JAEA-Review
2012-028

超深地層研究所計画　年度計画書（2012 年度）

Mizunami Underground Research Laboratory Project Plan for Fiscal Year 2012

國丸 貴紀　見掛 信一郎　西尾 和久　鶴田 忠彦　松岡 稔幸　石橋 正祐紀
窪島 光志　竹内 竜史　水野 崇　佐藤 稔紀　真田 祐幸　丹野 剛男
引間 亮一　湯口 貴史　笹尾 英嗣　尾方 伸久　濱 克宏　小出 馨
池田 幸喜　山本 勝　島田 顕臣　松井 裕哉　伊藤 洋昭　杉原 弘造

Takanori KUNIMARU, Shinichiro MIKAKE, Kazuhisa NISHIO, Tadahiko TSURUTA
Toshiyuki MATSUOKA, Masayuki ISHIBASHI, Koji KUBOSHIMA, Ryuji TAKEUCHI
Takashi MIZUNO, Toshinori SATO, Hiroyuki SANADA, Takeo TANNO,
Ryoichi HIKIMA, Takashi YUGUCHI, Eiji SASAO, Nobuhisa OGATA
Katsuhiro HAMA, Kaoru KOIDE, Koki IKEDA, Masaru YAMAMOTO
Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI, Hiroaki ITO 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

August 2012
Japan Atomic Energy Agency
日本原子力研究開発機構

JAEA-Review

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2012

JAEA-Review 2012-028

超深地層研究所計画　年度計画書（2012 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

國丸 貴紀，見掛 信一郎[+1]，西尾 和久[※]，鶴田 忠彦，松岡 稔幸，石橋 正祐紀，窪島 光志[※]
竹内 竜史，水野 崇[+2]，佐藤 稔紀，真田 祐幸，丹野 剛男[※]，引間 亮一[※]，湯口 貴史，
笹尾 英嗣，尾方 伸久，濱 克宏，小出 馨，池田 幸喜[+1]，山本 勝[+1]，島田 顕臣，
松井 裕哉[+3]，伊藤 洋昭，杉原 弘造

（2012 年 5 月 31 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。2012 年度は，第 2 段階および第 3 段階の調査研究を進めていく。

本計画書は，2010 年に改訂した「超深地層研究所地層科学研究基本計画」に基づいた 2012 年度の超深地層研究所計画の調査研究計画，施設建設計画，共同研究計画などを示したものである。

2012 年度は，第 2 段階の調査研究として，これまでに地上および研究坑道内から掘削したボーリング孔を用いた水理，地下水の地球化学に関するモニタリングを継続するとともに，岩盤の初期応力状態を把握するためのボーリング調査などを実施する。これらの調査研究により取得した地質環境の情報により，第 1 段階の調査研究結果である地質環境モデルの妥当性の確認を行うとともに，第 2 段階における地質環境モデルの更新を行う。深地層の工学技術の基礎の開発においては，建設工事を通じて得られた情報に基づき，設計技術，掘削技術，対策工，安全対策等に関する技術の有効性を確認・評価していく。また，第 3 段階の調査研究として，これまでの調査研究で取得した地質・地質構造，水理特性，地下水の地球化学特性などに関する情報に基づき，坑道周辺の物質移動概念モデルを構築するとともに，坑道より採取した岩石や地下水を用いた室内試験により物質移動に関する情報を取得し，物質移動解析に必要なデータセットを整備する。

瑞浪超深地層研究所の研究坑道の建設においては，深度 500m において水平坑道の掘削を進める計画である。

また，共同研究として，一般財団法人電力中央研究所，独立行政法人産業技術総合研究所，スイス放射性廃棄物管理共同組合などとの調査研究を進める計画である。

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　幌延深地層研究ユニット
+3　研究開発統括ユニット
※　技術開発協力員

JAEA-Review 2012-028

Mizunami Underground Research Laboratory Project
Plan for Fiscal Year 2012

Takanori KUNIMARU, Shinichiro MIKAKE[+1], Kazuhisa NISHIO[※], Tadahiko TSURUTA, Toshiyuki MATSUOKA, Masayuki ISHIBASHI, Koji KUBOSHIMA[※], Ryuji TAKEUCHI, Takashi MIZUNO[+2], Toshinori SATO, Hiroyuki SANADA, Takeo TANNO[※], Ryoichi HIKIMA[※], Takashi YUGUCHI, Eiji SASAO, Nobuhisa OGATA, Katsuhiro HAMA, Kaoru KOIDE, Koki IKEDA[+1], Masaru YAMAMOTO[+1], Akiomi SHIMADA, Hiroya MATSUI[+3], Hiroaki ITO and Kozo SUGIHARA

Tono Geoscientific Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate, Japan Atomic Energy Agency
Akiyo-cho, Mizunami-shi, Gifu-ken

(Received May 31, 2012)

Japan Atomic Energy Agency (JAEA) at Tono Geoscience Center (TGC) is pursuing a geoscientific research and development project namely the Mizunami Underground Research Laboratory (MIU) project in crystalline rock environment in order to construct scientific and technological basis for geological disposal of High-level Radioactive Waste (HLW). The MIU project is planned in three overlapping phases ; Surface-based Investigation Phase (Phase I), Construction Phase (Phase II) and Operation Phase (Phase III). Currently, the project is under the Construction Phase and the Operation Phase. This document introduces the research and development activities planned for 2012 fiscal year based on the MIU Master Plan updated in 2010, construction plan and research collaboration plan, etc.
Observations of hydraulic pressure, groundwater chemistry properties have been continued at the existing boreholes. Borehole investigations are planned to be carried out at the -300m stage in order to characterize rock mechanical properties. As study on engineering technologies for deep underground, validation and evaluation of design methodology, existing and supplementary excavation methods, countermeasures during excavation and safe construction will be carried out based on data obtained during shafts and galleries construction. For Phase III investigations, laboratory tests are planned to be conducted for the development of solute transport conceptual models and observation of solute transport properties.
As research collaborations, various experiments and researches are planned to carried out with CRIEPI(Central Research Institute of Electric Power Industry), AIST(National Institute of Advanced Industrial Science and Technology), Nagra(National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste) and other research organizations.
For construction plan, horizontal galleries at the GL-500m level will be excavated.

Keywords: Mizunami Underground Research Laboratory, MIU Project, Program for Fiscal Year 2012, MIU Master Plan, Geological Disposal of HLW

+1 Geoscience Facility Construction Section, Tono Geoscience Center
+2 Horonobe Underground Research Unit
+3 Research and Development Integration Unit
※ 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 9
2.4 瑞浪超深地層研究所の施設概要 10
3. 2012 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第 2 段階の調査研究 13
3.1.1 地質・地質構造に関する調査研究 13
3.1.2 岩盤力学に関する調査研究 14
3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究 15
3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究 18
3.1.5 深地層の工学技術の基礎の開発 19
3.2 瑞浪超深地層研究所用地における第 3 段階の調査研究 21
3.2.1 物質移動に関する調査研究 21
3.2.2 坑道周辺岩盤の地質環境特性の評価に関する調査研究 22
3.3 正馬様用地における調査研究 22
3.4 瑞浪超深地層研究所用地における施設建設計画 23
4. 地層処分技術に関する分野間の連携研究 25
5. 共同研究・施設利用の 2012 年度計画 26
6. おわりに 29
参考文献 29
付録 1　広域地下水流動研究 2012 年度計画 31

Contents

1. Introduction....1
2. Overview of the Mizunami Underground Research Laboratory Project....2
2.1 Goals of the MIU Project....3
2.2 R&D activities....4
2.3 Geology....9
2.4 MIU facilities....10
3. Investigations and construction plan in FY2012....11
3.1 Investigation plan at the MIU Construction Site - Phase2 (Construction Phase) -....13
3.1.1 Geological investigations....13
3.1.2 Rock mechanical investigations....14
3.1.3 Hydrogeological investigations....15
3.1.4 Hydrochemical investigations....18
3.1.5 Development of engineering technology for deep underground....19
3.2 Investigation plan at the MIU Construction Site - Phase3 (Operation Phase)....21
3.2.1 Solute transport studies....21
3.2.2 Excavation disturbed zone experiments....22
3.3 Investigation plan at the Shobasama Site....22
3.4 Construction plan at the MIU Construction Site....23
4. Research collaboration among geological disposal technologies....25
5. Research collaboration with related research organizations....26
6. Conclusions....29
References....29
Appendix1 Plan of the Regional Hydrogeological Study Project in FY2012....31

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]に定められている「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，開発および利用に関する長期計画（以下，原子力長計）」[2]において定められた「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）に新たな役割が定められたことに伴い，2001 年 4 月に基本計画を改訂した [5]。さらに，2002 年 1 月に瑞浪市との間で同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*などを同市有地に設置することとしたのを機に基本計画を改訂した [6]。

その後，2008 年 3 月に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」（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」（以下，「最終処分計画」）の改定に関する閣議決定がなされ（同年 4 月施行），「基本方針」においては研究開発機関の役割として，深地層の研究施設や研究開発の内容の公開を通じた国民との相互理解促進への貢献について明示され，「最終処分計画」においては，処分事業の実施主体による精密調査地区の選定時期が「平成 20 年代前半」から「平成 20 年代中頃」に変更された。一方，これまでの超深地層研究所計画での調査研究により得られた情報から，深度 300m 付近は，より深部の地質環境と比較して割れ目が多く湧水の可能性があることが予想された。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踏まえ，深度 300m に新たに研究坑道を設置して調査研究することにより，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になること，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に資することが期待できることなどから，2008 年度に調査研究用の水平坑道を整備することとした。以上のような「基本方針」と「最終処分計画」の改定および深度 300m への調査研究用の水平坑道の整備を背景に，原子力機構では 2010 年に基本計画を改訂した [7]。

本計画書は，改訂された基本計画に基づき，超深地層研究所計画の第 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」における 2012 年度の調査研究計画の内容を示すものである。

また，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動研究を進めてきた [8]。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・解析技術の開発を目標として，地下水流動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 1992 年度に調査研究を開始し，2004 年度末をもって主要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動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，既存の観測設備による表層水理（河

* 調査研究のために掘削される主立坑，換気立坑，水平坑道などからなる超深地層研究所の地下部分

川流量，降水量）観測および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，広域地下水流動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。本計画書の巻末に，広域地下水流動研究における 2012 年度の計画を示す。

なお，2011 年 3 月に発生した東京電力福島第一原子力発電所の事故を受けて，2012 年夏に予定されている原子力政策およびエネルギー政策の見直しやそれに伴う「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」[9] の改定によっては，本研究計画についても一部変更・中止の可能性がある。

2. 超深地層研究所計画の概要

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 段階に区分して進めている。このように段階的に進めることにより，天然の地質環境と，その地質環境が坑道の掘削などにより変化する状況を把握することができる。また，この間，深部地質環境の予測とその予測結果の妥当性の確認を段階ごとに繰り返して行うことにより，前段階で適用した調査・解析・評価手法の妥当性や有効性を評価することが可能となる。これらにより得られた情報や知見などは，地質環境を対象とした一連の調査，評価などに関する総合的な方法論としての体系化を通じて，処分事業の実施と安全規制の技術基盤の整備に資するとともに，地層処分に関する国民との相互理解促進にも貢献することが期待される。

当初の本計画は，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などの施設を市有地（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。

