

超深地層研究所計画 年度計画書（2009年度）

Mizunami Underground Research Laboratory Project Plan for Fiscal Year 2009

竹内 真司 見掛 信一郎 西尾 和久 鶴田 忠彦
天野 健治 松岡 稔幸 早野 明 竹内 竜史
三枝 博光 大山 卓也 水野 崇 平野 享
尾方 伸久 濱 克宏 池田 幸喜 山本 勝
弥富 洋介 島田 順臣 松井 裕哉 伊藤 洋昭
内田 雅大 杉原 弘造

Shinji TAKEUCHI, Shinichiro MIKAKE, Kazuhisa NISHIO, Tadahiko TSURUTA
Kenji AMANO, Toshiyuki MATSUOKA, Akira HAYANO, Ryuji TAKEUCHI
Hiromitsu SAEGUSA, Takuya OHYAMA, Takashi MIZUNO, Toru HIRANO
Nobuhisa OGATA, Katsuhiro HAMA, Koki IKEDA, Masaru YAMAMOTO
Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI, Hiroaki ITO
Masahiro UCHIDA and Kozo SUGIHARA

地層処分研究開発部門
東濃地科学研究ユニット

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ (<http://www.jaea.go.jp>)
より発信されています。

独立行政法人日本原子力研究開発機構 研究技術情報部 研究技術情報課
〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根 2 番地 4
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

This report is issued irregularly by Japan Atomic Energy Agency
Inquiries about availability and/or copyright of this report should be addressed to
Intellectual Resources Section, Intellectual Resources Department,
Japan Atomic Energy Agency
2-4 Shirakata Shirane, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 319-1195 Japan
Tel +81-29-282-6387, Fax +81-29-282-5901, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

超深地層研究所計画 年度計画書(2009 年度)

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門 東濃地科学研究ユニット

竹内 真司, 見掛 信一郎⁺¹, 西尾 和久*, 鶴田 忠彦, 天野 健治, 松岡 稔幸, 早野 明,
竹内 竜史, 三枝 博光, 大山 卓也, 水野 崇, 平野 享*, 尾方 伸久, 濱 克宏, 池田 幸喜⁺¹,
山本 勝⁺¹, 弥富 洋介, 島田 顕臣, 松井 裕哉, 伊藤 洋昭, 内田 雅大, 杉原 弘造

(2009 年 6 月 12 日受理)

独立行政法人日本原子力研究開発機構東濃地科学センターでは、地層処分技術に関する研究開発のうち深地層の科学的研究(地層科学研究)の一環として、結晶質岩(花崗岩)を対象とした超深地層研究所計画を進めている。本計画は、「第1段階;地表からの調査予測研究段階」、「第2段階;研究坑道の掘削を伴う研究段階」、「第3段階;研究坑道を利用した研究段階」の3段階からなる約20年の計画であり、現在は、第2段階である「研究坑道の掘削を伴う研究段階」を進めている。

本計画書は、2002年2月に改訂した「超深地層研究所地層科学研究基本計画」に基づき、2009年度の超深地層研究所計画の1)調査研究計画、2)施設設計計画、3)共同研究計画等を示したものである。

東濃地科学センター(駐在):〒509-6132 岐阜県瑞浪市明世町山野内 1-64

+1;東濃地科学センター施設建設課

*※ 技術開発協力員

Mizunami Underground Research Laboratory Project

Plan for Fiscal Year 2009

Shinji TAKEUCHI, Shinichiro MIKAKE⁺¹, Kazuhisa NISHIO*, Tadahiko TSURUTA, Kenji AMANO,
Toshiyuki MATSUOKA, Akira HAYANO, Ryuji TAKEUCHI, Hiromitsu SAEGUSA, Takuya OHYAMA,
Takashi MIZUNO, Toru HIRANO*, Nobuhisa OGATA, Katsuhiro HAMA, Koki IKEDA⁺¹,
Masaru YAMAMOTO⁺¹, Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI, Hiroaki ITO,
Masahiro UCHIDA and Kozo SUGIHARA

Tono Geoscientific Research Unit

Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency

Akeyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received June 12, 2009)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) at Tono Geoscience Center (TGC) is developing a geoscientific research project named the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project in crystalline rock environment in order to establish scientific and technological basis for geological disposal of HLW. Geoscientific research at the MIU project is planned to be carried out in three phases over a period of 20 years; Surface-based Investigation Phase (Phase1), Construction Phase (Phase2) and Operation Phase (Phase3). Currently, the project is under the Construction Phase.

This document presents the following 2009 fiscal year plan based on the MIU Master Plan updated in 2002,

- 1)Investigation Plan,
- 2)Construction Plan,
- 3)Research Collaboration Plan, etc.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Program for Fiscal Year 2009, MIU Master Plan, Geological Disposal of HLW

⁺¹; Geoscience Facility Construction Section, Tono Geoscience Center

*; Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 超深地層研究所計画の概要	2
2.1 目標	3
2.2 調査研究の進め方	4
2.3 超深地層研究所周辺の地質	8
2.4 瑞浪超深地層研究所の施設概要	9
3. 2009 年度の調査研究および施設建設計画	11
3.1 瑞浪超深地層研究所用地における調査研究	11
3.1.1 地質・地質構造に関する調査研究	12
3.1.2 岩盤力学に関する調査研究	13
3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究	14
3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究	16
3.1.5 物質移動に関する調査研究	18
3.1.6 深地層の工学技術の基礎の開発	18
3.2 正馬様用地における調査研究	21
3.3 研究所用地における施設建設計画	22
4. 地層処分技術に関する分野間の連携研究	23
5. 共同研究・施設供用等の 2009 年度計画	24
6. おわりに	27
参考文献	27
付録 1 広域地下水流动研究 2009 年度計画	29

Contents

1. Introduction	1
2. Overview of the Mizunami Underground Research Laboratory Project.....	2
2.1 Goals of the MIU Project	3
2.2 Outline of the R&D activities.....	4
2.3 Geology	8
2.4 Overview of the MIU facilities	9
3. Investigations and construction plan in FY2009	11
3.1 Investigation plan at the MIU Construction Site	11
3.1.1 Geological investigations	12
3.1.2 Rock mechanical investigations	13
3.1.3 Hydrogeological investigations	14
3.1.4 Hydrochemical investigations	16
3.1.5 Mass transport investigations	18
3.1.6 Development of engineering technology for deep underground	18
3.2 Investigation plan at the Shobasama Site	21
3.3 Construction plan at the MIU Construction Site	22
4. Research collaboration with related research organizations.....	23
5. Research collaboration among the geological disposal technologies.....	24
6. Conclusions	27
References	27
Appendix1 Plan of the Regional Hydrogeological Study Project in FY2009	29

1. はじめに

独立行政法人日本原子力研究開発機構(以下、原子力機構)東濃地科学センターは、原子力政策大綱¹⁾に示されている「深地層の研究施設等を活用して、深地層の科学的研究、地層処分技術の信頼性向上や安全評価手法の高度化等に向けた基盤的な研究開発、安全規制のための研究開発を引き続き着実に進めるべきである」との方針に基づき、地層処分技術に関する研究開発のうち深地層の科学的研究(地層科学研究)を進めている。このうち、超深地層研究所計画は、結晶質岩(花崗岩)を主な対象として岐阜県瑞浪市において進めている研究計画である。

東濃地科学センターでは、1994年6月に公表された「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画(以下、原子力長計)²⁾において示された「地層処分研究開発の基盤となる深部地質環境の科学的研究を着実に進めること」との方針および深地層の研究施設の位置づけに基づき「超深地層研究所地層科学研究基本計画(以下、基本計画)³⁾」を1996年11月に策定し、超深地層研究所計画における調査研究を進めてきた。その後2000年11月に策定された原子力長計⁴⁾において核燃料サイクル開発機構(以下、サイクル機構;現:原子力機構)に新たな役割が示されことに伴い、2001年4月に基本計画の改定を行った⁵⁾。また、2002年1月に、瑞浪市明世町の市有地の賃貸借契約を瑞浪市と締結し、超深地層研究所の研究坑道などの施設建設を同市有地へ変更したことを機に、再度、基本計画を改定した⁶⁾。なお、基本計画の改定は、超深地層研究所における調査・研究や我が国の地層処分研究開発等の進展に伴って適宜行う予定である。

本計画書は、この基本計画⁶⁾に基づき、超深地層研究所計画の2009年度における調査・研究計画の内容を示したものである。

東濃地科学センターでは、地質環境特性の研究を担うプロジェクトのひとつとして、超深地層研究所計画に先立ち広域地下水流动研究を進めてきた⁷⁾。この研究は、広域における地表から地下深部までの地質・地質構造、岩盤の水理や地下水の水質を明らかにするために必要な調査・解析技術などを開発することを目標として、1992年度より研究対象とする地下水流动系の涵養域から流出域までを包含する約10km四方の領域を対象に調査研究を実施しており、2004年度末をもって主な現場調査を終了した。2005年度からは、土岐花崗岩における水理学的・地球化学的な基礎情報の取得および地下水流动解析結果の妥当性確認のためのデータ取得を目的として、既存の観測設備を用いた表層水理観測(河川流量観測、降水量観測)および既存のボーリング孔を用いた地下水長期モニタリングを継続している。なお、超深地層研究所計画では、広域地下水流动研究で取得されたこれらの観測データを、研究坑道の建設に伴う周辺の岩盤や地下水の変化を把握するために利用している。本計画書の巻末の付録1に、広域地下水流动研究における2009年度の計画を示す。

2. 超深地層研究所計画の概要

超深地層研究所計画における調査研究は、研究坑道の建設に先立って開始し、研究坑道の完成後までの約 20 年をかけて実施する。本計画では、研究坑道の建設工程やこれに伴う調査研究の課題、対象、空間スケールなどの違いを考慮し、計画全体を、第 1 段階(地表からの調査予測研究段階)、第 2 段階(研究坑道の掘削を伴う研究段階)および第 3 段階(研究坑道を利用した研究段階)の 3 段階に区分して調査研究を進めている。このように段階的に研究を進めることにより、人工的な擾乱を受けていない地質環境と、その地質環境が研究坑道の掘削などにより変化していく状況を把握することが可能となる。また、深部地質環境に関する情報量が段階的に増加することにより、評価すべき項目の重要度を段階的に把握するとともに、調査の種類・量、解析・評価の手法と結果の精度との関係を事例的に示すことが可能になると考えられる。

本計画は、基本計画³⁾に基づき、岐阜県瑞浪市明世町にある原子力機構用地(図 2-1:正馬様用地)において「地表からの調査予測研究段階(第 1 段階)」を進めてきた。その後、2002 年 1 月に瑞浪市と市有地の賃貸借契約を締結し、超深地層研究所の研究坑道等の施設を市有地(図 2-1:瑞浪超深地層研究所用地;以下、研究所用地)に設置し、調査研究を進めることとした。

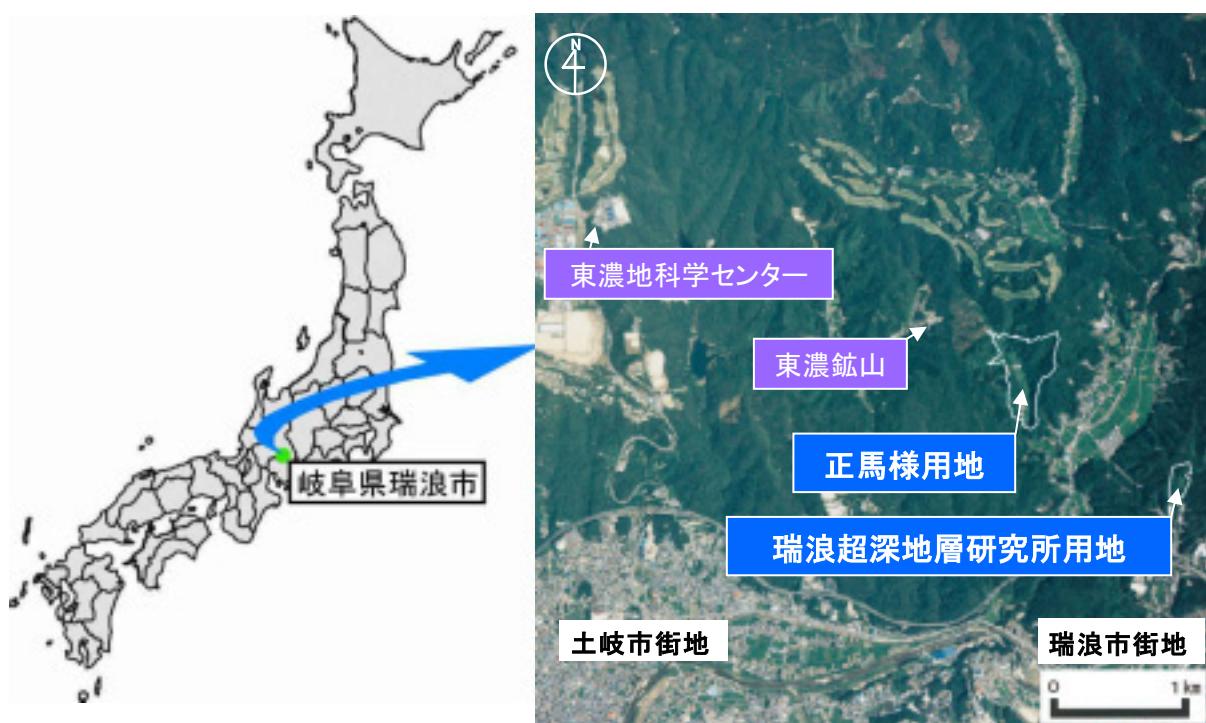


図 2-1 超深地層研究所の設置場所

2.1 目標

超深地層研究所計画の全体目標と段階目標を以下に示す⁶⁾。

【全体目標】

- ① 深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備
- ② 深地層における工学技術の基盤の整備

