



# 第4期中長期目標期間における 高レベル放射性廃棄物の処分技術等に関する 研究開発の基本方針案

令和3年10月13日

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

# 第4期中長期目標期間での取組の方向性※(案)

## 1. 地層処分の技術基盤の着実な整備

- ・幌延深地層研究計画における「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づく調査研究、稚内層深部(深度500m)への坑道の展開
- ・超深地層研究所計画における、「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づく坑道埋め戻し後の環境モニタリング調査
- ・地質環境の長期安定性に関する研究に係る、自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術の整備
- ・地層処分研究開発としての、処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化

## 2. 新たな研究システムとして将来を見据えた研究開発による、成果の他分野への展開

- ・最先端のデジタル技術を取り入れた技術基盤整備(ビッグデータを活用したデジタルツイン技術の基盤整備)
- ・地質環境変化の予測・評価技術を応用した、自然災害予測技術の開発
- ・超小型AMSの開発・実用化

## 3. 幅広い選択肢を確保する観点での、代替処分技術に関する研究開発

- ・直接処分研究開発など、代替処分オプションに特徴的な現象に着目した基礎基盤研究

## 4. 研究活動を通じた社会との協働と還元

- ・国際連携による幌延深地層研究センターの国際拠点化
- ・実施主体、国内外の研究開発機関、大学等との技術協力や共同研究等を通じ、最先端の技術や知見を取得・提供し、地層処分に関する技術力の強化・人材育成に貢献
- ・施設見学、ウェブサイトの活用による研究開発成果に関する情報の公開を通じた、地層処分に関する国民との相互理解促進

※第4期中長期計画策定にあたっては、第6次エネルギー基本計画(案)及び全体計画の内容との対比などを踏まえ、第3期中長期計画と同じ以下の構成を基本とする。

- 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 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発
- ④ 使用済燃料の直接処分研究開発

# 研究開発を取り巻く状況

## (1) 「幌延深地層研究の確認会議」

- 地元自治体との約束を遵守し、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、令和10年度までに成果を得て、技術基盤の整備が完了するように取り組む。

### 【令和3年度確認会議にて確認された事項】

- ・道、幌延町と機構が締結した三者協定の履行状況を確認するための会議を令和3年度は5回(4/16、5/18、6/7、6/15、7/16)実施
- ・この中で、令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に沿って研究が進められており、遅れや課題などが生じていないことや、深度500mでの研究の実施について確認
- ・また、情報公開・理解促進等の観点から、情報の受け手の分かり易さに配慮した理解醸成に繋げるための積極的な情報発信、幌延の研究施設が最終処分場になるなどの不安や懸念の解消等についての要望が示された。

## (2) 第6次エネルギー基本計画(案)

- 高レベル放射性廃棄物の最終処分に向けた取組の抜本的な強化などから、①国、NUMO、JAEA等の関係機関が全体を俯瞰して、総合的、計画的かつ効率的な技術開発の着実な実施、②幌延の深地層研究施設等における成果の活用が当該計画の素案に初めて明示
- 第4期中長期計画の策定に際しては、これを踏まえることが重要と認識。

## (3) 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)〔令和2年3月改訂版〕

- 当該計画策定から4年が経過して、令和4年度には当初の目標に向けた成果を取りまとめ、令和5年度以降の計画策定に向けた検討が開始されるものと思料
- したがって、全体計画の改訂を念頭に基本方針※に示された役割分担のもと研究開発の基本方針を策定していくことが肝要

# 第4期中長期目標期間における機構全体の取組方針案との関連

## III. 第4期中長期目標期間に向けた原子力機構の取組の基本方針案

### 2. 研究開発力強化のための研究基盤・環境の構築・運営・高度化と人材育成に向けた取組

#### (1) 研究基盤の強化と社会からの信頼の確保のための活動

##### ①イノベーション創出に向けた取組

- ⇒幌延の深地層研究施設をプラットフォームとした連携促進と共創への取組
- ⇒地層処分技術に関する研究開発で培った技術の災害防止への応用(例えば、地質環境変化の予測・評価技術を応用した自然災害予測技術の開発など)
- ⇒超小型AMSの環境、材料工学、医学へ展開

##### ②研究のDX化、供用施設のリモート化・スマート化

- ⇒最先端のデジタル技術を取り入れた技術基盤の整備

##### ④国際連携の推進

- ⇒幌延の地下施設を活用した国際連携の強化

#### (2) 人材育成(原子力人材、イノベーション人材)

##### ■将来の原子力を担う人材の確保・育成

##### ➤機構と他国研・大学・民間の間での人材交流活性化促進

- ⇒幌延の地下施設を活用した国際共同研究を通じた国内外の技術者や研究者の育成

# 第3期中長期目標期間における研究開発項目と実施内容

年度 項目	細目	中長期 終了目標	H27	H28	H29	H30	R1	R2	R3			
<b>(3) 高レベル放射性廃棄物の処分技術等に関する研究開発</b>	<b>1) 深地層の研究施設計画</b> ●地層処分事業や国の施策等のための技術基盤の整備、提供 ・「必須の課題」の着実な実施と取りまとめ		地下坑道における工学的対策技術の開発(端浪)		地質環境データを取得		研究開発成果の取りまとめと公表(端浪)					
			物質移動モデル化技術の開発(端浪)		モデル化手法の妥当性等を評価							
			坑道埋戻し技術の開発(端浪)		地上でのモニタリングシステムを整備							
			実際の地質環境における人工バリアの適用性確認(繰延)		人工バリア性能確認試験を継続							
			処分概念オプションの実証(繰延)		搬送定置・回収技術に関する試験を継続							
			地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証(繰延)		水圧擾乱試験の結果を評価							
												坑道埋戻し・モニタリング(端浪)
	<b>2) 地質環境の長期安定性に関する研究</b>	・年代測定技術を活用した地質環境の変化を予測・評価する技術の整備		年代測定技術の整備及び断層活動性調査・評価手法の整備			塩素-36による年代測定法を開発					
				高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発						ニアフィールドの変遷に関するデータ取得		
				使用済燃料の直接処分研究開発(直接処分に関する技術基盤の整備)						処分容器の候補材料である銅の腐食に関するデータ取得		
<b>3) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発</b>	・処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化		高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発						ニアフィールドの変遷に関するデータ取得			
<b>4) 使用済燃料の直接処分研究開発</b>	・代替オプションとしての使用済燃料直接処分に係る基盤技術の整備		使用済燃料の直接処分研究開発(直接処分に関する技術基盤の整備)						処分容器の候補材料である銅の腐食に関するデータ取得			
<b>5) 研究開発の進捗状況の確認と情報発信</b>	・研究開発成果の発信、地層処分に関する国民との相互理解の促進		各種データベースへのデータの追加と公開			データベースへデータを追加			研究開発・評価委員会を実施			
			CoolRep(Webを活用した研究成果の情報発信)の更新			CoolRep R4の更新			地下研の見学会を実施			
			深地層の研究施設の見学・体験などを通じた国民との相互理解の促進									
			研究開発の進捗状況等の確認									

