



幌延深地層研究計画 平成 23 年度調査研究計画

Horonobe Underground Research Laboratory Project
Investigation Program for the 2011 Fiscal Year

(編) 中山 雅 澤田 純之 杉田 裕

(Eds.) Masashi NAKAYAMA, Sumiyuki SAWADA and Yutaka SUGITA

地層処分研究開発部門
幌延深地層研究ユニット

Horonobe Underground Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate

June 2011

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

幌延深地層研究計画 平成23年度調査研究計画

日本原子力研究開発機構
地層処分研究開発部門 幌延深地層研究ユニット
(編) 中山 雅、澤田 純之※、杉田 裕

(2011年4月13日受理)

本計画は、原子力機構が堆積岩を対象に北海道幌延町で実施しているものです。

原子力機構の第2期中期計画では、高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発について、「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の2つの領域において、他の研究開発機関と連携して研究開発を進め、地層処分の安全確保の考え方や評価に関わる様々な論拠を支える「知識ベース」を充実させる」こととしています。幌延深地層研究計画においては、深地層の科学的研究として、「深地層環境の深度（地下350m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し」、「地上からの精密調査の段階に必要となる技術基盤を整備し、実施主体や安全規制機関に提供する」計画です。また、地層処分研究開発として、「深地層の研究施設等を活用して、実際の地質環境条件を考慮した現実的な処分概念の構築手法や総合的な安全評価手法を整備する」こととしています。さらに、「業務の合理化・効率化の観点から、幌延深地層研究計画に係わる研究坑道の整備等に民間活力の導入を図る」こととしています。

幌延深地層研究計画は、調査研究の開始から終了まで20年程度の計画とし、「地上からの調査研究段階（第1段階）」、「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）」、「地下施設での調査研究段階（第3段階）」の3つの段階に分けて実施することとしています。平成23年度は、研究所用地やその周辺において、地下施設の建設および第2段階および第3段階の調査研究を継続します。

Horonobe Underground Research Laboratory Project Investigation Program for the 2011 Fiscal Year

(Eds.) Masashi NAKAYAMA, Sumiyuki SAWADA※ and Yutaka SUGITA

Horonobe Underground Research Unit
Geological Isolation Research and Development Directorate
Japan Atomic Energy Agency
Horonobe-cho, Teshio-gun, Hokkaido

(Received April, 13, 2011)

As part of the research and development program on geological disposal of high-level radioactive waste (HLW), the Horonobe Underground Research Center, a division of the Japan Atomic Energy Agency (JAEA), is implementing the Horonobe Underground Research Laboratory Project (Horonobe URL Project) with the aim at investigating sedimentary rock formations.

According to the research plan described in the 2nd Midterm Plan of JAEA, geological investigations are to be carried out during the drilling of a shaft down to around 350m depth, while research and development in the areas of engineering technology and safety assessment are to be promoted by collaboration with other research organizations. The results of the R&D activities will be systematized as a “knowledge base” that supports a wide range of arguments related to the safety of geological disposal.

The Horonobe URL Project is planned to extend over a period of about 20 years. The investigations will be conducted in three phases, namely “Phase 1: Surface-based investigations”, “Phase 2: Construction phase” (investigations during construction of the underground facilities) and “Phase 3: Operation phase” (research in the underground facilities). This report summarizes the investigation program for the 2011 fiscal year (2011/2012).

In the 2011 fiscal year, investigations in “geoscientific research”, including “development of techniques for investigating the geological environment”, “development of engineering techniques for use in the deep underground environment” and “studies on the long-term stability of the geological environment”, are continuously carried out. Investigations in “research and development on geological disposal technology”, including “improving the reliability of disposal technologies” and “enhancement of safety assessment methodologies”, are also continuously carried out.

Keywords: Horonobe URL Project, High-Level Radioactive Waste, Geological Disposal Technology, Geoscientific Research

※ Collaborating Engineer

目 次

1. はじめに	1
2. 平成 23 年度の主な調査研究内容	1
3. 地層科学研究	3
3.1 地質環境調査技術開発	3
3.1.1 地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発	3
3.1.2 調査技術・調査機器開発	5
3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発	6
3.3 地質環境の長期安定性に関する研究	6
3.3.1 地質環境の長期的変遷に関する研究	6
3.3.2 地震研究	7
4. 地層処分研究開発	7
4.1 処分技術の信頼性向上	7
4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証	7
4.1.2 設計手法の適用性確認	7
4.2 安全評価手法の高度化	8
4.2.1 安全評価モデルの高度化	8
4.2.2 安全評価手法の適用性確認	8
5. 地下施設の建設	8
6. 環境モニタリング	9
6.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査	9
6.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査	9
7. 安全確保の取組み	9
8. 開かれた研究	9
8.1 国内機関との研究協力	10
8.1.1 大学との研究協力	10
8.1.2 その他の機関との研究協力	10
8.2 国外機関との研究協力	11
付録	15

Contents

1. Introduction	1
2. Outline of the investigation program for the 2011 fiscal year	1
3. Geoscientific research	3
3.1 Development of techniques for investigating the geological environment	3
3.1.1 Development of investigation/analysis techniques for modeling of the geological environment	3
3.1.2 Development of investigation techniques and equipment	5
3.2 Development of engineering techniques for use in deep geological environment	6
3.3 Studies on the long-term stability of the geological environment	6
3.3.1 Studies on long-term changes in the geological environment	6
3.3.2 Seismological studies	7
4. Research and development on geological disposal technology	7
4.1 Improving the reliability of disposal technologies	7
4.1.1 Verification of the engineered barrier technology	7
4.1.2 Confirming the applicability of EBS design methods	7
4.2 Enhancement of safety assessment methodologies	8
4.2.1 Enhancement of safety assessment model	8
4.2.2 Confirming the applicability of safety assessment methodologies	8
5. Construction of the underground facilities	8
6. Environmental monitoring	9
6.1 Monitoring of noise, vibration, water property, flora and fauna	9
6.2 Monitoring the construction of the underground facilities	9
7. Security effort	9
8. Collaboration with other research organizations	9
8.1 Collaboration with domestic research organizations	10
8.1.1 Collaboration with universities	10
8.1.2 Collaboration with other research organizations	10
8.2 Collaboration with overseas research organizations	11
Appendix	15

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）が、北海道幌延町で実施している幌延深地層研究計画は、平成17年10月の「原子力政策大綱」に示された「深地層の研究施設」を活用した計画の1つであり、堆積岩を対象に深地層の研究を行うものです。

「原子力政策大綱」においては、「日本原子力研究開発機構を中心とした研究開発機関は、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」と述べられており、幌延深地層研究計画の重要性が示されています。

また、文部科学省と経済産業省が定める、第2期（平成22年4月1日～平成27年3月31日）の「独立行政法人日本原子力研究開発機構が達成すべき業務運営に関する目標（中期目標）^{注1}」（以下、第2期中期目標）では、「幌延深地層研究計画に基づき、坑道掘削時の調査研究及び坑道を利用した調査研究を着実に進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を実施」することが目標として掲げられています。

原子力機構では、第2期中期目標を受け、「独立行政法人日本原子力研究開発機構の中期目標を達成するための計画（中期計画）^{注2}」を策定し、高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発について、「「地層処分研究開発」と「深地層の科学的研究」の2つの領域において、他の研究開発機関と連携して研究開発を進め、地層処分の安全確保の考え方や評価に関わる様々な論拠を支える「知識ベース^{注3}」を充実させる」こととしています。幌延深地層研究計画においては、深地層の科学的研究として、「深地層環境の深度（地下350m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し」、「地上からの精密調査の段階に必要な技術基盤を整備し、実施主体や安全規制機関に提供する」計画です。また、地層処分研究開発として、「深地層の研究施設等を活用して、実際の地質環境条件を考慮した現実的な処分概念の構築手法や総合的な安全評価手法を整備する」こととしています。さらに、「業務の合理化・効率化の観点から、幌延深地層研究計画に係わる研究坑道の整備等に民間活力の導入を図る」こととしており、平成22年度より民間活力の導入として、施設整備、維持管理および研究支援に対して長期にわたるPFI契約^{注4}を締結しています。

幌延深地層研究計画は、調査研究の開始から終了まで20年程度の計画とし、「地上からの調査研究段階（第1段階）」、「坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階（第2段階）」、「地下施設での調査研究段階（第3段階）」の3つの段階に分けて実施することとしています。平成23年度は、研究所用地やその周辺において、地下施設の建設、第2段階および第3段階の調査研究を継続します。

2. 平成 23 年度の主な調査研究内容

平成23年度は、地層科学研究^{注5}のうち、地質環境調査技術開発では、坑道掘削などに伴い取得する地質環境データを用いて、第1段階の調査研究で構築した地質環境モデル（地質構造モデル、

注1：原子力機構は、原子力基本法第2条に規定する基本方針に基づき、我が国における原子力の研究、開発および利用を計画的に遂行するために原子力委員会が定める基本的考え方に則り、その業務を総合的、計画的かつ効率的に行う事が定められています。中期目標はこれを踏まえ、文部科学省と経済産業省が、独立行政法人通則法第29条の規定に基づき定めた目標です。

注2：中期計画の期間は、中期目標と同じく平成22年4月1日～平成27年3月31日の5年間です。

注3：個別の研究開発で得られた成果を、地層処分技術全体に関わる様々な論拠や国内外の知見とあわせて、適切に管理し、伝達・継承していくための基盤となるものです。

注4：Private Finance Initiative（民間資金等活用事業）の略称で、公共施設などの建設、維持管理、運営などを民間の資金、経営能力、技術的能力を活用する事で、これにより、国や地方公共団体などが直接実施するよりも効率的かつ効果的に事業を実施するための方策です。幌延深地層研究計画における、PFIの契約期間は平成22年1月31日から平成31年3月31日までです。

注5：幌延深地層研究計画では、原子力政策大綱で「深地層の科学的研究」とされている研究を「地層科学研究」と呼称しています。

岩盤の水理モデル、地下水の地球化学モデルおよび岩盤力学モデル)の妥当性を確認し、更新することにより、坑道周辺の地質環境の推定に係わる信頼性を向上させます。また、第1段階の調査における品質保証システムの整備や地下施設における調査研究で使用するための調査技術や調査機器の開発を継続します。さらに、地下施設建設に伴う坑道周辺の岩盤特性の変化を把握するための技術開発およびコントロールボーリング技術の適用性確認や、沿岸域の塩水と淡水が混在する場を対象とした体系的な調査評価技術の整備を継続します。

