

図 29 人工バリア性能確認試験の試験箇所周辺のボーリング孔 (13-350-C08 孔) における水圧の経時変化

令和 3 年度は、地質環境特性データとして、既存のボーリング孔や深 度 140m、250m および 350m の各調査坑道を利用した地質構造・岩盤の水 理・地下水の地球化学・岩盤力学に係るデータ取得などを継続します。地 質構造に関しては、ボーリング調査や坑道掘削時の壁面観察で得られた 地質データに基づいた地層および割れ目の空間的分布に関する特徴の整 理を継続します。また、令和2年度以降の必須の課題の目的に応じて、地 質構造や水理の特徴を踏まえた水理地質構造モデル※を構築します。 岩盤 の水理に関しては、坑道掘削後の地質環境の変化を把握するため、地上か ら掘削された既存のボーリング孔での水圧観測を行います。地下水の地 球化学に関しては、既存のボーリング孔を対象に地下水の採水調査を行 うとともに、地下水の水質分布や水質の時間的な変化を把握します。また、 坑道掘削の影響については、地表や坑道に設置した高精度傾斜計※および 坑道に設置した地中変位計などを用いて、岩盤の微小な変形の観測を継 続します。さらに、地震に伴う地質環境特性の変化に関わるデータ取得の ため、上幌延観測点 (HDB-2) と 350m 調査坑道での地震観測を継続しま す。

8. 地下施設の管理

令和2年度に引き続き、試験坑道1における人工バリア解体試験施工 に関連する工事を行うとともに、施設内の機械設備や電気設備などの維 持管理(設備運転や保守点検など)を実施します(図 30)。

研究所用地およびその周辺の地下には、メタンを主成分とする可燃性ガスが存在しているため、地下坑道内の換気を十分に行うとともに、防爆仕様の機器の使用やガス濃度の監視などの防爆対策を徹底します。

地下施設からの排水および掘削土(ズリ)置場の浸出水は、排水処理設備においてホウ素および窒素などを取り除いた後、排水管路によって天塩川に放流します。





図 30 工事および維持管理の様子

9. 環境調査

地下施設からの排水などの水質調査および研究所用地周辺の環境影響 調査を実施します。

9.1 排水量および水質調査

排水処理設備から天塩川へ放流している排水量について監視を行うと ともに、排水処理前後の水質、天塩川の水質、浄化槽排水の水質について 調査を行います。また、掘削土(ズリ)置場の環境への影響を監視するた め、清水川および掘削土(ズリ)置場周辺の地下水についても水質調査を 行います(図 31)。

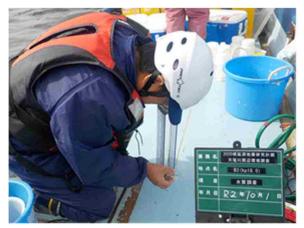




図 31 水質調査の様子

9.2 研究所用地周辺の環境影響調査

研究所用地周辺の環境影響調査として、清水川の水質および魚類を対象に調査を実施します(図 32)。





図 32 環境調査および魚類調査の様子

10. 安全確保の取り組み

調査研究に関わる作業の実施にあたっては、安全確保を最優先とした 取り組みを行います。具体的には、作業計画時における安全対策の確認を 徹底するとともに、作業者に対する安全教育や訓練の実施、定期的な安全 パトロールなどを通じて安全確保に努めます(図 33)。



図 33 安全パトロールの様子

11. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、地球科学の幅広い分野にわたり、学術研究の発展にも寄与します。このため、国内外の大学・研究機関との研究協力を積極的に行うとともに、国際交流施設などを利用して国内外の専門家と意見・情報交換を行いながら、研究を進めていきます。また、幌延深地層研究センターの施設や研究フィールドを、国内外の関連する研究機関に広く開放していきます。

経済産業省資源エネルギー庁などが進めるプロジェクトなどに協力していきます。研究開発を進めるにあたっては、当初の計画の研究対象の範囲内において、国内外の機関との協力を進めます。

地層処分や研究開発に関する国民との相互理解を促進するため、幌延 深地層研究センターのホームページ*7での情報発信、ゆめ地創館における 地下深部での研究の紹介および地下施設の見学会などによる研究施設の 公開を進めていきます(図 34)。また、令和2年度に幌延町広報誌の誌 面をお借りして研究内容を紹介する記事の連載を始めましたが、令和3年 度も継続して行います。

