

研究開発の現状について

令和2年 1月27日



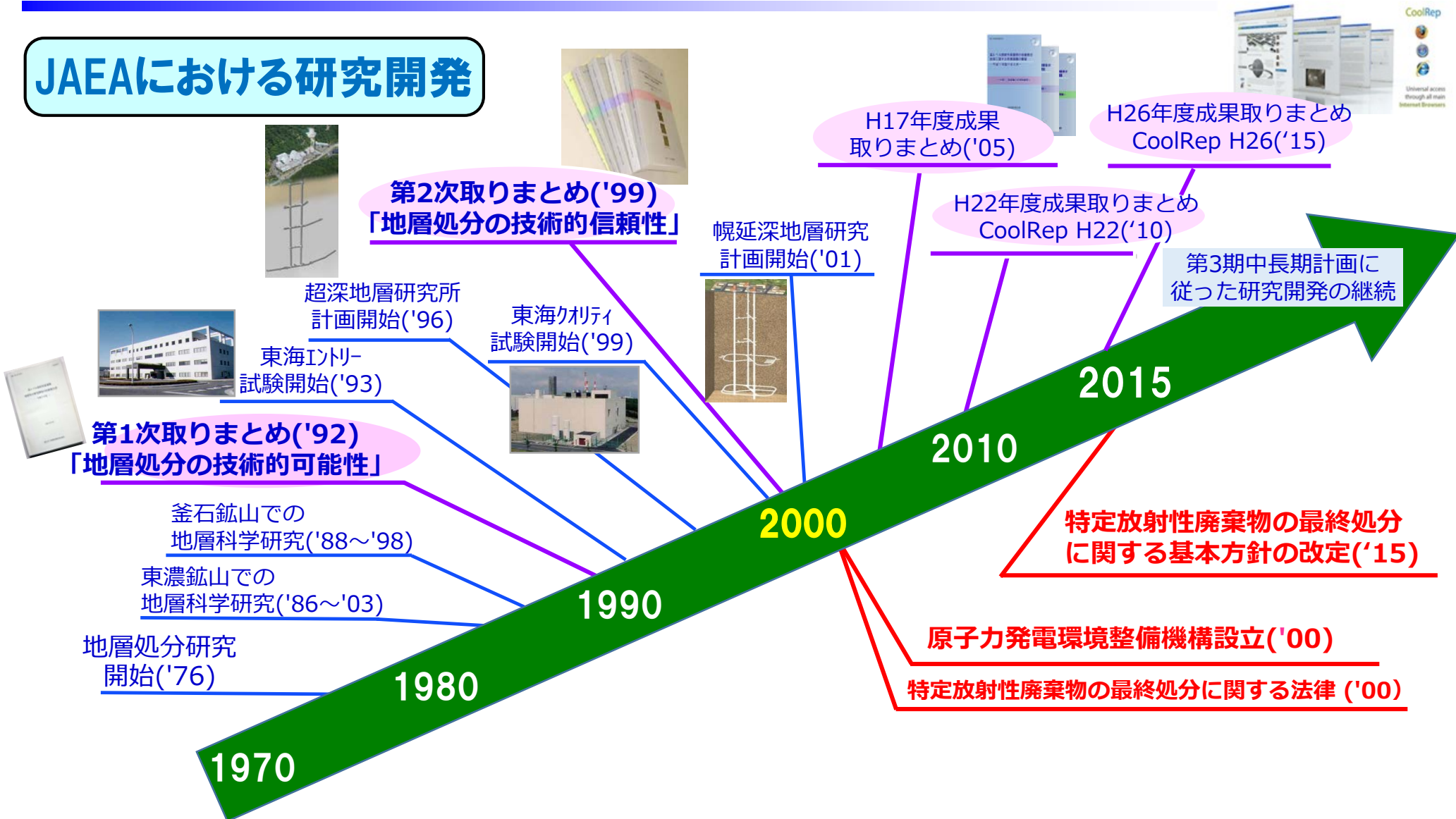
国立研究開発法人日本原子力研究開発機構

本日のご説明内容

1. 研究開発の経緯
2. JAEAにおける研究開発計画等
3. 地層処分技術に関する研究開発の拠点と研究分野
4. 研究開発の現状
 - ① 深地層の研究施設計画
 - ② 地質環境の長期安定性に関する研究
 - ③ 地層処分研究開発
5. まとめ

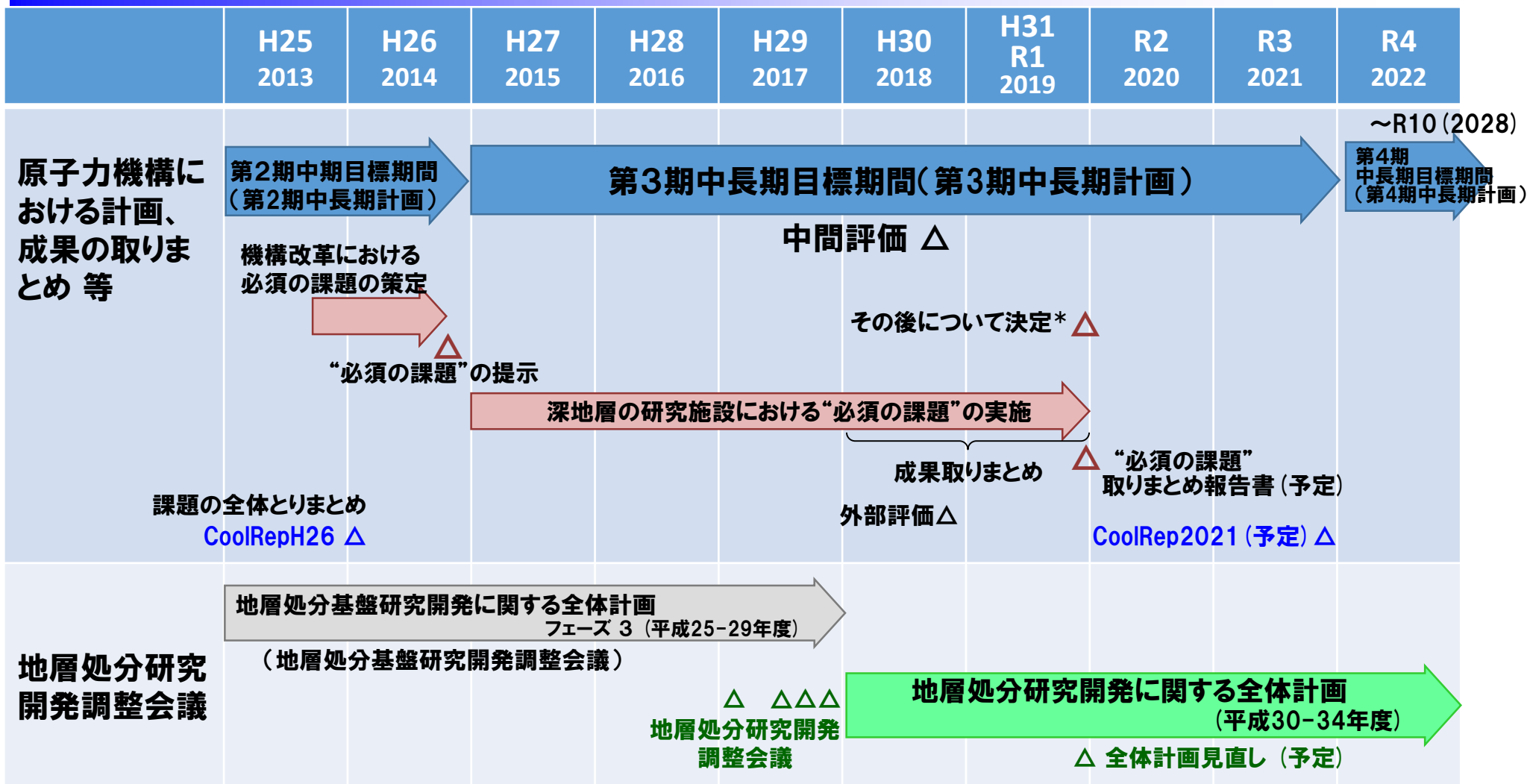
1. 研究開発の経緯

JAEAにおける研究開発



2. JAEAにおける研究開発計画等

現「全体計画」策定時点



*原子力機構 第3期中長期計画の記載 (抜粋)

超深地層研究所計画：(必須の課題)について平成31年度末までの5年間で成果を出すことを前提に取り組む。同年度末までに、土地賃貸借期間の終了(平成34年1月)までに埋め戻しができるようにという前提で考え、坑道埋め戻しなどのその後の進め方について決定する。

幌延深地層研究計画：(必須の課題)に重点的に取り組む。また、平成31年度末までに研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて決定する。

3.地層処分技術に関する研究開発の拠点と研究分野

(イメージ図)



瑞浪超深地層研究所
(岐阜県瑞浪市)



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

深地層の研究施設計画

超深地層研究所計画(結晶質岩・瑞浪市)

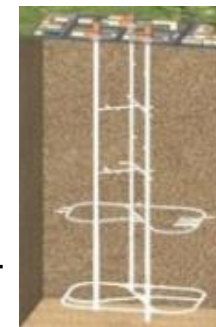
- 深地層の科学的研究

地質環境の長期安定性に関する研究

(イメージ図)



幌延深地層研究センター
(北海道幌延町)



幌延深地層研究センター

深地層の研究施設計画

幌延深地層研究計画(堆積岩・幌延町)

- 深地層の科学的研究
- 地層処分研究開発

核燃料サイクル工学研究所(東海)



地層処分基盤研究施設
[エントリー]



(茨城県東海村)