深地層における工学的技術の基礎の開発では、坑道の掘削を進めながら、岩盤の変位や支保^{注6}工の応力を計測するシステムを設置し、取得されるデータに基づき、地下施設設計の妥当性を確認します。また、これまでに取得されたデータに基づき、地下施設の建設におけるリスク評価手法の開発を実施します。さらに、新たなグラウト^{注7}材料の開発を継続します。

地質環境の長期安定性に関する研究では、地形や地層の変形などを把握するために地形・地質調査や採取した岩石サンプルの分析を実施し、地下水流動の長期的変遷を推定するための数値解析手法の開発を行うとともに、地震観測やGPS^{注8}観測を継続します。また、地震活動・断層運動が地質環境に与える力学的な影響を把握する手法を検討します。

地層処分研究開発のうち、処分技術の信頼性向上のための研究開発では、第3段階で実施する原位置試験の詳細な計画について引き続き検討するとともに、低アルカリ性コンクリート^{注9}材料の施工試験や周辺岩盤および地下水への影響調査を実施します。また、緩衝材定置試験設備などの整備を継続するとともに、設備を用いた試験を実施します。さらに、平成22年度までに得られた地質環境データや室内試験のデータなどを用いて、人工バリア^{注10}などの設計手法の適用性および長期健全性を評価するための情報と条件の整理を継続します。安全評価手法の高度化のための研究開発では、物質移行に関するデータの蓄積や現象理解のための解析を継続します。また、地質環境データや室内試験などによって整備した物質移行に関するデータやモデルにより、地下施設周辺での物質移行に関する解析を継続し、基盤技術として整備するとともに、表層部を対象とした地下水流動や物質移行を評価するための手順に関して、実際の調査データに基づく見直しを行います。

平成23年度に地下施設、研究所用地および幌延町内で行う主な調査研究の実施内容を表1に示します。また、表1に示した調査に関する地上からのボーリング孔の位置および観測装置の設置場所を図1に、研究所用地周辺の主な設備と観測装置の配置を図2に示します。

地下施設については、換気立坑および東立坑と250m調査坑道の掘削を継続するとともに、350m調査坑道の一部を掘削します。西立坑については坑口工事の後、櫓設備などを設置し掘削を行います。坑道掘削により発生した掘削土(ズリ)は掘削土(ズリ)置場に搬出するとともに、掘削土(ズリ)の増量に備えて、掘削土(ズリ)置場を拡張します。また、坑道掘削に伴って発生する排水は排水処理設備にて適切な処理をした上で、排水管路を経て天塩川に放流します。

環境モニタリングとしては、研究所用地周辺における騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査、坑道内および掘削土(ズリ)置場で発生する排水の水質調査を定期的に行います。また、排水の放流先である天塩川の水質モニタリング調査を行います。

安全確保の取組みとして、作業者などに対する安全教育の実施、定期的な安全パトロールなどの活動を継続します。

注6：地下空間の安定を保つために設ける構成部材のことです。通常、ロックボルト、鋼製支保、コンクリートなどから構成されます。

注7：岩盤に孔を明け、岩盤の割れ目の中にセメントなどの固化材を圧入し充填することにより、湧水を止める技術のことです。

注8：Global Positioning System(汎地球測位システム)の略です。アメリカ合衆国で開発されたもので、地球を周回する人工衛星からの電波を地上で受信し、受信地点の位置座標を精密に計測するシステムです。現在、カーナビゲーションシステム、携帯電話などにも利用されています。

注9：通常のセメント材料にシリカを主成分とする材料を添加し、セメントが固化する過程で生じる高アルカリ性分と反応させることで、間隙水のpHを低下させるセメントを用いたコンクリートのことです。

注10：ガラス固化体、オーバーパックおよび緩衝材からなる地層処分システムの構成要素のことで、高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、人工的に形成するものです。

なお、幌延深地層研究計画で実施する地下深部の地質環境を対象とした研究は、地球科学の幅広い分野にわたり、学術研究の発展にも広く寄与することから、国内外の関連する研究機関の専門家の参加を積極的に得つつ進めていきます。

3. 地層科学研究

3.1 地質環境調査技術開発

第2段階および第3段階の調査研究は、坑道掘削に伴って取得する地質環境データを基に、①第1段階における調査研究の結果、特に地下施設を含む数km四方程度の範囲を対象とした地質環境モデルの妥当性や調査・解析手法の有効性を確認すること、②坑道掘削に伴う地質環境の変化を実際に把握すること、③新たに取得するデータに基づき、坑道などの周辺数十m～数m四方程度の範囲を対象とした地質環境モデルを構築すること、を主な目的として実施します。これらの調査研究のため、以下に示す地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発および調査技術・調査機器開発を行います。

3.1.1 地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発

第2段階では、坑道掘削に伴い取得する地質環境データに基づいて、第1段階で構築した地質環境モデルの妥当性を確認するとともに、必要に応じてモデルの更新を行います。また、これらのデータおよび地質環境モデルに基づいて調査坑道周辺の地質環境をより詳細に推定します。このモデルは、第3段階で実施する原位置試験計画を策定するための基盤情報となります。さらに、地下水流動と地下水の水質分布といった、異なる分野間でのモデルの整合性を検討します。ここで構築した地質環境モデルおよび地質環境データは、幌延地域を事例とした設計手法や安全評価手法の適用性の検討に使用します。

さらに、これまでの経験やノウハウなどの知識を、的確に地質環境の調査や評価に活用できるよう、第1段階で構築した統合化データフローダイアグラム^{注11}を活用して、調査・評価上のノウハウや判断根拠に関する情報などを抽出・整理する作業を継続します。また、第1段階の調査・試験の品質評価を行い、その結果に基づき調査手順書やマニュアルなどを整備し、地上からの調査に係わる体系的な品質保証システムの構築を進めます。

第3段階では、調査坑道およびそれらの坑道から掘削されるボーリング孔を用いて、詳細な地質環境特性（地質構造、岩盤の水理、地下水の地球化学、物質移動特性、岩盤の力学特性）の把握を目的とした地質観察、物理・流体検層、水理試験、採水調査およびトレーサー^{注12}試験などの調査や原位置試験を実施します。また、坑道の掘削・埋め戻しによって生じる周辺岩盤における地下水流動および水質、岩盤の力学特性の変化を調べるための坑道掘削影響・回復試験を実施し、坑道周辺の掘削影響を含む地質環境特性とその変遷に関する情報を地層処分研究開発として実施する試験に反映します。

以下に、それぞれの地質環境特性に係わる調査研究について記載します。

(1) 地質構造

第2段階では、第1段階の調査結果に基づいて構築した地質構造モデルの妥当性確認と更新を目的として、地下施設近傍の地層の分布や割れ目の分布・連続性を三次元的に把握するための調査を行います。また、坑道周辺の詳細な地質構造モデルを構築します。

第3段階では、立坑、調査坑道およびそれらの坑道から掘削されるボーリング孔を用いて、地下

注11：様々な調査から得られるデータが、モデル化や解析などの過程を経て、どのような作業や分野の理解に役立つかを地層処分研究の観点から整理し、視覚的に表したフロー図です。

注12：地下水の流れの方向や流れる時間などを調べるために、地下水に目印としてまぜる染料やその他の薬品を指します。食塩が代表的なトレーサーとなりますが、調べたい地下水の化学成分が食塩に満ちている場合などにはヨウ化カリウムなどがあり、多種のトレーサーがあります。幌延深地層研究計画では放射性同位体を用いたトレーサー試験は行いません。

施設近傍の地層の分布や割れ目の分布・連続性を三次元的に把握し、より詳細な坑道周辺の地質構造モデルを構築します。

平成23年度は、地下施設や研究所設置地区およびその周辺の地表での地質観察、および地下施設や地表、ボーリング調査で採取した岩石の分析や鉱物試験^{注13}、測定などを継続します。また、坑道掘削に伴う坑道での壁面観察や、ボーリング調査から得られる地層の分布や割れ目の連続性に関するデータに基づいて、第1段階で構築した地質構造モデル（岩相・断層・割れ目帯・しゅう曲といった地質構造の分布や形状）の妥当性の確認を継続し、割れ目の分布を三次元的に表現するなど、地質構造モデルの詳細化を図ります。

(2) 岩盤の水理

第2段階では、これまでに設置したモニタリング機器を利用して、地下施設建設に伴う地下水流動特性の変化に関するデータを取得します。また、既存のボーリング孔や、気象観測所、地下施設などから得られる岩盤の透水性の分布や、地下水の圧力分布などの新たに取得されるデータに基づき、岩盤の水理モデルの妥当性を確認するとともにモデルを更新します。更新したモデルを用いた地下水流動解析を実施し、第1段階で構築したモデルとの比較を通じて、地上からの調査技術やモデル化・解析手法の妥当性を確認します。

第3段階では、調査坑道で実施する調査から得られるデータに基づいて、坑道とその周辺における岩盤の水理モデルを構築し、より詳細なスケールにおける地下水流動特性の評価技術を構築します。

平成23年度は、平成22年度までに引き続き、地上からのモニタリング技術の適用性確認および地質環境の変化について検討するため、既存のボーリング孔（HDB-1～11孔、PB-V01孔およびSAB-1孔）内に設置した水圧・水質モニタリング機器を用いて地下水の圧力や水質の観測を継続します。また、研究所設置地区における気象観測（降水量、気温・湿度、風向・風速、蒸発散量）、ライシメータ^{注14}による蒸発散量などの観測、河川流量観測および立坑近傍のボーリング孔を用いた地下水位や土壌中の水分の観測を継続します。これら表層部の観測結果と河川水および降水の水質分析の結果から、地下の浅い部分での水の動きを概略的に把握するとともに、降水が地下の岩盤にしみ込む量（地下水涵養量）を算定します。