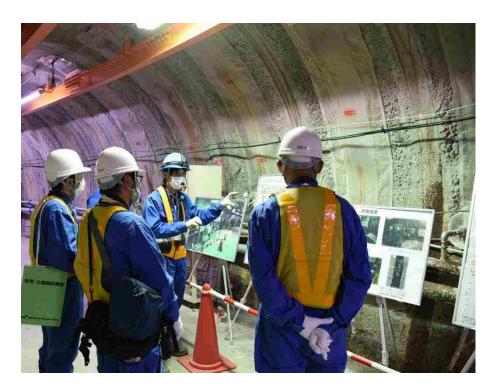


図 34 深度 350m 調査坑道での見学の様子

11.1 国内機関との研究協力

○東京大学:

微生物を指標とした堆積岩中の水みち調査手法の開発

○名古屋大学:

炭酸カルシウムのコンクリーション化による地下空洞掘削影響領域 および水みち割れ目の自己シーリングに関する研究

^{*7:} https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/

- ○京都大学、東北大学: 地下水中の微量元素と有機物を対象とした地球化学研究
- ○山口大学、地層科学研究所:立坑および水平坑道掘削における応力・水連成解析の適用性に関する研究
- ○幌延地圏環境研究所*8: 堆積岩を対象とした岩盤力学や微生物などに関する研究
- ○産業技術総合研究所:岩盤の水理特性に係る力学連成現象に関する研究海陸連続三次元地質環境モデルの妥当性の検証に向けたデータ取得手法の高度化
- ○電力中央研究所*9: 地下施設建設時の坑道掘削影響領域の調査技術に関する研究
- ○電力中央研究所、核燃料サイクル工学研究所 実地下水中のコロイドへの核種の収脱着メカニズムに関する研究 地下環境で生じる微生物腐食メカニズムに関する研究
- ○深田地質研究所、東京大学、東濃地科学センター 断層中のメタンガス高精度検出に関する共同研究
- ○株式会社 安藤・間 ボアホールジャッキ試験による岩盤の初期応力測定手法の適用性に 関する研究
- ○原子力規制庁 坑道閉鎖措置に関わる研究(原子力機構 安全研究センターが原子力 規制庁と実施する共同研究への協力)

^{*8:} 幌延地圏環境研究所は、公益財団法人北海道科学技術総合振興センターが設置した研究所であり、国の補助を受けて、幌延深地層研究センターの施設や設備を活用した地下空間利用を中心とする研究を実施しています。

^{*9:}一般財団法人電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関として設立されました。電力技術の研究として、高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する研究開発を実施しています。

上記のほか、他の大学や研究機関などとの研究協力を進めます。また、原子力や地層処分に関する人材育成のための講習やトレーニングの企画に協力します。

11.2 国外機関との研究協力

○クレイクラブ (Clay Club) *10:

様々な粘土質媒体の特性の比較、粘土の物性や挙動および地下施設 で実施される試験に関する情報交換など

○モンテリ・プロジェクト*11 (スイス):オパリナス粘土層の摩擦特性試験など

ODECOVALEX:

人工バリア性能確認試験で取得中の原位置データや同試験に関わる 室内試験データを対象とした共同解析、解析結果に関する情報交換 など

○環太平洋地域における地下研究施設(URL)を活用した国際協力: 各機関が課題とするテーマについて情報交換、解析技術の検討など

上記のほか、国外の研究機関などとの研究協力や地下施設における原位置試験などに関わる情報交換を進めます。また、韓国の研究者を対象として、地下施設で行っている調査研究の体験を目的とした実務トレーニングを進めます。国内外の研究機関や実施主体に働きかけを行い、国際連携を進めるとともに、幌延深地層研究センターの地下施設を活用して効率的に研究を進めていきます。

^{*10:} Clay Clubは、経済協力開発機構 原子力機関 (OECD/NEA) の放射性廃棄物管理委員会の下に置かれたプロジェクトのひとつです。地層処分の実施・規制・研究機関を中心とした組織であり、様々な粘土質媒体の特性の比較や粘土の物性や挙動および、地下施設で実施される試験に関する技術的かつ科学的情報の交換、さらには、サイト特性調査技術の詳細な評価を実施しています。

^{*11:} 堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際的な原位置試験プロジェクトです。スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

12. 用語集

【か行】

回収方法

地層処分において、処分坑道に放射性廃棄物を埋設した後においても、何らかの理由でその搬出が望まれた場合にそれを搬出することを回収と言います。その回収方法として、機械的方法や高水圧などを利用して埋め戻し材を除去する方法が想定されています。

