

TONO GEOSCIENCE CENTER

東濃地科学センター

Ventilation Shaft \varnothing 4500 DP500.2m

Main Shaft
 \varnothing 6500
DP500.4m

特集 瑞浪超深地層研究所



お問い合わせ

 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

東濃地科学センター 瑞浪超深地層研究所 〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内1-64 総務・共生課

TEL 0572-66-2244 FAX 0572-68-7717 Webサイト <https://www.jaea.go.jp/04/tono/index.html>



東濃地科学センター
所長 伊藤 洋昭

東濃地科学センターでは、瑞浪超深地層研究所及び土岐地球年代学研究所の二つの研究施設において、深地層の科学的な研究(地層科学研究)を実施しています。地層科学研究は、原子力発電に伴って発生する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のうち、地下深部における地質環境の特性や長期の安定性等について研究するものです。

瑞浪超深地層研究所では、深度500mに及ぶ研究坑道を掘削し、主に結晶質岩(花崗岩)を対象とした研究を行っています。本研究の実施にあたっては、地元自治体と協定を締結し、放射性廃棄物を持ち込まないことや、将来にわたって研究所を処分場とはしないこと等を約束しています。

本研究所では、平成15年から研究坑道の掘削工事を開始し、平成26年に深度500mの研究坑道が完成しました。ここでは、一般に馴染みのない地下での様々な現象の研究や調査技術の開発、坑道の建設・維持のための工学技術の開発に取り組んでおり、これまでの知見を集約し最新の技術を駆使して最先端の研究を進めています。また、深度500mまでの地質環境を研究できる我が国唯一の研究施設であることから、研究坑道を国内外の大学や研究機関などに広く開放するとともに、地層処分に関する理解醸成を図るため、深地層の環境を実感できる体験の場としても活用しています。

東濃地科学センターの事業は、瑞浪市、土岐市をはじめとする地域の皆さまのご理解とご協力がなければ進めることはできません。今後とも地元自治体との協定を順守して、事業の透明性を確保しつつ、安全確保と環境保全を第一に研究開発を進めてまいります。

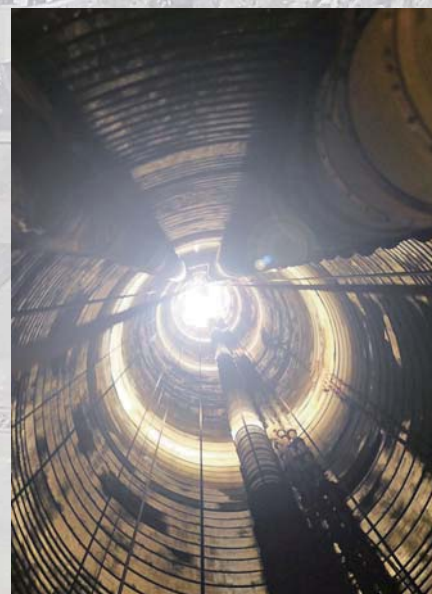
引き続き、皆さまのご理解とご協力を賜りますよう、お願い申し上げます。

TONO GEOSCIENCE CENTER

特集 瑞浪超深地層研究所

contents

- 01 超深地層研究所計画の概要
- 02 瑞浪超深地層研究所
- 04 研究施設の概要と掘削工事
- 07 研究坑道掘削工事の歩み
- 08 研究開発の概要
- 14 共同研究・施設共用
- 16 人材育成・技術継承
- 17 国際連携・貢献
- 18 理解醸成活動
- 21 研究成果リスト



日本の地質環境の理解と技術基盤の整備のための深地層の研究施設計画

超深地層研究所計画の概要

超深地層研究所計画

国立研究開発法人日本原子力研究開発機構は、わが国の高レベル放射性廃棄物の地層処分計画を進めて行くため、原子力発電環境整備機構が進める地層処分事業と国による安全規制の両面を支えるため、地層処分技術に関する研究開発を実施してきた。このうち、東濃地科学センターでは、深地層の科学的な研究(地層科学研究)の一環として、岐阜県瑞浪市において「超深地層研究所計画」を進めている。

段階では、地表からのボーリング調査や物理探査などを実施し、地下深部の地質環境を予測する。第2段階では、研究坑道を掘削し、地下深部の地質環境を直接確認することにより、第1段階で適用した調査解析技術を評価すると共に、坑道掘削に伴う地質環境の変化の把握及び坑道掘削技術などの工学技術の実証を行う。第3段階では、研究坑道を利用して、地質環境の詳細な研究及び坑道の維持・閉鎖に伴う地質環境の変化の把握、坑道維持・閉鎖に係る工学技術の実証を行う。現在は、第3段階の研究開発を実施中である。

技術基盤の整備状況

これまでに、深度1000mまで調査可能な地下水調査機器の開発や地質環境のモデル化などの地質環境の調査解析技術、並びに坑道掘削に伴う地下水の水圧・水質などの変化を捉えるための調査・評価技術を開発整備してきた。また、工事を通して坑道を建設・維持するための工学技術などの実証を行うとともに、日本特有の地質環境に係る科学的知見などを蓄積している。

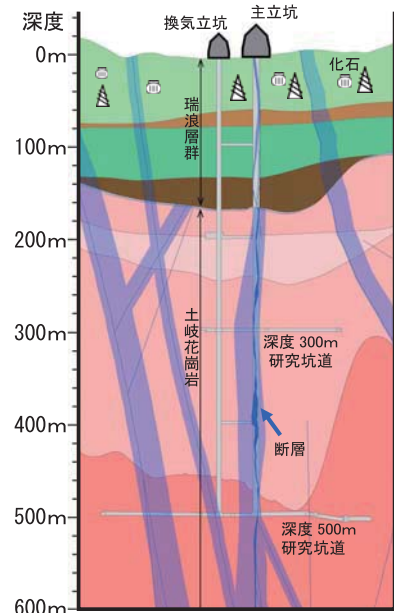
地下研究所のもう一つの役割

本研究所は、地層処分に対する国民との相互理解の場としての役割も担っており、全国から年間2500名前後の見学者を迎え、理解醸成に努めている。

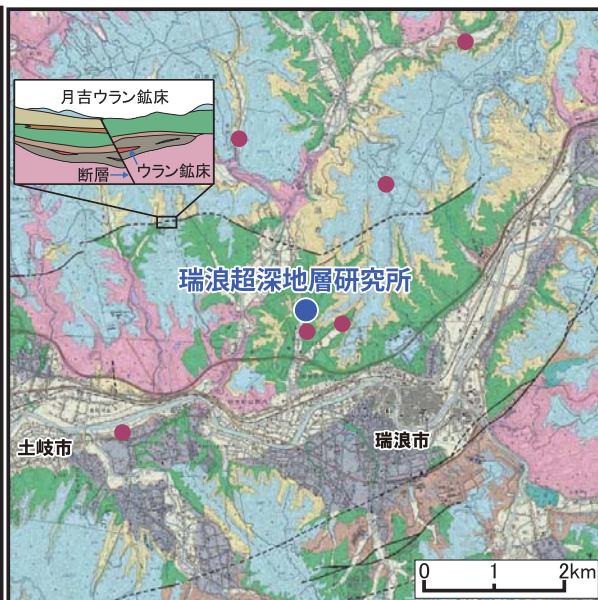
また、人材育成や技術継承の一環として、国際機関による講習会の開催や大学等の若手研究者の養成にも協力している。さらに、外部研究機関との共同研究や研究坑道の施設共用により、学術分野の研究にも貢献している。

研究開発の段階的アプローチ

本計画では、計画全体を3つの段階に分けて研究開発を進めている。第1



研究用地の地質断面図



研究所周辺の地質図

- 新第三紀中新統 瑞浪層群**
- 明世累層
 - 明世累層基底礫岩層
 - 土岐夾炭累層
 - 土岐夾炭累層基底礫岩層
- 白亜紀後期 土岐花崗岩**
- 土岐花崗岩上部割れ目帯
 - 土岐花崗岩上部割れ目帯 (低角度割れ目集中帯)
 - 土岐花崗岩下部割れ目低密度帯
 - 断層・破砕帯

- 第四紀の堆積物
- 新第三紀中新世後期～第四紀更新世前期の堆積岩(瀬戸層群)
- 新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)
- 白亜紀後期の花崗岩(土岐花崗岩)
- — 断層

● 広域地下水流動研究のための地下水観測孔(深度500～1000m)

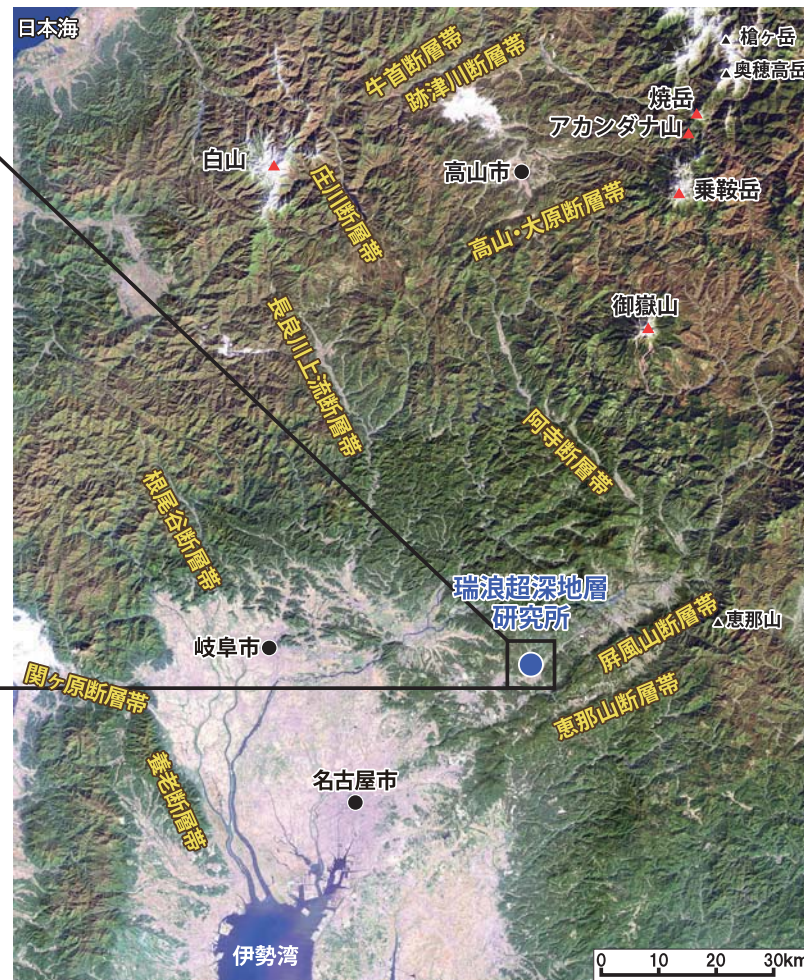
注1) 広域地下水流動研究は、地層科学研究の一環として、広域における地表から地下深部までの地質・地質構造、岩盤の物理や地下水の水質を明らかにするために必要な調査解析技術などの開発を目標とする研究プロジェクトであり、平成4年度に開始された。

