

超深地層研究所計画 年度計画書（2008 年度）

Mizunami Underground Research Laboratory Project Plan for Fiscal Year 2008

西尾 和久 大山 卓也 見掛 信一郎 水野 崇
三枝 博光 竹内 竜史 天野 健治 鶴田 忠彦
濱 克宏 瀬野 康弘* 平野 享 弥富 洋介
島田 顕臣 松井 裕哉 尾方 伸久 仙波 育
池田 幸喜 山本 勝 内田 雅大 杉原 弘造

Kazuhisa NISHIO, Takuya OHYAMA, Shinichiro MIKAKE, Takashi MIZUNO
Hiromitsu SAEGUSA, Ryuji TAKEUCHI, Kenji AMANO, Tadahiko TSURUTA
Katsuhiro HAMA, Yasuhiro SENO*, Toru HIRANO, Yosuke IYATOMI
Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI, Nobuhisa OGATA, Takeshi SENBA
Koki IKEDA, Masaru YAMAMOTO, Masahiro UCHIDA and Kozo SUGIHARA

地層処分研究開発部門
結晶質岩工学技術開発グループ

Crystalline Environment Engineering Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

本レポートは独立行政法人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 +81-29-282-5920, E-mail:ird-support@jaea.go.jp

超深地層研究所計画 年度計画書(2008 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

西尾 和久※, 大山 卓也, 見掛 信一郎⁺¹, 水野 崇, 三枝 博光, 竹内 竜史,
天野 健治, 鶴田 忠彦, 濱 克宏, 濑野 康弘^{*1}, 平野 享*, 弥富 洋介, 島田 顕臣, 松井 裕哉,
尾方 伸久, 仙波 育⁺², 池田 幸喜⁺¹, 山本 勝⁺¹, 内田 雅大, 杉原 弘造

(2008 年 12 月 3 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(地層科学的研究)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「超深地層研究所基本計画」に基づき、2008年度の超深地層研究所計画の1)調査研究計画、2)施設建設設計画、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

+2; 研究開発統括ユニット 知識化グループ

*1; 東急建設株式会社

※ 技術開発協力員

Mizunami Underground Research Laboratory Project

Plan for Fiscal Year 2008

Kazuhisa NISHIO[※], Takuya OHYAMA, Shinichiro MIKAKE⁺¹, Takashi MIZUNO, Hiromitsu SAEGUSA,
Ryuji TAKEUCHI, Kenji AMANO, Tadahiko TSURUTA, Katsuhiro HAMA, Yasuhiro SENO^{*1},
Toru HIRANO[※], Yosuke IYATOMI, Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI, Nobuhisa OGATA,
Takeshi SENBA⁺², Koki IKEDA⁺¹, Masaru YAMAMOTO⁺¹, 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 December 3, 2008)

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 2008 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 2008, MIU Master Plan, Geological Disposal of HLW

⁺¹ ; Geoscience Facility Construction Section, Tono Geoscience Center

⁺² ; Knowledge Management Group, Research and Development Integration Unit

*1 ; Tokyu Construction Corporation

※; 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 瑞浪超深地層研究所の設置場所	8
2.4 瑞浪超深地層研究所の施設概要	9
3.2008年度の調査研究および施設建設設計画	10
3.1 瑞浪超深地層研究所用地における調査研究	10
3.1.1 地質・地質構造に関する調査研究	10
3.1.2 岩盤力学に関する調査研究	12
3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究	13
3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究	14
3.1.5 深地層の工学技術の基礎の開発	16
3.2 正馬様用地における調査研究	20
3.3 研究所用地における施設建設設計画	21
4.2008年度の調査研究・建設工事スケジュール	22
5.共同研究・施設供用等の2008年度計画	23
6.おわりに	26
参考文献	26
付録1 広域地下水流动研究 2008年度計画	27
付録2 分野間の連携研究	28

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	Project site	8
2.4	Overview of the MIU facilities	9
3.	Investigations and construction plan in FY2008	10
3.1	Investigation plan at the MIU Construction Site	10
3.1.1	Geological investigations	10
3.1.2	Rock mechanical investigations	12
3.1.3	Hydrogeological investigations	13
3.1.4	Hydrochemical investigations	14
3.1.5	Development of engineering technology for deep underground	16
3.2	Investigation plan at the Shobasama Site	20
3.3	Construction plan at the MIU Construction Site	21
4.	Schedule of the investigations and construction plan in FY2008.....	22
5.	Research collaboration with related research organizations.....	23
6.	Conclusions	26
	References	26
	Appendix1 Plan of the Regional Hydrogeological Study Project in FY2008	27
	Appendix2 Collaborated study between geoscientific research, disposal technology and safty assessment	28

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(原子力委員会、2005)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)」(原子力委員会、1994)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)」(動力炉・核燃料開発事業団(以下、動燃事業団)、1996)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(原子力委員会、2000)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(サイクル機構、2001)⁵⁾。また、2002年1月に、瑞浪市と瑞浪市明世町の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、基本計画を改訂した(サイクル機構、2002)⁶⁾。なお、基本計画の改訂は、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(サイクル機構、2002)⁶⁾に基づき、超深地層研究所計画の2008年度の調査・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一つとして、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(動燃事業団、1997)⁷⁾。この研究は、1992年度より土岐花崗岩体を包含する10km四方の領域を対象に、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進めてきたが、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、超深地層研究所計画における研究坑道の建設に伴う周辺の岩盤や地下水への影響をモニタリングするために、広域地下水流动研究で掘削されたボーリング孔において長期観測を実施している。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2008年度の計画を示す。また、地層処分研究開発部門地層処分基盤研究開発ユニット、研究開発統括ユニット、幌延深地層研究ユニットなどの分野間で連携研究を行う項目について、巻末の付録2にまとめた。

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(動燃事業団,1996)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。

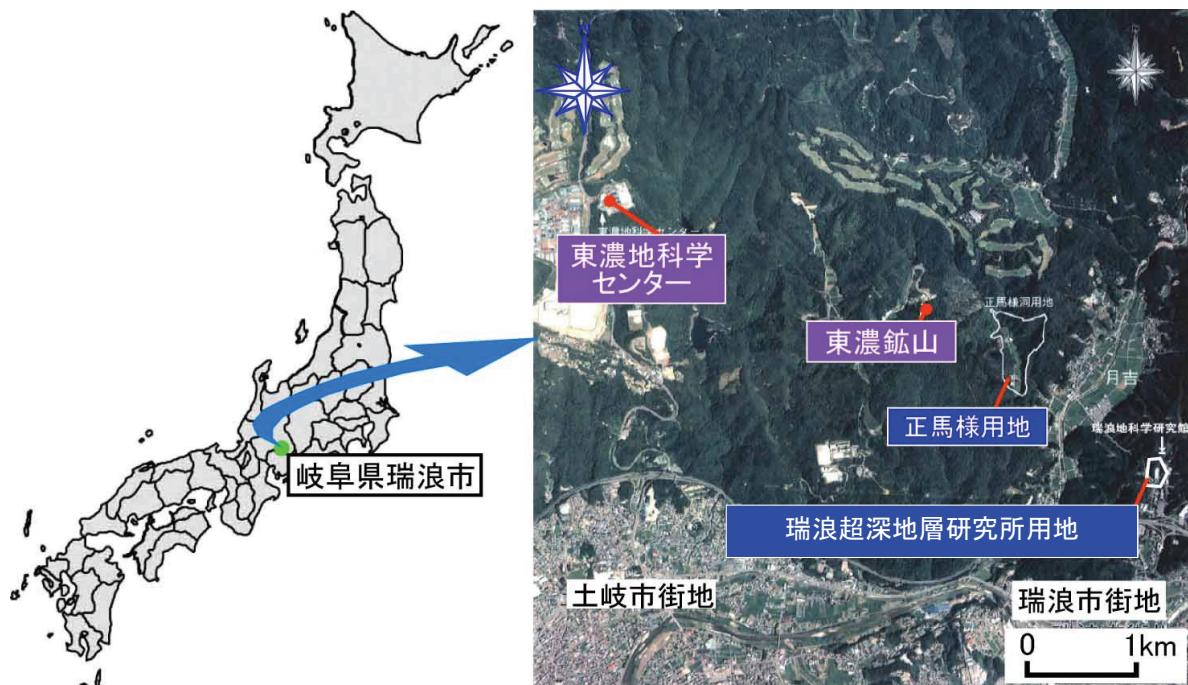


図 2-1 超深地層研究所の設置場所

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(サイクル機構, 2002)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の成立性や安全性を評価する上で重要と考えられる地質環境特性を、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 2.2-1 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(サイクル機構, 2005)⁸⁾。

