

環境動態解析学野外実験II

「地下施設“仮想”見学を通して学ぶ 地層処分技術に関する研究開発の概要」

2022年2月25日 1限目

幌延深地層研究センター 深地層研究部
堆積岩地質環境研究グループ

宮川和也



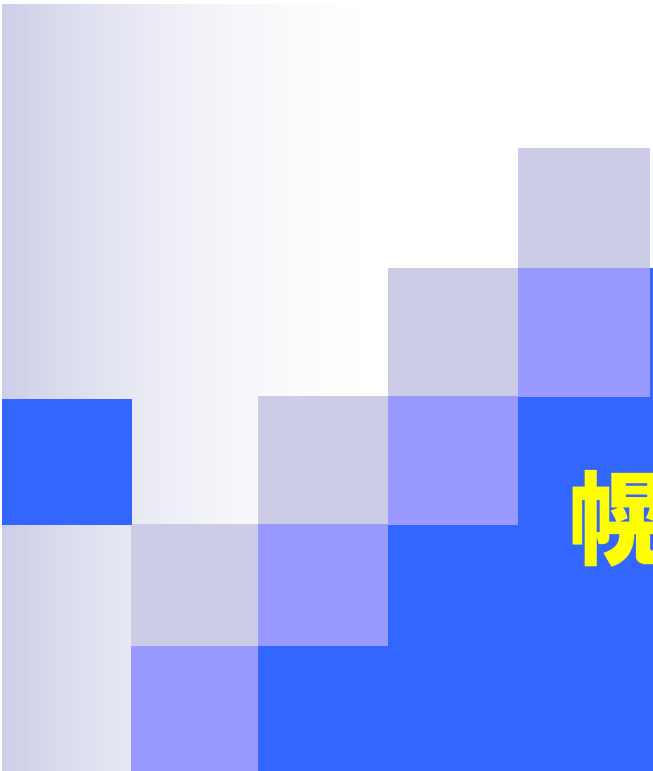
本日の内容

1限目 幌延深地層研究計画の概要

2限目 地下施設“仮想”見学

3限目 個別の研究事例紹介

地層処分について、各国のエネルギー情勢や地政学、時事、放射性廃棄物全般、各国の取り組みを踏まえた詳細な解説は、岩月講師による環境動態解析学野外実験Ⅱ(2020)および竹内講師による原子力災害環境影響評価論Ⅰ(2020)のオンライン教材をご活用ください。



幌延深地層研究計画の概要

**国立研究開発法人日本原子力研究開発機構
核燃料・バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター**

令和4年2月25日(金)

1. 研究の概要

2. 研究成果

①第1段階の調査研究成果

②第2段階の調査研究成果

③第3段階の調査研究成果

④令和2年度以降の幌延深地層研究計画

3. 情報発信と理解醸成に向けた取り組み

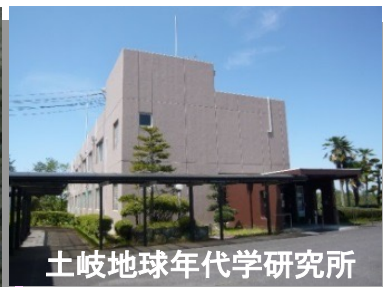
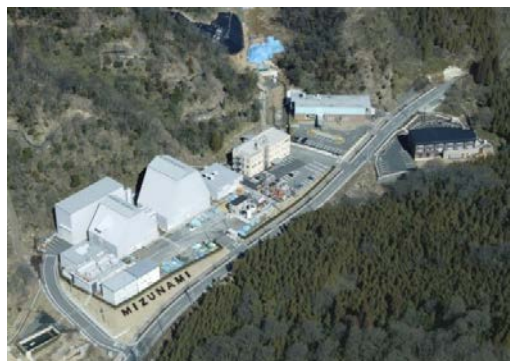
参考資料

地層処分技術に関する研究開発拠点



核燃料・バックエンド研究開発部門
東濃地科学センター

●旧瑞浪超深地層研究所
(結晶質岩)



土岐地球年代学研究所

核燃料・バックエンド研究開発部門
幌延深地層研究センター

●幌延深地層研究センター
(堆積岩)



深地層の研究施設

核燃料・バックエンド研究開発部門
核燃料サイクル工学研究所 (茨城県東海村)



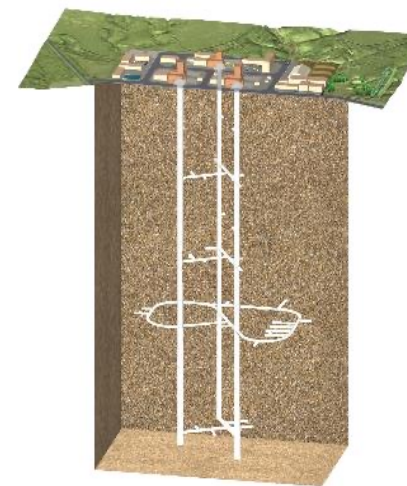
エントリー



クオリティ



雰囲気制御
グローブボックス



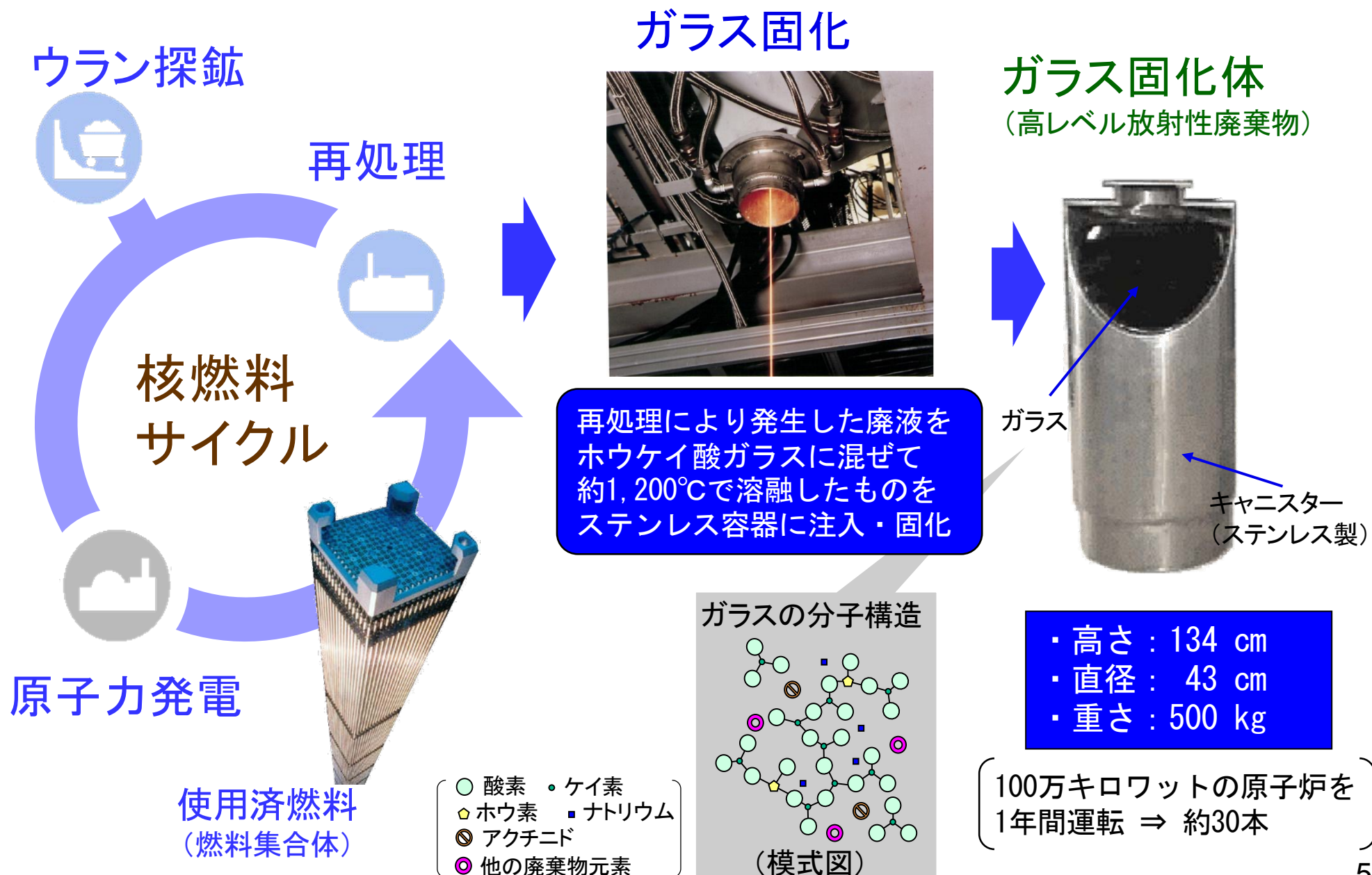
【地下施設イメージ図】 令和3年8月更新
イメージ図は今後の調査研究により
見直すことがあります。

※ 旧瑞浪超深地層研究所では、
令和4年1月に、地下施設の
埋め戻しが完了しました。

地層処分基盤研究施設
(コールド施設)

地層処分放射化学研究施設
(ホット施設)