# 第3期中長期目標期間の成果を踏まえた次期中長期計画への課題(1)

細目	中長期 終了目標	H27-H30(中間評価時)の 成果 (詳細は参考資料ご参照)	H27-R3 (第3期中長期期間全体) 成果見込み	課 題
1) 深地層 の研究施設 設計画	<ul style="list-style-type: none"> <li>・地層処分事業や国の施策等のための技術基盤の整備、提供</li> <li>・「必須の課題」の着実な実施と取りまとめ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超深地層研究所計画(結晶質岩)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 坑道埋め戻し技術開発における再冠水試験の開始等、着実に成果を創出し、技術基盤を整備</li> </ul> </li> <li>・幌延深地層研究計画(堆積岩)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 人工バリア性能確認試験におけるデータ取得の継続等、着実に成果を創出し、技術基盤を整備</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・超深地層研究所計画(結晶質岩)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 地下を三次元的に調査・評価し、そこに地下施設を建設・維持できることを実証するという所期の目的を達成</li> </ul> </li> <li>・幌延深地層研究計画(堆積岩)                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- 人工バリア性能確認試験等、着実に成果を創出し、実際の処分事業においても実用的に活用可能な技術基盤の整備に大きく貢献</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づいた、環境モニタリング調査の計画的実施、ならびに撤去作業の完結</li> <li>◆ 膨大なデータや情報の利活用</li> <li>◆「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づいた研究開発の着実な実施、深度500mに向けた研究への取組、ならびに国際連携の強化など</li> <li>◆ 最先端の処分技術を実証するプラットフォームとしての利活用</li> </ul>
2) 地質環境の長期安定性に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> <li>・年代測定技術を活用した地質環境の変化を予測・評価する技術の整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・上載地層法(年代既知の地層の変位状況等による評価手法)の適用が困難な断層の活動性を調査・評価する手法等の開発</li> <li>・断層の活動性や隆起・侵食速度の評価に必要な年代測定技術の開発・整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幅広い年代域(10<sup>4</sup>から10<sup>7</sup>年)や様々な自然現象・試料に対応可能な年代測定手法として体系化し、断層の活動性、隆起・侵食速度の把握等の調査・評価技術開発の整備に貢献</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 社会のニーズ等も踏まえた地質環境の長期的変化を予測・評価する技術の整備、イノベーション創出の観点から、年代測定技術の災害防止への応用や超小型AMSの開発など</li> </ul>
3) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発	<ul style="list-style-type: none"> <li>・処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・室内試験と原位置試験を組み合わせ合わせた岩石中の物質移行現象の理解、人工バリア挙動の理解及びデータベースの整備・拡充</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>・幅広い地質環境条件に対応した人工バリアや地下施設の設計に寄与する重要なデータが着実に蓄積</li> <li>・長期の環境変遷等を考慮したより現実的な地層処分システムの安全評価手法を整備</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>◆ 処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化、処分事業の進展に応じた処分事業者との知識・技術の共有</li> </ul>

## 第3期中長期目標期間の成果を踏まえた次期中長期計画への課題(2)

細目	中長期終了目標	H27-H30(中間評価時)の成果 (詳細は参考資料ご参照)	H27-R3 (第3期中長期期間全体) 成果見込み	課題
4) 使用済燃料の直接処分研究開発	・代替オプションとしての使用済燃料直接処分に係る基盤技術の整備	・直接処分技術の現状をまとめた「第1次取りまとめ」報告書の公開 ・工学技術、安全評価の技術的基盤の整備・拡充	・使用済燃料の特性や地質環境の多様性を考慮に入れた処分施設の設計検討、直接処分に特徴的な性能評価パラメータの整備 ・直接処分の成立性の検討に資する顕著な成果を創出	◆ 特徴的な現象に着目した基礎基盤研究の着実な推進
5) 研究開発の進捗状況の確認と情報発信	・研究開発成果の発信、地層処分に関する国民との相互理解の促進	・論文投稿等に加え、プレス発表、ウェブサイト活用等による積極的な成果発信 ・NUMOとの共同研究を通じた技術の継承 ・大学等との連携・協力による革新的な成果の創出 ・見学者の受入れやイベントを通じた国民との相互理解促進 ・科学的特性マップ作成への貢献、意見交換会への協力	・論文投稿等に加え、プレス発表、ウェブサイト活用等による積極的な成果発信 ・NUMOとの共同研究を通じた技術の継承 ・大学等との連携・協力による革新的な成果の創出 ・見学者の受入れやイベントを通じた国民との相互理解促進 ・科学的特性マップ作成への貢献、意見交換会への協力	◆ 「幌延深地層研究の確認会議」での道からの要望なども踏まえた施設見学、ウェブサイトの活用による研究開発成果の情報発信と、それらを通じた国民との相互理解促進の強化

上記の他、地層処分研究開発・評価委員会の中間評価での意見なども踏まえ、以下のような課題が挙げられる。

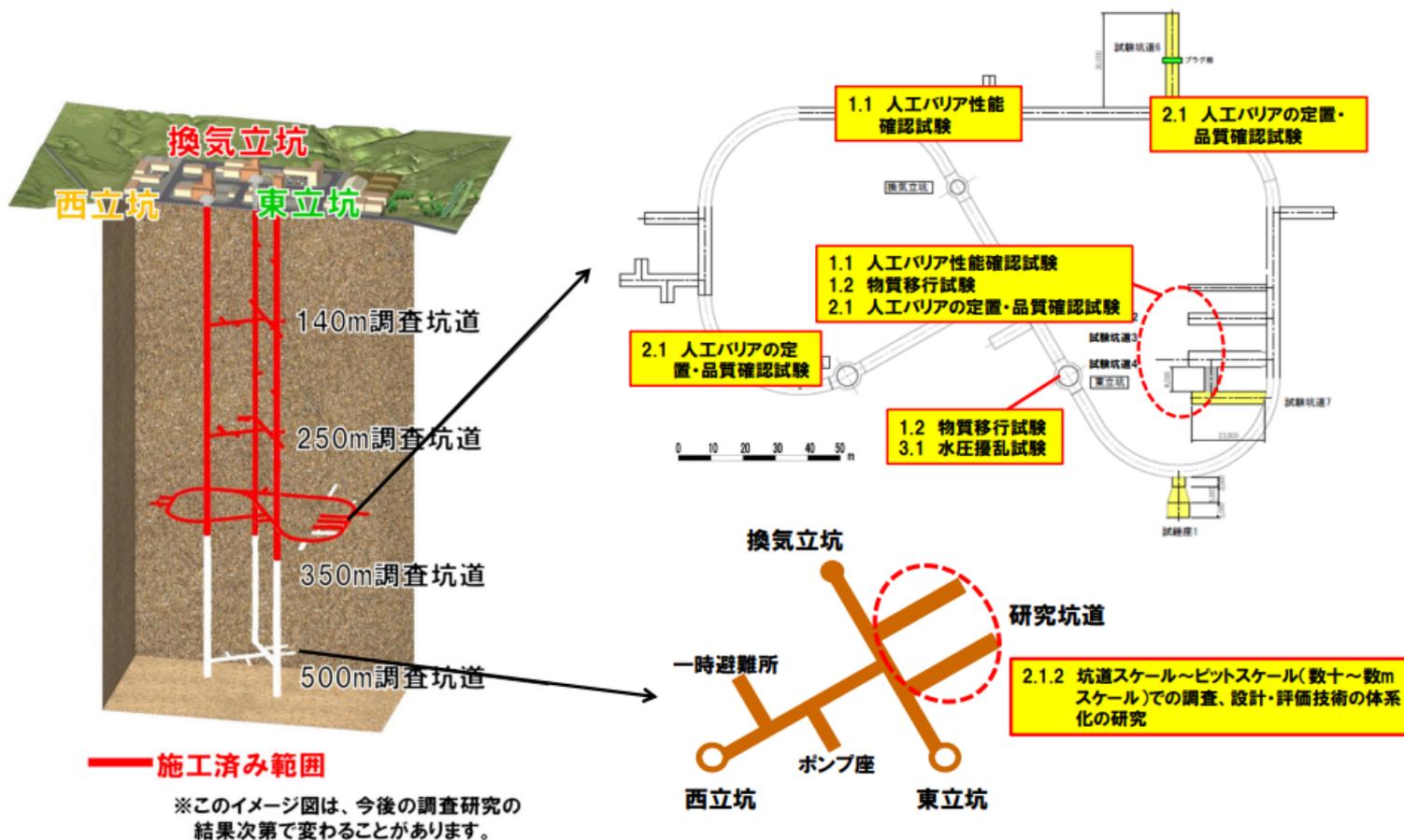
◆ **最先端のデジタル技術を取り入れた、実施主体が行う地質環境調査、処分システムの設計・安全評価、国による安全規制上の施策等のための技術基盤の整備(ビッグデータの活用、AI技術の利用など)**

