

令和元年度における個別研究課題の現状および今後の予定

# ① 深地層の研究施設計画

## a) 超深地層研究所計画

令和2年3月11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  
東濃地科学センター

# 中長期計画期間における研究開発スケジュール

## 瑞浪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/令和3年度)

活動の成果(H27年度～平成31年度/令和元年度)

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



- ・必須の課題目標を達成し、取りまとめ報告書を作成。
- ・令和2年度以降の計画策定。
- ・令和元年2月に坑道埋め戻しに着手。

## 研究開発スケジュール

年度 項目	細目	中長期 終了目標	H27 (実績)	H28 (実績)	H29 (実績)	H30 (実績)	H31/R1 (実績/見通し)	R2	R3	
(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	1)深地層の研究施設計画	<p>●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</p> <p>・「必須の課題」の着実な実施と取りまとめ</p>	<p>・深地層の研究施設計画 (必須の課題に対応した試験研究の実施)</p>					坑道埋め戻し 地上施設撤去 モニタリング		
			<p>1.地下坑道における工学的対策技術の開発 グラウト施工試験, 室内分析, 成果取りまとめ・公表</p>							
			<p>2.物質移動モデル化技術の開発 原位置物質移動試験, 室内分析, モデル化・解析, 成果取りまとめ・公表</p>							
			<p>3.坑道埋め戻し技術の開発 再冠水試験, 坑道埋め戻し試験, モデル化・解析, 成果取りまとめ・公表</p>							

# 瑞浪超深地層研究所計画における研究項目

## 1. 地下坑道における工学的対策技術の開発

### 1.1 地下水抑制技術の開発

1.1.1 ウォータータイトグラウト施工技術の実証

1.1.2 施工対策影響評価技術の開発※※

### 1.2 地下水管理技術の開発

1.2.1 地下水排水処理技術の開発

## 2. 物質移動モデル化技術の開発

### 2.1 不均質な割れ目ネットワークのモデル化手法の開発

2.1.1 実際の割れ目の性状を考慮した割れ目ネットワークのモデル化手法の整備

2.1.2 花崗岩中での物質移動現象の理解※※

2.1.3 物質移動におけるコロイド, 有機物, 微生物の影響因子の評価

### 2.2 地質環境の長期変遷に関する解析・評価技術の開発

2.2.1 断層などの影響を含めた地質環境特性の長期変遷解析技術

2.2.2 地下水の長期隔離に関する深部塩水地下水の起源・滞留時間の把握※※

## 3. 坑道埋め戻し技術の開発

### 3.1 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術の開発

3.1.1 冠水坑道での再冠水試験

3.1.2 岩盤の破壊現象評価

3.1.3 500m坑道での埋め戻し試験※

### 3.2 モニタリング技術の開発

※資源エネルギー庁受託事業を活用して実施

※※一部を資源エネルギー庁受託事業を活用して実施

# 令和元年度の成果のまとめ(1/2)

## 【瑞浪超深地層研究所計画】

- 全体
  - ・必須の課題に関する成果報告書作成・公開
  - ・「令和2年度以降の超深地層研究所計画」公表
  - ・研究坑道埋め戻しに着手
  
- 研究開発
  1. 地下坑道における工学的対策技術の開発
    - ・ウォータータイトグラウト技術の成果の取りまとめ
    - ・グラウト材料による岩盤への影響を把握するための室内分析および成果の取りまとめ
  2. 物質移動モデル化技術の開発
    - ・岩盤の透水不均質性評価のためのデータ取得を目的として、坑道内のボーリング孔を利用した水理試験を実施
    - ・水理試験区間は、割れ目の多い区間および少ない区間の両者を対象設定
    - ⇒地上からのボーリング孔を利用して取得してきた透水量係数の分布 ( $10^{-7} \sim 10^{-6} \text{ m/s}^2$ ) と比較して低い傾向 ( $10^{-8} \sim 10^{-7} \text{ m/s}^2$ ) を確認
    - ⇒坑道周辺の水理地質構造モデルの更新に使用するとともに、地上からの調査段階で実施した地下水流動解析における条件設定の評価に活用