【段階目標】

第1段階:地表からの調査予測研究段階

- ① 地表からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握
- ② 研究坑道の詳細設計および施工計画の策定
- ③ 研究坑道の掘削を伴う研究段階の調査研究計画の策定

第2段階:研究坑道の掘削を伴う研究段階

- ① 研究坑道の掘削を伴う調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の掘削による深部地質環境の変化の把握
- ② 研究坑道の施工・維持・管理に係わる工学技術の有効性の確認
- ③ 研究坑道を利用した研究段階の調査研究計画の策定

第3段階:研究坑道を利用した研究段階

- ① 研究坑道からの調査研究による地質環境モデルの構築および研究坑道の拡張による深部地質環境の変化の把握
- ② 深地層における工学技術の有効性の確認

2.2 調査研究の進め方

本計画の全体目標のひとつである「深部地質環境の調査・解析・評価技術の基盤の整備」に関しては、高レベル放射性廃棄物の地層処分にとって重要な地質環境特性を安全評価、地下施設の設計・施工および環境影響評価の観点から、調査研究の個別目標と課題を図 2.2-1 に示すとおり設定している⁸⁾。これらの個別目標と課題に対する研究成果の反映を念頭において、不均質性を有する地質環境を限られた調査量で効率的に理解していくという考え方に基づき、広域地下水流动研究と組み合わせて、四つの空間スケールを設けて調査研究を進めている。図 2.2-2 に空間スケールの概念、表 2.2-1 に空間スケールと対象範囲の地層処分技術に関する研究開発における位置付けを示す⁸⁾。



図 2.2-1 調査研究の個別目標と課題⁸⁾

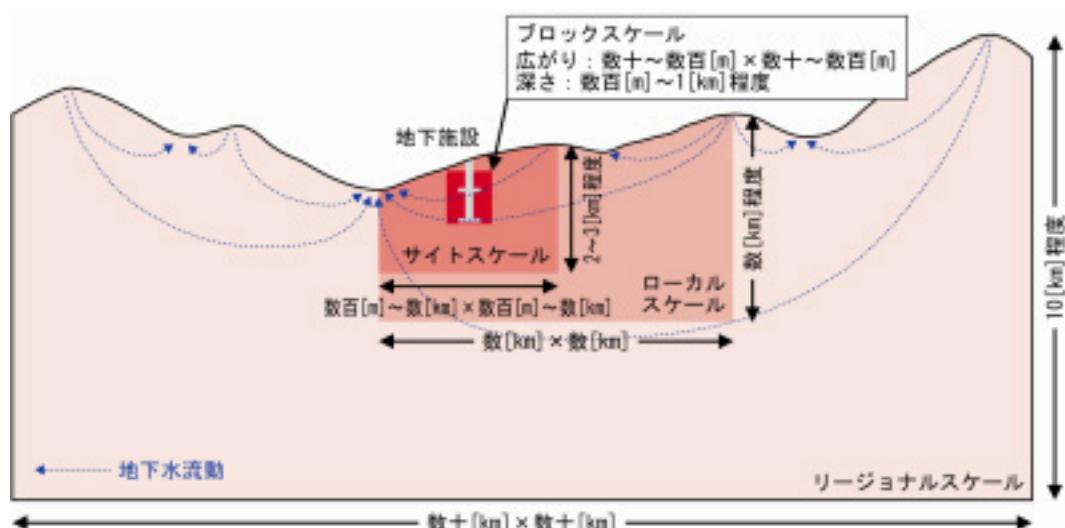


図 2.2-2 空間スケールの概念⁸⁾

表 2.2-1 空間スケールの対象範囲と位置付け⁸⁾

空間スケール／対象範囲		地層処分技術に関する研究開発における位置付け
リージョナルスケール	平面：数百[km ²]程度 (数十[km] × 数十[km]) 深さ：10[km]程度	・ローカルスケールの研究領域／境界条件の設定
ローカルスケール	平面：数十[km ²]程度 (数[km] × 数[km]) 深さ：数[km]程度	・地層処分システム全体の安全評価 ・地下施設の設計のための基礎情報の収集 ・サイトスケールの研究領域／境界条件の設定
サイトスケール	平面：数[km ²]程度 (数百[m] ~ 数[km] × 数百[m] ~ 数[km]) 深さ：2~3[km]程度	・人工バリア周辺から対象岩盤全体の安全評価 ・地下施設建設時の力学・水理状態の予測 ・ブロックスケールの研究領域／境界条件の設定
ブロックスケール	平面：数百[m ²]程度 (数十~数百[m] × 数十~数百[m]) 深さ：数百[m] ~ 1[km]程度	・人工バリアから生物圏までの一部における安全評価 ・地下施設建設時の力学・水理状態の予測 ・より小スケールの研究領域／境界条件の設定

本研究の実施にあたっては、空間スケールを区分して段階的に調査研究を進め、その進展に伴う情報量の増加に応じて、地質環境特性に係る理解度（不確実性）や調査の達成度を順次評価しつつ、次の調査または段階へ移行する判断が重要であるとの考え方に基づき、図 2.2-3 に示す繰り返しアプローチを採用している⁸⁾。図 2.2-4 に繰り返しアプローチに基づく第 1 段階から第 2 段階にいたる調査研究の進め方を示す。

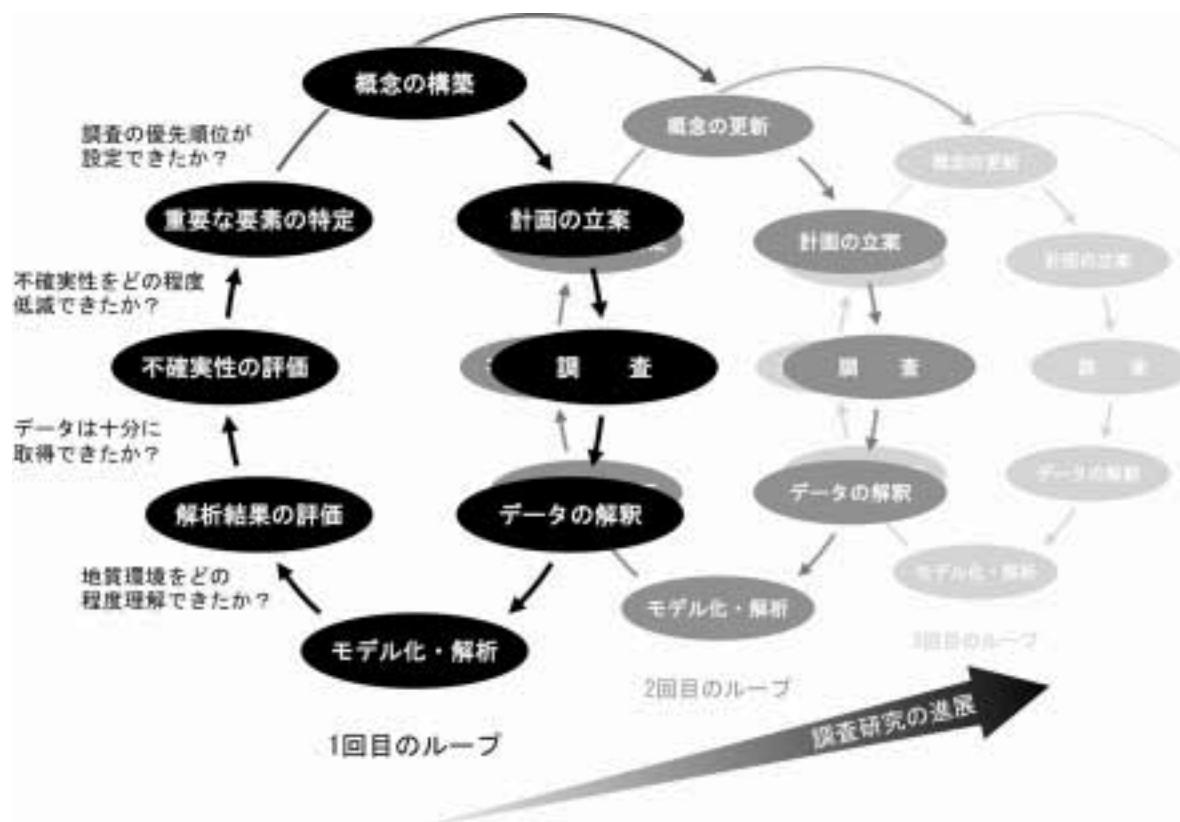
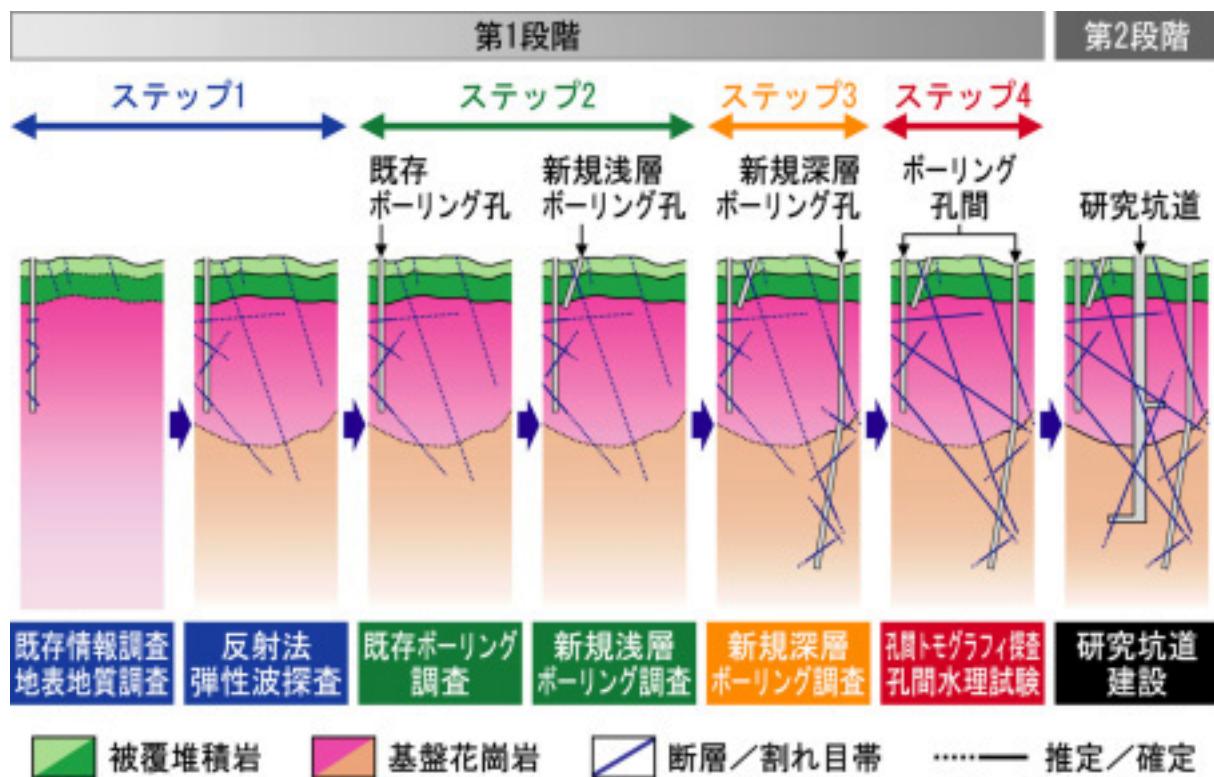
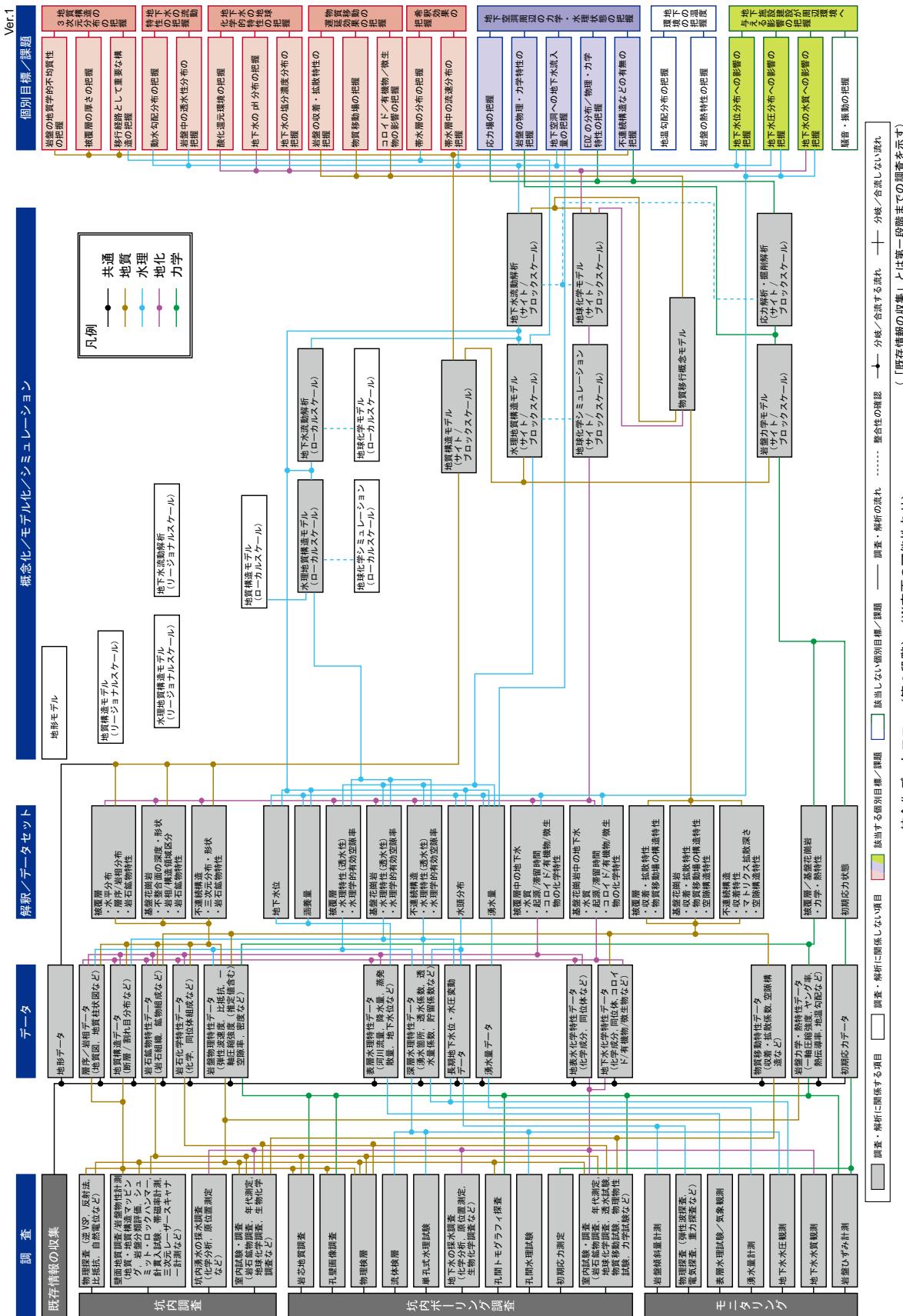


