に、その透水性がどの程度まで上昇し得るかを検討しておく必要がある。</p> <p>断層の透水性は断層の変形様式に大きく依存する。脆性的な変形が起こると断層の透水性は有意に上昇しやすいが、延性的な変形の場合は透水性が上昇しにくい。生じる変形が脆性的か延性的かは、変形時の岩石強度、応力などに依存する。</p> <p>本研究では、地殻変動に対する緩衝能力が潜在的に高いことから堆積岩に重点を置き、断層の変形様式を支配する岩石の強度・応力状態を計測目つマッピングが可能なパラメータで指標化することを試みる。そのようなパラメータと断層の透水性の潜在的な上限を関係付けることができれば、処分場閉鎖後の断層の透水性について現実的な状態設定が可能となる。</p> <p>断層は動いたとしても、その透水性は、地層の力学的な緩衝能力が働くことにより、一定の値を超えない。この現象を定量的に示したい。</p> <p>【補足】</p> <ul style="list-style-type: none"> 岩盤中には大小様々な断層が存在するが、小規模なものいくつかは処分場に取り込まざるを得ない可能性がある。幌延では、このような小規模の断層のうち、断層の幅に着目してさらに規模を分けて、試験の対象としている(断層の幅が数cmの規模の小さな断層～数10cmの規模の大きな断層) 	<ul style="list-style-type: none"> 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力を表現するパラメータの提案 水圧擾乱試験によるパラメータの有効性の検証 	<ul style="list-style-type: none"> 断層の変形様式(脆性的or延性的)を支配し得る岩石の強度・応力状態を表す指標を考案するために、関連する既存研究のレビューを行うとともに、机上検討やコア観察・室内実験(破壊実験)とは、断層の変形様式(脆性的or延性的)を、断層の変形の様子、すなわち、レンガの破壊のような脆性的な破壊か、粘土のような延性的な変形をするかということ 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の流れに関し、堆積岩の緩衝能力(自己治癒能力)を定量化するため、堆積岩での地震動が透水性に与える影響範囲を推定できた これまでの検討では、まずは断層の幅が数cmの規模の小さな断層に着目し、試験を行い、断層への地震動の影響などを確認した。これまでの研究開発で手法の妥当性が確認できたため、この手法を使って、処分場の設計・施工や安全評価とリンクした形で研究を進めることが可能となった 【補足】 <ul style="list-style-type: none"> ダクティリティインデックス：DI)が断層のダメージゾーンの变形様式と定量的な対応付けが可能であることが確認でき、DIが指標として有効である見通しを得た すなわち、地殻変動(応力状態の変化)に対する断層の透水性を予測できる見通しを得た 水圧擾乱試験を実施し、モデルの有効性を示した 水圧擾乱試験では、断層内の水圧を人工的に上昇させることによって断層内にせん断変形を誘発させ、それに伴う断層の透水性の変化を観測した 水圧擾乱試験を行った結果、新たにせん断変形が起こったり、有効応力が低下したとしても、断層帯亀裂の透水性はDIの経験式の範囲を超えないことを確認した 	<ul style="list-style-type: none"> 第一段階として、処分場に取り込まざるを得ない小規模の断層のうち幅数cmの小規模な断層で水圧擾乱試験を実施して、パラメータの有効性の見通しを得たが、次の段階として、処分場に取り込まざるを得ない小規模の断層のうち幅数10cmのより規模の大きな断層などのデータを拡充し、提案したパラメータやモデルの有効性を確認することとしていた 	今後、堆積岩他地域や結晶質岩への展開・比較、地層処分事業における処分場設計・施工や安全評価とリンクした形での指標活用に向けた具体化を期待する	<ul style="list-style-type: none"> 本課題は堆積岩特有の課題 国外では、スイスのウェレンベルグの泥岩やオパリナスクレイの深部では、低透水であることが知られているが、その深度依存性については明らかになっていない 	<p>断層の幅が数10cmの規模の大きな断層における地震動や坑道掘削に伴う、割れ目における地下水の流れの変化に関して、堆積岩の緩衝能力(自己治癒能力)の作用に関する実証試験を実施する</p> <p>【補足】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握 DIを用いた透水性評価の信頼性向上・隆起侵食の影響評価手法の構築 水圧擾乱試験による断層の活動性評価手法の構築 	<ul style="list-style-type: none"> 地殻変動が地層の透水性に与える影響の把握 	<ul style="list-style-type: none"> 提案したパラメータの有効性を確実なものとするためには種々の断層(処分場に取り込まざるを得ない可能性がある小規模の断層のうち、断層の幅に着目してさらに規模を分けて、試験の対象としている(断層の幅が数cmの規模の小さな断層～数10cmの規模の大きな断層)への適用が必要 様々な断層で試験を実施して、パラメータの有効性を示すことで、一般論としての堆積岩の特性表が可能となる 	前半の5年程度で実施	-