地下施設においては、湧水を伴う割れ目の性状や地下水の湧水量などの岩盤の水理に関する情報の取得と、新たに取得されるデータに基づいたモデルの更新を継続します。また、更新したモデルを用いて、坑道掘削時の地下水の湧水量や周囲の水圧の変化を把握するための地下水流動解析を行い、解析結果とモニタリングで得られた実際の観測値との比較を通じて、岩盤の水理モデルおよびそれに基づく解析結果の妥当性を確認します。また、第2段階で掘削される立坑や調査坑道およびその周辺の岩盤における地下水流動特性を予測し、第3段階の調査研究計画の詳細化や具体化に反映させていきます。

(3) 地下水の地球化学

第2段階では、第1段階の調査・解析結果の妥当性を確認するため、坑道内の湧水および既存のボーリング孔、新たに掘削するボーリング孔を対象として地下水の水質調査を行うとともに、立坑掘削が周辺の地下水水質や溶存ガスなどに及ぼす影響を把握するための調査を行います。また、調査結果を基に必要に応じてモデルを更新するとともに、地下施設建設が地下水の水質に与える影響を表現するモデルの構築手法について整備します。

第3段階では、調査坑道において地下水などを採取し、それらの地球化学特性^{注15}に関するデータの取得や地球化学モデルに関わる解析を実施することによって、より詳細なスケールにおける

注13：顕微鏡などを用いて、地層に含まれる微少な生物の化石や岩石の構成鉱物を調べます。

注14：周囲と同じ土壌をつめた容器を地中へ埋設し、重量などを計測することにより降水や蒸発散などに伴う水分量の変化から、水収支（一定の期間に流入する水の量と流出する水の量との差引のことです。流入には降水など、流出には蒸発散などがあります。）に関するデータを直接求める装置です。

注15：地下水の水質や溶存ガスなどの化学組成や化学変化に関する性質のことです。

地球化学特性の評価技術を構築します。

平成23年度は、平成22年度に引き続いて、換気立坑や東立坑の壁面から採取した湧水や岩石、坑道内のボーリング孔から採取した地下水および岩石を用いて、化学組成に加え、溶存ガス組成、コロイド、有機物および微生物などに関する分析を行い、坑道掘削に伴う周辺岩盤および地下水の水質やそれに関わる化学反応などの地球化学特性の変化を把握します。また、既存のボーリング孔（HDB-1～11孔など）から採取する地下水のほか、河川水や降水の分析およびそれらのデータを用いた地下水の水質分布についての解析を継続します。さらに、それらの地球化学データを利用して、地下水の水質やその形成機構について考察し、坑道掘削に伴う周辺の地球化学環境の変化に関わる地球化学モデルを更新します。

(4) 岩盤力学

第2段階では、地下施設において、岩盤の力学的性質の分布を確認するとともに、坑道掘削によって生じる周辺岩盤の物性変化の範囲と程度を調査します。また、得られたデータに基づき、第1段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性を確認し、モデルを更新するとともに、坑道周辺岩盤の物性変化を表現できるモデルについて検討します。

第3段階では、調査坑道で実施する調査で得られるデータに基づいて、地下深部におけるより詳細な岩盤力学特性の評価技術を構築します。

平成23年度は、平成22年度に引き続き、坑道から掘削するボーリング孔を用いた初期地圧の測定を行い、地下深部における地圧の空間的な分布を把握します。また、それらのデータに基づき地上からの調査手法の妥当性について確認します。

また、坑道内で実施している内空変位計測^{注16}などの結果から、第1段階で構築した坑道掘削時に生じる周辺岩盤の変形や応力の変化を予測するための解析手法の適用性を確認します。

3.1.2 調査技術・調査機器開発

第2段階では、第1段階で堆積岩や塩水系地下水が有する特性を考慮して開発した調査技術を実際に坑道掘削時の調査などに適用して、その有効性を確認します。また、坑道掘削が周辺岩盤に与える影響を評価するため、坑道周辺岩盤の力学特性、地下水流動に関わる水理特性、地球化学特性などのモニタリング技術の開発を行います。これらのモニタリングにより得られた結果は、第3段階の調査研究を実施する試験環境が坑道掘削により、どのような影響を受けているかを明確にするとともに、地下施設の埋め戻し後の坑道周辺の環境を予測するための解析に利用します。

第3段階では、調査坑道を利用して実施する各調査研究で使用する調査技術・機器の開発を行います。

平成23年度は、岩盤の水理および地下水の地球化学特性に関して、地下施設建設に伴う変化のデータを取得するために、これまでに設置したモニタリング機器の長期的な健全性およびモニタリング技術の適用性の確認を継続します。また、坑道での地質環境データの取得に必要な調査技術や調査機器の開発・改良を継続します。

具体的には、140m調査坑道から掘削したボーリング孔に設置した地下水の水圧・水質連続モニタリング装置や間隙水圧計、水分計などの長期的な性能を確認するとともに、岩盤の化学的緩衝能力を理解するための試験装置の開発を行い、140m・250m調査坑道においてデータを取得します。また、既存の孔間水理試験装置にトレーサーを注入、計測、回収する機能を付加するとともに、その装置を用いて、250m調査坑道から掘削されるボーリング孔で物質移動特性に関する試験を行います。さらに、140m・250m調査坑道に設置されている既存の地下水循環試験装置を用いたコロイド、有機物および微生物の特性評価試験を実施し、取得されるデータの品質や安全性確保の観点から試験装置の原位置条件下での適用性を確認します。

また、地表に設置した高精度傾斜計および坑内に設置した地中変位計などを用いて、微小な岩盤の変形の観測を継続するとともに、地下施設周辺の地下水流動の変化を地表から比抵抗分布のモニタリングによって調べる手法の適用性について確認し、地下施設建設が施設周辺および坑道

注16：坑道内で覆工コンクリート内側の断面の相対変位量を計測することです。

周辺の岩盤に与える影響を評価するための観測技術および解析技術の開発を行います。

力学特性に関しては、光ファイバー式地中変位計の長期モニタリング性能を確認するためにデータの収集・整理を継続します。また、140m・250m調査坑道では、坑道掘削後の力学特性の長期的な挙動を確認するために、弾性波トモグラフィ調査を継続して実施します。これらを通して、力学特性の評価に資するモニタリング技術としての信頼性を向上させます。

また、通常の鉛直ボーリングの技術では調査が困難な場合に使用するコントロールボーリング技術（ボーリング孔の角度と方向を制御して掘削するボーリング）の適用性確認のための掘削および調査を継続します。さらに、塩水と淡水が混在する場における地下水流動などに関する調査として、沿岸域（海域～陸域）の地質環境を対象とした物理探査やボーリング調査技術などの技術開発を継続します。なお、これらの調査研究は、他の研究機関との共同研究として実施します。

3.2 深地層における工学的技術の基礎の開発

第2段階では、坑道掘削を進めながら岩盤の変位や支保工の応力を計測するシステムを設置し、取得される情報に基づいて、地下施設の設計や施工計画などの手法ならびに工学技術の妥当性を評価し、その評価結果を適切に設計や施工計画などに反映させる技術体系を整備します。また、これらを実際に適用することにより、覆工技術などの設計・施工技術の適用性を確認します。これらの評価を踏まえて、以深の掘削工事や対策工事の最適化を進めていきます。

第3段階では、第2段階までの調査において適用した耐震設計技術や情報化施工^{注17}技術などの一連の工学的技術の有効性を評価し、堆積岩系の岩盤に適用するための汎用的な技術体系として整備します。また、火災などの緊急時における安全確保を目的に開発した通気挙動解析システムを利用して様々なケースを想定した通気網解析^{注18}を実施し、通気挙動について検討します。

平成23年度は、換気・東立坑および250m・350m調査坑道の掘削状況に応じて、地中変位計やコンクリート応力計などの計測機器を設置して坑道を掘削した際の岩盤と支保の挙動を分析するとともに、坑道内にて岩盤に対する載荷試験を実施し岩盤の力学特性を評価します。これらの結果と、これまでに得られたデータと合わせて地下施設設計の妥当性の確認ならびに更新を行います。

また、坑道掘削に伴い得られた計測データと、ボーリング調査から得られた地質環境データに基づいて、地下施設の建設におけるリスク評価手法の開発を行います。一方、坑道内の安全確保の観点から、坑内火災時の通気網解析を継続して実施します。さらに、湧水抑制対策のための技術開発として、シリカ^{注19}などの新たなグラウト材料の開発を継続します。

3.3 地質環境の長期安定性に関する研究

3.3.1 地質環境の長期的変遷に関する研究

断層運動や海水準変動などの自然現象の履歴に関する調査手法と、地下水流動などに関する調査・解析手法とを組み合わせ、自然現象に伴う地質環境の長期的変遷を予測する手法の検討を行います。

平成23年度は、地形や地層の変形と古環境の変遷を把握するための地形・地質調査と数値標高データを用いた地形解析、および岩石や地下水、ガスの分析・測定などを行うとともに、三次元モデルを用いて地下水流動の長期的変遷を推定するための数値解析手法の開発を行います。また、幌延地域における地殻変動の履歴や古気候、地下構造に関する情報とともに、これまでに実施した地下水の流動や水質の長期的な変遷に関する数値解析手法の取りまとめを通じて、堆積岩が分布する沿岸部を対象とした地質環境の長期的変遷を予測する手法の検討を行います。

注17：坑道を掘削している段階で、岩盤や支保工に作用する圧力やそれらの変形を計測し、当初設計の妥当性を確認するとともに、必要に応じて設計や施工方法を修正して施工に反映させる施工管理方法のことを言います。

注18：坑内の任意の箇所火災発生源および火災温度などの火災条件を設定し、火災ガスなどの挙動を把握する解析手法です。

注19：二酸化ケイ素とも呼ばれます。石英の主成分であり、地殻に最も豊富に含まれている物質の1つです。そのため、周辺環境への影響が小さいと考えられています。

3.3.2 地震研究

地震観測を継続するとともに、その観測データと地表および地下施設で取得する地質環境データとを組み合わせ、地震活動・断層運動が地質環境に与える影響について検討します。

平成23年度は、研究所設置地区周辺に分布する断層やしゅう曲に関する現在の活動の程度を把握し、過去の履歴から推定される長期的変遷の傾向との整合性を検討するために、既存の観測点における地震観測とGPS観測を継続します。また、地形・地質調査および断層の動きを再現した数値解析などを行うことにより、地震活動・断層運動が地質環境に与える力学的な影響を把握する手法の検討を行います。