# 令和元年度の成果のまとめ(2/2)

## 【瑞浪超深地層研究所計画】

### ●研究開発

#### 3. 坑道埋め戻し技術の開発

- ・500m坑道での埋め戻し試験

- ⇒全断面吹付け施工の適用性、適用した品質管理手法の有効性を確認

- ・再冠水試験に係る連成解析結果の取りまとめ

- ・研究坑道内に設置された地下水の水圧・水質モニタリング装置で取得したデータを地上でモニターするシステムの設置終了

- ⇒坑道埋め戻し中および埋め戻し後の地下水の環境モニタリング調査機器の整備終了

# 3. 坑道埋戻し技術の開発

## 3.1.3 500m坑道での埋め戻し試験

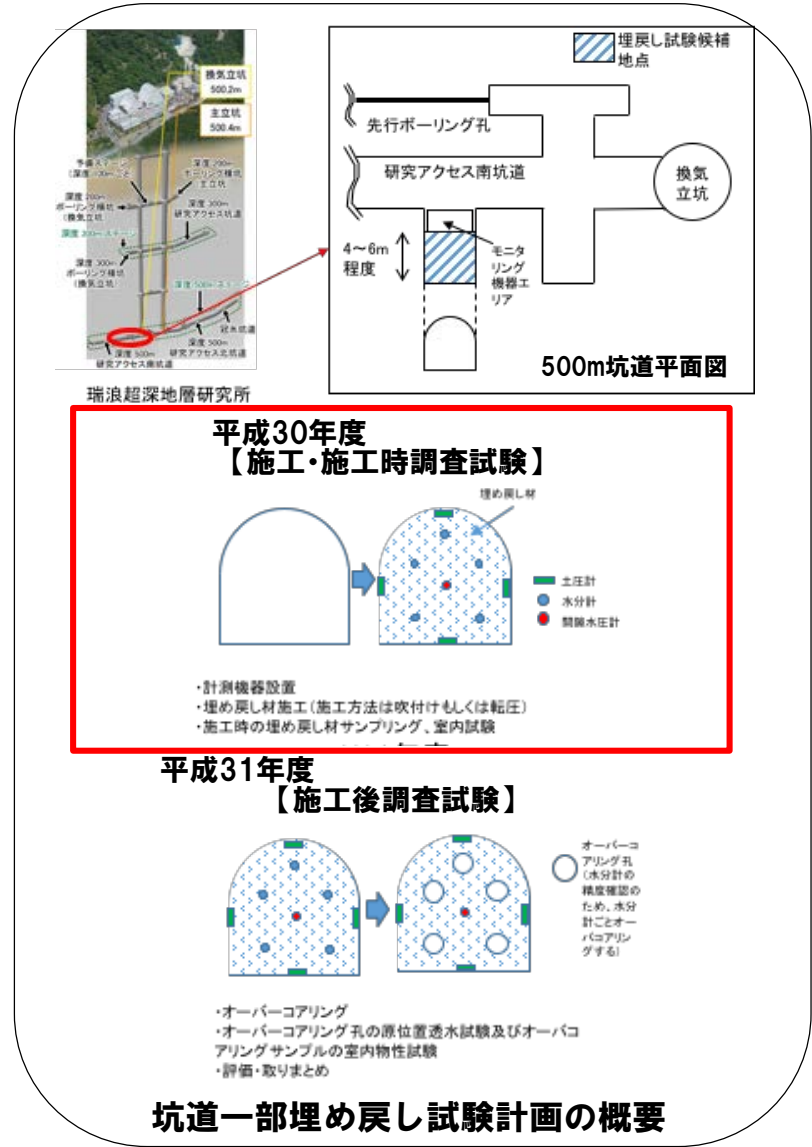
### ■目的

これまでに事例がほとんどない小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験を実施し、同工法を実際の地質環境に適用する上での品質管理・施工管理体系に関する基盤情報を整備する。

### ■実施内容

- 地上での予備試験、研究坑道内での埋め戻し材(ベントナイト15%wt+砂)の吹付け施工
- モニタリング装置の設置、吹付け施工中の計測、吹付け施工後のモニタリング
- 吹付け施工領域の室内試験・原位置透水試験