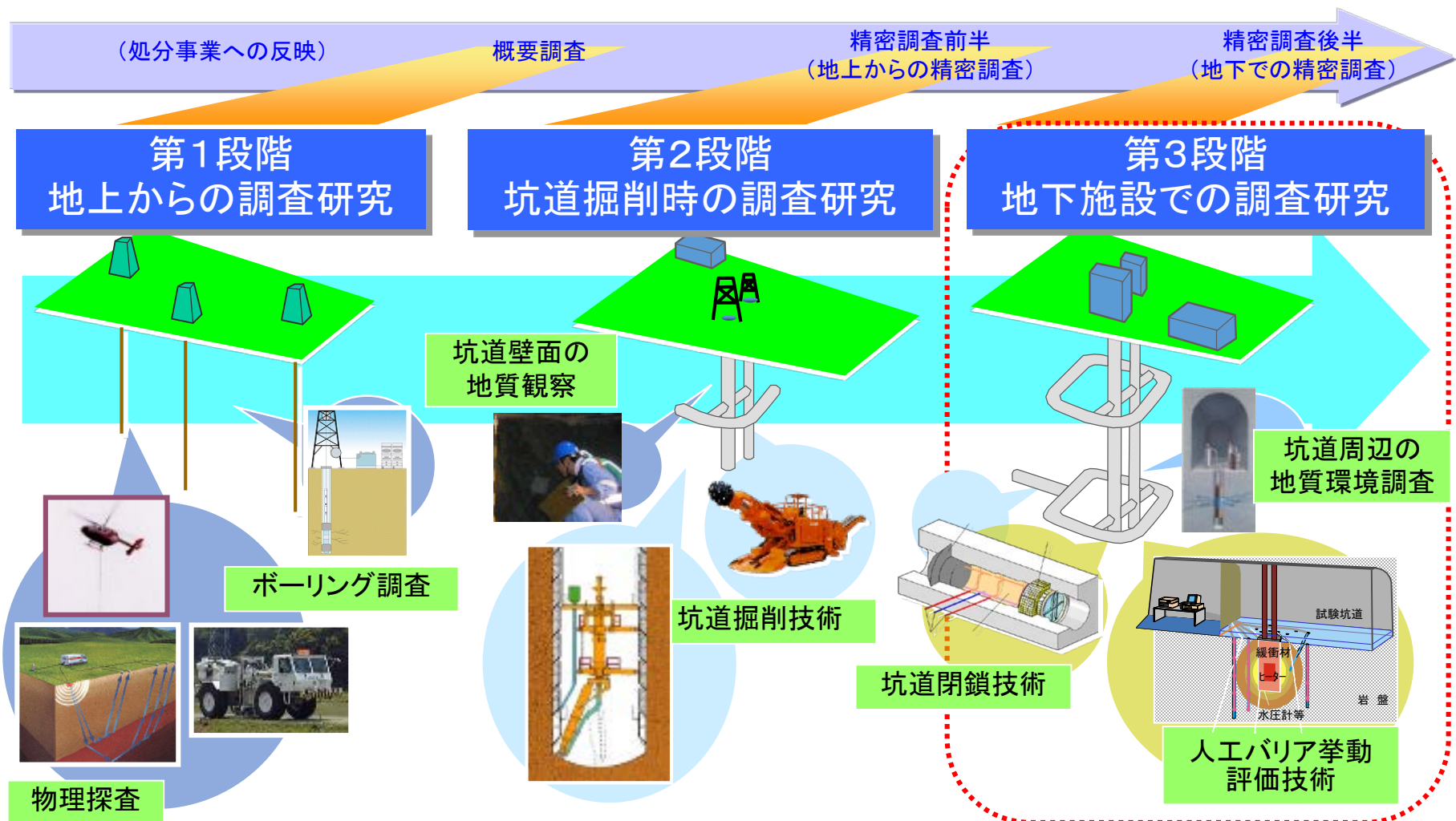
地層処分放射化学研究施設
[クオリティ]

地層処分研究開発

使用済燃料の直接処分研究開発

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：進め方



現在は、地下坑道を利用した調査研究として重点的に取り組むべき課題を選定し、原位置での試験を実施している。

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：「必須の課題」

超深地層研究所計画（結晶質岩・瑞浪市）

(1) 地下坑道における工学的対策技術の開発

- 大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術
- 地下水管理技術

(2) 物質移動モデル化技術の開発

- 長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術

(3) 坑道埋め戻し技術の開発

- 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術
- 長期モニタリング技術など

幌延深地層研究計画（堆積岩・幌延町）

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

- 人工バリア性能確認試験
- オーバーパック腐食試験
- 物質移行試験

(2) 処分概念オプションの実証

- 処分孔等の湧水対策・支保技術等の実証試験
- 人工バリアの定置・品質確認等の方法論に関する実証試験
- 高温(100°C以上)等の限界的条件下での人工バリア性能確認試験

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 水圧擾乱試験等による緩衝能力の検証・定量化
- 地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：H30, R1年度の成果例(瑞浪)

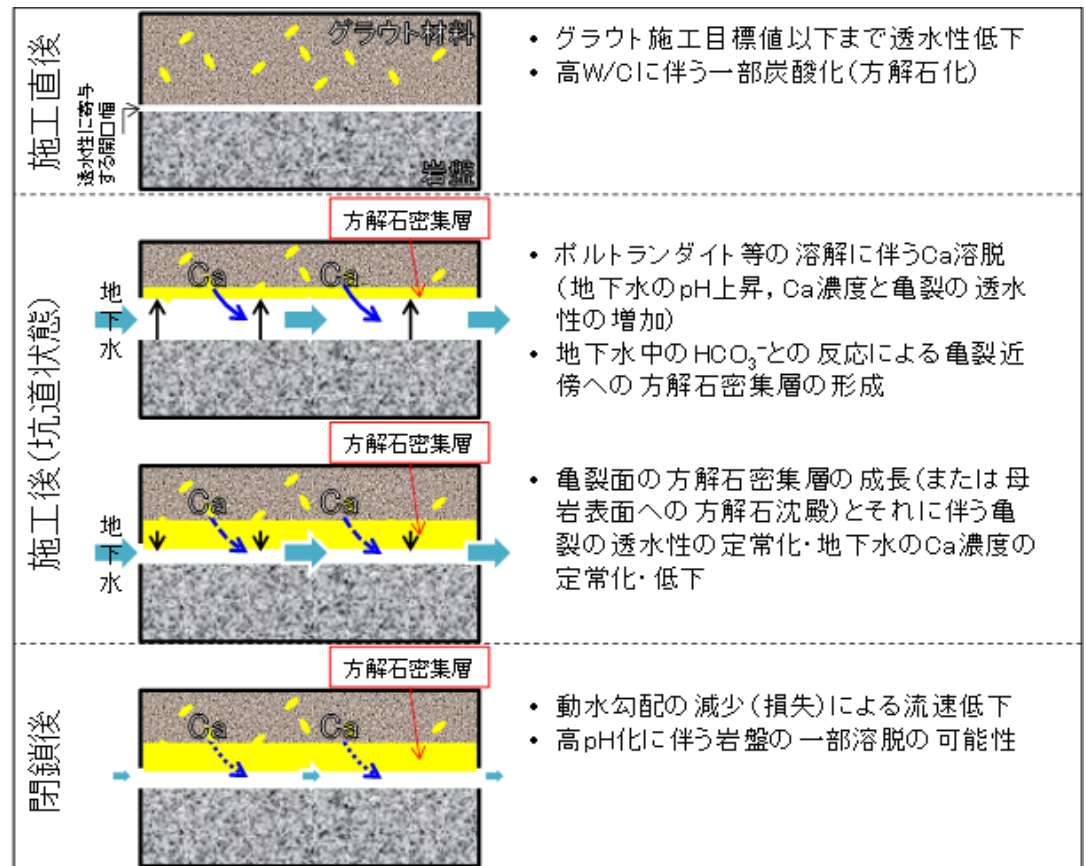
(1) 地下坑道における工学的対策技術の開発

・大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術の開発

グラウチング実施時期が異なる
施工場所で採取したボーリング
コアの室内分析を実施した。

施工後約6年経過した岩盤側において、地下水とグラウト材との接触による新たな鉱物の形成や鉱物の溶脱などの変化は認められなかった。

➤ グ라우チングが地質環境に与える長期的な影響評価に資する、グラウト材と岩盤との相互作用に関する概念モデルを構築した。



グラウト材/岩盤相互作用メカニズムの変遷に係る概念モデル

4. 研究開発の現状

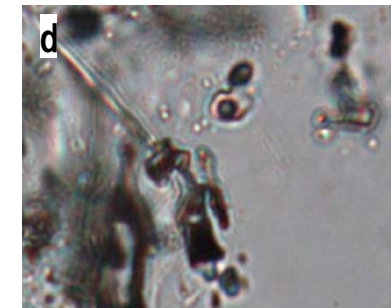
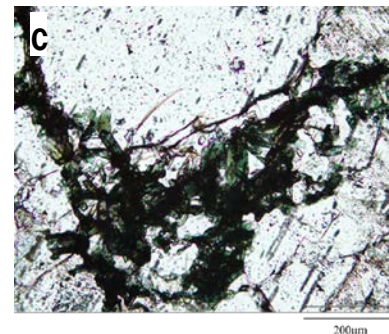
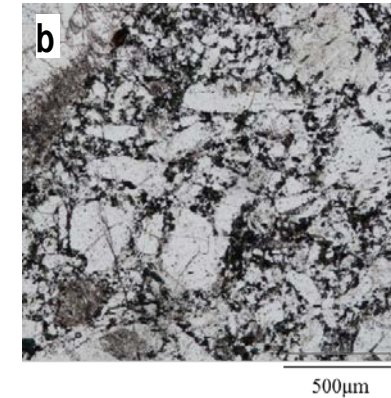
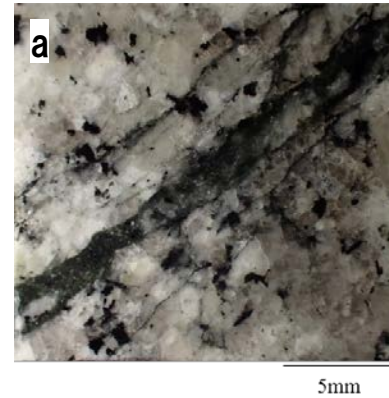
① 深地層の研究施設計画：H30, R1年度の成果例(瑞浪)