4. 地層処分研究開発

4.1 処分技術の信頼性向上

4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証

第2段階では、坑道掘削時に取得するデータに基づき、低アルカリ性コンクリート材料の原位置試験などの計画を検討するとともに、地下施設において原位置試験を実施します。

第3段階では、人工バリアの設置方法の違い（縦置き方式・横置き方式）による周辺岩盤への影響など、処分システムの構築に関わる工学技術の信頼性向上を図るための原位置試験や室内試験を実施します。また、コンクリート材料の坑道周辺の岩盤および地下水への影響を把握するための調査や、ガス移行挙動試験や密閉（シーリング）技術に関する原位置試験、人工バリアを構成するオーバーパック^{注20}や緩衝材などの構成要素の要件を満足するような処分システムを構築し、岩盤までを含む構成要素間で生じる熱・水理・応力・化学連成挙動に関する試験、さらにはオーバーパックの腐食挙動に関する原位置試験などを実施します。

平成23年度は、第3段階で実施する原位置試験のほか、処分システムの設計・施工技術や品質管理に関する原位置試験の詳細な計画についての検討を継続します。また、250m調査坑道において、低アルカリ性コンクリート材料を用いた坑道の支保工の施工性に関する原位置試験を実施するとともに、平成21年度に140m調査坑道で施工したコンクリート材料が坑道周辺の地質環境に及ぼす影響を把握するための調査を継続します。

さらに、平成22年度に引き続き、緩衝材の定置試験や長期挙動試験などについて、試験設備の設計・製作および試験を他の研究機関との共同研究として継続します。

4.1.2 設計手法の適用性確認

第2段階では、緩衝材（ベントナイト^{注21}）や金属材料などの人工バリアの構成材料の特性や挙動に関して、塩水系地下水に対して不足しているデータの取得を行います。その結果を踏まえ、それらの特性や挙動に関するメカニズムの理解と各特性や挙動に関する、より汎用的なモデルの開発などを進めるとともに、それらを複合させた人工バリアなどの長期挙動について解析します。あわせて、長期挙動に関する検証データの取得を進めます。また、第1段階で取得したデータおよび坑道掘削に伴い得られる地質環境データや人工バリア材料の特性や挙動に関するデータを用いて、第1段階で検討した人工バリアや地下施設などの設計手法を、原位置試験の仕様を検討する際に適用します。

第3段階では、人工バリアから岩盤までを含む構成要素間で生じる熱・水理・応力・化学連成挙動、オーバーパックの腐食挙動およびガス移行挙動などの原位置試験の仕様の検討や各挙動に関する解析に必要な各特性データなどの取得を行います。

平成23年度は、平成22年度に引き続き、上記の設計手法の適用に向けて、岩石コアや地下水を用いた室内試験を継続するとともに、これまでの調査研究で取得した地質環境データや、室内試験から取得したデータならびに構築したモデルなどに基づいて、人工バリアなどの設計手法の適

注20：人工バリアの構成要素の1つです。ガラス固化体を包み込み、ガラス固化体に地下水が接触することを防止し、地圧などの外力からガラス固化体を保護する容器のことを言います。候補材料は炭素鋼などの金属です。

注21：粘土の一種で地層処分における人工バリアに用いる緩衝材の候補材料です。

用性および長期健全性を評価するための情報や条件の整理を継続します。

4.2 安全評価手法の高度化

4.2.1 安全評価モデルの高度化

第2段階では、後述する地質環境への安全評価手法の適用性を評価することや安全評価手法の信頼性を向上させるため、第1段階での調査研究において取得していない拡散係数^{注22}や収着分配係数^{注23}などの物質移行に関するデータのほか、物質移行に影響を及ぼすと考えられる要因である、有機物、コロイドおよび微生物活動などと物質移行との関連についてのデータを蓄積します。また、物質移行に関するメカニズムや現象の理解を通じて、データの信頼性と精度の向上、ならびに物質移行に関わるモデルの高度化を図ります。

第3段階では、実際の地質環境における人工バリアの性能を確認するために、地下施設において人工バリアを対象としたトレーサー試験などを行い、人工バリアやその周辺岩盤における物質移行挙動を評価するためのデータを取得します。また、それらの試験と並行して、物質移行解析に必要なデータを地下水や岩石を利用して室内試験により取得します。

平成23年度は、既存のボーリング孔や、坑道から掘削するボーリング調査から得られる岩石コアや地下水などを用いた物質移行に関するデータの取得およびメカニズムの把握のための室内試験や解析を継続します。また、室内試験により取得されたデータや、これまでに取得された地質環境データなどに基づいて、第3段階で実施する物質移行に関する原位置試験の詳細な計画についての検討を継続します。

4.2.2 安全評価手法の適用性確認

第2段階では、異なるスケール（広域スケール^{注24}、サイトスケール^{注25}）で段階的に得られる地質環境データに基づいて、地下水流動や物質移行に関する解析を行い、その過程で得られた知見を整理・統合するとともに、地上からの調査段階での解析結果と比較することにより既存の安全評価手法の適用性を確認し、安全評価上重要な地質環境に関する項目や調査における留意点などを抽出・整理します。

第3段階では、地下施設において実施する物質移行に関する原位置試験などで得られた成果やその他の地層科学研究で得られた成果を活用して、幌延地域を事例とした安全評価手法の検討を行い、その適用性を確認します。

平成23年度は、これまでに取得した地質環境データと室内試験などによって整備した物質移行に関するデータおよびモデルにより、地下施設周辺での物質移行に関する解析を継続して行い、安全評価手法の適用性の確認を通じて、基盤技術として整備を図ります。また、表層部を対象とした岩盤の水理モデルの構築および地下水流動、物質移行を評価するための手順に関して、実際の調査データを用いた検討などに基づく見直しを行います。

5. 地下施設の建設

平成23年度は、平成22年度から導入した民間活力（PFI）による坑道整備により、東立坑および換気立坑の深度250m以深の掘削と250m調査坑道の掘削を継続するとともに、350m調査坑道の一部を掘削します。また、坑道の掘削過程において湧水抑制対策を行います。

西立坑については、平成22年度に引き続き、櫓設備の基礎となる坑口上部工^{注26}を整備した後、

注22：岩盤などの中を放射性核種などが、濃度の高い方から低い方へ移動していく際の速さを表す係数です。

注23：岩盤中と地下水中における放射性核種などの濃度比を表す係数で、放射性核種などの岩盤への取り込まれやすさを表す係数です。拡散係数とともに、環境中における放射性核種の移動の予測や放射性廃棄物の処分における安全評価などに使用される重要なパラメータのひとつです。

注24：研究所設置地区を含む15km×30km程度の領域を指します。

注25：研究所設置地区を含む10km四方程度の領域を指します。

注26：坑口上部工は、立坑出入り口部にあたる鉄筋コンクリート構造物のことです。この設備は、立坑を本格的に掘削するための櫓設備の基礎を兼用する部分にもなります。

櫓設備、スカフォード^{注27}および巻上機を設置し、掘削を継続します。

坑道掘削に際しては、これまでと同様に速やかに支保を構築し、坑道周辺の岩盤を保持しながら掘削します。支保の選定は、そこで得られる岩盤の力学特性などの情報を適時設計に反映して実施します。なお、地下施設を含む研究所用地周辺には、メタンを主成分とする可燃性ガスの存在が確認されているため、掘削切羽近傍においては、防爆仕様の機器の採用や、ガス濃度の監視などにより防爆対策を行いながら掘削を進めます。

坑道掘削により発生した掘削土(ズリ)は、用地内に仮置きしたのちに掘削土(ズリ)置場に搬出します。掘削土(ズリ)置場については、立坑掘削の進捗などによる増量に備え拡張工事を実施します。なお、掘削土(ズリ)については有害物質の含有量および溶出量を定期的に確認します。

坑道掘削に伴って発生する排水および掘削土(ズリ)置場の浸出水は、排水処理設備にてホウ素や窒素を取り除くなどの適切な処理をした上で、排水管路を経て天塩川に放流します。

6. 環境モニタリング

地下施設建設が周辺環境へ与える影響を調査するため、研究所用地周辺および天塩川などにおいてモニタリング調査を実施します。

6.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査

平成22年度に引き続き、これまでと同様、研究所用地周辺において定期的に騒音・振動・水質・動植物のモニタリング調査を行います。

6.2 地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査

坑道掘削に伴い発生する排水について、研究所用地や掘削土(ズリ)置場およびその周辺、さらに排水の放流先である天塩川において水質モニタリング調査を行います。

水質モニタリング調査項目は、水質汚濁防止法および北るもい漁業協同組合との協定書に記載されている分析項目に準拠します。モニタリングは、坑道からの排水、排水処理後の水、掘削土(ズリ)置場からの浸出水やその周辺の浅い地下水および河川水、天塩川の河川水などを対象とします。

7. 安全確保の取組み

地下施設および研究所用地周辺などにおける調査研究、および地下施設建設工事に当たっては、安全確保を最優先に作業を実施します。具体的には、作業計画時に安全対策の確認を徹底するとともに、作業者などに対する安全教育の実施、定期的な安全パトロールなどを通じて安全確保に努めます。また、作業の安全確保のための規則などについて継続的に見直しや整備を進めます。

8. 開かれた研究

幌延深地層研究計画で実施する地下深部を対象とした研究は、地球科学の幅広い分野にわたり、学術研究の発展にも広く寄与します。このため、北海道大学をはじめとする国内外の大学・研究機関との研究協力を行うとともに、国際交流施設などを利用して、各機関の専門家と議論を行いながら研究を進めていきます。また、幌延深地層研究計画の施設や研究フィールドは、国内外の関連する研究機関に広く開放していきます。なお、地層処分についての国民との相互理解の促進のため、ウェブサイトでの情報発信やPR施設(ゆめ地創館)において、地下施設で実施している地下深部の研究などを紹介するとともに、見学会などによる研究施設の公開を進めていきます。また、ゆめ地創館に隣接する、地層処分概念やその工学的実現性を体感できる地層処分実規模試験施設において、試験設備の整備を継続します。