※地層処分研究開発・評価委員会の中間評価(平成31年3月6日)における意見

「これまでに蓄積された膨大なデータや情報を活用した、新たな視点からの研究開発にも挑戦することを期待する。」

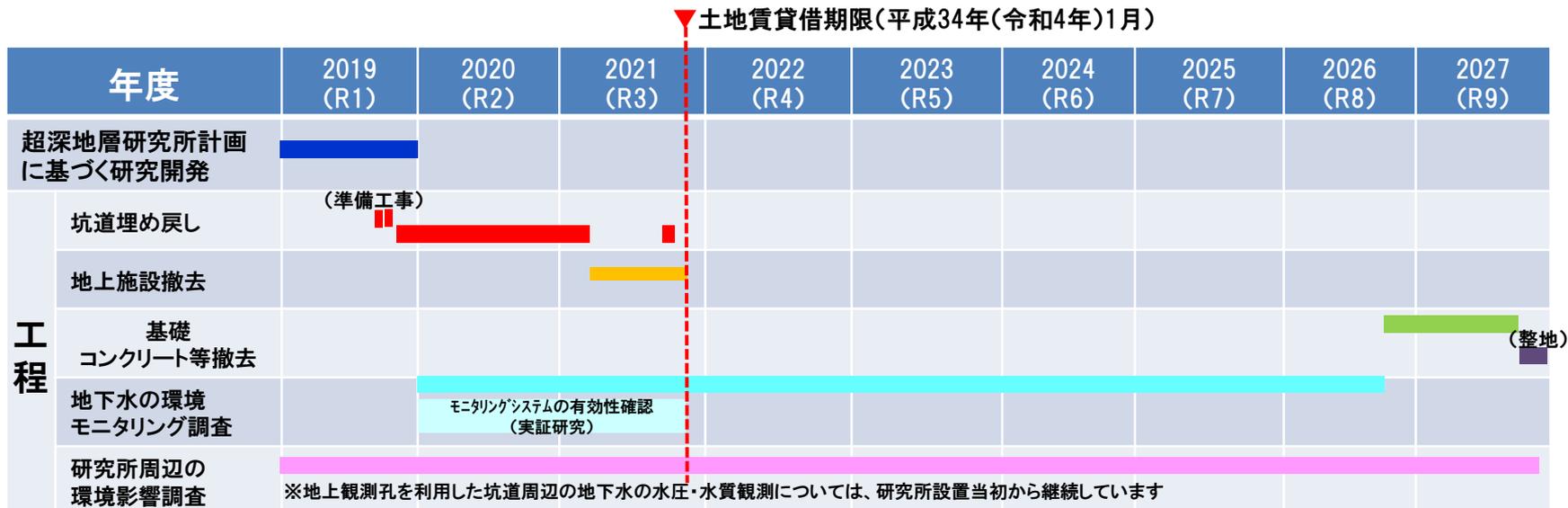
# 令和2年度以降の幌延深地層研究計画

## 【設計の結果示された坑道のレイアウト・試験実施場所(案)】



令和3年度幌延深地層研究の確認会議資料を転載

# 令和2年度以降の超深地層研究所計画



# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考) 1) 深地層の研究施設計画(その1)

超深地層研究所計画(結晶質岩): 深度300m及び500m

中長期計画(H27年度～平成33年度)

機構改革の基本的方向を踏まえて設定した計画(必須の課題)を進め、技術基盤を整備



活動の成果(H27年度～平成30年度)

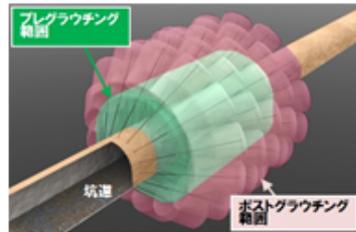
坑道埋め戻し技術開発における再冠水試験の開始等、着実に成果を創出し、技術基盤を整備

## ○地下坑道における工学的対策技術の開発

・湧水抑制技術開発

ウォータータイト構造に匹敵するレベルで湧水を極小化する技術の実証試験を実施。

- ▶ プレグラウチングとポストグラウチングの併用により、高水圧環境下での湧水抑制技術を構築、人工バリア施工時の施工精度の向上に寄与。



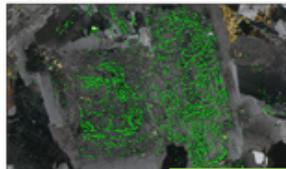
プレグラウチングとポストグラウチングの概念図

## ○物質移動モデル化技術の開発

・花崗岩中での物質移動現象の理解

日本の結晶質岩を対象とした物質移動特性を把握する手法を整備

土岐花崗岩



花崗岩健岩部の微小空間(緑色の領域)

グリムゼル花崗閃緑岩



- ▶ 物質移動経路となり得る微小空隙を把握する手法を整備。
- ▶ 我が国の花崗岩健岩部においてもマトリクス拡散が生じる可能性を提示。

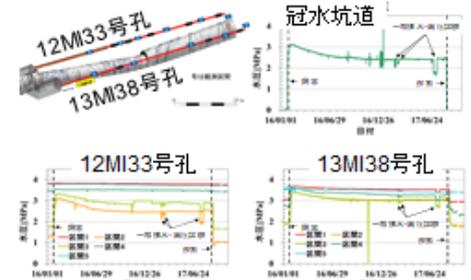
## ○坑道埋め戻し技術の開発

・坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術

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。

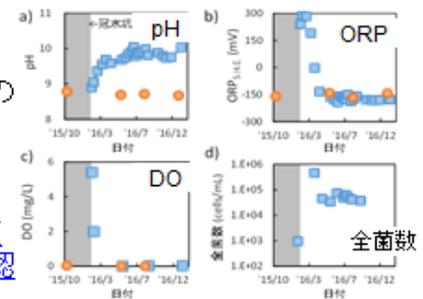


止水壁の設置



冠水坑道および周辺の水圧変化

- ▶ 坑道閉鎖による水圧回復は約半年で収束
- ▶ 坑道閉鎖に伴う水圧変化は、岩盤の巨視的な透水性の影響が支配的と推定
- ▶ 還元的な地下水の流入、微生物代謝により数か月で、閉鎖された坑道内の還元環境が回復することを確認
- ▶ 坑道の建設・維持管理時の化学環境の擾乱、坑道閉鎖後の還元環境の回復のプロセスを推察



冠水坑道および周辺の水質変化

# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考) 1) 深地層の研究施設計画(その2)