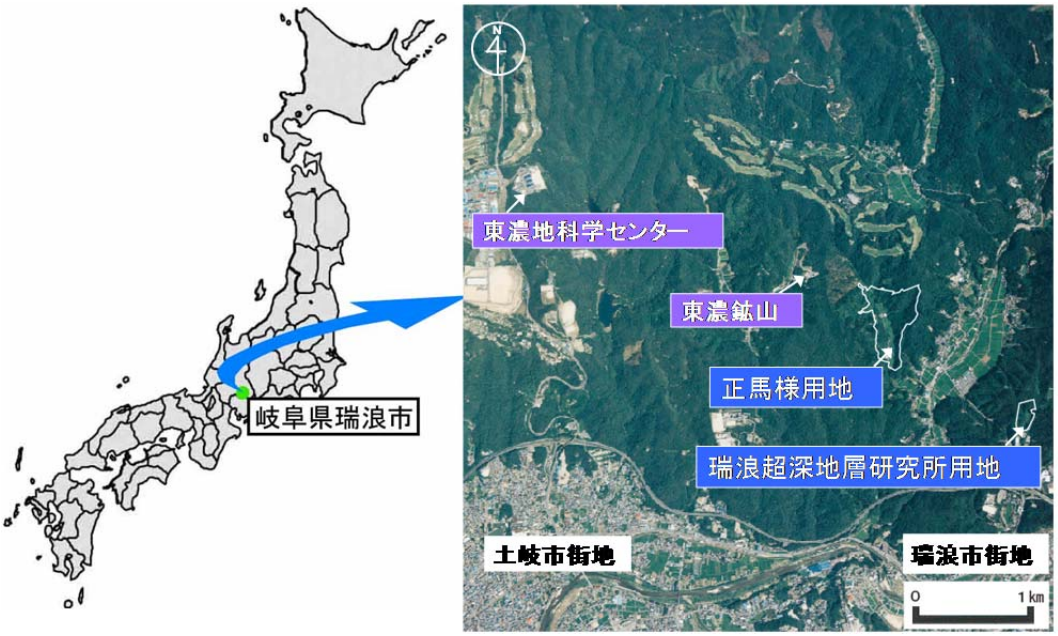


図 2-1　超深地層研究所の設置場所

2.1 目標

超深地層研究所計画においては，全体目標として以下の二つを設定している（詳細は，基本計画[7]を参照）。

【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

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）の三つに区分して進めることとしている。以下に各段階における目標とその内容の概略を示す（詳細は，基本計画[7]を参照）。

【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

地表からの調査研究により坑道掘削前の深部地質環境に関する情報を取得し，取得した情報の集約と理解をとおして，坑道掘削前の地質環境モデル（サイトスケール；数 km 四方）（図 2.2-2，表 2.2-1）を構築する。更に，坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化を予測する。

また，第 1 段階における調査手法と深部地質環境の理解度との対比から当段階で用いた一連の調査・解析・評価手法の有効性を評価する。

②研究坑道の詳細設計および施工計画の策定

本段階において取得する深部地質環境に関する情報および坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化に関する予測を考慮しつつ，③において策定する第 2 段階における調査研究計画に基づいて，研究坑道の詳細レイアウトを決定する。また，実際に適用する施工技術ならびに機械・設備を選択し，具体的な施工計画を決定する。

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

前述①の深部地質環境に関する情報ならびに坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化に関する予測結果を踏まえ，第 2 段階における具体的な調査研究計画を策定する。

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

坑道の掘削に伴って得られる深部地質環境に関する情報および坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化に関する情報を取得し，第 1 段階で構築した地質環境モデル（サイトスケール），第 1 段階で予測した坑道の掘削に伴う深部地質環境の変化の予測の妥当性を評価する。更に，新たに得られた情報に基づき，第 1 段階で構築した地質環境モデル（サイトスケール）を更新する。また，更新された地質環境モデル（サイトスケール）を基にブロックスケール（数十～数百 m 四方）（図 2.2-2，表 2.2-1）の地質環境モデルを構築し，第 3 段階で実施する坑道の拡張に伴う坑道周辺の地質環境の変化を予測する。

また，第 2 段における調査手法と深部地質環境の理解度との対比から，当段階で用いた一連の調査・解析・評価手法の有効性を評価する。

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

坑道の施工・維持・管理に用いた工学技術の有効性を評価し，必要に応じてそれらの高度化を図る。また，実際の地質環境が予測結果と大きく異なる場合や大量湧水・山はねなどの突発的な事象が発生した場合などにおいては，必要に応じて対策工を講じ，その技術の適応性を確認する。更に，掘削中の坑道内の安全を確保するための技術を確認する。

③研究坑道を利用した研究段階の調査研究計画の策定

前述の深部地質環境に関する情報や予測結果，これまでの地層科学研究の成果[10,11]ならびに海外の地下研究施設などにおいて実施してきた調査研究の成果を踏まえ，研究坑道を利用した調査研究の課題を抽出し，調査研究計画の具体化を図る。

第３段階：研究坑道を利用した研究段階

①研究坑道を利用した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

研究坑道を利用した調査研究により深部地質環境の特性を把握するための手法の開発を行うとともに，深部地質環境に関する三次元的な情報を取得・蓄積し，本段階までに構築した地質環境モデル（サイトスケール・ブロックスケール）の妥当性を評価する。更に，新たに取得された情報に基づき，必要に応じて地質環境モデル（サイトスケール・ブロックスケール）を更新する。

また，研究坑道を利用した調査研究により取得した情報や地質環境モデル（サイトスケール・ブロックスケール）を用いた解析結果などに基づき，坑道の拡張に伴う坑道周辺の地質環境の変化に関する予測の妥当性を評価する。

以上のように深部地質環境の予測とその妥当性の評価を段階ごとに繰り返し行うことにより，前段階で用いた調査・解析・評価手法の妥当性や有効性を確認することが可能となる。

②深地層における工学技術の有効性の確認

地下深部において，坑道の健全性を長期にわたり維持する技術の有効性を確認する。また，坑道の掘削工事に関する工程や品質などの管理体系を構築し，坑道内の研究環境を適切に維持・管理するための技術を整備する。また，坑道の掘削が地質環境に及ぼした影響を軽減・修復する工学技術の可能性について検討し，必要に応じて開発・整備する。また，実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や大量湧水・山はねなどの突発的な事象が発生した場合などにおいては，必要に応じて対策工を講じ，その技術の適応性を確認する。

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[12]。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，広域地下水流動研究と組み合わせて，地質環境に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[13]。

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，地質環境特性に係わる理解度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考え，図 2.2-3 に示す繰り返しアプローチを採用している [13]。第 1 段階の調査研究では，図 2.2-4 に示すように既存情報調査/地表地質調査から孔間トモグラフィ探査/孔間水理試験までの 6 段階を設け，繰り返しアプローチを意識した調査研究を展開した。

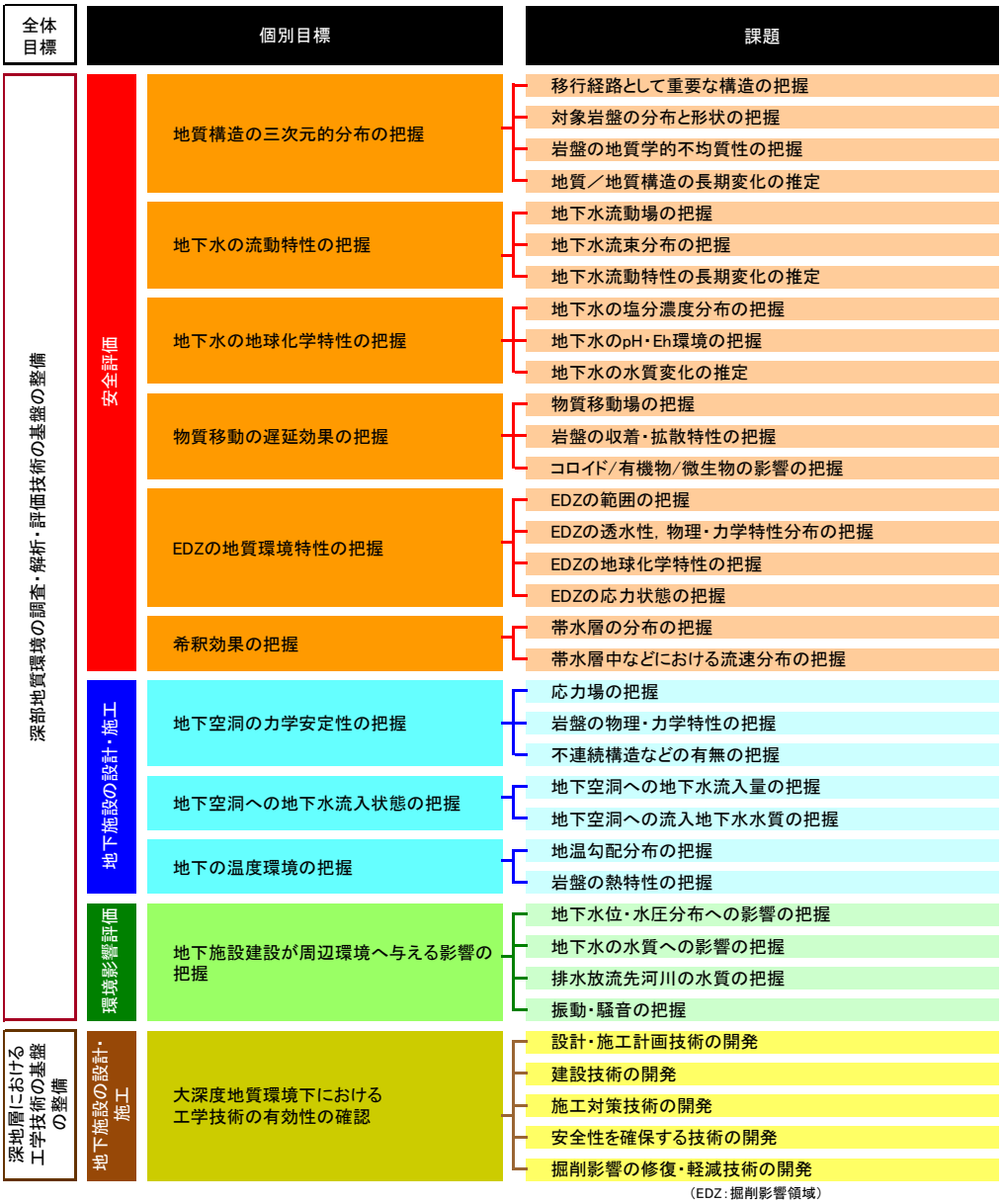


図 2.2-1　調査研究の個別目標と課題 [12]

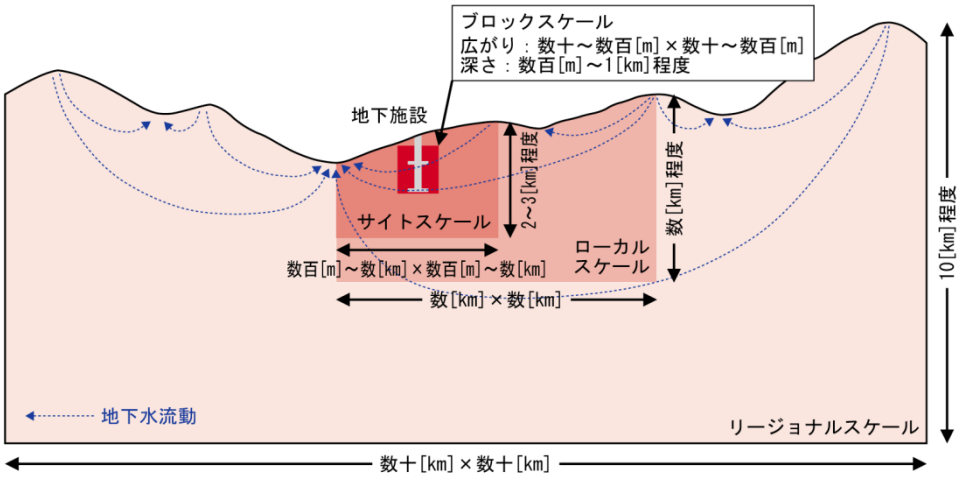


図 2.2-2　空間スケールの概念 [13)]

表 2.2-1　空間スケールの対象範囲と位置付け [13)]