注27：立坑の工事に使用される作業足場のことです。

8.1 国内機関との研究協力

8.1.1 大学との研究協力

- ・ 北海道大学：
 - ベントナイトとセメント系材料との相互作用に関する研究
 - 坑道埋め戻しに伴う環境回復過程に関わる研究
 - 地質構造発達モデル構築における品質確保・技術継承に関する研究
 - ・ 静岡大学：
 - 地下水・岩石中の微生物特性に関する研究
 - ・ 東京都市大学：
 - 微量元素の放射化学分析手法に関する研究
 - ・ 岡山大学：
 - 土壌水分観測手法についての光ファイバー計測技術に関する研究
 - ・ 広島大学：
 - 地下水・岩石中の微量元素に関する研究
 - ・ 新潟大学：
 - 地質環境の長期的変遷に係る調査・解析の知識化に関する研究
 - ・ 京都大学：
 - 地質環境モデリング技術の知識化に関する研究
 - 断層中のガス・地下水の移動特性に関する研究
 - ・ 東北大学、京都大学：
 - 地下水中のコロイド、有機物、微量元素に関する研究
- 上記のほか、他の大学との研究協力についても検討します。

8.1.2 その他の機関との研究協力

- ・ 幌延地圏環境研究所^{注28}：
 - 堆積岩を対象とした岩盤力学や微生物などに関する研究
 - ・ 電力中央研究所^{注29}：
 - 幌延地域における地質・地下水環境特性評価に関する研究
 - ・ 北海道立総合研究機構 地質研究所^{注30}：
 - 地形の変化と古環境の復元および地下構造に関する研究
 - ・ 原子力安全基盤機構^{注31}、産業技術総合研究所^{注32}：
 - 幌延深地層研究計画における安全評価手法の適用性に関する研究^{注33}
- 上記のほか、経済産業省資源エネルギー庁が進めるプロジェクト^{注34}である、コントロールボーリング技術開発に関わるプロジェクト、沿岸域の地質環境特性の調査・評価技術に関するプロジ

注28：幌延地圏環境研究所は、財団法人 北海道科学技術総合振興センターが設置した研究所であり、国の補助を受けて、幌延深地層研究センターの施設や設備を活用した地下空間利用を中心とする研究を実施しています。

注29：財団法人 電力中央研究所は、電力技術の専門研究機関として設立されました。電力技術の研究として、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を実施しています。

注30：地方独立行政法人 北海道立総合研究機構は6つの研究本部から構成され、地質研究所（旧北海道立地質研究所）はそのうちの環境・地質研究本部に属します。地質分野の先駆をなす研究機構の一研究所として、道民生活の安全・安心の確保と、地下資源の安定的確保や環境負荷の軽減などの産業・経済の持続的発展に資する調査研究活動と成果の普及に取り組んでいます。

注31：独立行政法人 原子力安全基盤機構は、規制行政庁である経済産業省原子力安全・保安院とともに、原子力エネルギーの利用における安全の確保を目的とした機関です。

注32：独立行政法人 産業技術総合研究所は、産業技術の広い分野における様々な技術開発を総合的に行っている、研究組織です。現在の研究分野は「環境・エネルギー」、「地質」、などの6分野に大別されます。

注33：この研究は、高レベル放射性廃棄物処分の安全規制の整備に向けた研究（安全規制支援研究）として行います。原子力機構の中で安全規制支援研究を実施している、安全研究センターも参加して実施します。

注34：これらのプロジェクトを平成23年度に実施する機関は、平成23年3月に予定されている一般競争入札によって決定されます。

ェクトおよび地層処分実規模設備整備に関するプロジェクトへの協力を継続するとともに、大成建設株式会社などとの研究協力について検討します。

8.2 国外機関との研究協力

- Nagra^{注35}（スイス）：
深地層の研究施設計画における調査研究の計画立案や成果に関する技術的検討など
 - モンテリ・プロジェクト^{注36}（スイス）：
鉄材料の腐食に関する原位置試験など
- そのほか、ANDRA^{注37}（フランス）などと地質環境調査技術や地下施設における調査手法および原位置試験など、深地層の研究計画全般に関わる情報交換や研究協力を進めます。

注35：Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (National Cooperative for the Disposal of Radioactive Waste)：放射性廃棄物管理協同組合は、スイスにおける放射性廃棄物の地層処分の実施機関です。

注36：堆積岩を対象とした地層処分研究に関する国際的な原位置試験プロジェクトです。平成23年3月現在、原子力機構を含め8ヶ国から14機関が参加し、スイスのモンテリ・トンネル内において地層処分に関連する各種の原位置試験が実施されています。

注37：Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (National radioactive waste management agency)：放射性廃棄物管理公社は、フランスにおける放射性廃棄物処分の実施機関であり、低中レベルの放射性廃棄物処分場を操業するとともに、高レベル放射性廃棄物および長寿命の中レベル放射性廃棄物処分に関する研究開発の中核機関でもあり、堆積岩を対象に深地層の研究施設計画を進めています。

表1 平成23年度の主な調査研究の実施内容

実施項目			実施内容	実施場所	
地層科学 研究	地質環境調査技術開発	地質構造	坑道や地表での地質観察、岩石の分析・鉱物試験・測定	地下施設、北進地区、上幌延地区など	
		地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発	岩盤の 水理	気象観測（降水量、気温・湿度、風向・風速、蒸発散量）、河川流量の観測、地下水水位・土壌水分の観測、水理地質構造に関する情報（湧水量など）の取得、地下水の水圧・水質モニタリング	研究所周地、地下施設、気象観測所、北進蒸発散量観測タワー、P-3～5地点、浅層ボーリング孔、HDB-1～11孔など
			地下水の 地球化学	坑道壁面からの湧水、ボーリング孔の孔内水、岩石コアからの間隙水の化学分析、溶存ガス・コロイド・有機物・微生物の分析、河川水・降水の分析	研究所周地、地下施設、HDB-1～11孔、P-3～5地点、掘削土（ズリ）置場など
			岩盤力学	坑道内での初期地圧の測定、内空変位計測	地下施設など
		調査技術・調査機器開発	高精度傾斜計・間隙水圧計、比抵抗モニタリング技術の適用性確認、光ファイバー式中変位計の長期性能確認、弾性波トモグラフィ調査、物質移動特性に関する試験装置の適用性確認、コントロールボーリング技術の適用性確認、塩水と淡水が混在する場における地下水流動などに関する調査など	地下施設、上幌延地区、北進地区、幌延町沿岸域（陸域～海域）	
	地質環境の長期安定性に関する研究	深地層における工学的技術の基礎の開発		岩盤の変位・支保工の応力の観測、岩盤の力学特性の評価、リスク評価手法の開発、坑内火災時の通気網解析、湧水抑制対策のための技術開発	地下施設など
		地震研究	地質環境の長期的変遷に関する研究	地形・地質調査、岩石・地下水・ガスの分析・測定	地下施設、北進地区、上幌延地区、浜里地区、下沼地区、天塩川および間寒別川沿い
			地震観測、GPS観測、地形・地質調査	研究所周地、地下施設、HDB-1、2、5孔敷地、中間寒観測点、北星園観測点、北進地区、上幌延地区、下沼地区など	
	処分研究	処分技術の信頼性向上	設計手法適用のための情報の整理、低アルカリ性コンクリート材料の原位置施工試験、周辺岩盤および地下水への影響調査、緩衝材定置試験などの試験設備の整備および試験の実施	研究所周地、地下施設など	
			物質移行に関するデータ蓄積、物質移行モデルの更新、物質移行の原位置試験計画の検討、表層部の水理地質構造モデルの構築、地下水流動、物質移行を評価するための手順の整理	研究所周地など	
安全評価手法の高度化		換気・東・西立坑の掘削、250m・350m調査坑道の掘削、掘削土（ズリ）の掘削土（ズリ）置場への搬出、掘削土（ズリ）置場の拡張、掘削土（ズリ）の分析、排水処理設備の運転	研究所周地、地下施設、掘削土（ズリ）置場など		
環境モニタリング	騒音・振動・水質・動植物のモニタリング調査、坑道掘削により発生する排水などの水質調査		研究所周地、天塩川、清水川など		