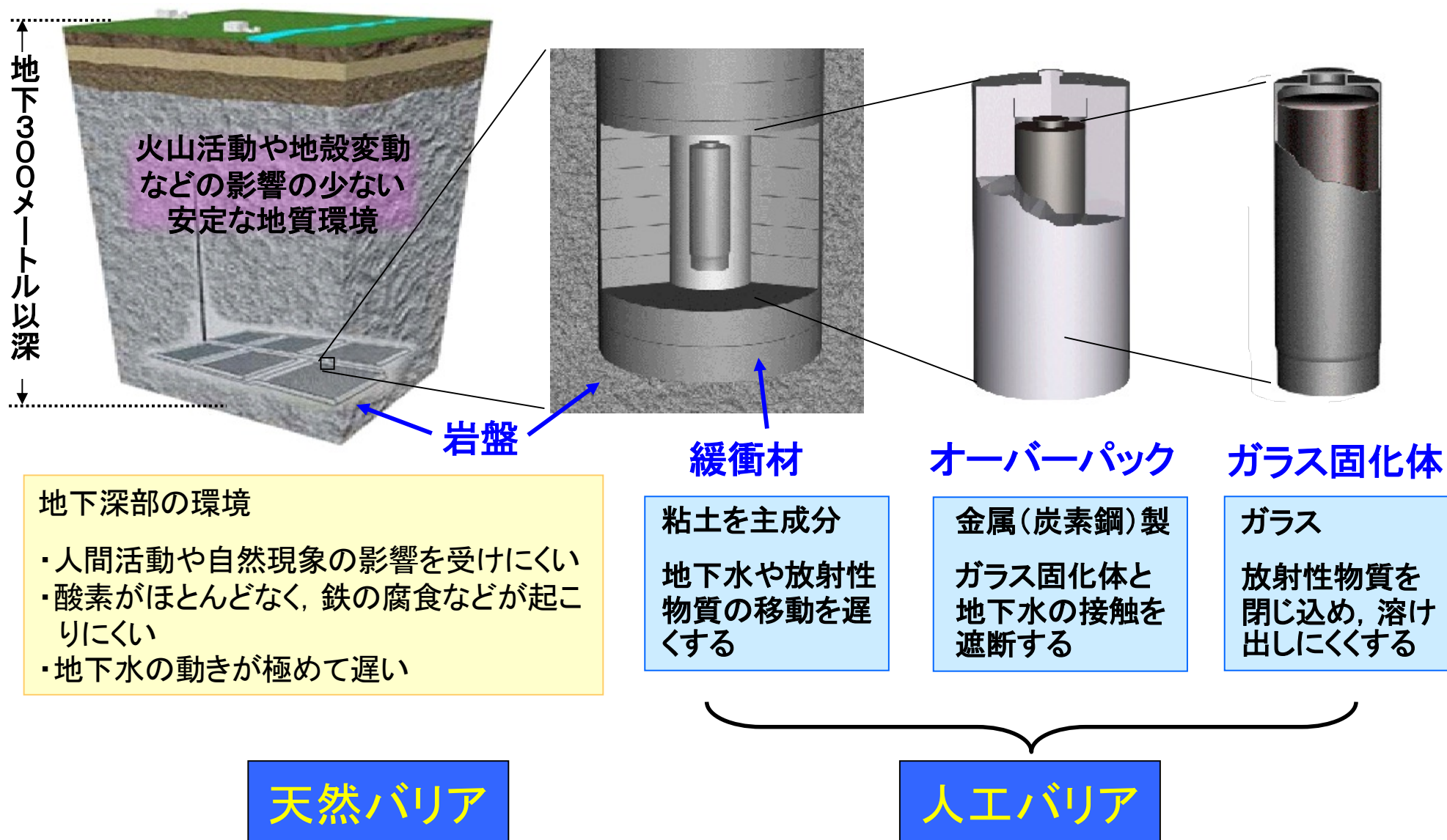
高レベル放射性廃棄物とは？



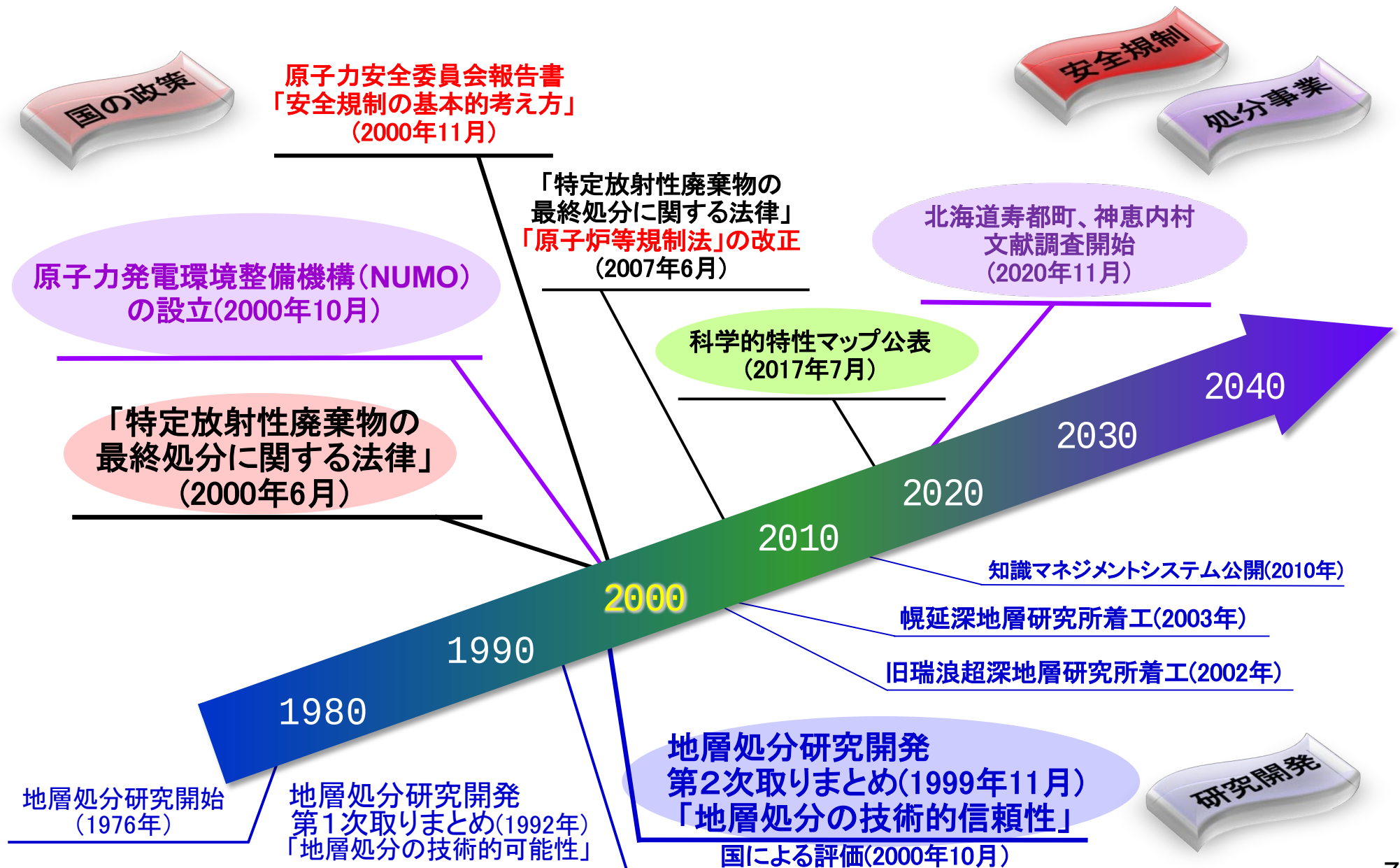
地層処分システムとは？



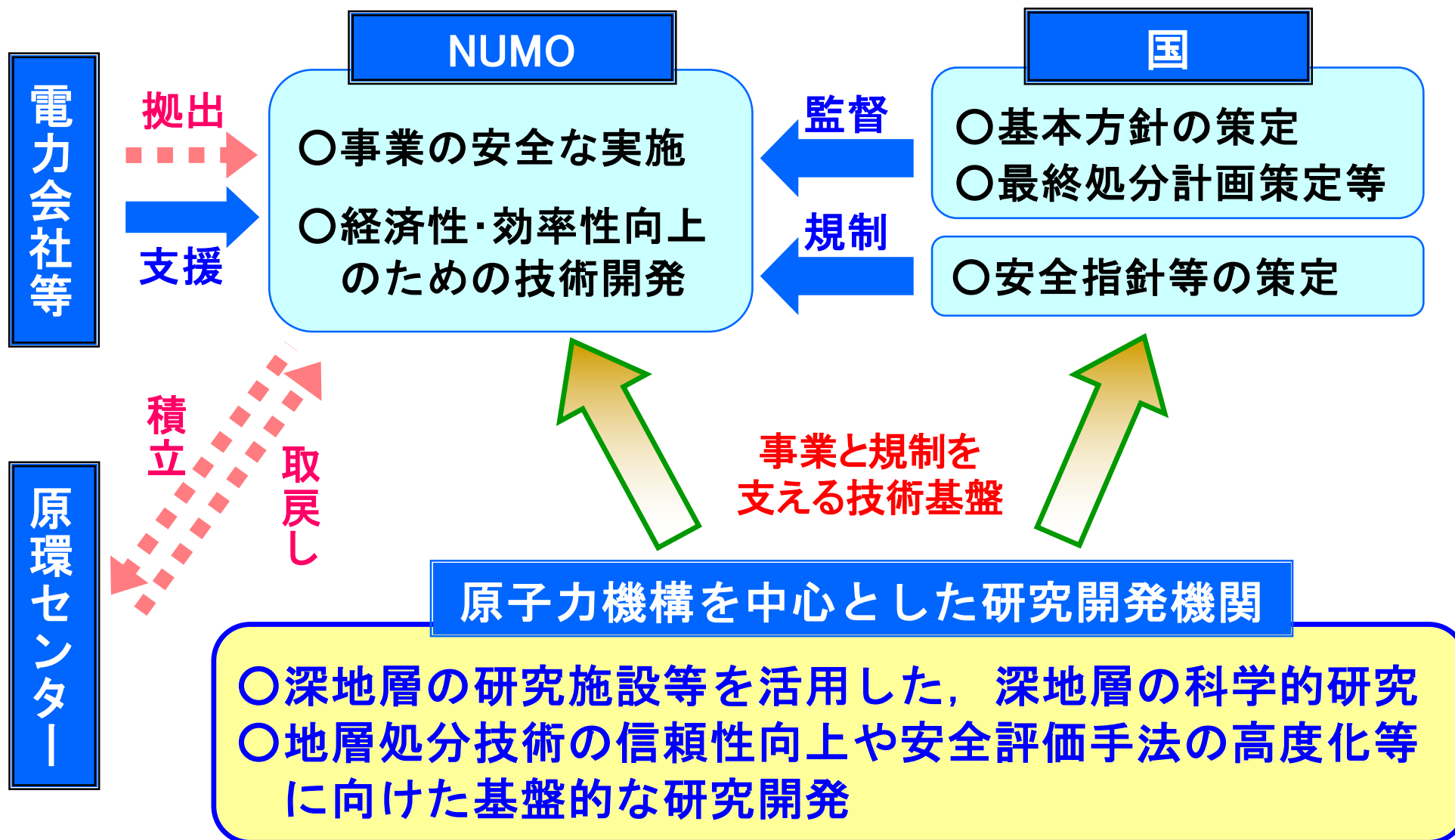
天然の岩盤と人工物を組み合わせた多重バリアシステム



わが国の地層処分計画の進展

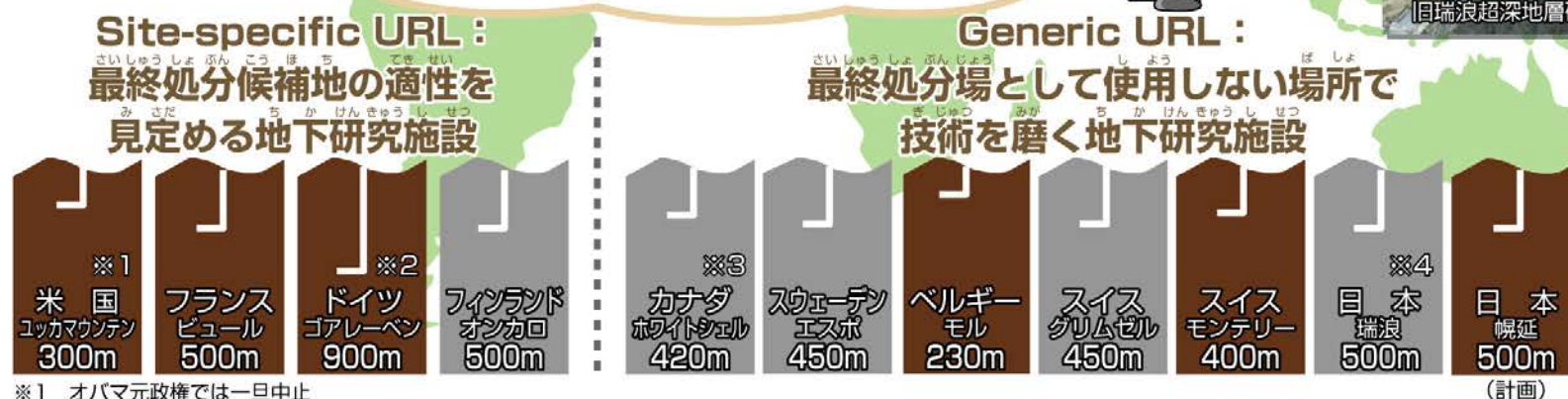


わが国の地層処分に係る体制



(原子力政策大綱等に基づく)

世界の地下研究施設



- ※1 オバマ元政権では一旦中止
 ※2 2013年に計画は白紙。2020年にサイト選定手続きから除外され、今後閉鎖予定
 ※3 2010年に閉鎖
 ※4 2022年1月に地下施設の埋め戻しが完了

● 出典: The Role of Underground Laboratories in Nuclear Waste Disposal Programmes, OECD/NEA, 2001 (一部修正加筆)

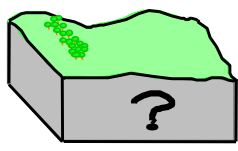
なぜ、深地層の研究施設が必要か？



- ※ 地層処分は長期にわたる初めての事業であり，具体的な調査の方法論を段階的に整備していくことが必要
- ※ 処分候補地の調査では，確立された技術を用いて信頼性の高いデータを取得することが不可欠
- ⇒ 調査・評価技術を事前に検証するための深地層の研究施設が必要

深地層の研究施設

目的：調査するための技術の開発・確立

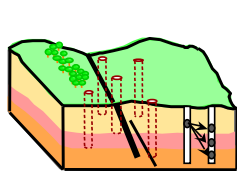
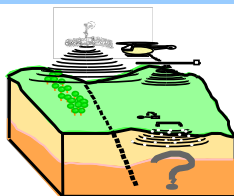


<代表的な地質環境>

- ・堆積岩(幌延)
- ・結晶質岩(瑞浪)

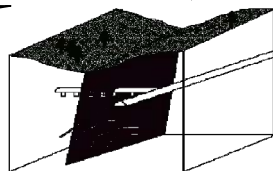
調査—予測—検証による技術の確立

調査による
地下の予測



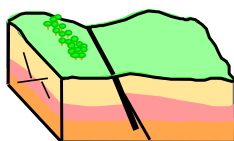
追加調査による予測結果の検証

長期性能の確認



地質環境の理解

調査技術の体系化
適用性確認