図 2.2-3 調査研究の繰り返しアプローチ⁸⁾

図 2.2-4 研究所用地における第1段階から第2段階にいたる調査研究の進め方⁸⁾

それぞれの空間スケールにおいて、繰り返しアプローチを適用して調査研究を合理的に進めていくためには、繰り返しアプローチにおける「調査」→「データの解釈」→「モデル化・解析」の具体的な道すじを示すことが重要と考えられる。本計画では、海外のサイト特性調査の事例⁹⁾を参考にして、第2段階における個別目標および課題の達成に向けた、調査から概念化／モデル化／シミュレーションに至る系統的なデータの流れを記述・整理した統合化データフロー¹⁰⁾を構築し、この統合化データフローに基づいて調査研究を進めている。図2.2-5に第2段階の調査研究のために構築した統合化データフローを示す。

この統合化データフローは、地下施設の設計・施工および安全評価の観点から整理した調査研究の個別目標と課題に対して、第1段階の調査研究の成果に加えて、坑道内から想定される調査の種類と組み合わせ、取得するデータの種類、データの解釈および異なる分野で得られた情報の統合など、実際の作業の流れに沿って基本的な調査研究の進め方を示したものである。調査研究の進展に伴って蓄積された科学的・技術的知見を踏まえて統合化データフローの妥当性を評価し、さらにその最適化および詳細化を段階的に図ることにより、地層処分にとって重要な地質環境特性を理解するための体系化された調査・評価技術が整備されることになる。



2.2-5 研究目標／反映先と系統的なデータの流れを記述・整理したフローの例¹⁰⁾

（既存情報の収集）とは第一段階までの調査を示す

2.3 超深地層研究所周辺の地質

研究所用地および正馬様用地ならびにその周辺においては、後期白亜紀の基盤花崗岩(土岐花崗岩)を新第三紀中新世の堆積岩(瑞浪層群)が不整合に覆い、さらにそれを固結度の低い新第三紀鮮新世の砂礫層(瀬戸層群)が不整合に覆っている(図 2.3-1)¹¹⁾。

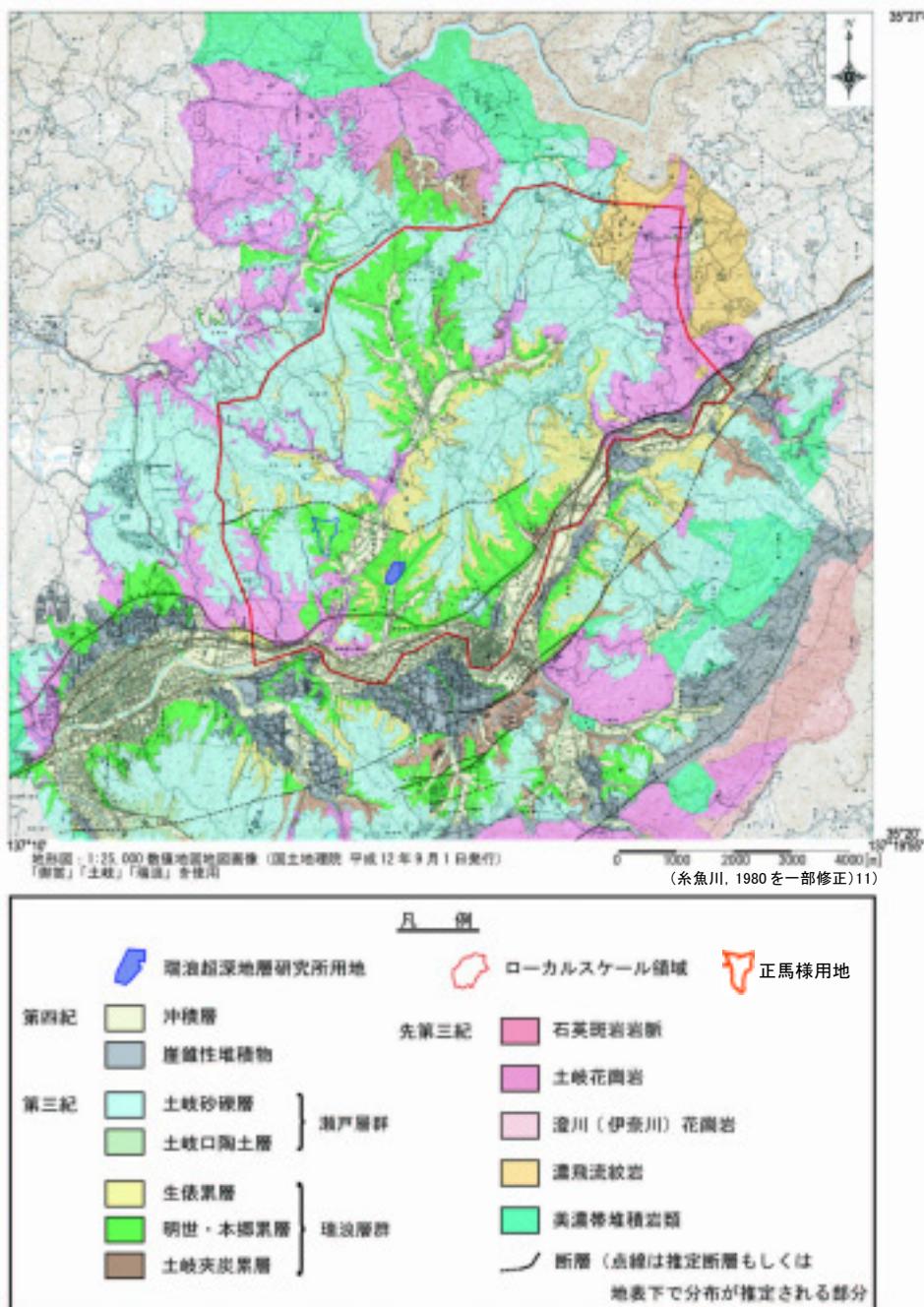


図 2.3-1 超深地層研究所周辺の地質概要

2.4 瑞浪超深地層研究所の施設概要

瑞浪超深地層研究所は、超深地層研究所計画に係わる主要な施設である地上施設と研究坑道からなる(図 2.4-1,2.4-2)。地上施設は、立坑掘削に用いる櫓設備と巻上設備、掘削に伴い必要となる給排水設備、換気設備、コンクリートプラント、排水処理設備などの付帯設備、作業全体に係る設備としての受変電設備、非常用発電設備、資材置場、火工所、管理棟などからなる。一方、研究坑道は、主立坑、換気立坑、二つの水平坑道群(中間ステージおよび最深ステージ)、深度 300m における調査研究用の水平坑道(深度 300m 研究アクセス坑道)および深度 100m ごとに主立坑と換気立坑をつなぐ予備ステージなどからなる。深度 300m 研究アクセス坑道については、2008 年度に、以下に示す理由により設置することとした。

平成 12 年 6 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(平成 12 年 6 月、法律第 117 号、以下、「最終処分法」)が公布され、この法律に基づき同年 10 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」¹²⁾(以下、「基本方針」)および「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」¹³⁾(以下、「最終処分計画」)が定められた。この「基本方針」および「最終処分計画」は、今後の技術の変化等、事情の変更に応じて所要の見直しを行うものとされており、平成 20 年 4 月に改定が行われた。改定された「基本方針」では、『研究開発機関は、最終処分の安全性、信頼性について、分かりやすい情報発信に努めるとともに、深地層の研究施設等においては、当該研究施設や研究開発の内容の積極的な公開等を通じて、特定放射性廃棄物の最終処分に関する国民との相互理解促進に貢献していくことが重要である』とされている。「最終処分計画」では、精密調査地区選定時期が平成 20 年代前半から平成 20 年代中頃に、処分施設建設地選定時期が平成 30 年代後半から平成 40 年前後に変更された。一方、これまでの瑞浪超深地層研究所における調査研究により得られた地質環境情報等から、深度 300m 付近は、調査研究の対象となる結晶質岩中に位置しており、深部と異なる地質条件(割れ目が多く湧水の可能性がある)を有していることが明らかとなっている。

以上のような「基本方針」と「最終処分計画」の改定およびこれまでの調査研究で得られた成果を鑑みると、深度 300m に研究坑道を設置し調査研究を実施することにより、深部での調査研究の成果とあわせて技術の高度化が可能となること、研究の場を早期に確保し時間のかかる調査研究を進めることができること、研究の場を広く一般に公開することで地層処分に関する国民との相互理解促進に貢献できることから、2008 年度に深度 300m において調査研究用の水平坑道を整備することとした。

なお、研究坑道のレイアウトは、今後、研究所用地で取得される地質環境の情報に基づき必要に応じて見直す。



図 2.4-1 瑞浪超深地層研究所の地上施設

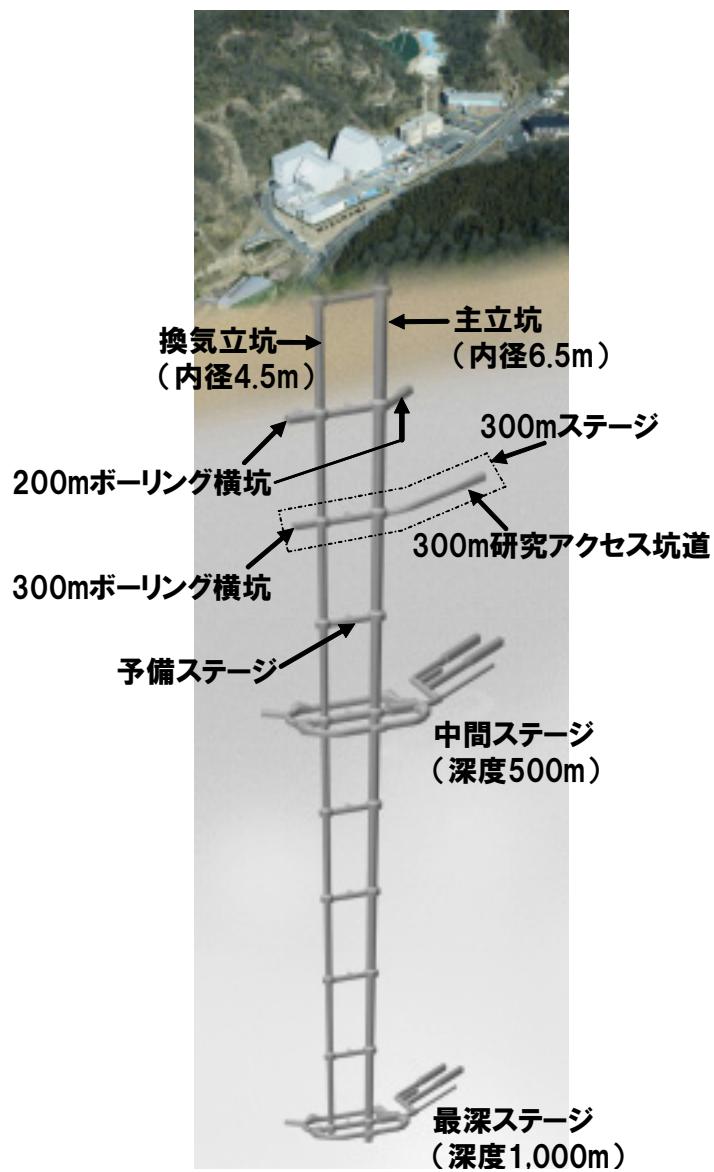


図 2.4-2 瑞浪超深地層研究所の研究坑道イメージ図

3. 2009 年度の調査研究および施設建設計画

3.1 瑞浪超深地層研究所用地における調査研究

2008 年度までの調査研究においては、第 1 段階の調査研究結果に基づく地質環境モデルを第 2 段階の調査研究結果に基づき更新したほか、深度 200m に設置されたボーリング横坑から掘削したボーリング孔を用いた水理、水質、力学に関するモニタリングを継続した。

