JAEA-Review
2010-041

JAEA-Review

幌延深地層研究計画　平成22年度調査研究計画

Horonobe Underground Research Laboratory Project
Investigation Program for the 2010 Fiscal Year

（編）中山 雅　真田 祐幸　佐野 満昭　杉田 裕

(Eds.) Masashi NAKAYAMA, Hiroyuki SANADA, Michiaki SANO 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

October 2010

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

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, 2010

幌延深地層研究計画　平成 22 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、真田 祐幸+、佐野 満昭※、杉田 裕

(2010 年 7 月 16 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 22 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 段階の調査研究を継続し、第 3 段階の具体的な調査研究計画を策定します。また、完成した一部の坑道を利用して第 3 段階の調査研究を開始します。

幌延深地層研究センター(駐在)：〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2
+ 東濃地科学研究ユニット
※ （株）間組（2010 年 6 月 30 日まで技術開発協力員）

Horonobe Underground Research Laboratory Project Investigation Program for the 2010 Fiscal Year

(Eds.) Masashi NAKAYAMA, Hiroyuki SANADA[+], Michiaki SANO[※※] and Yutaka SUGITA

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

(Received July 16, 2010)

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 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 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 2010 fiscal year (2010/2011).

In the 2010 fiscal year, investigations in "geoscientific research", including "development of techniques for investigating the geological environment", "development of techniques for long-term monitoring of 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.

Construction of the underground facilities is ongoing at Access Shaft (East) and 250m depth drift.

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

---

+ Tono Geoscientific Research Unit
※ Hazama Coorporation (former Collaborating Engineer)

目　次

1. はじめに ····· 1
2. 平成 22 年度の主な調査研究内容 ····· 1
3. 地層科学研究 ····· 2
3.1　地質環境調査技術開発 ····· 2
3.1.1 地質環境データの取得 ····· 2
3.1.2 地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築 ····· 3
3.1.3 調査技術・調査機器開発 ····· 4
3.2　地質環境モニタリング技術開発 ····· 5
3.2.1 地上におけるモニタリング技術開発 ····· 5
3.2.2 地下施設におけるモニタリング技術開発 ····· 5
3.3　深地層における工学的技術の基礎の開発 ····· 5
3.4　地質環境の長期安定性に関する研究 ····· 6
3.4.1 地質環境の長期的変遷に関する研究 ····· 6
3.4.2 地震研究 ····· 6
4. 地層処分研究開発 ····· 6
4.1　処分技術の信頼性向上 ····· 6
4.1.1 人工バリアなどの工学技術の検証 ····· 6
4.1.2 設計手法の適用性確認 ····· 6
4.2　安全評価手法の高度化 ····· 7
4.2.1 安全評価モデルの高度化 ····· 7
4.2.2 安全評価手法の適用性確認 ····· 7
5. 地下施設の建設 ····· 7
6. 環境モニタリング ····· 8
6.1　騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査 ····· 8
6.2　地下施設の建設に伴うモニタリング調査 ····· 8
7. 安全確保の取組み ····· 8
8. 開かれた研究 ····· 8
8.1　国内機関との研究協力 ····· 8
8.1.1 大学との研究協力 ····· 8
8.1.2 その他の機関との研究協力 ····· 9
8.2　国外機関との研究協力 ····· 9
付録 ····· 13

Contents

1. Introduction ····· 1
2. Outline of the investigation program for the 2006 fiscal year ····· 1
3. Geoscientific research ····· 2
3.1 Development of techniques for investigating the geological environment ····· 2
3.1.1 Acquisition of geoscientific data ····· 2
3.1.2 Evaluation of methodologies for investigation/analysis and for modeling of the geological environment ····· 3
3.1.3 Development of investigation techniques and equipment ····· 4
3.2 Development of techniques for long-term monitoring of the geological environment ····· 5
3.2.1 Development of monitoring techniques from the surface ····· 5
3.2.2 Development of monitoring techniques in URL ····· 5
3.3 Development of engineering techniques for use in the deep underground environment ··· 5
3.4 Studies on the long-term stability of the geological environment ····· 6
3.4.1 Studies on long-term changes in the geological environment ····· 6
3.4.2 Seismological studies ····· 6
4. Research and development on geological disposal technology ····· 6
4.1 Improving the reliability of disposal technologies ····· 6
4.1.1 Verification of the engineered barrier technology ····· 6
4.1.2 Confirming the applicability of EBS design methods ····· 6
4.2 Enhancement of safety assessment methodologies ····· 7
4.2.1 Enhancement of safety assessment model ····· 7
4.2.2 Confirming the applicability of safety assessment methodologies ····· 7
5. Construction of the underground facilities ····· 7
6. Environmental monitoring ····· 8
6.1 Monitoring of noise, vibration, water property, flora and fauna ····· 8
6.2 Monitoring the construction of the underground facilities ····· 8
7. Security effort ····· 8
8. Collaboration with other research organizations ····· 8
8.1 Collaboration with domestic research organizations ····· 8
8.1.1 Collaboration with universities ····· 8
8.1.2 Collaboration with other research organizations ····· 9
8.2 Collaboration with overseas research organizations ····· 9
Appendix ····· 13

