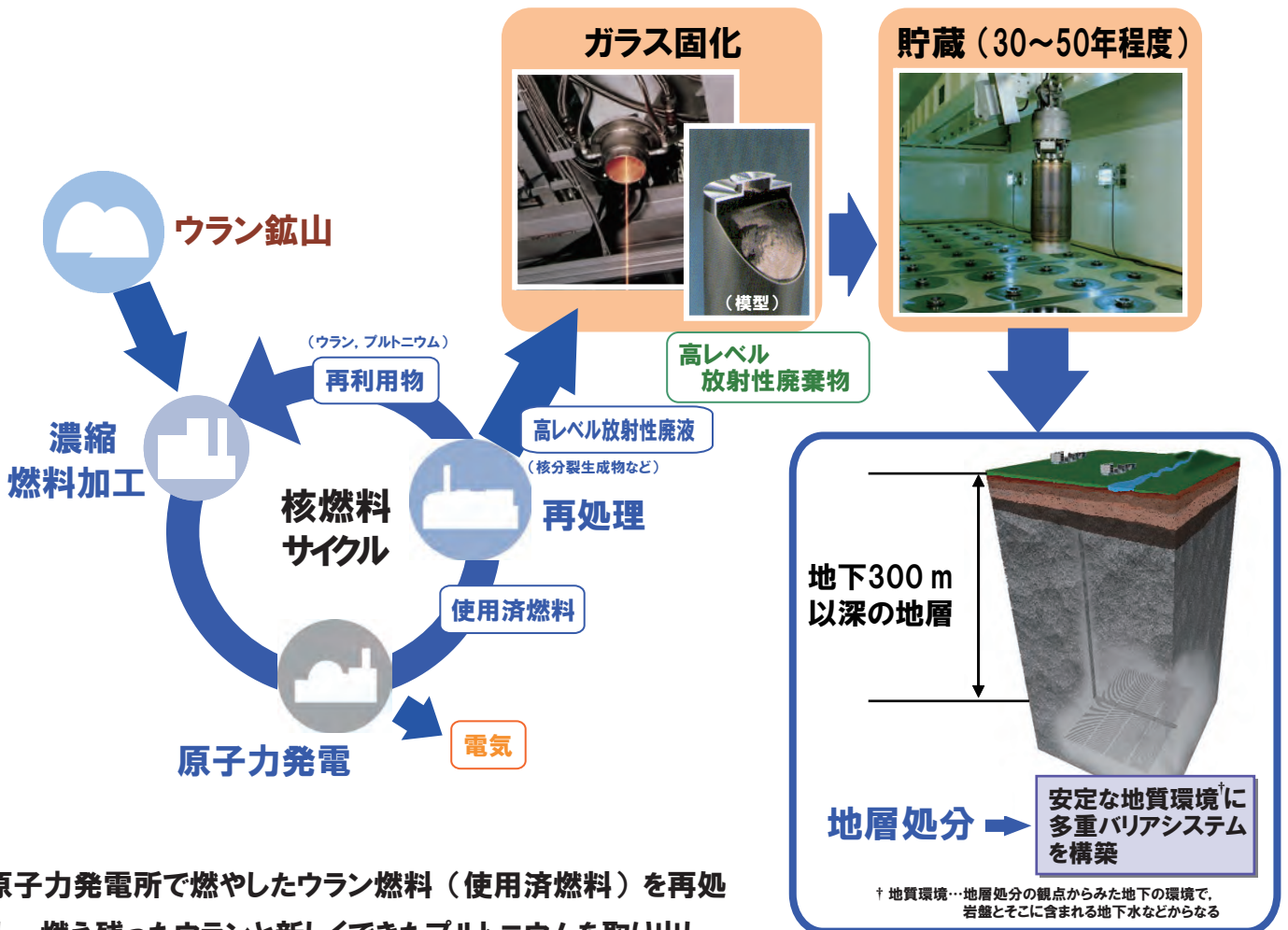


# 地層処分技術に関する研究開発

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

(<http://www.jaea.go.jp/04/tisou/toppage/top.html>)

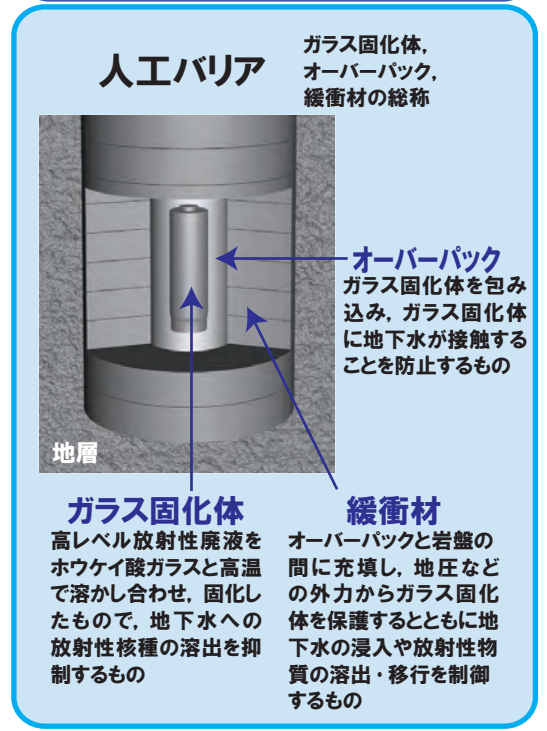
# 核燃料サイクルと地層処分



原子力発電所で燃やしたウラン燃料（使用済燃料）を再処理し、燃え残ったウランと新しくできたプルトニウムを取り出し、再び燃料として発電に利用する一連の仕組みを「核燃料サイクル」といいます。わが国は、この核燃料サイクルの確立を原子力開発利用の基本方針としています。