化石海水

地層の堆積時に地層中に取り込まれた海水が地質学的な長い時間を かけて変質した古海水のことです。化石海水が存在する場所は、地下水 の流れが非常に遅いと考えられ、物質の移動が非常に遅く地層処分に適 した場所と考えられます。

掘削損傷領域

岩盤が掘削により損傷し、初期の性質から変化する領域のことです。 具体的には、地下空洞掘削時の周辺岩盤に生じる応力集中の影響で坑道 周辺岩盤に割れ目が発達することにより、岩盤の変形特性の変化や透水 性の増大が予想されます。また、空気の侵入により地下水の酸化還元電 位などの化学的な変化が生じることが想定されます。なお、掘削損傷領 域を含むより広い領域で坑道への地下水排水などにより地下水圧が低 下する領域のことを掘削擾乱領域といい、掘削擾乱領域では坑道埋め戻 し後、低下した地下水圧が元の状態に回復することが想定されます。掘 削損傷領域と掘削擾乱領域は、広義に掘削影響領域と表現されます。掘

減熱過程

人工バリアを構成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、温度が下がっていきます。緩衝材の外側は、地下水の浸潤にともなって飽和度が上昇しますが、緩衝材の内側は発熱の影響により飽和度は低下します。温度が下がれば、地下水が緩衝材に入りやすくなり、時間の経過とともに緩衝材の内側まで地下水が浸潤します。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、人工バリア性能確認試験 では加熱過程、減熱過程の試験を行っています。

高精度傾斜計

通常の傾斜計が測定できるのは 3,600 分の 1°程度であるのに対し、約1億分の6°の傾斜量を計測することができる非常に計測精度の高い傾斜計です。微小な地殻変動を捉えるために用います。

コロイド

大きさが 1nm~1µm の粒子が水などの液体中に浮遊し、容易に沈まない状態を指します。コロイドが地層中の放射性核種の移行に影響を及ぼすことが分かっています。

【さ行】

酸化還元電位

地下水の酸化還元状態を表します。酸化還元電位が低い地下水ほど、 含まれる酸素が少なく還元状態であることを表します。

人エバリア

ガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材からなる地層処分システムの構成要素のことで、高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、人工的に形成するものです。

親水性物質

ある条件下で樹脂に吸着しなかった物質群です。多糖類、タンパク質などを含みます。

水圧擾乱試験

注水により断層内の水圧を上昇させ断層をずらす試験のことです。試験の前後で断層の水理特性に与える影響を確認します。

水理地質構造モデル

地質構造の分布や形状に合わせて透水係数などの水理学的なデータを与えて、岩盤の水理特性を二次元的または三次元的な図や数式などを用いて表現したものです。

【た行】

堆積岩の緩衝能力

地殻変動(隆起侵食)や地震動の影響により擾乱を受けた断層や割れ 目の透水特性が一定の範囲に留まろうとする能力、あるいは時間経過と ともに元の状態に戻ろうとする能力のことです。

ダクティリティインデックス (DI)

岩石の強度・応力状態を示すために新たに定義した指標であり、この値が高いほど、岩石は見かけ上、やわらかくなります。岩盤にかかる平均有効応力(岩石に実際にかかる平均的な負荷応力)をその健岩部の引張強度(岩石の引っ張り破壊に対する強度)で除した値で定義されます。

DECOVALEX

International co-operative project for the DEvelopment of COupled models and their VALidation against EXperiments in nuclear waste isolation. (連成モデルの開発とその実験結果との検証に関する国際共同研究)の略称で、地層処分システムの性能評価において重要な課題の一つである熱ー水理ー力学ー化学連成挙動モデルの開発・確証を目的とした国際共同研究です。

トレーサー

地下水の流れの方向や流れる時間などを調べるために、地下水に目印として混ぜる染料やその他の薬品を指します。塩化ナトリウム(食塩の主原料)が代表的なトレーサーとなりますが、調べたい地下水の化学成分が塩化ナトリウムに富む場合などにはヨウ化カリウムなどがあり、多種のトレーサーがあります。幌延深地層研究計画では放射性トレーサーを利用したトレーサー試験を行うことはありません。

【な行】

熱一水理一力学一化学連成現象

地下環境に設置された廃棄体の周辺の緩衝材や岩盤で、廃棄体からの熱、地下水の流れ、緩衝材が膨潤することによって発生する応力や岩盤に作用する応力、地下水と鉱物の反応などによる化学的な変化などが複合的に生じる現象です。