過去七千万年間の地質履歴

瑞浪超深地層研究所は、日本列島の中でも地殻変動の大きい中部地方に位置している。そのため、研究対象の地質環境は、花崗岩体(土岐花崗岩)の形成から現在までの約七千万年間に、火成活動、断層運動、隆起・沈降などによる侵食や海進・海退などの様々な地質現象や気候変動などの影響を受けて今日に至っている。

その間、約二千万年～千五百万年前に堆積した新第三紀の地層(瑞浪層群)は、始り変形を受けておらず、地層中には頁化石が原形を留めて保存されている。また、研究所の近傍には、日本最大のウラン鉱床(月吉ウラン鉱床)が形成から約一千万年の間、存在し続けている。

このような地層中の化石やウラン鉱床の存在は、様々な地質現象などの影響を受けているにも関わらず、地下水の動きが緩慢で、水質は中性から弱アルカリ性で還元状態であるといった地層処分の安全性を維持する上で適した状態が長期間保持されてきたことを示す証拠といえる。このような地質環境を研究することにより、地質環境の長期安定性に関する知見が蓄積できるとともに、得られる研究成果は、地層処分における安定な地質環境の意味を国民に理解してもらう上でも有効な事例となり得る。



中部地方の主な活断層帯と活火山

第三のフロンティアへの入口

人類にとって地下深部は、宇宙空間、深海底に続く第三のフロンティアである。人間の生活環境から隔離されたこれらの領域へは、容易に近づくことができない。そのため、宇宙空間へはロケットが使われるように、アクセスするためには特別な手段が必要である。

瑞浪超深地層研究所は、研究者が深度500mまでの地質環境に常時アクセス可能な、わが国唯一の研究施設であり、まさに宇宙空間におけるロケットや深海底における潜水調査船の役割を果たしている。

多種多様な地質環境

瑞浪超深地層研究所には、新第三紀の堆積岩(瑞浪層群)及び白亜紀後期の黒雲母花崗岩(土岐花崗岩)が分布している。また、これらの地層・岩体中には断層や割れ目帯などが存在し、岩盤の強度や透水性といった岩盤力学や水理学的な違い、健岩部・変質部といった地球化学的な違いなどの多種多様な地質環境にアクセス可能であることから、幅広い研究課題に取り組むことが可能である。

さらに、研究所の周辺に整備されている広域地下水流動研究(注1)のための地下水観測孔のデータを組み合わせることにより、深部地下水における涵養域から流出域までの流動や水質の形成機構、地震に伴う地下水圧の変化など、様々な空間スケールでの自然現象の研究や地質環境に関する調査解析技術の実証が可能である。



研究施設の概要と掘削工事

瑞浪超深地層研究所の施設構成

瑞浪超深地層研究所は、施設の運用に必要な各種施設からなる地上施設と立坑及び水平坑道からなる地下施設から構成されている。

地上施設は、立坑掘削用の櫓を収納した防音ハウス、巻上設備、坑内湧水（地下水）を河川に放流するための排水処理設備、コンクリートプラント、受変電設備、工事施工者の事務所、見学者のための概況説明室や展示スペースを備えた管理棟などからなる。

地下施設は、深度500mまで到達している2本の立坑（主立坑、換気立坑）と深度100m間隔で2本の立坑を結ぶ水平坑道、及び主な研究開発の場となる深度300mと500mの水平坑道などからなる。

国内三位の深度を誇る二本の立坑

地上と深度500mまでの研究坑道をつなぐ主立坑と換気立坑の2本の立坑は、人員及び資材の運搬、電力・通信線、吸排気及び給排水の経路を担う重要な施設であり、土木分野の立坑としては国内三位の深度を誇る。ちなみに、一位及び二位は中央自動車道恵那山トンネル換気立坑（下り線、上り線）である。主立坑と換気立坑を結ぶ水平坑道は「予備ステージ」と呼ばれ、排水用の水槽や施設維持のための各種機材が設置されている。また、中央には

両側に防火扉を備えた避難所があり、緊急時の資材が置かれている。この空間は研究スペースとしても利用されており、ボーリング孔を使った地下水観測が実施されている。

坑底までのアクセスは、スカフォード最上部までは工用エレベータ（主立坑・定員10名、換気立坑・定員5名）を使い、スカフォード内及び坑底までは、主立坑では螺旋階段、換気立坑では直梯を昇降する。工用エレベータは両立坑とも毎分約100mで運行されており、地上から約5分で深度500m（海拔マイナス300m）に到着する。

立坑の掘削工事

立坑の掘削工事は、平成15年7月に主立坑と換気立坑の坑口（地表から深度40m程度まで）の施工に着手し、その後、櫓、巻上機などの地上設備やスカフォードなどの立坑内の設備を構築し、平成17年2月から立坑掘削（立坑の掘削サイクルとして、1.3mの発破とスリ搬出を2回繰り返した後）に、2.6mの覆工コンクリートを打設するショートステップ工法を標準とした。この掘削サイクル中に、地質環境情報を取得するため、坑道壁面の地質観察や湧水の採取などを実施した。立坑の掘削工事にあたっては、先行

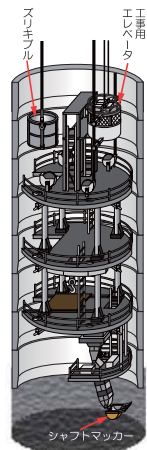
ボーリング調査の結果を踏まえ、坑内湧水量を可能な限り抑制した上で排水処理を実施していくことが効率的と考え、予想される湧水状況に応じて湧水抑制対策を講じながら掘削した。

その結果、換気立坑の深度170mから500mまでの花崗岩部では、C H級を主体とする良好な岩盤状態であったが、深度200m付近と400m付近に日量数百mに達する湧水が予想されたため、この2区間に対してグラウチングを実施した。

一方、主立坑は、強変質の花崗岩と貫入岩が分布する断層破砕帯（主立坑断層）に沿って掘削したため、岩盤の透水性が低く、掘削時は壁面から滲水程度で顕著な湧水は発生しなかった。このため、主立坑の掘削では湧水抑制対策を実施していない。なお、壁面の自立性が低い箇所には、ロックボルトの打設及びシリカレジン注入による地山安定化対策を実施した。

異なる地質環境に展開される深度300mと500mの研究坑道

深度300mの研究坑道は、土岐花崗岩体の「上部割れ目帯」に位置し、岩盤内には高角度と低角度の割れ目が発達していることから、地下水が流れ易い状態にある。先行ボーリング調査でも最大毎分1600ℓを超える大量の湧水が予想されたため、坑道掘削前



スカフォードの構造
立坑掘削の際に坑内に設置し、作業深度に応じて昇降させる移動式の吊り足場。



① 主立坑
掘削深度：500.4m、内径：6.5m
平成23年7月に深度500mに到達。主立坑側の研究坑道への資材及び作業員の運搬に使用。



② 主立坑の工用エレベータ
主立坑の工用エレベータの定員は10名。深度500mまでは約5分で到着する。



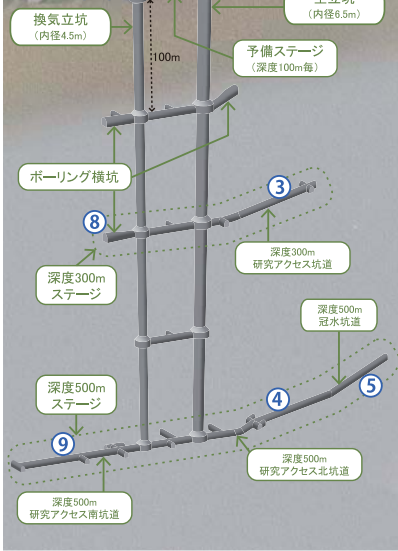
③ 300m研究アクセス坑道
本坑道は、長さ95.7m、高さ3m、幅4m。坑道内では地下水観測の他に地震観測や微生物などの研究が実施されている。



④ 500m研究アクセス北坑道
本坑道は、長さ161.4m、高さ4.5m、幅5m。先端約40mは冠水坑道としており、冠水坑道とは傾斜10%の斜坑で結ばれている。



コンクリートプラント、巻上設備、防音ハウス、管理棟、排水処理設備、工事施工者事務所、受変電設備（非常用発電設備）



瑞浪超深地層研究所の地上施設と地下施設
地下施設は2本の立坑と100m間隔で立坑間をつなぐ予備ステージ、及び深度300mと500mに展開する水平坑道から構成される。



⑤ 500m冠水坑道
坑道閉鎖時の地質環境の回復現象の把握などを目的とする再冠水試験用坑道。入口に50気圧の耐圧性能をもつ止水壁を設置している。



⑥ 換気立坑
掘削深度：500.2m、内径4.5m
平成23年4月に深度500mに到達。換気立坑側の研究坑道への資材及び作業員の運搬、主立坑のバックアップ施設の役割を担う。



⑦ 換気立坑の工用エレベータ
換気立坑の工用エレベータの定員は5名。深度500mまでは約5分で到着する。



⑧ 300mボーリング横坑
本坑道は、長さ16.4m、高さ3m、幅4m。坑道内では地下水観測の他に物質移動試験などが実施されている。



⑨ 500m研究アクセス南坑道
本坑道は、長さ118.65m、高さ3.5m、幅4m。坑道内では地下水観測の他に湧水抑制対策や物質移動試験などが実施されている。



⑩ 排水処理施設
瑞浪超深地層研究所は、岐阜県及び瑞浪市と締結している環境保全協定に則り、排水処理施設により濁度及び水素イオン濃度の調整のほか、ふっ素とほう素を除去して近隣の河川に放流している。排水処理施設は、1日に最大1500m³の処理能力をもつ。