2009 年度においては、地上からのボーリング孔を利用した水圧、水質モニタリングおよび研究坑道内において掘削したボーリング孔を用いた水理、水質、力学に関するモニタリングを継続するとともに、3.1.1 以下に示す調査研究を行う。さらに、深度 300m に設置された研究アクセス坑道を用いた調査研究の詳細計画を策定する。研究坑道レイアウトと研究坑道での主な調査位置を図 3.1-1 に示す。

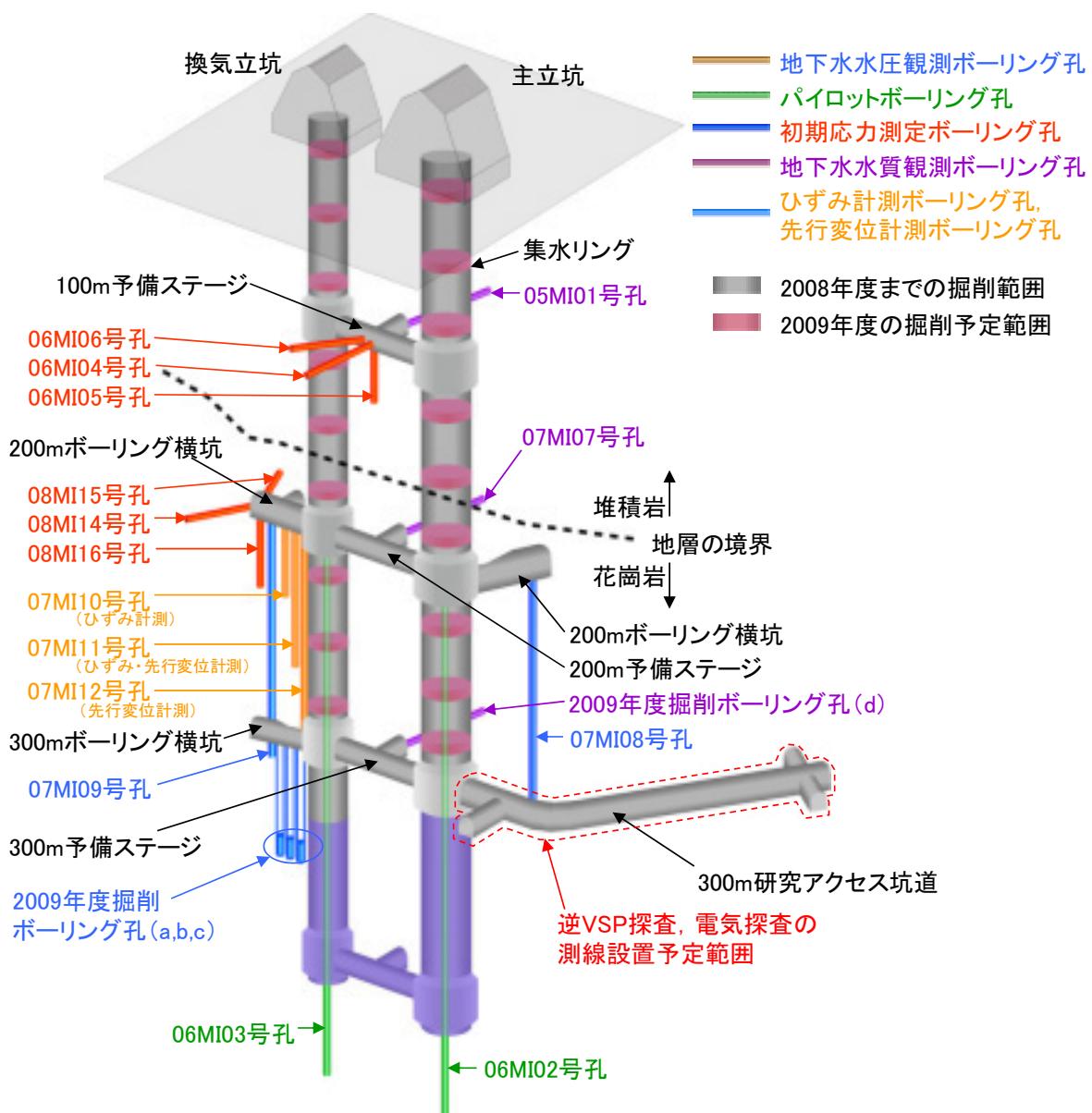


図 3.1-1 研究坑道レイアウトおよび主な調査位置

3.1.1 地質・地質構造に関する調査研究

2008年度における調査研究では、坑道掘削に伴う壁面地質観察、逆VSP探査、電気探査(自然電位測定)による地下水流动モニタリングを実施した。また、観測、調査から得られたデータに基づき、これまでに構築したサイトスケールの地質構造モデルの妥当性を確認、更新するとともに、より詳細なブロックスケールの地質構造モデルの構築を継続した。さらに、第2段階以降の調査研究に必要な調査解析技術として、物理探査、地質調査、モデル化手法の高度化・体系化を継続した。

2009年度は、2008年度に引き続き、研究坑道掘削に伴う壁面地質観察、逆VSP探査、電気探査(自然電位測定)による地下水流动モニタリングを実施するとともに、サイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認やブロックスケールの地質構造モデルの構築、調査解析技術の最適化を実施する。

(1)調査試験

①物理探査(逆VSP探査、電気探査(自然電位測定))による地下水流动モニタリング)

掘削する研究坑道の前方や研究坑道周辺の詳細な地質分布を推定する技術を整備するために、研究所とその周辺の地表で、研究坑道の掘削に伴う工事振動を利用した物理探査(逆VSP探査)を主立坑の深度300m以深の掘削に合わせて実施する。また、研究坑道周辺の地下水流动やそれを規制する地質構造を把握する技術を整備することを目的として、研究所とその周辺の地表で、電気探査(自然電位測定)による地下水流动モニタリングを継続して実施する。さらに、これらの観測で得られる情報を、第2段階でのサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認と更新およびブロックスケールの地質構造モデルの構築に反映する。

②研究坑道の壁面地質調査および壁面物性計測

研究坑道の深度300m以深の掘削に合わせて、研究坑道で観察される土岐花崗岩中の割れ目(帯)、断層、変質帯の分布特性や地質学的性状に関する情報を取得し、第2段階でのサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認と更新およびブロックスケールの地質構造モデルの構築に反映させる。また、壁面地質調査時に、三次元レーザースキャナーやシュミットロックハンマーなどによる壁面物性計測を継続する。

(2)モデル化・解析

3.1.1(1)の調査試験結果に基づき、第1段階および第2段階で構築されたサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認と更新を行う。また、より詳細なスケールで分布する地質構造(節理、小規模な断層など)を反映したブロックスケールの地質構造概念モデルを構築するとともに、モデル化に必要なデータセットや解析手法の整備を行う。

(3)技術開発

①物理探査手法の高度化

逆VSP探査や自然電位測定などの電気探査を利用して、研究所周辺の断層や割れ目帯、透水性構造などを可能な限り精度よく可視化することを目的として、これらの手法のデータ解析手法の最適化を検討するとともに、深度300mの研究アクセス坑道を利用したこれらの手法の測定・解析手法に関して検討する。

②地質調査手法の高度化

地質構造と岩盤物性の関連を把握し、研究坑道の施工にも資する情報をより効率的に取得する技術の向上を目的として、深度300mの研究アクセス坑道や立坑などにおける簡易弾性波の計測や解析手法

の最適化の検討を行う。また、パイロットボーリングから採取された岩芯などを対象に、変質鉱物の反射スペクトルに着目した分光計測による岩盤性状の区分などに関する検討を行う。

③地質構造モデル化手法の高度化

3.1.1(2)で構築する地質構造モデルが有する不確実性の評価や不確実性の低減(調査の質・量が十分でない領域の地質分布の推定など)を図るために、地球統計学や地質構造発達過程の復元シミュレーションを複合した新たな地質分布の推定技術の整備を行う。

3.1.2 岩盤力学に関する調査研究

2008 年度は、換気立坑深度 200m のボーリング横坑から鉛直方向に掘削したボーリング孔(図 3.1-1; 07MI10 号孔, 07MI11 号孔)に設置したひずみ計を用いて、立坑のプレグラウトおよび立坑掘削に伴う影響範囲に関する情報を取得するための計測を実施した。さらに同横坑内から水平および鉛直方向にボーリング孔を掘削し(図 3.1-1; 08MI14 号孔, 08MI15 号孔, 08MI16 号孔), 原位置初期応力測定とコアを用いた室内物理・力学試験を実施した。その他、岩盤の長期挙動評価手法の確立を目的とした研究(クリープ試験、応力緩和試験等)を実施した。

2009 年度は、調査試験として、既設のひずみ計による計測を継続し、坑道周辺岩盤の長期変形挙動に関するデータを取得するとともに、結晶質岩盤の長期変形挙動計測に対する既存のひずみ計測技術の適用性を検討する。また、研究坑道の掘削の進捗に伴って取得される地質データおよび各種試験結果に基づき、立坑到達深度までの岩盤物性評価を試みる。モデル化・解析としては、上記の結果に基づき、立坑到達深度までの範囲を対象とした第 1 段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性確認に関わる方法論を検討するとともに、より深部における坑道周辺岩盤の掘削影響に関する知見を得るための予察的な数値解析を実施する。また、技術開発として、岩盤の長期挙動評価手法の確立を目的とした研究を継続する。

(1)調査試験

岩盤ひずみ計測

2007 年度から換気立坑深度 200m において観測を継続しているひずみ計(伸縮シリンダー式の素子をモルタル中に埋設したもの、独立 6 成分観測)を用いて、立坑周辺岩盤の長期変形挙動に関する連続測定を実施する。そこから得られるひずみデータを解析することで、結晶質岩盤の長期変形挙動の程度や既存のひずみ計測技術の適用性(感度、耐久性等)を検討する。

(2)モデル化・解析

研究坑道の掘削の進捗に伴って取得される地質データおよび各種試験結果に基づき、立坑到達深度までの岩盤物性評価を試みるとともに、その結果に基づき、立坑到達深度までの範囲を対象とした第 1 段階で構築したサイトスケールの岩盤力学モデルの妥当性確認に関わる方法論を検討する。また、ブロックスケールの岩盤力学モデル構築のためのデータを蓄積、整理する。

さらに、これまでの換気立坑における地質観察やパイロットボーリング調査により明らかになってきた研究坑道周辺部の割れ目の幾何学特性を考慮しつつ、より深部における坑道周辺岩盤の掘削影響に関する知見を得るため、第 1 段階で適用した等価連続体モデル(クラックテンソルモデル等)を用いた予察的な数値解析を実施する。

(3)技術開発

結晶質岩を対象とした岩盤の長期挙動評価手法の確立を目的として、現象論的方法および理論的方法による二通りのアプローチから研究を実施する。現象論的方法においては、堆積岩(田下凝灰岩)の11年を超える長期クリープ試験を継続するとともに、土岐花崗岩に対するコンプライアンス可変型構成方程式のパラメータ取得、一般化応力緩和試験を継続し、これまでの成果に基づく長期挙動予測手法の取りまとめを行う。理論的方法においては、レーザー共焦点顕微鏡観察下における土岐花崗岩の応力緩和試験、石英試験片を使用した水浸載荷下での圧力溶解モデル実験を継続し、これらミクロな挙動に基づくマクロな挙動の予測手法の取りまとめを行う。

3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究

研究坑道の掘削に伴う地下水水流動場の変化に基づき、サイトスケールやブロックスケールの水理地質構造モデルを更新するためには、不均質性を有する水理地質構造に起因した水圧変動の空間的ばらつきに関するデータを取得するとともに、それを用いた地下水水流動解析を実施する必要がある。また、この地下水水流動解析においては、水圧変動を生じさせる研究坑道への湧水の量を考慮する必要があり、湧水量は主に人工構造物を含むスキン効果(人工構造物による湧水の抑制や掘削影響領域の形成による湧水の増加などの水理学的影响)やグラウトの影響を強く受けすることが明らかとなっている。このことから、このスキン効果を把握するためのデータを取得することも重要と考えられる。さらに、以上のデータ取得および水理地質構造モデルの更新、地下水水流動解析を通じて、第1段階で構築した水理地質構造モデルの妥当性確認に関わる方法論を検討する。

2008年度は、研究坑道の掘削が地下水の間隙水圧に及ぼす影響を把握することを目的として、地下水長期モニタリングおよび表層水理観測などを前年度より継続した。

2009年度は、スキン効果を把握するために実施している研究坑道からの既存の調査ボーリング孔での地下水長期モニタリングを継続するとともに、研究坑道から掘削するボーリング孔における地下水長期モニタリングを開始する。また、研究坑道の掘削が地下水の間隙水圧に及ぼす影響を把握するために実施している地表から掘削したボーリング孔での地下水長期モニタリングおよび表層水理観測を継続する。