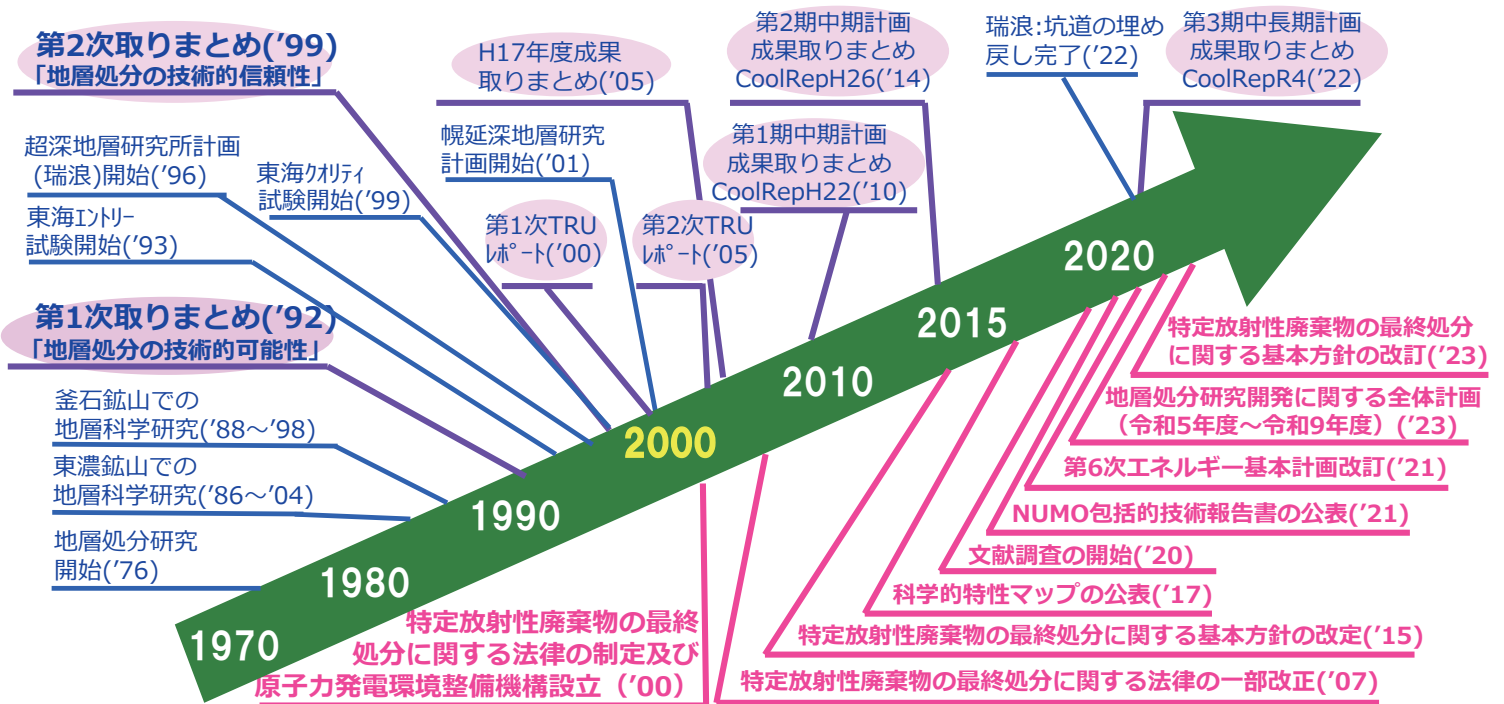
使用済燃料の再処理によって発生する高レベル放射性廃液は、ガラス原料と混ぜて加熱・熔融し、ステンレス容器に注入固化し、物理的・化学的に安定したガラス固化体とします。ガラス固化体は、冷却のために30年から50年程度貯蔵します。その後、地下300m以上の深さの地層中に処分（地層処分）することが法律で定められています。

地層処分とは、地層が持っている物質を閉じこめる能力を利用し、人工的なバリアと組み合わせた多重の防護機能によって、高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）を長期にわたって安全に人間の生活環境から隔離しようとするものです。



# 地層処分計画の進展

## JAEAにおける研究開発



## 国の政策・実施主体(NUMO)による処分事業

わが国における地層処分技術に関する研究開発は、1976年にはじまりました。日本原子力研究開発機構は中核的な研究開発機関として1992年と1999年の2度にわたり、それまでの研究開発の成果を取りまとめ、わが国における地層処分の技術的可能性、技術的信頼性を示してきました。とくに、1999年の「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第2次取りまとめ -」を技術的拠り所として、2000年に特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律が制定され、実施主体である原子力発電環境整備機構（NUMO）が設立されるなど、わが国の地層処分計画は事業段階に踏み出しました。また、2017年7月には「科学的特性マップ」が公表されるとともに、それらを踏まえた全国シンポジウム、科学的特性マップに関する対話型説明会などが開催されてきました。2020年には文献調査が開始されました。さらに、2021年10月に第6次エネルギー基本計画が策定され、2023年4月に特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針が改定されました。事業段階にあるわが国の地層処分計画において、研究開発には地層処分技術の信頼性をさらに高め、その技術基盤を継続的に強化していくことが求められています。

### 第1次取りまとめ 「地層処分の技術的可能性」



### 第2次取りまとめ 「地層処分の技術的信頼性」



# 国の基盤研究開発の役割と体制

## 地層処分研究開発調整会議

実用・実践



基礎・基盤

- 原子力発電環境整備機構 (NUMO)
- 経済産業省 (資源エネルギー庁), 文部科学省
- 関係研究機関 (JAEA, 電中研, 産総研, 原環センター, 量研機構, 電事連, 日本原燃)