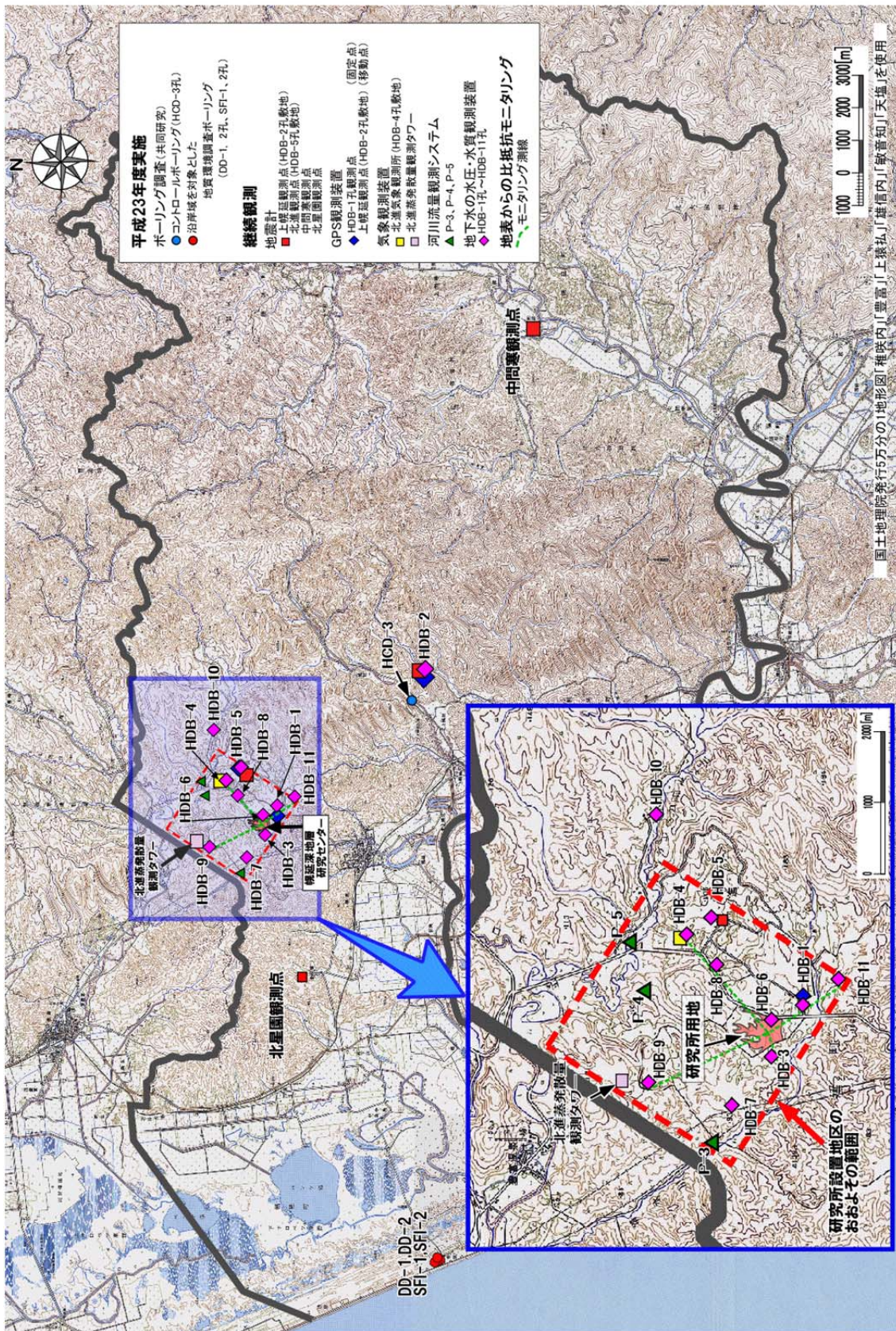


図1 ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

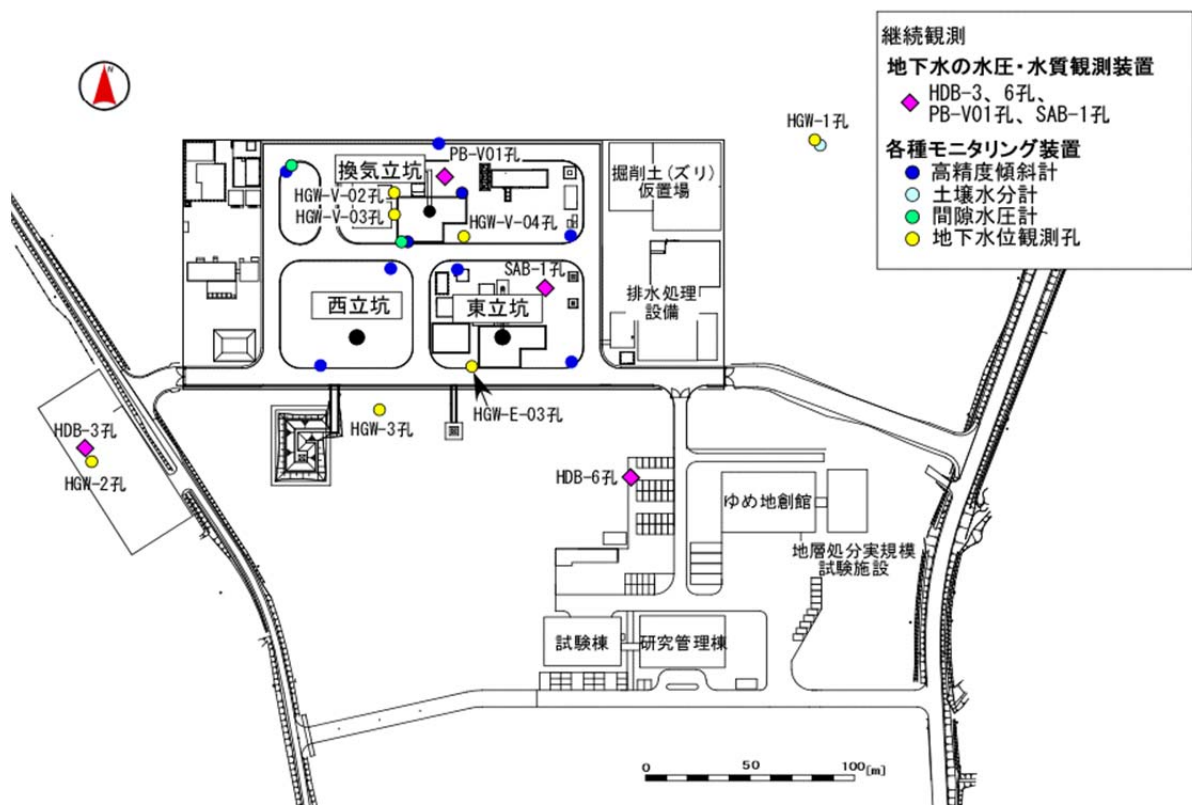
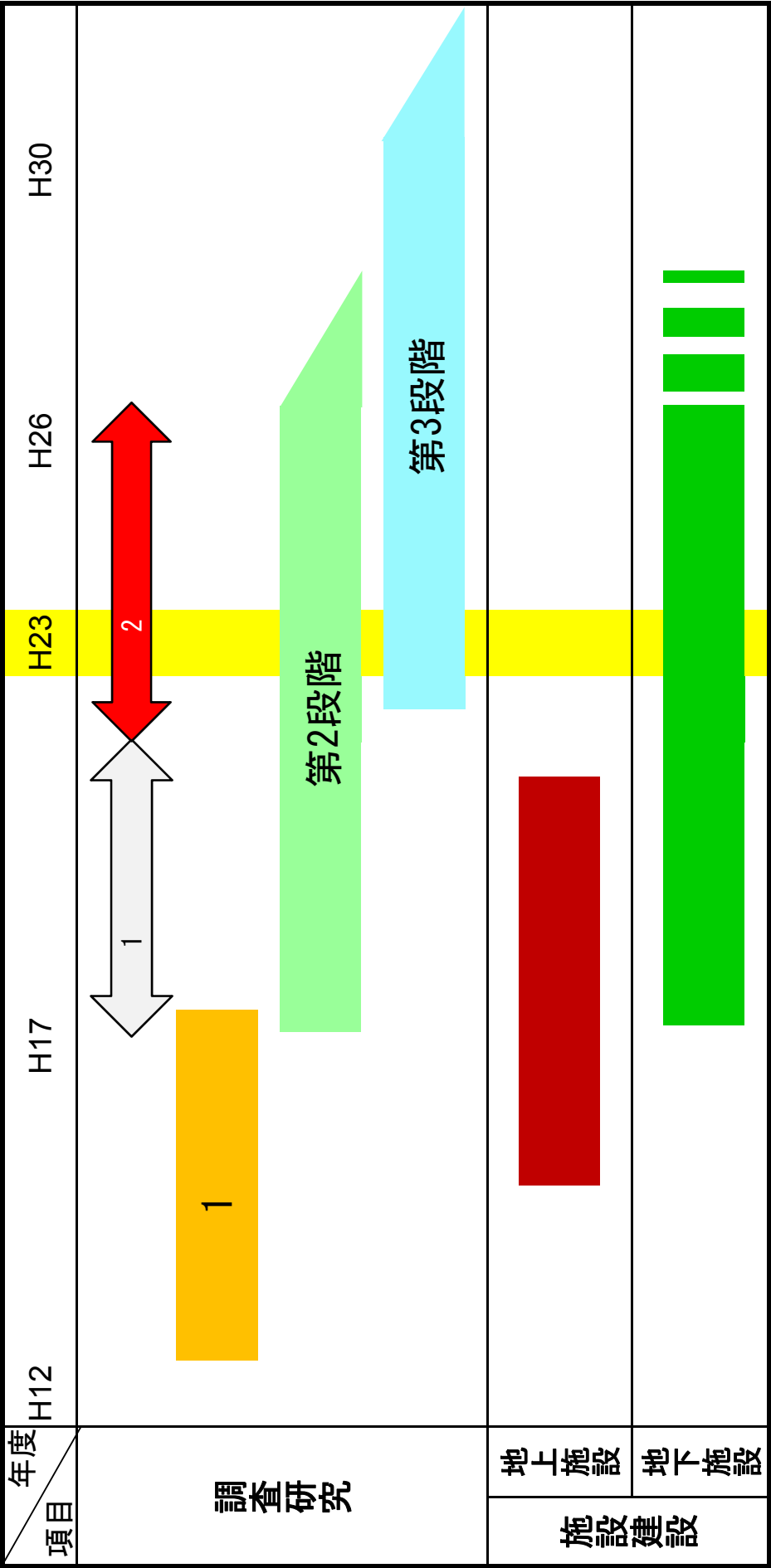


図2 研究所用地における主な施設と観測装置の配置

付 録

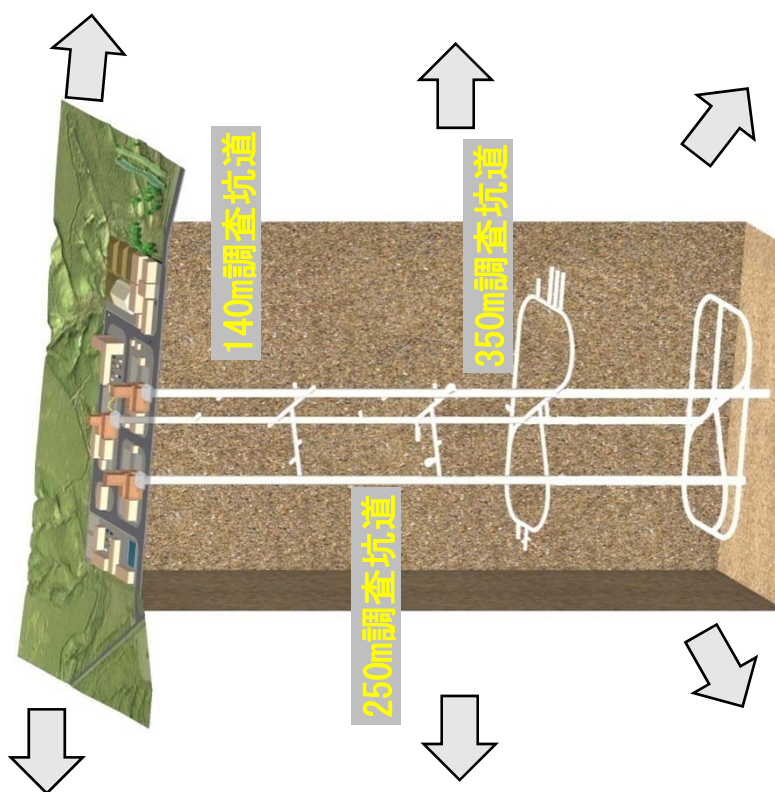
This is a blank page.