	平成30年度				平成31年度			
	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期	第1四半期	第2四半期	第3四半期	第4四半期
施工・施工時調査試験		■						
施工後調査試験					■			
取りまとめ								■



平成30年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業(地層処分施設閉鎖技術確認試験)の成果を活用

# 3. 坑道埋戻し技術の開発

## 3.1.3 500m坑道での埋め戻し試験

室内試験、地上における予備試験結果を踏まえて設定した施工ステップ

小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験  
基本的な進め方

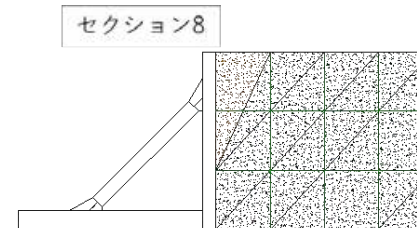
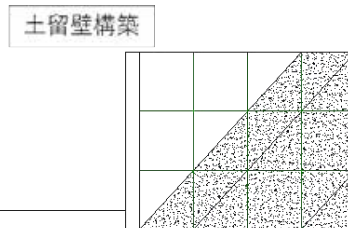
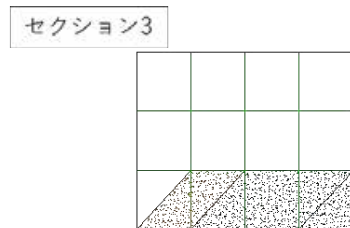
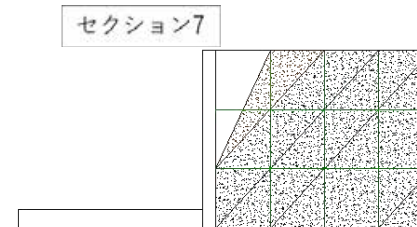
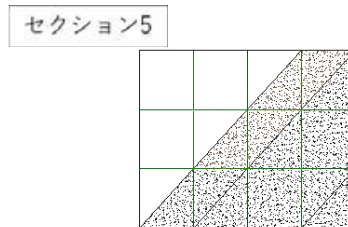
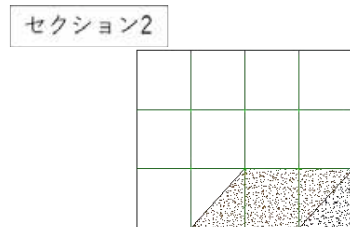
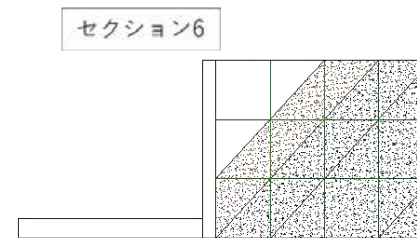
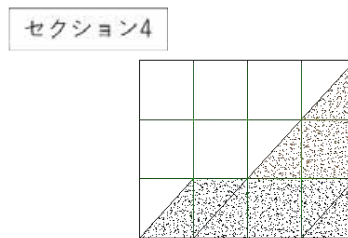
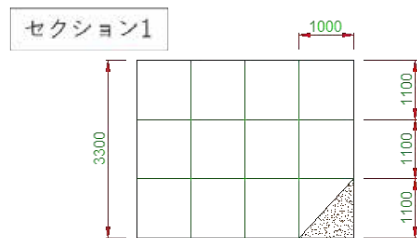
室内試験