## 幌延深地層研究計画(堆積岩): 深度350m

### 中長期計画(H27年度～平成33年度)

機構改革の基本的方向を踏まえて設定した計画(必須の課題)を進め、技術基盤を整備

### 活動の成果(H27年度～平成30年度)

人工バリア性能確認試験におけるデータ取得の継続等、着実に成果を創出し、技術基盤を整備

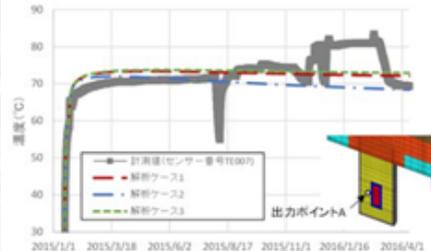
#### ○実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

##### ・人工バリア性能確認試験 350m坑道

人工バリア、埋め戻し材等に関する個別設計フローを構築しその適用性を確認するとともに、新たに処分掘削技術の開発を含め、製作・施工技術や品質管理方法の適用性を例示。



模擬オーバーバックの設置



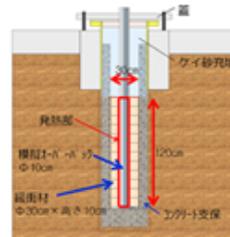
計測結果と連成解析結果の比較(温度)

- ▶ 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。
- ▶ ニアフィールド環境条件の状態設定の信頼性が向上し、人工バリアの最適化・合理化設計技術などに寄与。

##### ・オーバーバック腐食試験 350m坑道

実際の地下環境下におけるオーバーバ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。

- ▶ 炭素鋼オーバーバックの腐食評価手法の信頼性の向上に寄与。



##### ・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。

- ▶ 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。

#### ○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の準備作業を実施中。

- ▶ 坑道内での搬送要素試験を終了し、坑道構置きPEM方式の定置・回収試験の準備中

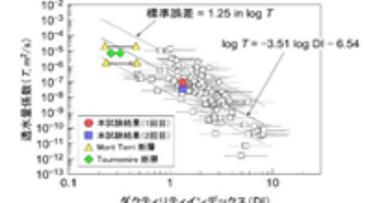
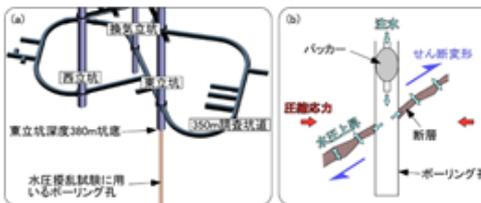


坑道内搬送・定置技術の要素試験

#### ○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。



- ▶ 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。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。

# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考) 2) 地質環境の長期安定性に関する研究

## 中長期計画(H27年度～平成33年度)

自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術を、地球年代学に係る最先端の施設・設備も活用しつつ整備

## 活動の成果(H27年度～平成30年度)

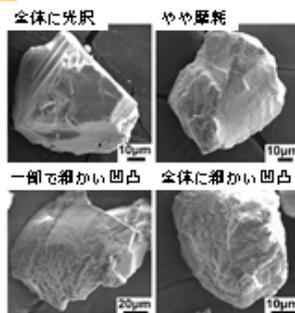
- ・上載地層法(年代既知の地層の変位状況等による評価手法)の適用が困難な断層の活動性を調査・評価する手法等の開発
- ・断層の活動性や隆起・侵食速度の評価に必要な年代測定技術の開発・整備

### ○調査技術の開発・体系化

#### ・断層の活動性に係る調査技術

上載地層法の適用が困難な断層の活動性に関する調査技術の整備を目的として、断層内充填物質中の石英等の電子顕微鏡観察を行い、鉱物の表面形状に履歴に応じた違いがあることを発見。

- ▶ 最近の断層運動の有無を評価する指標の一つとして、石英粒子表面構造の分類が有効である可能性を提示。

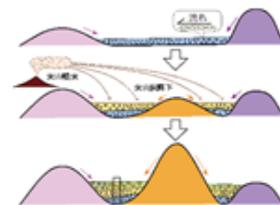


### ○長期予測・影響評価モデルの開発

#### ・時間スケールに応じた地圏環境変動の予測技術

##### (1) 後背地解析技術の構築

鉱物分析手法や年代測定技術の高度化により、山地の形成過程を推定する後背地解析技術を構築。



##### (2) 三次元地質環境長期変動モデルの構築

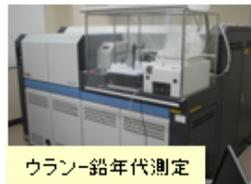
過去から現在までの地形・地質モデルの構築およびそれに基づく地下水流動解析等を実施。

### ○年代測定技術の開発

地質環境の長期安定性評価における共通の基盤技術として、幅広い年代域(10<sup>4</sup>～10<sup>7</sup>年)やささまざまな自然現象・試料に対応可能な年代測定手法の開発・整備を継続した。



ベトリオン年代測定装置  
炭素-14、カリウム-10、アルミニウム-26、  
ヨウ素-129年代測定



ウラン-鉛年代測定



光ルミネッセンス年代測定

- ▶ 着実に手法の整備を進め、断層の活動性、隆起・侵食速度の把握等の調査・評価技術開発に貢献。

	100万年前以前	45万年前	14万年前	現在
地形概念モデルの構築				
地形・地質数値モデルの構築				
水理モデル地下水流動解析の実施				

- ▶ 地質環境の変化を三次元的に表現できる数値モデルを構築するとともにアニメーション技術を用いてその時間変化を可視化し、専門的知見が簡単に理解可能なツールを作成。

# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考) 3) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

## 中長期計画(H27年度～平成33年度)

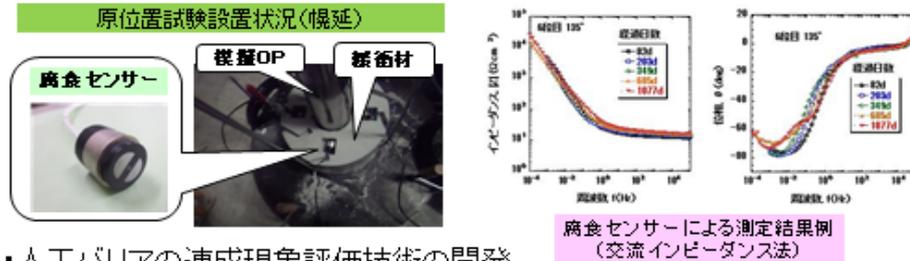
高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化

## 活動の成果(H27年度～平成30年度)

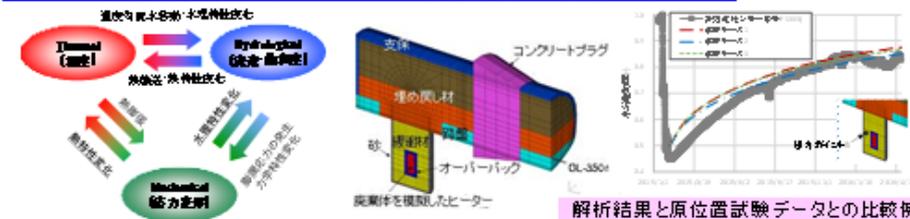
・室内試験と原位置試験を組み合わせた岩石中の物質移行現象の理解、人工バリア挙動の理解及びデータベースの整備・拡充