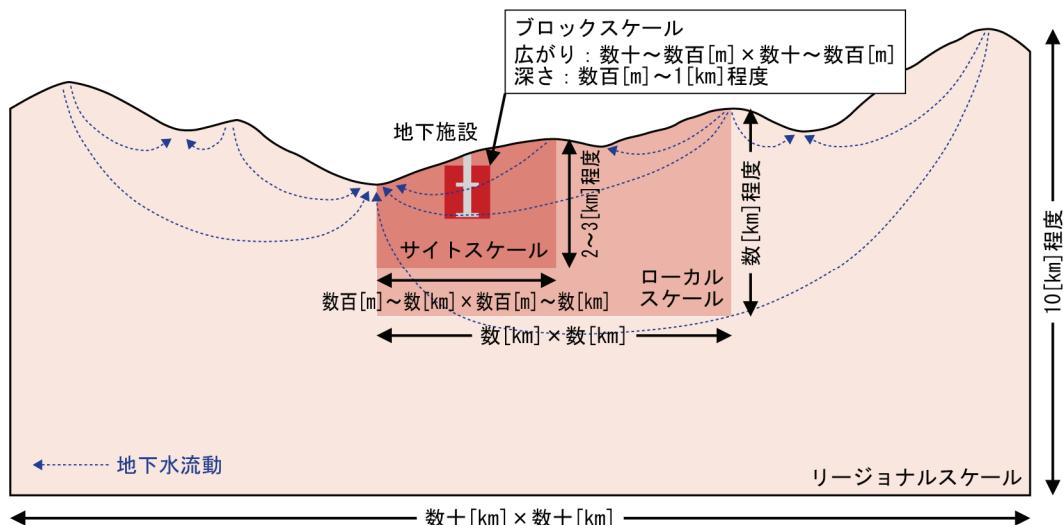
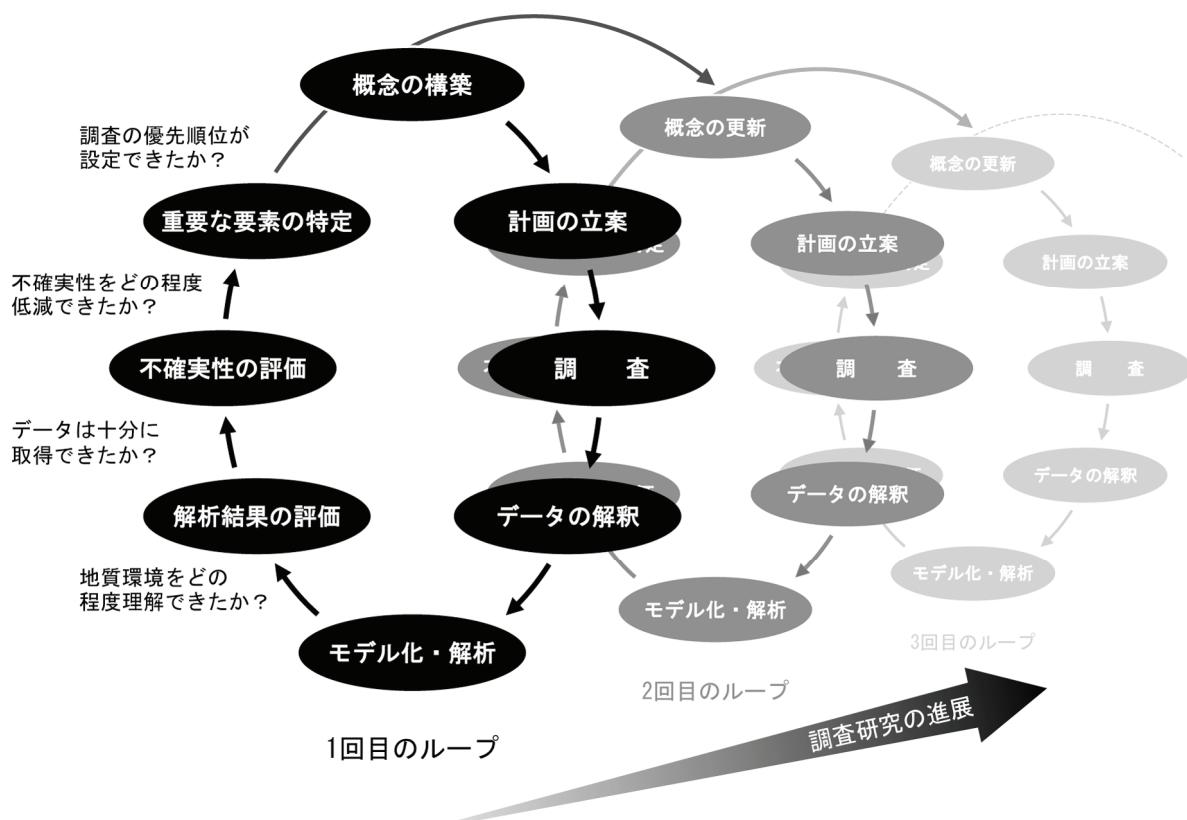
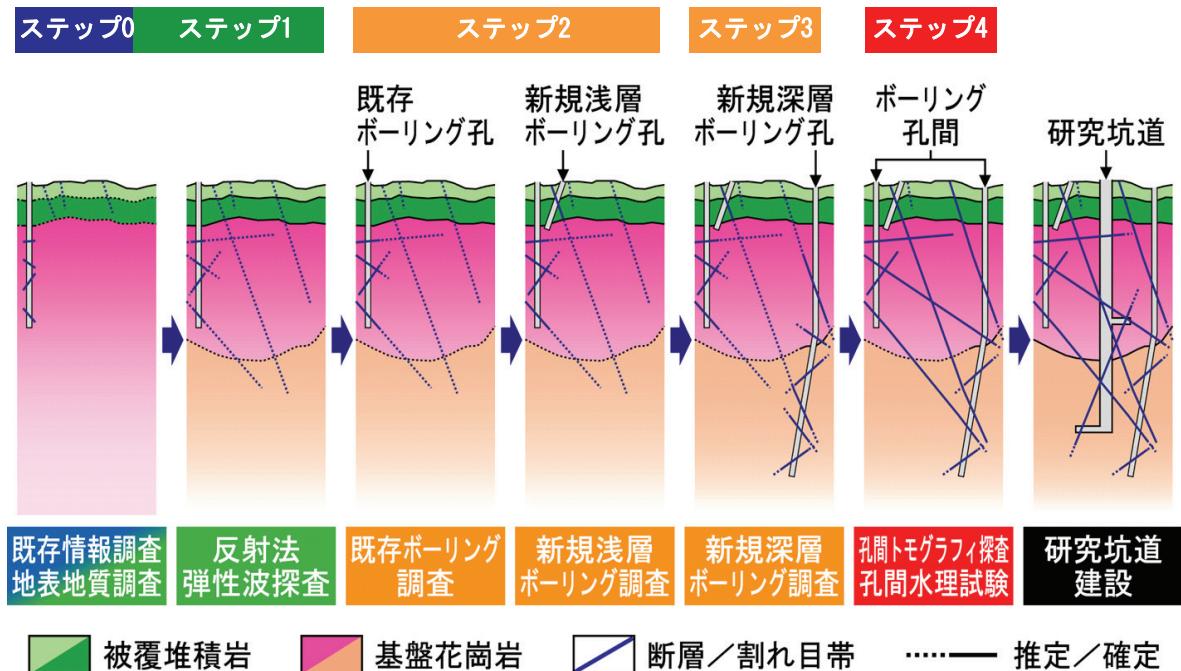


図 2.2-1 空間スケールの概念⁸⁾

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 2.2-2 に示す繰り返しアプローチを採用している（サイクル機構、2005）⁸⁾。図 2.2-3 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 2.2-2 調査研究の繰り返しアプローチ⁸⁾図 2.2-3 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（Wellenberg Project;Nagra,1997）⁹⁾を参考にして、サイトスケールにおけ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（太田ほか, 2005:図 2.2-4）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。

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、地上からの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。