【は行】

暴露試験

材料及び製品を特定の環境に暴露し、その環境における材料や製品の化学的性質・物理的性質及び性能の変化を調査する試験です。

腐植物質

ある条件下で樹脂に吸着した物質のうち、アルカリ性溶液で溶出される物質群です。特定の化学構造を持ちません。

ベントナイト

モンモリロナイトを主成分とする粘土の一種。放射性廃棄物の地層処分では、緩衝材や処分坑道の埋め戻し材の原料として用いられ、ベントナイトの膨潤により緩衝材の透水性が低下し、放射性核種が緩衝材に吸着され、移行を抑制する効果があります。

HotBENT

High Temperature effects on BENTonite (ベントナイトへの高温の影響) の略称で、150℃を超える高温がベントナイトの緩衝材としての機能に与える影響を評価するための原位置人工バリア試験です。スイスのグリムゼル試験場で実施されています。

参考資料

【令和2年度以降の研究工程】(1/8)

区分	目的・背景・必要性・ 意義	課題	R 2以降の 課題	R 2以降の実施 内容	R 3の実施内容					研究期間	究期間						
								前半				後	¥				
1.1 人工 バリ ア性	・実際の地質環境下における処分 孔竪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	カー化学連成現象(ガラス固化 体設置以降の加熱時(③)から浸	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				前半の	5年程度で	実施	オン 置・	プションの	取り組む課 実証のうち などの方法	人工バリス	アの定			
ア性 能確 認試	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 エ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	(④)を模擬した現象)の評価手	浸潤時・減熱時を全て模擬した データに基づく 熱・水・応力・			R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8 R9	R10				
験	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	解析手法)の確	化学連成現象の モデルの高度化、 及び浸潤時の実	圧力や量を増加させ緩 衝材に地下水を浸潤さ	④-1 人工バリア性能確認試験のヒーターの電源をOFFにし、発熱による影響を無くした条件での試験に移行し、デー		問・減熱 開性確認	時のテータ!	取得・連成	連成モデル 体系化の中で、情報 た場合に追加で試験							
	関する基盤情報を整備する ・ ごれらをとおして、廃棄体理 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	報を整備する 際の飽和度など セた場合のテ とおして、廃棄体埋	せた場合のデータ(浸 潤時・滅熱時)を取得、 連成モデルの適用性確 認	夕を分析・評価	緩衝材中の低温度では ・ では ・ では					〇緩個 〇解析 〇熱 -	度までに得 動材で生じる 所用パラメ- - 水理ーカラ 適用性の確	る連成現象 -タの整理 学連成解析	の把握				
					④-1 連成解析については、 DECOVALEXで令和2年度に設定した解]ジェクト ^T E、改良・R	での解析コ	ード間の			報の不足等 、解析を実					
					DECOVALEX 5 707/274度に設定しの。 析条件を基度よ内側解析を行い、解析コート間の比較検証を行い、評価モデルの検 証を実施。気相を考慮した熱ーが埋-力 学連成挙動に関する室内試験については、 令和2年度に設定した条件下での試験を 開始	10+21/200	L GALR II	PJ/SZ 10		-MICE		THE PART OF THE PA	<i>,,</i> ,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,,				
						解析モデルや解析条件を設定				〇各国	の解析コ 通じた解析	られる成界 - ド間の比 コードの有	較検証				
				作業および緩衝材の飽	@-2 試験施工では、解体調査を実施し、 緩衝材、模擬オーバーパック、埋め戻し 材、コンクリート、岩盤、設置したセン サー等のサンプリング手法や各種材料の	④-2 人工 認	バリアの角	解体作業・経	緩衝材の飽	和度確		の中で、情報に追加で試験					
					境界面を一体化した状態でサンプリング する手法の適用性を確認	試験施工 では、埋 め戻し材、 プラグ、 試験孔、 人工バリ アを設置					○人. 及で	度までに得 エバリアの び施工手順 動材の飽和原	解体作業の ・方法の決	D方針 R定			

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

■ 個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2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」)に統合して実施する。

【令和2年度以降の研究工程】(2/8)