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

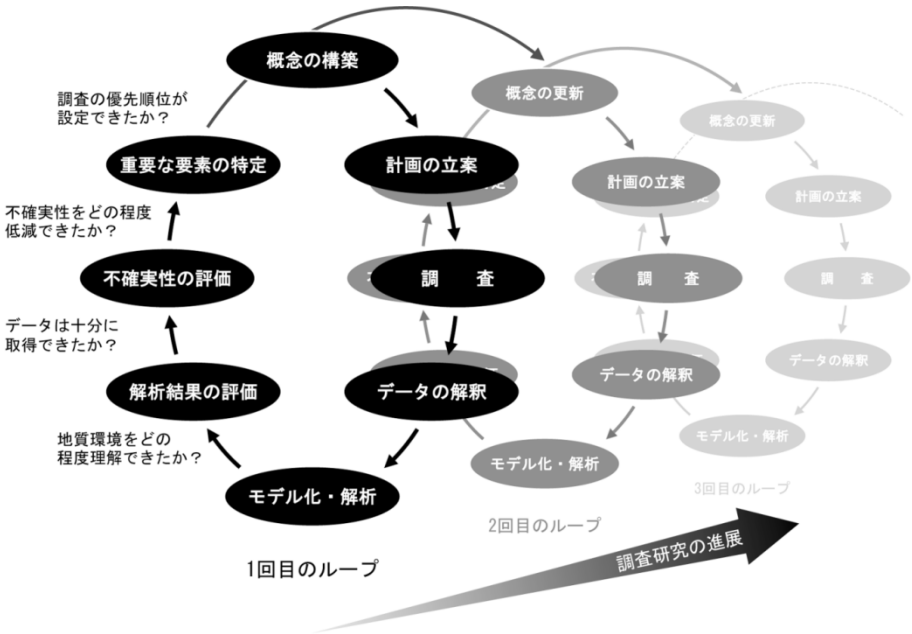


図 2.2-3　調査研究の繰り返しアプローチ [13)]

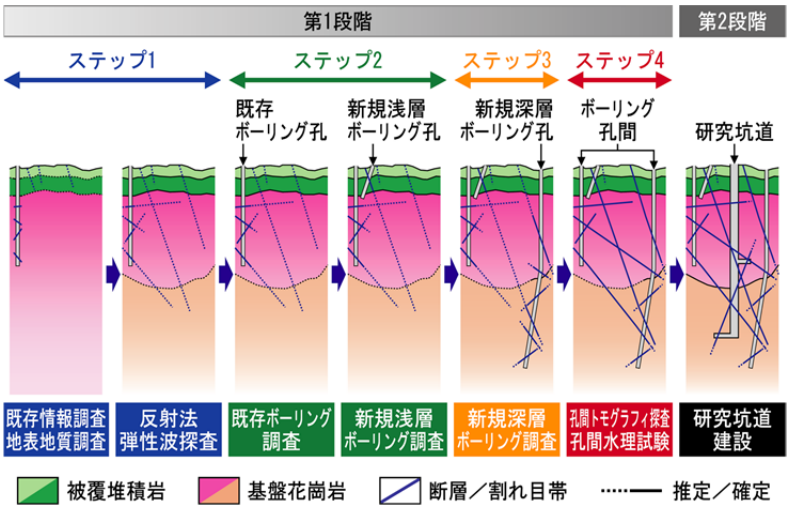


図 2.2-4　研究所用地における第 1 段階から第 2 段階にいたる調査研究の進め方 [13)]

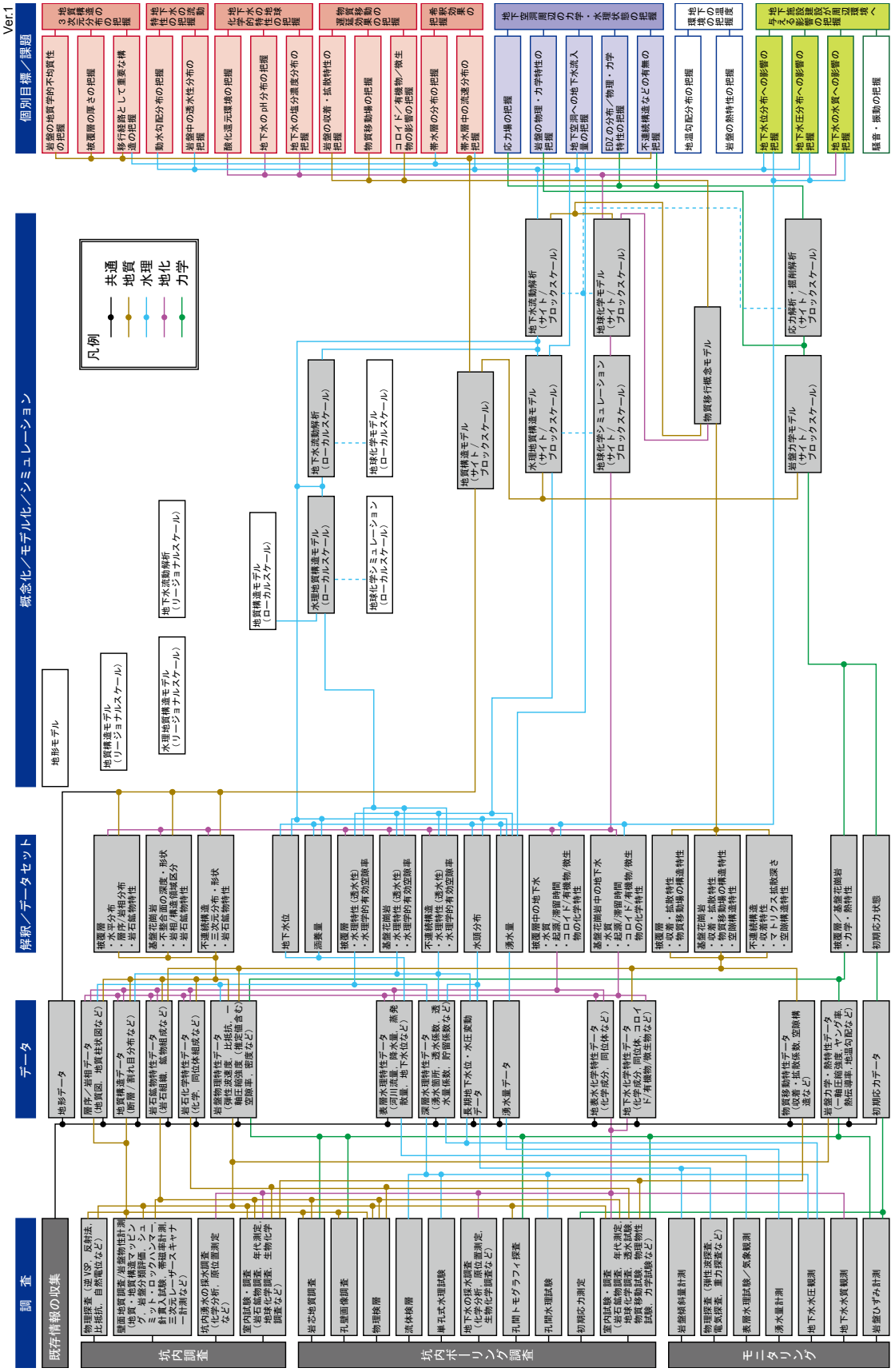
それぞれの空間スケールに繰り返しアプローチを適用して調査研究を合理的に進めていくためには，繰り返しアプローチにおける「調査」→「データの解釈」→「モデル化・解析」の具体的な道すじを示すことが重要と考えられる。本計画では，海外のサイト特性調査の事例 [14)]をも参考にして，第 2 段階における個別目標および課題の達成に向けた，調査からモデル化／シミュレーションに至るデータの流れを系統的に記述・整理する統合化データフロー[14)]を構築し，これに基づいて調査研究を進めている。図 2.2-5 に第 2 段階の調査研究のために構築した統合化データフローを示す。

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，坑道内で実施す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・評価技術の整備を目指す。

本計画の二つの全体目標のうちの「深地層における工学技術の基盤の整備」については，既存のあるいは新たに開発される工学技術を特定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。

本計画では，既存の工学技術を研究所用地において適用し，深部地質環境に関する情報および推定に基づき，地下深部における岩盤の長期健全性，坑道の力学的安定性や耐震性などを解析・評価する。これにより地質環境の変動幅や実施する調査研究に対応可能な研究坑道の詳細設計および施工計画の策定が可能であることを例示する。さらに，研究坑道を実際に施工・維持・管理し，あるいは坑道の掘削による地質環境への影響の修復・軽減のために適用した工学技術の有効性を確認する。実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合や，想定外の事象（大量出水や山はねなど）に遭遇した場合などにおいては，設計変更や対策工の適用により柔軟に対応できることが重要である。そのため，必要に応じて湧水抑制対策などの施工対策技術，施工管理システムや工学材料などの開発・改良を行う。研究坑道においては研究環境の維持・管理および安全確保の技術の適用性を確認し，これに関わる管理体系を構築する。

本目標を達成することにより，地下深部に所要の施設を建設し，研究活動などが安全に実施可能であることを実証することができると期待される。



統合化データフロー（第２段階）（※変更の可能性あり）

図 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 15)

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においては，基盤をなす後期白亜紀の花崗岩（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）[16]。