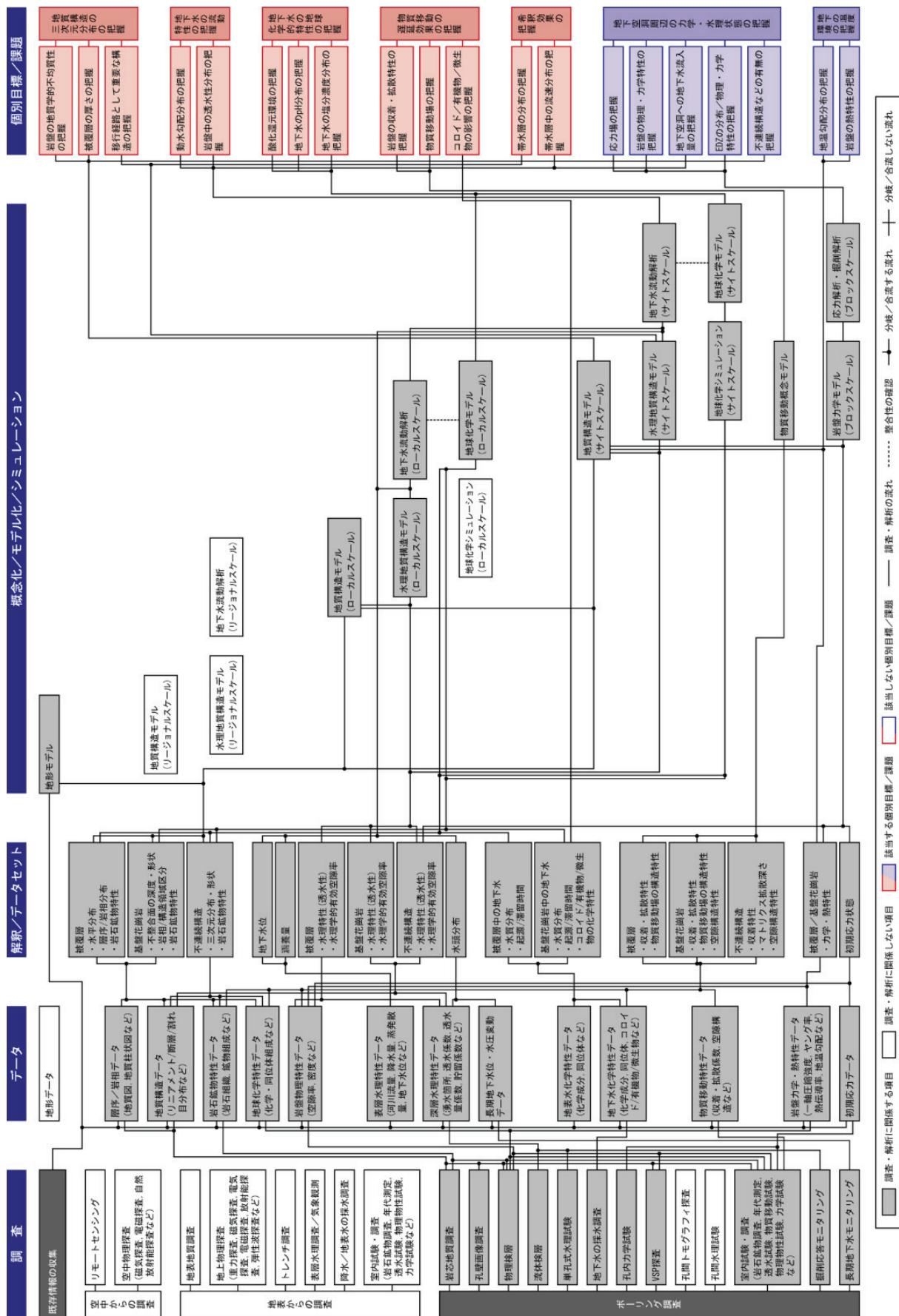


図 2.2-4 研究目標／反映先と系統的なデータの流れを記述・整理したフローの例¹⁰⁾

2.3 瑞浪超深地層研究所の設置場所

超深地層研究所の研究坑道および関連施設の建設は、岐阜県瑞浪市明世町に位置する東濃研究学園都市インターラーデン内にある市有地(面積約 7.8ha)内において進めている。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⁾。

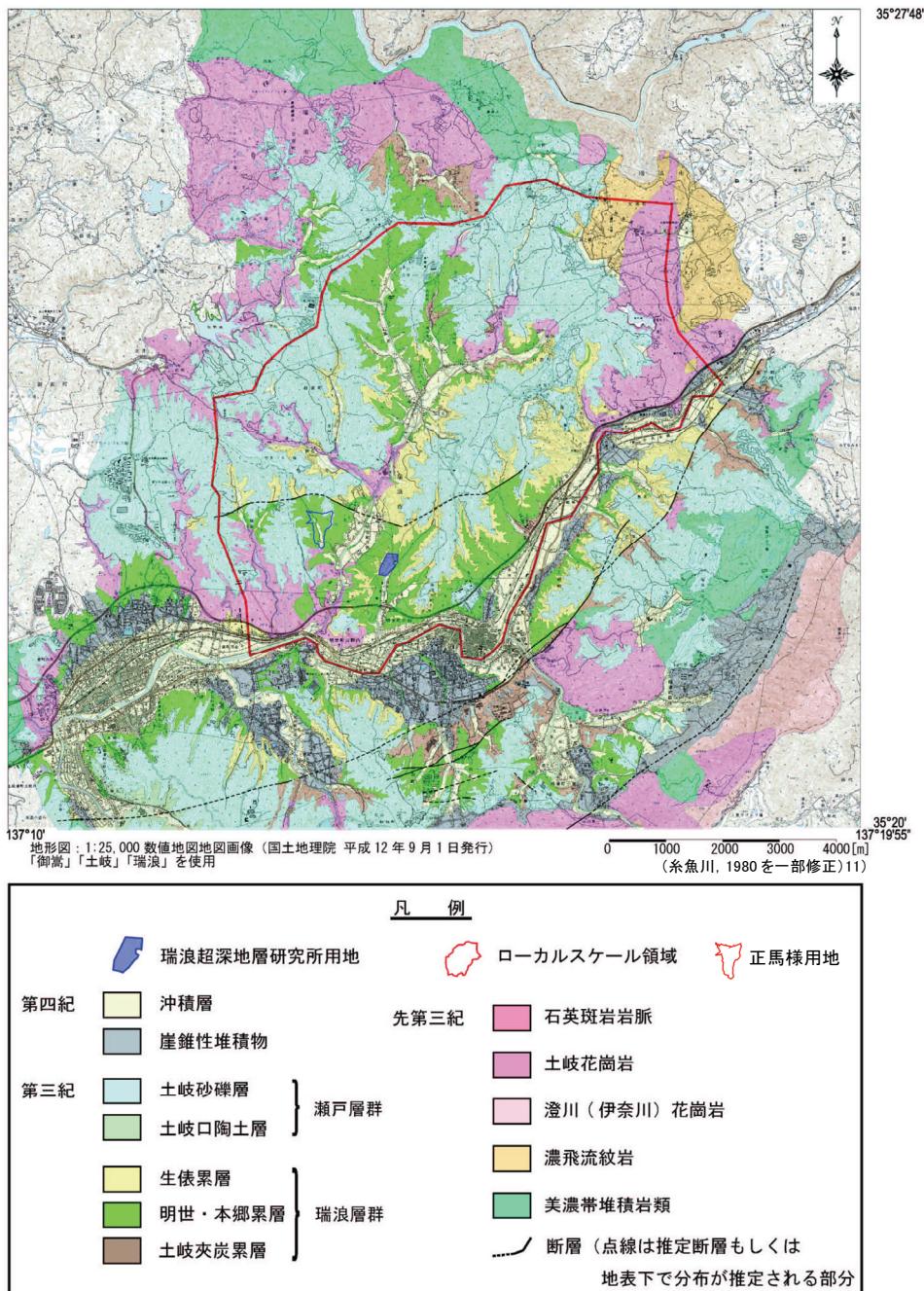


図 2.3-1 瑞浪超深地層研究所周辺の地質概要

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)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。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。