国・関係研究機関

NUMO

### 特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針 (平成27年5月閣議決定)

最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究開発・深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等

最終処分事業の安全な実施、経済性及び効率性の向上等を目的とする技術開発

基礎・基盤

実用・実践

※「第7回地層処分研究開発調整会議」における資料をもとに作成

地層処分研究開発調整会議では、高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物※の地層処分等の研究開発を対象として、以下の項目に関する審議・調整を行います。

#### ① 研究開発全体計画の策定

「地層処分研究開発に関する全体計画」を策定します。

#### ② 研究開発の連携に関する調整

研究開発に関する連携や役割分担の調整を行います。

#### ③ 成果の体系化に向けた調整

次期全体計画の策定を目的とした成果の体系化に向けた調整を行います。

#### ④ 研究開発の重複排除の調整

研究開発全体で重複や抜け落ちが生じないように調整を行います。

### 地層処分研究開発調整会議

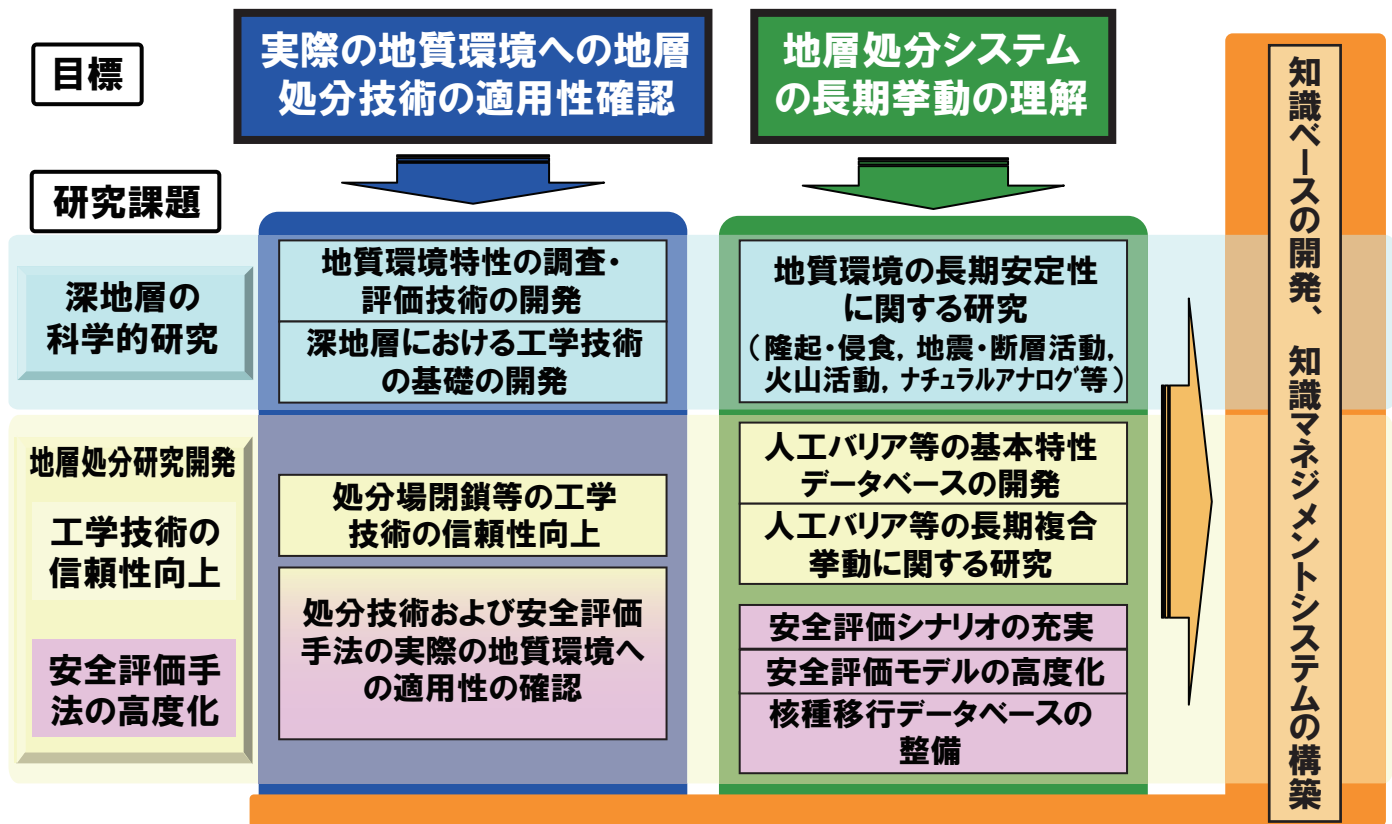
資源エネルギー庁は、2005年7月に「地層処分基盤研究開発調整会議」という新しい枠組みを作って、国の基盤研究開発をより効果的に進める体制を整えました。その後、最終処分法における基本方針を受け設置された原子力委員会放射性廃棄物専門部会が2016年9月に取りまとめた評価報告書における提言を踏まえ、「地層処分研究開発調整会議」として改変(2017年5月)されました。

この調整会議では、国及び関係研究機関による基盤研究開発と NUMO の実施する技術開発計画とを一体化した計画を策定(2018年3月)し、2020年3月に改訂【「地層処分研究開発に関する全体計画(平成30年度～令和4年度)】しました。