研究坑道掘削工事の歩み

START

2002.01

瑞浪市と「土地賃貸借契約」及び「土地賃貸借契約に係る協定」締結



造成工事後の研究用地

2002.04

瑞浪超深地層研究所開所
研究用地での第1段階の調査研究着手



換気立坑の坑口

2002.07

研究用地造成工事着工



換気立坑へのスcaffoldingの設置

2003.07

立坑掘削工事着工

2004.04 第2段階の調査研究開始
2005.03 第1段階の調査研究終了

2007.02

主立坑
2007.08 換気立坑
深度200m 到達

2007.09

深度200m 予備ステージ貫通

2008.08

主立坑
2008.11 換気立坑
深度300m 到達



完成した深度500m研究アクセス北坑道の止水壁

PRESENT

2006.02

ふっ素・ほう素の除去機能を付加した排水設備による排水開始



ふっ素・ほう素の除去機能が付加された排水処理プラント

2009.01

深度300m 予備ステージ貫通



完成した深度500m研究アクセス南坑道

2016.02

深度500m 研究アクセス北坑道止水壁完成

2005.11

岐阜県及び瑞浪市と「瑞浪超深地層研究所に係る環境保全協定」締結



排水停止により水没した立坑

2009.03

深度300m 研究アクセス坑道掘削完了

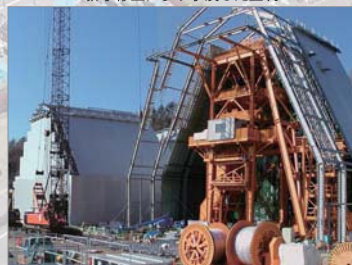


深度500m予備ステージ貫通式

2014.02 深度500m研究坑道掘削完了
2014.03 第2段階の調査研究を一旦終了

2005.10

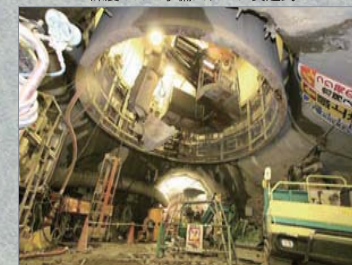
地下水中のふっ素・ほう素濃度の上昇による掘削工事中断と排水停止



立坑の櫓を囲む防音ハウスの建設

2009.08

換気立坑
2009.09 主立坑
深度400m 到達



主立坑側の掘削作業

2012.07

深度500m 予備ステージ貫通

2005.06

深度100m 予備ステージ貫通

2009.10

深度400m 予備ステージ貫通

2010.04

第3段階の調査研究開始

2011.04

換気立坑
2011.07 主立坑
深度500m 到達

瑞浪超深地層研究所における研究開発の概要

瑞浪超深地層研究所における研究開発の状況

超深地層研究所計画の目標と進め方

超深地層研究所計画では、深部地質環境の調査・解析・評価技術及び深地層における工学技術の基盤を整備を全体目標として掲げている。これらの全体目標を達成するため、研究坑道の建設工程やこれに伴う調査研究の課題、対象、空間スケールなどを考慮し、計画全体を「地表からの調査予測研究段階（第1段階）」、「研究坑道の掘削に伴う利用した研究段階（第2段階）」、「研究坑道を利用した研究段階（第3段階）」の3つの段階（図1）に区分して進めている。

不確実性の要因を抽出し、それを次段階の調査対象に設定した。
第1段階の調査研究は、地層処分事業での概要調査及び精密調査の段階における地上からの調査に相当するフェーズと位置づけられる。このため、第1段階の調査研究は、地層処分事業における地上からの調査や安全規制の検討に資するための技術基盤を強化する目的も有する。

空間スケールに関しては、不均質な地質環境を限られた調査量で効率的に理解していくため、広域地下水流動系の涵養域から流出域までの範囲や研究所用地及び研究坑道のレイアウト等に着眼して、リージョナル、ローカル、サイト及びプロットの4つの空間スケール（図2）を設定した。なお、リージョナル及びローカルの空間スケールにおける調査研究は、広域地下水流動研究（図3）として実施した。

さらに、本計画では、調査に伴う不確実性を効率よく低減させるため、繰り返しアプローチ（図4）による調査試験の展開を試みた。具体的には、調査結果から構築した地質環境モデルに基づき、感度解析などにより、主要な

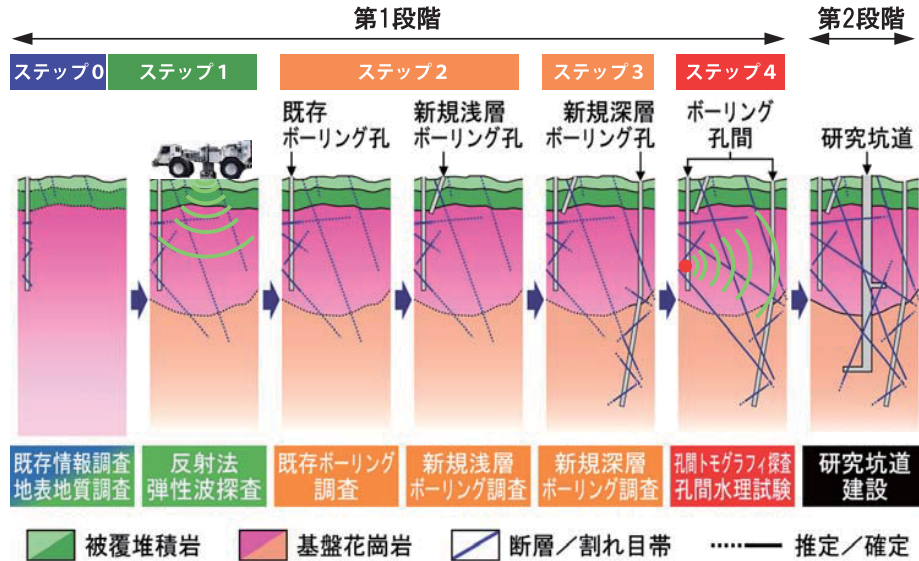


図5 第1段階における調査研究の流れ

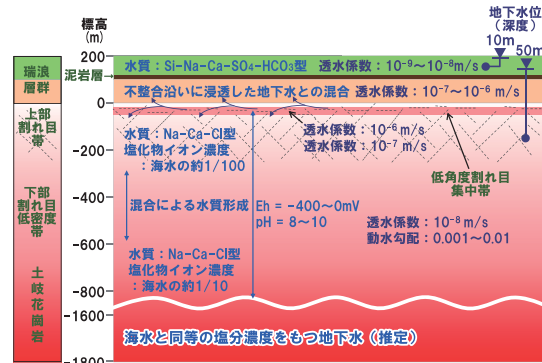


図6 第1段階における水理地質構造・地球化学概念モデル

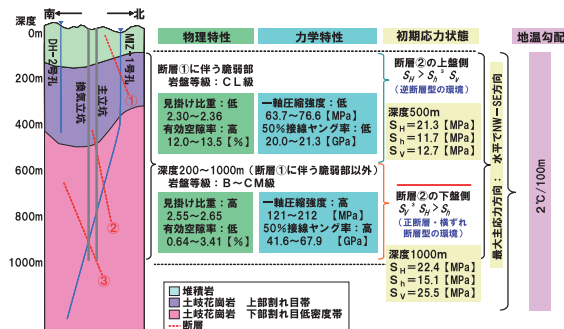


図7 第1段階における岩盤力学概念モデル

などの坑道建設前の地質環境の初期状態を示す水理地質構造モデル及び地球化学モデルを構築した（図6）。さらに、地上から掘削したボーリング孔を利用して岩盤の初期応力測定を実施するとともに、ボーリングコアを用いた物性・力学試験を実施し、これらの結果と地質・地質構造の情報を用いて岩盤力学概念モデル（図7）を構築した。これに基づき研究坑道の設計

施工計画の立案のための坑道の支保設計や安定性解析、耐震設計及び通気網解析に基づく安全設備の設計などを実施した。このように地上からの調査研究に基づき、坑道建設前の地質環境特性の初期状態を把握し、地質環境モデルを構築するという所期の目標を果たしたことから、第1段階は、平成16年度末に終了した。