地上における  
予備試験

詳細な試験施工  
計画の策定

試験施工及び  
計測の実施

結果の分析・評価



土留め壁の組立検査(地上)の様子



支保工建込み後の様子

平成30年度高レベル放射性廃棄物等の地層処分に関する技術開発事業  
(地層処分施設閉鎖技術確認試験)の成果を活用

# 3. 坑道埋戻し技術の開発

## 3.1.3 500m坑道での埋め戻し試験

小断面坑道の吹付けによる埋め戻し材の施工試験  
基本的な進め方

室内試験

地上における  
予備試験

詳細な試験施工  
計画の策定

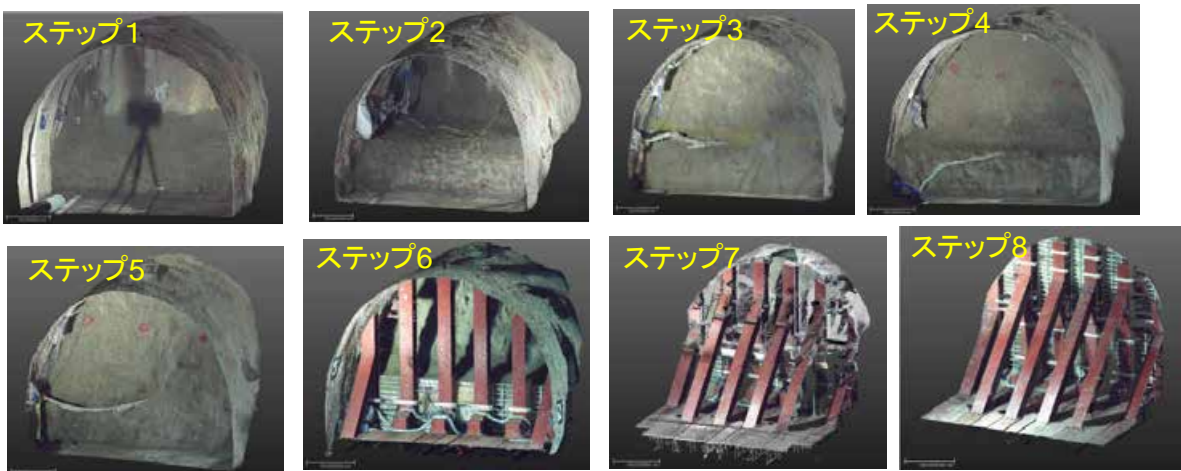
試験施工及び  
計測の実施

結果の分析・評価

【試験施工時の計測：3Dスキャナーによる出来型計測結果(一部)】

- ・3Dスキャナによる出来形は、カラーデジタル再生された点群データで構成されているため、現物にきわめて近いかたちで表現されている。また、坑道壁面や吹付け後の起伏も表現できており、各セクションの吹付け面の変化の様子を確認することができる。
- ・計測時間は今回の断面の大きさ(3m×3m)であれば、1計測あたり準備含めて20分程度。また、試料採取のように作業者の危険が伴うことはない

俯瞰図



断面図  
(坑道軸方向)





# 3. 坑道埋戻し技術の開発

## 3.1.3 500m坑道での埋め戻し試験

### ■主な成果

- ①埋め戻し技術という観点からの全断面吹付け施工の適用性
  - ✓ 埋め戻し工法として実用に耐える工法の一つと評価
  - ✓ 作業員の慣れや吹付け条件(ノズルの位置、向き)、施工環境(換気環境や供給可能な電力量)が施工性や品質に大きな影響を与えることを確認
  
- ②適用した品質管理手法の有効性
  - ✓ 施工した埋め戻し材の密度は、当初目標値を上回っており、本試験で適用した品質管理のための管理基準や計測項目は質・量とも適切
  - ✓ 3Dスキャナによる計測は、長大なトンネル群の埋め戻しに関する品質管理では、試料採取による品質管理と合わせて利用することで、合理的・効率的な品質管理に活用可能

# 令和2年度以降の超深地層研究所計画

## 計画の構成

- ① はじめに
- ② 研究開発の進捗状況について
- ③ 令和2年度以降の計画について

### ① はじめに

第3期中長期計画に基づき、機構改革で抽出した3つの研究課題の研究開発を令和元年度末までに成果を出すことを前提に取り組み、また、土地賃貸借期間の終了(令和4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を検討してきた。