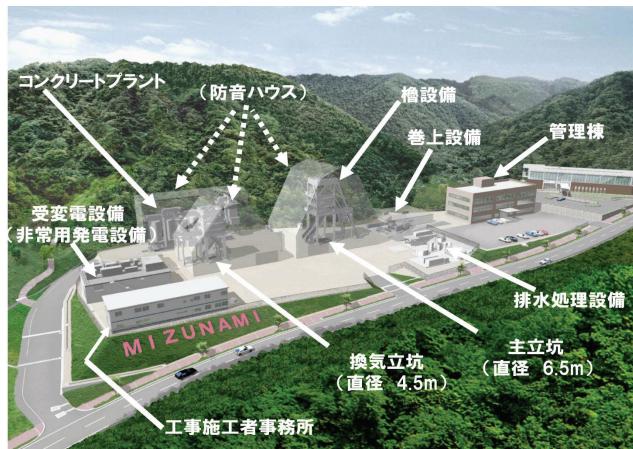


図 2.4-1 瑞浪超深地層研究所の地上施設

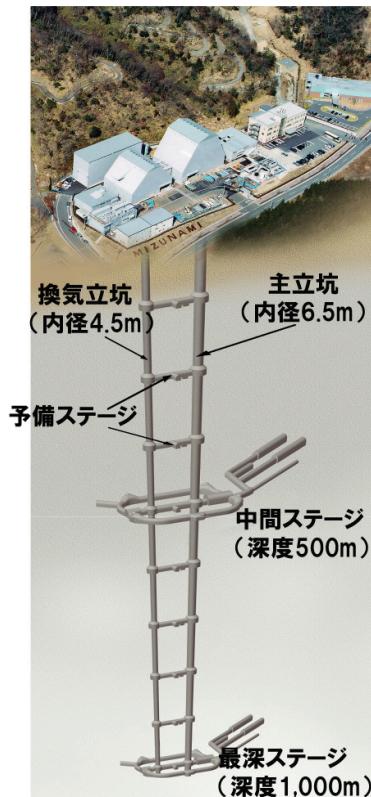


図 2.4-2 瑞浪超深地層研究所の研究坑道イメージ図

3. 2008 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

2007 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、深度約 500m までの地質環境を把握することを目的として、主立坑および換気立坑の坑底からパイロットボーリング調査を行った。また、深度 200m に設置されたボーリング横坑からボーリング孔を掘削した。掘削したボーリング孔を用いて調査研究(岩芯地質調査、ひずみ計測、水理試験、間隙水圧測定、地下水水質観測等)を実施し、その後モニタリングを開始した。

2008 年度においては、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。研究坑道レイアウトと研究坑道での主要な調査位置を図 3.1-1 に示す。

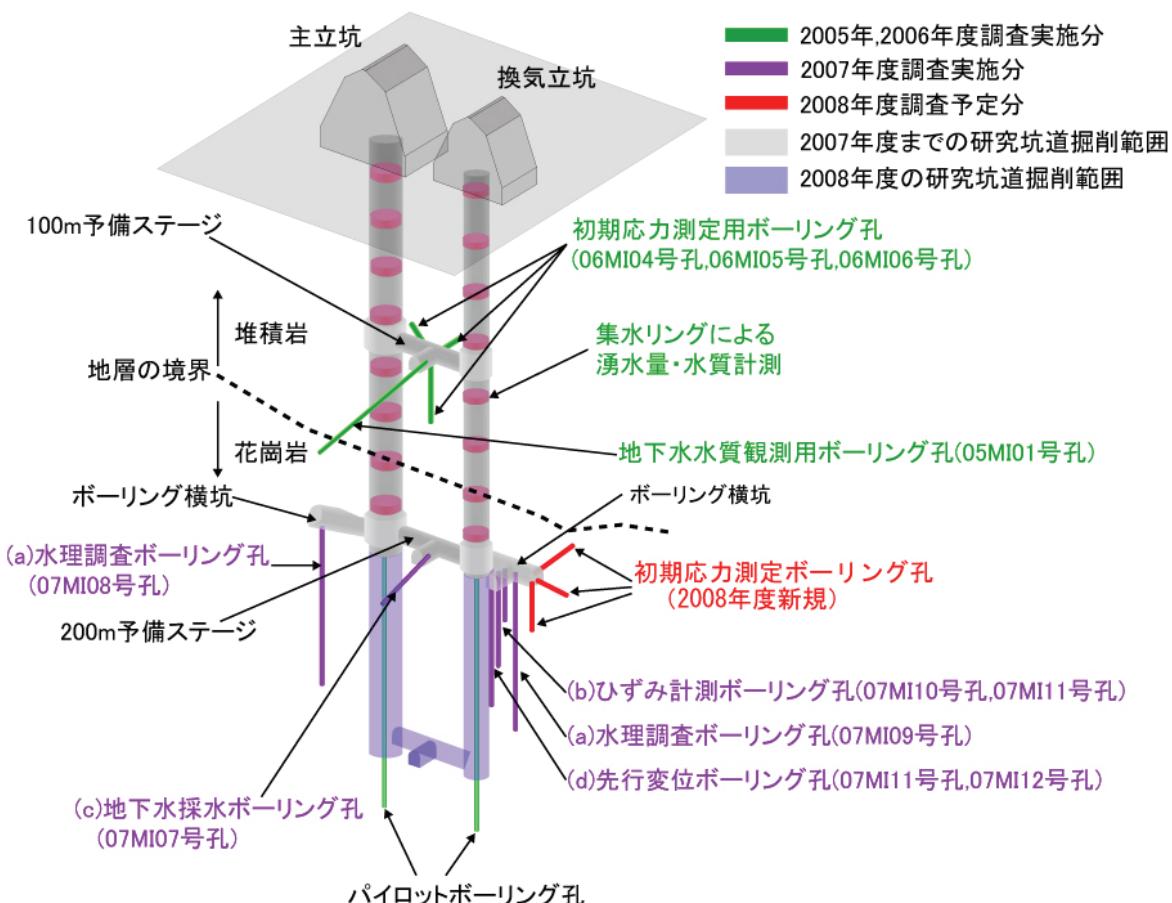


図 3.1-1 研究坑道レイアウト図

3.1.1 地質・地質構造に関する調査研究

2007 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、電気探査法(自然電位測定)を用いた地下水流动モニタリング、逆 VSP 探査を実施するとともに、深度 200m に設置されたボーリング横坑や予備ステージから掘削された水理調査ボーリング(図 3.1-1; 07MI08 号孔, 07MI09 号孔)、地下水採水ボーリング(図 3.1-1; 07MI07 号孔)等を利用した岩芯地質調査、物理検層、弾性波トモグラフィー等の調

査試験を実施した。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地質構造モデルの検討を開始した。さらに、第2段階以降の調査技術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。

2008年度は、2007年度に引き続き、研究坑道掘削に伴う壁面地質観察、電気探査法を用いた地下水流动モニタリング、逆VSP探査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、調査解析技術の高度化を継続する。

(1)調査試験

①物理探査(逆VSP探査、電気探査法を用いた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、研究坑道の掘削に伴う立坑内の工事振動を利用した物理探査(逆VSP探査)を継続して実施する。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た電気探査法を用いた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・更新と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、壁面物性計測として、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行う。

(2)モデル化・解析

①地質構造モデルの構築・更新

3.1.1(1)①、②で前述した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

弾性波探査における断層・割れ目帶抽出手法の高度化および電気探査法を用いた地下水流动モニタリングにおける透水性構造の抽出手法の高度化のために、地震波干渉法ならびにIP(イメージポイント)変換法などの解析手法の整備や電極の最適化試験を実施する。

②地質調査手法の高度化

岩芯地質調査における断層・割れ目帶抽出手法の高度化ならびに岩盤分類手法の高度化のために、詳細な鉱物・岩石学的特性試験や多変量解析を用いた解析手法の整備を行なう。また、壁面地質調査の高度化のための三次元レーザースキャナー計測および解析手法の整備を行う。

③地質構造モデル化手法の高度化

3.1.1(2)①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、ベイズ統計学や地球統計学、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

2007 年度は、換気立坑深度 200m に設けられたボーリング横坑から下向きにボーリング孔を掘削し(図 3.1-1; 07MI10 号孔, 07MI11 号孔, 07MI12 号孔), 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ことを目的としてひずみ計を設置し, 計測を開始した。また, 岩盤の長期挙動評価手法の確立を目的とした研究(クリープ試験および応力緩和試験)を実施した。

2008 年度は、調査試験として、2007 年度に設置したひずみ計による計測を継続し、プレグラウトや換気立坑の掘削が岩盤に及ぼす影響の程度を把握する。また、換気立坑深度 200m に設けられたボーリング横坑からボーリング孔を掘削し、ボーリング孔内での初期応力測定とボーリングコアを用いた室内物理・力学試験を実施する。モデル化・解析としては、深度 200m における岩盤力学調査結果に基づいて、第 1 段階で構築した岩盤力学モデルの見直しを行なう。また、調査技術開発として、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

①岩盤ひずみ計測

立坑深度 200m の換気立坑側のボーリング横坑より下向きに掘削した 2 本のボーリング孔(図 3.1-1; 07MI10 号孔, 07MI11 号孔)に設置したひずみ計を用いて、プレグラウトおよび立坑掘削時のひずみ変化の連続測定を実施する。得られるひずみデータを解析することによりプレグラウトおよび立坑掘削が岩盤に及ぼす影響の程度を把握する。

②岩盤力学ボーリング調査

200m 予備ステージ周辺での岩盤力学ボーリング調査として、換気立坑深度 200m に設けられたボーリング横坑から約 20m のボーリング孔を 3 本程度掘削する。

200m 予備ステージ周辺岩盤の初期応力状態を把握するため、掘削したボーリング孔において、応力解放法などによる初期応力測定を実施する。また、200m 予備ステージ周辺岩盤の物理・力学特性を把握するため、ボーリングにより採取したボーリングコアを用いて、室内物理試験(弾性波速度試験など)、および室内力学試験(一軸圧縮試験など)を実施する。