### ○地層処分システムに関する工学技術の開発

・原位置計測技術の開発  
室内試験と原位置試験により緩衝材中の環境条件やオーバーバック腐食挙動等を評価するための計測技術の適用性を確認した。



・人工バリアの連成現象評価技術の開発  
熱-水-応力連成解析モデルの高度化を行い、幌延URLの原位置試験データとの比較により解析コードの妥当性の確認を行った。

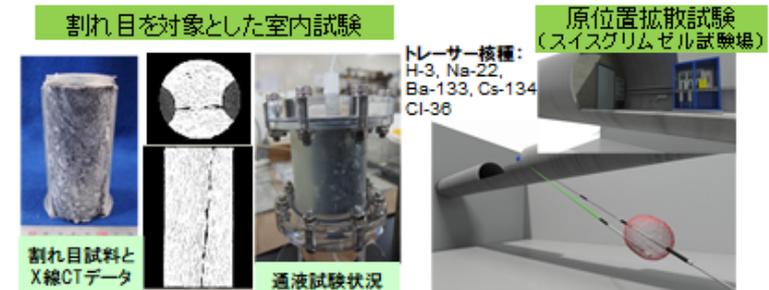


連成モデルの概念と幌延URLの人工バリア性能確認試験に対する連成解析の適用評価例

➢ 原位置試験を活用して人工バリアの挙動に関する計測技術や連成現象解析技術の適用性が確認され、人工バリア挙動をより現実的に把握できる技術の構築に貢献した。

### ○地層処分システムに関する性能評価研究

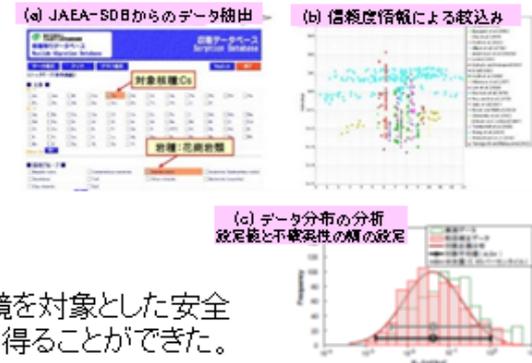
・核種移行モデルの開発  
室内試験と原位置試験を組み合わせた物質移行現象の理解とモデル化を行った。



・放射性核種の岩石への収着分配係数の設定手法の構築

国内外の最新知見に基づき、複数のパラメータ設定手法を整備し、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、適切にパラメータを設定できる包括的な手法を構築した。

➢ 今後の実際の地質環境を対象とした安全評価に貢献する成果を得ることができた。



# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考) 4) 使用済燃料の直接処分研究開発

## 中長期計画(H27年度～平成33年度)

海外の直接処分に関する最新の技術動向を調査、代替処分オプションとしての使用済燃料直接処分の調査研究の実施と成果の取りまとめ

## 活動の成果(H27年度～平成30年度)

- ・直接処分技術の現状をまとめた「第1次取りまとめ」報告書の公開(H27)
- ・工学技術、安全評価の技術的基盤の整備・拡充

### ○使用済燃料の直接処分に関する工学技術の開発

- ・直接処分施設の設計検討  
処分容器、緩衝材、地下施設・地上施設等の、使用済燃料の多様性(炉型、燃焼度等)や特徴(重さ、大きさ等)を考慮した設計検討。
- ガラス固化体での技術や経験を使用済燃料を対象とした設計に適用できる見通しを得るとともに、使用済燃料の多様性に対応した設計事例を蓄積。

#### 処分容器の設計検討

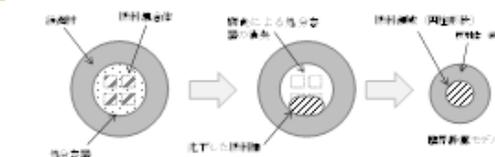
##### 【主要条件】

- ・燃料(PWR/BWR、燃焼度、濃縮度等)
- ・容器材料(炭素鋼、複合材料)
- ・定置方式(横置、縦置)

##### 【検討項目】

- ・臨界安全性
- ・遮へい性
- ・構造安定性
- ・伝熱
- ・製作性
- ・操業時の安全性・健全性

#### 臨界安全解析体系の例(横置き定置)



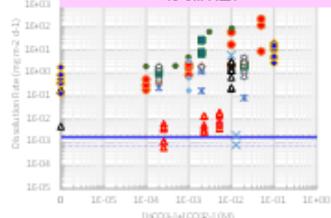
#### 複合容器の構成例



- ・使用済燃料や人工バリアの閉じ込め性の検討  
使用済燃料に特徴的な瞬時溶出とマトリクス溶解についてのパラメータ設定の試行や試験的研究の検討。

- 国内外の最新知見から妥当と考えられるパラメータ案を設定した。また、マトリクス溶解での炭酸濃度依存性の重要性が示唆された。

#### 燃料溶解速度の炭酸濃度依存性(文献値)

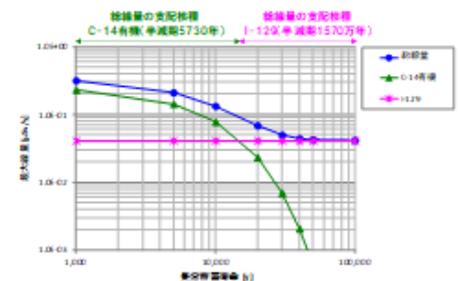


### ○使用済燃料の直接処分に関する安全評価手法の開発

- ・処分容器の長寿命化の効果の推定  
処分容器の長寿命化による核種移行で支配的となる可能性のあるC-14(半減期約5700年)の影響低減効果の分析。

- 5万年程度までの長寿命化は線量の低減に対して一定の効果が見られることが示唆された。

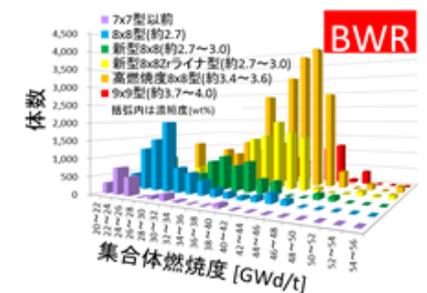
#### 処分容器寿命と線量の関係例



- ・使用済燃料の多様性を考慮したインベントリの推定  
多様な炉型・燃料タイプ・燃焼度・冷却期間の燃料を対象としたモデルインベントリ評価。

- 条件に応じた発生量分布やインベントリの違いを把握できた。また、それら条件の違いがインベントリの違いを介して設計・性能評価のどの項目に影響する可能性があるかを整理した。

#### モデル計算による発生量の推定結果例



# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考) 研究開発成果の創出、他機関との連携・協力、人材育成

## 中長期計画(H27年度～平成33年度)

- ・技術基盤の整備提供、地層処分事業への貢献
- ・技術協力/共同研究を通じた最先端技術/知見の取得・提供
- ・技術力の強化・人材育成への貢献
- ・施設の見学、ウェブサイトの活用による成果情報の公開、国民との相互理解促進

## 活動の成果(H27年度～平成30年度)

- ・論文投稿等に加え、プレス発表、ウェブサイト活用等による積極的な成果発信
- ・NUMOとの共同研究を通じた技術の継承
- ・大学等との連携・協力による革新的な成果の創出
- ・見学者の受入れやイベントを通じた国民との相互理解促進
- ・科学的特性マップ作成への貢献、意見交換会への協力

### ○ 処分事業等に資する成果の創出、成果情報の発信

- ・研究開発成果については、積極的に国内外の学会で発表し、研究開発報告書類の刊行、論文投稿・掲載を行った。また、機構HPで公開しているCoolRep(ウェブサイトを活用した科学レポートシステム)\*への成果情報の追加や、英語版コンテンツの公開を行った。研究成果の一部については、プレス発表を行い、積極的な成果の普及に努めた。