(2) 物質移動モデル化技術の開発

・地質環境の長期変遷に関する解析・評価技術の開発

花崗岩の透水特性の形成過程に関わる基礎的知見を取得して、高温流体や断層の影響を評価する手法を構築するため、岩石試料の分析などを実施した。

- 土岐花崗岩を事例として、高温流体による割れ目および充填鉱物の形成履歴調査手法を確立した。



高温流体の痕跡と考えられる細脈(Glassy vein)

a: 研磨片接写。幅2~3mmの黒脈と平行マイクロフラクチャー、破碎した石英が認められる。b: 同薄片の顕微鏡写真(オープンニコル)。黒脈には石英、長石破片の隙間に充填した細粒ホルンブレンド。c: 同、マイクロフラクチャーの開口部に析出した自形ホルンブレンド。d: 同、石英結晶中の高塩濃度流体包有物(直径約10μm)。

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：H30, R1年度の成果例(瑞浪)

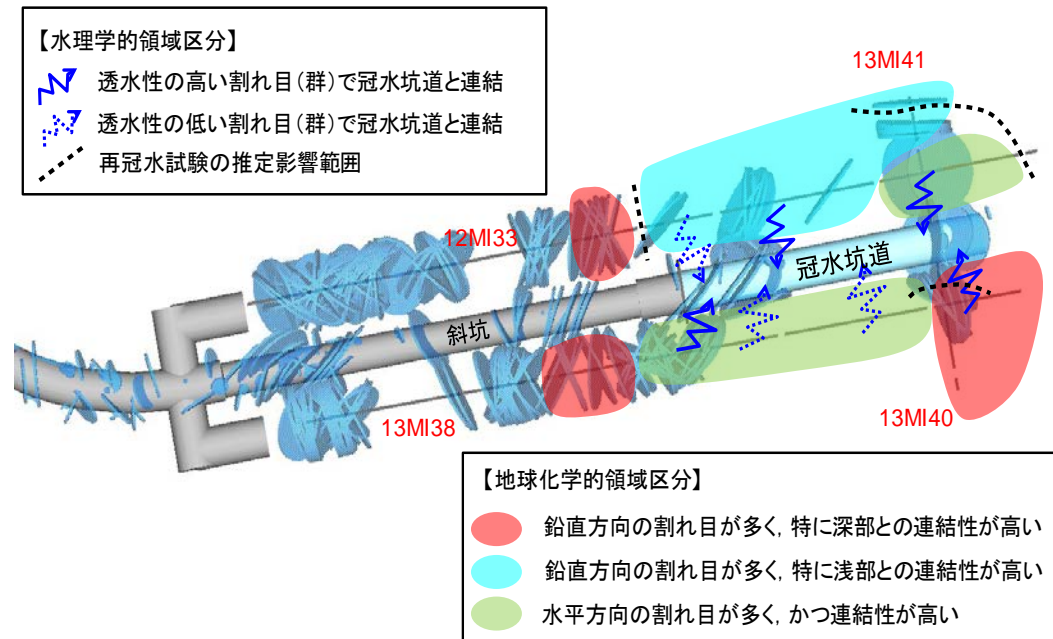
(3) 坑道埋戻し技術の開発

・坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術の開発

地質環境の回復能力等の評価を行うため、深度500m研究坑道の一部を地下水で冠水させ、地下水の水圧・水質及び坑道周辺岩盤の化学的・力学的変化を観察した。

- 地下坑道で得られる情報を用いたDFN*モデル化手法を提示した。
- 割れ目の湧水の有無に着目したデータ解析や割れ目半径との相関性を考慮した透水性の設定といった考え方や手法が、岩盤中の割れ目の分布特性や透水性を統計的に再現する上で有効であることを示した。

* DFN : Discrete fracture network (離散的亀裂ネットワーク)



割れ目分布の不均質性を示した概念図

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：H30, R1年度の成果例(幌延)

(1) 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

・人工バリア性能確認試験 350m坑道

人工バリア定置後の緩衝材が浸潤する過程での熱、水、応力、化学の相互作用を評価するために必要なデータを取得し、熱-水-応力-化学連成解析コードの開発を実施した。

- 熱-水-応力連成解析手法の妥当性を室内及び原位置試験結果により確認した。
- ニアフィールド環境条件の状態設定の信頼性が向上した。今後の人工バリアの最適化・合理化設計技術などに寄与できる。



人工バリア性能確認試験：模擬オーバーパックの設置

・オーバーパック腐食試験 350m坑道

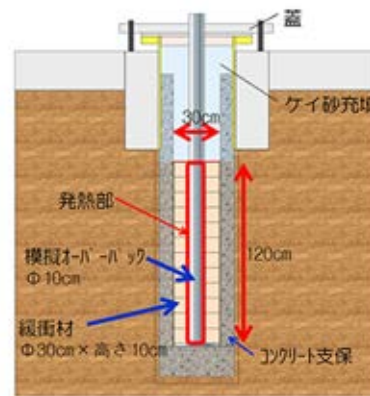
実際の地下環境下におけるオーバーパックの腐食挙動評価手法の適用性を確認し、既往の評価手法の保守性、妥当性を確認した。

- 炭素鋼オーバーパックの腐食評価手法の信頼性が向上した。

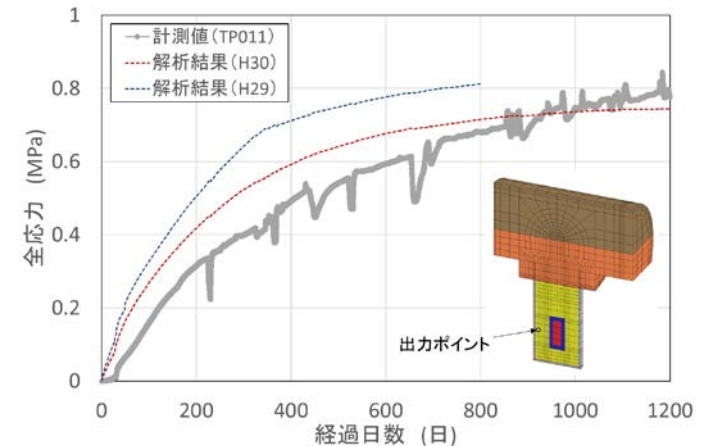
・物質移行試験 350m坑道

泥岩中の基質部および亀裂における物質移行挙動の評価手法を整備した。

- 国内外を通じて例のない、割れ目を有する泥岩中での原位置トレーサー試験・評価手法を構築した。



オーバーパック腐食試験



人工バリア性能確認試験：計測値と連成解析結果の比較(全応力)

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：H30, R1年度の成果例(幌延)

(2) 処分概念オプションの実証

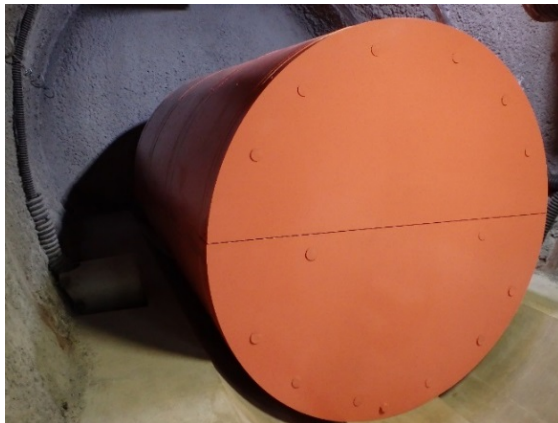
・搬送定置・回収技術に関する試験 350m坑道

処分概念オプションの実証を目的として、実際の坑道を用いて模擬廃棄体の搬送定置・回収技術に関する試験を実施した。具体的には、処分坑道横置き定置方式について、PEM(Prefabricated Engineered barrier system Module)方式の搬送定置・回収技術を実証した。要素技術の実証試験としては、下記の搬送・定置技術及び回収技術の実証試験を実施し、技術の有効性を実証した。

- ・ 回収技術：PEM-坑道間の狭隘な隙間に対する、隙間充填技術および充填材の除去技術(ウォータージェット、オーガ掘削)を実証した。
- ・ 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を確認した。