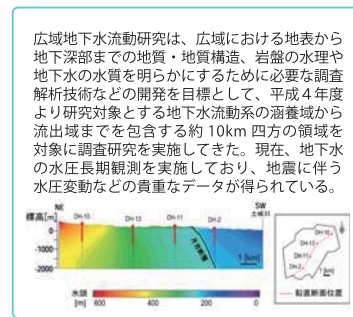


図3 広域地下水流動研究

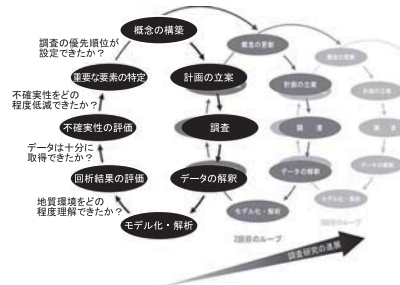


図4 繰り返しアプローチ



図1 超深地層研究所計画の進め方

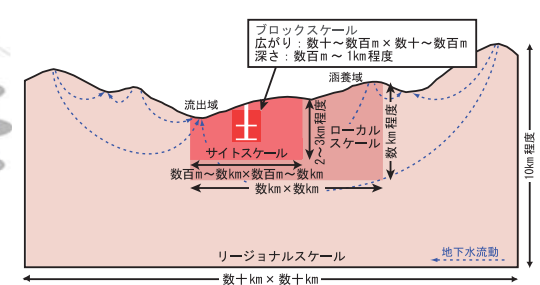


図2 空間スケールの概念

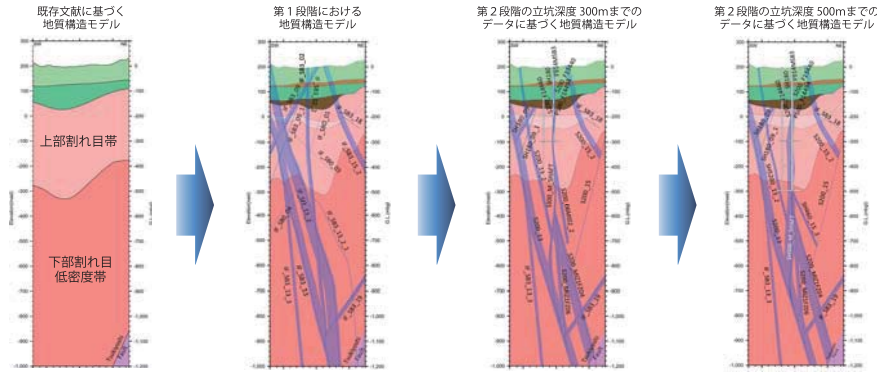


図9 調査の進展に伴う地質構造モデルの更新結果

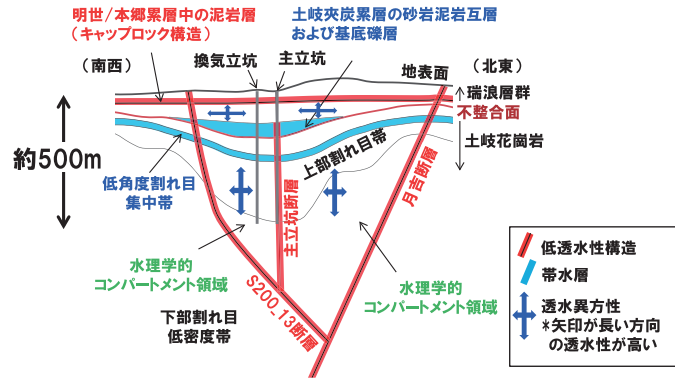


図10 地下水の水圧観測に基づく水理地質構造の概念化

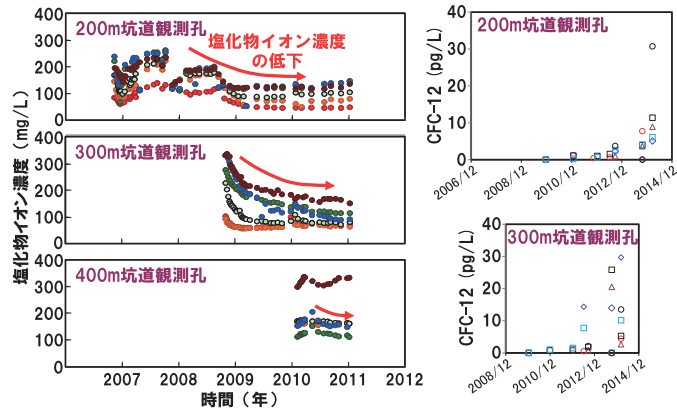


図11 研究坑道の掘削による地下水の水質変化の例

第2段階の調査研究
第2段階においては、地下に研究坑道が掘削され、地下深部へのアクセスが可能になることから、地質環境をより精度良く理解することが可能になる。一方で、研究坑道の建設に伴い地質環境は人工的擾乱を受ける。ただし、擾乱の程度は、領域によって異なる

可能性もあることから、施設建設に伴う擾乱の程度を把握することにより、地質構造や水理地質構造の理解の深化につなげられる可能性もある。
そこで、第2段階では、研究坑道掘削時の壁面地質調査、ボーリングコアを用いた初期応力測定、地表及び研究坑道から掘削したボーリング孔(図8)

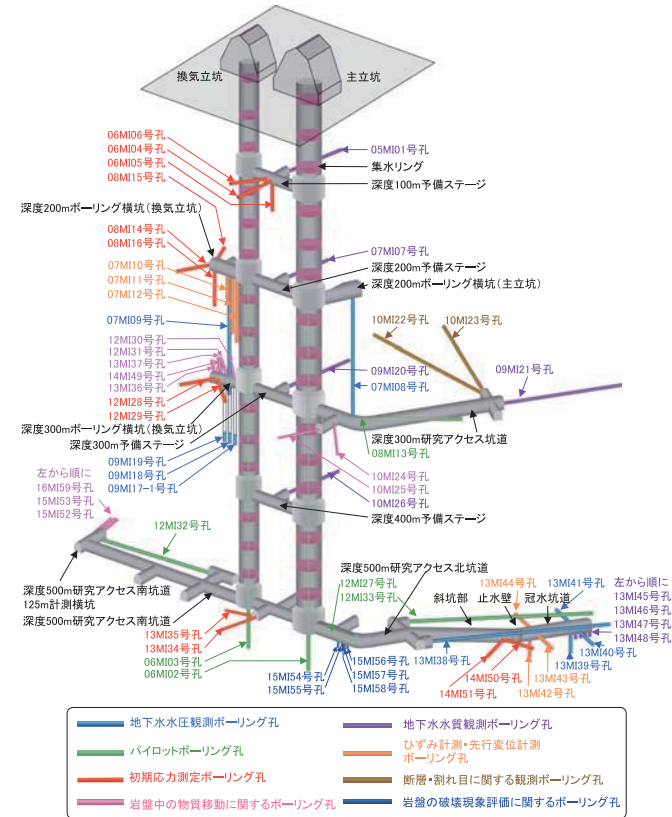


図8 研究坑道から掘削したボーリング孔

を用いた地下水の水圧・水質、地中変位などの観測を実施するとともに、これらの調査試験の結果に基づいて地質環境モデルを構築・更新した(図9)。
第2段階までの調査研究の結果、研究所及びその周辺には高角度傾斜を有する北北西走向の断層系が卓越しており、そのうち主立坑で確認された断層(主立坑断層)は、低透水性の断層であることが推定された(図10)。
また、地下水の水圧観測の結果、低透水性の断層や新第三紀層中の泥岩層を境とした領域(水理学的コンパートメント構造)ごとに水圧の変動傾向が異なることを確認した(図10)。

立坑付近の花崗岩中においては、低角度及び高角度傾斜の割れ目が発達する領域(上部割れ目帯)が深度460m付近まで分布し、それによって比較的低い割れ目頻度の低い下部割れ目帯が分布している。
なお、第3段階の調査研究の主たる実施場所となる深度500mステージの研究坑道の掘削工事が平成26年2月に完了したことから、第2段階の調査研究は、平成25年度末で一旦終了

第3段階の調査研究

第3段階の調査研究は、深度3000メートルにおける研究坑道完成後の平成22年度から開始された。調査研究の実施内容に関しては、高速増殖原型炉「もんじゅ」の保守管理の不備などを発端とする機構改革において、事業の合理化の一環として、地下研究所で実施すべき残された必須の課題が議論された。その結果、超深地層研究所計画における第3段階の調査研究として、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」、「坑道埋め戻し技術の開発」の3つの課題が抽出された。

また、平成27年度から開始された「国立研究開発法人日本原子力研究開発機構の中長期目標を達成するための計画（平成27年4月1日～平成34年3月31日）」（以下、中長期計画）において、超深地層研究所計画については、機構改革で抽出した3つの課題に重点的に取り組み、平成31年度までの5年間で成果を出すことを前提に取り組むこと、また、同年度末までに、研究開発の進捗状況等を確認し、土地賃借期間の終了（平成34年1月）までに埋め戻しができようという前提で考え、坑道埋め戻しなどの今後の進め方について決定することになっている。

現在、中長期計画に従って、これらの課題の研究開発を実施しているところである。以下に、これらの課題の概要と現在

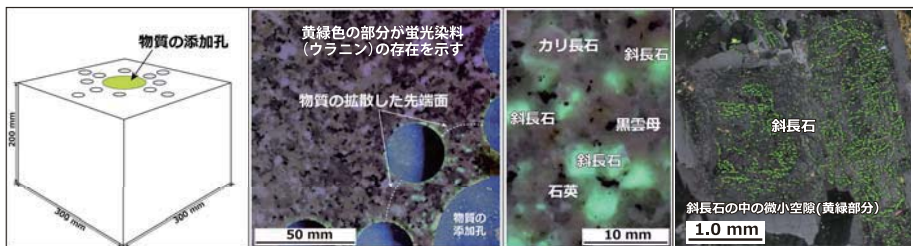


図13 岩石ブロックを用いた拡散試験の結果

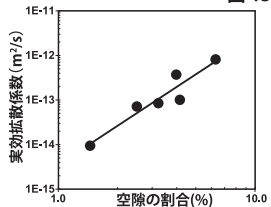


図14 実効拡散係数と空隙の割合との関係



図15 冠水坑道に設置された止水壁



図16 冠水坑道内の水圧変化

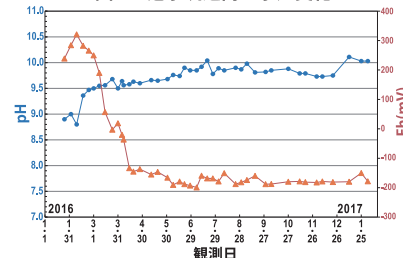


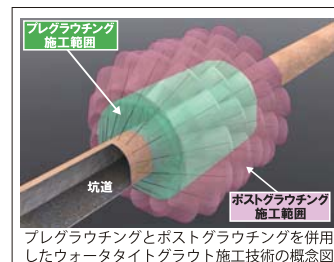
図17 冠水坑道内の地下水のpHと酸化還元電位(Eh)の変化

坑道埋め戻し技術の開発

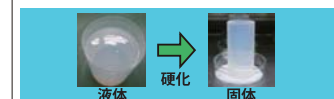
本課題では、坑道の一部を埋め戻し、地下水を自然に冠水させることにより、地下水の水圧・水質及び坑道周辺岩盤の化学的・力学的変化を観察し、地質環境の回復能力などを評価するとともに、地質環境に応じた埋め戻し技術の構築を目指している。また、長期の観測に必要なモニタリング技術の開発も実施している。

現在は、深度500m研究アクセス北坑道において、坑道の一部を閉鎖し地下水により冠水させる「再冠水試験」を実施している。この試験は、地下施設の建設・操業により乱された地質環境の回復能力の例示及び関連する技術の開発を目的としている。

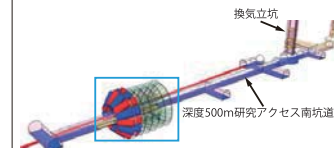
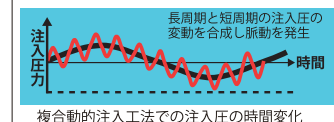
これまでに冠水坑道（幅5m、高さ4.5m、長さ約40m、容積約900m³）



プレグラウチングとポストグラウチングを併用したウォータタイトグラウト施工技術の概念図



グラウト材として採用した活性シリカコロイド



ポストグラウチングの施工位置



ポストグラウチングの施工風景

図12 グラウチング技術の開発

地下坑道における工学的対策技術の開発

本課題では、研究坑道への湧水量をプレグラウチングとポストグラウチングの組合せにより制御可能とするウォータタイトグラウト施工技術を実証するとともに、地下水排水処理技術などの地下水管理技術の高度化に取り組んでいる。

これまでに、深度500m研究アクセス南坑道における湧水量の多い区間を対象に、坑道掘削後のポストグラウチングを実施した図12。その結果、グラウチング実施前の予測湧水量1380m³/日に対し、青函トンネル工事の約2倍にあたる最大約40気圧の水圧状況下において、プレグラウチングにより50m³/日に、さらにポストグラウチングにより15m³/日に湧水量を低減することができた。

物質移動モデル化技術の開発

本課題では、花崗岩中の割れ目での物質の移動現象を理解してモデル化するための調査解析、割れ目の透水性及び地下水流動・水質の長期的変化、地下水流動の緩慢さを明らかにするための調査研究を実施することとしている。