(1)調査試験

①立坑の集水リングを用いた湧水量計測

立坑の深度100mあたり4箇所程度に設置される集水リング(図3.1-1)ごとに流量計を設置して、立坑への湧水量の深度分布とその経時変化を連続的に計測する。不連続構造や透水性の割れ目帯などに遭遇した場合には、必要に応じてこれらの構造を対象に集水リングを設置することにより、その水理特性に関する情報を取得する。

また、取得する湧水量データなどは、サイトスケールの水理地質構造モデルの更新に使用する。

②研究坑道からの調査ボーリング孔を用いた地下水長期モニタリング

研究坑道の掘削に伴う湧水量や地下水位・間隙水圧などの観測結果を用いて、サイトスケールおよびブロックスケールの水理地質構造モデルの更新を行うためには、立坑壁面近傍におけるコンクリート覆工や集水マットなどの人工構造物などに起因するスキン効果が湧水量に与える影響を評価する必要がある。このために、05ME06号孔(図3.1.3-1)および深度200mに設置したボーリング横坑から掘削した鉛直ボーリング(図3.1-1;07MI08号孔、07MI09号孔)を用いて、立坑切羽(底面)が進行する前から進行中の各深度の間隙水圧の観測を継続し、立坑掘削が地下水の間隙水圧に及ぼす影響を把握する。また、研究坑道近傍での水平方向の間隙水圧分布を把握するため、換気立孔の深度300mボーリング横坑にお

いて立坑壁面からの距離を変えて 3 本のボーリング孔(図 3.1-1; 地下水水圧観測ボーリング孔(a,b,c))を掘削し、深度 350m 付近を観測区間とした間隙水圧の観測を開始する。

③地表からのボーリング孔を用いた地下水長期モニタリングおよび表層水理観測

研究坑道の掘削が地質環境へ与える影響を把握するために、第 1 段階より開始した地下水長期モニタリング(MSB-1 号孔および MSB-3 号孔; 研究所用地(図 3.1.3-1)), 表層水理観測(気象要素, 河川流量, 地下水位, 土壌水分(図 3.1.3-1))および傾斜計(04ME02~05 号孔; 研究所用地(図 3.1.3-1))を用いた連続観測を継続するとともに、衛星データ等を用いた表層水理定数推定手法に関する検討を行う。さらに、これらの観測で得られる情報を、サイトスケールの水理地質構造モデルの更新に反映する。

なお、MIZ-1 号孔については溶存ガスの影響と考えられる水圧の変動が確認されていたことから、2007 年度に既存システム(ピエゾ水頭測定方式)の引き抜きおよび新規システム(直接水圧測定方式または、改良型ピエゾ水頭測定方式)の設置を計画していたが、作業中の状況確認においてシステムの引き抜きが困難な孔内環境にあることが判明したため、既存システムによる観測を継続することとする。既存システムについては、ピエゾ管内のガスを排除するためのメンテナンス作業を行うことにより、作業後 1 ヶ月程度は正常な観測が行えることが確認できていることから、1 ヶ月に 1 回程度のメンテナンス作業を行いつつ観測を継続するとともに、観測を通じて、より効率的なメンテナンス方法に関する検討を行うこととする。

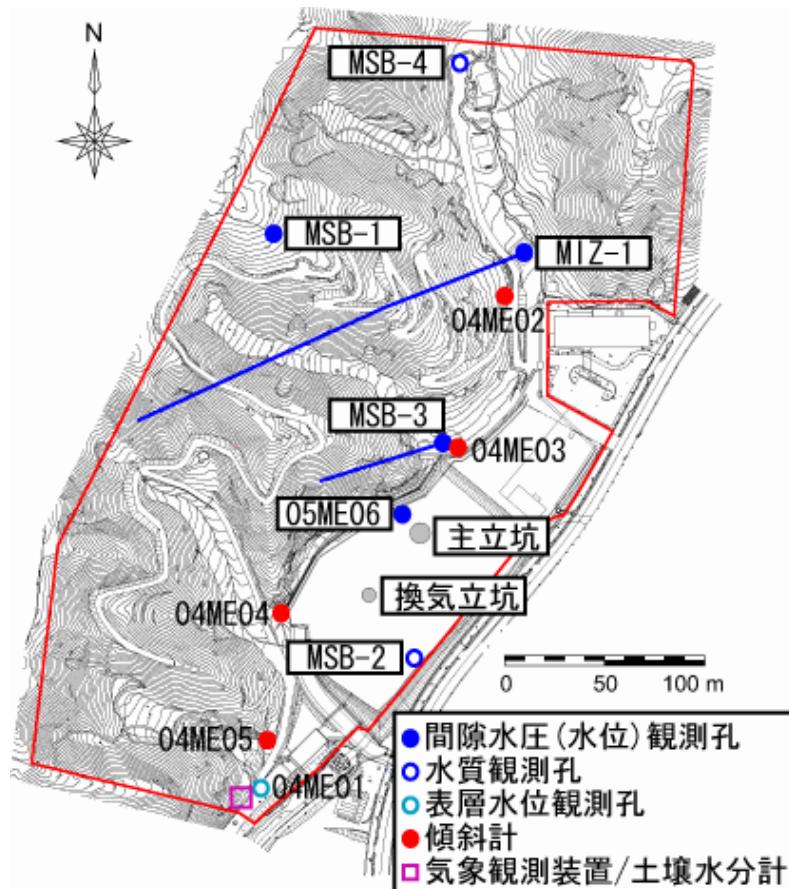


図 3.1.3-1 研究所用地内観測位置図(原図は瑞浪市都市計画基本図)

(2)モデル化・解析

地表および研究坑道から掘削したボーリング孔での水圧長期モニタリングなどから得られる情報に基づきサイトスケールおよびブロックスケールの水理地質構造モデルの更新を行うとともに、このモデルに基づく地下水流动解析を実施する。具体的には、立坑への湧水量観測および水圧長期モニタリング結果に基づきサイトスケールおよびブロックスケールの水理地質構造モデルを更新するとともに、この水理地質構造モデルを用いた地下水流动解析を実施し、立坑への湧水量や地下水流动場の変化を予測し、研究坑道の施工計画および第3段階の調査研究計画策定に反映させる。

(3)技術開発

①水圧モニタリング装置の適用性の検討

調査ボーリング孔における間隙水圧計測および地下水長期モニタリングでの観測を通して、モニタリング装置の適用性や長期耐久性、モニタリング装置の特徴に合わせたメンテナンス方法の確認を継続する。

②地質環境データ解析・可視化システムの構築

地質構造／水理地質構造のモデル化・地下水流动解析およびモデル化・解析結果の可視化に関する作業を通じて、抽出されたシステムの問題点の改善および機能の拡張を適宜実施する。さらに、拡張したシステムの信頼性を確認する。

3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究

2008年度は、既存ボーリング孔(MSB-2号孔およびMSB-4号孔；図3.1.3-1, 07MI07号孔；図3.1-1)を対象とした地下水の水質・水圧長期観測および研究坑道内における立坑壁面および集水リングを用いた坑内湧水の水質観測を継続した。また、深層ボーリング孔(MIZ-1号孔；図3.1.3-1)において地下水採水・水質分析を実施した。これらの結果、研究坑道周辺における地下水の水質分布は、研究坑道掘削に伴う水圧低下の影響により、擾乱を受けている可能性が示された。

2009年度は、第2段階の調査研究として、研究坑道掘削による周辺の地球化学環境への影響の把握を目的とした研究所用地周辺の地下水水質観測を継続するとともに、深度300mの予備ステージから掘削予定のボーリング孔(図3.1-1；地下水水質観測ボーリング孔(d))において地下水水質観測を開始する。また、第1段階で構築したサイトスケールの地球化学モデルの妥当性を確認するための方法論を検討するとともに、地下水流动に伴う水質の変化に関する解析、今後の研究坑道掘削による地球化学環境の擾乱について検討を行う。さらに、第2段階の調査研究の課題として挙げられた、地下水中の溶存ガスに関わるデータの取得、脱ガスの影響のない酸化還元電位の把握などを解決するための調査研究を継続して実施する。その他、地下水の酸化還元状態のより正確な把握などのため、地下水中の金属元素の存在状態に関する調査研究、地質環境の長期挙動に関する研究のうち地下水水質の変遷に関する研究を実施する。

(1)調査試験

①300m予備ステージにおけるボーリング孔掘削・地下水水質観測

各予備ステージ深度における平面的な水質分布の確認と研究坑道の掘削の進捗に伴う水質の変化の把握および研究坑道の掘削によって生じた脱ガスや酸化領域の把握および設置する地下水採水装置の適用性を評価(3.1.4(3)を参照)することを目的として、深度300m予備ステージにおいて掘削長100m

程度のボーリング孔(図 3.1-1;地下水水質観測ボーリング孔(d))を掘削し, 6 箇所程度の区間から原位置の環境を保持した状態で地下水の採取, 各種分析を行う。ボーリング孔には多区間水質連続モニタリング装置を設置し, 水圧と物理化学パラメータの連続測定を行うとともに, 区間ごとに地下水を定期的に(1 回/月程度)採水・分析する。測定・分析項目は, 水温, pH, 酸化還元電位, 電気伝導度, 溶存酸素濃度, 蛍光染料濃度, 主要・微量化学成分, 溶存ガス, 安定・放射性同位体などである。なお, 蛍光染料濃度の測定は, 採取した地下水に掘削水がどの程度混入しているかを評価するために行うものである。

②立坑壁面および集水リングを用いた坑内湧水の採水・分析

第 1 段階で構築した地球化学モデルの妥当性を評価すること, 研究坑道掘削による地質環境への影響の評価を主目的として, 立坑壁面での切羽湧水および集水リングにおける坑内湧水を採水し, 測定・分析を行う。採水の頻度は, 切羽湧水を観察時の 1 回, 集水リング湧水をリング構築後から 6 ヶ月間は 1 回/週, それ以降は 1 回/月程度とするが, 地質および掘削工事の状況などにより適宜変更することとする。測定・分析項目は, 水温, pH, 酸化還元電位, 電気伝導度, 溶存酸素濃度, 蛍光染料濃度, 主要成分濃度, 安定・放射性同位体濃度(2 回/年)などであり, 得られる試料の品質に応じて分析項目を選定する。

③予備ステージボーリング孔(07MI07 号孔)における地下水水質観測

2007 年度に深度 200m 予備ステージにおいて掘削したボーリング孔(図 3.1-1;07MI07 号孔)に設置した水質連続モニタリング装置を用いて, 水質および水圧の連続モニタリングを継続して実施する。07MI07 号孔では, 設置した多区間水質連続モニタリング装置を利用して水圧と物理化学パラメータの連続測定を行うとともに, 設定した 6 区間の区間ごとに地下水を定期的に(1 回/月程度)採水・分析する。測定・分析項目は, 水温, pH, 酸化還元電位, 電気伝導度, 溶存酸素濃度, 蛍光染料濃度, 主要・微量化学成分濃度, 溶存ガス濃度, 安定・放射性同位体濃度である。これらの項目について, 採取する試料の品質や採取頻度を踏まえて分析項目を決定する。なお, 2005 年度に深度 100m 予備ステージにおいて掘削したボーリング孔(図 3.1-1;05MI01 号孔)については, 研究坑道の掘削の影響により, ボーリング孔からの湧水がない状態であるため, 2008 年度に水質観測を中断した。

④既存ボーリング孔における地下水水質観測

立坑の掘削による地下水の化学的環境への影響の把握を目的として, MSB-2 号孔および MSB-4 号孔における, 採水調査と間隙水圧測定(それぞれ各区間 1 回/月)を継続して行う。また, 必要に応じて他の既存ボーリング孔での採水調査を実施する。

⑤地下水中の金属元素の存在状態に関する調査

地下水の酸化還元状態のより正確な把握などを目的として, 地下水中の金属元素の存在状態に関する調査を実施する。具体的には, これまでに実施した原位置での採水や限外ろ過作業における課題を抽出し, 作業手順や使用機器を改善することにより試料採取手法を最適化する。また, 今年度は新規にボーリング孔を掘削する 300m 予備ステージでの調査を主体として, 分画分子量 1,000MWCO 程度までの限外ろ過を実施する。ろ液に対しては微量金属元素の定量分析を実施し, ろ紙については電子顕微鏡での観察や微小領域分析を実施する。これらの結果に基づき, 金属元素が錯体形を形成する際の配位子について考察し, 各元素の存在状態を把握することを試みる。

⑥地下水水質の長期変遷に関する調査

現在の地球化学環境を把握するための基盤情報の取得および地下水水流動解析の境界条件に対する制約を与えるため, 地下深部における地球化学環境の長期的変遷を推定するための調査を実施する。今年度は新規に取得するボーリング孔(図 3.1-1;地下水水質観測用ボーリング孔(d))のコアを用いて, 化学分析や鉱物学的調査を行い, 従来の知見と合わせた概念モデルの構築を行う。

(2)モデル化・解析

研究坑道掘削による擾乱の影響の把握を目的として、地下水流动に伴う水質の変化に関する予測解析を実施する。具体的には、第1段階で得られた地球化学モデルに基づき、研究坑道掘削による水理学的擾乱を考慮した水質分布の変化や地球化学環境の変化に関する解析を実施する。解析結果を採水調査(立坑壁面および集水リングでの坑内湧水の採水調査、研究坑道内から掘削したボーリング孔での採水調査および既存ボーリング孔での採水調査)により得られた地下水水質データと比較し、解析条件の妥当性や今後の研究坑道掘削による地球化学環境の擾乱について検討を行う。