区分		課題		R 2 以降の実施	R 3の実施内容	研	开究期間					
	意義		課題	内容		前半	後半					
物質	健岩部)における拡散および割れ目 (掘削損傷領域などの人為的な割れ	部)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		確立した試験手法を 用いて掘削損傷領域で 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		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エバリアの定 置・品質確認などの方法論に関する実証 試験)で実施					
加利	要な移行経路や形態として考えられる	②割れ目を対象とした		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		R2 R3 R4 R5	R6 R7 R8 R9 R10					
	・有機物・微生物・コロイド等が、 物質の移行に影響を及ぼすことが考 えられる ・したがって、割れ目を有する堆積	移動速度や岩盤への くっつきやすさ等)の	物質移行の評価手	移行評価手法の高度化 するため以下を実施	④ 掘削損傷領域を対象としたトレーザー試験の評価、試験箇所の 水理・物質移行に関する情報取得 を継続	掘削損傷領域の物質移行の評価手法の確	体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施					
	岩での物質移行経路や形態と物質移行に与える要因 (有機物・微生物・ コロイド等) を総合的に評価することが必要 ・そのために、幌延の泥岩を事例として、岩盤基質部(一健岩部) お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 ・世界的にも事例が少ない泥岩中の	③ 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 ④ 掘削損傷御域などの 人為的な割れ目を対象 とした物質移行特性 (物質の移動速度やき 盤へのくっつきやすさ		④ 確立したトレーサー 試験手法を用いた掘削 損傷額域での物質移行 に関するデータ取得		原位置試 験データ (非収着 性トレー サー)を 取得	令和6年度までに得られる成果 ○原位置試験データ(非収着性/収着性トレーサー)の取得 ○EDZにおけるモデル化/解析評 価手法の提示					
	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 ・あわせて、有機物・微生物・コロイド等が、物質の移行に及ぼす影響 を把握することが重要	⑤ 有機物・微生物・コロイド等が、物質の移	コロイドの影響を 考慮した物質移行 モデル化手法の高	ロイドの影響を考慮し	(5) 微生物・有機物・コロイドが 核種移行に及ぼす影響の現象理解 の継続、予備的な原位置試験に着 手	⑤ 有機物、微生物、コロイドの影響を考慮 物質移行モデル化手法の高度化	した 体系化の中で、情報の不足等があった 場合に追加で試験、解析を実施					
		在この物具や打容はの雑念的な評価手法の雑立				室内試験 データ (地下水 中の付機 サのサイ ズ分布 等)を取 得	令和6年度までに得られる成果 ○室内試験データの拡充 ○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の提示					
			堆積岩での物質移 行特性の総合的な	岩を対象とした掘削損 傷領域を含むブロック スケール(数m~100	⑥ 稚内層深部のブロックスケールを対象とした物質移行試験を実施	⑥ ブロックスケール(数m~100規模)にある遅延性能評価手法の整備	らけ 体系化の中で、情報の不足等があった場合に追加で試験、解析を実施					
				規模)における遅延性 能評価手法の整備		原位置試 験の準備 作業とし て、物質 移行試験 装置を設 置	令和6年度までに得られる成果 ○原位置試験データ(非収着性/収着性トレーサー)の取得 ○幌延を事例としたブロックス ケールの評価手法の提示					

※1本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。



個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2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」)に統合して実施する。

【令和2年度以降の研究工程】(3/8)

区分	目的・背景・必要性・	課題	R2以降の	R 2 以降の実施	R3の実施内容				1	研究期間					
	意義		課題	内容				前半				後	半		
2.1 人工バ リアの 定置・	置・回収、処分場の閉鎖を含む) (廃棄体の搬送定 以技術などの技 に関わる人工パリアの帰送 ・ 定置 「回収、処分場の 方式などの工学技術の実現性、人 エバリアの回収技術の実証を目的 として、税延の地下施経を事例に、 定置方式などの 原位置試験を実施し、人工パリア の同収技術を実証する 「上学技術の実現性、の品質の違いとの品質の違いな術の実証 (② 個別の要素技術の実証試験 の実証試験 (② 個別の要素技術の実証試験 (① 搬送定置 - [(廃棄体の搬送定 置・回収、処分場の 閉鎖を含む) に関わ る人エバリアの搬	収技術などの技 術オプションの 実証、閉鎖技術	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		Ē	前半の5年	年程度で実	能	オ 置	プションの	D実証のう などの方	課題((2)処ち人エバリ 法論に関す	アの定	
に 品質な の方法 論に関		法による埋め戻し材の品	① 地下環境におけるコンクリートの劣化に関する試験、分析を継続			R5	R6	R7 R8 R9 体系化の中で、情報の不足等かた場合に追加で試験、解析を実							
語に する実 証試験 2.1.1 操業・ 回収技		の実証試験 ③ 埋め戻し材、ブ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	ブ 野亜 (緩衝材や埋め戻 計手 材の状態に応じた除去 及び 締の技術ブブションの 確立 理、回収容易性を考慮 た概念オプション提示 回収維持の影響に関す 品質評価手法の提示)	①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)		地下環境 でのコト の劣化に 関 験 を開始					〇実際 材の 〇坑道	の地下環境 経年変化に	られる成果 きにおける。 における。 になるデータ 後の地質球 はの把握	を 保部 タ取得	
術等の 技術オ プショ					② 閉鎖システム(埋め戻し材や プラグなど)に関する基盤情報の 整備を目的とした解析検討、室内	② 閉鎖技術	(埋め戻	し方法 : こ	プラグ等)	の実証			情報の不足等 は験、解析で		
ンの実 証、閉 鎖技術 の実証					試験および工学規模試験の継続	閉テす情備と析室工試施鎖ムる報の目た計試規をした対対規をした対対規をした対対規をといいます。					〇シー 価に 〇緩衝 事象 〇止水 術の OEDZ 〇坑道	リングシス 関する考え 材の膨潤等 の整理 プラグの旅 抽出 調査技術の 内からのオ	られる成果 で	性能評 で与える 3重要技 を化 しに対す	
				②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((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 試験とあわせて実施)		③ 人工パリン 施工方法の 自然湧水 環境での 緩衝状況 を確認					た場合 令和6年 〇緩種 オン 〇坑道	に追加で記 度までに得 があの施工が プションの!	情報の不足領域、解析を 対験、解析を 場合れる成別 方法に関す 実証 する技術オ	を実施る技術	