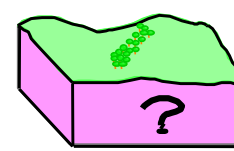


試行錯誤ができる

検証された技術
長期性能の保証

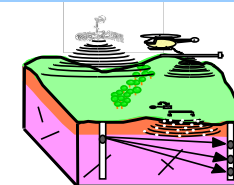
処分場候補地

目的：処分場としての適性を評価するための調査



<応募された場所>

確立された技術による適性の評価

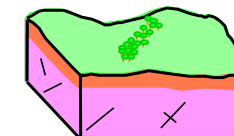


検証された調査技術による地下の把握

失敗は許されない

地質環境の理解

処分地としての適性評価
処分場の設計・安全評価



日本に2つのジェネリック地下研究施設(Generic URL)



① 地層処分技術を実際の地質環境に適用して確認

② わが国固有の地質環境の理解

③ 深地層を体験・理解する場

※ 旧瑞浪超深地層研究所では、令和4年1月に、地下施設の埋め戻しが完了しました。

結晶質岩

堆積岩

旧瑞浪超深地層研究所
(岐阜県瑞浪市)

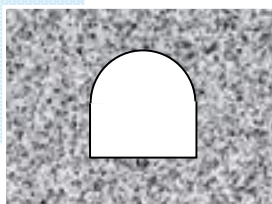
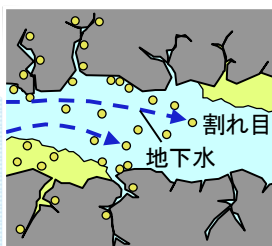
幌延深地層研究センター
(北海道幌延町)



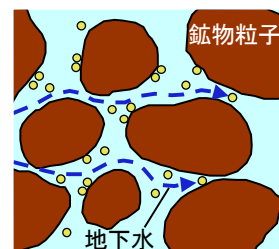
花崗岩
(結晶質岩)

淡水系

硬 岩



【地下施設イメージ図】



泥 岩
(堆積岩)

塩水系

軟 岩



研究内容



【地層科学研究】

(深地層の科学的研究)

「地下がどうなっているのか」、「なぜそんな仕組みになっているのか」そして「将来どうなるのか」を明らかにする研究。地下水や岩盤などの性質を調べることを通じ、地下深部の地質環境を把握するための技術開発を行い、地層処分研究開発の基盤とする。

物理探査



地上からのボーリング調査



孔間透水試験



坑道掘削影響試験



地下水の採水



岩盤力学試験



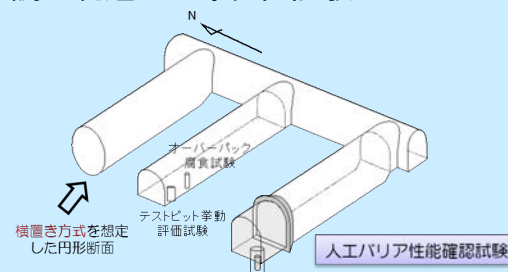
【地層処分研究開発】

実際に地下深部で、地層処分システムの設計・施工が可能かどうかを確認。工学的技術とともに、研究の成果をその都度モデルに反映させて、安全性を評価する技術の信頼性を高める。