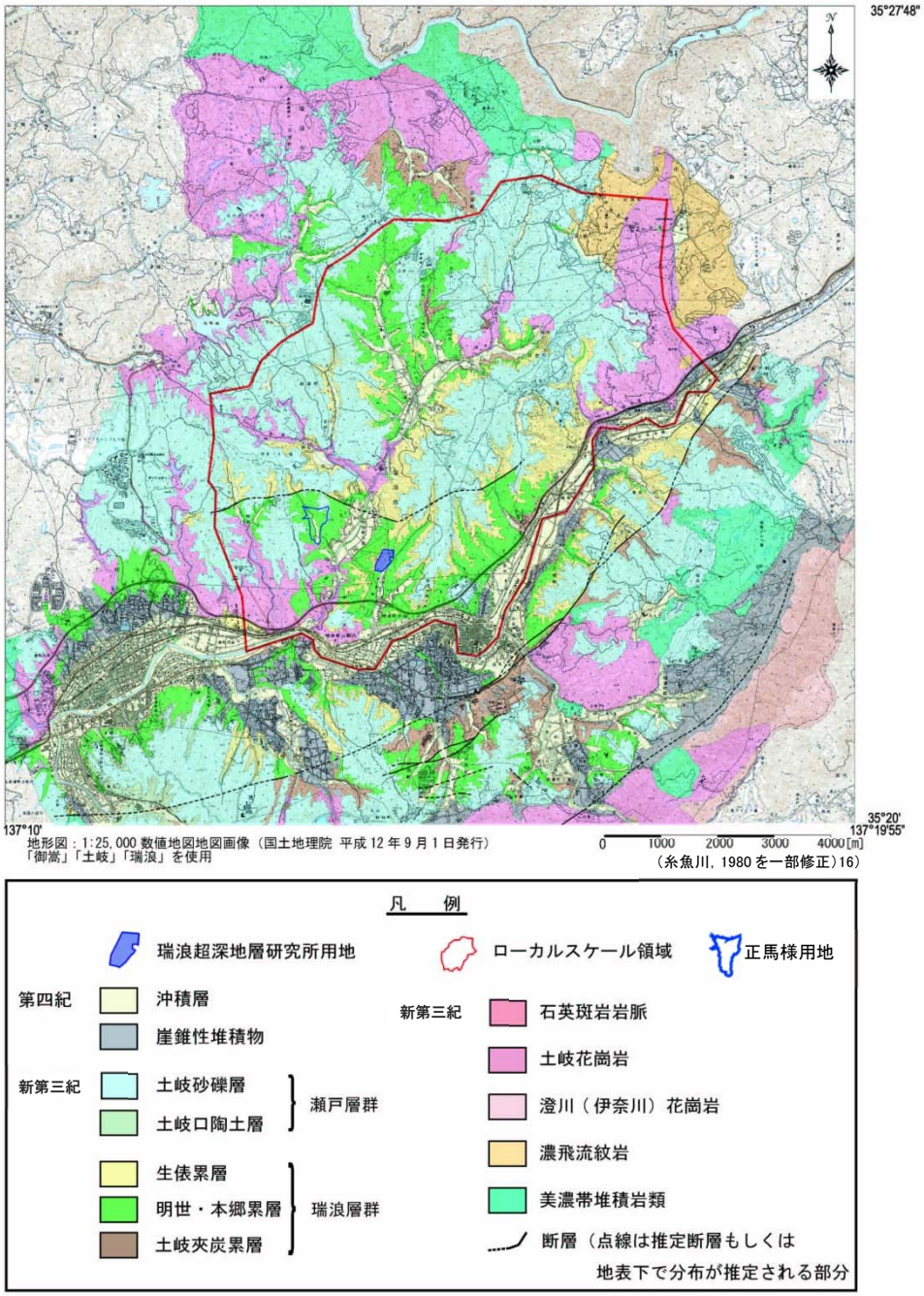


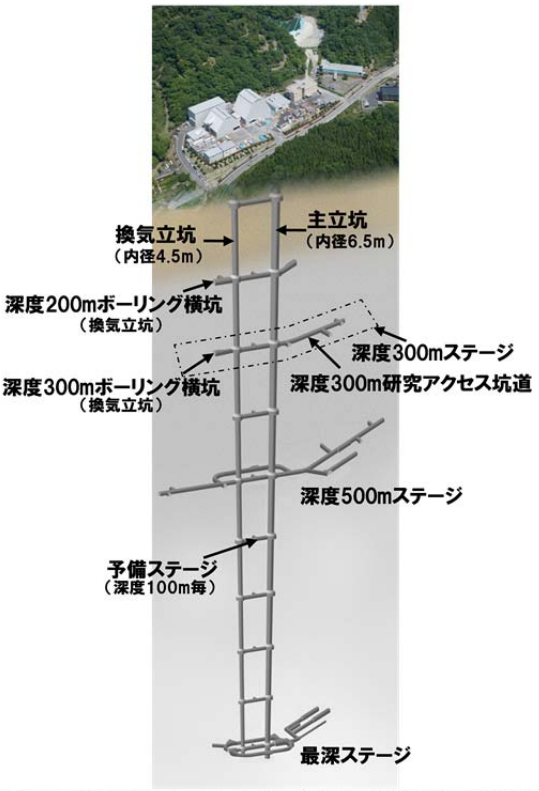
図 2.3-1　超深地層研究所周辺の地質概要

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，地上施設と研究坑道からなる（図 2.4-1，図 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，作業全体に係わ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（深度 500m ステージおよび最深ステージ），深度 300m における水平坑道（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。

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や施工条件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



（坑道の位置や長さなどは計画であり，地質環境や施工条件などにより決定していく。）

図 2.4-2　瑞浪超深地層研究所の研究坑道イメージ図

3. 2012 年度の調査研究および施設建設計画

2011 年度の調査研究においては，第 2 段階の調査研究として，地質や地質構造を把握するために，坑道の壁面調査や深度 300m 研究アクセス坑道において電気探査（自然電位測定）による地下水流動モニタリングを行った。また，これまでに掘削した地上からのボーリング孔を用いた地下水の水圧・水質モニタリングおよび坑道内において掘削したボーリング孔を用いた地下水の水圧・水質や岩盤変位などに関するモニタリングを継続し，これらの結果に基づき，第 1 段階で策定した地質環境モデルを更新した。第 3 段階の調査研究として，坑道で採取した岩石や地下水を用いた室内試験を行うとともに，その結果に基づき岩盤中の物質移動に関する調査研究の計画を策定した。

2012 年度の調査研究においては，第 2 段階の調査研究として，坑道の掘削時の壁面調査や，深度 300m ステージにおいて岩盤の初期応力を把握するためのボーリング調査等を実施する。また，地上および坑道内から掘削したボーリング孔を用いた水理，水質に関するモニタリングを継続し，これらの結果に基づき，第 1 段階の調査研究結果である地質環境モデルの妥当性を確認し第 2 段階における地質環境モデルを更新する。モデルの妥当性確認および更新の際には，モデル構成要素ごとに妥当性を評価し，その結果，妥当でないと判断される場合は，その原因を第 1 段階における調査計画や適用した調査手法／モデル化解析手法の観点で分析する。その結果は，地上からの調査・解析・評価技術の体系的な整理に反映させる。さらに，第 3 段階の調査研究として，これまでの調査研究で取得した地質・地質構造，水理特性，地下水の地球化学特性などに関する情報に基づき，坑道周辺の岩盤における地下水による物質移動概念モデルを構築するとともに，坑道より採取した岩石や地下水を用いた室内試験等を実施する計画である。図 3.1-1 に，研究坑道レイアウトと主な調査位置を示す。

なお，2012 年度に深度 300m ステージにおいて実施予定の岩盤初期応力を把握するためのボーリング調査は，前年度に実施する予定であったが，2011 年 3 月に発生した東日本大震災の影響により実施できなかったものである。

2011 年度の坑道の掘削工事は，主立坑においては深度 481.3m から深度 500.4m まで，換気立坑においては深度 497.7m から深度 500.2m まで進捗した。また，深度 500m の水平坑道の掘削に着手し，立坑と水平坑道との連接部分から主立坑および換気立坑ともに，それぞれ 5m 程度掘削した。

2012 年度の坑道の掘削工事では，深度 500m において水平坑道の掘削を進める計画である（3.4 参照）。

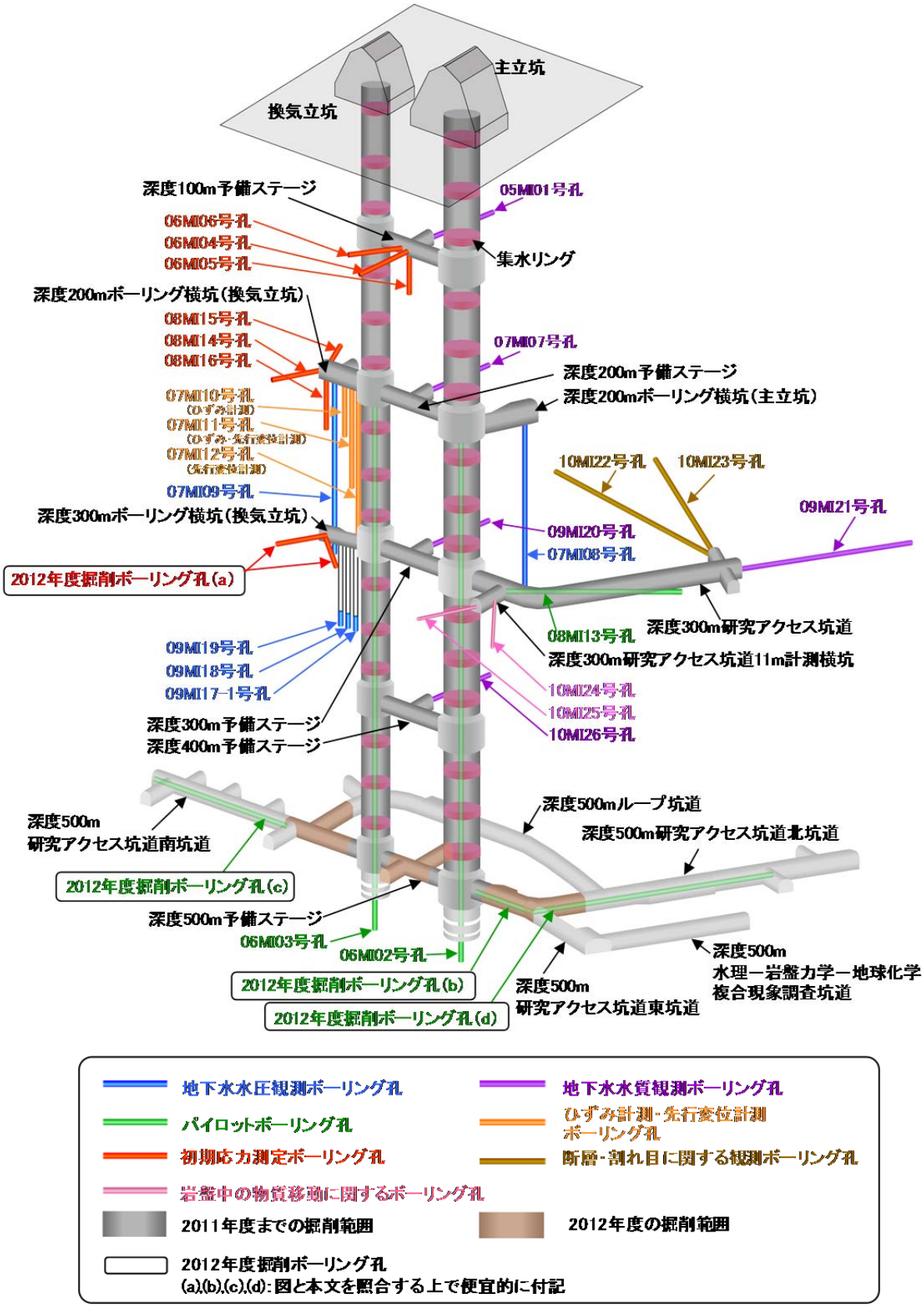


図 3.1-1　研究坑道レイアウトおよび主な調査位置計画図

3.1 瑞浪超深地層研究所用地における第 2 段階の調査研究

3.1.1 地質・地質構造に関する調査研究

2011 年度は，坑道の掘削に伴う壁面地質調査（深度約 480m から 500m まで），坑道周辺の地表と深度 300m ステージを利用した電気探査（自然電位測定）を実施した。また，調査結果に基づき，サイトスケールの地質構造モデルの妥当性確認と必要な更新を行うとともに，深度 300m ステージおよびその周辺を対象としたブロックスケールの地質構造モデルを構築した。

2012 年度は，坑道の掘削に伴う壁面地質調査，逆 VSP 探査，電気探査（自然電位測定）とともに，深度 500m 水平坑道の掘削に先行するパイロットボーリング孔（3.4 参照）を利用した地質学的調査を実施する。これらの結果に基づき，第 1 段階で構築したサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認，更新およびブロックスケールの地質構造モデルを構築する。

(1)調査試験

①物理探査（弾性波探査（逆 VSP 探査），電気探査（自然電位測定））

掘削する坑道の前方や坑道周辺の詳細な地質構造を推定する技術を整備するために，深度 300m ステージを利用して，逆 VSP 探査を実施する。また，坑道周辺の地下水流動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，研究所近傍の地表と深度 300m ステージを利用して，電気探査（自然電位測定）による地下水流動モニタリングを実施する。

②坑道の壁面地質調査

深度 500m の水平坑道の掘削に合わせて観察された土岐花崗岩中の割れ目（帯），断層，変質帯の分布や特徴に関する情報を取得する。

③ボーリング孔を利用した地質学的調査

深度 500m 水平坑道の掘削に先行して実施するパイロットボーリング孔（3.4 参照）を用いて地質学的な調査を実施する。調査では，土岐花崗岩中の割れ目（帯），第 1 段階で実施した MIZ-1 号孔（図 3.1.3-1）などで確認されている北北西走向の断層の性状，主立坑断層周辺に認められている変質帯に関する情報を取得する。

(2)モデル化・解析

3.1.1（1）の調査試験結果に基づき，第 1 段階で構築したサイトスケールの地質構造モデルの妥当性の確認を行うとともに，必要に応じてモデルを更新する。また，坑道周辺に分布する地質構造（割れ目や小規模な断層）を反映したブロックスケールの地質構造モデルの構築を進める。

(3)技術開発

地質構造のモデル化に関する作業を通じて，抽出されたモデル化ソフトウェアの問題点の改善および機能の拡張を適宜実施する。また，地質構造モデルが有する不確実性の評価やその低減を図るための検討として，断層の位置や空間的広がりの確からしさを把握・評価する方法に関して，断層の存在確率を計算するためのベイズ推定法や断層の解釈の根拠となった情報量を定量的に表すためのセルエントロピー[17]による取得情報の評価の考え方などを利用した検討を継続する。