※<https://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.html>

【H27】国内外学会発表:147件、研究開発報告書類:47件、論文:78件  
(学会賞・論文賞等受賞:6件)

【H28】国内外学会発表:120件、研究開発報告書類:32件、論文:58件  
(プレス発表:3件、学会賞・論文賞等受賞:3件)

【H29】国内外学会発表:127件、研究開発報告書類:26件、論文:53件  
(プレス発表:3件、学会賞・論文賞等受賞:5件)

- ・機構HPで公開・提供している、核種移行に関するデータベースのデータ拡充を進めた。



熱力学・取着データベース  
メインページ

- ・熱力学データベース(平衡定数):1,772件
- ・取着分配係数データベース: 57,867件,  
文献数 696編
- ・拡散係数データベース: 5,013件, 文献数 288編
- ・ガラス溶解データベース:数値データ 23,288件,  
文献数237編

(H30.4.1現在)

### ○ NUMOへの積極的な技術の継承と人材育成

- ・NUMOとの共同研究の枠組みで、H27年度より、NUMOの技術者を受入れ、機構が保有する施設・設備(東海)を活用して作業を共同で行うことにより、研究開発に関する知識・ノウハウなどを継承した。



JAEAの研究施設で実験作業に従事するNUMO技術者  
(東海核燃料サイクル工学研究所)

#### 【受入人数】

H27:2名、H28:14名、H29:11名、H30:10名

- NUMO技術者の現場作業経験の蓄積及び技術力向上に貢献した。

### ○ 国内外の大学・研究機関等との連携・協力の推進

- ・研究資源を有効に活用するために、他の研究開発機関等との共同研究を積極的に進め、研究成果を相互補完的に活用した。

H27年度: 45件: 大学23件、研究機関15件、民間企業10件、NUMO1件(重複あり)

H28年度: 54件: 大学33件、研究機関12件、民間企業14件、NUMO2件(重複あり)

H29年度: 52件: 大学32件、研究機関14件、民間企業12件、NUMO2件(重複あり)

- ・二国間協力の枠組み(スイスNAGRA、スウェーデンSKB等の4か国5機関)や、多国間での国際共同プロジェクト(DECORVALEX、Clay Club等の5プロジェクト)を活用し、世界最先端の技術レベルで研究開発を実施するとともに、これら協力・連携を通じて、研究者・技術者の能力向上を図った。

- 効率的かつ効果的な研究開発成果の創出、最大化を図った。

# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考) 国民との相互理解促進と国の施策への貢献

## ○ 国民との相互理解促進のための活動の展開

### ・施設見学の実施

- 【東濃】H1 4から延べ39,811人(うちH27:2,710人、H28:2,732人、H29:2,725人)
- 【幌延】H1 9から延べ102,605人(うちH27:7,657人、H28:7,635人、H29:7,891人)
- 【東海】H1 0から延べ26,801人(うちH27:807人、H28:751人、H29:826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外部主催のイベントに出展し、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。

- 【H27】「地層処分技術に関する研究成果報告会」(H27.7)  
「地下深くの不思議を学ぼう—地層処分と「かがく」—」(資源エネルギー庁共催:H27.7)
- 【H28】「経済産業省子どもデー」にNUMOと共同出展(H28.7)  
「青少年のための科学の祭典千葉県大会」に「ミネラルウォーターの水質を調べてみよう!」出展(H28.6)  
「青少年のための科学の祭典2016全国大会」に出展(H28.7)  
「地層処分わくわくポイントラリー」(NUMOと共催:H28.8)
- 【H29】「経済産業省子どもデー」(NUMOと共同出展:H29.8)  
「サイエンスアゴラ2017」に出展(H29.11)
- 【H30】「経済産業省子どもデー」(NUMOと共同出展:H30.8)



「サイエンスアゴラ2017」の様子



「経済産業省子どもデー2018」の様子

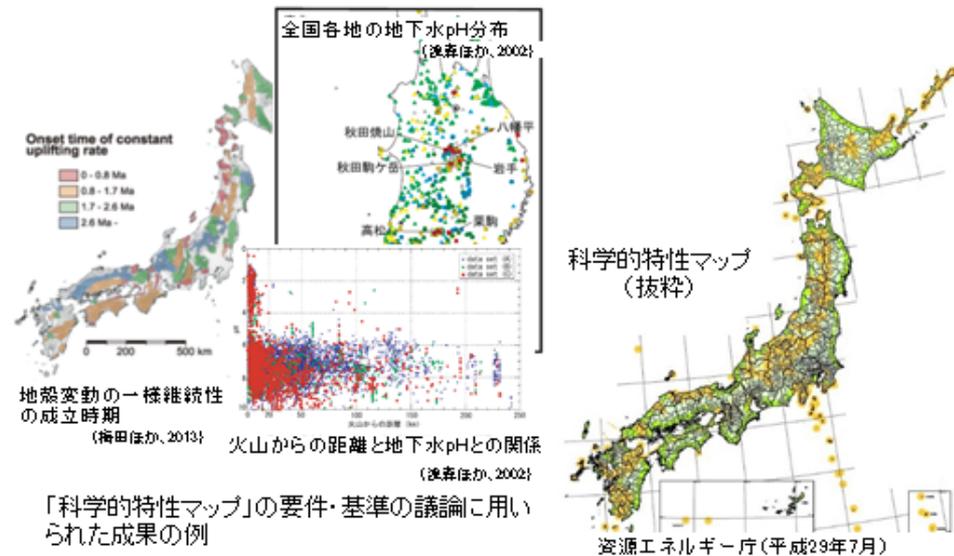
・エネ庁・NUMO共催により、全国で開催されたシンポジウム・意見交換会等に研究者を派遣し、意見交換に協力した。

- 「高レベル放射性廃棄物について考える 地層処分意見交換会」(H28.10~11:9名派遣)
- 「いま改めて考えよう地層処分~科学的特性マップの提示に向けて~」(H29.5:9名派遣)
- 「科学的特性マップに関する意見交換会」(H29.10~12:28名派遣)
- 「科学的特性マップに関する対話型全国説明会」(H30.2~3:5名派遣、H30.5~8:19名派遣)

➢ 広報活動等を通じ、地層処分に関する相互理解を促進した。

## ○ 「科学的特性マップ」の作成と公表へ貢献

- ・総合資源エネルギー調査会「地層処分技術ワーキンググループ」や「沿岸海底下等における地層処分の技術的課題に関する研究会」を通じて、科学的特性マップの要件・基準の議論に資する基盤的な情報を国やNUMOに提供した。
- ・また、それらは平成29年7月に国が公表した「科学的特性マップ」の作成に資する基盤的な情報としても活用され、国の施策への貢献ができた。