※1本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2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」)に統合して実施する。

【令和2年度以降の研究工程】(4/8)

区分	目的・背景・必要性・	課題	R 2 以降の	R 2以降の実施	R3の実施内容					研究期間						
	意義 		課題	内容				前半				後	半			
人工バーは	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	置 置・回収、処分場 通じた、坑道ス てきが 人 の閉鎖を含む)に ケール〜ピットス に適が 的 関わる人工バリア ケールでの調査・ 方法	まえて、これまで実証し てきた要素技術を体系的 に適用し、廃棄体の設置				-			他の研究 て取り組む で実施	課題を取り 課題として					
定置・温質確	エ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	関わる人工バリア の搬送・定置方式 などの工学技術の	ケールでの調査・ 設計・評価技術の 体系化	方法(間隔など)を確認		R2	R3	R4	R5	① 4-3 多及出力② 4-4 廃	R7 道スケール ・設計・評 ・設計・評 ・設計・評 を次が 体系化 をなびい侵入 現象 では、 では、 では、 では、 では、 では、 では、 では、 では、 では、	価技術の存 が人工バリンプ を保技体の を保技体手法が の判断や間間	本系化 アの設計評 勇水抑制対 整備、緩 を 及び抑制対	価技術 策技術 材流 策技術		

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2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」)に統合して実施する。

【令和2年度以降の研究工程】(5/8)

区分	目的・背景・必要性・	課題	R 2以降の	R 2 以降の実施	R3の実施内容					研究期間	間						
	意義		課題	内容				前半				後	半				
	人工パリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オブ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ブションを提供する	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	的条件下での人工 バリア性能確認試 験による緩衝材が	になった状態を想定し た解析手法を開発する			前半の5	年程度で	実施	オフ 置	本系化してI プションの! ・品質確認 検)で実施	実証のうち	人工バリス	アの定			
の限界的条件	実際の処分事業では、オーバー パックが100℃以下になってから	は快割	100℃超になった 状態を想定した解 析手法の開発		0 . 400°C+ +T = + JP#8/ + JL 7 TB	R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10			
下での人工バ	処分することが基本であるが、想定外の要因によって100℃を超えた状態になることを想定して、人工バリスススニー・のの合発度なお	って100℃を超え 上)などの限界的条件下 象等 とを想定して、人 での人工バリア性能確 デー		データ取得や解析手法の高度化の計				リア性能確	認試験			吸不足等があった 解析を実施					
ヘリ能試験	エバリアシステムの安全裕度を検証する			際に二アフィールド (人工パリアとその周 辺岩館の領域)におい て発生する現象の整理	画の策定 ①-2 100℃を超えた状態での人工 バリアの基本特性やニアフィールド での熱・水・応力・化学に係る連成現 象に関する試験・解析および>ナリ オ検討事例の調査、かび国の処分観 念や設計オプションを想定したシナ リオの整理 ①-3 海外の原位置試験に関する情 報取得の継続	おい シナリオの検討に 着手(水 分移動、 物質移動 特性)	代	現象の整	理		〇高温 的条 認試 体系化の 場合に追 令和6年期 〇100 フィイ 象の 体系化の 場合に追	度(100℃) 件下での) 快下での) 除データの 中で、情報 中で、情報 をまでに得い とピール整理 中で、情報 を発理 中で、情報 を表すではいます。	の不足等実施の不足等実施の不足等実施の不足等実施の不足等実施の不足等実施の不足等実施の不足等実施の不足等実施の不足等実施のではおける。	RRR 性能確 があった 他 RP する現			