その結果を「令和2年度以降の超深地層研究所計画」として取りまとめた。

# 令和2年度以降の超深地層研究所計画

## ② 研究開発の進捗状況について

### 【外部専門家による評価結果】

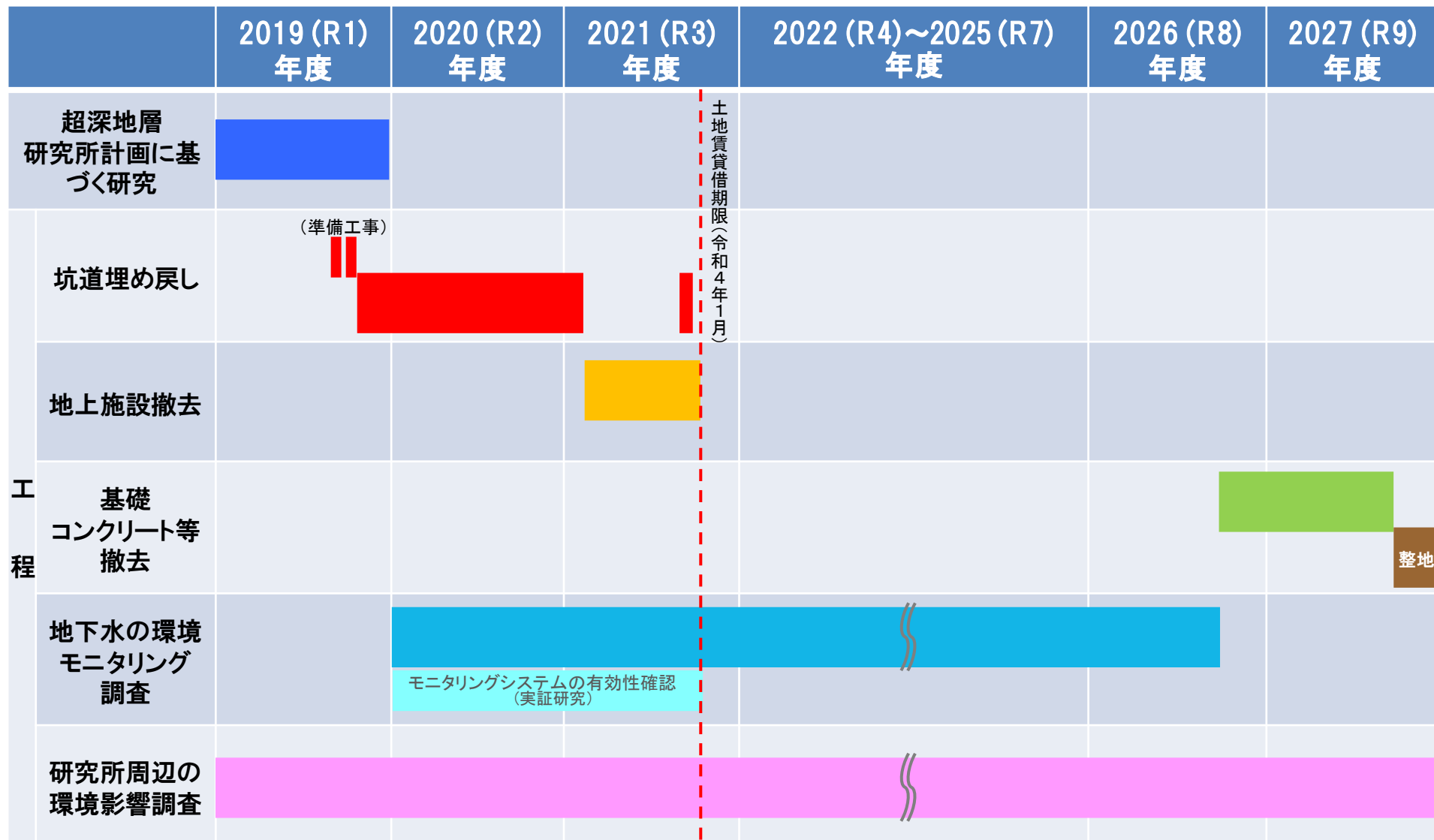
第3期中長期計画におけるこれまでの研究開発成果について、大学等の外部専門家からなる「深地層の研究施設計画検討委員会」において技術的な評価を受け、以下のような評価結果を得た。

- ◆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
- ◆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、国内外に広く展開されることを期待**