(2)モデル化・解析

深度 200m における岩盤力学ボーリング調査結果に基づいて、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を評価し、必要に応じて更新する。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整備を実施する。

(3)調査技術開発

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)の長期クリープ試験を継続するとともに、土岐花崗岩についてコンプライアンス可変型構成方程式のパラメータ取得実験を行う。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や、ガラスビーズ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て実施する。

3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究

2007 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、長期地下水モニタリングを継続した。また、深度 200m に設けられたボーリング横坑から立坑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鉛直ボーリング孔を掘削し(図 3.1-1;07MI08 号孔, 07MI09 号孔), 水理試験を実施するとともにモニタリング装置を設置した。

2008 年度は、深度 200m のボーリング横坑から掘削した水理調査ボーリング(図 3.1-1;07MI08 号孔, 07MI09 号孔)によるモニタリングを継続し、研究坑道の掘削が間隙水圧に及ぼす影響を把握するとともに、地下水長期モニタリングや表層水理観測なども継続して実施する。また、これらのモニタリングで得られる情報を用いて、更新した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妥当性を確認するとともに、モデルを適宜更新していく。

(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)毎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、湧水量データなどを利用して、サイトスケールの水理地質構造モデル、地下水流動解析結果の妥当性の確認およびサイトスケールの水理地質構造モデルの更新を行う。

②調査ボーリング孔を用いた間隙水圧測定(水理ボーリング調査)

研究坑道の掘削にともなう湧水量や地下水位・間隙水圧などを観測することにより、第1段階で構築した水理地質構造モデルや地下水流動解析結果の妥当性を確認するとともに、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、立坑壁面から数 m 離れた位置に鉛直ボーリングを掘削し、多段パッカーにより複数の観測区間を設けて立坑近傍の間隙水圧の測定を開始した。

具体的には、05ME06 号孔および深度 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を測定し、立坑掘削が地下水の間隙水圧に及ぼす影響を把握する。

③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(AN-1 号孔, AN-3 号孔, MIU-1 号孔, MIU-2 号孔, MIU-3 号孔および MIU-4 号孔; 正馬様用地(図 3.2-1), MSB-1 号孔および MSB-3 号孔; 研究所用地(図 3.1.4-1)), 表層水理観測(気象要素、河川流量、地下水位・土壤水分; 正馬様用地)および傾斜計(04ME02~05 号孔; 研究所用地)を用いた連続観測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、サイトスケールの水理地質構造モデルや地下水流動解析結果の妥当性の確認および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おり、連続的な水圧観測が困難な状況であることから、地下水長期モニタリングシステムの水圧測定方式をピエゾ水頭測定方式から直接水圧測定方式へと変更するための作業(既存システムの引抜きおよび、新規システムの設置)を行う。

(2)モデル化・解析

深度 200m のボーリング横坑における水理ボーリングで実施した調査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理ボーリング調査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

深度 200m のボーリング横坑に掘削した水理調査ボーリング(図 3.1-1;07MI08 号孔, 07MI09 号孔)に設置した水圧モニタリング装置を用いて、研究坑道近傍における掘削に伴う深度方向の水圧変化を継続して観測するとともに、モニタリング装置の適用性を検討する。

②地質環境データ解析・可視化システムの構築

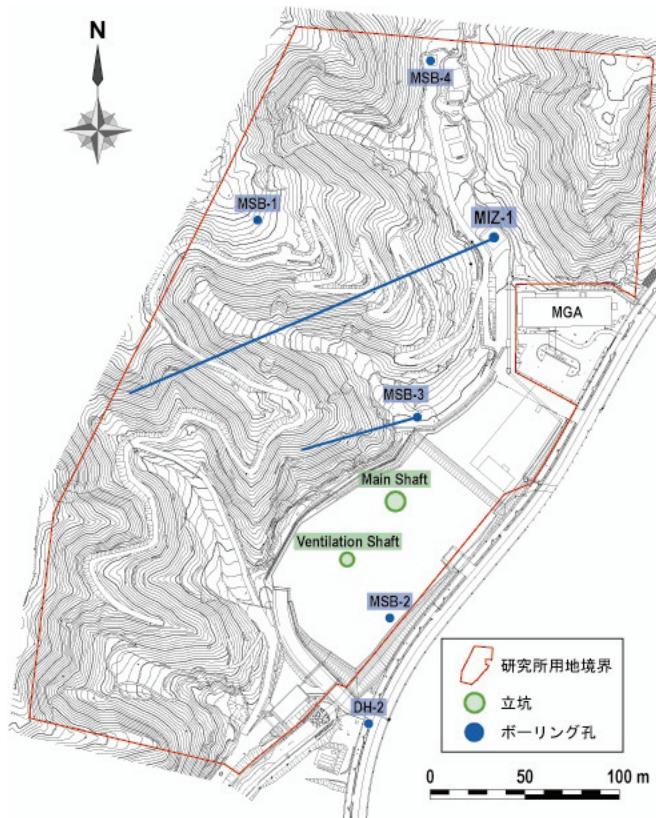
地質構造／水理地質構造のモデル化・地下水流动解析およびモデル化・解析結果の可視化に関する作業を通じて、抽出されたシステムの問題点の改善および機能の拡張を適宜実施する。さらに、拡張したシステムの信頼性を確認する。

3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究

2007 年度は、既存ボーリング孔を対象とした調査として、浅層ボーリング孔(MSB-2 号孔および MSB-4 号孔; 図 3.1.4-1)において地下水の水質・水圧長期観測を継続した。研究坑道内における調査としては、立坑壁面および集水リングを用いた坑内湧水の採水・分析を継続して実施し、地下水の地球化学データを蓄積した。また、深度 200m の予備ステージから掘削したボーリング孔(図 3.1-1;07MI07 号孔; 掘削長 55.30m)へ多区間地下水連続モニタリング装置を設置し、地下水水質・水圧のモニタリングを開始した。

2008 年度は、第 2 段階の調査研究として、研究所用地周辺の地下水水質の観測を行い、研究坑道の掘削が周辺の地球化学環境に与える影響を把握することにより、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し適宜更新するとともに、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。

また、第 3 段階の調査研究に備えた地下水中の金属元素の存在状態に関する研究、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について実施する。

図 3.1.4-1 研究所用地内ボーリング孔位置図⁸⁾

(1)調査試験

①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、研究坑道の建設が地質環境に与える影響を評価することを主目的として、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・微量元素濃度、溶存ガス濃度、安定・放射性同位体濃度(年2回)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。

②予備ステージボーリング孔(05MI01号孔および07MI07号孔)における地下水水質観測

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)および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。ただし、05MI01号孔では、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、今後の対応策を検討する。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・微量元素濃度、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。

③既存ボーリング孔における地下水観測

立坑の掘削が地下水の化学的環境に与える影響を把握することを目的として、既存ボーリング孔であるMSB-2号孔およびMSB-4号孔を対象として、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。

④地下水中の金属元素の存在状態に関する調査

深部地下環境における金属元素の存在状態の把握を目的として、これまでに蓄積した地下水試料および限外ろ過試料中の金属元素濃度に関するデータに基づいた解析を実施する。また、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の高度化を計る。

⑤地下水水質の長期変遷に関する調査

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ことを目的として、花崗岩中の割れ目表面に産する方解石を対象とした元素濃度分析、同位体組成分析、流体包有物解析等のこれまでに実施した調査結果に基づく解析およびバイオマーカー分析を実施する。

(2)モデル化・解析

これまでの調査(立坑壁面および集水リングを用いた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を利用した採水調査および既存ボーリング孔を利用した採水調査)により得られた地下水水質データに基づき、第1段階で構築した地球化学モデルの妥当性を検討する。また、研究坑道掘削以前に実施した数値解析の結果と比較して、研究坑道掘削による擾乱の影響を検討するとともに、今後の研究坑道掘削に伴う地球化学環境の擾乱を定量的に予測する。

(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 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。2007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、第一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50m程度の鉛直ボーリングを掘削し、計測機器(傾斜計および光ファイバーひずみ計)を設置した。

2008年度は、2007年度に引き続き、実際の建設工事を通じて、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。あわせて、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る。また、換気立坑沿いに設置した計測機器(傾斜計および光ファイバーひずみ計)を用い、換気立坑掘削に伴う岩盤の変位などを計測する。

(1)実施内容

研究坑道掘削の進捗にあわせて、坑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

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 2008 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は、以下に示すとおりである。

a) A 計測

- ・内空変位計測(計測位置;立坑連接部, 300m 予備ステージ)
- ・天端沈下計測(計測位置;300m 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 200～300m の間で 5 箇所)
- ・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、覆工背面隙水圧計測