2022年に「地層処分研究開発調整会議」が再開されて、2018年度からの研究開発実績や地層処分事業をめぐる情勢を踏まえつつ、外部有識者を交えて議論が行われ2023年3月に「地層処分研究開発に関する全体計画(令和5年度～令和9年度)」が策定されました。

※TRU 廃棄物 (超ウラン核種を含む放射性廃棄物): 再処理施設及び MOX 燃料加工施設から発生する低レベル放射性廃棄物で、ウランより原子番号が大きい人工放射性核種 (TRU 核種) を含む廃棄物

# 日本原子力研究開発機構の研究開発目標と課題

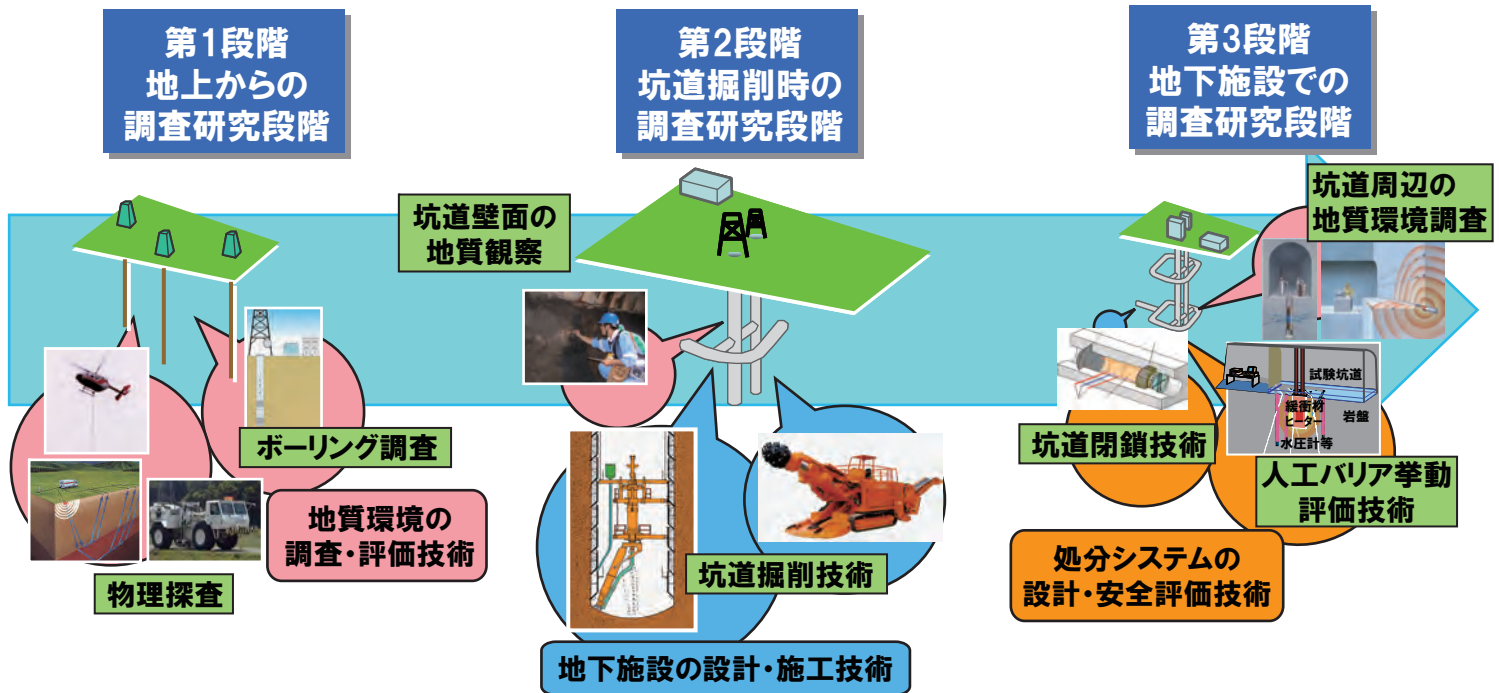


日本原子力研究開発機構では地層処分技術の信頼性をさらに高めていく観点から、「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」と「地層処分システムの長期挙動の理解」という2つの目標を掲げて、また、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」という2つの領域を設けて研究開発を進めています。地層処分研究開発は、地層処分システムに関する「工学技術の信頼性向上」と「安全評価手法の高度化」を目指しており、深地層の科学的研究は、これら地層処分研究開発の基盤となるものです。

2つの研究開発目標を達成するため、日本原子力研究開発機構では「深地層の科学的研究」、「工学技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」という枠組みにおいて、それぞれ研究開発課題を明確にし、相互に連携させながら研究開発を進めています。また、得られた研究開発成果については、地層処分の安全確保の考え方や評価にかかるさまざまな論拠を支える「知識ベース」として体系化しています。

# 実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認

## 深地層の研究施設計画



瑞浪：2004年度（平成16年度）終了  
幌延：2005年度（平成17年度）終了

瑞浪：2013年度（平成25年度）終了  
幌延：2015年度（平成27年度）終了

瑞浪：2019年度（令和元年度）終了  
幌延：研究を継続中

1つめの目標である「実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認」については、北海道幌延町の幌延深地層研究所と岐阜県瑞浪市の瑞浪超深地層研究所の2つの深地層の研究施設などを活用し、段階的に研究開発を進めながら、これまでに整備してきたさまざまな技術を実際の地質環境に適用し、その信頼性を確認してきました。特に、平成26年度の原子力機構改革を契機に研究開発の合理化を図り、深地層の研究施設で重点的に取り組んでいくべき課題（必須の課題※）を抽出し取り組んできました。これら必須の課題については、令和元年度までの成果を報告書として取りまとめ、大深度の水平地下空間を安全に掘削し維持する技術や地下空間を活用しながら大深度の地質環境を調査評価する技術が確立できたことを示しました。これにより、ここまでを当初の研究開発目標としていた超深地層研究所計画については、その目標を達成したため令和元年度をもって研究開発を終了しました。幌延深地層研究計画については、実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、処分概念オプションの実証、地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証の研究課題に引き続き取り組んでいます。