(3)技術開発

研究坑道内に設置した多区間連続水質モニタリング装置を利用した溶存ガスの分析について、より精度良く溶存ガスの定量・定性分析を実施するための技術開発を実施する。具体的には、試料採取時における脱ガスや大気による汚染を排除し、原位置の環境を保持した状態での試料採取技術、採取した地下水試料からのガス成分の効果的な回収方法および回収した溶存ガスを分析装置へ導入する技術について検討を行う。

3.1.5 物質移動に関する調査研究

岩盤中の物質移動に関する調査研究の目標は、物質移動の遅延効果の把握であり、このための課題は、岩盤の収着・拡散特性や物質移動場およびコロイド／有機物／微生物の影響の把握である(図2.2-1)。

2008年度は、土岐花崗岩中のマイクロクラックの観察・解析を行うとともに、物質移動試験の計画立案に必要な地質、水理、地下水の地球化学、物質の遅延特性に関する既存情報(物質の収着・拡散特性、物質移動に寄与する空隙構造や空隙率、コロイド／有機物／微生物が物質移動に及ぼす影響など)の横断的解釈を実施した。

2009年度は、上記の物質移動評価に係る情報の取得を継続するとともに、地質環境調査・物質移動評価に関する研究(TM1:4.④)での成果等を適宜活用し、2010年度以降から深度300m研究アクセス坑道で本格的に開始される物質移動試験の詳細計画を策定する。

3.1.6 深地層の工学技術の基礎の開発

深地層の工学技術の基礎の開発の目標は、現状のあるいは新たに開発される工学技術を研究所用地の地質環境に適用することにより、地下深部に研究坑道を設置し、安全かつ合理的に施工・維持・管理できることを確認することである。

2008年度は、瑞浪超深地層研究所の深度200mまでの建設工事を通じて得られた情報に基づき、第1段階で適用した設計技術、掘削技術、対策工、安全対策について、それらの有効性の評価等を行った。また、設計技術の妥当性の検討のため、換気立坑の200mボーリング横坑から立坑沿いに掘削長50m程度の鉛直ボーリング孔を掘削し、計測機器(傾斜計および光ファイバーひずみ計)を設置して、換気立坑掘削中の岩盤の変形挙動計測を実施し、設計時に設定した応力解放率の妥当性の検討や計測技術の適用性に関する評価を行った。また、研究坑道掘削工事のグラウト施工におけるデータを収集・整理・評価し、湧水抑制対策技術として取りまとめた。

2009年度は、2008年度に引き続き、実際の建設工事を通じて、設計技術、掘削技術、対策工、品質を確保する技術や安全対策等の有効性を評価していく。さらに、深度300m研究アクセス坑道において

実施を予定している施工対策影響評価試験の計画を検討する。

(1)実施内容

研究坑道掘削の進捗にあわせて、坑道内における各種の計測工(A 計測, B 計測, C 計測など;以下の①参照)やセンサーの設置、施工に係る各種データの取得を行う。また、掘削中に取得されるデータを基に設計を見直すとともに、今後の設計、施工計画の立案に反映する。第2段階における工学技術に関する主な調査研究項目は、以下のとおりである。

- ・ 計測工
- ・ 施工情報のデータベース化
- ・ 解析・検討

以下に2009年度における具体的な実施内容を示す。

①計測工

研究坑道掘削中の計測工としては、A 計測, B 計測, C 計測の三つのカテゴリーの計測工を実施する。現在、実施を計画している計測工を以下に示す。

a) A 計測

- ・ 内空変位計測(計測位置;立坑一般部, 立坑連接部, 400m 予備ステージ)
- ・ 天端沈下計測(計測位置;400m 予備ステージ)

b) B 計測

- ・ 立坑湧水量計測(計測位置;立坑深度 300~400m の間で両立坑ともに 5箇所ずつ)
- ・ 地中変位計測、ロックボルト軸力計測、吹付けコンクリート応力計測、覆工コンクリート応力計測、鋼製支保工応力計測(主立坑のみ)

各計測位置を表 3.1.5-1 に示す。

表 3.1.5-1 計測位置

計測位置(m)		深度 450m	深度 400m	深度 400m
種別		立坑一般部	立坑連接部	予備ステージ
B計測	(a)地中変位計測	○*	○	○
	(b)ロックボルト軸力測定	-	○	○
	(c)吹付コンクリート応力測定	-	○	○
	(d)覆工コンクリート応力測定	○*	○	-
	(e)鋼製支保工応力計測	○*	-	-

*)立坑掘削の進捗に応じて実施

c) C 計測

- ・ 壁面観察(観察場所;立坑(約 2.6m ごと), 400m 予備ステージ)
 - 壁面マッピングおよび地質記載
 - デジタルカメラによる可視画像データ採取
 - 三次元レーザースキャナーによる計測データ採取(主立坑のみ)
 - 採取試料を用いた室内試験による物性データ採取
- ・ レーザー内空変位計測
 - 計測位置;立坑深度 325m, 375m(1側線;直径方向 1箇所)
 - 計測位置;立坑深度 350m(2側線;直径方向 2箇所)

②施工情報のデータベース化

施工の品質管理の観点から、施工に係る以下の情報についてデータを収集・蓄積する。

- ・計測工データ

 - A, B, C 計測、環境計測

- ・坑内管理データ

 - 入坑管理、環境管理、火災管理、通信管理

- ・サイクルタイムに関するデータ

 - 発破孔数・時間、火薬・雷管の種類・数量、発破時間、発破パターン、ズリ出しの時間、ズリ量、型枠設置、覆工コンクリート打設など

- ・掘削の仕上がりに関するデータ

 - 覆工コンクリートの種類・打設量、掘削断面・余掘り形状など

- ・掘削機械・設備に関する品質データ

 - 巻上機、シャフトジャンボ、シャフトマッカなどの掘削機械の稼働状況、ワイヤーロープなどの設備の点検結果および覆工コンクリートの品質データ

③解析・検討

設計結果の妥当性の評価、その詳細化および高度化のために、設計時に実施した空洞安定性解析、通気網解析、耐震解析などの各種の解析結果と、①、②の計測結果とを比較・検討する。また、深度168m以深の土岐花崗岩に関する地質環境特性に関するデータ(地質情報、岩盤物性、初期応力等)を分析するとともに、必要に応じて数値解析を実施し、その結果を設計手法の妥当性の検討などに反映する。特に、岩盤分類については、2008年度までに堆積岩部を対象としてその適用性が評価されている「岩盤の工学的分類法(JGS3811-2004)」をベースとした新しい定量的岩盤分類法を結晶質岩部にも適用し、その有効性や課題について検討する。

また、研究坑道の掘削、支保設置、ズリ出しの一連の施工に係る合理化技術、施工中に得られる地質環境情報の品質管理システム、施工後の品質確認のための調査・計測項目や計測方法およびリスクマネジメントの研究坑道掘削工事への具体的な適用・評価方法の検討を継続する。

さらに研究坑道の地震時健全性評価のために設置した深度100m、200mおよび300m地点の地震計を用いた地震動計測データの収集を継続する。

④グラウト施工

2008年度に取りまとめたこれまでのグラウト施工に関する知見に基づき、今後の湧水抑制対策の検討や、工学技術の施工対策技術として高度化を図っていく。

⑤施工対策影響評価試験の計画検討

施工対策影響評価試験は、湧水抑制対策時に使用されるグラウト材のみならず、地下の坑道掘削においてその設置が不可避である支保工(吹付コンクリート、ロックbolt、鋼製支保工など)が、坑道周辺の地質環境に与える影響を把握・評価する技術の構築を主目的として、深度300m研究アクセス坑道において実施を予定している。2008年度は、上記の地質環境の影響に関する概念の構築と試験の概念検討を実施した。2009年度は、本試験について実施に向けた具体的な計画の策定を行う。

3.2 正馬様用地における調査研究

2008 年度の正馬様用地での調査研究では、断層に着目した地下水流动場の把握を目的とした地下水の長期モニタリングおよび地下への涵養量の把握を目的とした表層水理観測を継続した。

2009 年度においても、上述の地下水の長期モニタリングおよび表層水理観測を継続する。

(1)調査試験

①地下水長期モニタリングおよび表層水理観測

正馬様用地内のボーリング孔(AN-1 号孔, AN-3 号孔, MIU-1 号孔, MIU-2 号孔, MIU-3 号孔, MIU-4 号孔; 図 3.2-1)において地下水長期モニタリングを行う。また、表層水理観測として、気象要素(雨雪量、蒸発散量、気温、湿度、風速など)、河川流量、地下水位・土壤水分の観測を継続して実施する。

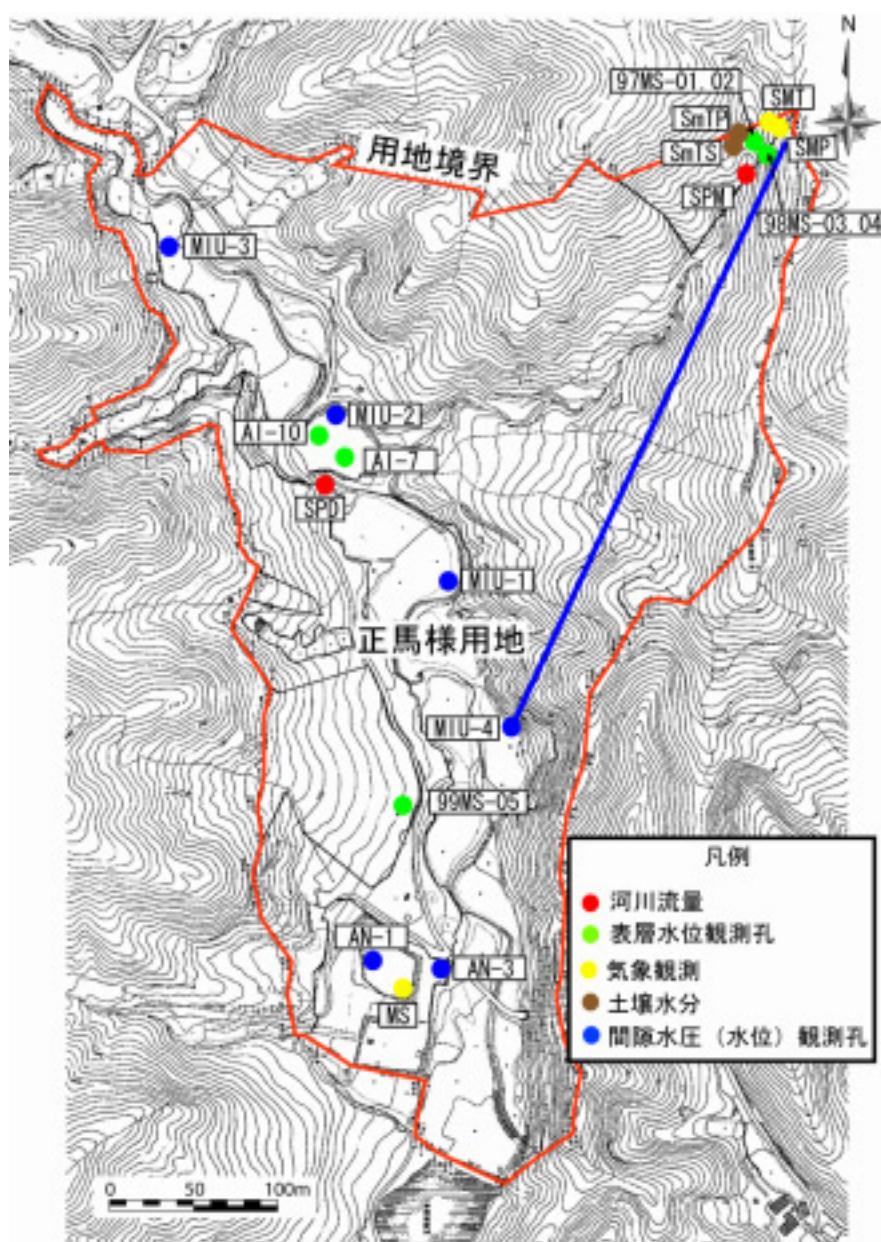


図 3.2-1 正馬様用地内におけるボーリング孔位置図⁸⁾(原図は瑞浪市都市計画基本図)

3.3 研究所用地における施設建設設計画

(1)施設建設

2009 年度は、主立坑と換気立坑ともに深度 400m 以深までの掘削と、深度 300m の水平坑道（予備ステージ、ボーリング横坑、研究アクセス坑道）の整備および深度 400m の水平坑道の掘削に着手する（図 3.1-1）。研究坑道の掘削に際しては、2008 年度に引き続き湧水量を抑制する対策として、湧水箇所に対し必要に応じてグラウトを行いつつ掘削を進める。

研究坑道掘削工事に伴い発生する地下水は、地上に設置している排水処理設備により適切に処理し、岐阜県および瑞浪市との間で締結している「瑞浪超深地層研究所に係る環境保全協定」（以下、「環境保全協定」）に基づく管理基準値に適合させた水質で河川へ放流することを継続する。排水処理については、処理方法や設備規模などについて検討し、費用対効果を判断しつつ対応を進めていく。

研究坑道掘削工事に伴い発生する掘削土については、「環境保全協定」に基づき自主的に毎月測定を行い、掘削土に含まれるフッ素などについては、さらに測定頻度を高めた管理を継続して行う。