➤人工バリア横置き方式(PEM方式)のオプション技術及びPEM方式に対する搬送・定置技術及び回収技術を提示した。

【原環センターとの共同研究】



模擬PEMの設置状況



スクリュー方式による埋め戻し材の施工



エアベアリング方要素による搬送試験

4. 研究開発の現状

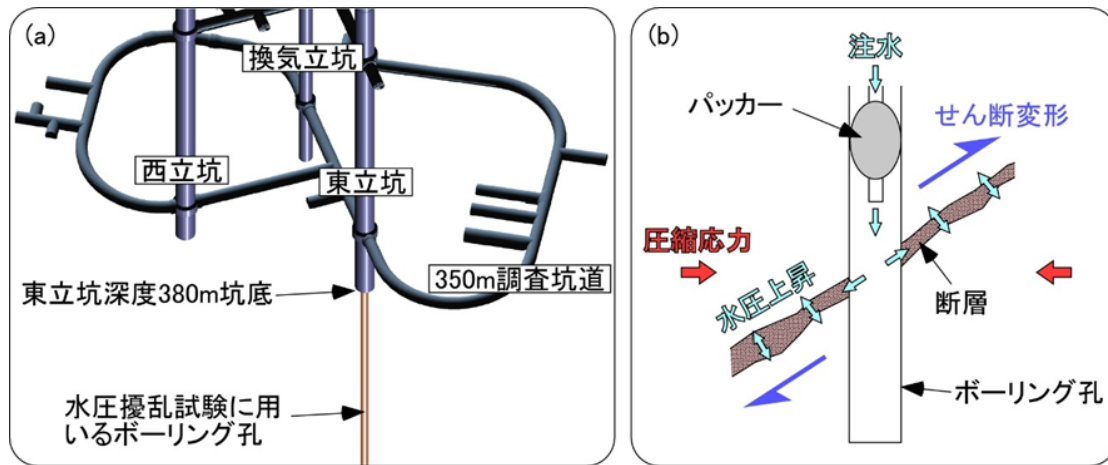
① 深地層の研究施設計画：H30, R1年度の成果例(幌延)

(3) 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

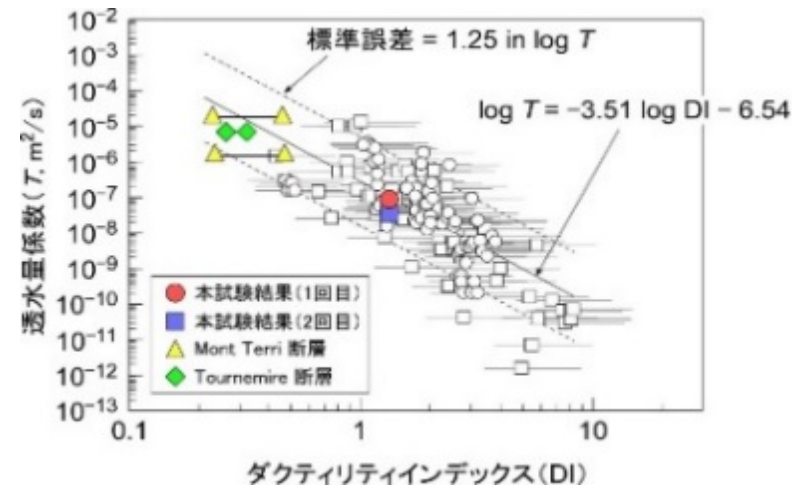
・水圧擾乱試験 350m坑道

地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証を目的とした試験を実施。

東立坑の坑底(深度380m)から掘削したボーリング孔と交差した断層を対象に、水圧擾乱試験(通常の透水試験より高い水圧をかけて断層をずらす試験)を実施するとともに、試験前後の断層の透水性を計測した。



水圧擾乱試験(通常の透水試験より高い圧力で注水して断層のずれを誘発させる試験)の概念



ダクティリティインデックスの経験式と今回実施した水圧擾乱試験結果や他の既報データとの比較

- 断層の透水性は力学で定義されるパラメータ(DI)の経験式の範囲を超えないことを確認した。
- DIは将来の断層運動に伴う透水性の変化を考慮する際の設定根拠となり得る。

4.研究開発の現状

①深地層の研究施設計画：評価

瑞浪および幌延のそれぞれにおける必須の課題に関する成果については、外部の専門家・有識者からなる「深地層の研究施設計画検討委員会」(H31.2)及び「地層処分研究開発・評価委員会」(H31.3)において評価を受けた。評価結果の概要は以下の通り。

●瑞浪について

超深地層研究所計画(瑞浪)における必須の課題成果取りまとめについては、全体として概ね適切に研究が遂行され、所期の目標を達成できたと評価します。今後は、得られたデータや知見が地層処分研究開発全体の枠組みの中にフィードバック・継承されるとともに、関連分野の研究開発・人材育成に最大限有効に活用されるよう、国内外に広く提供・展開されることを期待します。

●幌延について

幌延深地層研究計画における必須の課題成果取りまとめについては、全体として概ね適切に研究が遂行され、当期5カ年の目標を達成できたと評価します。今後は、技術の確立が可能な水準に達するまで、人工バリア性能確認試験および処分概念オプションの実証に関する試験を継続するとともに、本地下研究施設が最先端の地層処分技術を実証するプラットフォーム(共通基盤)として国内外の関係者に広く提供・活用されることを期待します。

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：今後について

「瑞浪超深地層研究所の埋め戻し工事工程案について」(令和元年8月8日*)

- 土地賃貸借期限の令和4年1月までに、地表まで埋め戻し、また地上施設を撤去する。
- 埋め戻し後も環境モニタリング調査を実施し、その後、基礎コンクリート等の撤去と整地を実施する。

* <https://www.jaea.go.jp/04/tono/press/190808/r010808.pdf> 参照

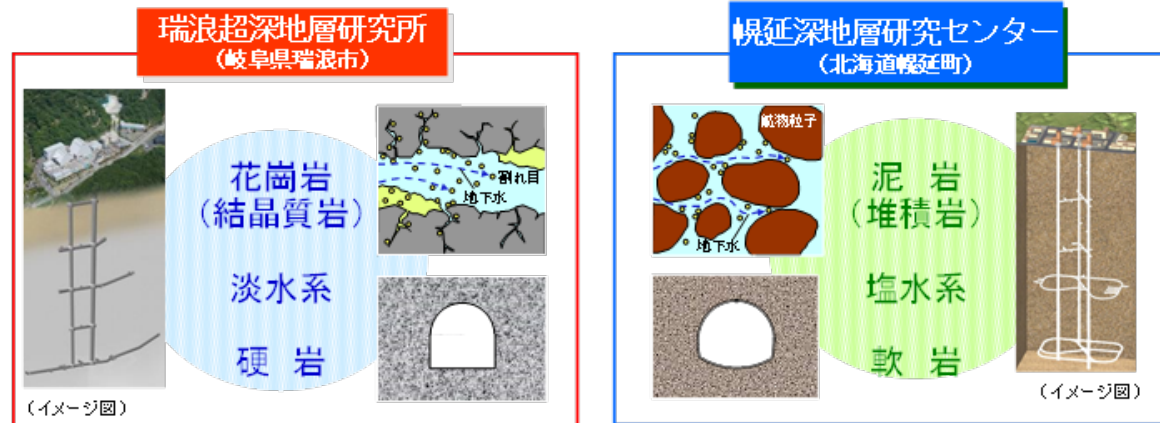
「令和2年度以降の幌延深地層研究計画(案)」(令和元年12月6日*)

- 引き続き、「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」の3つの研究課題に取り組む。
- 「国内外の関係機関の資金や人材を活用することを検討します。」
- 「研究計画の遂行に当たっては、最終処分場としないことや研究終了後は埋め戻すことなどを定めた北海道および幌延町との協定を遵守するとともに、安全確保を第一に調査研究を進めていきます。」

* https://www.jaea.go.jp/04/horonobe/topics/31/topics_1206.html 参照

4. 研究開発の現状

① 深地層の研究施設計画：今後について



- ・ 両地下研では、大深度の水平地下空間を安全に掘削し維持する技術を確立できた。
- ・ その地下空間を活用しながら、大深度の地質環境を調査・評価する技術も確立できた。

すなわち、法律で定められた最終処分場の深度(300m以深)までの地下空間を調査・評価し、そこに地下施設を建設・維持できることを実証した。

ここまでを調査研究の目標としてきた瑞浪は終了する。

研究開発課題の設定

- 幌延では、これまでの成果を精査し世界動向も踏まえて設定した、以下の研究課題に取り組む。
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

4. 研究開発の現状

② 地質環境の長期安定性に関する研究：研究開発課題

(1) 調査技術の開発・体系化

- サイトの選定や安全性の検討に必要なデータ取得技術

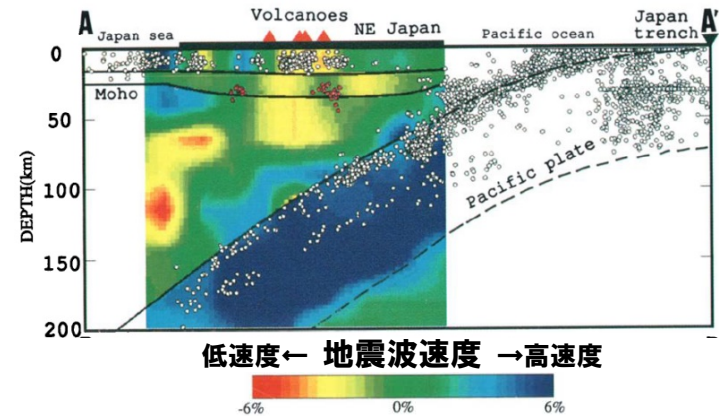
(2) 長期予測・影響評価モデルの開発

- 変動シナリオに基づく安全評価に必要な技術

(3) 年代測定技術の開発

- (1), (2)の信頼性を向上するための技術基盤

上記の研究開発課題については、地層処分技術WG*において示された課題(広域現象の理解に関する研究課題、概要調査以降の調査・評価手法に関する研究課題)を考慮し、設定している。