## 必須の課題取りまとめ



平成27年度から令和元年度までに実施した調査研究の成果の取りまとめ

### ※必須の課題

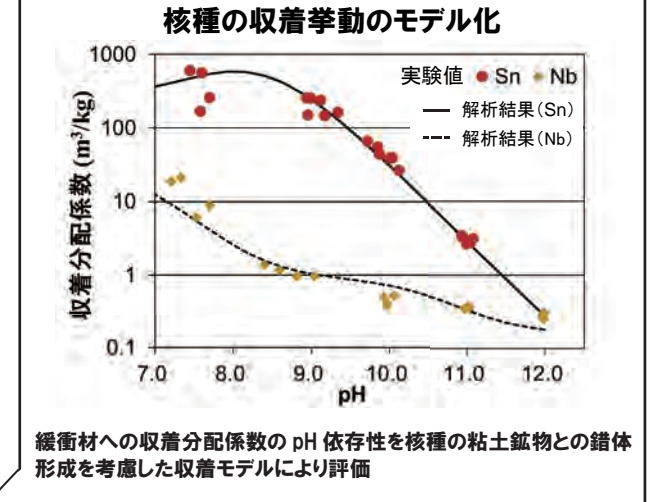
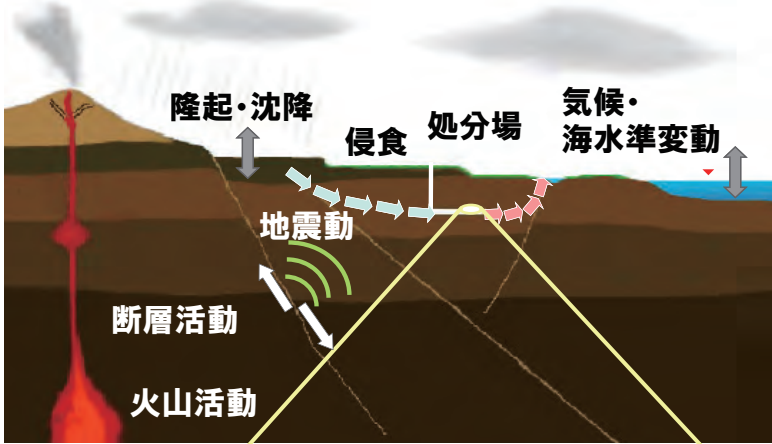
平成22年度～平成25年度までの深地層の研究施設計画の成果や国での議論などを踏まえて抽出した深地層の研究施設で実施すべき以下に示す課題。

- 幌延深地層研究計画：①実際の地質環境における人工バリアの適用性確認、②処分概念オプションの実証、③地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証
- 超深地層研究所計画：①地下坑道における工学的対策技術の開発、②物質移動モデル化技術の開発、③坑道埋め戻し技術の開発

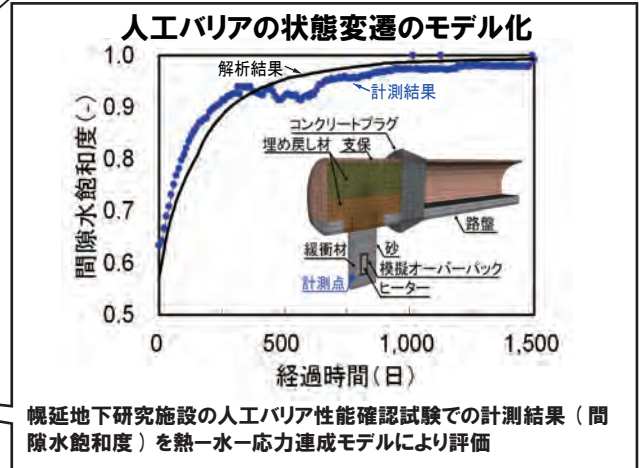
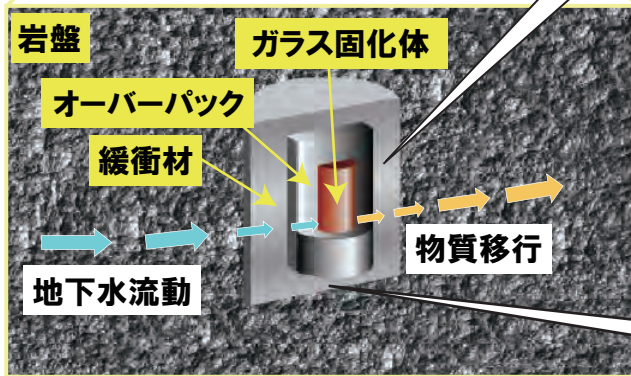
【日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく「地層処分技術に関する研究開発」報告書—今後の研究課題について—（H26.9.30）より】

# 地層処分システムの長期挙動の理解

## 地質環境の長期的変遷の把握



## 現象理解に基づくモデルの高度化



2 つめの目標である「地層処分システムの長期挙動の理解」については、地下深部の地質環境条件やその長期的な変化に対する理解を深めながら人工バリアや周辺の岩盤中で起こる様々な現象をより現実的なデータとモデルで再現するなど、地層処分システムに関連する現象への理解をさらに進め、評価の信頼性を高めていきます。