(2)周辺環境モニタリング調査

2009 年度は、2008 年度に引き続いて研究坑道掘削に伴う周辺環境への影響の有無を確認するため、以下のモニタリングを継続する。

・排水処理水の水量・水質の測定

排水処理プラントの放流水の pH、濁度などの測定を実施する。

・河川の流量測定および水質分析

研究所用地の近傍を含む狭間川の上流および下流の計 3 地点において河川流量測定を実施する。

また、生活環境項目および健康項目に関する水質分析を実施する。

・井戸の水位測定

研究所用地近傍の 10 箇所において井戸の水位測定を実施する。

・騒音・振動測定

用地境界 1 箇所において騒音・振動測定を実施する。

4. 地層処分技術に関する分野間の連携研究

2009 年度は地層処分技術に関する分野間での連携研究として以下を実施する。

①掘削影響領域に関する岩盤の水理・力学、地下水の地球化学に関する調査研究

超深地層研究所計画における立坑および水平坑道での掘削影響試験に関する調査試験計画を前年度の概略的な検討結果に基づいて詳細化する。これらは、①海外の地下研や国内(東濃鉱山や釜石鉱山)での先行事例、②実施主体等のニーズ等を勘案し、適切な成果が得られるような試験計画とする。

②地質環境の長期挙動に関する研究

地下水の化学組成および物理化学特性の長期的変化を推定する手法の開発を目的として、既存ボーリング孔の岩芯からの炭酸塩鉱物試料の採取、SEM、ルミノスコープ等を用いた炭酸塩鉱物の微視的観察、質量分析計等を用いた炭酸塩鉱物の定量分析および同位体分析などを行う。

③地質環境調査の体系化、知識化に関する調査研究

地質環境調査手法および評価手法を安全評価・設計に必要な情報を取得するために体系化するとともに、機構内外に提供可能な情報として知識の整理を行う。具体的には、主として第 1 段階に実施した地質環境の調査・解析に係るタスクの流れやタスクを実施するうえでのノウハウや判断根拠などを文書化する。

④地質環境調査・物質移行評価に関する研究(TM1)

地質環境調査から物質移行の解析・評価に関する一連の評価手法の体系化を進めるため、分野の枠を超えた情報共有、検討、協議を継続的に実施する。

⑤データベースの構築

東濃地科学センターにおける「深地層の科学的研究」の成果情報を管理運用するためのシステム(成果情報管理システム)について、2008 年度に機能を拡張したシステムによる本格運用を開始するとともに、それを通じて抽出されたシステムの問題点の改善や機能拡張を実施する。さらに、調査研究の進展に伴い蓄積されるデータや解釈・解析結果、知見・ノウハウなどを管理・共有するためのデータベースおよび研究坑道の掘削工事における工事工程や関連文書などを管理するためのデータベースについて、運用を継続するとともに、運用を通じて適宜改良を実施する。

5. 共同研究・施設供用等の 2009 年度計画

2009 年度は、以下の外部研究機関等との共同研究や研究所研究坑道の施設供用、原子力機構内の量子ビーム応用研究部門との連携融合研究を行う。

(1) 共同研究計画

① 国立大学法人 京都大学：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

従来実施してきた決定論的手法に基づく地質構造モデルの構築に対して、未調査地域への既知の地質構造の正確な外挿や未発見の断層を予測する技術の開発を目的に、研究所内で確認される実際の地質構造を事例として、物理モデル実験および数値シミュレーションによる地質構造発達プロセスの復元を行い、断層分布の予測や不確実性を評価する技術の開発を行う。

2008 年度は、研究所用地内および周辺の地質調査・物理探査データに基づき、砂箱を使った物理モデル実験¹⁴⁾・数値シミュレーションのデータセットを抽出・整備とともに、物理モデル実験・数値シミュレーションを行い、地質構造発達過程の再現を試みた。

2009 年度は、2008 年度に引き続き、研究所用地内および周辺の地質調査・物理探査データに基づく物理モデル実験・数値シミュレーションのデータセットの抽出・整備(地表断層露頭の調査含む)および、物理モデル実験・数値シミュレーションを行い、地質構造発達過程の再現を試みる。さらに、これらの結果を用いて、既往の地質構造モデルや水理地質構造モデルなどの地質環境モデルにおいて表現されてきた地質構造分布を再評価する。

② 独立行政法人 産業技術総合研究所：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

地下深部の坑道周辺に発生する掘削影響領域の評価のための簡便かつ安価な調査手法の開発を目的として、ボーリング孔掘削のみで得られる情報のうち、採取した岩芯と掘削時に発生する振動を最大限活用する手法を開発するため、ボーリングコアを用いた三次元応力測定(AE/DRA 法)と掘削振動による弾性波速度測定の適用性の確認を研究坑道周辺岩盤を対象として行う。

2008 年度はボーリング孔掘削中(図 3.1-1;08MI15 号孔, 08MI16 号孔)に掘削振動データを取得した。

2009 年度は、2008 年度に取得した掘削振動データを解析するとともに、当該ボーリング掘削で得られた岩芯に適用した AE/DRA 法の結果をとりまとめ、これらの結果に基づいて掘削影響領域の評価手法としての適用性を検討する。

③ 国立大学法人 東北大学：傾斜計を用いたモニタリング技術の開発

地下水流动に影響を及ぼす可能性のある水理地質構造の推定を目的として、地表傾斜データ観測および観測データを用いた地下深部の体積変化量の推定手法の開発・改良を行う。

2008 年度は、研究坑道掘削や研究坑道内でのボーリング調査に伴う地下水流动状況の変化を推定しながら本手法の適用性を確認するとともに、岩盤の力学的不均質性や地表面の形状を考慮した解析コードの開発を行った。

2009 年度は、これまでに開発した解析コードを用いて、本手法の原位置への適用性の確認を行う。

④ 財団法人 電力中央研究所：瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価に関する研究

地下水の滞留時間の推定手法の構築を目的として、正馬様用地内や研究所周辺のボーリング孔を利

用して、地下水の採取および天然の地下水中に存在する放射性元素(³H, ¹⁴C, ³⁶Cl)や希ガス濃度の測定を行い、地下水流動解析結果との比較検討を行う。

2008年度は、広域地下水流動研究におけるボーリング孔(DH-12号孔)、研究所用地内のボーリング孔(MSB-4号孔)において、上記の放射性元素などの測定を行い、滞留時間を推定した。

2009年度は、2008年度までの成果を基に、現場調査の実施を検討する。また岩盤中の物質移動特性を把握するための手法の構築を目的として、研究所での適用試験の実施を目的とした技術情報交換を実施し、装置・試験方法の検討を行う。

⑤独立行政法人 産業技術総合研究所: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

地下深部における地球化学環境の形成に対する微生物の影響を把握するための調査技術開発を目的として、地表および研究坑道からのボーリング孔掘削により得られたコアおよび地下水を用いて、過去から現在にわたる深部地質環境特性に微生物が与える影響を解析・評価する手法の開発を行う。また、コロイド・有機物についても、研究坑道を用いた原位置試験の手法について検討する。

2008年度は、主に地上から掘削したボーリング孔(MSB-2号孔, MSB-4号孔およびMIZ-1号孔)を対象とした採水調査を行い、微生物学的な観点からの品質管理を含めた試料採取方法、試料処理方法の検討を行った。また、微生物の代謝活性試験等から推定される地球化学環境と従来の調査結果との比較を行い、それらの整合性を確認した。

2009年度は、原位置での調査手法開発に主眼を置き、主に研究坑道内の200mおよび300m予備ステージでの調査を実施する。また、研究坑道掘削の影響が少ない領域との比較のため、研究所用地周辺での地下水採水調査を実施する。

⑥国立大学法人 名古屋大学:地下深部岩盤のひずみ変化のメカニズムに関する研究

研究所の立坑坑底から掘削したパイロットボーリング孔に設置した高精度ひずみ計で取得されるデータを用いて、原子力機構ではひずみ計測の前方探査技術としての有効性を、名古屋大学では、地震予知に関する検討を目的に実施する。

2008年度は、研究所研究坑道掘削工事において設置した高精度ひずみ計を用いて取得される岩盤歪のデータについて、立坑掘削や地震に伴う地下水の異常変動等のイベントとの相関を検討することにより、ひずみ計測の有効性を評価するとともに、深部岩盤におけるひずみ変化のメカニズム解明のための検討を実施した。

2009年度は2008年度に引き続き、高精度ひずみ計で取得される岩盤ひずみのデータに基づいて、ひずみ計測の有効性の評価やひずみ変化のメカニズム解明のための検討を実施する。

⑦韓国原子力研究所(KAERI):地質環境調査・地質環境モデルの構築に関する技術的支援

花崗岩中の地下水流動および水質形成メカニズムを把握するための原位置調査手法・モデル化技術の高度化を目的として、両機関の地下研究施設計画や成果に関する技術検討を行うとともに、原子力機構からの研究者の派遣やKAERI研究者の技術研修の受け入れを実施する。

2008年度は、主に地質環境調査(地質学的調査、水理学的調査、地下水の地球化学的調査)および地質環境のモデル化技術についての技術検討会議を1回(於:瑞浪)開催し、技術研修を3回(於:韓国2回、瑞浪1回)実施した。

2009年度は、主に地質環境調査(水理学的調査、地下水の地球化学的調査)および地質環境のモデル化技術について、第6回技術検討会議を開催するとともに2回程度の技術研修を実施する。

⑧スイス放射性廃棄物管理協同組合(Nagra) : 超深地層研究所計画の技術的支援

本共同研究においては、Nagra がグリムゼル試験場などで蓄積してきたサイト特性調査ならびに地下研の計画、建設および管理運営に関する経験などに基づいて、研究計画への助言および研究成果のレビュー等の技術的支援を実施する。

2008 年度は、2007 年度に原子力機構が取りまとめた第 1 段階報告書の技術レビューを実施するとともに、同報告書の英語版を作成した。また、地質環境のモデル化・解析研究に関するワークショップを開催した。

2009 年度は、研究の進捗を考慮して、引き続き技術検討会議を通じて第 2/3 段階の調査研究計画への技術的助言および研究成果のレビューを実施する。また、特定分野を対象とした技術ワークショップを開催し、最新の研究成果の報告・技術情報交換を行い、研究者間の交流やネットワーク作りを図る。

(2) 施設供用計画

①財団法人 地震予知総合研究振興会 東濃地震科学研究所

地震予知総合研究振興会東濃地震科学研究所(以下、東濃地震科学研究所)とは、研究協力会議に関する確認書に基づき、研究協力会議を設置し、情報交換などを行っている。地震発生機構の解明や地域防災に関する研究を進めている東濃地震科学研究所と、超深地層研究所計画などの地層科学研究を行っている東濃地科学センターが緊密な相互協力を進めることにより、両機関の研究開発や地域の地震防災対策への寄与が期待されている。

2008 年度は、東濃地震科学研究所が計画している立坑掘削に伴う地球物理学的変動観測研究および地震動観測のため、研究所研究坑道を施設供与し、東濃地震科学研究所の調査研究に協力した。具体的には、2008 年度までに、100m 予備ステージ中央部付近に傾斜計および地震計を、換気立坑深度 200m ボーリング横坑道内に高精度ひずみ計、傾斜計および地震計を設置した。

2009 年度は、設置した傾斜計および地震計の連続観測を実施する計画であり、この観測のための協力を継続する。

②国立大学法人 東京大学: 地下大規模空間における岩盤挙動モニタリングのための超高精度多点型光ファイバグレーティング歪センサーの開発

東京大学は、上記の研究テーマで独立行政法人科学技術振興機構による戦略的国際科学技術協力推進事業に応募し、2008 年 12 月に正式に採用が決定した。本研究で開発される非常に高精度の光ファイバー変位計測システムは、結晶質岩の微小な長期変形挙動を定量的に測定する技術として深地層の科学的研究への寄与が期待されている。

2009 年度は、研究所を利用して数年後に計画している本システムによる原位置計測に必要となる地質環境情報の提供および情報交換を実施する。

(3) 量子ビーム応用研究部門との部門間協力研究計画

研究所では、立坑からの湧水中に溶存するフッ素、ホウ素の除去について、放流先河川における濃度を環境基準値以下にするため、薬剤による凝集沈殿およびイオン交換処理を行っている。

一方、量子ビーム応用研究部門 環境・産業応用研究開発ユニット 金属捕集・生分解性高分子研究グループ(高崎量子応用研究所駐在)では、ポリエチレンなどの布材料に放射線を照射し、薬剤によって特定の物質を除去するための吸着機能を付与する方法(放射線グラフト重合法)による捕集材の開発を進めており、これまでに温泉水中に溶存する金属やイオンを効率的に除去する捕集材の開発を行って

いる。これらの状況から、量子ビーム応用研究部門と東濃地科学研究ユニットでは、両者による部門間協力研究として、フッ素、ホウ素を除去する捕集材の研究開発や研究所の湧水処理に関する研究を2006年度から開始した。

これまでの現場試験結果より、ホウ素については捕集材によって湧水中濃度の95%を除去することが可能であったが、フッ素については湧水中の濃度が高いため、現行のフッ素除去用捕集材では吸着容量が足らず、処理効率の向上のためにはさらに検討が必要であることが明らかになった。そのため、2008年度は、瑞浪超深地層研究所において、ホウ素除去の通水試験を行い、除去効率の向上の検討を行った。

2009年度は、金属捕集・生分解性高分子研究グループにおいて研究所の湧水を用いた捕集材の通水試験を行ない、吸着性能や材料の耐久性を把握して補集材の再生利用性能を評価する。また、試験・評価結果を受けて、研究所の湧水を用いた現場通水試験も実施する。