幌延深地層研究計画の全体スケジュール



- 第1段階：地上からの調査研究段階
- 第2段階：坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階
- 第3段階：地下施設での調査研究段階

幌延深地層研究計画の 全体イメージ

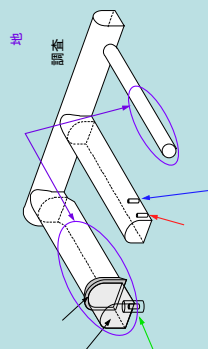


※このイメージ図は、今後の調査研究の結果次第で変わることがあります。

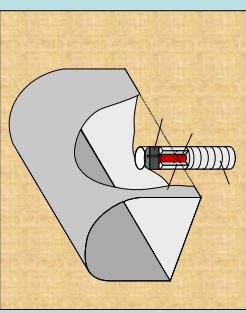
試験棟での室内試験



地層処分研究開発
(調査坑道での原位置試験イメージ)



地層処分研究開発
(オーバーパッキング腐食試験)



地層処分研究開発
(低アルカリ性コンクリート材料の試験)



地層科学研究
(物理探査)



地層科学研究
(地上からのボーリング調査)



地層科学研究
(孔間透水試験)



地層科学研究
(地下水の採水)



地層科学研究
(坑道掘削影響試験)



地層科学研究
(岩盤力学試験)



平成23年度の調査研究

地質環境調査技術開発

(地質環境モデルに関する調査・解析技術の開発)

・地質構造：

坑道や地表での地質観察、岩石の分析・鉱物試験・測定、地質構造モデルの妥当性確認

・岩盤の水理：

地下水の水圧・水質の観測、気象観測、河川流量観測、地下水位・土壌中の水分の観測、水理地質構造に関する情報の取得、地下水涵養量の算定、岩盤の水理モデルの妥当性確認

・地下水の地球化学
：

地下水の化学組成分析、溶存ガス組成・コロイド・有機物・微生物などに関する分析、河川水・降水の分析、地球化学モデルの妥当性確認

・岩盤力学：

初期地圧の測定、内空変位計測、岩盤力学モデルの適用性確認

※青字は、現地調査・試験



坑道壁面の地質観察の様子
(140m調査坑道)



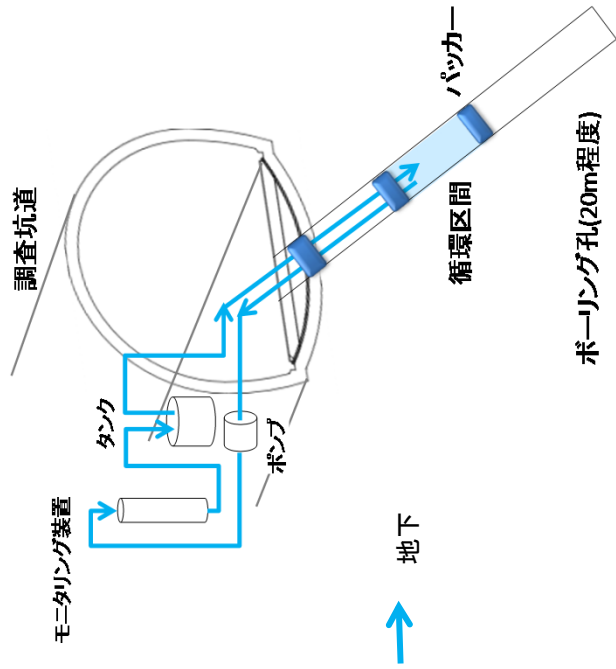
地下水採取の様子
(250m調査坑道)

平成23年度の調査研究

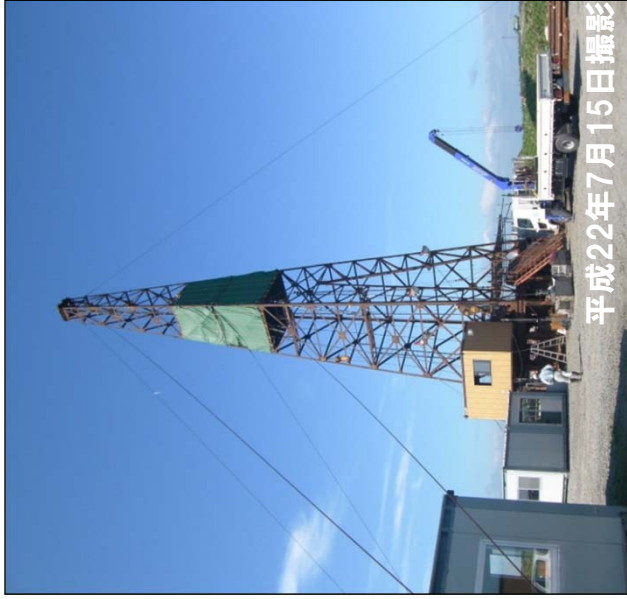
地質環境調査技術開発 (調査技術・調査機器開発)

- ・坑道内での調査技術や調査機器の開発: 地下水循環試験装置、岩盤の透水性・物質移動特性を調べる試験装置の適用性確認
- ・モニタリング技術開発: 水圧・水質連続モニタリング、高精度傾斜計・間隙水圧計・水分計などによる計測、電気探査による比抵抗分布の変化調査、光ファイバー式中変位計による計測、弾性波トモグラフィ調査
- ・コントロールボーリング技術の適用性確認: 掘削および調査の継続
- ・塩水と淡水が混在する場における地下水流動などに関する調査:

沿岸域の地質環境を対象とした物理探査やボーリング調査技術などの技術開発



地下水循環試験装置のイメージ図



沿岸域を対象としたボーリング調査の様子
(浜里地区での調査:DD-1孔)

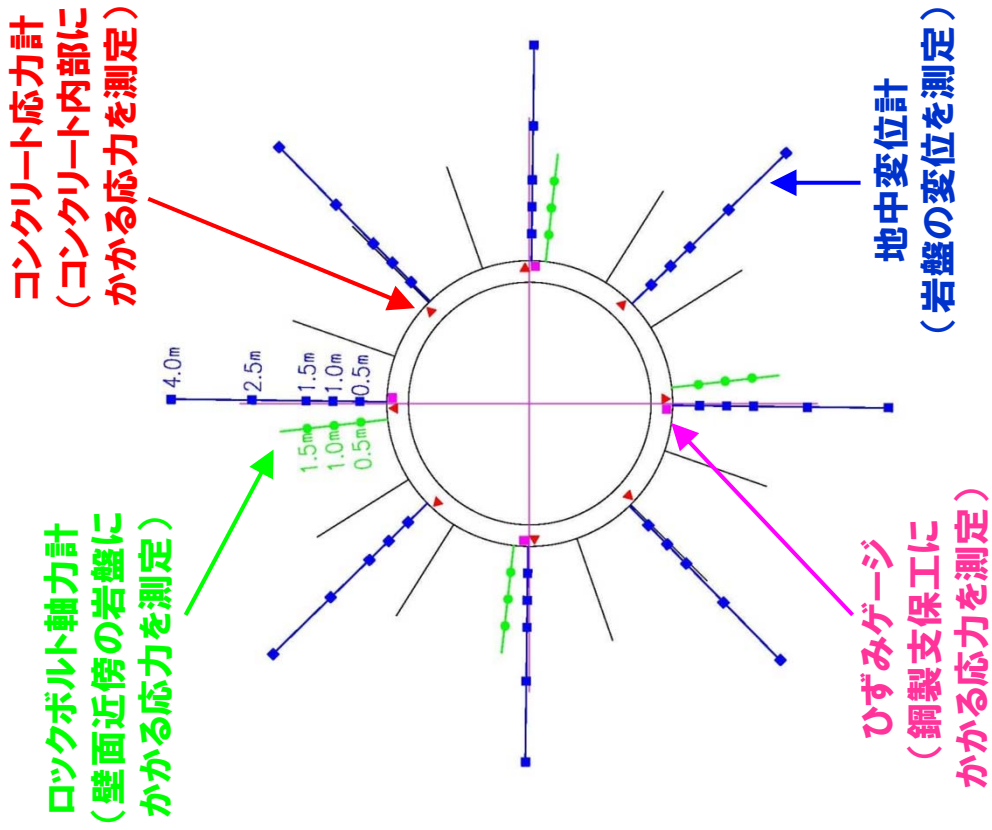
平成23年度の調査研究

深地層における工学的技術の基礎の開発

- ・地下施設の設計の妥当性確認および更新
地中変位計・コンクリート応力計などの設置・計測、
岩盤の力学特性の評価
- ・リスク評価手法の開発
坑道掘削時のデータ取得、
ボーリング調査からのデータ取得
- ・坑道内の安全確保
坑内火災時の通気網解析
湧水抑制対策のための技術開発
- ・シリカなどの新たなグラウト材料の開発



地中変位計設置状況
(東立坑深度160m)



計測機器配置図
(換気立坑標準断面)