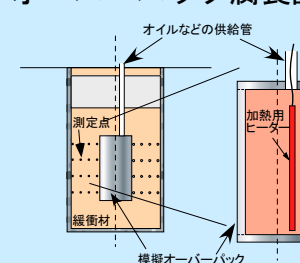
低アルカリ性コンクリート材料の試験



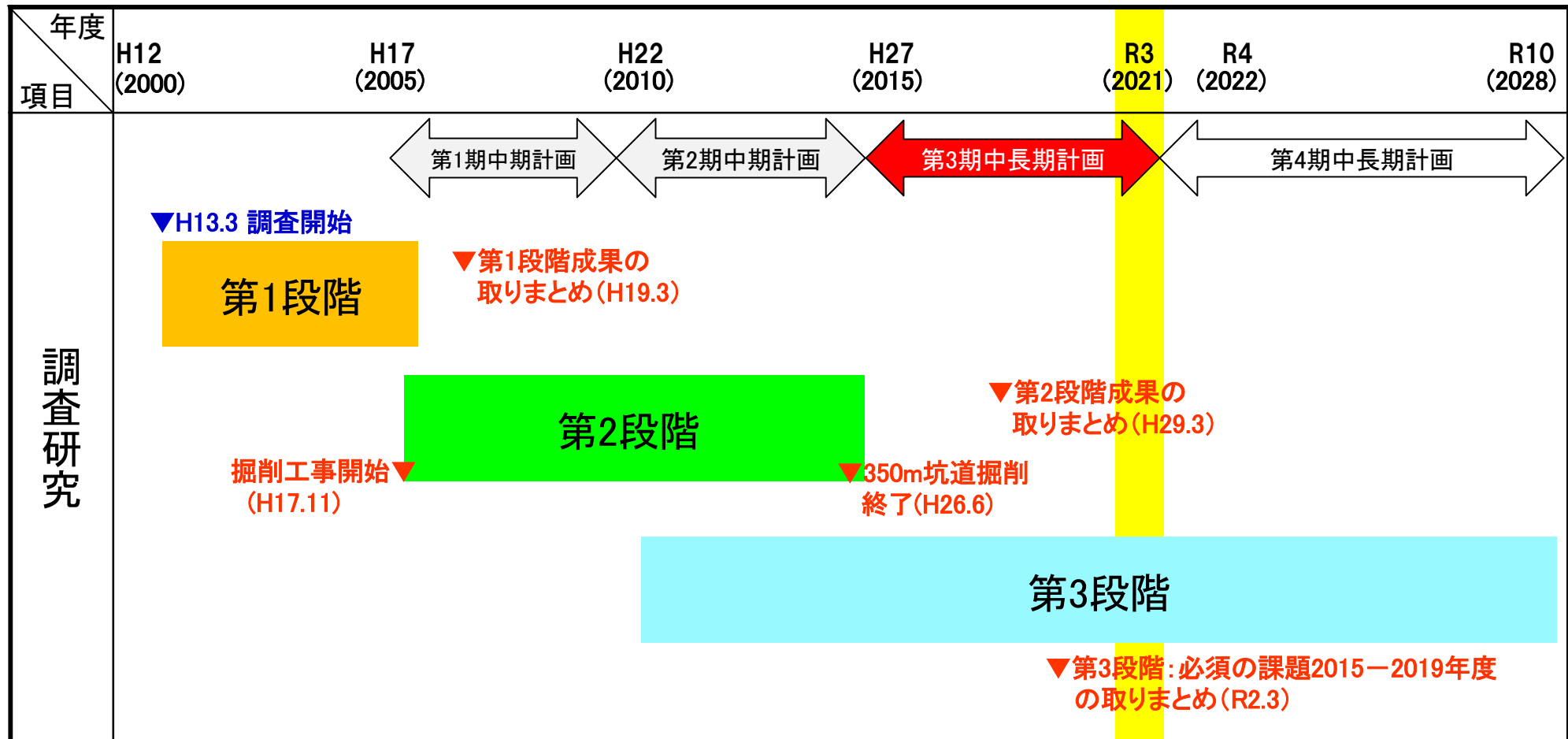
調査坑道での原位置試験イメージ



オーバーバック腐食試験



幌延深地層研究計画スケジュール



第1段階： 地上からの調査研究段階

第2段階： 坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階

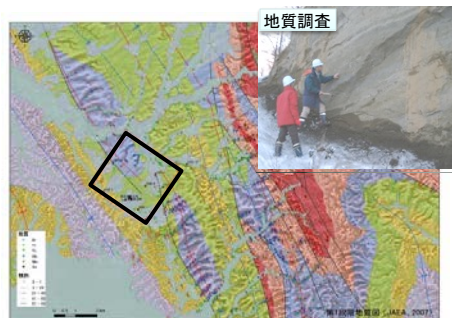
第3段階： 地下施設での調査研究段階

※ 令和2年1月に「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」を策定し、令和2年度以降、第3期及び第4期中長期計画期間の9年間、研究に取り組んでいくこととしています。