長期の間にはガラス固化体中に閉じ込められていた放射性物質が地下水と接触して溶解し、地下水を介して岩盤中を移動することが想定されます。そのような長期的な現象を評価するため、たとえば地下での人工バリアの状態変遷のモデル化や核種移行で重要な現象である収着や拡散のモデル化のための手法の高度化などを進めています。

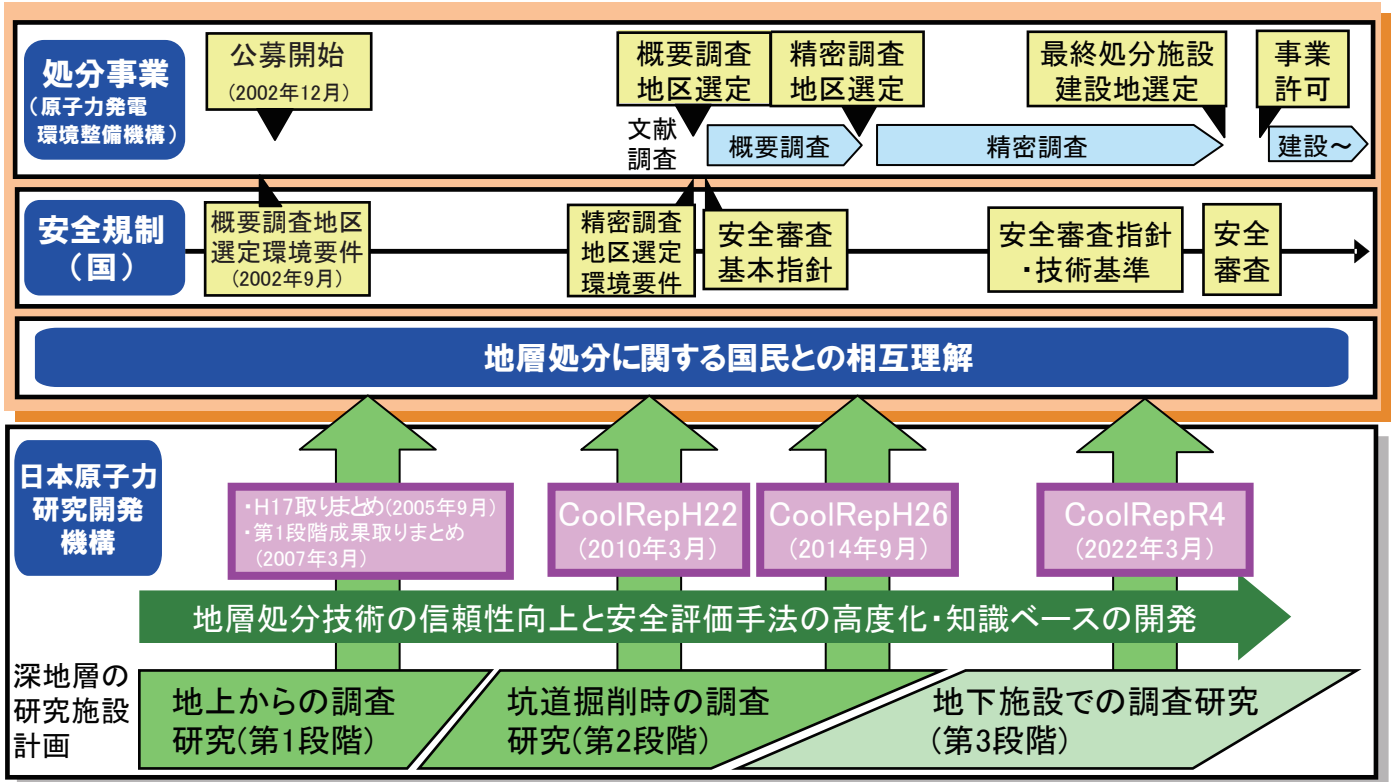
また、地層処分システムに影響を及ぼす可能性のある地震や火山活動、地殻変動といった天然現象の長期的な変化を予測し、その影響を評価するために必要となる調査技術やシミュレーション技術などの開発も進めています。

### 地形変化シミュレーション技術の活用

※仮想的に構築した地形での評価例

地形変化・処分場深度変化の解析例  
こうした長期間の地形変化が地層処分システムの性能に及ぼす影響を評価するための取り組みを進めています。

# 研究開発成果の取りまとめと反映



研究開発で得られた成果をわが国の地層処分計画を支える技術基盤として反映するため、日本原子力研究開発機構では、処分事業と安全規制のニーズやスケジュールを勘案しつつ段階的に研究開発成果を取りまとめることとしています。また、これらの研究開発成果については、地層処分に関心のある様々なユーザーが Web 上で欲しい情報をスムーズに取り出すことのできる、Web 上のレポートシステム (CoolRep) として公開します。1999 年の「第 2 次取りまとめ」以降、「高レベル放射性廃棄物の地層処分技術に関する知識基盤の構築 - 平成 17 年取りまとめ -」、深地層の研究施設における第 1 段階、第 2 段階の取りまとめの成果や必須の課題の成果等を段階的に報告書として取りまとめました。これに応じて 2010 年 3 月には、それまでの研究開発成果について CoolRepH22 として公開し、その後 2014 年までの成果をもとに CoolRepH26 として、また、2022 年 3 月には CoolRepR4 として、それぞれ取りまとめています。