➢ これまでの研究成果が、要件・基準の議論を通じて、国の重要施策である「科学的特性マップ」の公表(平成29年7月、経産省)に貢献

# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果

## (参考)研究開発成果のプレス発表、他分野への応用/貢献例(1)

### ○断層運動で損傷した岩盤の自己修復機能の確認 (瑞浪)

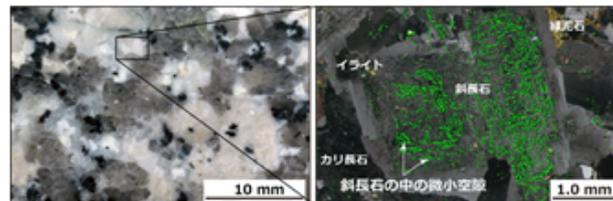
深度300m及び500mの坑道で、岩体の形成時から現在までの割れ目の状態変遷の詳細な調査により、断層運動により一度地下水が通りやすくなった断層周辺も、そのほとんどが鉱物による割れ目の充填といった自己修復により、地下水や物質の通りにくい場となっていることを発見した。本成果は、日本における地層処分の安全性の議論において、断層に対する新たな発想による評価が期待される。

⇒ [国際誌に掲載](#) (平成28年6月)、[プレス発表](#) (平成28年6月)

### ○岩盤が有する遅延機能に関する新たな発見(瑞浪) (右上図)

深度500m坑道で採取した花崗岩ブロックを使った室内拡散試験によって、花崗岩中に物質移動の遅延が期待できる新たな機能を発見した。本成果は国内の他の花こう岩にも適用可能であり、地層処分の安全性を評価する上で、重要な知見の一つである。

⇒ [日本原子力学会バックエンド部会奨励賞受賞](#) (平成29年3月)、[プレス発表](#) (平成28年8月)



試験に供した花崗岩試料の顕微鏡写真

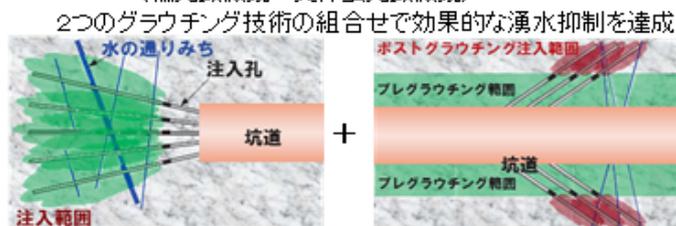
左の四角部分の拡大 (偏光顕微鏡+実体望遠鏡)

斜長石中に微小空隙 (緑色) が分布していることを確認

### ○高水圧下でも適用可能な湧水抑制技術を開発 (瑞浪) (右中図)

ナノスケールの微粒子材料等の適切な使い分けと、注入圧力操作の工夫により、グラウチングを実施しない場合の予測に対して湧水量を約100分の1まで低減することができた。本成果は他の大規模地下構造物の建設においても活用が期待される。

⇒ [土木学会にて発表](#)、[プレス発表](#) (平成28年12月)



プレグラウチング  
坑道掘削に先立ち実施

ポストグラウチング  
坑道掘削後にプレグラウチングの外側に実施

### ○地下施設建設にともなう地質環境の変化を調査する新技術の開発(幌延)

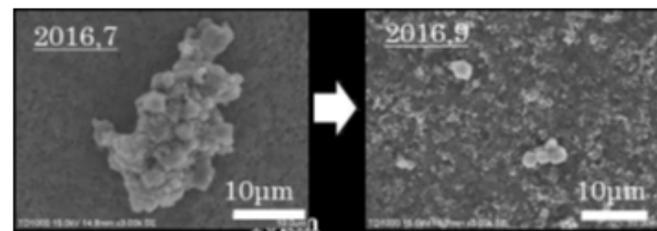
坑道の掘削による坑道周辺の割れ目の発生状況とその時間変化を適切に把握する新たな手法(弾性波トモグラフィを用いた計測手法)の開発に成功した。大規模地下空洞や鉄道や道路トンネルのような地下空間建設時においても活用が期待される。

⇒ [土木学会論文奨励賞](#) (平成28年6月)

### ○坑道閉鎖環境において物質の移動を抑制する現象を解明 (瑞浪) (右下図)

高レベル放射性廃棄物に含まれる放射性元素と化学的な性質が似ている天然元素(希土類元素)の冠水坑道内における濃度が、本来の地下水中の濃度に比べて明らかに低下していることを発見し、地下水から除去されるメカニズムを解明した。本成果は坑道閉鎖後の閉じ込め能力を実際の坑道で示した世界初の事例となった。

⇒ [国際誌に掲載](#) (平成29年6月)、[プレス発表](#) (平成29年7月)



閉鎖された坑道内で確認された炭酸塩粒子  
坑道閉鎖後、時間が経過するとともに粒子の大きさや数が減少

# 第3期中長期目標期間(中間評価)における研究開発成果 (参考)研究開発成果のプレス発表、他分野への応用/貢献例(2)

○光合成由来のエネルギー源に依存しない地底生態系の解明に成功(瑞浪)

深度300メートルの花崗岩から採取した地下水に、マグマ由来のメタンをエネルギー源とする微生物から成る生態系が存在することを新たに発見し、それらが地下環境の還元性維持に関与することを確認し、地球微生物学へ貢献した。

⇒[プレス発表](#)(平成29年9月)、[国際誌に掲載](#)(平成30年1月)

○湧水対策が困難な地質構造を地上から把握する方法を開発(幌延)(右上図)

湧水対策が困難な粘土質せん断帯を、マグマガラス含有を指標として地上から把握する方法を開発した。粘土質せん断帯の拡がりを数キロにわたって追跡することに、世界で初めて成功。本成果は一般土木分野(湧水対策)への展開が期待できる。

⇒[プレス発表](#)(平成29年9月)、[国際誌に掲載](#)(平成29年10月)

○先端技術を活用した効率的な地質・地質構造調査手法を開発(幌延)(右下図)

[3次元レーザスキャナを活用して効率的に坑道壁面を地質観察する手法](#)を提案し、その適用性を確認。本成果は一般土木分野(トンネル等)に展開が可能である。

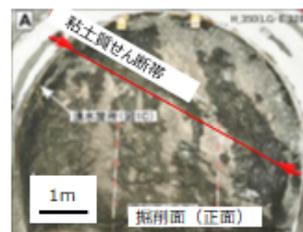
⇒[資源・素材学会奨励賞を受賞](#)(平成30年3月)

○地下深くの亀裂の連結性を地上から評価する方法を開発(幌延)

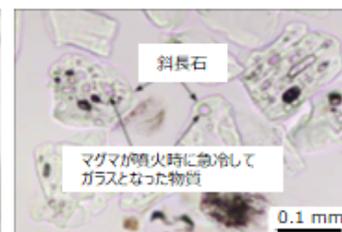
亀裂の連結性が限定的である場合に透水試験で得られる独特な水圧挙動に着目し、地上から地下深くの亀裂の連結性を適切に評価する新たな評価方法を考案した。本成果は、地層の亀裂中に貯留する資源の探査などへの応用も期待できる。

⇒[国際誌に掲載](#)(平成30年5月電子版)、[プレス発表](#)(平成30年5月)

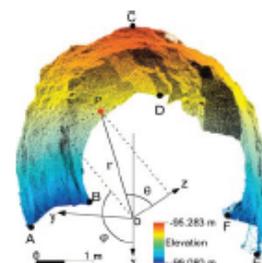
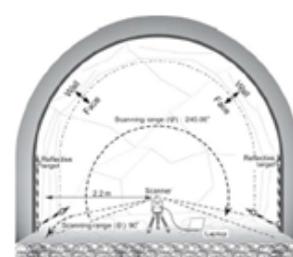
▶ 地層処分の信頼性向上と技術基盤の整備を進めるとともに、地球科学や土木工学の原子力以外の分野の発展に貢献