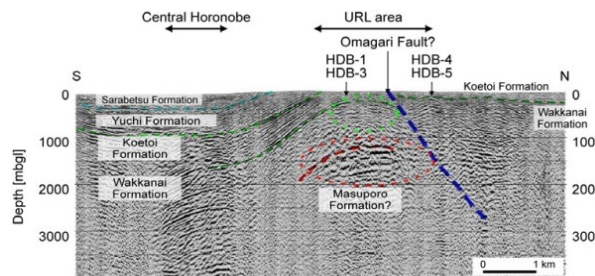
第1段階の調査研究の成果の例



地表における地質学的調査



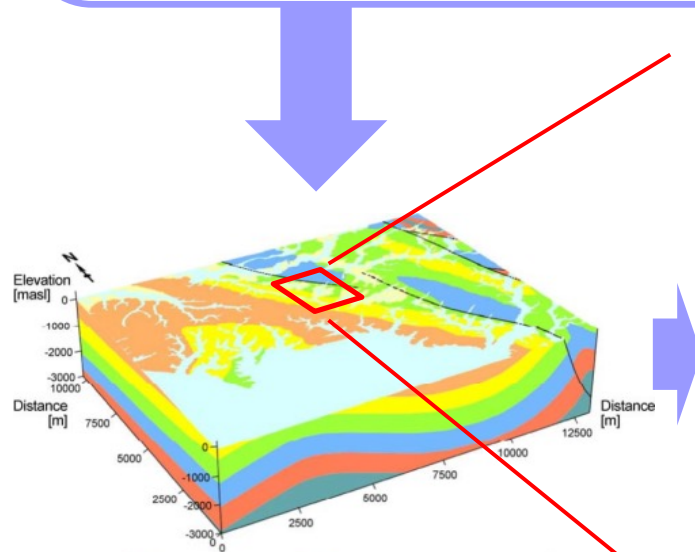
地表地質調査



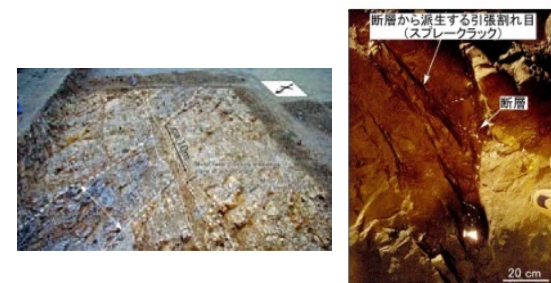
反射法地震探査



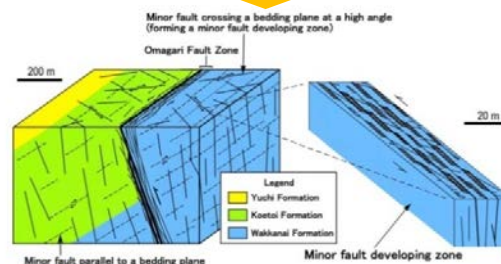
地上からのボーリング調査



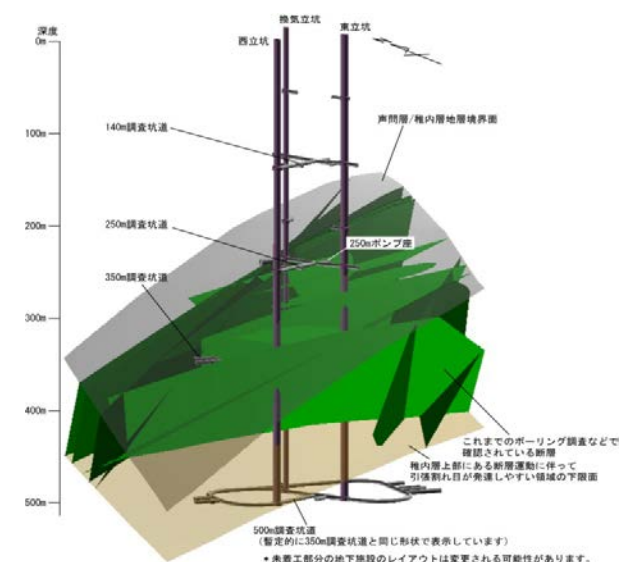
地上からの調査結果を統合した
地質構造モデル



剥ぎ取り露頭調査／坑道壁面調査



小規模な断層の概念化



小規模な断層の分布をモデル化
地下施設の設計に反映

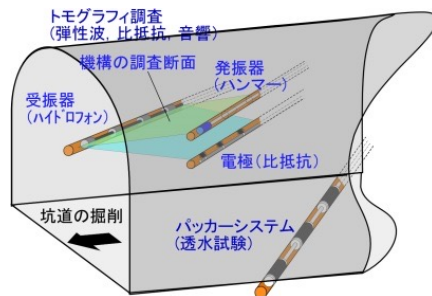
➤ 概要調査に必要な基盤技術の整備

- 地表からの調査による**深部地質環境を把握するための調査解析評価技術**の構築
- 地表からの調査に適用した**調査・モデル化手法の有効性**を確認

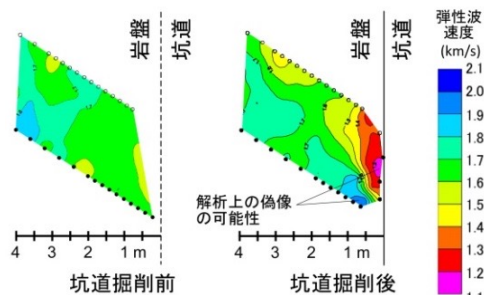
第2段階の調査研究の成果の例



掘削損傷領域を推定するための調査・解析技術



坑道での掘削影響領域調査



弾性波トモグラフィ結果

- 掘削影響領域の掘削後の経時変動はほとんどない。

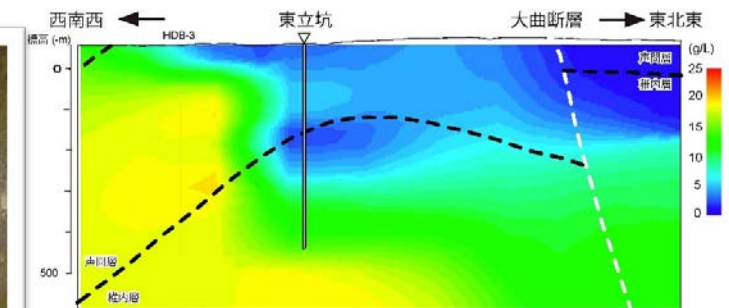
低アルカリ性コンクリート材料を用いた吹付け施工の適用性確認



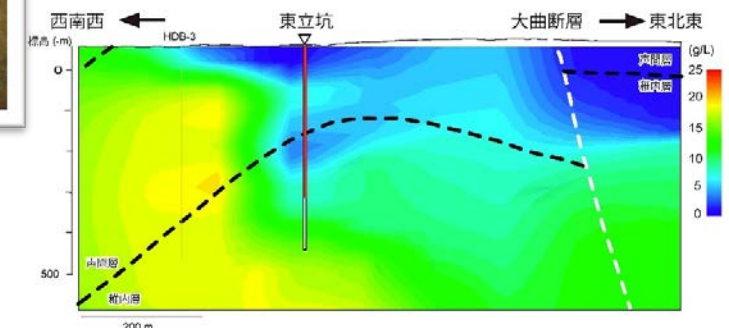
吹付け施工の様子

- HFSCを用いた吹付け施工を行い、その施工性に問題のないことを確認
- 低アルカリ性セメント材料を使用した坑道の本格的な吹付け施工は世界初

東立坑周辺における地下水中の塩分濃度の空間分布



東立坑掘削前（第1段階調査時）



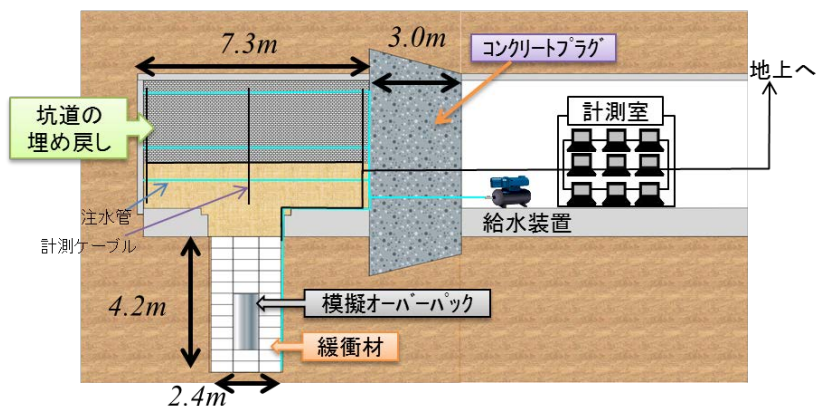
東立坑（地表から380mまで掘削）

- 浅部において塩分濃度が低下しているものの、稚内層下部における塩分濃度分布に顕著な変化は認められない。

➤ 精密調査前半に必要な基盤技術の整備

- 坑道掘削による深部地質環境の変化の程度や現象の理解及び必要な調査技術の整備
- 坑道の掘削工事・維持管理を通じて、掘削技術・施工対策技術、安全確保・維持管理技術の適用事例の提示及び有効性の確認

第3段階の調査研究の現状：人工バリア性能確認試験



①試験孔の掘削



大口径掘削機



試験孔の掘削中の様子



人工バリア性能確認試験の目的

【施工】

「地層処分研究開発第2次取りまとめ」で示した処分概念が
実際の地下環境で構築できることの実証

【設計】

幌延を事例とした設計手法の提示

【計測】

熱-水-応力-化学連成現象を評価するための検証データの
取得(再冠水までの過渡期を対象)