地震波トモグラフィによる地殻構造のイメージング例

対象施設	年代測定法	年代測定範囲(年前)							主な反映先	対象物質	実用化へのスケジュール
		10 ⁶	10 ⁵	10 ⁷	10 ⁶	10 ⁵	10 ⁴	10 ³			
加速器質量分析装置 (ベレトロン年代測定装置)	¹⁴ C法								断層活動	地下水, 有機物	実用化済
	¹⁰ Be法								侵食速度	石英	実用化済
	²⁶ Al法								侵食速度	石英	実用化済
	³⁶ Cl法								地下水年代	地下水	~R3
	¹²⁹ I法								地下水年代	地下水	実用化済
希ガス質量分析装置	K-Ar法								断層活動	自生雲母粘土鉱物	実用化済
四重極型質量分析装置	(U-Th)/He法								侵食速度	アパタイト, ジルコン	実用化済
光ルミネッセンス測定装置	OSL法								断層活動	石英	実用化済
									隆起速度	長石	実用化済
電子スピン共鳴装置	ESR法								断層活動	石英, 炭酸塩鉱物	~R2
高精度希ガス質量分析装置	希ガス法								地下水年代	地下水	実用化済
電子プローブマイクロアナライザ	CHIME法								後背地解析	モナザイト, ジルコン	実用化済
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	U-Pb法								後背地解析	ジルコン	実用化済
									断層活動	炭酸塩鉱物	実用化済

技術開発の対象年代範囲

様々な年代測定手法とその年代測定範囲

*総合エネルギー調査会電力・ガス事業分科会原子力小委員会地層処分技術ワーキンググループ, 最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価—地質環境特性および地質環境の長期安定性について—, 2014, 61p.

4. 研究開発の現状

② 地質環境の長期安定性に関する研究: H30, R1年度の成果例

(1) 調査技術の開発・体系化

・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

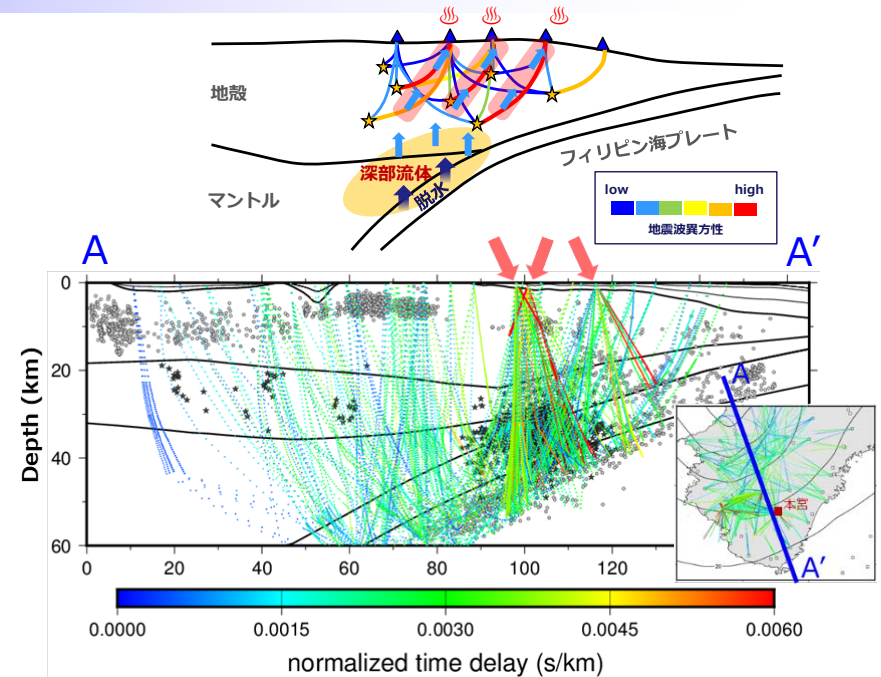
深部流体が地表付近へ上昇する際の移行経路となる構造の特徴を検討することを目的とし、事例研究を通じて、地震波線追跡及びS波偏向異方性解析を実施した。

➤ 移行経路となる割れ目の特性を把握できる見通しを得た。

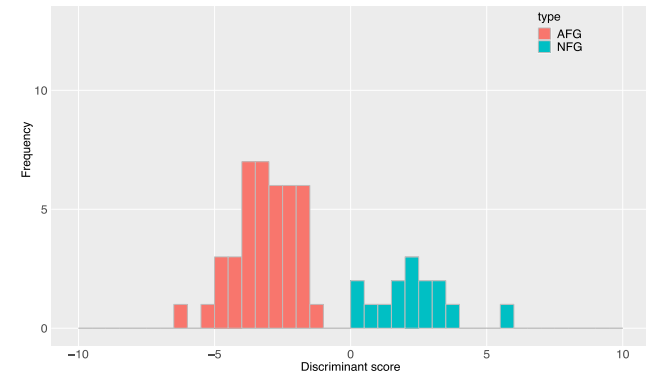
・地震・断層活動の活動性及び影響の調査・評価技術の高度化

上載地層が分布しない断層の活動性を定量的な指標で評価するための手法開発を実施した。

➤ 断層破碎帯内物質の化学組成データを用いた多変量解析による機械学習等の取入れにより、活断層と非活断層の識別指標可能性についての見通しを得た。



S波偏向異方性解析による流入経路推定の試行的概念モデル(上図)及び地震波速度異方性の解析結果の例(下図)



断層破碎帯内物質の化学組成を用いた多変量解析による活断層(赤色)と非活断層(青色)の分類結果の例

4. 研究開発の現状

② 地質環境の長期安定性に関する研究：H30, R1年度の成果例

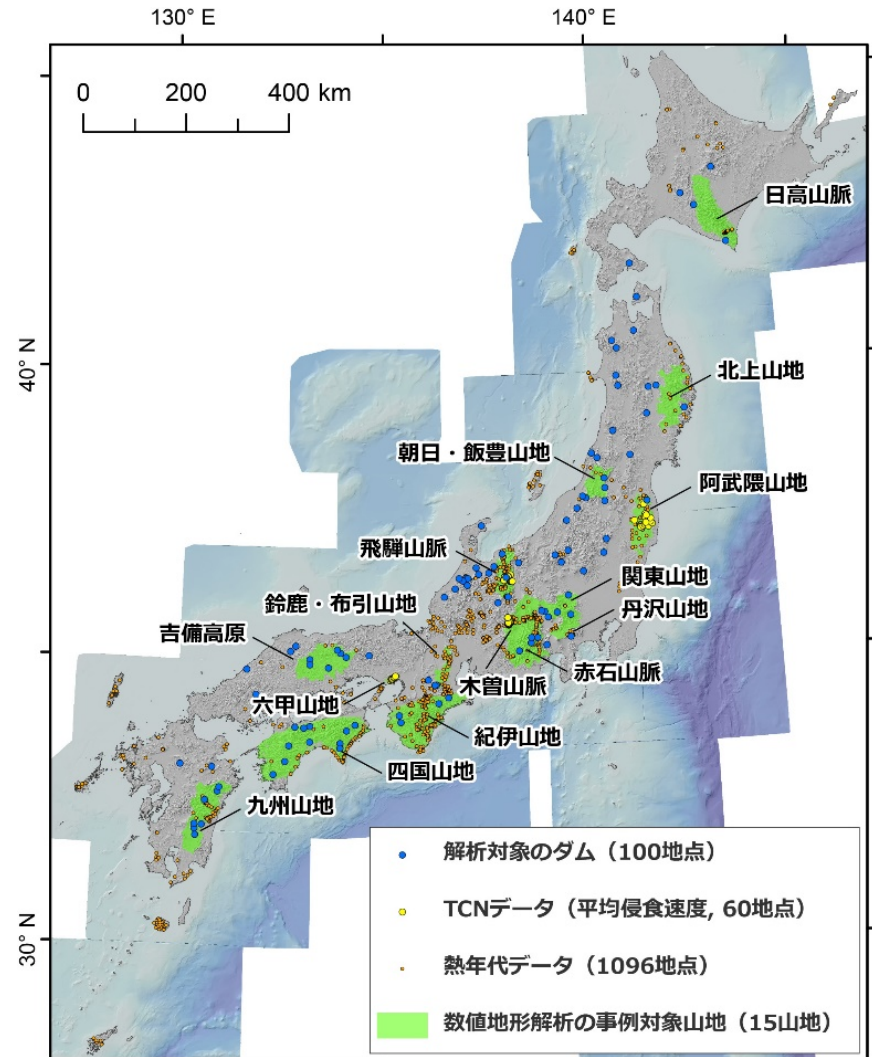
(2) 長期予測・影響評価モデルの開発

・最新知見を踏まえた隆起・侵食データマップの整備

侵食速度については、熱年代学的手法や宇宙線生成核種(TCN)法等新たな年代測定手法の取入れにより、従来データが不足していた時間スケールの侵食速度データを拡充した。

隆起速度については、過去数十万年間に隆起・沈降の傾向・速度が変化した場の見取り図を作成した。

➤ 予測・評価の際に必要とされる $10^2 \sim 10^6$ 年スケールでの地球科学データに基づいた隆起・侵食速度に関する、より汎用性の高いマップを構築できる見通しを得た。



侵食速度データの見取り図と地形解析を実施した山地

4. 研究開発の現状

② 地質環境の長期安定性に関する研究：H30, R1年度の成果例

(3) 年代測定技術の開発

- ・ 離水地形の複数手法を用いた年代測定に基づく隆起・侵食速度推定技術の高度化

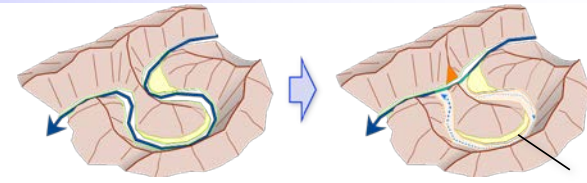
熱年代学的手法やルミネッセンス法など複数手法を用いた年代測定に基づく離水地形からの隆起・侵食速度推定技術の高度化を実施した。