地下施設で遭遇した粘土質せん断帯の写真



マグマが噴火時に急冷してガラスとなった物質の顕微鏡写真



3次元スキャンのイメージ図

# (参考)第3期中長期計画(抜粋)(平成27年4月1日～令和4年3月31日)

## 高レベル放射性廃棄物の処分技術等に関する研究開発

高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現に必要な基盤的な研究開発を着実に進めるとともに、実施主体が行う地質環境調査、処分システムの設計・安全評価、国による安全規制上の施策等のための技術基盤を整備し、提供する。さらに、これらの取組を通じ、実施主体との人材交流等を進め、円滑な技術移転を進める。

加えて、代替処分オプションとしての使用済燃料直接処分の調査研究を継続する。

これらの取組により、我が国の将来的な地層処分計画立案に資する研究成果を創出するとともに、地層処分計画に基づいた地層処分事業に貢献する。

研究開発の実施に当たっては、最新の科学的知見を踏まえることとし、実施主体、国内外の研究開発機関、大学等との技術協力や共同研究等を通じて、最先端の技術や知見を取得・提供し、我が国における地層処分に関する技術力の強化・人材育成に貢献する。

また、深地層の研究施設の見学、ウェブサイトを活用による研究開発成果に関する情報の公開を通じ、地層処分に関する国民との相互理解促進に努める。

## 1) 深地層の研究施設計画

超深地層研究所計画（結晶質岩：岐阜県瑞浪市）と幌延深地層研究計画（堆積岩：北海道幌延町）については、機構が行う業務の効率化を図りつつ、改革の基本的方向を踏まえた調査研究を、委託などにより重点化し、着実に進める。研究開発の進捗状況等については、令和元年度末を目途に、外部専門家による評価等により確認する。なお、超深地層研究所計画では、土地賃貸借期間も念頭に調査研究に取り組む。

超深地層研究所計画については、地下坑道における工学的対策技術の開発、物質移動モデル化技術の開発及び坑道埋め戻し技術の開発に重点的に取り組む。これらに関する研究については、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。また、同年度末までに、跡利用を検討するための委員会での議論も踏まえ、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。令和2年度以降においては、坑道埋め戻しなどのその後の進め方について定めた「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づき、土地賃貸借期間の終了までに坑道の埋め戻し及び地上施設の撤去を行う。また、埋め戻し期間中は、埋め戻しに伴う地下水の回復状況を確認するために、実証研究を兼ねてモニタリングシステムの有効性を確認する。

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及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証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。令和2年度以降においては、研究終了までの工程やその後の埋め戻しについて定めた「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、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及び地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証を進める。

## 2) 地質環境の長期安定性に関する研究

自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術を、地球年代学に係る最先端の施設・設備も活用しつつ整備する。

## 3) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

深地層の研究施設計画や地質環境の長期安定性に関する研究の成果も活用し、高レベル放射性廃棄物の地層処分に係る処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化を図る。

## 4) 使用済燃料の直接処分研究開発

海外の直接処分に関する最新の技術動向を調査するとともに、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の成果を活用しつつ、代替処分オプションとしての使用済燃料直接処分の調査研究に取り組み、成果を取りまとめる。

# 第4期中長期目標期間での基本方針(案)

## 高レベル放射性廃棄物の処分技術等に関する研究開発

高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現に必要な基盤的な研究開発を着実に進めるとともに、実施主体が行う地質環境調査、処分システム的设计・安全評価、国による安全規制上の施策等のための技術基盤を最先端のデジタル技術を取り入れつつ整備し、提供する。さらに、これらの取組を通じ、実施主体との人材交流等を進め、円滑な技術移転を進めるなど社会実装を図る。

加えて、代替処分オプションとしての使用済燃料直接処分の調査研究などを継続する。

これらの取組により、我が国の将来的な地層処分計画立案に資する研究成果を創出するとともに、地層処分計画に基づいた地層処分事業に貢献する。

研究開発の実施に当たっては、最新の科学的知見を踏まえることとし、実施主体、国内外の研究開発機関、大学等との技術協力や共同研究等を通じて、最先端の技術や知見を取得・提供し、我が国における地層処分に関する技術力の強化・人材育成に貢献する。

また、幌延の深地層の研究施設などの施設見学、ウェブサイトの活用による研究開発成果に関する情報の公開を通じ、地層処分に関する国民との相互理解促進に努める。

### 1) 深地層の研究施設計画

幌延深地層研究計画（堆積岩：北海道幌延町）と超深地層研究所計画（結晶質岩：岐阜県瑞浪市）については、機構が行う業務の効率化を図りつつ、調査研究および坑道埋め戻し後のモニタリング調査を着実に進める。

幌延深地層研究計画については、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に基づき、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及び地殻変動に対する

堆積岩の緩衝能力の検証を進める。研究の実施にあたり、稚内層深部（深度500m）に坑道を展開して研究に取り組むとともに、さらなる国際連携による幌延深地層研究センターの国際拠点化を進め、研究開発成果の最大化を図る。その上で、国内外の技術動向を踏まえて、地層処分の技術基盤の整備の完了が確認できれば、埋め戻しを行うことを具体的工程として示す。

超深地層研究所計画については、「令和2年度以降の超深地層研究所計画」に基づき、埋め戻し後は有効性を確認したモニタリングシステムを用いた地下水の調査と地上観測孔による地下水調査を環境モニタリング調査として5年程度継続して実施する。地下水の環境モニタリング調査終了後は速やかに、地上施設の基礎コンクリート等の撤去及び地上から掘削したボーリング孔の埋め戻し、閉塞を行う。その後、用地の整地を行い、全ての作業を完了する。

### 2) 地質環境の長期安定性に関する研究

自然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する技術を、地球年代学に係る最先端の施設・設備も活用しつつ整備する。これら技術については、地層処分事業における各調査段階に必要な編年技術の構築のみならず、原子力を取り巻く課題解決や社会のニーズへの対応も考慮して整備を行う。また、大学等研究機関との協働を進め、土岐地球年代学研究所に設置されている施設・設備の利用促進を図るとともに、地球科学分野の研究成果の創出に貢献する。

### 3) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

深地層の研究施設計画や地質環境の長期安定性に関する研究の成果も活用しつつ、処分事業の進展に応じ、処分事業者等と知識・技術等の一層の共有を図りながら、高レベル放射性廃棄物等の地層処分に係る処分システム構築・評価解析技術の先端化・体系化をさらに進める。

### 4) 代替処分オプションの研究開発

海外の直接処分に関する最新の技術動向を調査するとともに、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発の成果を活用しつつ、使用済燃料の直接処分など代替処分オプションに特徴的な現象に着目した基礎基盤研究を着実に進める。

## 産学官との連携強化と社会からの信頼確保のための活動

### (1) イノベーション創出に向けた取組

～中略～ 機構が保有する学術論文、知的財産、研究施設等の情報や、機構が開発・整備した超小型AMSなど世界最先端の分析機器、解析コード、データベース等を体系的に整理し、一体的かつ外部の者が利用しやすい形で提供する。これらにより機構の研究開発成果の産学官等への技術移転、外部利用と展開を促進する。～略～

## 業務運営の効率化に関する目標を達成するためとるべき措置

### 1. 業務の合理化・効率化

#### (1) 経費の合理化・効率化

～中略～ 経費の合理化・効率化の観点から、超深地層研究所計画に係る坑道の埋め戻し後の地下水のモニタリング等において、民間活力の導入による事業を継続する。また、業務の合理化・効率化の観点から、「令和2年度以降の幌延深地層研究計画」に係る研究坑道の整備等に民間活力の導入を図る。