6. おわりに

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、結晶質岩を対象とした深地層の科学的研究の一環として、超深地層研究所計画において2009年度に実施する調査研究等の内容を年度計画書としてまとめた。

本計画は、超深地層研究所地層科学基本計画^⑥およびこれまでの調査研究で得られた成果・課題等を踏まえて記述したものであり、この計画に沿った研究の実施は、地層処分技術に関する研究開発の着実な進展に資するものであると考える。

参考文献

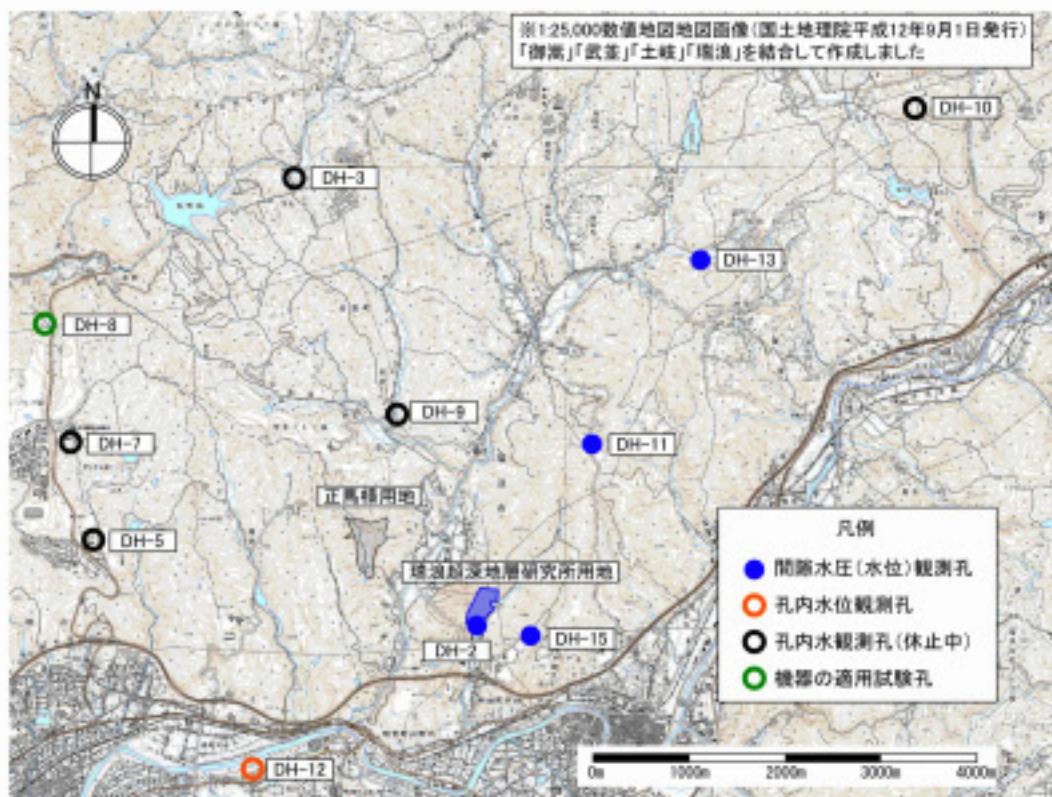
- 1) 原子力委員会：“原子力政策大綱”(2005).
- 2) 原子力委員会：“原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画”(1994).
- 3) 動力炉・核燃料開発事業団：“超深地層研究所地層科学基本計画”, PNC TN7070 96-002 (1996).
- 4) 原子力委員会：“原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画”(2000).
- 5) 核燃料サイクル開発機構：“超深地層研究所地層科学基本計画”, JNC TN7410 2001-009 (2001).
- 6) 核燃料サイクル開発機構：“超深地層研究所地層科学基本計画”, JNC TN7410 2001-018 (2002).
- 7) 動力炉・核燃料開発事業団：“広域地下水流动研究基本計画書”, PNC TN7020 98-001(1997).
- 8) 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年取りまとめ一分冊1深地層の科学的研究－”, JNC TN1400 2005-014(2005).
- 9) Nagra：“Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen I and II”, Nagra Technical Report NTB96-01(1997).
- 10) 太田久仁雄, 佐藤稔紀, 竹内真司, 岩月輝希, 天野健治, 三枝博光, 松岡稔幸, 尾上博則：“東濃地域における地上からの地質環境の調査・評価技術”, JNC TN7400 2005-023(2005).
- 11) 糸魚川淳二：“瑞浪地域の地質”, 瑞浪市化石博物館専報, No1, pp.1-50(1980).
- 12) 通商産業省(2000)：“特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針を定めた件”, 平成12年10月2日, 通商産業省告示第591号.
- 13) 通商産業省(2000)：“特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画を定めた件”, 平成12年10月2

- 日, 通商産業省告示第 592 号.
- 14) 鈴木宇耕, 佐藤大地, Rasoul Sorkhabi: “トラップ構造形態把握モデルの概念:物理・数値モデルについて”, 石油開発技術センタ一年報 平成 10 年度, pp.150–162 (1998).

付録 1 広域地下水流动研究 2009 年度計画

本研究は、広域における地表から地下深部までの地質・地質構造、岩盤の水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して 1992 年度から進めてきており、2004 年度をもって主な現場調査を終了した¹⁾。2005 年度以降は、土岐花崗岩における水理学的・地球化学的な基礎情報の取得および地下水流动解析結果の妥当性確認のためのデータ取得を目的として、既存の観測設備を用いた表層水理観測（河川流量観測、降水量観測）および既存のボーリング孔を用いた地下水長期モニタリングを継続している。また、外部研究機関との研究協力等に係わる調査／観測技術の開発の場として、既存ボーリング孔を活用することとしている。

2009 年度については、上述した表層水理観測および地下水長期モニタリングを継続する。具体的には、既存のボーリング孔（DH-2 号孔、DH-11 号孔、DH-13 号孔、DH-15 号孔）において地下水長期モニタリングを行う（付図 1）。また、表層水理観測として、日吉川流域での河川流量観測、柄石川流域での河川流量および降水量の観測を継続して実施する。また、DH-8 号孔において光ファイバー水圧計を備えた間隙水圧長期観測システムの適用試験を実施する。



付図 1 ボーリング孔配置図

参考文献

- 1) 岩月輝希、太田久仁雄、竹内真司、天野健治、竹内竜史、三枝博光、松岡稔幸、大澤英昭：“広域地下水流动研究 年度報告書(平成 16 年度)”, JNC-TN7400 2005-013 (2005).

This is a blank page.

国際単位系 (SI)

基本量	SI 基本単位	
	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光度	カンデラ	cd

組立量	SI 基本単位	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立方メートル	m^3
速度	メートル毎秒	m/s
加速度	メートル毎秒毎秒	m/s^2
波数	毎メートル	m^{-1}
密度、質量密度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
面積密度	キログラム毎平方メートル	kg/m^2
比体積	立方メートル毎キログラム	m^3/kg
電流密度	アンペア毎平方メートル	A/m^2
磁界の強さ	アンペア毎メートル	A/m
量濃度 ^(a) 、濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
質量濃度	キログラム毎立方メートル	kg/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率 ^(b)	(数字の) 1	1
比透磁率 ^(b)	(数字の) 1	1

(a) 量濃度 (amount concentration) は臨床化学の分野では物質濃度 (substance concentration) ともよばれる。

(b) これらは無次元量あるいは次元 1 をもつ量であるが、そのことを表す単位記号である数字の 1 は通常は表記しない。

組立量	SI 組立単位			
	名称	記号	他のSI単位による表し方	SI基本単位による表し方
平たい角	ラジアン ^(b)	rad	1 ^(b)	m/m
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	1 ^(b)	m^2/m^2
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	1	s^{-1}
力	ニュートン	N		$kg\ m\ s^{-2}$
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1} kg\ s^{-2}$
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$N\ m$	$m^2\ kg\ s^{-2}$
仕事率、工率、放射束	ワット	W	J/s	$m^2\ kg\ s^{-3}$
電荷、電気量	クーロン	C		$s\ A$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	W/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
静電容量	ファラード	F	C/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2\ kg\ s^{-3}\ A^2$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2}\ kg^{-1}\ s^3\ A^2$
磁束密度	テスラ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^2$
光束度	ルーメン	lm	$cd\ sr^{(e)}$	cd
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^{-2}\ cd$
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	s^{-1}	
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
線量当量、周辺線量当量、方向性線量当量、個人線量当量	シーベルト ^(g)	Sv	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
酸素活性	カタール	kat		$s^{-1}\ mol$

(a) SI接頭語は固有の名称と記号を持つ組立単位と組み合わせても使用できる。しかし接頭語を付した単位はもはやコピーレントではない。

(b) ラジアンとステラジアンは数字の 1 に対する単位の特別な名称で、量についての情報をつたえるために使われる。実際には、使用する時には記号 rad および sr が用いられるが、慣習として組立単位としての記号である数字の 1 は明示されない。

(c) 調光学ではステラジアンという名称と記号 sr を単位の表し方の中に、そのまま維持している。

(d) ヘルツは周期現象についてのみ、ベクレルは放射性核種の統計的過程についてのみ使用される。

(e) セルシウス度はケルビンの特別な名称で、セルシウス温度を表すため使用される。セルシウス度とケルビンの単位の大きさは同一である。したがって、温度差や温度間隔を表す数値はどちらの単位で表しても同じである。

(f) 放射性核種の放射能 (activity referred to a radionuclide) は、しばしば誤った用語で "radioactivity" と記される。

(g) 単位シーベルト (PV,2002,70,205) については CIPM勧告 2 (CI-2002) を参照。

組立量	SI 組立単位		
	名称	記号	SI 基本単位による表し方
粘度	パスカル秒	Pa s	$m^{-1} kg\ s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N m	$m^2\ kg\ s^{-2}$
表面張力	ニュートンメートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	$m\ s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット毎平方メートル	W/m ²	$kg\ s^{-3}$
熱容量、エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}$
比熱容量、比エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^2\ s^{-2}\ K^{-1}$
比エネルギー	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2\ s^{-2}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m K)	$m\ kg\ s^{-3}\ K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m ³	$m^{-1}\ kg\ s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
電荷密度	クーロン毎立方メートル	C/m ³	$m^3\ sA$
表面電荷密度	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^2\ sA$
電束密度、電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	$m^2\ sA$
誘電率	ファラード毎メートル	F/m	$m^3\ kg^{-1}\ s^4\ A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m\ kg\ s^{-2}\ A^2$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2\ kg\ s^{-2}\ mol^{-1}$
モルエントロピー、モル熱容量	ジュール毎モル毎ケルビン	J/(mol K)	$m^2\ kg\ s^{-2}\ K^{-1}\ mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1}\ sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2\ s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4\ m^2\ kg\ s^{-3}=m^2\ kg\ s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	W/(m ² sr)	$m^2\ m^2\ kg\ s^{-3}=kg\ s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール毎立方メートル	kat/m ³	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

乗数	接頭語	記号	乗数	接頭語	記号
10^{24}	ヨタ	Y	10^{-1}	デシ	d
10^{21}	ゼタ	Z	10^{-2}	センチ	c
10^{18}	エクサ	E	10^{-3}	ミリ	m
10^{15}	ペタ	P	10^{-6}	マイクロ	μ
10^{12}	テラ	T	10^{-9}	ナノ	n
10^9	ギガ	G	10^{-12}	ピコ	p
10^6	メガ	M	10^{-15}	フェムト	f
10^3	キロ	k	10^{-18}	アト	a
10^2	ヘクト	h	10^{-21}	ゼット	z
10^1	デカ	da	10^{-24}	ヨクト	y

名称	記号	SI 単位による値
分	min	1 min=60s
時	h	1h=60 min=3600 s
日	d	1 d=24 h=86 400 s
度	°	1°=(π/180) rad
分	'	1'=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	"	1"=(1/60)'=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	1ha=1hm ² =10 ⁴ m ²
リットル	L	1L=1dm ³ =10 ³ cm ³ =10 ⁻³ m ³
トン	t	1t=10 ³ kg

名称	記号	SI 単位で表される数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times 10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times 10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	$1u=1 Da$
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times 10^{11}m$

名称	記号	SI 単位で表される数値
バル	bar	$1 bar=0.1 MPa=100 kPa=10^5 Pa$
水銀柱ミリメートル	mmHg	$1 mmHg=133.322 Pa$
オングストローム	Å	$1 Å=0.1 nm=100 pm=10^{-10} m$
海里	M	$1 M=1852 m$
バイン	b	$1 b=100 fm^2=(10^{-12} cm)^2=2\times 10^{-28} m^2$
ノット	kn	$1 kn=(1852/3600)m/s$
ネバ	Np	SI 単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。
ベル	B	
デジベル	dB	

名称	記号	SI 単位で表される数値
キュリ	Ci	$1 Ci=3.7\times 10^{10} Bq$
レントゲン	R	$1 R=2.58\times 10^4 C/kg$
ラド	rad	$1 rad=1cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
ガンマ	γ	$1 γ=1 nT=10^{-9} T$
フェルミ	fm	$1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 メートル系カラット = 200 mg = 2\times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr = (101.325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm = 101.325 Pa$
カリ	cal	$1 cal=4.1868 J ((15^\circ C) カロリー), 4.1868 J ((IT) カロリー) 4.184 J ((熱化学) カロリー)$
ミクロ	μ	$1 μ=1 μm=10^{-6} m$