# 令和2年度以降の超深地層研究所計画

## ③ 令和2年度以降の計画について (1)

### 【埋め戻し作業の工程計画案】



\* 地上観測孔を利用した坑道周辺の地下水の水圧・水質観測については、研究所設置当初から継続しています。

# 令和2年度以降の超深地層研究所計画

## ③ 令和2年度以降の計画について (2)

### 【計画の要点】

- ◆ 超深地層研究所計画における研究開発は、令和元年度をもって終了
- ◆ 土地賃貸借期間の終了(令和4年1月)までに坑道の埋め戻し及び地上施設の撤去を完了するため、坑道埋め戻し等の作業を実施(今年度下期に着手)
- ◆ 研究所用地は、土地賃貸借期間終了時に一旦用地全体を返還した上で改めて下記作業に必要な部分を借用予定
- ◆ 坑道の埋め戻し期間中は、埋め戻しに伴う地下水の回復状況を確認するために整備するモニタリングシステムにより、坑道埋め戻し作業中の地下水の水圧・水質の変化を実際に観測し(地下水の環境モニタリング調査:既存の地上観測孔も使用)、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
- ◆ 坑道の埋め戻し後は、地下水の環境モニタリング調査を5年程度継続実施、また、作業期間を通して研究開始当初から実施している環境影響調査(河川水等の水質分析及び騒音・振動測定等)も継続実施
- ◆ 地下水の環境モニタリング調査終了後、地上施設の基礎コンクリート等の撤去及び地上観測孔の埋め戻し・閉塞、用地の整地を実施して全ての作業を完了

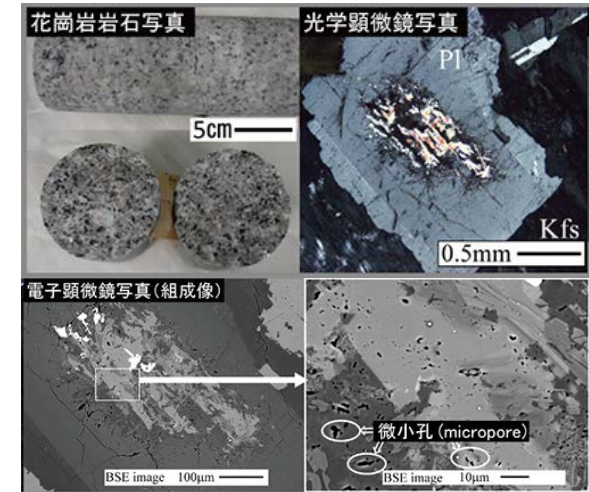
---

# 参考資料

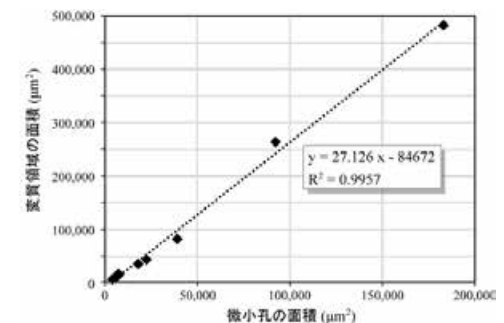
## 花崗岩内の物質移動経路に関する新知見 ～斜長石の熱水変質で生じる微小孔の役割と物質移動の解明～

### 【発表のポイント】

- 中部日本の土岐花崗岩を対象とした研究により、花崗岩中に多く含まれる斜長石の熱水変質現象で生じる花崗岩中の物質の移動経路としての微小孔の成因と役割を解明。
- 変質でできた鉱物の領域(変質領域)と、変質領域中に分布する数マイクロメートル程度の微小孔(図1)の間には正の相関がある。このことは、斜長石中の微小孔は熱水変質現象によって生じ、微小孔同士がお互いに連結することでネットワーク構造を形成し、このネットワーク状の微小孔が新たな物質移動の経路となることで、斜長石内部の変質が促進されたことをしめす。
- 鉱物年代の検討の結果、熱水変質現象をもたらす物質の移動速度は、 $3.8 \times 10^{-11} \sim 6.8 \times 10^{-11} \text{m/年}$ (斜長石中の微小孔が連結し、物質移動が生じた長さを変質が生じる期間で割った値)であり、土岐花崗岩中の割れ目を経路とする平均的な物質移動速度よりも一千億分の一程度の低い速度となった。
- さらに、斜長石の熱水変質現象に関する検討を通じ、7,000万年前から5,000万年前の花崗岩冷却時の地下水の長期的な水質変化を把握するために有用な方法を提示した。