- 環流旧河谷における事例研究で、堆積物中に含まれる鉱物の物理学特性を用いた年代測定法(ルミネッセンス法)に基づく隆起速度の推定手法の提示・整備を行った。
- 海成侵食段丘を事例研究で、原位置宇宙線生成核種年代測定を実施し、その適用性を確認した。

- ・ 機器分析による年代測定技術の高度化

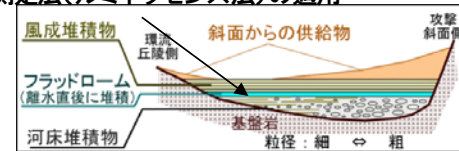
上記を支える機器分析技術の高度化として、AMS(ペルトロン)等による測定核種の拡充、測定精度を向上を目指した技術開発を実施した。

- 特にAMSについて、ヨウ素等の測定核種の拡充や測定精度の向上、測定対象の多様化等、汎用性の拡充に関する見通しを得た。



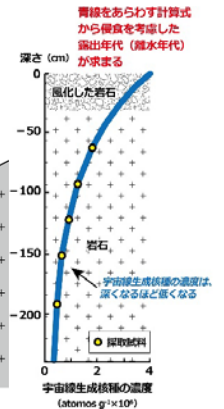
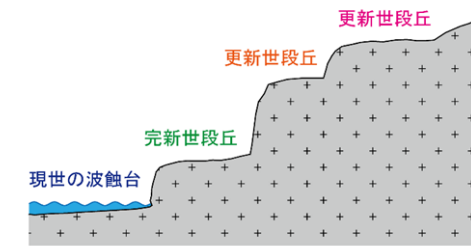
堆積物中の鉱物の物理学特性を用いた年代測定法(ルミネッセンス法)の適用

環流旧河谷



環流旧河谷の構成層の模式断面

離水河成地形(環流旧河谷)の地形・地質イメージ



海成侵食段丘を対象とした原位置宇宙線生成核種年代測定の様式図



土岐地球年代学研究所AMS(ペルトロン)

4. 研究開発の現状

③ 地層処分研究開発: 研究開発課題

(1) 処分システムに関する工学技術の信頼性向上

- ・人工バリア等の基本特性データベースの拡充
- ・人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

(2) 安全評価手法の高度化

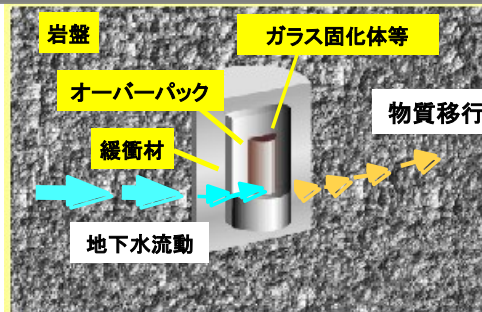
- ・放射性核種の移行に係る現象理解とそれに基づく評価モデルの高度化
- ・安全評価に係るデータベースの拡充

地層処分基盤研究施設(エントリー)



人工バリアシステムの健全性評価試験

地層処分における核種移行モデルの高度化



- 熱力学・収着・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
- オーバーパックデータベース

各種データベースの構築(HPで公開中)

人工バリアの長期性能評価に関する室内試験やデータベースの構築

地層処分放射化学研究施設(クオリティ)



放射性物質の濃度分析



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

放射性物質の溶解・移行挙動等の試験研究

4.研究開発の現状

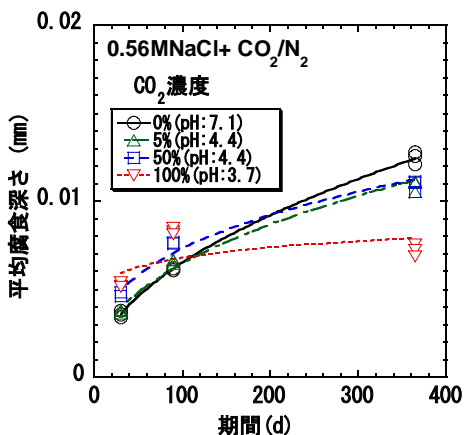
③地層処分研究開発：H30, R1年度の成果例

(1) 処分システムに関する工学技術の信頼性向上

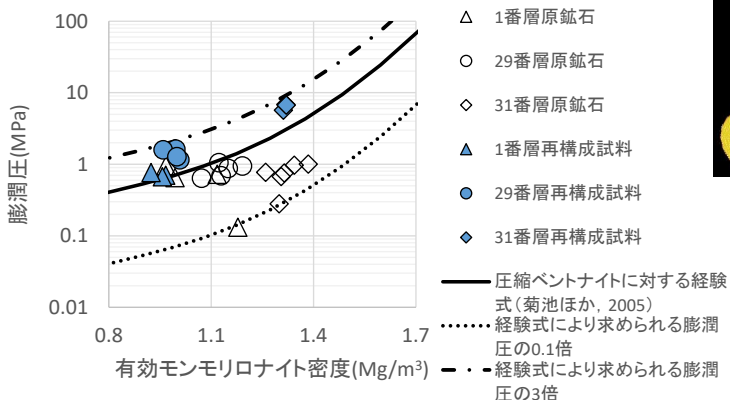
・人工バリア等の基本特性データベースの拡充 及びデータベース開発

腐食性の高い地下水条件(高CO₂条件)を含む幅広い条件に対するオーバーパックの腐食試験や、セメンテーションが緩衝材の基本特性に与える影響等に関する試験を実施してデータを拡充し、データベースの更新を行なった。また、幌延URLにおける原位置試験に用いられた緩衝材と模擬オーバーパックの調査、分析を行い、過渡状態における腐食挙動に関する工学規模での知見を取得した。

➢ 幅広い環境条件に対する人工バリアの適用性や堅牢性、長期的な挙動の推定に資するための基礎的情報を拡充した。



緩衝材中における炭素鋼の腐食速度の測定結果の例(吹込みガス中のCO₂濃度の影響)



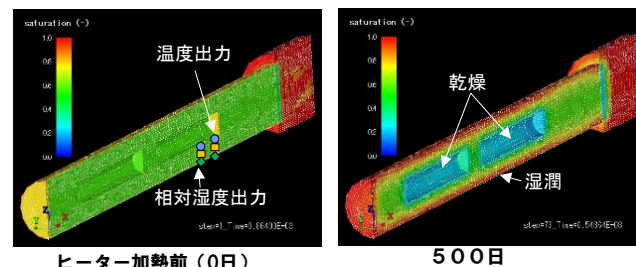
セメンテーションしたベントナイト原鉱石および再構成試料(粉碎した原鉱石を締固めた試料)を対象とした膨潤圧測定結果例

人工バリアの基本特性に関する試験結果例

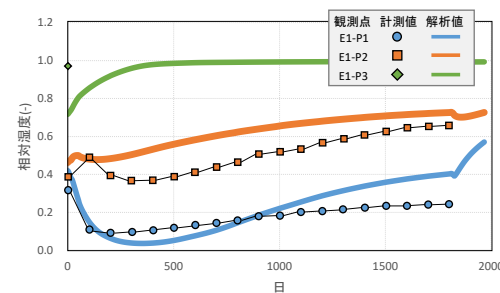
・人工バリア等の長期複合挙動に関する研究

人工バリアの連成現象評価技術の開発として、海外での原位置試験データとの比較により熱-水-応力連成解析モデルの妥当性の確認を行った。また、ニアフィールドの力学的挙動を過渡期から長期まで一貫して評価が可能となるような力学解析コードの高度化を行った。

➢ 原位置試験を活用して人工バリアの挙動に関する連成現象解析技術の適用性の確認とともに、過渡期から長期に至る力学挙動を評価する技術の整備により、人工バリア挙動をより現実的に把握できる技術を構築した。



解析結果の例(飽和度分布)



相対湿度の時間変化に関する解析結果と原位置試験データの比較例

海外での原位置試験(FEBEX試験)に対する連成解析例

4. 研究開発の現状

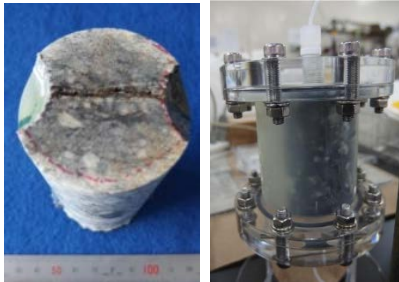
③ 地層処分研究開発：H30, R1年度の成果例

(2) 安全評価手法の高度化

・岩石中の放射性核種の移行モデルの高度化

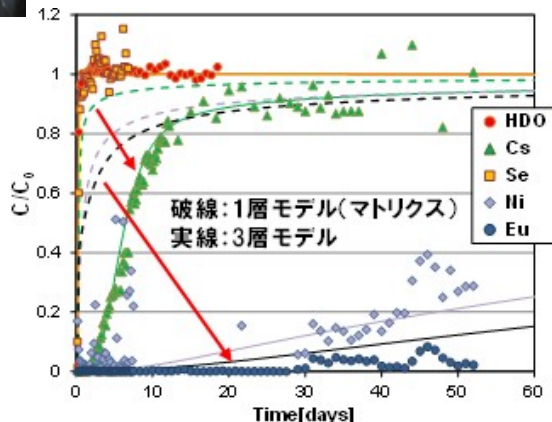
スイスグリムゼルの花崗閃緑岩を対象に、亀裂性媒体中の核種移行評価において重要となる亀裂近傍の変質層が核種移行に及ぼす影響メカニズムを解明するとともに、その効果を反映した核種移行モデルを構築し、室内トレーサー試験への適用により有効性を確認。