各計測位置を表 3.1.5-1 に示す。

表 3.1.5-1 計測位置

立坑計測位置(m)		深度 250m	深度 300m	深度 350m
立坑種別		一般	連接	予備
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	-	-	-

c)C 計測

- ・壁面観察(観察場所;立坑(約2.6mごと),300m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
 - 三次元レーザースキャナによる計測データ(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
- ・レーザー内空変位計測
 - 計測位置;立坑深度225m,275m(1側線;直径方向1箇所)
 - 計測位置;立坑深度250m(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)が得られしだい、これらの数値解析を詳細に実施し、その結果を今後の施工に反映するとともに設計手法および情報化施工技術の高度化を図っていく。

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手法を用いた品質管理は、2007年度に実施した再検討結果に基づき、具体的な研究坑道掘削工事への適用・評価方法について検討していく。

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

研究坑道掘削工事のグラウト施工における注入量、注入圧、透水試験結果等のデータを収集・整理・評価し、今後の湧水抑制対策へ反映させるとともに、工学技術の施工対策技術として高度化を図っていく。図3.1.5-1にグラウト注入計画図を示す。

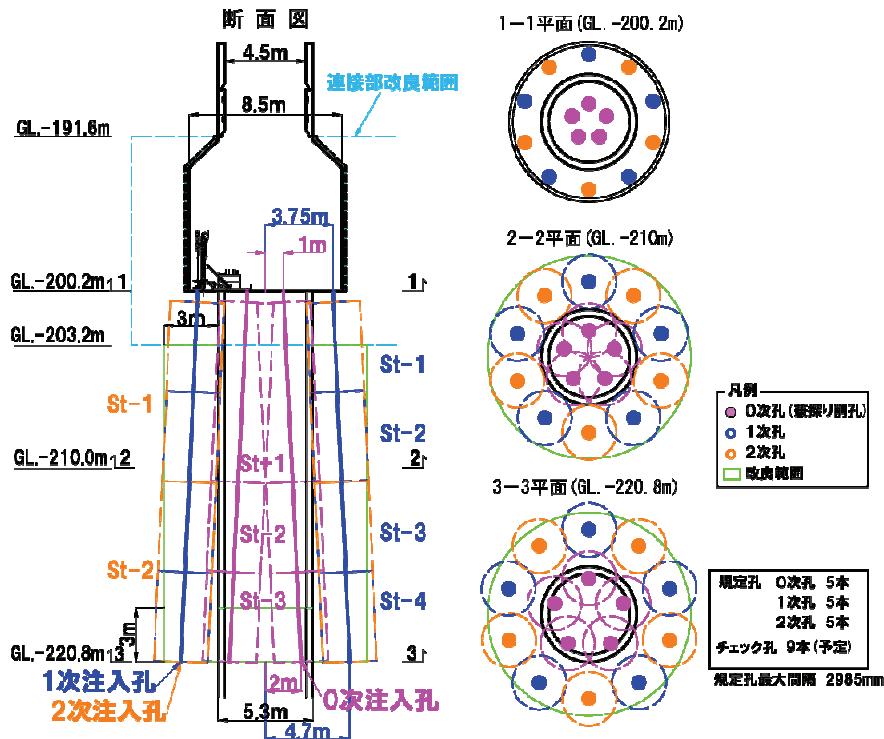


図 3.1.5-1 グラウト注入計画(換気立坑:GL-200~220m 間)

⑤先行変位計測

立坑周辺岩盤の立坑掘削前から掘削後までの連続的な変形挙動を把握するために、換気立坑ボーリング横坑(深度 200m)から掘削した鉛直ボーリング孔(掘削深度:約 50m)に埋設した傾斜計、光ファイバ一式変位計を用い、立坑掘削に伴う岩盤の変位等を計測する(図 3.1-1; 07MI11 号孔, 07MI12 号孔)。

⑥立坑掘削方法の適用性検討

立坑掘削方法として適用されている通常発破工法に加え、周辺岩盤の損傷を軽減するスムースプラスティング工法による掘削を試行する。実施予定深度は、深度 250m および深度 280m 付近であり、これらの深度において通常発破・スムースプラスティングを 3 発破ずつ実施する。施工性とともに、掘削後に実施するレーザースキャナー測定結果からの余掘量の算定を行い、スムースプラスティング工法の立坑掘削への適用性について総合的に検討する。

3.2 正馬様用地における調査研究

2007 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。

2008 年度においては、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。

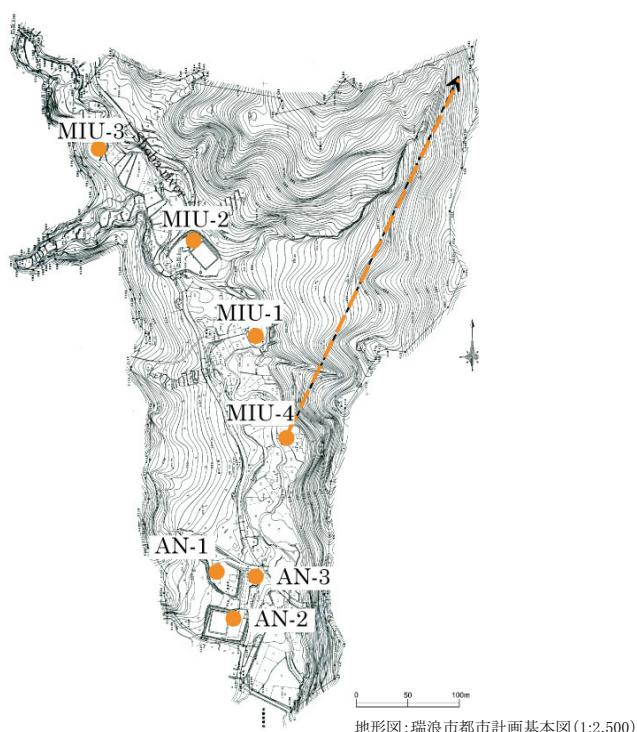


図 3.2-1 正馬様用地内におけるボーリング孔位置図⁸⁾

3.3 研究所用地における施設建設設計画

(1)施設建設

2008 年度は、主立坑と換気立坑ともに深度 300m 程度までの掘削と、深度 300m の水平坑道の掘削を行う。

研究坑道の掘削に際しては、2007 年度に引き続き湧水量を抑制する対策について検討する。湧水量の抑制は、2006 年に実施した主立坑および換気立坑坑底から掘削したパイロットボーリング調査(図 3.1-1; 主立坑坑底深度 180m からの掘削長 348m, 換気立坑坑底深度 191m からの掘削長 335m)や、2007 年に実施した深度 200m ボーリング横坑から掘削したボーリング調査(図 3.1-1; 07MI08 号孔(主立坑ボーリング横坑深度 200m からの掘削長 125m), 07MI09 号孔(換気立坑ボーリング横坑深度 200m からの掘削長 126m))で明らかとなった湧水箇所に対して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」に基づき自動的に毎月測定を行い、掘削土に含まれるふっ素などについては、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

2008 年度は、2007 年度に引き続いて研究坑道掘削とともに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, 水質および底質分析

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. 2008 年度の調査研究・建設工事スケジュール

2008 年度の主な調査研究、建設工事スケジュールを表 4-1 に示す。

表 4-1 2008 年度の調査研究・建設工事スケジュール

	2008年											2009年		
	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月		
【地質環境特性の研究】														
1. 瑞浪超深地層研究所用地における調査研究														
1.1 調査試験														
①地質・地質構造に関する調査試験														
・電気探査法を用いた地下水流动モニタリング														
・逆VSP探査*														
・研究坑道の壁面地質調査および壁面物性計測*														
②岩盤力学に関する調査試験														
・岩盤ひずみ計測														
・岩盤力学ボーリング調査														
③岩盤の水理に関する調査試験														
・立坑の集水リングを用いた湧水量計測														
・調査ボーリング孔を用いた間隙水圧測定(水理ボーリング調査)														
・地下水長期モニタリングおよび表層水理観測														
④地下水の地球化学に関する調査試験														
・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														
・予備ステージボーリング孔(05MI01号孔および07MI07号孔)における地下水水質観測														
・既存ボーリング孔における地下水観測														
・地下水中の金属元素の存在状態に関する調査														
・地下水水質の長期変遷に関する調査														
⑤深地層の工学技術の基礎の開発														
・計測工														
・施工情報のデータベース化														
・解析・検討														
・グラウト施工*														
・先行変位計測														
1.2 モデル化・解析														
・地質構造モデル														
・岩盤力学モデル														
・水理地質構造モデル														
・地下水の地球化学モデル														
2. 正馬様用地における調査研究														
・地下水長期モニタリングおよび表層水理観測														
【瑞浪超深地層研究所における施設建設】														
・主立坑掘削※														
・予備ステージ掘削(深度300m主立坑側)※								深度300mまで					深度300m以深	
・換気立坑掘削※														
・予備ステージ掘削(深度300m換気立坑側)※								深度300mまで					深度300m以深	
・周辺環境モニタリング調査														