花崗岩の岩石および薄片写真  
斜長石の中心部で変質が生じている。

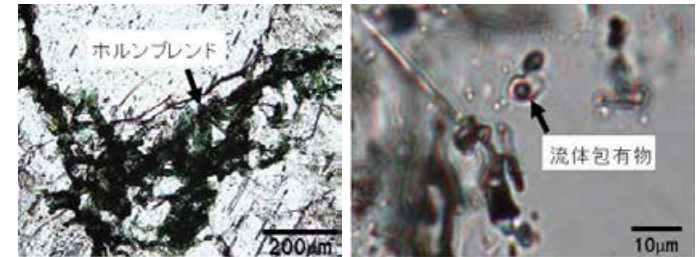


変質領域と微小孔領域の面積の関係  
両者の間には正の相関を有する。

## マグマ由来の流体による微小な割れ目網が地下水の流路に —世界初、白亜紀の花崗岩中に超臨界流体の痕跡を発見—

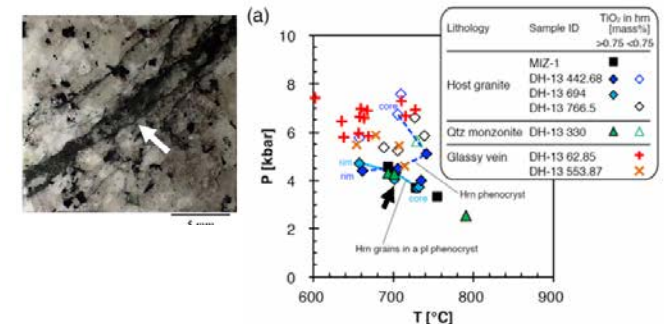
### 【発表のポイント】

- 従来、地下水の流路は断層運動によって形成されると考えられていたが、断層運動による割れ目が発達していない岩盤でも高透水化が生じていることが分かってきた。これには火成活動由来の気体に近い性質を持つ流体(超臨界流体)が関与していると推察されていたが、流路形成のメカニズム解明には超臨界流体の痕跡の発見が重要な鍵であった。
- 原子力機構は、東北大学と共同で、1000m級の大深度ボーリング調査により取得された岩石試料を用いて電子顕微鏡観察と鉱物分析を行い、白亜紀の花崗岩に保存されていた超臨界流体の痕跡を世界で初めて発見した。
- さらに、この痕跡の周りの花崗岩の岩盤中に顕微鏡スケールの微小な割れ目(マイクロフラクチャ)ネットワークが発達して流路になっていることを明らかにした。
- この成果は、今後、地層処分における地質環境の長期変遷解析技術の高度化のみならず、花崗岩地域の地下深部における流体の移動や微小地震の発生メカニズムに関わる科学的研究へも応用され、トンネルなどの地下構造物の湧水対策に関わる設計・施工方法の改良や、斜面災害との関係の解明などに繋がることも期待される。



岩石薄片試料に認められた超臨界流体の痕跡の光学顕微鏡写真

左: 開口割れ目中の自形ホルンブレンド(緑色の鉱物)、右: 石英結晶中の流体包有物



左: 超臨界流体の流路の痕跡(白矢印)、右: 鉱物の化学組成を用いた温度圧力解析の結果

超臨界流体の温度は、ホルンブレンドと斜長石の化学組成から約700°C(黒矢印)と見積もられた(右)。



# 成果のまとめ

## 【瑞浪超深地層研究所計画】

以下のような成果が得られており、精密調査後半に必要な技術開発レベルに到達しつつあると考える。

### 1. 地下坑道における工学的対策技術の開発

(必須の課題達成目標)

- ・湧水量を制御するウォータータイトグラウト施工技術の実証
- ・地下水排水処理技術等の高度化

(成果のまとめと必須の課題達成度)