➤ 今後NUMOで必要となる実際の地質環境の特徴を反映したモデル化手法を提示した。

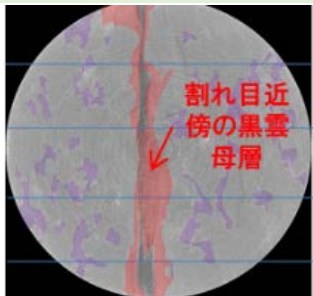


亀裂を含むグリムゼルの岩石試料と室内トレーサー試験状況

変質層を考慮したモデルの適用性



亀裂表面の変質層の不均質性の評価



・核種移行データベースの拡充とパラメータ設定手法の開発

安全評価で必要となる岩石への収着分配係数の設定手法について、国内外の最新知見に基づき、複数の設定手法を整備し、地質環境などのサイトの条件やサイトの調査段階に応じて、適切な手法を選定し、パラメータを設定できる包括的な技術を構築。

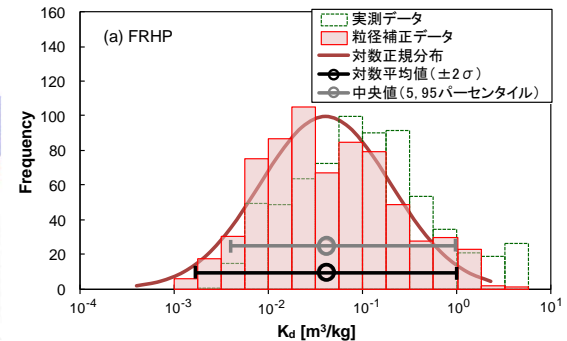
➤ NUMOの包括的技術報告書(レビュー版)の核種移行評価に反映。現在NUMOで検討されている実際のサイト条件でのパラメータ設定手法の構築に活用できる基盤技術を提示した。

【NUMOとの共同研究を含む】

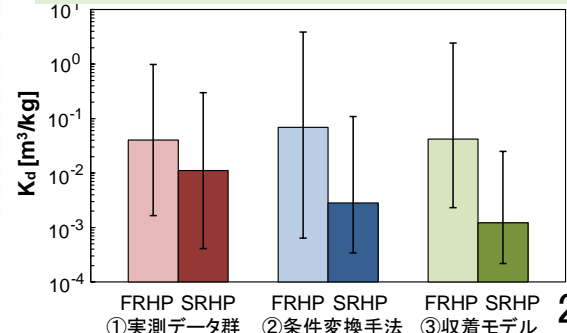
JAEA-SDBからのデータ抽出



実測データからの評価:Cs-花崗岩



複数の設定手法の比較:Cs-花崗岩



5. まとめ

- JAEAは、自身の中長期計画や「地層処分研究開発に関する全体計画」に沿って、関係機関との適切な役割分担と協力の下、地層処分技術に関する研究開発を着実に進めている。
 - 深地層の研究施設計画については、第3期中長期目標期間の当初5年間において、必須の課題に取組み、その成果のとりまとめを実施した。なお、そのとりまとめや外部評価を踏まえ、令和2年度以降の計画(案)を策定した。
 - 地層処分技術WGで示された課題を踏まえた地質環境の長期安定性に関する研究は着実に進展しており、地層処分研究開発においては、安全評価におけるパラメータ設定の包括的手法の開発など、NUMOとも協力しながら、その包括的技術報告書(レビュー版)にも直接寄与する成果を創出している。
- 現行の「全体計画」については、これまでの研究成果の進捗や今後の機構の研究計画を踏まえ、実施事項の重点化、実施方法の明確化などの観点から確認していくのが適切と考えられる。

(参考1)代替処分オプション

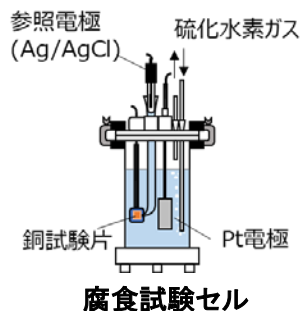
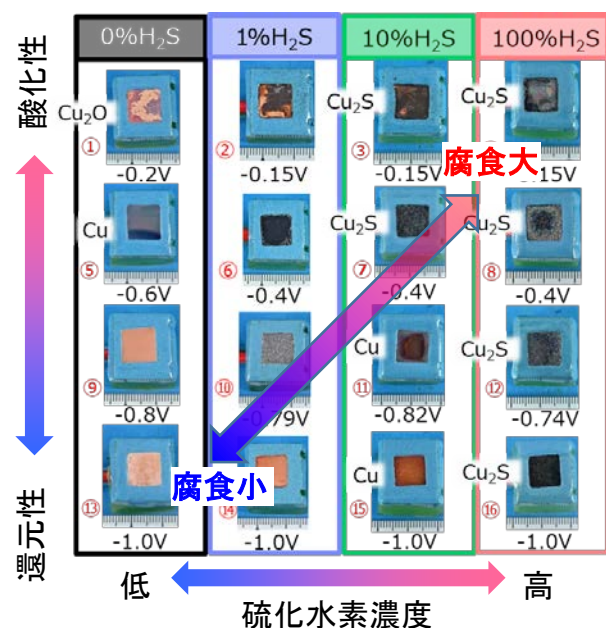
使用済燃料の直接処分研究開発：H30, R1年度の成果例(その1/2)

(1) 処分容器の挙動評価

・処分容器の長寿命化

純銅の腐食に影響を及ぼすことが知られている硫化物等の化学種を対象に、その濃度等をパラメータとした腐食試験等を実施し、腐食速度や腐食形態への影響についてのデータを取得している。

➢ 環境条件によっては極めて長い腐食寿命を期待できる純銅を中心に、わが国における適用条件を提示し、長寿命化に資する基礎的情報を拡充した。



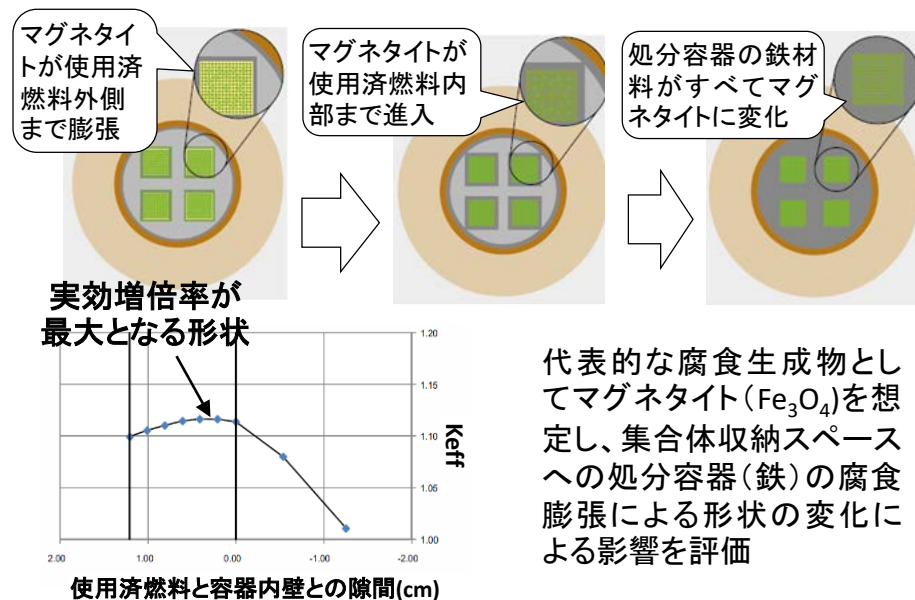
種々の電位(酸化還元性)条件において硫化水素濃度による腐食速度や表面状態への影響を調査

硫化水素濃度を変えた純銅の腐食試験例(80°C人工海水)

・処分後の臨界安全評価

容器内部での現実的な材料配置を想定して臨界現象をモデル化するうえで重要となる特性やプロセス及びそれらの変遷等を国内外での関連する検討事例等から抽出し、それを参考として、対象とする体系での臨界安全評価技術を、試解析とその結果の分析を実施しつつ開発している。

➢ 処分後の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を提示した。



代表的な腐食生成物としてマグネタイト(Fe₃O₄)を想定し、集合体収納スペースへの処分容器(鉄)の腐食膨張による形状の変化による影響を評価

スウェーデンでの検討事例

(参考1)代替処分オプション

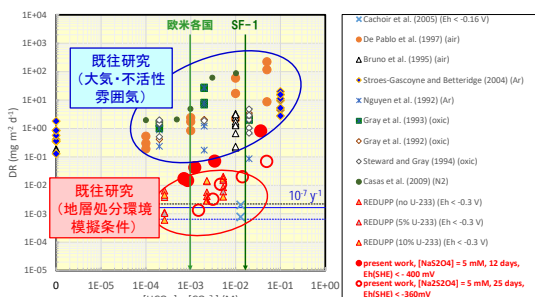
使用済燃料の直接処分研究開発：H30, R1年度の成果例(その2/2)

(2) 使用済燃料の挙動評価

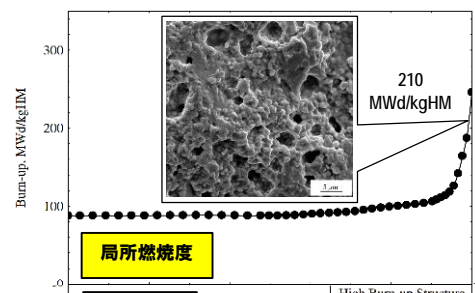
・使用済燃料浸出挙動の調査研究

わが国の地質環境条件下で想定される高濃度炭酸共存下でのUO₂の溶解速度と溶解度のデータを取得している。また、瞬時放出率のパラメータ設定の不確実性やペレットのリム領域の影響などに関する諸外国での最新の知見を拡充。