3.1.2 岩盤力学に関する調査研究

2011 年度は，坑道周辺の初期応力状態を把握するため，深度 300m 研究アクセス坑道からの試料を用いて，室内試験による応力解放時の岩石コアの微小亀裂分布の分析から初期応力を推定した。微小亀裂分布の分析には, i) 立方体供試体を用いた静水圧下での変形計測（Differential Strain Curve Analysis），ii）多面体供試体を用いた三次元弾性波速度測定を実施し，両手法で得られた測定結果の比較から，手法の適用性・有効性を検討した。また，深度 300m および深度 400m のボーリングコアを用いた室内試験による岩盤物性測定を行い，坑道周辺の岩盤物性を把握した。さらに，深度 500m までの坑道の掘削で取得した地質データなどに基づき，岩盤物性評価を行った。

2012 年度は，深度 300m ボーリング横坑（換気立坑）において円錐孔底ひずみ法により坑道周辺の初期応力状態を把握する。さらに，坑道の掘削に伴って蓄積される地質データなどに基づいて，第 1 段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性確認を行うとともに，等価連続体による数値解析からブロックスケールのモデル構築のための方法論を検討する。技術開発としては，長期クリープ試験を継続し岩盤の長期挙動に関する観測を行うとともに，坑道周辺のクリープ挙動などの長期挙動把握のための原位置試験計画について検討する。

(1)調査試験

①初期応力測定

深度 300m における岩盤の初期応力状態を把握するため，深度 300m ボーリング横坑（換気立坑）においてボーリング孔を掘削し（図 3.1-1：2012 年度掘削ボーリング孔（a)），応力解放法の一つである円錐孔底ひずみ法による初期応力測定を実施する。また，深度 500m までに得られた岩盤物性を整理し，当該範囲に関する第 1 段階での予測の妥当性確認を継続するとともに，サイトスケールの岩盤力学モデルを更新する。

(2)モデル化・解析

坑道の掘削に伴って蓄積される地質データおよび各種試験結果により岩盤物性評価を試みるとともに，その評価結果に基づき，第 1 段階で構築したサイトスケールのモデルの妥当性を確認する。また，クラックテンソルモデルや MBC（Micromechanics Based Continuum）モデルなどを用い，割れ目を含む岩盤を等価連続体に置き換えた力学解析を継続し，割れ目に関する情報量が解析結果に与える影響などを分析し，ブロックスケールのモデル構築のための方法論を検討する。

(3)技術開発

第 3 段階で行う岩盤の長期挙動予測手法の適用性評価のための原位置試験などの計画策定を目的とする解析・試験を継続する。具体的には，2010 年度までの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による研究の成果を踏まえて，クリープ挙動や熱による坑道周辺岩盤の長期挙動への影響を検討する。また，これらのアプローチによる原位置試験の計画策定に必要な感度解析や物性取得を引き続き行う。さらに, 10 年を超える試験データを蓄積している堆積岩（田下凝灰岩）の長期クリープ試験（1997 年開始）を継続する。

3.1.3 岩盤の水理に関する調査研究

坑道の掘削に伴う地下水の水圧の変化や湧水量の観測結果などに基づき，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，不均質な水理地質構造に起因する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流動解析が必要である。また，この地下水流動解析においては，水圧変動を生じさせる坑道への湧水量を考慮する必要があり，湧水量は主に坑道近傍の覆工コンクリートや掘削影響領域の形成による湧水の増減などの水理学的影響（スキン効果）やグラウトの影響を強く受けることが明らかとなっている。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（図 3.1.3-2）を検討する。

2011 年度は，坑道近傍のスキン効果を把握するために実施している坑道から掘削されたボーリング孔での地下水長期モニタリング，ならびに坑道の掘削が地下水の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を継続した。また，表層水理（気象要素，河川流量，地下水位，土壌水分）観測についても継続した。深度 300m 研究アクセス坑道から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：10MI23 号孔）においては，主立坑断層近傍の地下水の水圧分布の把握などを目的とした地下水長期モニタリングを実施した。これらの観測結果を用いて水理地質構造概念モデルを更新した。

2012 年度も，2011 年度と同様に坑道の掘削に伴う地下水流動場の変化を把握するための地下水長期モニタリングなどを継続する。また，これまでに蓄積されたデータおよび新たに取得されるデータ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，モデルの妥当性を確認する。さらに，モデルの妥当性確認や更新を通じて，第 1 段階で提示した地下水流動特性を段階的に調査・評価するための方法論の適用性を評価するとともに適宜見直しを図る。

また，上記に関連した技術開発として，水圧モニタリング技術および水理地質構造モデルの更新手法を整備する。

(1)調査試験

①立坑の集水リングを用いた湧水量計測

坑道掘削により生じる湧水は，坑道周辺の地下水流動場に影響を与えると考えられることから，湧水量の経時変化や立坑沿いでの深度別の湧水量の違いを把握するために，深度 100m ごとに 4 箇所程度設置している集水リング（図 3.1-1）の流量計で，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している。また，立坑掘削に伴って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している。

2012 年度は，2011 年度に引き続き，これまでに設置された集水リングを用いた湧水量計測を継続するとともに，流量計のメンテナンス方法の検討を継続する。

②研究坑道近傍のボーリング孔を用いた地下水長期モニタリング

坑道の掘削に伴う湧水量や地下水位・地下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，坑道近傍におけ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，地表から主立坑沿いに掘削したボーリング孔（図 3.1.3-1：05ME06 号孔），深度 200m ボーリング横坑（主立坑）から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：07MI08 号孔）および深度 200m ボーリング横坑（換気立坑）から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：07MI09 号孔）を用いて，立坑切羽（底面）が通過する前から実施して

いる各深度の地下水圧の観測を継続し，立坑掘削が地下水の水圧に及ぼす影響を把握するとともに，坑道近傍での水平方向の地下水圧分布を把握するため，深度 300m ボーリング横坑（換気立坑）において立坑壁面からの距離を変えて掘削した 3 本のボーリング孔（図 3.1-1：09MI17-1 号孔,09MI18 号孔,09MI19 号孔）での，深度 350m 付近を観測区間とした地下水圧の観測を継続する。

また，深度 300m 研究アクセス坑道から掘削・調査を実施したボーリング孔（図 3.1-1：10MI23 号孔）では，主立坑沿いに分布する断層の北東側の領域を対象に，立坑掘削に伴う地下水圧の変化を把握するための地下水圧の観測を継続する。

③研究坑道周辺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

坑道の掘削が地質環境に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（図 3.1.3-1：MSB-1 号孔，MSB-3 号孔および MIZ-1 号孔），表層水理観測（図 3.1.3-1）を用いた連続観測を継続するとともに，傾斜計（図 3.1.3-1：04ME02 号孔，04ME03 号孔，04ME04 号孔および 04ME05 号孔）を用い微小な地表傾斜の観測を実施する。これらの観測で得られるデータに基づき，サイトスケールの水理地質構造モデルを更新する。

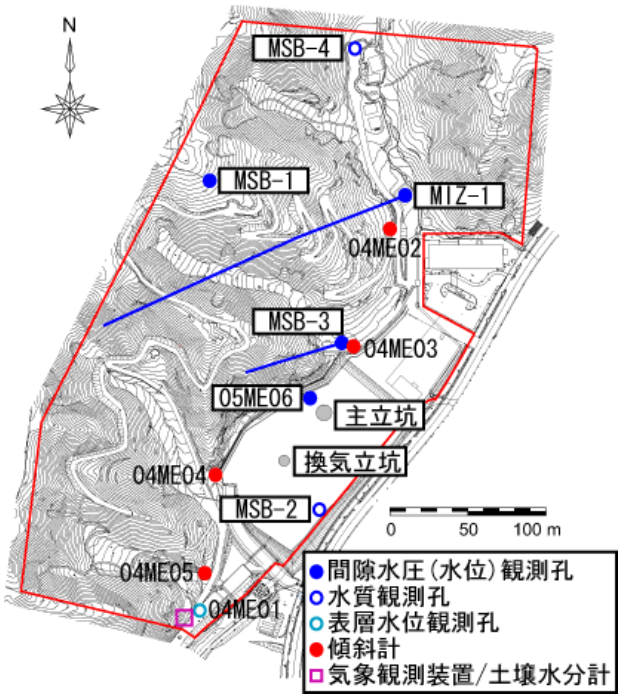


図 3.1.3-1　研究所用地内観測位置図　（原図は瑞浪市都市計画基本図）

(2)モデル化・解析

これまでに整理した水理地質構造モデルの更新の流れ（図 3.1.3-2）に基づき，地表および坑道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や，坑道からの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の妥当性確認および更新を行う。さらに，更新したモデルに基づく地下水流動解析を実施し，立坑への湧水量や地下水流動場の変化を予測し，今後の研究坑道の施工計画および第 3 段階の調査研究計画に反映させる。

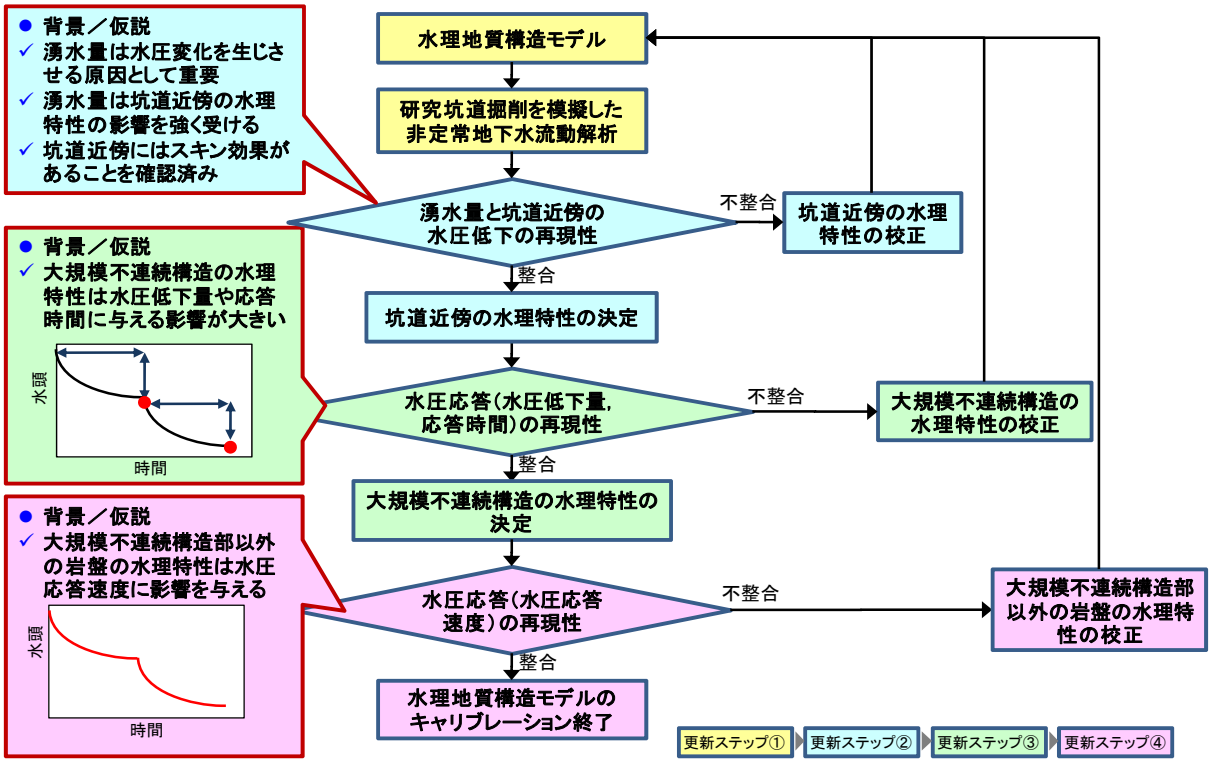


図 3.1.3-2　水理地質構造モデルの更新の流れ

(3)技術開発

①水圧モニタリング装置の適用性の検討

これまでに，坑道および地表からのボーリング孔における地下水長期モニタリングを通して，水圧モニタリング装置の耐久性やモニタリング装置の特徴に合わせたメンテナンス方法を確認してきている。2012 年度についても，実際の観測，メンテナンス作業を通じて，水圧モニタリング装置の耐久性やメンテナンス方法の確認を継続する。さらに，実際の観測を通じて得られた情報を基に，水圧モニタリング装置の長期モニタリングに対する適用性や観測における留意点，モニタリング装置の選定に資する知見を集約する。