これまでに、深度500mの研究坑道から採取した花崗岩のブロック試料の入口に止水壁を設置し（図15）、冠水坑道内を坑道周辺の地下水により冠水させて、冠水坑道内外の力学・水理・化学特性の変化過程を観測した。その結果、坑道掘削後の冠水坑道周辺の地下水の水圧は、1.5MPa（坑道掘削前の冠水坑道周辺の水圧は3.8MPa程度）であったが、冠水により3.1～3.8MPa程度にまで回復した。その後、水圧は漸減し、2.5MPa程度で安定した（図16）。

地下水の水質については、冠水坑道内の地下水は、当初、大気に晒されていたため、冠水直後の地下水には酸素が溶存していたが、冠水直後から酸素濃度が減少し始め、約4か月後には検出限界の0.02mg/L未満となった。それと呼応して、地下水の酸化還元電位も回復した。地下水の酸化還元電位の入口に止水壁を設置し（図15）、冠水坑道内を坑道周辺の地下水により冠水させて、冠水坑道内外の力学・水理・化学特性の変化過程を観測した。その結果、坑道掘削後の冠水坑道周辺の地下水の水圧は、1.5MPa（坑道掘削前の冠水坑道周辺の水圧は3.8MPa程度）であったが、冠水により3.1～3.8MPa程度にまで回復した。その後、水圧は漸減し、2.5MPa程度で安定した（図16）。

（縦横3000ミリ、高さ2000ミリ）を用いた拡散試験の結果、トレーサーとして使用した蛍光染料（ウラニウム）は、中心の添加孔から不均一に拡散していることが確認された（図13）。

また、ウラニウムの分布を詳細に観察した結果、石英などの鉱物ではウラニウムがマイクログラックに認められたのに対して、斜長石では鉱物内部の微小空隙にウラニウムが確認された。

円盤状の花崗岩の試料（直径25ミリ×厚さ5ミリ）を用いた透過拡散試験によって得られた実効拡散係数とこれらの空隙の割合との間には正の相関が認められたことから（図14）、観察された空隙は、物質の移行を遅延する機能として重要なマトリクス拡散経路として機能している可能性がある。

この斜長石中の空隙は、日本の他の花崗岩にも存在すると予想されるため、国内外の複数の花崗岩を対象に分析を実施している。

マイナス180mVまで低下し、約4ヶ月前後で還元環境に回復することが確認された（図17）。この一連の水質変化には、微生物が関与していることが明らかになっている。一方、試験開始前にpH8.8であった水素イオン濃度は、試験開始後徐々に上昇し、坑道閉鎖後、6ヶ月経過した時点では、pH10程度に達した（図17）。この水素イオン濃度の上昇は、坑道壁面の吹き付けコンクリートに含まれるセメント材料の影響と考えられる。

冠水状態の観測を1年8ヶ月継続した結果、地下水の水圧・水質の変化は、ほぼ収束状態と判断し、冠水坑道内の地下水を排水した。その後、冠水によるコンクリートの坑壁及び坑道周辺岩盤の状態変化を把握するため、試料採取・分析及び物理探査を実施している。

共同研究・施設共用

表1 瑞浪超深地層研究所における共同研究の実績

組織名	共同研究テーマ
産業技術総合研究所	<ul style="list-style-type: none"> ● 深部地質環境における水-岩石-微生物相互作用に関する調査技術開発 ● 岩芯を用いた応力測定と掘削振動計測による掘削影響領域の評価に関する基礎的研究 ● 地球化学環境変動要因としての地下微生物の影響評価手法の技術開発と高度化 ● 岩盤の水理・化学・生物連成現象に関わる研究
原子力環境整備・資金管理センター	<ul style="list-style-type: none"> ● 無線計測技術の適用性に関する研究 ● 地質環境モニタリング技術の適用性に関する研究
電力中央研究所	<ul style="list-style-type: none"> ● 安定同位体や放射性同位体等による地下水年代測定 ● 岩盤中物質移行特性原位置評価技術高度化調査 ● 地下水年代調査及び評価技術の開発 ● 物質移動特性調査及び調査技術の開発
岡山大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 結晶質岩を対象とした微視的構造変化が長期挙動に及ぼす影響に関する研究
金沢大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 原位置試験による元素の固液分配係数(Kd)の決定及び評価手法の構築
京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 地質構造発達プロセスに基づく地質モデリング技術の開発 ● 岩石透水性の時間-空間変化の解明と超長期地下水流動予測への応用 ● 土岐花崗岩の浸透率空間分布の詳細把握と地下水流動系との関連性に関する研究
京都大学・大林組	<ul style="list-style-type: none"> ● 粘性流体注入に伴う周辺岩盤への影響に関する共同研究
静岡大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 大深度地球化学モニタリング技術に関わる研究
熊本大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 東濃地域を対象とした亀裂分布のマルチスケールモデリング技術の開発
東海大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 種々の計測結果に基づく深部岩盤中の応力場評価に関する基礎的研究
東京大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 地下深部における酸化還元環境の長期的な変化に関する研究 ● 地下環境の形成に関わる微生物プロセスの評価技術の研究 ● 結晶質岩を対象とした長期岩盤挙動評価手法に関する研究
東北大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 傾斜計を用いたモニタリング技術の開発 ● 花崗岩の割れ目と充填鉱物の形成条件に関する研究
名古屋大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 瑞浪超深地層研究所における地下深部岩盤の歪変化のメカニズムに関する研究 ● 結晶質岩体断層中における選択的物質移動経路の同定とその長期的挙動解析技術の開発
武蔵工業大学(現 東京都市大学)	<ul style="list-style-type: none"> ● 放射化分析手法を用いた微量元素分布に関わる研究
大林組	<ul style="list-style-type: none"> ● 亀裂性岩盤における透水不均質性のモデル化に関する研究
鹿島建設	<ul style="list-style-type: none"> ● 地中レーダによる坑道周辺岩盤における水理特性評価に関する研究
川崎地質	<ul style="list-style-type: none"> ● 地質構造探査技術(ミュオン粒子)に関する共同研究
清水建設	<ul style="list-style-type: none"> ● 逆解析を用いた地下水流動のモデル化・解析に関する共同研究
清水建設・シャルマル工科大学*	<ul style="list-style-type: none"> ● グラウト設計・評価手法と現場への適用に関する基礎的研究(*スウェーデン)
清水建設、デンカ、岡山大学、日本大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 低アルカリ性瞬結吹付けコンクリートと岩盤の相互作用に関する研究
東京測器研究所	<ul style="list-style-type: none"> ● 光ファイバびびり割れ検知センサの安全確保技術としての適用性に関する研究
西松建設	<ul style="list-style-type: none"> ● 掘削体積比エネルギーを用いた原位置岩盤物性評価に関する研究 ● 地質環境変化の把握を目的とした高精度弾性波計測システムの適用性に関する研究

表2 瑞浪超深地層研究所における施設共用の実績

組織名	施設利用目的
地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所	<ul style="list-style-type: none"> ● 地震観測のための坑内への地震計・歪計等の設置
京都大学	<ul style="list-style-type: none"> ● 断層周辺の地下水流動特性および物質移動特性に関する包括的研究 ● 研究坑道におけるEDZ(掘削影響領域)の透水性変化を把握する原位置計測
名古屋大学	<ul style="list-style-type: none"> ● ニュートリノ捕捉用原子核乾板(フィルム)の保管・観測
早稲田大学	<ul style="list-style-type: none"> ● ダークマター観測のための環境中性子測定

共同研究による外部研究機関への研究開発の場の提供

瑞浪超深地層研究所における地層科学研究は、地質学、水理学、地球化学、岩盤力学などの研究分野に跨る極めて学際的な研究である。また、高度な土木工学の技術などを用いることが必要なため、関係する研究機関や大学などとの協力は不可欠である。

そのため、本研究所では、これまでに表1に示すように、国内外の研究機関などと共同研究を実施し、各研究機関へ研究開発に必要な場を提供してきた。その結果、地下研究所ならではの研究成果が多数創出されており、機構の地層科学研究にも活かされている。

施設共用による学術分野への貢献

深度500mという地下深部に到達できる本研究所は、地上の施設では得難い高水圧、低振動、低宇宙線、定温などの特殊環境を定常的に提供可能である。そのため、本研究所においては、地層科学研究と直接関連しない学術分野の研究に対しても、施設共用の形で研究坑道を外部研究機関に利用いただいている。表2に示すように、これまでに国内の4つの研究機関が研究坑道を利用しており、地質環境関連の研究、地震防災の分野では、南海トラフ巨大地震研究のための重要な観測拠点の一つとして、また、素粒子研究や宇宙物理学などの最先端の科学的研究にも、本研究所は活用されている。

このように本研究所は、我が国の地下に関連する地球科学分野の学術研究にも大きく貢献している。

主な共同研究及び施設共用による研究実施箇所



◆ 素粒子物理学 (名古屋大学)
ニュートリノ補足用原子核乾板の貯蔵 (施設共用: 深度 200m 研究坑道)

◇ 調査技術開発 (川崎地質)
ミュオン粒子を使った地質構造調査技術の開発 (共同研究: 深度 300m 研究坑道)

○ 微生物研究 (東京大学)
地下深部の花崗岩中に生息する微生物の生態等の研究 (共同研究: 深度 200 ~ 500m 研究坑道)

● 物質移動研究 (電力中央研究所)
物質移動特性調査技術の開発 (共同研究: 深度 300m・500m 研究坑道)

○ 地震研究 (東濃地震科学研究所)
地震動・重力・岩盤歪、応力の観測 (施設共用: 深度 100 ~ 500m 研究坑道)

◆ 岩盤力学 (京都大学・大林組)
CO₂ 地中処分等を目的とした粘性流体注入試験 (共同研究: 深度 500m 研究坑道)

● 宇宙物理学 (早稲田大学)
ダークマター観測のための環境中性子測定 (施設共用: 深度 100m 研究坑道)



IAEA 主催地層処分基礎講習会

超深地層研究所計画の初期段階では、地層処分計画が先行している欧米諸国からの技術導入を主たる目的として、これまでにスイス放射性廃棄物処分共同組合(Nagra)及び米国防共同研究や、スウェーデン原子燃料廃棄物管理会社(SKB)、カナダ原子力研究所(AECL)、英国地質調査所(BGS)などからの国際特別研究員の受け入れなどを行ってきた。

瑞浪超深地層研究所における国際協力の実績

日本は、プレートの沈み込み帯という地質学的変動帯に位置することから、日本が構築した地層処分技術や地質環境に関する知見などは、安定大陸に位置する欧米諸国からは得られない貴重な情報であり、特に日本と同様な地質環境を有する国々には、極めて有用な先行事例と考えられる。