- ・プレグラウチングとポストグラウチングを併用により湧水抑制効果を確認
- ・瑞浪超深地層研究所において適用している排水処理の効率を上回るような処理技術は見当たらず、現行の処理方法が現時点で適切であることを確認した。

⇒必須の課題目標達成

(地層処分事業や他分野への貢献)

⇒適用した手法はグラウチングの目標設定、計画策定及び結果の検証に有効な手法であり、排水処理費の削減や、人工バリア施工時の作業環境において湧水箇所や湧水量を低減することにより施工精度の向上に寄与

⇒今回実証された多量の排水処理技術は、日本全国に分布する鉱山跡地から湧水する汚染水処理にも応用可能

# 成果のまとめ

## 【瑞浪超深地層研究所計画】

### 2. 物質移動モデル化技術の開発

(必須の課題達成目標)

- ・物質移動現象の理解・モデル化
- ・割れ目の透水性, 地下水流動・水質の長期変化, 地下水流動の緩慢さの例示

(成果のまとめと必須の課題達成度)

- ・地下坑道で得られる情報を用いた割れ目モデル化手法を提示
  - ・地下坑道からの調査データに基づく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の考え方を組み込んだDFNモデルの構築手法を開発
  - ・大深度の地点におけるトレーサー試験などの[物質移動調査技術](#)を構築
  - ・ボーリング孔を利用した[コロイド](#)および[微生物](#)の調査技術を構築
- ⇒必須の課題目標達成

(地層処分事業や他分野への貢献)

- ⇒この技術開発成果は, 国内の結晶質岩における物質移動の遅延能力を示す重要な成果の一つと考えられる。
- ⇒これらの手法は地層処分のみならず, 一般の地下空洞建設時の割れ目分布評価への適用が期待される。

# 成果のまとめ

## 【瑞浪超深地層研究所計画】

### 3. 坑道埋め戻し技術の開発

(必須の課題達成目標)

- ・坑道の一部埋め戻し, 冠水時の地質環境の回復能力等を評価
- ・地質環境に応じた埋め戻し技術の構築
- ・長期観測に必要なモニタリング技術の開発

(成果のまとめと必須の課題達成度)

- ・再冠水試験に伴う地下水の水圧変化や[水質変化の観測](#), 冠水前後の2次元比抵抗分布, 冠水坑道周辺における湧水量変化のデータ取得
- ・既往の連成解析ソフトウェア(COUPLYS)を, 岩盤の不均質性のモデル化, モデルの大規模化, 解析速度の高速化の観点で改良し, 汎用性の高いツールとして整備
- ・5MPaの水圧環境下においても, 埋め戻し材内部の土圧や水圧の観測機器は十分な耐久性を保持しており信頼性の高い観測が可能

⇒必須の課題目標達成

(地層処分事業や他分野への貢献)

⇒この技術開発成果は, 実規模での地下空洞の掘削/維持/閉鎖後の環境変遷過程を解析し, かつ実データを基に妥当性を示す重要な成果である。

# 評価結果

平成31年3月6日

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構  
理事長 児玉 敏雄 殿

地層処分研究開発・評価委員会  
委員長 小島 圭二

研究開発課題の中間評価について（答申）

平成30年11月8日付貴発「30原機（地）020」において、当委員会に諮問のあった「地層処分技術に関する研究開発」に関する中間評価について、その評価結果を別紙のとおり答申します。

（答申内容）

研究開発課題「地層処分技術に関する研究開発」中間評価 報告書

以 上

深地層の研究施設計画については、研究開発の実施状況の報告に加え、「深地層の研究施設計画検討委員会」において審議された「深地層の研究施設計画における必須の課題成果とりまとめの評価結果について」を聴取し、「深地層の研究施設計画検討委員会」としての以下の総合評価結果が妥当なものであると判断した。

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、本地下研究施設を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。

- ◆ **超深地層研究所計画における研究開発は、令和元年度をもって終了**
- ◆ **土地賃貸借期間の終了（令和4年1月）までに坑道の埋め戻し及び地上施設の撤去を完了するため、坑道埋め戻し等の作業を実施（今年度下期に着手）**