※1本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2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」)に統合して実施する。

【令和2年度以降の研究工程】(6/8)

区分	目的・背景・必要性・	課題		R 2 以降の実施	R 3の実施内容				7	研究期間	开究期間						
	忌 莪		課題	内谷				前半				後	*				
3.水乱なよ衝の証量 3.地動層水与優験に緩力 定 1.殻がの性え	意義 ・岩盤中には大小様々な断層が存在するが、小規模なもの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 地震や障量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。断層の透水性は断層の変形様式に大きく依存する。脈性的な変形の場合は透水性が上昇しにくい。生しる変形が肺性的外球性的が以来がある。本研究では、地殻変動に対する。本研究では、地殻変動に対する。本研究では、地殻変動に対するとから堆積岩に最近を置き、版力などに依様な支配する岩石の強度、成力などに依様式を支配する岩石の強度、成力などに依様式を支配する岩石の強度、成力などに依頼はな支配する岩石の強度、成力などの実施が関係を調整したから、地震者に関係したから、地震を制度を表したが、	①地般変動に対する堆積岩の緩衝能力を表現する/「ラメータ(指標)の提案 ②水圧得乱試験による	課題 ② 地殻変動が地 層の透水性に与	内容 断層の幅が数10cm の断層における地震動 や坑道堀削に伴う、割 和目における地下水の 流れの変化に関い にはいる地下水の 流れの変化に関い を表した。 は最近の接衝能力、を実施する ②-1 地殻変動が地層の 透水性に与える影響の 地握(ボーリング孔を	②-1~3 より大型の断層を対象とした水圧擾乱試験結果の解析 ②-1~3 稚内層中の断層/割れ目の水理的不連結性に関する検討の継続 ②-1~3 既存の室内試験結果や水圧擾乱試験結果を用いた既存のDIモデルの再検証	握 既往の水 圧擾乱試 験で水圧 データを 解析 ②-2 DIを	R3 変動が地層	前半 5年程度で記 R4 骨の透水性() *性評価の 新手法の整何	実施 R5 こ与える影	オ 置 試 R6 響の把	体系化しての プ・品質確認 験)で実施 R7 体系化の可 場合に追加 令和6年月 のボー 試験 体系化の追 場合に追加 を発合に追加 を発音に を発音に を発音に を発音に を発音に を発音に を発音に を発音に	取り組むきなどの方が R8 中で、情味、 度までに孔が 中で、 情味、 をままでに孔が 中で、 で試験、	果題((2)処 5人工パリン 法論に関する R9 の不足等か 解析を実施 られる成果 を用いた水原	アの定 る実証 R10 があった 型 工 提 乱			
				②-3 水圧擾乱試験によ る断層の活動性評価手 法の整備		②-3 水圧 の整		こよる断層	の活動性評	価手法			報の不足等				
						より大型 の断層とし た水圧擾 乱試験を 実施					〇水圧		られる成果 こよる断層の 整備				

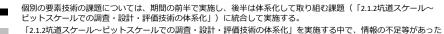
※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。

個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2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」)に統合して実施する。

【令和2年度以降の研究工程】(7/8)