②地質環境データ解析・可視化システムの構築

これまでに，サイトスケールの地質構造／水理地質構造モデルの構築・更新およびそれを用いた地下水流動解析を，高い信頼性を保持しつつ迅速に実施することを目的に，地質構造／水理地質構造のモデル化・地下水流動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してきた。具体的には，空間領域離散化の方法の改良や，パラメータ設定に係る機能拡張，解法の改良などを実施するとともに，その都度改良したシステムの信頼性を理論解や汎用的な解析コードによる解析結果との比較検討をしてきた。

2012 年度は，引き続き地質構造／水理地質構造のモデル化・地下水流動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。

③逆解析を用いたモデル化・解析手法の構築

坑道掘削に伴う地下水流動場の変化に関するデータに基づく水理地質構造モデルの更新を支援

することを目的として，水圧変化データや湧水量データを用いた水理地質構造を推定するための地下水流動の逆解析手法を構築する。

3.1.4 地下水の地球化学に関する調査研究

2011 年度は，既存ボーリング孔（図 3.1.3-1：MSB-2 号孔，MSB-4 号孔および MIZ-1 号孔，図 3.1-1：07MI07 号孔，09MI20 号孔，09MI21 号孔および 10MI26 号孔）を用いた地下水水圧・水質観測，坑道内における壁面および集水リングを用いた坑内湧水の地下水水圧・水質観測を継続した。また，得られた水質観測結果に基づき，坑道掘削に伴う地下水水質分布の変化に関する概念モデルを構築したほか，構築した概念モデルを解析的に再現するための検討を行った。

2012 年度は，第 2 段階の調査研究として，研究所用地内の水質分布と坑道掘削が周辺の地球化学環境へ与える影響の把握を目的とした地下水水質観測を用地内で継続する。また，これらの水質観測結果に基づき，坑道掘削を考慮した地下水流動状態の変化に伴う水質分布の変化に関する解析を行い，初期条件として設定する第 1 段階での調査結果の妥当性を確認するとともに，今後の坑道掘削に伴う水質分布の変化を予測するための手法を構築する。その他，第 3 段階での調査研究のひとつである「物質移動特性の評価に関する研究」（3.2 参照）に関する基盤情報を取得するため，コロイド，微生物，有機物に関する研究を実施する。

(1)調査試験

①坑道壁面および集水リングを用いた坑内湧水の地下水水質観測

坑道壁面での切羽湧水および集水リングより坑内湧水を採水し，測定・分析を行う。採水の頻度は，切羽湧水については観察時の 1 回とする。集水リングについては，これまでの観測結果を考慮し設置後 6 箇月間は 1 回/週，6 箇月以降から 2 年目までは 1 回/月，2 年以上が経過した集水リングからは 4 回/年とし，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，主要成分濃度，安定・放射性同位体濃度などであり，得られる試料の品質に応じて分析項目を選定する。

②研究坑道からのボーリング孔を用いた地下水水質観測

各予備ステージから掘削したボーリング孔（深度 200m 予備ステージ：07MI07 号孔，深度 300m 予備ステージ：09MI20 号孔，深度 300m 研究アクセス坑道：09MI21 号孔，深度 400m 予備ステージ：10MI26 号孔）（図 3.1-1）に設置した水質連続モニタリング装置を用いて，地下水の水質および水圧観測を継続する。各ボーリング孔では，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，設定した区間ごとに地下水を定期的に採水・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，主要・微量化学成分濃度，溶存ガス濃度，安定・放射性同位体濃度などである。具体的な分析項目は，採取する試料の品質や採取頻度を踏まえて決定する。また，坑道における他のボーリング調査により採取される地下水についても，採水し分析を行う。その他，地下水中の天然コロイドを定性・定量的に把握することを目的とした調査や地下水中の微生物の群集組成や代謝活性に関する調査を実施する。

③地表からのボーリング孔を用いた地下水水質観測

MSB-2 号孔および MSB-4 号孔（図 3.1.3-1）における水質分析と間隙水圧測定（それぞれ各区間 1 回/月）を継続して行う。また，MIZ-1 号孔（図 3.1.3-1）においても採水調査（1 回/年）を実施する。

(2)モデル化・解析

坑道掘削による水質分布の変化に関する概念モデルを構築するため，これまでに観測した水質分布の変化を再現するための数値解析を実施し，その際に適用した手法を整理する。具体的には，これまでの第 2 段階での調査研究結果によって検討した，坑道掘削に伴う水質分布の変化に関する概念モデルに基づき，第 1 段階で得られた水質分布を初期状態とした三次元非定常移流分散解析を実施する。また，解析結果を第 2 段階で得られた水質データと比較し，解析方法の検討を行う。

(3)技術開発

2012 年度は，地下水中の有機物の特性（有機物のサイズや種類，起源等）を把握することを目的とした技術開発を実施する。これまでの微生物およびコロイドに関する調査研究において，地下水中の有機物がコロイドを形成していることや微生物のエネルギー源として有機物が重要であることなどがわかってきている。ただし，研究所用地に分布する地下水の有機物濃度は低いため，2012 年度は有機物の特性を把握するための最初の段階として，地下水中の有機物を捕集するための技術開発を行う。

3.1.5 深地層の工学技術の基礎の開発

2011 年度は，瑞浪超深地層研究所の深度 500m までの建設工事を通じて得られた情報に基づき，既存の設計技術，掘削技術，対策工，安全対策に関連する技術等について，それらの有効性の評価などを行った。

2012 年度は，2011 年度に引き続き，建設工事を通じて得られた情報に基づき，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に関連する技術の有効性を確認・評価していく。

(1)実施内容

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 2012 年度における具体的な実施内容を示す。

①計測工

坑道掘削中は，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，深度 500m の水平坑道掘削範囲で実施あるいは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（光波測距）

b) B 計測
・湧水量計測
・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

c) C 計測
・壁面観察（観察場所；深度 500m 水平坑道（約 1.3m ごと））
　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

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，深度 500m までの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，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，初期応力など）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させる。

また，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の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，2006 年度に換気立坑深度 100m 地点に設置した地震計，2009 年度に換気立坑深度 300m 地点に設置した地震計，2010 年度に主立坑深度 300m 地点に設置した地震計および 2011 年度に換気立坑深度 500m 地点に設置した地震計により，地震動計測データの収集を継続する。地表部の地震動計測データについては，2004 年度に換気立坑工区施工請負者（清水・鹿島・前田共同企業体）が換気立坑の坑口付近に設置した地震計の計測データの提供を受ける。

3.2 瑞浪超深地層研究所用地における第 3 段階の調査研究

3.2.1 物質移動に関する調査研究

2011 年度は，「高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」[9]，「超深地層研究所 地層科学研究基本計画」[7]および「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－」[12]に基づき，地下水による物質移動に関する調査研究（以下，物質移動研究）の目的を設定し，調査計画を検討した。その結果，物質移動研究では，坑道周辺の岩盤（土岐花崗岩）において，

- 物質移動に関わるパラメータ値（間隙率，収着・拡散係数など）の測定技術
- 物質移動に関わるモデル化・解析・評価技術

に関する研究を行い，物質移動に関する理解を進め，物質移動に関する体系的な調査技術を整備することを目的とした研究計画を立案した。

坑道周辺に認められる割れ目や断層のような不連続構造は，割れ目の方向，周辺の変質の程度，充填鉱物の有無などの観点に基づいて，類型化できることが示されつつある。しかし，割れ目周辺の変質の程度，充填鉱物，周辺の間隙率などの情報については，定量的に把握されていないことから，電力中央研究所との共同研究として岩石・鉱物試験（薄片観察，空隙率測定，陽イオン交換容量の測定など）を実施した。また，深度 300m 研究アクセス坑道において，坑道周辺の割れ目の連続性の確認やグラウト材を用いた研究を行うための岩石試料採取を実施した。

2012 年度は，既存の地質環境に関する情報を整理し，坑道周辺（ブロックスケール）の物質移動モデルの構築や物質移動解析を行うとともに，坑道より採取した岩石や地下水を用いた室内試験等を実施する計画である。

また，2010 年度から実施している電力中央研究所との共同研究においては，深度 300m ステージ，深度 200m ボーリング横坑（換気立坑）または深度 400m 予備ステージのいずれかの場所において，ボーリング調査を実施する計画である（5.（1）参照）。

これらの原位置試験，室内試験，物質移動モデルの構築・更新および物質移動解析については，東海研究開発センターと共同して実施する計画である。

(1)調査試験

・物質移動研究に関する室内試験

坑道周辺に分布する割れ目は，これまで地質調査の結果に基づき 4 種類の割れ目と 1 種類の断層に分類されているが，これらの種類ごとの物質移動特性については，十分に把握されていない。そのため，2010 年度は，4 種類の割れ目を対象として，深度 300m 研究アクセス坑道でのボーリング調査（図 3.1-1:10MI22 号孔，10MI23 号孔）で採取したコア試料を用いて，間隙率測定と収着・拡散試験を室内試験で測定した。

間隙率測定の結果，分類された割れ目ごとに有意な差は確認できなかった。この原因としては，割れ目の影響により間隙率が変化した範囲が割れ目表面のごく近傍であり，岩石カッターで切断したり，研磨したりするなどの前処理により除去されてしまったため，割れ目による影響がない試料の間隙率を測定した可能性が考えられる。このことから，今後，試料採取位置や前処理の方法を検討し，割れ目のごく近傍の試料を対象に間隙率測定を行うことが必要であると考えられる。

また，収着・拡散試験については，岩石の間隙率が小さく，また，拡散試験の試験期間が短く，破過曲線を十分に取得できなかったことから，室内試験を継続する必要性が確認された。さらに，分類された割れ目ごとの物質移動特性を検討できる試験結果が少ないため，今後も継続して分類した割れ目ごとの物質移動特性に関するデータ蓄積の必要性が明らかにされた。

そこで，2011 年度は，これらの 4 種類の割れ目を対象として，割れ目の充填鉱物，周辺の間隙

率などの岩石・鉱物学的特徴を定量的に把握するために，深度 300m 研究アクセス坑道でのボーリング調査（図 3.1-1:10MI22 号孔,10MI23 号孔）で採取したコア試料を用いて，電力中央研究所との共同研究として岩石・鉱物学的試験を実施した。

2012 年度は，室内試験手法の品質確認および試験手法の更新，坑道周辺の割れ目の物質移動に関するパラメータを統計的に整理するためのデータ取得および原位置と室内試験結果の補完に関する方法論の整備に資する室内トレーサー試験を継続する。試験試料は，電中研との共同研究により取得したコア，坑道から採取した岩石や地下水および海外の岩石試料などを用いる。

(2)物質移動研究におけるモデル化・解析

・原位置の既存情報に基づく坑道周辺の物質移動モデルの構築と物質移動解析

地質環境特性に関する既存情報（地質・地質構造，岩盤の水理特性，地下水の地球化学特性など）に基づき，原位置試験を実施する場所を対象として，坑道周辺の数 m～50m のスケールの物質移動モデルを構築するとともに，物質移動において重要なパラメータを確認するための感度解析を行う。

(3)物質移動研究に関する技術開発

・調査から解析までの体系的な調査技術の構築

物質移動研究に関する調査から解析までの体系的な調査技術を構築するために，2012 年度は，2011 年度までに実施した室内試験手法についての結果のとりまとめと，国内外の事例を参考として，手法の妥当性，適用性およびデータの品質を確認する。また，必要に応じて，室内試験手法の更新についての考え方を提示する。