- 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の理解の深化、使用済燃料の溶解速度パラメータの設定に資する基礎的情報を拡充した。

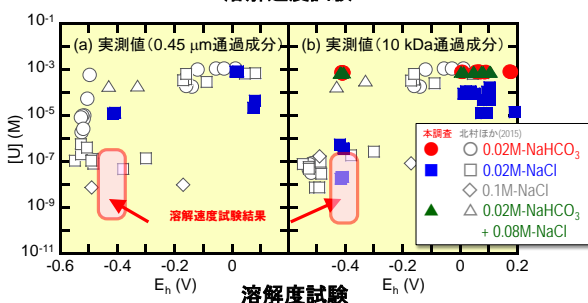


溶解速度試験

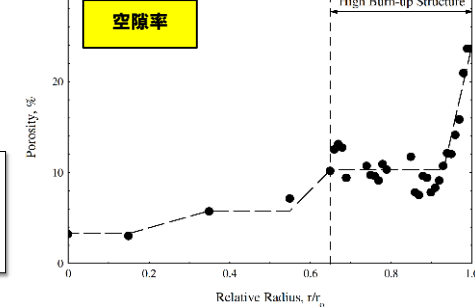


局所燃焼度

空隙率



溶解度試験



UO₂の溶解速度と溶解度の試験結果
(高濃度炭酸共存下)

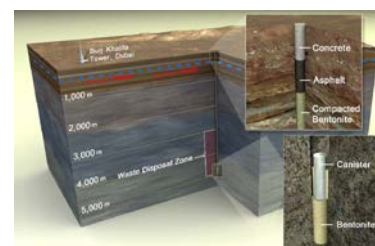
PWR使用済燃料ペレット内の局所
燃焼度と空隙率分布の調査事例

(3) その他の代替処分オプション

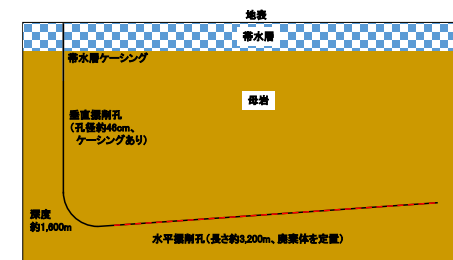
・超深孔処分の調査研究

超深孔処分に関する諸外国での最新の検討事例と検討状況等を確認。また、適用性・成立性に影響を与える可能性のある因子を抽出し、それら因子の安全性への影響の程度や傾向を、試解析とその結果の分析を実施しつつ把握。

- 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した。



サンディア国立研究所の概念



Deep Isolation社の概念

米国での検討事例

超深孔内および超深孔周りの地下水流動に関する因子:

- ✓ 廃棄体
- ✓ 緩衝材
- ✓ EDZ(掘削影響領域)
- ✓ シール材
- ✓ 上部埋戻し材
- ✓ プラグ等

廃棄体位置領域での核種移行に関する因子:

- ✓ 処分容器の有無
- ✓ 処分容器の核種閉じ込め性能の有無
- ✓ 緩衝材の有無
- ✓ EDZの有無等

地質環境条件に関する因子:

- ✓ 岩種(結晶質岩/堆積岩)
- ✓ 地下水(降水系/海水系)
- ✓ 母岩の透水性(高透水性/低透水性)
- ✓ 母岩の不均質性
- ✓ 優先的な地下水移行経路の存在
- ✓ 断層等

適用可能な工学技術に関する因子:

- ✓ 掘削孔径による制約等
(掘削孔径が掘削実績程度(径約20cm)だと、緩衝材や核種閉じ込め性能を有する処分容器を設置できない可能性等)

適用性・成立性に影響を与える可能性のある因子例

(参考2)国民との相互理解促進活動

・施設見学の実施

【東濃】H14からR1上半期まで 延べ41,225人、
うち入坑者数延べ21,277人 (うちH30:501人、R1上期:1,127人)

【幌延】H19からR1上半期まで 延べ120,865人、
うち入坑者数延べ11,795人 (うちH30:922人、R1上期:968人)

【東海】H10からR1上半期まで 延べ28,087人 (うちH30:841人、R1上期:415人)

・イベントを通じた地層処分に関する国民との相互理解促進

子供を含めた一般の方々を対象としたサイエンスカフェ等の主催や各種イベントに出展・協力し、科学や機構の業務に興味を持ってもらう活動を実施した。

【H30】「経済産業省子どもデー」。(NUMOと共同出展: H30.8)

【R1】「青少年のための科学の祭典」(R1.7)

「経済産業省子どもデー」。(NUMOと共同出展: R1.8)

・科学的特性マップに関する対話型全国説明会への協力

エネ庁・NUMO共催により全国で開催された科学的特性マップに関する対話型全国説明会に研究者を派遣 (H30.10及びR1.5～10:7名派遣)し、意見交換に協力した。



地下施設見学会(幌延350m調査坑道)



「経済産業省子どもデー(H30)」の様子



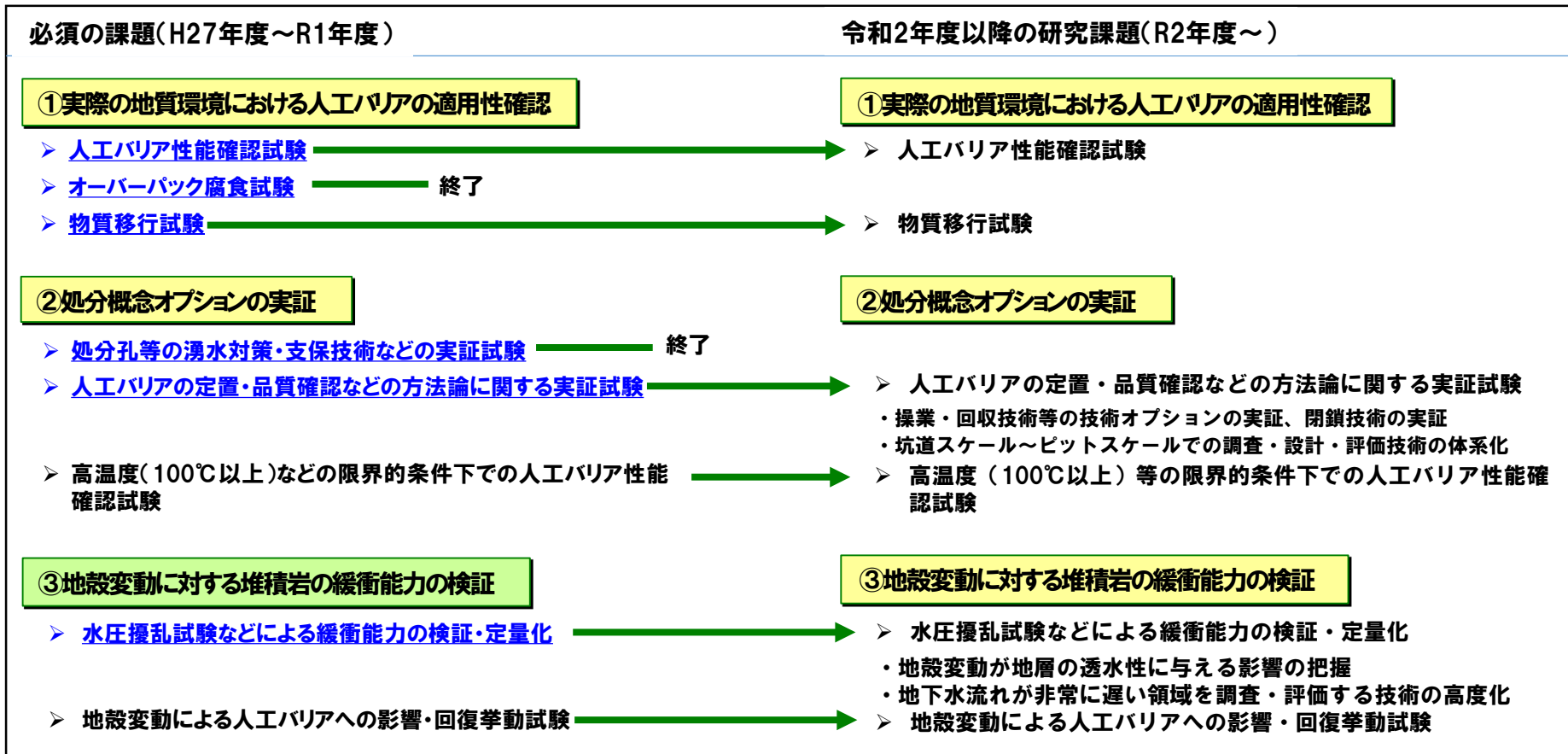
サイエンスカフェ等の開催



「青少年のための科学の祭典(R1)」の様子

(参考3)幌延深地層研究計画における研究課題の変遷

研究課題の変遷：必須の課題～令和2年度以降の研究課題



- 地層科学研究
- 地層処分研究開発

*令和2年度以降の研究課題については、地層処分研究開発を中心に取り組んでいきます。なお、地層科学研究のうち、地層処分研究開発の目的である処分システムの設計・施工や安全評価とリンクした形での指標活用が考えられるもの、例えば、岩盤の水の流れやすさや地球化学的特性のデータの取得等については、地層処分研究開発を進める観点から、引き続き必要最低限の研究開発に取り組めます。