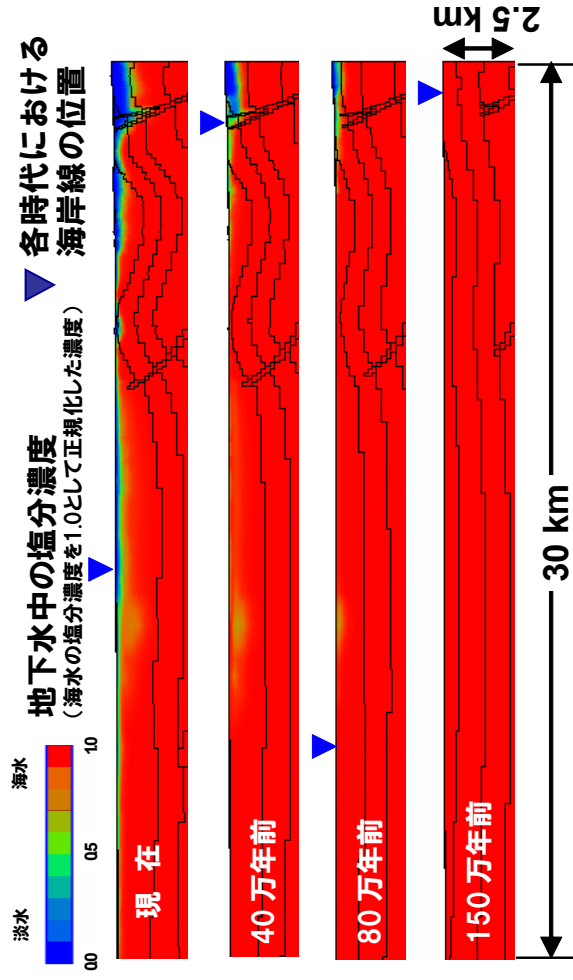
平成23年度の調査研究

地質環境の長期安定性に関する研究

- ・地質環境の長期的変遷に関する研究： 地形・地質調査、岩石・地下水・ガスの分析・測定
- ・地震研究： 地震観測、GPS観測、地形・地質調査



地質調査の様子



地下水水質の変遷に関する数値解析の例
(気候・海水準変動および地質構造の変遷を考慮)

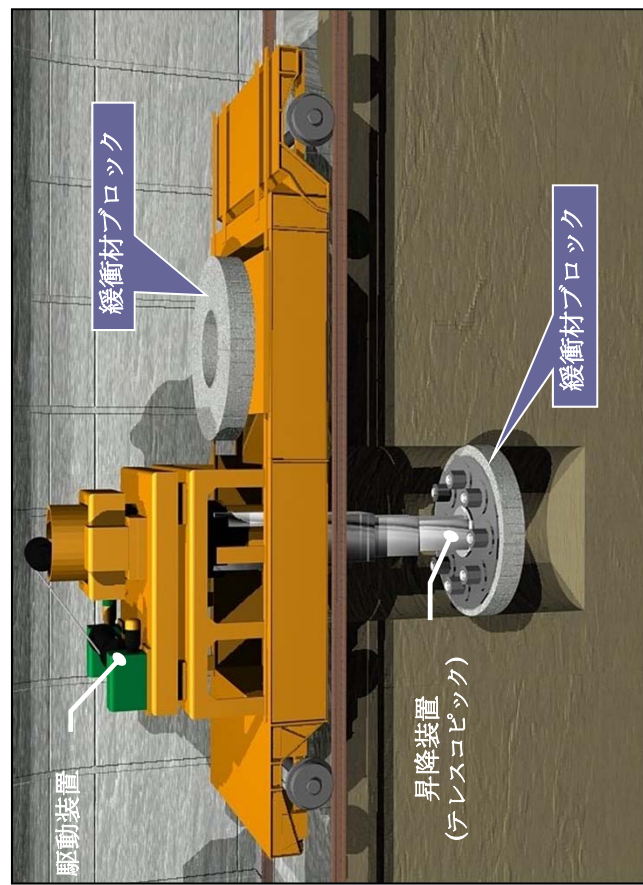
平成23年度の調査研究

地層処分研究開発

- ・ 処分技術の信頼性向上：
低アルカリ性コンクリート材料を用いた原位置施工試験、コンクリート材料が坑道周辺の地質環境に及ぼす影響を把握するための調査、緩衝材の定置試験・長期挙動試験、岩石コアや地下水を用いた室内試験
- ・ 安全評価手法の高度化：
物質移行に関するデータの取得、物質移行メカニズムの把握のための室内試験、物質移行に関する原位置試験の詳細な計画の検討、地下施設周辺の物質移行に関する解析、表層部を対象とした岩盤水理モデルの構築



低アルカリ性コンクリート材料の吹付け状況
(140m調査坑道の例)



緩衝材定置試験設備の概念図

平成23年度の調査研究

地下施設の建設



地下施設関連設備の現況

平成23年度の調査研究

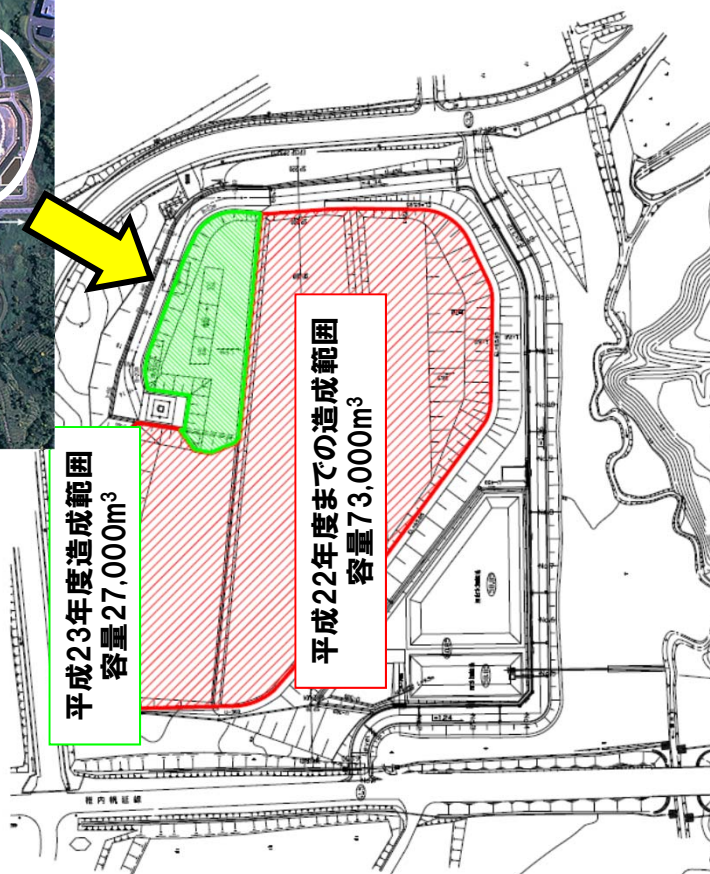
地下施設の建設

- ・換気立坑、東立坑および西立坑の掘削
- ・250mおよび350m調査坑道の掘削
- ・掘削土(ズリ)の掘削土(ズリ)置場への搬出
- ・掘削土(ズリ)置場の拡張
- ・掘削土(ズリ)の分析
- ・排水処理設備の運転



平成22年7月5日撮影

250m調査坑道の状況
(換気立坑側より東立坑側を望む)



掘削土(ズリ)置場の拡張

平成23年度の調査研究

環境モニタリング

- ・騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査
- ・地下施設の建設に伴う水質モニタリング調査



環境モニタリングの作業の様子
(魚類生息調査)

安全確保への取り組み

- ・安全教育の実施
- ・定期的な安全パトロールの実施

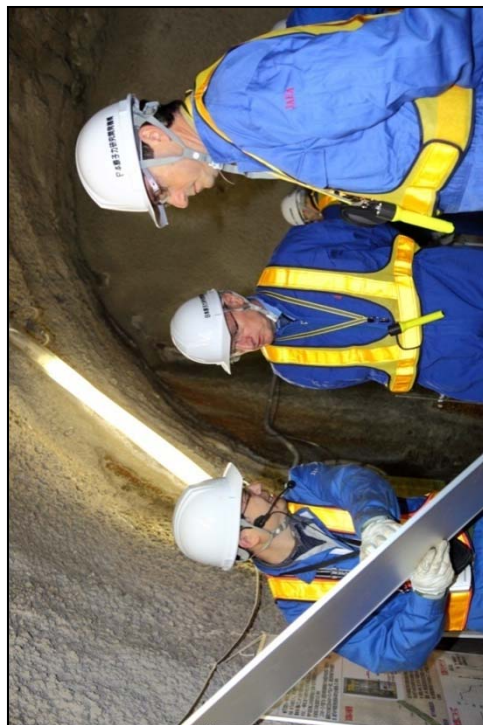


安全パトロールの様子
(平成22年度実施の例)

平成23年度の調査研究

開かれた研究

- ・ 国内機関との研究協力:
大学 ; 北海道大学、東京都市大学、静岡大学など
研究機関: 幌延地圏環境研究所、電力中央研究所、原子力安全基盤機構など
- ・ 国外機関との研究協力:
Nagra(スイス)、モンテリ・プロジェクト(スイス)、ANDRA(フランス)など



地下施設の見学の様子
モンテリ・ワークショップ:
平成22年5月11日



地元小学校へ出張授業の様子

ウェブサイトでの情報発信
<http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/>

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량	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	ジーメンズ	S	A/V	m ⁻² kg ⁻¹ s ³ A ²
磁束	ウェーバ	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
セルシウス度 ^(e)	セルシウス度 ^(e)	℃		K
光束度	ルーメン	lm	cd sr ^(c)	cd
照射度	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
酸素活性化	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 radionuchide）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
粘着力のモーメント	パスカル秒 ニュートンメートル	Pa s N m	m ⁻¹ kg s ⁻¹ 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 s A
表面電荷	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
電束密度，電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m ²	m ⁻² s A
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 s A
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	Y	10 ⁻¹	デシ	d
10 ²¹	ゼ	Z	10 ⁻²	センチ	c
10 ¹⁸	エクサ	E	10 ⁻³	ミリ	m
10 ¹⁵	ペ	P	10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ¹²	テ	T	10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁹	ギ	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	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 ⁴ m ²
リットル	L, l	1L=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)×10 ⁻¹⁹ J
ダルトン	Da	1Da=1.660 538 86(28)×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)×10 ¹¹ m

表 8. SIに属さないが³、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 ⁵ Pa
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
バイン	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。
ベレル	B	
デジベール	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	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 ⁴ cd m ⁻²
フオット	ph	1 ph=1cd sr cm ⁻² 10 ⁴ lx
ガッラル	Gal	1 Gal=1cm s ⁻² =10 ⁻² ms ⁻²
マクスウェル	Mx	1 Mx=1 G 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 ≡ (10 ³ /4π)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=3.7×10 ¹⁰ Bq
レントゲン	R	1 R = 2.58×10 ⁻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		1フェルミ=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 = 2×10 ⁻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	1cal=4.1858J（「15℃」カロリー）， 4.1868J（「IT」カロリー） 4.184J（「熱化学」カロリー）
マイクロン	μ	1 μ =1μm=10 ⁻⁶ m