3.2.2 坑道周辺岩盤の地質環境特性の評価に関する調査研究

第 3 段階では，坑道掘削がもたらす坑道周辺の水理・力学・地下水の地球化学に関する複合現象を把握・評価する技術の構築を目的とした原位置試験や，坑道周辺に施される対策工（グラウト，吹付コンクリート，ロックボルト，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・評価するための施工対策影響評価試験などの，坑道周辺岩盤の地質環境特性の評価に関する調査研究を実施する計画である。2012 年度は，昨年度に引き続き海外の地下研究所や国内（東濃鉱山や釜石鉱山）での先行事例および実施主体のニーズ等を整理し，これら原位置試験計画の策定を進める。

3.3 正馬様用地における調査研究

2011 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動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。

2012 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 3.3-1）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・土壌水分の観測を継続して実施する。

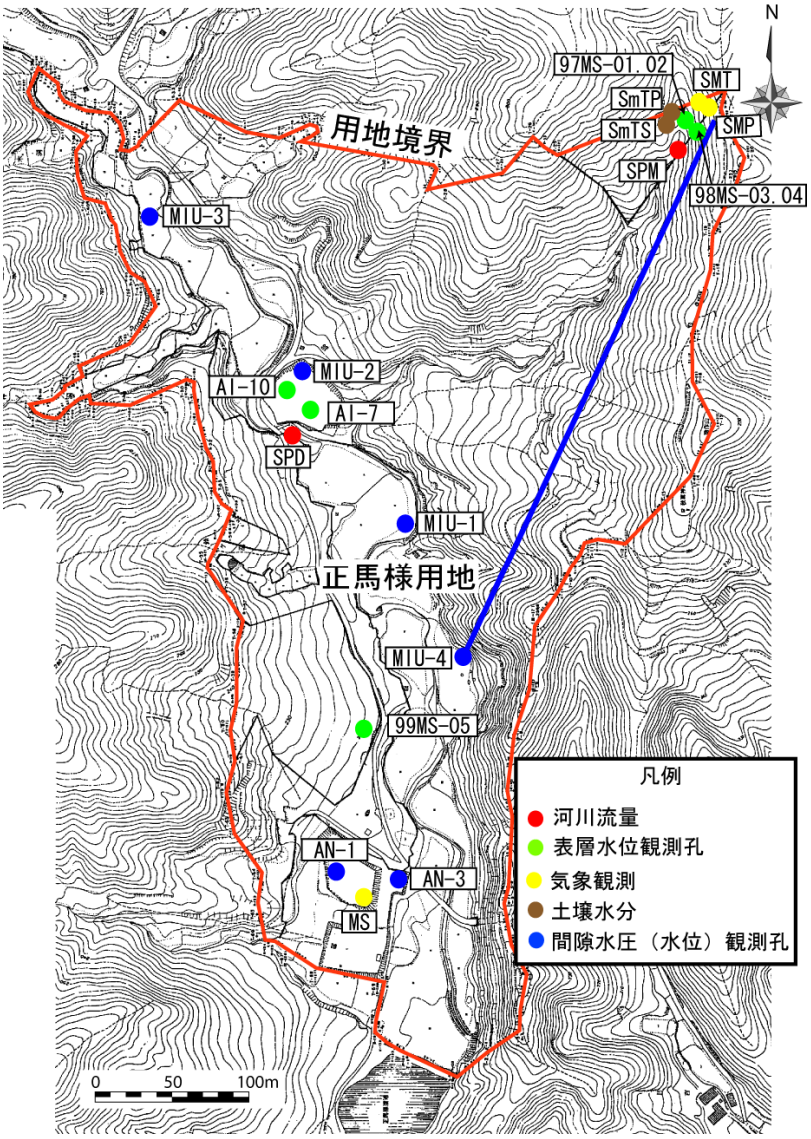


図 3.3-1　正馬様用地内における観測施設位置図 [11]（原図は瑞浪市都市計画基本図）

3.4 瑞浪超深地層研究所用地における施設建設計画

(1)施設建設

2012 年度は，深度 500m において水平坑道を 100m 程度掘削する（図 3.1-1）。また，掘削に際しては，前方の地質環境を把握するためにパイロットボーリング調査（図 3.1-1：2012 年度掘削ボーリング孔（b）（長さ約 35m），（c）（長さ約 85m），（d）（長さ約 105m））および探り削孔を行い，事前に湧水の可能性を確認する。

坑道掘削工事に伴い発生する坑道内の湧水は，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原子力機構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環境保全を最優先としつつ対応を進めていく。

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」に基づき測定を行い，管理を継続して行う。

(2)周辺環境モニタリング調査

2012年度は,2011年度に引き続いて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

（流量測定）

研究所用地の近傍を含む狭間川の上流，下流において計 4 地点で河川流量測定を実施する。

（水質分析）

坑道掘削工事に伴う立坑からの排水の放流先である狭間川の水質調査として，排水口の上流および下流の計 2 箇所で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。また，狭間川の上流，下流，立坑湧水および排出水の塩化物イオン濃度を計測する。

・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

2012 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地質環境の長期挙動に関する研究

地上からの調査等によって取得される情報を活用して，地質環境特性の長期挙動を記述するための一連の調査・解析手法を整備する。2012 年度は主に，地質・地質構造の形成発達モデルについて検討するとともに，表層水や地下水の水質・同位体組成および生物化学データ等を用いて構築された地球化学モデルに基づき長期変化を考慮した地下水流動解析手法について検討する。

②地質環境調査の体系化，知識化に関する調査研究

地層処分における安全評価・設計に必要な情報を取得するための手法に反映することを念頭に地質環境調査手法および評価手法を体系化するとともに，実施主体や規制機関などに提供可能な情報として知見を整理する。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・解析の流れや，それらを実施するうえでの知見や判断根拠などを整理する。

③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）の運用を継続するとともに，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，知見などを管理・共有するためのデータベースおよび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・施設利用の 2012 年度計画

2012 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利用を行う予定である。

(1) 共同研究計画

①一般財団法人 電力中央研究所：瑞浪超深地層研究所周辺の水理・物質移動特性評価および地下水年代測定技術に関する研究

地下水の年代測定技術，物質移動の現象の理解や，それに関わるパラメータを取得するための調査技術について，実際の地質環境への適用性の確認を目的として，電力中央研究所との共同研究を実施している。

2011 年度は，地下水の流動方向を考慮して実施した地下水年代測定調査の結果，正馬様用地周辺の深層ボーリングにおいて地下水の年代が 1 万年程度であること，^{14}C 年代値については，地化学反応による希釈の補正が必要であることが明らかとなった。また，物質移動に関する研究では，坑道周辺に認められる割れ目や母岩を対象として，岩石・鉱物特性を把握するために，2010 年度に深度 300m 研究アクセス坑道 11m 計測横坑におけるボーリング孔掘削で取得したコアを用い，岩石・鉱物学試験を開始した。

2012 年度は，深度 300m ステージ，深度 200m ボーリング横坑（換気立坑）または深度 400m 予備ステージにおいて，割れ目の特徴（割れ目充填鉱物の特徴，水理学的特徴および連続性など）を理解する手法を構築することを目的として，ボーリング孔を掘削する。また，ボーリングコアを用いた室内試験を実施する。地下水年代測定技術に関する研究では，研究所周辺の地下水年代について検討するために，坑道内において地下水の採水や，地化学反応による ^{14}C 年代値の補正を実施するために，コアの採取・分析と地化学解析を実施する。

②独立行政法人 産業技術総合研究所：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

地下深部の地球化学環境形成に係る生物化学的プロセスの影響や，その変化の予測手法に関する調査手法を確立することを目的として，原位置における微生物の代謝活性様式や，その栄養源となる有機物の濃縮を行い，地下深部における生物化学的プロセスを推定する。2011 年度は，坑道内から掘削したボーリング孔（図 3.1-1：07MI07 号孔,09MI20 号孔,09MI21 号孔および 10MI26 号孔）および地表から掘削したボーリング孔（図 3.1.3-1：MSB-2 号孔および MSB-4 号孔）を用いた調査を行い，各深度における微生物の群集組成の経時変化を把握するとともに，その変化を支配する要因について検討した。2012 年度については，これまでに代謝様式が把握できていない微生物の代謝様式を把握するための方策を検討していく。

③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，両機関の地下の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。

2011 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，力学調査）および地質環境のモデル化技術について，第 8 回技術検討会議（於：韓国 大田）を実施した。

2012 年度は，主に地質環境調査および地質環境のモデル化技術について，第 9 回技術検討会議を開催する。

④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における調査計画の立案・実施に関する技術的支援およびグリムゼル試験場における長期拡散試験

Nagra がこれまでに蓄積してきたサイト特性調査，地下研究施設（グリムゼル原位置試験場やモンテリ試験場など）での調査計画および管理運営に関する経験などに基づいて，超深地層研究所計画で実施する地質環境調査に対する技術的な助言や，研究成果のレビュー等を実施する。また，グリムゼル原位置試験場では，結晶質岩を対象に原位置トレーサー試験のひとつとして，放射性の元素を用いたマトリクス拡散現象を定量的に把握することを目的とした長期拡散試験（Long-Term Diffusion: LTD）プロジェクトを進めている。本プロジェクトには，原子力機構を含む 4 機関が参加し，実際に放射性の元素を用いた試験やモデル化手法の構築に関する研究を実施している。また，原子力機構では，このような試験に関する知識やノウハウを収集整理し，知識ベースとして蓄積している。

2011 年度は，第 3 段階の調査研究として実施する物質移動研究の全体計画と，2012 年度の原位置試験の計画について議論し，調査研究計画に反映した。また，地上からの調査段階で実施したボーリング調査中の水理試験に関する品質マネジメントシステムの構築に関する共同研究を行うとともに，それにかかわる技術ワークショップを実施した。

2012 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 3 段階の調査研究計画や実際の試験現場での技術的助言および第 2 段階までの研究成果をレビューするとともに，品質マネジメントシステムに関する技術ワークショップを開催する計画である。また，グリムゼル試験場における長期拡散試験に関するプロジェクトでは，既存情報に基づいて実施した予測解析と同じモデルを用い，実際に原位置試験や室内試験により取得した物質移動特性に関する情報を用いて事後解析を実施するなど，物質移動解析技術の適用性確認に資する。

⑤学校法人 東海大学：種々の計測結果に基づく深部岩盤中の応力評価に関する基礎的研究

坑道の発破掘削後に認められる装薬孔残部の観察結果に基づく初期応力評価法の適用性検討やブロックスケールおよびサイトスケールの応力状態の理解のために間接的な応力場評価手法（断層条線方向からの応力推定法，GPS 観測結果に基づく主応力方向推定法，地震発生機構の解析による主応力方向推定法など）の適用を，研究所で取得される様々な情報を用いて実施する。

原子力機構では，水圧破砕法や応力解放法といった原位置測定法および DSCA 法などのコア法による初期応力の評価に取り組んでいる。これらの方法は多数の実績があり，評価方法が確立している。一方，東海大学では，発破後の残存装薬孔，断層の条線，GPS 観測結果など既存のデータを解析することにより初期応力を評価する方法を検討している。東海大学が新たに提案する方法による評価結果と原子力機構が実施している方法による評価結果を比較し，東海大学が提案する評価方法の有効性を検討する。

2011 年度は，不連続面の情報の取得や発破掘削時に見られる装薬孔残部周辺の損傷状況に関するデータ取得方法の検討などを継続して実施した。

2012 年度は，深度 500m ステージ掘削の壁面観察時に装薬孔残部周辺の損傷状況のデータを取得し，初期応力の評価を実施する。

⑥西松建設 株式会社：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

岩盤の力学モデルを構成する岩盤パラメータは，割れ目の少ない比較的良好な岩盤から局所的

に採取した岩芯より取得しており，割れ目を含み不均一性を有する原位置岩盤を取り扱う際の物性パラメータとは異なるものと予想される。そこで，原位置岩盤を，その不均一性や割れ目の影響を含めて，より広範に評価することを目的として，削岩機などの掘削機械から得られる情報により計算される掘削体積比エネルギーを用いて，原位置岩盤の物性を評価する手法を検討する。