1980年台から90年台にかけて、日本の研究者が欧米の地下研究所で地層処分の基礎を学んだように、近隣のアジア諸国における地層処分計画の具体化に伴い、これらの国々から日本の地下研究所がその役割を果たすことが期待されている。

日本の地下研究所の存在意義

世界における

国際連携・貢献

日本の地下研究所の役割

研究所計画の第2段階からは、技術支援を主たる目的として、韓国原子力研究所(KAERI)と研究協力協定を締結し、両機関の地下研究所計画に関する技術情報の交換及び研究者の受け入れなどを継続的に実施している。平成25年には本研究所において、国際原子力機関(IAEA)主催の「地層処分基礎講習会」が開催され、世界13カ国の研究者・技術者が参加した。

また、平成28年からは、本研究所での再冠水試験を題材とした水・応力・地化学連成解析技術の実証が国際共同研究である「DECOVALEX 2019」のテーマの1つに採択され、日本、米、国、チエコの3カ国の研究機関で共同研究が実施されている。



DECOVALEX 2019の参加国メンバー



夏期休暇実習生への指導(地下水流動解析)



地元大学(岐阜大学)への講師派遣



地盤工学会主催の講習会への講師派遣

次世代の研究者・技術者の確保

人材育成・技術継承

人材の確保・育成に関する取り組み
国の地層処分研究開発に関する全体計画(平成30年3月)に示されているように、地層処分の実施に当たっては、事業の長期性を考慮し、地層処分を携わっていく研究者・技術者を継続的に確保していくことが必要である。

瑞浪超深地層研究所では、人材の確保・育成に関する取り組みとして、大学との共同研究の実施、夏期休暇実習生の受け入れ、地元大学等への講師派遣などを実施している。これらの活動を通して、学生の現場技術の習得や地層処分の認知度向上に努めている。また、共同研究の多くは、それに携わる学生の学位論文のテーマとしていることから、これまでに数多くの学生が

本研究所で得られた研究成果によって修士号や博士号の学位を取得して、地層処分に関連する国内の研究機関や民間企業に就職している。

技術の継承に関する取り組み

本研究所において得られた研究成果は、技術報告書や学会への論文発表等によって社会への成果普及を図っている。また、「地層科学・情報意見交換会」を毎年開催し、研究計画や研究成果を報告するとともに、専門家等と意見交換を行なっている。さらに、学会主催の講習会などに講師を派遣して、報告書や論文等では伝えにくい研究開発を通じて得られた経験やノウハウを関連分野の研究者・技術者に紹介するなど、技術の継承に努めている。

理解醸成活動

地下深部の環境を実体験する

全国の主要都市から日帰り圏内

恵まれた交通利便性により
多くの見学者が来訪

瑞浪超深地層研究所が所在する岐阜県瑞浪市は、本研究所に位置し、JR中央線、中央自動車道、国道19号線が市内を通り、名古屋から1時間圏内であることから、新幹線及び中部国際空港との接続も良く、交通利便性に恵まれている。さらに本研究所は、最寄りのJR瑞浪駅から車で5分、中央自動車道・瑞浪インターから車で3分と市街地に隣接しており、全国の主要都市から日帰りでの見学が可能である(図1、図2)。そのため、全国から毎年2500名前後の方々が研究所の見学に訪れている(図3)。



図1 全国の主要都市からの所要時間

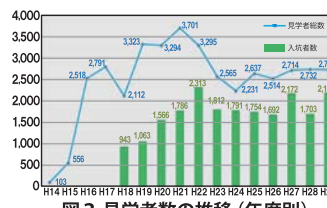


図3 見学者数の推移(年度別)



図4 見学前の概況説明

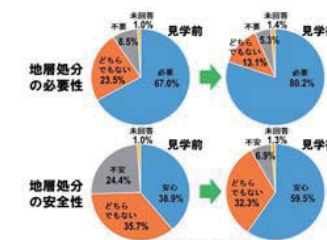
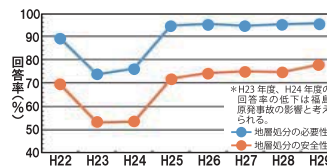


図6 見学時のアンケート結果

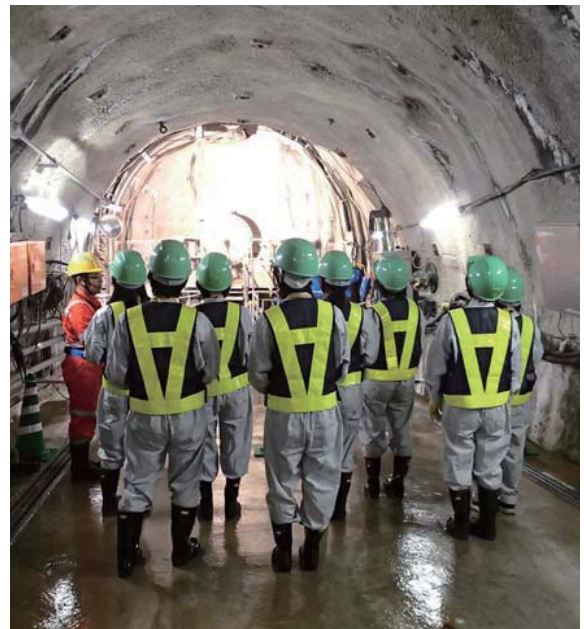


図5 研究坑道の見学(深度500m)

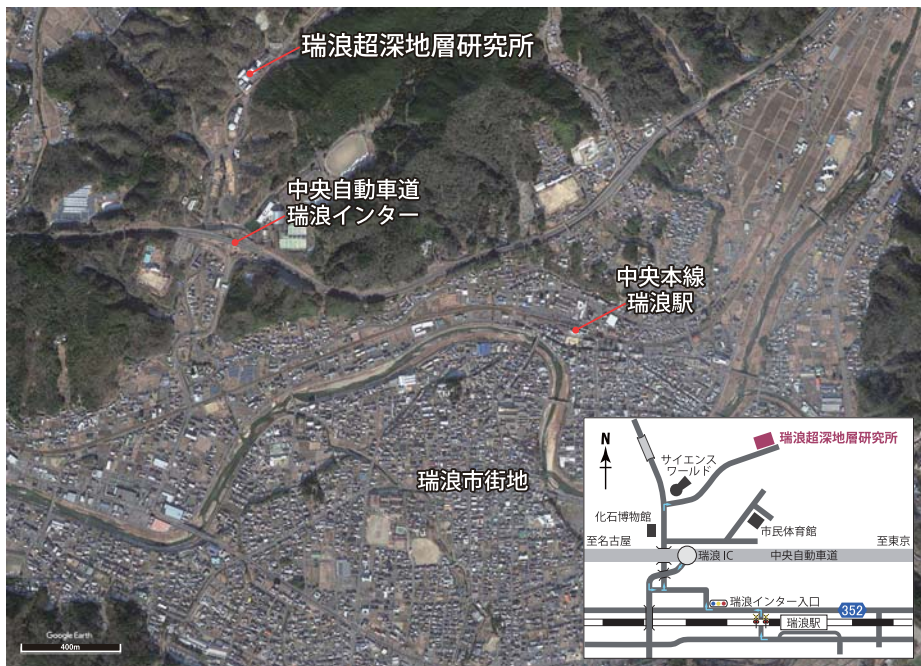


図2 瑞浪超深地層研究所の位置と交通アクセス図

施設見学会のご案内



休日(月1回)
 深度500m研究坑道の見学(作業等により変更あり)
 定員は最大24名まで(先着順:定員を超える場合は、午前と午後の2回に分けて見学会を開催)
 小学4年生以上から見学可能(小学生は保護者同伴)
 事前予約制。開催日時確認及び見学申込みは右記QRコードあるいは下記アドレスにアクセスして下さい。
https://www.jaea.go.jp/04/tono/kengaku/kengaku_miu2.html



平日(月・水曜日の11:00~13:30)
 深度500m研究坑道の見学(作業等により変更あり)
 定員は最大24名まで
 小学4年生以上から見学可能(小学生は保護者同伴)
 *地上施設のみ見学も可能(定員最大40名:月~金曜日の9時~12時,13時30分~16時)
 事前予約制(3ヶ月先までの予約が可能)
 見学申込みは右記QRコードあるいは下記アドレスにアクセスして下さい。
https://www.jaea.go.jp/04/tono/kengaku/kengaku_miu1.html

地上施設の見学

社会への研究成果の情報発信

研究成果リスト

瑞浪超深地層研究所におけるこれまでの主な研究成果（研究開発報告書・論文等）及び超深地層研究所計画における研究開発で出された学術論文を以下に示す。

技術報告書は、日本原子力研究開発機構のホームページ（下記 URL）から検索・ダウンロードが可能です。
<http://jollisrch-inte.tokai-sc.jaea.go.jp/search/serlvet/interSearch/>

第1段階

(1) 概観報告書

核燃料サイクル開発機構：「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・分冊1 深地層の科学的研究」, 核燃料サイクル開発機構, JNC-TN1400-2005-014 (2005).

三枝ほか：「超深地層研究所計画における地表からの調査予測研究段階（第1段階）研究開発報告書」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2007-043 (2007).

(2) 分野別

概観報告書

研究開発報告書
Goto et al.: "Working Program for Shallow Borehole Investigations", Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN7400 2002-005 (2002).

核燃料サイクル開発機構：「東濃地域における地質環境特性に関する調査研究—地表からの調査研究の考え方と進め方」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7410 2002-038 (2002).

Kumazaki et al.: "Synthesis of the Shallow Borehole Investigations at the MIU Construction Site", Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN7400 2003-005 (2003).

Ota et al.: "Working Program for MIZ-1 Borehole Investigations", Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN7400 2002-008 (2003).

Ota et al.: "Overview of MIZ-1 Borehole Investigations", Japan Nuclear Cycle Development Institute, JNC TN7400 2005-024 (2005).

太田ほか：「東濃地域における地よからの地質環境の調査・評価技術」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7400 2005-023 (2005).

小山ほか：「超深地層研究所計画」第1段階（2002年度—2004年度）に関する評価報告書—地からの調査研究から得られたプロジェクト管理上の教訓—, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Evaluation 2007-001 (2007).

②地質・地質構造

研究開発報告書

石塚ほか：「花崗岩を対象とした断層調査技術の開発—高密度電気探査・マルチオプセット VSP 探査の適用性評価—」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7400 2005-009 (2005).

佐々木・太田：「大縮尺の空中写真により判読したリニエメントに関する検討—東濃地域における事例研究—」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7400 2004-007 (2004).