②人工バリアの設置



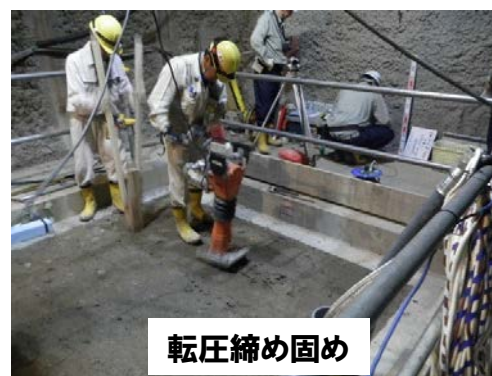
真空把持



模擬オーバーバックの設置



③坑道の埋め戻し



転圧締め固め



ブロック設置



④コンクリートプラグの設置



鉄筋組立



脱型

第3段階の調査研究の現状：物質移行試験



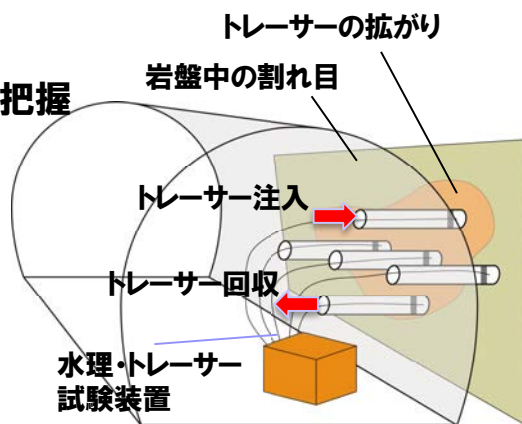
岩盤マトリクス及び人工バリア
中の物質移行特性の把握

健岩部対象

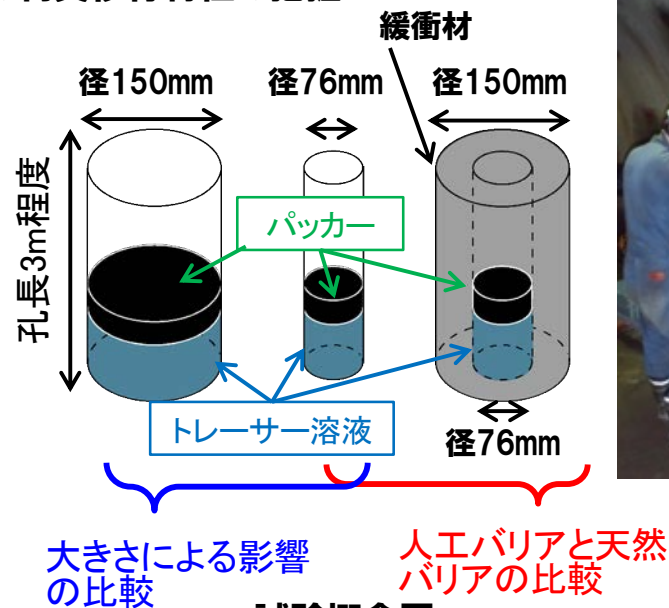


単一割れ目対象

割れ目内の物質移行特性の把握



試験概念図



試験概念図

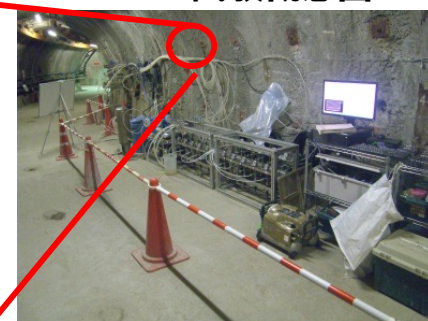


削孔状況

削孔状況



ボーリング孔

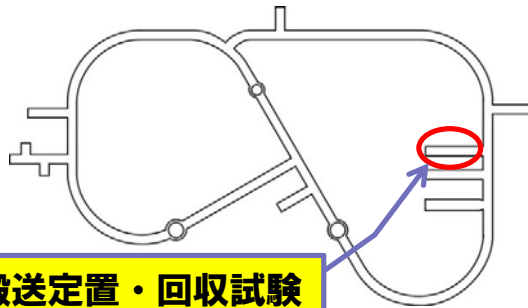


透水試験実施状況



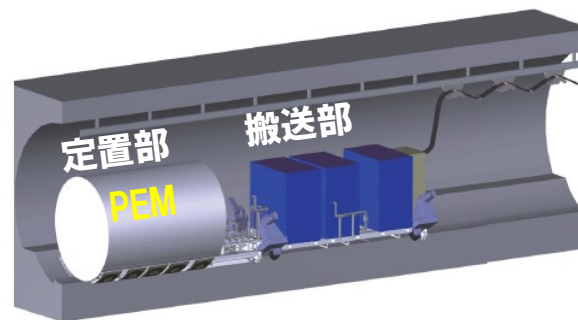
装置設置状況

第3段階の調査研究の現状：処分概念オプションの実証



搬送定置・回収試験

350m調査坑道

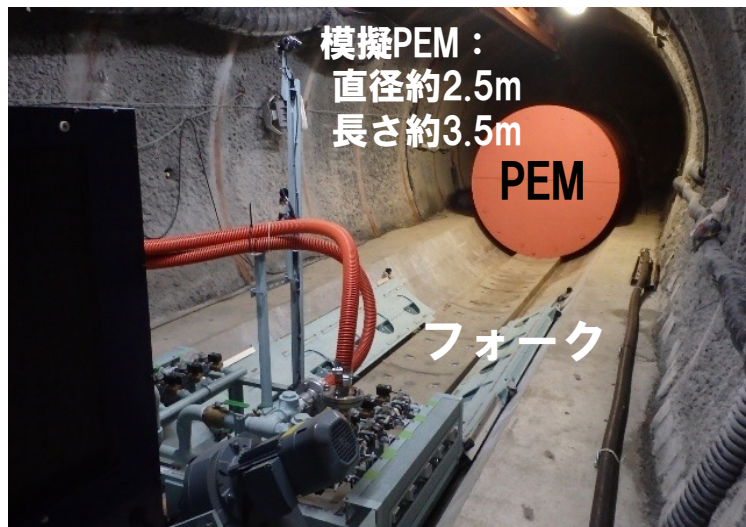


搬送・定置装置のイメージ図

PEM (Prefabricated Engineering barrier system Module) :
鋼製容器の中にオーバーバックや緩衝材を設置して一体化したもの



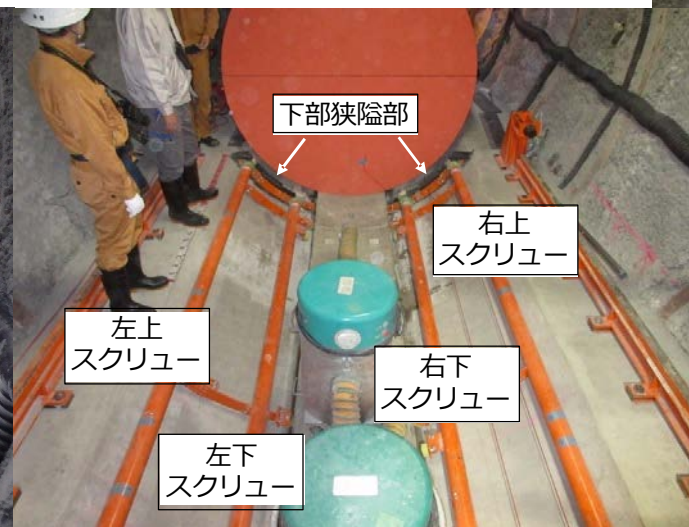
除去試験前の状態



模擬PEM :
直径約2.5m
長さ約3.5m

PEM

フォーク



下部狭隘部

右上
スクリュー

右下
スクリュー

左上
スクリュー

左下
スクリュー

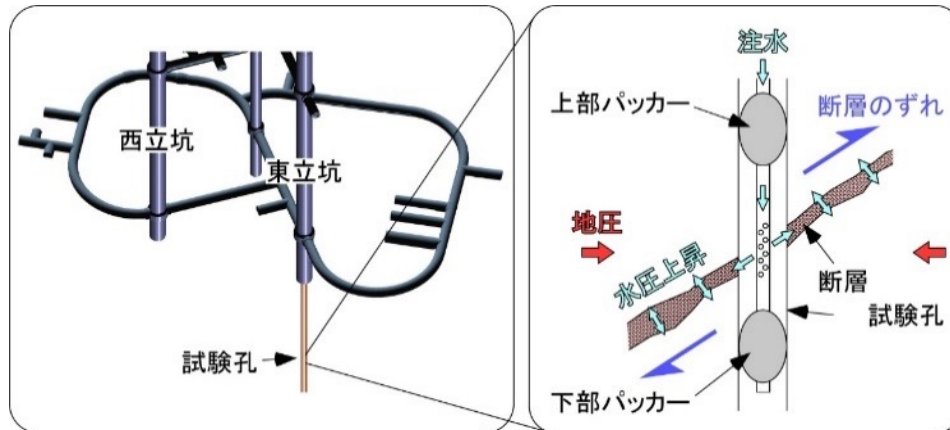


回転する刃を押し当てて、模擬PEM上部開放部の充填材を削りながら取り除きます(機械式除去)

フォークをPEMの下に差し込み、エアベアリング(空気の力で浮かすことで、軽い力でも前後に動かせるようになる)で浮かせて、模擬PEM(約36.5トン)を動かします

埋め戻し材であるベントナイトペレット(ベントナイト100%)を、4本からなる充填装置(スクリューコンベア)で下部狭隘部にスクリュー方式で供給しながら、隙間の奥側から充填を行います。

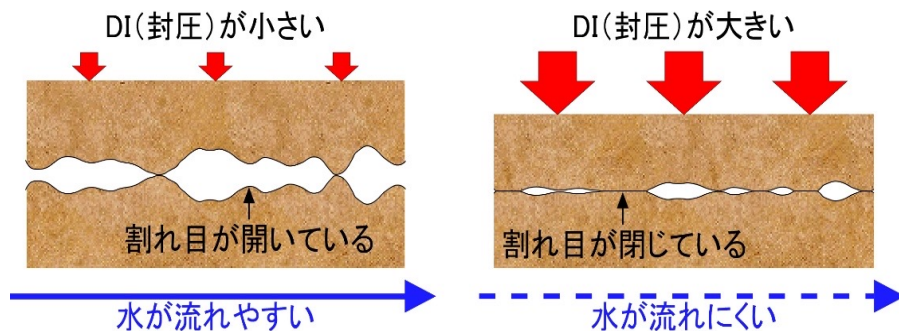
第3段階の調査研究の現状:地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証



水圧擾乱試験の概念図



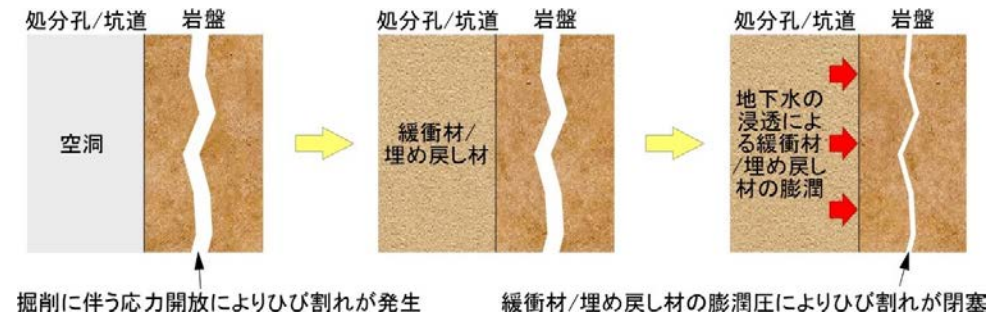
水圧擾乱試験の作業状況



DIと割れ目内の透水性の関係

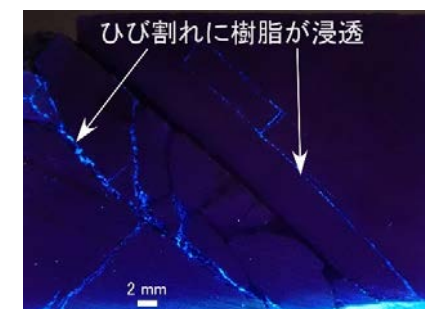
ダクティリティインデックス(DI)

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)をその健全岩部の引張強度(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。



掘削に伴う応力開放によりひび割れが発生

緩衝材/埋め戻し材の膨潤圧によりひび割れが閉塞



掘削損傷領域のひび割れへの蛍光樹脂の注入結果

「研究の目的」

➤ 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

地層処分技術とは、

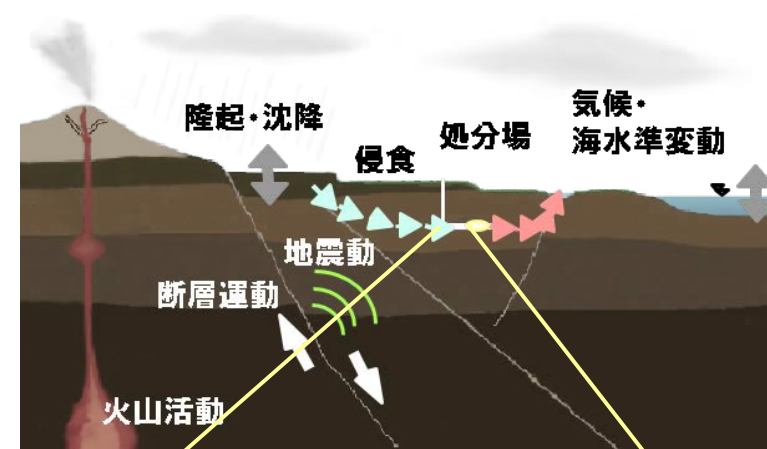
- ✓ 処分事業を進める際に必要な「技術」
 - ✓ 調査、建設、操業、安全審査で使う「技術」
- ⇒ 調査機器、分析手法、調査・試験方法、解析手法、予測手法、評価手法 など