今後とも、処分事業と安全規制の段階的な進展に先行して研究開発を進め、定期的にその成果を知識ベースとして取りまとめしていきます。

深地層の研究施設設計画第 1 段階成果取りまとめ

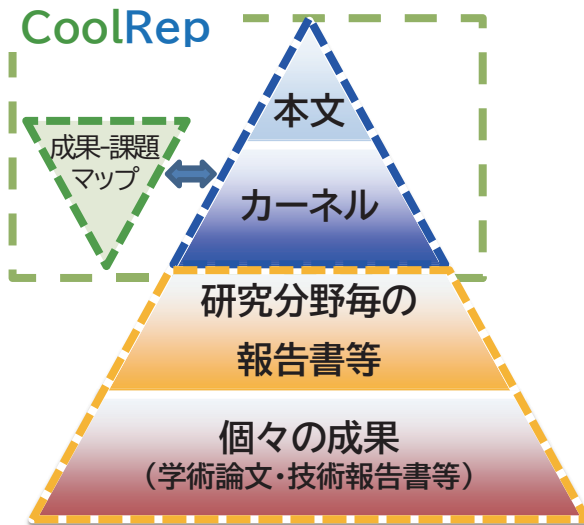
深地層の研究施設設計画第 2 段階成果取りまとめ

CoolRep R4

The block displays the physical and digital outputs of the research. On the left, three JAERI-Research report covers are shown, representing the 1st and 2nd stage results. On the right, a screenshot of the CoolRep R4 web portal is shown, featuring a search bar, navigation tabs, and a detailed report page with text and diagrams.



# CoolRep の構造



**本文**  
 ✓ 研究開発の位置付けや成果の概要を俯瞰的に記載

**カーネル\***  
 ✓ 各研究分野の最新の成果を簡潔に記載  
 ✓ 各カーネルから個々の成果へリンク

**成果-課題マップ**  
 ✓ 各分野の成果と今後の課題を要約して表形式で整理

## CoolRepR4を構成するカーネル

「深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性」

「処分場の工学技術」

「性能評価研究」

「TRU廃棄物」

「使用済燃料の直接処分研究開発」

\* カーネル (KERNEL) : Knowledge Elements incorporating Requirements, Novelty, Experience and Limitations

CoolRepは、日本原子力研究開発機構で得られた研究成果に基づき作成された多数の学術論文や技術報告書、研究分野毎の報告書等を土台としており、成果が俯瞰できる「本文」と、各分野の成果を簡潔に記述した「カーネル」、そして、成果と今後必要な研究開発を目視できる「成果 - 課題マップ」から構成されています。また、CoolRepのサイトトップ画面にある「リソースリスト」からは、土台となる報告書や論文、学会等の情報やプレス発表、各種データベース等にアクセスすることができます。

今後 CoolRepは、研究開発の進展に伴う新たな成果の拡充・変遷を踏まえ成長させていくことが必要であり、最新の成果を反映したタイムリーなアップデートはもとより、最新のデジタル技術を活用した成果の活用の向上や利便性の向上といった取り組みを継続していきます。

上部のメニューから各年代に取りまとめられたCoolRep(本文+カーネル)へリンクします



「成果-課題マップ」を見ることができます

「リソースリスト」から各種報告書・論文・データベース等にアクセスできます

CoolRep トップ画面  
 (https://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.html)



# 研究開発拠点と各研究分野



土岐地球年代学研究所  
(岐阜県土岐市)

## 東濃地科学センター

- 土岐地球年代学研究所
- 瑞浪用地 (旧瑞浪超深地層研究所用地)

### 深地層の科学的研究

※瑞浪超深地層研究所は2022年1月に坑道埋め戻し及び地上施設の撤去を完了



(イメージ図)

換気立孔  
西立孔 東立孔

140m 調査坑道  
250m 調査坑道  
350m 調査坑道  
500m 調査坑道



幌延深地層研究所  
(北海道幌延町)

## 幌延深地層研究センター

- 幌延深地層研究計画 (堆積岩)

工学技術の信頼性向上

安全評価手法の高度化

## 核燃料サイクル工学研究所



地層処分基盤研究施設 (エントリー)  
(茨城県東海村)



地層処分放射化学研究施設 (クオリティ)  
(茨城県東海村)



工学技術の信頼性向上

安全評価手法の高度化

日本原子力研究開発機構では、「深地層の科学的研究」、「工学技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」という枠組みにおいて、それぞれ研究開発課題を明確にし、相互に連携させながら研究開発を進めています。

北海道幌延町の幌延深地層研究センターでは堆積岩を対象とし、「深地層の科学的研究」、「工学技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」を行ってきましたが、「深地層の科学的研究」については当初の研究開発目標を達成したため、「工学技術の信頼性向上」および「安全評価手法の高度化」を対象に研究を進めています。

一方、岐阜県の東濃地科学センターでは、瑞浪市の瑞浪超深地層研究所において花崗岩を対象とした「深地層の科学的研究」を行ってきましたが、当初の研究開発目標を達成したため、令和元年度で研究開発を終了し、坑道の埋め戻し及び地上施設の撤去を完了しました。また、土岐市の土岐地球年代学研究所において、「深地層の科学的研究」として、地質環境の長期安定性に関する研究を進めています。

茨城県東海村の核燃料サイクル工学研究所では、幌延深地層研究センターや東濃地科学センターで得られる情報なども活用して、「工学技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」として、地層処分システムの設計や安全評価に必要な技術開発を進めています。

# 幌延深地層研究センター

研究管理棟・試験棟



ゆめ地創館  
(情報公開施設)