松岡・石塚：「花崗岩分布地域における地球物理学的検査を用いた地質構造調査—反射法探査探査およびVSP手法の適用—」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7410 2005-003 (2005).

松岡ほか：「繰り返しアプローチに基づく地質構造のモデル化 (Step1 および Step2)」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7400 2005-007 (2005).

石塚ほか：「花崗岩を対象とした断層調査技術の開発—高密度電気探査・マルチオプセット VSP 探査の適用性評価—」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7400 2005-009 (2005).

論文等

佐々木・天野：「物理検層結果による割れ目帯の評価」, 日本応用地質学会 平成 16 年度研究発表会論議論文集, pp.247-250 (2004).

松岡ほか：「東濃地域における花崗岩を対象とした地質構造調査への反射弾性波探査の適用例」, 物理検層学会 第 110 回（平成 16 年度秋学期）学術講演会講演論文集, pp.129-132 (2004).

②地下水動向

研究開発報告書

三枝・須江：「超深地層研究所計画における地質構造モデルの構築及び地下水流動解析」, サイクル機構技報, No.9, pp.89-101 (2000).

三枝ほか：「東濃地域へのモデル化手法を用いた地質環境特性調査における地下水流動特性評価の不確実性の検討」, サイクル機構技報, No.20, pp.75-89 (2003).

下塚ほか：「超深地層研究所計画における水理地質構造のモデル化および地下水流動解析」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TJ7440 2005-077 (2004).

竹内・藤田：「超深地層研究所計画における単孔式水理試験データ」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7450 2005-011 (2005).

論文等

橋本ほか：「地下水流動の予測解析統合システム (GEOMASS システム)」の概要と東濃地域への適用事例」, 地下水学会誌, 第 44 巻第 2 号, pp.105-123 (2002).

三枝・野田：「地質環境特性調査における地下水流動の不確実性評価に対する試み」, 原子力バックエンド研究, Vol.9, No.2, pp.167-178 (2003).

Gautam et al.: "Analysis of hydraulic pressure fluctuation in deep geologic formations in Tono area, Japan, using artificial neural networks", Journal of Hydrology, Vol. 282, pp.174-192 (2003).

Takeuchi et al.: "Identification of the Water-Conducting Features and Evaluation of Hydraulic parameters using Fluid Electric Conductivity Logging", Proceedings of the Second International Symposium on Dynamics of Fluids in Fractured Rock, pp.349-354 (2004).

竹内ほか：「亀裂性岩盤を対象とした長期揚水試験」, 2005 年秋学期講演会講演資料, 日本地下水学会, pp.10-15 (2005).

橋本・三枝：「深部地下水流動系を抽出するための後背地形の影響を考慮した広域地下水流動解析」, 地下水学会誌, 第 47 巻, 第 1 号, pp.81-95 (2005).

②地下水化学

研究開発報告書

Furue et al.: "Data Book on Groundwater Chemistry in the Tono Area", 核燃料サイクル開発機構, JNC TN 7450 2003-001 (2003).

古江ほか：「試掘孔を利用した地下水の地球化学的調査手法と品質管理」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7520 2003-001 (2003).

藤原ほか：「超深地層研究所計画（第1段階）における地下水の地球化学的調査」, サイクル機構技報, No.23, p.41-50 (2004).

戸高ほか：「超深地層研究所周辺の地下水の水質変化に関する多変量解析」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TJ7400 2005-001 (2005).

論文等

Metcalf et al.: "Geochemical approaches to understanding a deep groundwater flow system in the Tono area, Gifu-ken, Japan", In: Nishigaki and Komatsu (eds), Groundwater Engineering, pp.555-561 (2003).

Iwatsuki et al.: "Hydrochemical baseline condition of groundwater at the Mizunami underground research laboratory (MIU)", Applied Geochemistry, 20, p.2283-2302 (2005).

古江ほか：「深層ボーリング孔を用いた地下水の地球化学調査の課題」, 応用地質, 46, p.232-236 (2005).

阿島ほか：「多変量解析による瑞浪超深地層研究所周辺の地下水化学モデルの構築」, 応用地質, 47, p.120-130 (2006).

③岩盤力学

技術報告書

中間ほか：「超深地層研究所計画（第1段階）における岩盤力学調査研究」, サイクル機構技報, No.20, pp.37-46 (2003).

中間ほか：「DH-2 号孔の岩芯を用いた力学特性調査結果」, 核燃料サイクル開発機構, JNC TN7400 2003-003 (2003).

Stephansson et al.: "Geomechanical evaluation and analysis of research shafts and galleries in MIU project, Japan", Environmental Rock Engineering, Saito & Murata (eds), pp.37-46 (2003).

木原ほか：「不均一岩体の広域応力場評価法」, 資源と素材, Vol. 1, 0119, pp.655-662 (2003).

④工学技術

技術報告書

佐藤ほか：「地下 1,000m に向けて、瑞浪超深地層研究所の建設計画」, 核燃料サイクル開発機構, サイクル機構技報, No.20(2003/9), pp.31-43 (2003).

論文等

今津ほか：「地下 1,000m の立坑工事に着手」, 瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事」, トンネルと地下, vol.35, pp.1-12 (2004).

今津ほか：「瑞浪超深地層研究所坑道の湧水とその排水方法」, 第 39 回地盤工学会研究発表会論文集, pp.1671-1678 (2004).

延藤ほか：「瑞浪超深地層研究所立坑の掘削時挙動について」, 第 58 回土木学会年次学術講演会 (2003).

坂井ほか：「深地層の研究施設における通気・防炎上の検討」, 資源と素材 2003 春季大会講演集 (1) 資源編, No.3204, pp.114-115 (2003).

第2段階

(1) 概観報告書

野原ほか：「超深地層研究所計画における研究坑道の掘削を伴う研究段階（第2段階）研究開発報告書」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2015-026 (2015).

日本原子力研究開発機構：「C o o l R e p H 2 6」, 日本原子力研究開発機構, <http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.html> (2014).

(2) 分野別

①調査試験

研究開発報告書

鶴田ほか：「超深地層研究所における立坑内からのパイロットボーリング調査報告書」, JAEA-Research 2008-098 (2008).

三枝ほか：「超深地層研究所計画における調査研究の考え方と進め方—深度 500m までの調査研究計画」, JAEA-Review 2011-022 (2011).

鶴田ほか：「超深地層研究所計画：主立坑断層を対象としたボーリング調査結果報告書」, JAEA-Technology 2012-001 (2012).

程塚・山田：「研究坑道の掘削工事振動を利用した逆 VSP 探査」, JAEA-Research 2012-028 (2012).

濱ほか：「超深地層研究所計画 統合化データフローの構築（研究坑道の掘削を伴う研究段階：第2段階）」, JAEA-Data/Code 2013-010 (2013).

鎌井ほか：「深度 500m 研究アケス北坑道における先行ボーリング調査報告書 (12MI27 号孔, 12MI33 号孔)」, JAEA-Technology 2013-044 (2014).

川本ほか：「深度 500m 研究アケス南坑道における先行ボーリング調査報告書 (12MI32 号孔)」, JAEA-Technology 2014-011 (2014).

②地質・地質構造

研究開発報告書

前田ほか：「瑞浪超深地層研究所用地で採取された岩石試体の岩石学・鉱物学的データ—全岩化学組成、含有鉱物および鉱物組成—」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2011-009 (2011).

川本ほか：「超深地層研究所計画 瑞浪超深地層研究所 研究坑道の壁面調査データ集」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2012-009 (2012).

野原ほか：「研究坑道の掘削工事振動を利用した逆 VSP 探査」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2012-028 (2012).

論文等

湯口ほか：「中部日本と岐阜県岩体の岩相と化学組成の集帯変化」, 岩石鉱物科学, Vol.39, pp.50-70 (2010).

鎌井ほか：「多変量解析を用いたボーリング孔での断層の区別判定と岩盤区一分瑞浪超深地層研究所立坑道における深層ボーリング孔での事例—」, 情報地質, Vol.22, pp.171-188 (2011).

石橋ほか：「深部岩質岩における割れ目の形成・充填過程と透水性割れ目の地学的特徴—土岐花崗岩を例として—」, 応用地質, Vol.55, pp.156-165 (2014).

鶴田・重延：「瑞浪超深地層研究所における研究坑道掘削に伴って実施した壁面地質調査」, 応用地質, Vol.56, pp.298-307 (2016).

③地下水動向

研究開発報告書

徳安ほか：「自然水位測定を用いた瑞浪超深地層研究所周辺の水理地質構造の推定に関する研究」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2012-002 (2012).

大丸ほか：「超深地層研究所計画（岩盤の水理に関する調査研究）主立坑断層を対象とした水理学的調査」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2012-008 (2012).

大丸ほか：「超深地層研究所計画の第 2 段階における単孔式水理試験結果」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2012-020, (2012).

菱巻ほか：「超深地層研究所計画（岩盤の水理に関する調査研究）研究坑道掘削に伴う地下水流動場及び地下水水質の変化を考慮した地下水流動のモデル化・解析 (2010 年頃)」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2013-023 (2013).

尾上ほか：「超深地層研究所計画（岩盤の水理に関する調査研究）第 2 段階におけるサットスケールの水理地質構造モデルの構築」, JAEA-Research 2015-008, (2015).

論文等

尾上ほか：「孔間水理試験による水圧応答に基づく地下深部の水理地質構造の解析的推定」, 地下水学会誌, Vol.50, pp.251-274 (2008).

成川ほか：「立坑掘削に伴う排水・冠水・再排水時の地表面傾斜量の逆解析に基づく岐阜県東濃瑞浪超深地層研究所用地の地下水流動場評価」, 土木学会論文集 C, Vol.65, pp.442-455 (2009).

本島ほか：「割れ目帯を伴った深部に大深度立坑を掘削する際の突発湧水リスク評価手法の提案」, 土木学会論文集 C, Vol.66, pp.370-386 (2010).

Niwa et al.: "Groundwater pressure changes in Central Japan induced by the 2011 off the Pacific coast of Tohoku Earthquake", Geochimistry Geophysicis Geosystems, Vol.13, Q05020, doi:10.1029/2011GC004052 (2011).

尾上ほか：「超深地層研究所計画の研究坑道の掘削を伴う研究段階における地下水流動のモデル化・解析」, 土木学会論文集 C, pp.13-26 (2016).

④地下水化学

技術報告書

岩月ほか：「瑞浪超深地層研究所における深度 500m までの地球化学調査および調査技術開発」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2013-021 (2013).

論文等

村上ほか：「東濃地域における地下水化学と地下水微生物の相互作用」, 地学雑誌, Vol.112, pp.277-287 (2003).