研究開発とは、

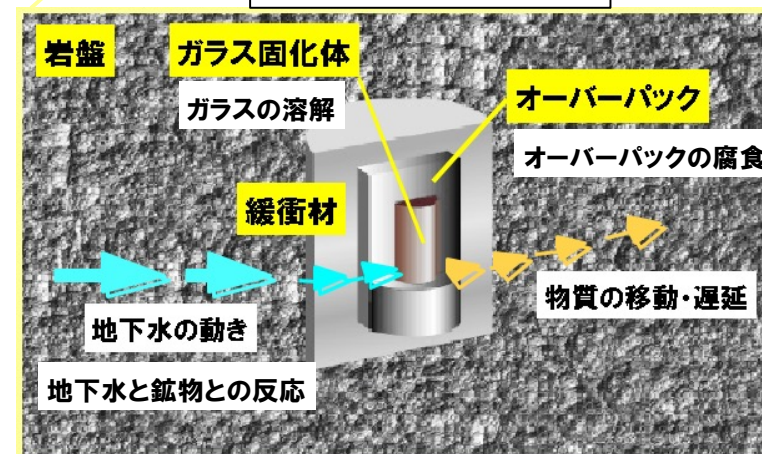
- ⇒ 高度化、信頼性向上、精度向上、検証、高性能にする、より確かなものにする

「成果」

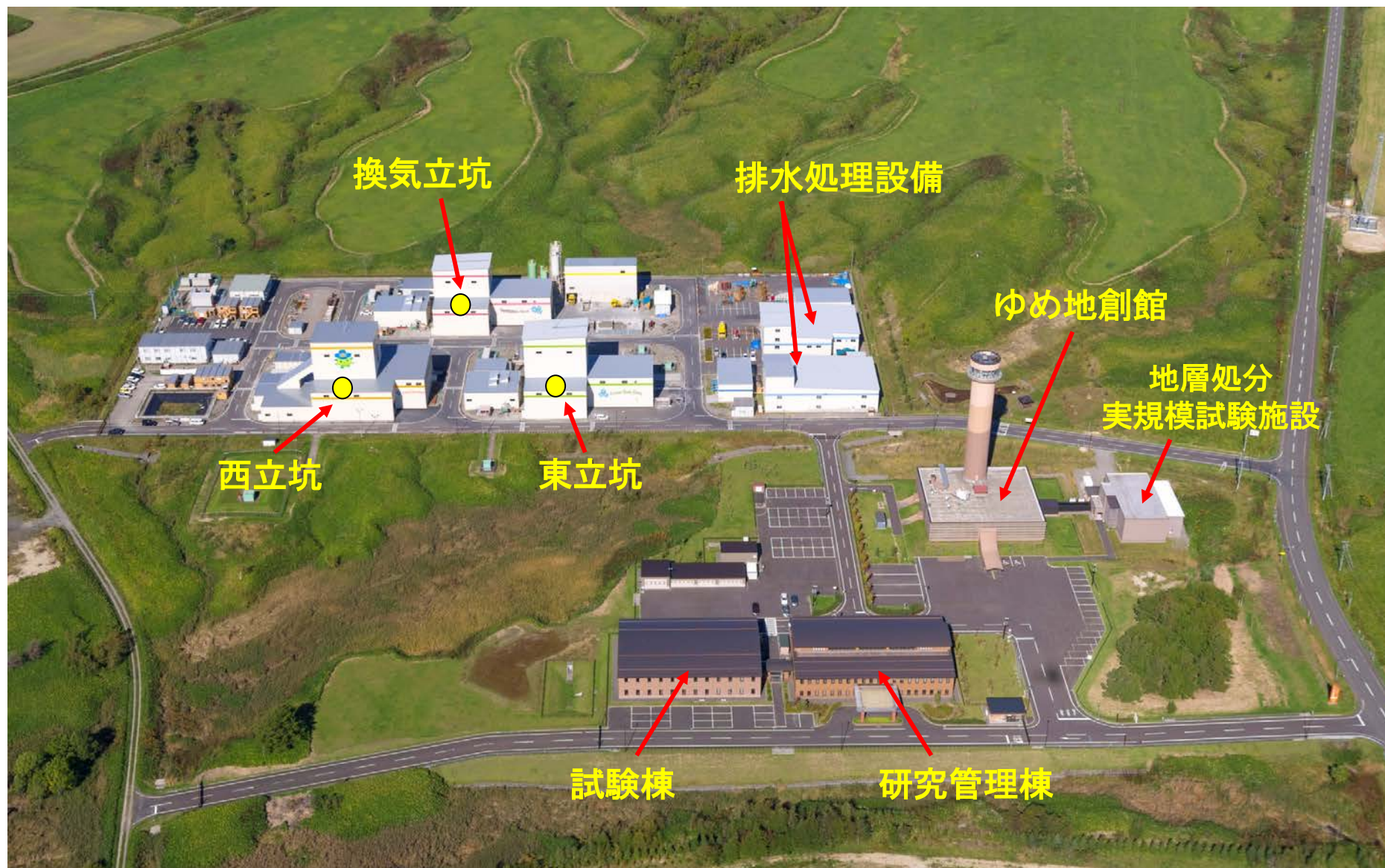
- 地層処分の技術基盤の整備。具体的には、幌延深地層研究センターの地下施設において、調査技術やモデル化・解析技術を実際の地質環境に適用して、その有効性が示されること。



人工バリア周辺で生じる現象の概念図

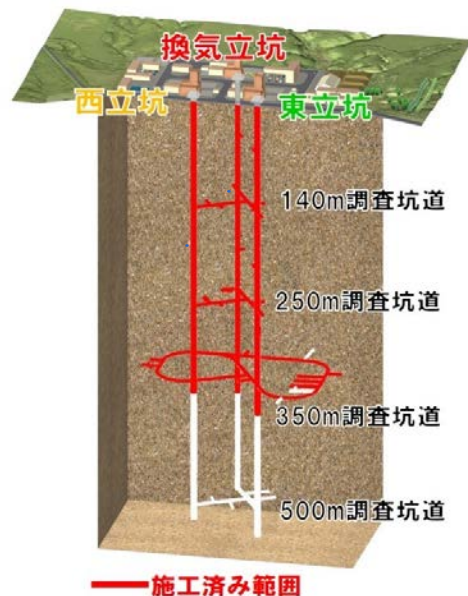


幌延深地層研究センター施設配置図



平成24年10月8日撮影

地下施設の建設状況



※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。
【地下施設イメージ図】 令和3年8月更新

立坑掘削状況

東立坑 : 掘削深度 380.0m
換気立坑 : 掘削深度 380.0m
西立坑 : 掘削深度 365.0m

調査坑道掘削状況

深度140m調査坑道 : 掘削長 186.1 m
深度250m調査坑道 : 掘削長 190.6 m
深度350m調査坑道 : 掘削長 757.1 m

深度500mまで拡張する計画を決定し、令和3年度の確認会議*で確認を受けました。

*北海道及び幌延町により設置された会議体。幌延深地層研究計画における協定の履行状況を確認するもの。

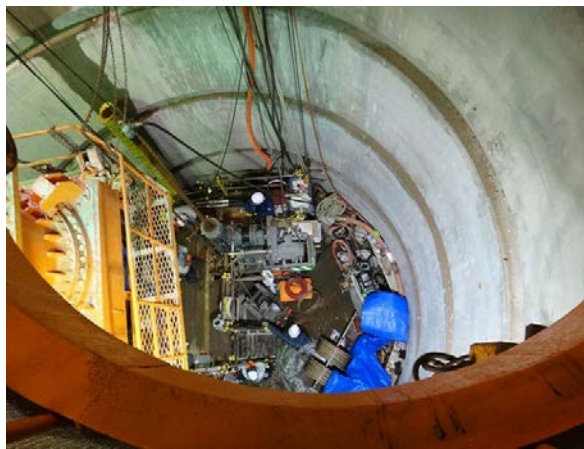


350m調査坑道
試験坑道4

人工バリア性能確認試験実施箇所
(平成28年5月11日撮影)



西立坑
(平成26年3月26日撮影)



東立坑
(平成28年6月8日撮影)



350m調査坑道
東周回坑道
(平成28年6月28日撮影)

湧水・メタンガスへの安全対策



大量湧水への安全対策

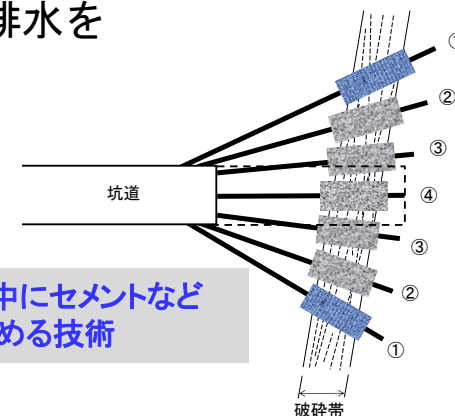
①北るもい漁協との協定に基づく対応（天塩川への放流量は1日当たり最大750m³）

- ・坑内からの排水は、脱ホウ素・脱窒素処理したうえで、天塩川下流に放流（定期的に水質調査）
- ・1日当たりの坑内排水量が750m³を超える可能性がある場合には、超過分の排水を貯水可能設備へ一時貯水したうえで、坑内排水量の減少に応じて放流