	<p>地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域に相当と仮定)の分布を把握することは、処分事業における処分場選定の際に有用な情報になり得る。このため、地上からの調査により、化石海水の三次元分布を評価する既存技術の高度化を図る</p> <p>【補足】</p> <ul style="list-style-type: none"> 断層の連結性は、地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域に相当と仮定)と密接に関係すると考えられる。この分布を把握することは、処分事業において、地下水の流れが非常に遅い領域などを処分場選定の際に考慮する場合に有用な情報になり得る 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)を調査・解析・評価する手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 地上からのボーリング調査や物理探査の既存結果に基づき、地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)の三次元分布の再評価 地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水のような塩濃度の高い地下水の分布)を解析的に評価する技術の改良 	<ul style="list-style-type: none"> 化石海水の指標として、Cl(塩素)及び水の安定同位体を基に分布を推定した 既存の水理・物質移動評価手法を基に塩濃度分布を推定した 	<ul style="list-style-type: none"> 第一段階として、既存の情報を取りまとめて課題を抽出することとしていた 	机上検討のみの成果であるため対象外	<ul style="list-style-type: none"> 本課題は堆積岩特有の課題 国外では、スイスのウェレンベルグの泥岩やオパリナスクレイの深部では、低透水であることが知られているが、その深度依存性については明らかになっていない 	<p>地下水が動いていない環境を調査してモデル化する技術を実証する</p> <p>【補足】</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水の流れが非常に遅い領域(化石海水領域)を調査・評価する技術の高度化 化石海水の三次元分布に係る調査・評価手法の高度化 広域スケール(10数km×10数km)を対象とした水理・物質移動評価手法の高度化(地下水滞留時間評価のための水理解析、塩濃度分布評価のための水理・物質移動解析) 	<ul style="list-style-type: none"> 地下水流れが非常に遅い領域を調査・評価する技術の高度化 	<ul style="list-style-type: none"> 将来の処分場として想定されるエリア(地下水の流れが非常に遅い領域)に出現する断層の特性や連結性、活動性の長期的(隆起侵食等による変化)な予測が可能となる 	前半の5年程度で実施	-
地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験	<p>地震・断層活動等の地殻変動に対する堆積岩の力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。</p> <p>【補足】</p> <p>地震・断層活動等の地殻変動に対する堆積岩の力学的・水理学的な緩衝能力(自己治癒能力)を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する</p>	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの緩衝材や坑道の埋め戻し材による掘削影響領域(EDZ)のひび割れの自己治癒能力の評価する手法の確立 	<ul style="list-style-type: none"> 地震や断層活動に起因する岩盤の損傷により、人工バリアの自己治癒能力(ひび割れの修復)を確認する研究の机上検討 	<p>当該研究課題は深度500mでの実施を想定していたため、机上検討のみ</p> <p>【補足】</p> <ul style="list-style-type: none"> 国内外の関連する研究事例を収集 DIの経験式を用いた掘削影響領域(EDZ)の透水性予測結果は実測値と概ね整合し、埋め戻し後の予測の見通しが得られた 	<p>当該研究課題は深度500mでの実施を想定していた。深度350mでの他の原位置試験に注力したため、500mの掘削に至っていない。このため当該課題は机上検討のみを実施</p>	机上検討のみの成果であるため対象外	<ul style="list-style-type: none"> 本課題は堆積岩特有の課題 海外の地下研の泥岩は幌延の泥岩と比べて膨潤性に富む 国外の泥岩を対象とした地下研において、掘削影響領域(EDZ)の透水性が低下する現象が実験的に検証 坑道埋め戻し後は掘削影響領域(EDZ)の透水性が低下することが予想されているが観測した例はない 	<p>人工バリアのひび割れに対する自己治癒能力を解析する手法を開発する</p> <p>【補足】</p> <ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が掘削影響領域(EDZ)の力学的・水理学的な緩衝能力(自己治癒能力)に与える影響を把握する試験、解析する手法開発 DIを用いたEDZの透水性を予測する既存モデルの再検証 坑道埋め戻し後のEDZの透水性を予測するモデルの構築 	<ul style="list-style-type: none"> 地殻変動による人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材の掘削影響領域(EDZ)への自己治癒能力の評価 	<ul style="list-style-type: none"> 人工バリアの緩衝材や坑道埋め戻し材が地下水の飽和に伴って膨潤すること、掘削影響領域の自己治癒能力が発揮され、これを評価することで、立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備することができる 	前半の3年程度で実施	体系化して取り組む課題(2)処分概念オプションの実証のうち人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験)で実施