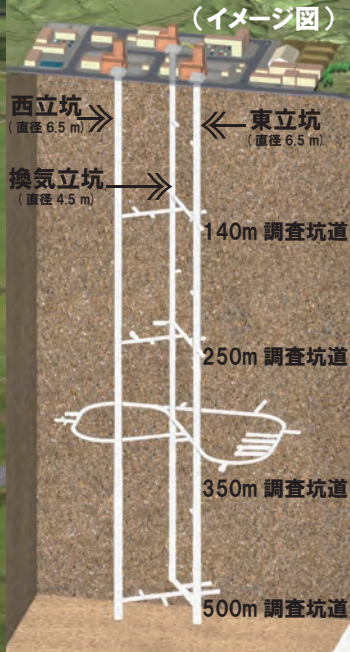
地下施設建設現場



搬送定置・回収技術の実証  
(横置き方式、PEM方式)



坑道へのセメント吹付け遠隔施工試験



幌延深地層研究所  
(堆積岩)

# 東濃地科学センター



土岐地球年代学研究所  
様々な分析装置・実験機器を整備



JAEA-AMS-TONO-5MV (ペレトロン年代測定装置)



電子プローブマイクロアナライザ  
(EPMA)



レーザーアブレーション  
誘導結合プラズマ質量分析装置



瑞浪用地  
(旧瑞浪超深地層研究所用地)



東濃鉦山  
(閉山措置中)

# 核燃料サイクル工学研究所

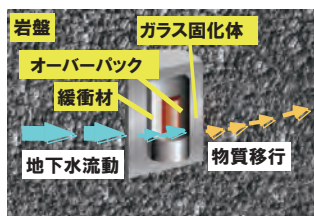


地層処分基盤研究施設  
(エントリー)



熱-水-応力連成試験設備

- 熱力学・取着・拡散データベース
- 緩衝材基本特性データベース
- グラウトデータベース
- ガラスの溶解に関するデータベース
- オーバーバックデータベース



放射性物質の濃度分析



地層処分放射化学研究施設  
(クオリティ)



還元環境を模擬したグローブ  
ボックス内における放射性物  
質移行データの取得

# 地層処分技術に関する 研究開発拠点



## マークの由来

古くから孔雀は毒蛇を食べるといわれ、その孔雀を神格化した孔雀明王は一切の毒を除き、また、雨を降らせたり止ませたりする力を持つ明王として信仰を集めてきました。この孔雀明王にちなんで、孔雀の羽の模様を地層処分のシンボルとしてデザインしました。

重ねられた円は多重バリアシステムを表しています。高レベル放射性廃棄物は多重バリアシステムにより、放射能が閉じこめられ、水の存在を考えても決して人間環境に影響を及ぼさないようにできることを示したものです。



幌延深地層研究センター

北海道天塩郡幌延町字北進 432 番地 2  
〒098-3224 TEL 01632-5-2022



核燃料サイクル  
工学研究所

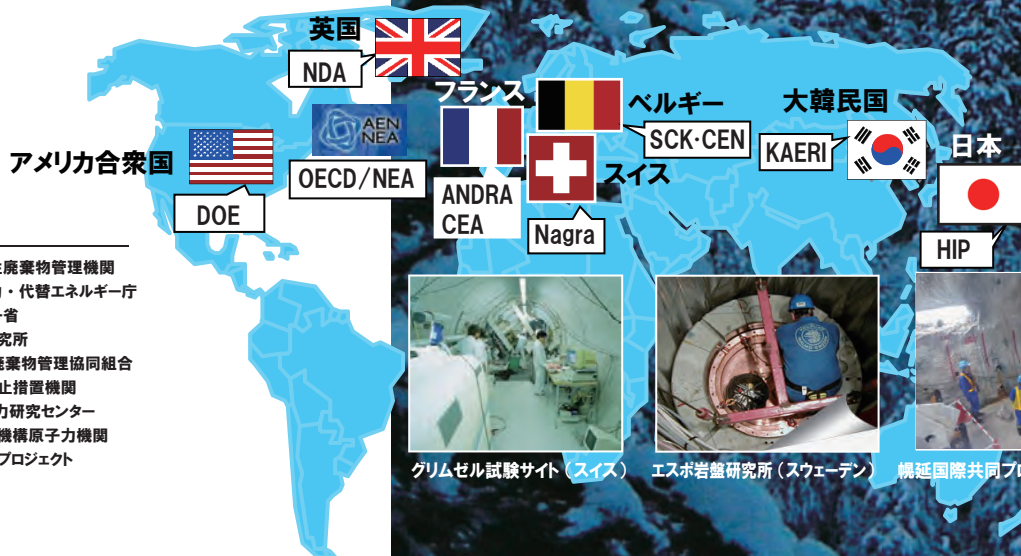
茨城県那珂郡東海村大字村松 4 番地 33  
〒319-1194 TEL 029-282-1133



東濃地科学センター

土岐地球年代学研究所  
岐阜県土岐市泉町定林寺 959 番地の 31  
〒509-5102 TEL 0572-53-0211

## 海外機関との研究協力



- ANDRA : フランス放射性廃棄物管理機関
- CEA : フランス原子力・代替エネルギー庁
- DOE : 米国エネルギー省
- KAERI : 韓国原子力研究所
- Nagra : スイス放射性廃棄物管理協同組合
- NDA : 英国原子力廃止措置機関
- SCK-CEN : ベルギー原子力研究センター
- OECD/NEA : 経済協力開発機構原子力機関
- HIP : 幌延国際共同プロジェクト



グリムセル試験サイト (スイス)



エスボ岩盤研究所 (スウェーデン)



幌延国際共同プロジェクト (幌延)

<http://www.jaea.go.jp/04/tisou/toppage/top.html>



Japan Atomic Energy Agency  
Geological Disposal Research and Development Department (Oct. 2023)

本パンフレットは、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  
地層処分研究開発推進部にて作成しています。

表紙写真提供：広瀬 郁朗氏