岩月ほか：「地層処分事業に関わる地球化学分野の技術者が継承すべき知見のエキスパート化—文献調査から精密調査段階における地球化学解析手順について—」, 原子力バックエンド研究, Vol.19, pp.51-63 (2012).

水野ほか：「瑞浪超深地層研究所の建設に伴う地下水水質の変化」, 原子力学会誌, Vol.12, pp.89-102 (2013).

Iwatsuki et al.: "Hydrochemical disturbances measured in groundwater during the construction and operation of a large-scale underground facility in deep crystalline rock in Toyama", Environmental Earth Sciences, Vol.74, pp.3041-3057 (2015).

藤原ほか：「大規模地下水探査の意義、排水に伴う遠隔地下水の地下深部への侵入—SH, CFS, SFG トレーサーを用いた評価—」, 日本水文気象学会誌, Vol.45, pp.1-18 (2015).

④岩盤力学

研究開発報告書

平野ほか：「超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）MIZ-1 号孔における立坑力学調査」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2009-031 (2009).

平野ほか：「超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）深度 100m における岩盤力学ボーリング調査」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2010-002, (2010).

久慈ほか：「瑞浪超深地層研究所における新しい定量的岩盤力学類法の適用性評価」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2013-022 (2013).

丹野ほか：「超深地層研究所計画（岩盤力学に関する調査研究）深度 300m および深度 400m における岩盤力学調査」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2013-044 (2014).

論文等

Sato et al.: "Japanese underground research laboratory project and prediction of rock mass behavior around deep shafts and galleries using continuous and discontinuous models", ICAD7-17, the Seventh International Conference on Analysis of Discontinuous Deformation, held in Honolulu, Hawaii, December 10-12, pp.245-256 (2003).

郷家ほか：「瑞浪超深地層研究所の研究坑道における掘削阻害領域を考慮した掘削影響解析」, トンネルと地下論文集, Vol.16, pp.35-45 (2006).

松井・平野：「超深地層研究所計画 第 2 段階の力学調査結果に基づく岩盤力学概念モデルの妥当性評価」, 第 39 回地盤工学に関するシンポジウム講演集, pp.48-53 (2010).

佐藤ほか：「水圧浸透法による初期膨張データの品質について—花崗岩における実測結果に基づく高剛性装置の適用性と最大主応力値の評価—」, Journal of MMIJ, Vol.128, pp.449-454 (2012).

佐藤ほか：「門川川底ひずみ計とコアデータキングについて—土岐花崗岩における湧水での測定結果を例として—」, Journal of MMIJ, Vol.129, pp.59-64 (2013).

Sanada et al.: "Application of differential strain curve analysis to the Toki Granite for in situ stress determination at the Mizunami underground research laboratory, Japan", International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences, 59, pp.50-56 (2013).

⑥工学技術

研究開発報告書

見沼ほか：「高品質岩を対象とした坑道掘削における湧水抑制対策の計画策定と施工結果に関する考察」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2010-026, (2010).

石井ほか：「深度 400m 以降の換気立坑掘削において実施したプレグラウチングの施工結果と考察」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2010-044, (2011).

論文等

赤谷ほか：「放射線グラフト堆積材を用いた湧水中心フラスコ・ホウ素除去効率化の検討」, 日本原子力学会和文論文集, 9(3), pp.330-338 (2012).

見沼ほか：「瑞浪超深地層研究所における研究坑道掘削と施工対策技術の適用」, 第 40 回岩盤力学シンポジウム講演論文集, pp.191-196 (2011).

Niimi et al.: "Analysis and Numerical Simulation of Seismic Events Recorded in the Ventilation Shaft at the Mizunami URL", Proceedings of European Rock Mechanics Symposium (EUROCK 2012) (CD-ROM), p.13 (2012).

Matsui H., Jirji Y. and Kanemura K.: "Risk Management Methodology for Construction of Underground Structures", Proc. of World Tunnel Congress 2012, 38th General Assembly (CD-ROM), p.8 (2010).

佐藤ほか：「深度 500m までの施工実績に基づく立坑掘削技術の評価 瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事」, トンネルと地下, Vol.45, pp.501-510 (2014).

Sanada et al.: "Analysis of excavation cycle time during sinking of the Ventilation Shaft at the Mizunami Underground Research Laboratory", Proceedings of 2014 ISRM International Symposium - 8th Asia Rock Mechanics Symposium, pp.1263-1269 (2014).

第3段階

(1) 分野別

②地質・地質構造

研究開発報告書

石橋・重延：「深層ボーリング調査によって確認された花崗岩中の割れ目データ集」, JAEA-Data/Code 2015-040, (2015).

石橋・重延：「研究坑道におけるボーリング調査によって確認された割れ目データ集」, JAEA-Data/Code 2016-009, (2016).

論文等

Yuguchi et al.: "Hydrothermal chloritization processes from biotite in the Toki granite, Central Japan: Temporal variations of the compositions of hydrothermal fluids associated with chloritization", American Mineralogist, pp.1134-1132 (2015).

Ishibashi et al.: "Long term behavior of hydrogeological structures associated with faulting: An Example from the deep crystalline rock in the Mizunami URL, Central Japan", Engineering Geology, pp.114-127 (2016).

石橋・湖田：「花崗岩類中の鉱物分布および鉱物組合せとその量比（モード組成）の新たな詳細な構築：走査型 X 線分析顕微鏡で取得した元素分析図を用いた画像解析」, 応用地質, 58, 2, pp.80-93 (2017).

②地下水動向

研究開発報告書

三枝ほか：「割れ目分布に起因した水理特性の不均質性を考慮した水理地質構造のマルチスケールモデル化手法開発に関する検討」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2015-011 (2015).

論文等

三枝ほか：「地震に伴う地下水圧の変化が地下水流動特性に与える影響：東濃地域における事例」, 原子力バックエンド研究 (インターネット), pp.37-52 (2015).

③地下水化学・物質移動

研究開発報告書

関丸ほか：「花崗岩試料を用いた取替・拡散試験および間隙率測定」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2012-013 (2012).

濱ほか：「花崗岩試料を用いた拡散試験環境の整備と間隙率測定および鉱物試験」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2014-029 (2014).

濱：「ウラニウム・トリウム系列核種を用いた土岐花崗岩中における物質移動評価」, 既存データの収集・整理」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Data/Code 2016-006 (2016).

岩崎ほか：「物質移動に関わるパラメータ値の取得」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2016-037 (2016).

濱ほか：「土岐花崗岩のフロックンプレグを用いた拡散試験」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2017-015 (2017).

論文等

Suzuki et al.: "Biogeochemical signals from deep microbial life in terrestrial crust", PLoS ONE (Internet) pp.1130633, 1-1130633, 2014 (2014).

Aosai et al.: "Concentration and characterization of organic colloids in deep granitic groundwater using nanofiltration membranes for evaluating radionuclide transport", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, pp.55-62 (2015).

Munemoto et al.: "Rare earth elements (REE) in deep groundwater from granite and fracture-filling calcite in the Tono area, central Japan: Prediction of REE fractionation in paleo- to present-day groundwater", Chemical Geology, pp.58-67 (2015).

Ino et al.: "Deep microbial life in high-quality granitic groundwater from geochemically and geographically distinct underground boreholes", Environmental Microbiology Reports (Internet), pp.285-294 (2016).

Aosai et al.: "Efficient condensation of organic colloids in deep groundwater using surface-modified nanofiltration membranes under optimized hydrodynamic conditions", Colloids and Surfaces A: Physicochemical and Engineering Aspects, pp.68-78 (2016).

石塚ほか：「深部結晶質岩マルチスケールにおける微小移行経路と元素拡散現象の特徴」, 原子力バックエンド研究 (インターネット), pp.121-130 (2016).

Iwatsuki et al.: "Characterization of rare earth elements (REEs) associated with suspended particles in deep granitic groundwater and their post-closure behavior from a simulated underground facility", Applied Geochemistry, pp.134-145 (2017).

林田ほか：「坑道閉鎖試験に基づく坑道掘削・閉鎖時の化学環境変化プロセスの考察」, 地球化学, Vol.52, 1, pp.55-71 (2018).

④地盤力学・工学技術

技術報告書

鶴田ほか：「瑞浪超深地層研究所でのプレグラウト領域の岩石の採取と室内分析」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Technology 2015-010, (2015).

高安ほか：「再冠水試験におけるボーリングビットの埋め戻し試験」, 日本原子力研究開発機構, JAEA-Research 2017-011, (2017).

論文等

佐藤ほか：「深度 500m 瑞浪超深地層研究所に設置する止水壁の設計」, トンネルと地下, vol.44, pp.91-91 (2015).

見沼ほか：「高圧湧水下におけるプレグラウチングとボストグラウチングを併用した湧水抑制効果の評価」, 土木学会論文集 C (地盤工学) (インターネット), pp.76-91 (2018).

学位論文

見沼：「亀裂性岩盤におけるグラウトの止水効果に関する研究」, 岡山大学大学院環境工学研究科, (2003).

三枝：「深部岩質を対象とした地下水流動のモデル化・解析に関する研究」, 埼玉大学大学院理工学部研究科, (2004).

濱：「深部地下水の地球化学的調査手法の構築と現場調査への適用」, 金沢大学大学院自然科学研究科, (2007).

尾上：「高品質岩中の地下水流動特性とその評価手法に関する研究」, 岡山大学大学院環境工学研究科, (2009).

鶴田：「高レベル放射性廃棄物の地層処分に向けた地質環境の調査・解析手法の確立—特に岩相モデルと割れ目の空間分布について—」, 熊本大学大学院自然科学研究科, (2011).

小出：「高温湿潤気候高橋半地帯を対象とした土壌水理特性の推定と地質工学的応用に関する地物学リポートセンシング研究」, 熊本大学大学院自然科学研究科, (2011).

尾崎：「自然電位法を用いた地下水構造探査手法の開発研究」, 京都大学大学院工学研究科, (2015).

青才：「Development of separation and condensation techniques using functional membrane for trace components in groundwater」, 神戸大学大学院工学研究科, (2016).

竹内：「地下水長寿命モニタリングによる地下水流動特性の評価に関する研究」 岡山大学大学院環境生命科学部研究科, (2016).

石橋：「Formation and sealing processes of underground-water conducting fractures associated with faulting of granite」, 名古屋大学大学院環境工学研究科, (2016).

TONO GEOSCIENCE CENTER

特集 瑞浪超深地層研究所

2018 年 7 月発行

発行 国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構 東濃地学センター
企画・編集 小出 啓
デザイン 長江 衣佐子

本冊を無断で複製（コピー）、転載、及び電子媒体に転用することを禁じます。