* 研究坑道掘削工事の進捗に応じて実施

※岩盤状況に応じプレグラウトを実施

5. 共同研究・施設供用等の 2008 年度計画

2008 年度は、以下の外部研究機関等との共同研究や瑞浪超深地層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、地質調査やボーリング調査で捕捉された地質構造に基づき地質構造モデルが構築されてきたものの、このような決定論的手法のみでは、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ことは困難である。そこで、瑞浪超深地層研究所内で確認される実際の地質構造を事例として、アナログ実験ならびに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、主に、瑞浪超深地層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主要な地質構造分布の再評価を行うとともに、構造的記載や古応力場を解析し、地質構造発達過程を再現するアナログ実験・数値シミュレーションのデータセットの抽出・整備を行う。

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は、地下水の動きの解析や地下施設の設計に必須であることから、その範囲や性質の変化の調査が必要となっている。しかし、既往の調査手法はコストと時間を要するもので、これに代わる簡便かつ安価な調査手法の開発が求められている。そこで、ボーリング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の開発を目標として、岩芯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検証を、研究坑道周辺岩盤を対象として行う。

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・改良を行なう。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表傾斜データを利用した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が、水理地質構造の推定結果に与える影響についての検討を進める。

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、正馬様用地内や瑞浪超深地層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地下水中の放射性元素(³H, ¹⁴C, ³⁶Cl)や希ガス濃度の測定を行い、地下水流动解析結果との比較検討を行う。

2008 年度は、岩盤中での物質移行特性を把握するための手法の構築を目的として、瑞浪超深地層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 学校法人 武藏工業大学：天然環境中における微量元素の挙動に関する研究

天然環境中における微量元素の挙動に関わる基盤情報を取得するとともに、得られた知見を第3段階の調査において予定されている調査試験に反映させることを目的とし、岩石試料の微量元素分析を行う。2008 年度は共同研究の最終年度であるため、従来の結果をとりまとめるとともに、さらに検討が必要な事項が抽出された場合には、追加分析等を実施する。

⑥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、過去から現在に渡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、微生物の現存状態の把握に主眼を置き、主に200m予備ステージおよび既存ボーリング孔(MSB-2号孔およびMSB-4号孔)から採取する地下水を対象として、菌数や活性状態に関する調査を実施する。

⑦国立大学法人 名古屋大学:地下深部岩盤の歪変化のメカニズムに関する研究

2006年10月に、名古屋大学と原子力機構との間で、「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」と題する共同研究を締結した。瑞浪超深地層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歪計で取得されるデータを用いて、原子力機構では歪計測の前方探査技術としての有効性を検討し、名古屋大学では、地震予知に関する検討を実施する。

2008年度は、瑞浪超深地層研究所研究坑道掘削工事において設置した高精度歪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、歪計測の有効性を評価するとともに、深部岩盤における歪変化のメカニズム解明のための検討を実施する。

⑧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动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議論を行うとともに、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(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5回技術検討会議を開催するとともに3回程度の技術研修を実施する。

⑨さいたま Package-D 有限会社:掘削に伴う周辺環境への影響を予測する技術開発

坑道の掘削等が周辺の地下水環境に与える影響を予測するために、遺伝的アルゴリズムやニューラルネットワークなどの人工知能技術を瑞浪超深地層研究所周辺の地下水位変動データに適用し、坑道掘削に伴う周辺の地下水圧の変化をリアルタイムで予測するシステムの開発を行う。

本技術の開発により、想定しない地質構造との遭遇に伴う水圧変動を把握し、当該地質構造に迅速に対応することにより、安全に施設を施工するとともに、適切に地質環境モデルを更新していくことが可能となると期待される。本研究は機構内のマッチング研究として、さいたまパッケージDと共同で実施する。

(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的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。

2007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、瑞浪超深地層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、2006年度設置した深部地盤の変動を連続的に観測記録するための傾斜計による連続観察を継続するとともに、100m 予備ステージ中央付近に地震計を設置した。

2008 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。

(3)量子ビーム応用研究部門との部門間協力研究計画

①目的・概要

瑞浪超深地層研究所では、立坑からの湧水中に溶存するふつ素、ほう素の除去について、放流先河川において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、ふつ素、ほう素を除去する捕集材の研究開発や瑞浪超深地層研究所の湧水処理に関する研究を 2006 年度から開始した。

2007 年度は、湧水中のふつ素、ほう素の室内除去試験を行い、捕集材の仕様の最適化を行った。次にスケールアップした試験装置を製作して、現場における通水試験を実施した。

2008 年度は、瑞浪超深地層研究所では、ほう素除去の通水試験を行うとともに、ほう素除去について実用化への課題である捕集材の耐久性評価および再生利用の検討を行い、実用化に向けた課題の抽出および研究の取りまとめを行う。

②実施内容

a)ほう素除去用捕集材の耐久性評価、再生利用の検討

2006 年度に製作した試験装置を用いて、湧水処理量や時間を負荷した連続実験を行い、試験後の捕集材は、高崎量子応用研究所に設置した溶離装置を用いて、捕集材中に捕集されたほう素を溶出させ、除去性能や耐久性を評価する。また、隨時、湧水速度などの条件を変化させ、システムの最適化に必要な情報を取得するための通水試験を行う。捕集材の再生利用の検討では、通水試験後のほう素を吸着した捕集材を純水または薬剤によって洗浄し、再度通水試験を行って再生利用時の吸着性能を評価する。

b)実用化に向けた課題抽出

耐久性評価、再生利用試験により得られた結果から、実用化に向けた課題を抽出する。

c)研究の取りまとめ

2008 年度に行った試験内容や実用化に向けた課題に対する見通し等について取りまとめを行う。

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 2008 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研究基本計画”，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研究基本計画 2001 年 4 月”，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研究基本計画 2002 年 2 月”，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：“Ergebnisse der Untersuchungsphasen I and II”，Nagra Technical Report NTB96-01(1996).
- 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).

付録1 広域地下水流动研究 2008 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・解析技術などを開発することを目標として進めてきたが、2004 年度をもって主な現場調査を終了した。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。

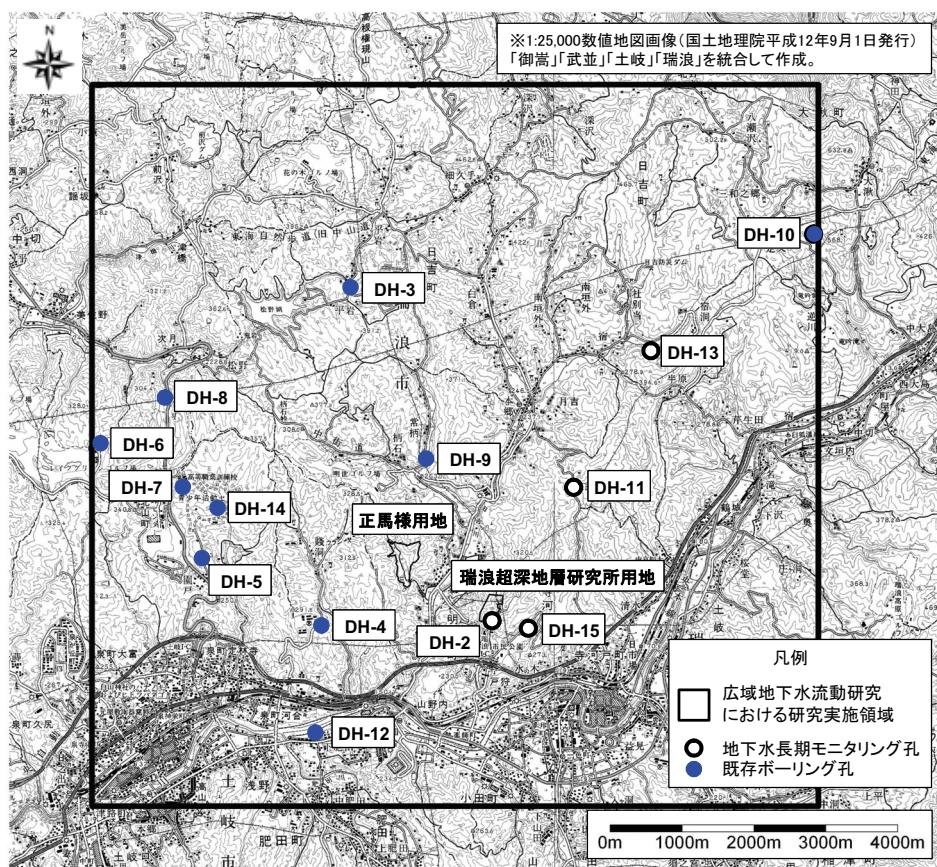
2008 年度については、上述した表層水理観測および、地下水長期モニタリングを継続する。また、電力中央研究所との共同研究の一環として、地下水採水調査を実施する。