②グラウト施工による湧水抑制対策

- ・プレグラウト：掘削前の地質調査により、大量湧水が予測された場合
- ・ポストグラウト：掘削後に大量の湧水があった場合

グラウト：岩盤に孔をあけ、水みちとなる岩盤の割れ目の中にセメントなどの固化材を圧入・充填することにより、湧水を止める技術



メタンガスへの安全対策

①地下坑道の換気：地上の新鮮な空気を強制的に地下に送ることによる換気

②メタンガス濃度による段階的な管理

- ・坑道内に設置したメタンガス検知器によりガス濃度を常時監視し、段階的に管理
- ・点火源にならない機器（防爆仕様）の使用

メタンガス濃度対応基準

メタンガス濃度 (Vol%)	対応内容
0.25以上	火器使用作業の禁止, 非防爆電動工具の使用禁止
0.5以上	火薬取扱作業の禁止
1.0以上	パトライト点灯 & 一斉放送
1.0以上	作業員退避
1.3以上	パトライト点灯 & サイレン
1.5以上*	坑内電源遮断

メタンガスが爆発する条件

- ・空気中のメタンガス濃度が5%～15%
- ・酸素
- ・火気（点火源）

*労働安全衛生規則に基づく措置

情報発信と理解醸成に向けた取り組み



ホームページでの情報発信

- ゆめ地創館 館内案内動画の制作・公開
- お客様からのご質問に対する回答やご意見を掲載



その他

- 地下施設の工事や調査研究の状況を毎週更新
- メタンガス濃度、排水量等の地下施設の管理状況を毎日更新 など

ツイッターでの情報発信



計画説明会・成果報告会、地下施設見学会などの開催



「令和2年度調査研究成果報告」
（住民説明会）
（国際交流施設 令和3年7月20日）



「札幌報告会2021」
（札幌市教育文化会館 令和3年11月9日）



調査坑道での見学の様子

地下施設見学

4月～10月 火、木曜日
11月～ 3月 木曜日
4月～10月 第4日曜日 に開催

【住民説明会・札幌報告会2021はライブ配信もあわせて実施】
JAEA幌延チャンネル(Youtube)



地下施設の見学者数

- 令和元年度：1,344名
- 令和2年度：542名
- 令和3年度：489名
(R4.1月末)

幌延町広報誌「ほろのべの窓」での研究内容紹介の連載



【幌延町から】

※2020年7月号から連載を開始

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の幌延深地層研究センターの研究や取組について広く知ってもらうことを目的に、幌延深地層研究センターで行われる研究開発などに関する紹介記事を広報誌7月号から連載します。

「地下の研究現場から」第1回－幌延深地層研究センター

私たちの行っている研究について、広くご理解いただくために幌延町広報誌「ほろのべの窓」の紙面をお借りして町民の皆様をはじめ、ご愛読者様に研究内容についてご紹介させていただきます。

ゆめ地創館館内状況



幌延深地層研究センターで行っている地下深部の研究内容の紹介



調査坑道での調査研究の概要についての展示



地下施設リアルタイムモニタ



ゆめ地創館の来館者数

- 令和元年度・・・ 8,092名
- 令和 2年度・・・ 3,077名
- 令和 3年度・・・ 2,528名
- 累計・・・123,735 名 (R4.1月末現在)

主な見学者

- 一般(地域の方々など)
- 自治体関係者
- 電気事業関係者
- 国内外の研究機関及び学会関係者など

地下施設の様子を3D画像などでご覧いただける
「深掘りサイエンスツアー」

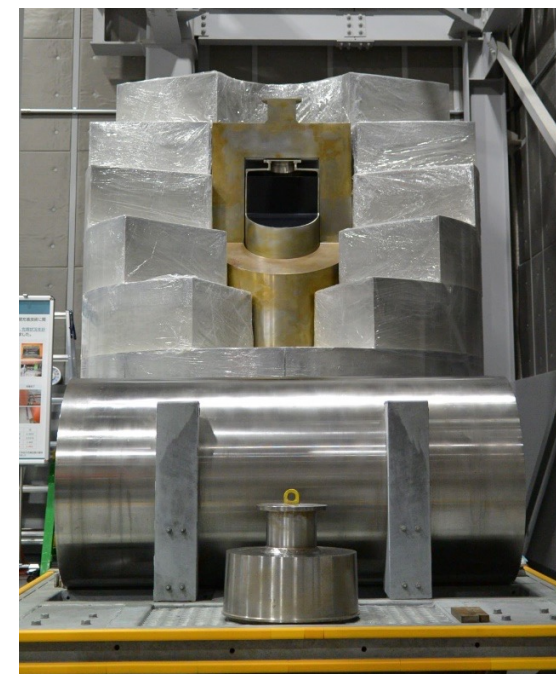
地層処分実規模試験施設



地層処分への理解促進のため、実物大の人工バリアや実際の地下環境において試験を行った、横置きPEM方式定置装置・隙間充填装置など、高レベル放射性廃棄物の処分に関連する技術の研究状況とその成果を展示



横置きPEM方式に関わる装置の展示



人工バリアカットモデルの展示
(オーバーパックと緩衝材)

地層処分実規模試験施設の来館者数

- 令和元年度… 6,211名
- 令和 2年度… 2,414名
- 令和 3年度… 2,093名
- 累計…65,337 名 (R4.1月末現在)

主な見学者

- 一般(地域の方々など)
- 自治体関係者
- 電気事業関係者
- 国内外の研究機関及び学会関係者など



ベントナイト止水実験

参考① 幌延深地層研究所の立地経緯



- 昭和59年7月：幌延町議会が「貯蔵工学センター」の誘致を決議
- 平成2年7月：道議会にて設置反対を決議
- 平成10年12月：サイクル機構より北海道知事及び幌延町長に対し「幌延町における深地層の研究について」申し入れ。
- 平成12年5月：幌延町は「深地層の研究の推進に関する条例」を制定。
- 平成12年10月：北海道議会第3回定例議会において知事が受け入れを表明。同議会において、「北海道における特定放射性廃棄物に関する条例」を可決。
- 平成12年11月：科学技術庁原子力局長立会いの下、サイクル機構と北海道及び幌延町との間で「幌延町における深地層の研究に関する協定（三者協定）」を締結。
- 平成13年4月1日：幌延深地層研究センター設置。

参考② 幌延町における深地層の研究に関する協定書



◆署名日 平成12年11月16日

◆署名者 堀達也北海道知事、上山利勝幌延町長、
都甲泰正サイクル機構理事長
(立会人:中澤佐市科技厅原子力局長)

- 第2条: 丙は、研究実施区域に、研究期間中はもとより研究終了後においても、放射性廃棄物を持ち込むことや使用することはしない。
- 第3条: 丙は、深地層の研究所を放射性廃棄物の最終処分を行う実施主体へ譲渡し、又は貸与しない。
- 第4条: 丙は、深地層の研究終了後は、地上の研究施設を閉鎖し、地下施設を埋め戻すものとする。
- 第5条: 丙は、当該研究実施区域を将来とも放射性廃棄物の最終処分場とせず、幌延町に放射性廃棄物の中間貯蔵施設を将来とも設置しない。
- 第6条: 丙は、積極的に情報公開に努めるものとする。
- 第7条: 丙は、計画の内容を変更する場合には、事前に甲及び乙と協議するものとする。

参考③ 北海道における特定放射性廃棄物に関する条例



平成12年10月24日 条例第120号

北海道は、豊かで優れた自然環境に恵まれた地域であり、この自然の恵み
の下に、北国らしい生活を営み、個性ある文化を育んできた。

一方、発電用原子炉の運転に伴って生じた使用済燃料の再処理後に生ずる
特定放射性廃棄物は、長期間にわたり人間環境から隔離する必要がある。現
時点では、その処分方法の信頼性向上に積極的に取り組んでいるが、処分方
法が十分確立されておらず、その試験研究の一層の推進が求められており、
その処分方法の試験研究を進める必要がある。

私たちは、健康で文化的な生活を営むため、現在と将来の世代が共有する
限りある環境を、将来に引き継ぐ責務を有しており、こうした状況の下では、特
定放射性廃棄物の持込みは慎重に対処すべきであり、受け入れ難いことを宣
言する。

参考④ 幌延町における深地層の研究の推進に関する条例



平成12年5月11日 条例第25号

(目的)

第1条 この条例は、わが国のエネルギー政策の推進に協力するために、深地層の研究に対する本町の基本方針を定め、地域の振興を図ることを目的とする。

(基本方針)

第2条 幌延町は、核燃料サイクル開発機構(以下「サイクル機構」という。)から立地の申し入れを受けた深地層の研究施設について、原子力政策の推進と地域の振興に資することから、これを受け入れるものとする。

2 幌延町は、深地層の研究を円滑に推進するために、研究の期間中及び終了後において、町内に放射性廃棄物の持ち込みは認めないものとする。

3 幌延町は、深地層の研究施設の設置にあたり、国、北海道及びサイクル機構に対して、地域の振興に資する施策が積極的に実施されることを要望するものとする。

(基本方針の通知)

第3条 幌延町は、第1条の目的達成のため、前条に定める基本方針を国、北海道及びサイクル機構等に通知するものとする。

－自治体との協議－

令和元年8月2日 : 原子力機構が本計画(案)を自治体へ提示

9月～11月 : 自治体が研究計画の必要性、妥当性、三者協定との整合性を
確認する確認会議を5回開催

12月9日 : 幌延町長が幌延町議会で本計画(案)の受け入れを表明

12月10日 : 北海道知事が北海道議会で本計画(案)の受け入れを表明

令和2年 1月23日 : 幌延町より了承の旨の文書を受領

1月24日 : 北海道より了承の旨の文書を発送(道知事記者会見)