区分	目的・背景・必要性・ 意義	課題	R 2以降の	R 2 以降の実施 内容	R 3の実施内容				į	研究期間	間						
	忌 莪		課題	内容				前半				後	*				
乱試験	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 (こ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	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	③④ 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	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ため 以下を実施			前半の	5年程度で第	€施	オ	実証のうち などの方法	○課題((2)処分概念 うち人エバリアの定 5法論に関する実証					
は緩力の証量化	からの画面により、化口場がの高 次元分布を評価する既存技術の高 度化を図る	④ 三次元分布を調査・解析・評価する 手法の確立		に遅い領域(化石海水領	③, ④-1 化石海水領域の三次元分 布の推定結果の確からしさを確認 するためのボーリング調査		R3 水の流れが 査・評価技	R4 非常に遅い 術の検証	R5 領域	R6		R8 中で、情報 加で試験、					
3.1.2 地下水 の流れ が非常 に遅い						化石海水 領域を把 握するた めの物理 探査を実 施					〇化石	度までに得 海水領域 <i>の</i> 経備・高度(D調査・評				
領域を 調査・ 評価す る技術・					④・1 物理探査データも含めた、調査の展開と評価結果の関係の分析	調査	・評価手法	で元分布に係 法の検証	系る		体系化の中で、情報の不足等があった 場合に追加で試験、解析を実施						
の高度化						化石海水 分布の把握にボーリングのでである。 を検討を検討					〇化石	度までに得 海水の三次 評価技術の	欠元分布に	係る調			
				km×10数km) を対象と	④-2 調査データと水理解析結果の整合・不整合に関する要因の分析 の継続ならびに不整合箇所を低減 するための改良	④-2 広 ⁵ 移	域スケール 動評価手法	を対象とし の検証	た水理・特	勿質		中で、情報加で試験、					
		手法の検証(地下水端 時間) 評価のための水 解析、塩濃度分布評価 ための水理・物質移動的 析)				広ケ地動度なえを スル水深気が影理 なる整理					〇広垣	度までに得 スケールを 物質移動፤	を対象とし	た水			

※1本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。



場合に追加で試験や解析を実施する。

【令和2年度以降の研究工程】(8/8)

区分	目的・背景・必要性・ 意義	課題	R 2以降の 課題	R 2 以降の実施 内容	R 3の実施内容					研究期間						
	NET \$3%		p.不及5	ritt				前半		後半						
野川し	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(自己治療能力)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	坑道の埋め戻し材による掘削損傷領域(EDZ)のひび割れの自己治癒能力を評価	人工バリアの緩衝 材や抗消性め戻し	に対する自己治癒能力を実証するため以下の		前半の)3年程度で	実施		オフ 置・	゚ションの゚	取り組む課 実証のうち などの方法	人工バリス	アの定		
バリ	7 見を整備する	② 人工バリアの自己治癒能力(ひび割れの修復)を	冶悪能力の夫証			R2	R3	R4	R5	R6	R7	R8	R9	R10		
響・動		実証			予測する既存モデルの再検証	②-1 DIを用いたEDZの透水性 する既存モデルの再検証						中で、情報の不足等があった ロで試験、解析を実施				
						試料観察 に基づく EDZの割 れ目開口 状況を定 量的に把 握			ODIを	度までに得 用いたED: る既存モラ	Zの透水性	を予				
				√坑道埋め戻し後の EDZの透水性を予測 するモデルの構築	②坑道埋め戻し後のEDZの透水性を推定するモデルの構築		望め戻しん 別するモラ					で、情報ので試験、解		あった		
						試料観察 に基Zの割 れ目開を 記 り に 対 別 に 関 を 記 関 を 記 理 関 を 記 理 関 定 た 門 記 た に た た に た た に た た に た た に た た に た に	`		〇坑道	し 复までに得 埋め戻し後 測するモラ	のEDZのi					

※1 本資料は現段階で想定するスケジュールであり、年度ごとに得られた研究成果を評価し見直していく。 ※2 研究の進捗管理として、各年度の成果を各年度の欄に追記する。



個別の要素技術の課題については、期間の前半で実施し、後半は体系化して取り組む課題(「2.1.2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」)に統合して実施する。

参考文献

- (1) Ishii, E., 2018, Assessment of hydraulic connectivity of fractures in mudstones by single-borehole investigations, Water Resources Research, vol.54, pp.3335-3356.
- (2) 雜賀敦, 2020, 幌延深地層研究計画 平成 30 年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2019-018, 122p.
- (3) 中山雅, 2021, 幌延深地層研究計画 令和元年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2020-042, 116p.
- (4) Ozaki, Y., Ishii, E., Sugawara, K., 2020, Poroelastic response of fractured mudstone in the Horonobe URL: A possible indicator of fracture hydraulic disconnectivity, Proceedings of ISRM Specialized Conference CouFrac2020, GS11-04, pp.1-4.
- (5) Ishii, E., 2020, A conventional straddle-sliding-packer system as a borehole extensometer: Monitoring shear displacement of a fault during an injection test, Engineering Geology, vol.275, 105748.
- (6) Ohno, H., Takeda, M., Ishii, E., 2020, Does fault activation affect the hydraulic disconnectivity of faults in mudstone? Proceedings of ISRM Specialized Conference CouFrac2020, GS11-03, pp.1-4.
- (7) Ishii, E., 2015, Predictions of the highest potential transmissivity of fractures in fault zones from rock rheology: Preliminary results, Journal of Geophysical Research: Solid Earth, vol.120, pp.2220-2241.