①地下水長期モニタリングおよび表層水理観測

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。

②地下水の採水調査

電力中央研究所との共同研究「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共同研究」の一環として、既存ボーリング孔に設置しているモニタリング装置(MP システム)を用いた地下水の採水を行う。



付図 1 ボーリング孔配置図

付録 2 分野間の連携研究

2008 年度は各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検討する。具体的には、①瑞浪超深地層研究所における立坑および水平坑道において実施する掘削影響試験の目的を明確化する。②海外の地下研や国内(東濃鉱山や釜石鉱山)での先行事例を調査し、掘削影響試験の実施項目を明確化する。③実施主体のニーズを勘案し、適切な成果が得られるような試験計画を検討する。

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ための手法を開発することを目的として、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、炭酸塩鉱物中の流体包有物の化学分析などを行う。

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・設計に必要な情報として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化を図る。具体的には、安全評価・設計に必要な情報の提供および統合化データフローの整備、第 1 段階の地質環境モデルの検証データの取得、地質環境調査・物質移行評価に関する研究(TM1)の成果も踏まえた、地質環境条件に応じた安全評価・設計の詳細度の検討などをを行う。

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・物質移行評価に関する一連の評価手法の妥当性の確認を目的とし、地質環境中の物質移行解析の実施を念頭に置いた地質環境データセットの更新、地質環境モデルの更新および物質移行解析計画の策定を行う。

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、2007 年度に実施した概念設計およびプロトタイプシステムによる機能検討結果に基づき、機能追加を行う。

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。

国際単位系 (SI)

表1. SI基本単位		
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

表2. 基本単位を用いて表されるSI組立単位の例		
組立量	SI基本単位	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
比體積	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
質量濃度 ^(a)	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
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。

表3. 固有の名称と記号で表されるSI組立単位

組立量	SI組立単位		
	名称	記号	他のSI単位による表し方
平面角	ラジアン ^(b)	rad	$1^{(b)}$
立体角	ステラジアン ^(b)	sr ^(c)	$1^{(b)}$
周波数	ヘルツ ^(d)	Hz	m^{2}/m^2
力	ニュートン	N	s^{-1}
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m^2
エネルギー、仕事、熱量	ジュール	J	$N\cdot m$
仕事を、工率、放射束	ワット	W	J/s
電荷、電気量	クーロン	C	$m^2 kg s^{-3}$
電位差(電圧)、起電力	ボルト	V	$m^2 kg s^{-3} A^{-1}$
静電容量	ファラード	F	$m^2 kg^{-1} s^4 A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	$m^2 kg s^{-3} A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	$m^2 kg^{-1} s^3 A^2$
磁束密度	ウェーバ	Wb	$m^2 kg s^{-2} A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2
インダクタンス	ヘンリー	H	$kg s^{-2} A^{-1}$
セルシウス温度	セルシウス度 ^(e)	°C	K
光束密度	ルーメン	lm	cd sr ^(e)
放射性核種の放射能 ^(f)	ベクレル ^(d)	Bq	lm/m^2
吸収線量、比エネルギー分与、カーマ	グレイ	Gy	$m^{-2} cd$
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	s^{-1}
酸素活性	カタール	kat	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やはコヒーレントではない。

(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及びsrが用いられるが、習慣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に使用される。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。

表4. 単位の中に固有の名称と記号を含むSI組立単位の例

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	ニュートン每メートル	N/m	$kg s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m^{-1} s^{-1} = s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s ²	$m^{-1} s^{-2} = s^{-2}$
熱流密度、放射照度	ワット每平方米メートル	W/m ²	W/m^2
熱容量、エンントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 kg s^{-2} K^{-1}$
比熱容量、比エンントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg K)	$m^3 s^{-2} K^{-1}$
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	ワット每メートル每ケルビン	W/(m K)	$m kg s^{-3} K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール每立方メートル	J/m ³	$m^{-1} kg s^2$
電界の強さ	ボルト每メートル	V/m	$m kg s^{-3} A^{-1}$
電荷密度	クーロン每立方メートル	C/m ³	$m^3 sA$
表面電荷密度	クーロン每平方メートル	C/m ²	$m^2 sA$
電束密度、電気変位	クーロン每平方メートル	C/m ²	$m^2 sA$
誘電率	ファラード每メートル	F/m	$m^{-3} kg^{-1} s^4 A^2$
透磁率	ヘンリー每メートル	H/m	$m kg s^{-2} A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール每モル	J/mol	$m^3 kg s^{-2} mol^{-1}$
モルエンントロピー、モル熱容量	ジュール每モル每ケルビン	J/(mol K)	$m^2 kg s^{-2} K^{-1} mol^{-1}$
照射線量(X線及びγ線)	クーロン每キログラム	C/kg	$kg^{-1} sA$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^3 s^{-3}$
放射強度	ワット每ステラジアン	W/sr	$m^4 m^2 kg s^{-3} = m^2 kg s^{-3}$
放射輝度	ワット每平方メートル每ステラジアン	W/(m ² sr)	$m^2 m^2 kg s^{-3} = kg s^{-3}$
酵素活性濃度	カタール每立方メートル	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

表6. SIに属さないが、SIと併用される単位

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	°	$1^\circ=(\pi/180) rad$
分	'	$1'=(1/60)^\circ=(\pi/10800) rad$
秒	"	$1''=(1/60)'=(\pi/648000) rad$
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	$1t=10^3 kg$

表7. SIに属さないが、SIと併用される単位で、SI単位で表される数値が実験的に得られるもの

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	$1ua=1.495 978 706 91(6)\times 10^{11} m$

表8. SIに属さないが、SIと併用されるその他の単位

名称	記号	SI単位で表される数値
バール	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	$1 \text{ \AA}=0.1 nm=100 pm=10^{-10} m$
海里	M	$1 M=1852 m$
バーン	b	$1 b=100 fm^2=(10^{-12} cm)^2=10^{-28} m^2$
ノット	kn	$1 kn=(1852/3600) m/s$
ネーベル	Np	$1 Np$
ベル	B	$1 B=100 fm^2=10^{-28} m^2$
デジベル	dB	$1 dB=10 \log_{10} (P/P_0) = 10 \log_{10} (I/I_0) = 10 \log_{10} (E/E_0)$

SI単位との数値的な関係は、対数量の定義に依存。

表9. 固有の名称をもつCGS組立単位

名称	記号	SI単位で表される数値
エрг	erg	$1 erg=10^{-7} J$
ダイニン	dyn	$1 dyn=10^{-5} N$
ボアズ	P	$1 P=1 dyn s cm^{-2}=0.1 Pa s$
ストークス	St	$1 St=1 cm^2 s^{-1}=10^{-4} m^2 s^{-1}$
スチルブ	sb	$1 sb=1 cd cm^{-2}=10^4 cd m^{-2}$
フォント	ph	$1 ph=1 cd sr cm^{-2} 10^4 lx$
ガル	Gal	$1 Gal=1 cm s^{-2}=10^{-2} ms^{-2}$
マックスウェル	Mx	$1 Mx=1 G cm^2=10^8 Wh$
ガウス	G	$1 G=1 Mx cm^{-2}=10^{-4} T$
エルステッド	Oe	$1 Oe \triangleq (10^3/4\pi)nA m^{-1}$

(e) 3元系のCGS単位系とSIでは直接比較できないため、等号「△」は対応関係を示すものである。

表10. SIに属さないその他の単位の例

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	$1 rad=1 cGy=10^{-2} Gy$
レム	rem	$1 rem=1 cSv=10^{-2} Sv$
ガンマ	γ	$1 \gamma=1 nT=10^{-9} T$
フェルミ	fm	$1 \text{フェルミ}=1 fm=10^{-15} m$
メートル系カラット		$1 \text{メートル系カラット}=200 mg=2\times 10^{-4} kg$
トル	Torr	$1 Torr=(101 325/760) Pa$
標準大気圧	atm	$1 atm=101 325 Pa$
カロリ	cal	$1 cal=4.1868 J ([15^\circ C] \text{カロリー}), 4.1868 J ([IT] \text{カロリー})$
ミクロ	μ	$1 \mu=1 \mu m=10^{-6} m$