2011 年度は，削岩機を用いた掘削体積比エネルギーの測定および測定データの解析評価のための原位置測定機器の検討・準備を実施した。また，ハンドドリルを用いた掘削体積比エネルギーによる岩盤評価のための基礎実験を行った。

2012 年度は，削岩機を用いた掘削体積比エネルギーの測定および測定データの解析評価を実施する。また，ハンドドリルを用いた掘削体積比エネルギーによる岩盤評価の原位置適用試験を実施する。

⑦株式会社 東京測器研究所：光ファイバひび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

深地層の工学技術の開発のうち，安全対策に関する技術の有効性確認の一環として，同社が開発した光ファイバひび割れセンサの有効性確認を目的とした共同研究を 2011 年度より開始した。

2011 年度は，瑞浪超深地層研究所深度 300m レベルで，温度・湿度環境が異なる 3 箇所（深度 300m ボーリング横坑（換気立坑），避難所および深度 300m 研究アクセス坑道 11m 計測坑道）に同センサを設置し，設置に使用している接着剤の長期耐久性を確認する試験を実施した。2012 年度は，引き続きセンサ設置部の長期耐久性に関する確認試験を継続する。

(2)施設利用計画

①公益財団法人 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。

2011 年度は，2010 年度に引き続き，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，研究坑道を利用した東濃地震科学研究所の調査研究に協力した。具体的には，東濃地震科学研究所は，2006 年度に深度 100m 予備ステージ中央部付近に設置した傾斜計，2007 年度に同予備ステージに設置した地震計，2008 年度に深度 200m ボーリング横坑（換気立坑）内に設置した応力計，傾斜計および地震計による連続観測を実施するとともに，2010 年度に実施した深度 100m での重力観測結果に基づき，深度 300m 研究アクセス坑道終端部において重力計を設置し，観測を開始した。原子力機構は，これらの観測および作業に協力した。

2012 年度は，これまでに設置した傾斜計，地震計，重力計等の連続観測を実施するとともに，深度 300m 研究アクセス坑道 11m 計測横坑におけるボーリング掘削および応力計の設置，また，研究坑道内に地震計を増設する計画であり，これらの観測および作業のための協力を継続する。

②国立大学法人 名古屋大学

名古屋大学素粒子宇宙起源研究機構（以下，名古屋大学）は，スイスの欧州原子核研究所で人工的に作ったニュートリノビームを 730km 離れたイタリアの研究所へ照射し，ニュートリノが質

量を持つことを証明するための国際共同実験（OPERA 実験）に参加している。この実験においては，放射線の飛跡を検出するために原子核乾板が使用されている。原子核乾板の保管は，宇宙線の蓄積を抑えることが重要であることから，名古屋大学より，低宇宙線環境である研究所の研究坑道内を原子核乾板の保管場所として使用したいとの依頼があり，2011 年度より深度 200m ボーリング横坑（主立坑）の一部を貸与することとした。2011 年度は，原子核乾板の深度 200m ボーリング横坑（主立坑）への設置・保管作業に協力した。

2012 年度は，深度 200m ボーリング横坑（主立坑）への資材の搬出入やメンテナンス作業のための協力を継続する。

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 2012 年度に実施する調査研究などの内容を年度計画書としてまとめた。

本年度計画は，超深地層研究所地層科学研究基本計画 [7]およびこれまでの調査研究で得られた成果・課題などを踏まえたものであり，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

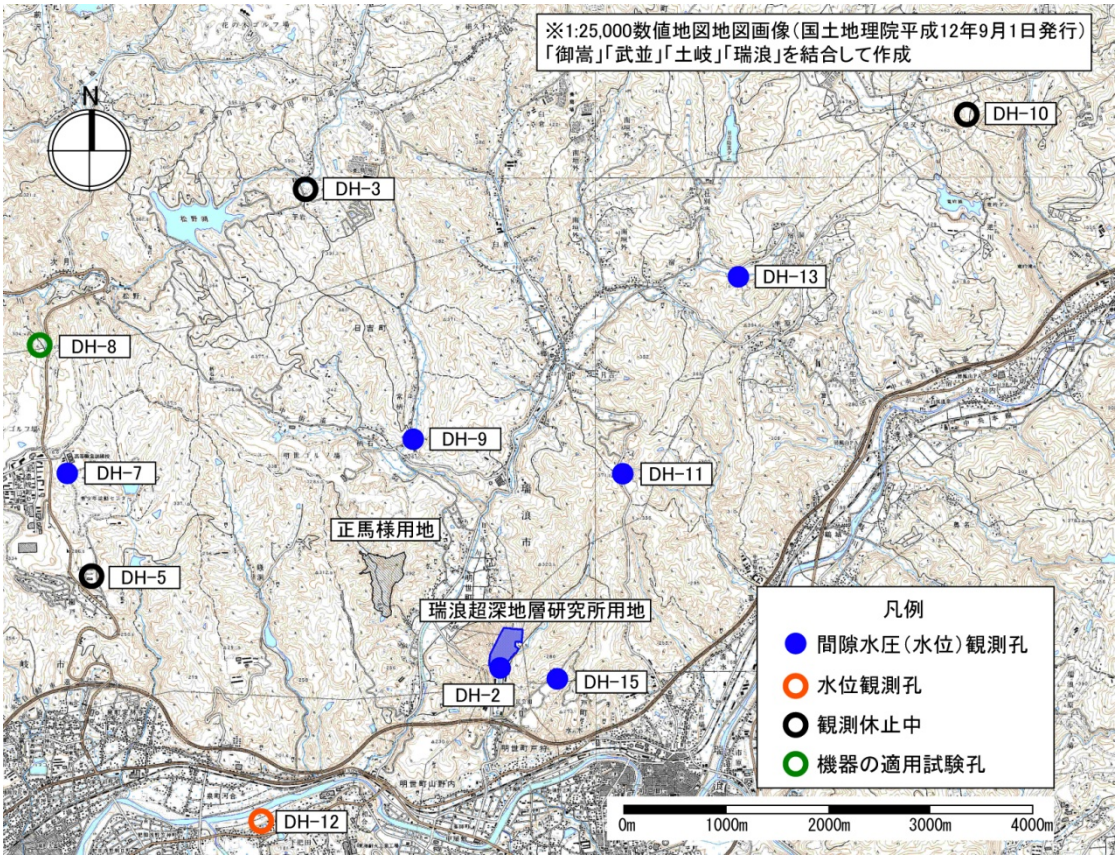
1) 原子力委員会：“原子力政策大綱”(2005).
2) 原子力委員会：“原子力の研究，開発および利用に関する長期計画”（1994）.
3) 動力炉・核燃料開発事業団:“超深地層研究所地層科学研究基本計画”，PNC TN7070 96-002（1996）.
4) 原子力委員会：“原子力の研究，開発および利用に関する長期計画”（2000）.
5) 核燃料サイクル開発機構：“超深地層研究所地層科学研究基本計画”，JNC TN7410 2001-009（2001）.
6) 核燃料サイクル開発機構：“超深地層研究所地層科学研究基本計画”，JNC TN7410 2001-018（2002）.
7) 東濃地科学研究ユニット：“超深地層研究所地層科学研究基本計画”，JAEA-Review 2010-016（2010）.
8) 動力炉・核燃料開発事業団：“広域地下水流動研究基本計画書”，PNC TN7020 98-001（1997）.
9) 資源エネルギー庁，日本原子力研究開発機構：“高レベル放射性廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画”（2006）
10) 核燃料サイクル開発機構：“わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第 2 次取りまとめ”，JNC TN1400 99-020～024（1999）.
11) 核燃料サイクル開発機構：“釜石原位置試験総括報告書”，JNC TN7410 99-001（1999）.
12) 三枝博光，松井裕哉，濱克宏，佐藤稔紀，鶴田忠彦，竹内竜史，國丸貴紀，松岡稔幸，水野崇：“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）.
13) 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－”，JNC TN1400 2005-014（2005）.
14) Nagra：“Geosynthese Wellenberg 1996, Ergebnisse der Untersuchungsphasen Ⅰand Ⅱ”,

Nagra Technical Report NTB96-01（1997）.
15) 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）.
16) 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）.
17) 正路徹也: “地球科学情報の評価”，情報地質, Vol.14, No.4, pp.285-299(2003）.

付録 1　広域地下水流動研究 2012 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動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（河川流量，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などに係わる調査／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。

2012 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-7 号孔，DH-9 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および地下水水質を把握するための採水調査（DH-2 号孔のみ）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地下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：“広域地下水流動研究 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）

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	
	名称	記号
面積	平方メートル	m^2
体積	立法メートル	m^3
速さ，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	キログラム毎立法メートル	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。

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	SI基本単位による表し方
平面角	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		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m\ kg\ s^{-2}$
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	ウエーバ	Wb	Vs	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-1}$
磁束密度	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	$m^2\ kg\ s^{-2}\ A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度[e]	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd sr[c]	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)測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	ニュートン毎メートル	N/m	$kg\ s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m\ m^{-1}\ s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎秒毎秒	rad/s^2	$m\ m^{-1}\ s^{-2}=s^{-2}$
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	$m\ kg\ s^{-3}\ A^{-1}$
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	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	$m^{-3}\ s^{-1}\ mol$

表５．SI 接頭語

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}	ゼプト	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°=(π/180) rad
分	’	1’=(1/60)°=(π/10800) rad
秒	”	1”=(1/60)’=(π/648000) rad
ヘクタール	ha	$1ha=1hm^2=10^4m^2$
リットル	L，l	$1L=11=1dm^3=10^3cm^3=10^{-3}m^3$
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	$1eV=1.602\ 176\ 53(14)\times10^{-19}J$
ダルトン	Da	$1Da=1.660\ 538\ 86(28)\times10^{-27}kg$
統一原子質量単位	u	1u=1 Da
天文単位	ua	$1ua=1.495\ 978\ 706\ 91(6)\times10^{11}m$

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=0.1MPa=100kPa=10^5Pa
水銀柱ミリメートル	mmHg	1mmHg=133.322Pa
オングストローム	Å	1 Å=0.1nm=100pm=10^{-10}m
海里	M	1 M=1852m
バーン	b	$1\ b=100fm^2=(10^{-12}cm)2=10^{-28}m^2$
ノット	kn	1 kn=(1852/3600)m/s
ネーパ	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	

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
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}\ J$
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn\ s\ cm^{-2}=0.1Pa\ s$
ストークス	St	$1\ St=1cm^2\ s^{-1}=10^{-4}m^2\ s^{-1}$
スチルブ	sb	$1\ sb=1cd\ cm^{-2}=10^4cd\ m^{-2}$
フォト	ph	$1\ ph=1cd\ sr\ cm^{-2}\ 10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm\ s^{-2}=10^{-2}ms^{-2}$
マクスウェル	Mx	$1\ Mx = 1G\ cm^2=10^{-8}Wb$
ガウス	G	$1\ G=1Mx\ cm^{-2}=10^{-4}T$
エルステッド[c]	Oe	$1\ Oe \triangleq (10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(c) 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
キュリー	Ci	$1\ Ci=3.7\times10^{10}Bq$
レントゲン	R	$1\ R = 2.58\times10^{-4}C/kg$
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=10-9T
フェルミ		1フェルミ=1 fm=10-15m
メートル系カラット		1メートル系カラット = 200 mg = 2×10-4kg
トル	Torr	1 Torr = (101 325/760) Pa
標準大気圧	atm	1 atm = 101 325 Pa
カロリー	cal	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー），4.1868J（「IT」カロリー）4.184J（「熱化学」カロリー）
ミクロン	μ	$1\ \mu=1\mu m=10^{-6}m$

（第8版，2006年改訂）

この印刷物は再生紙を使用しています