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）」（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）」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」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22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段階の調査研究を継続し、第3段階の具体的な調査研究計画を策定します。また、完成した一部の坑道を利用して第3段階の調査研究を開始します。

2. 平成 22 年度の主な調査研究内容

平成22年度は、地層科学研究のうち、地質環境調査技術開発では、坑道掘削時の調査を通して、地質構造、岩盤の水理、地下水の地球化学および岩盤力学に関するデータを取得します。また、これらのデータを基に、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、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を推定します。さらに、第1段階の調査における品質保証システムの整備を行います。調査技術・調査機器開発では、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。また、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進めます。

地質環境モニタリング技術開発では、地上および地下施設での調査技術の有効性を確認します。そのため、地上におけるモニタリング技術の開発として、地下水の水圧・水質や地表付近の岩盤変形を長期的にモニタリングするために開発・設置した機器による観測を継続し、地下施設建設による影響を評価します。また、地下施設におけるモニタリング技術開発として、調査坑道からのボーリング孔内に設置した水圧・水質連続モニタリング装置および光ファイバー式地中変位計などの長期的な性能を確認します。

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、岩盤の変位や支保工

の応力を計測するシステムを設置し、得ら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、これまでに得られたデータに基づき、支保の合理化や地山評価方法の改良を行うとともに、リスク評価手法の開発を実施します。また、坑内火災時の通気網解析および新たなグラウト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、地下水の水質の変遷に関する数値解析手法の取りまとめなどを行うとともに、これまでに設置した地震計やGPS観測機器などによる観測を継続します。また、地震・断層活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検討するとともにガス移行挙動試験については、必要となる坑道の整備などを行います。また、平成21年度に地下施設で施工試験を実施した低アルカリ性コンクリート材料の周辺岩盤および地下水への影響調査に着手するとともに、緩衝材定置試験設備などの整備を継続し、設備を用いた試験を実施します。さらに、平成21年度までに得られた地質環境データや室内試験からのデータなどを用いて人工バリア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行います。安全評価手法の高度化のための研究開発では、物質移動に関するデータの蓄積を進め、現象の理解を深めます。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動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動に関する解析を行い、基盤技術として整備した安全評価手法の適用性を確認します。

平成22年度に地下施設、研究所用地およびその周辺の研究所設置地区を含む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、東立坑および250m調査坑道の掘削を継続し、西立坑の掘削の着手を目指します。掘削に伴い発生する掘削土(ズリ)は、掘削土(ズリ)置場に搬出します。掘削の進捗などに伴う掘削土(ズリ)の増量に備えて掘削土(ズリ)置場の拡張工事を実施します。また、坑道掘削などにより発生する排水は、排水処理設備で適切に処理した上で、排水管路を経て天塩川に放流します。なお、坑道の整備などに民間活力の導入を図ります。

環境モニタリングとして、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。

また、安全確保の取組みとして、リスクアセスメントの実施や安全パトロールなどの活動を継続します。

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データの取得、地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築、調査技術・調査機器開発を行います。

3.1.1 地質環境データの取得

(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。

平成22年度は、坑道や研究所設置地区およびその周辺の地表での地質観察、および採取した岩石サンプルの化学分析や鉱物試験を継続します。また、ボーリング調査で得られる岩石コアの地質観察や鉱物試験などの調査も継続します。

(2) 岩盤の水理

第2段階では、第1段階において掘削したボーリング孔や、気象観測所、地下施設などを利用し、岩盤の透水性の分布や地下水の圧力分布に関する予測結果の妥当性を確認するためのデータを取得します。

平成22年度は、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、地下浅部での水の動きを概略的に把握し、降水が地下の岩盤にしみ込む量（地下水涵養量）を算定するとともに、調査手法の妥当性を確認します。

地下施設においては、坑道の掘削と並行して、湧水を伴う割れ目の性状や湧水の量などの水理地質構造に関する情報の取得を継続します。

(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において地下水の採水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。

平成22年度は、平成21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、坑道内のボーリング孔から採取した地下水および岩石コアから抽出した間隙水の化学分析や、溶存ガス、コロイド、有機物および微生物の分析などを行い、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的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）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解析を継続します。

(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。

平成 22 年度は、坑道掘削時における坑道周辺岩盤の力学特性の変化を測定するために、掘削前の坑道の周辺岩盤内に、あらかじめ計測機器を設置し、掘削前後で測定を実施します。このほか、坑道から掘削するボーリング孔を用いて初期地圧の測定を行い、地下深部に作用する初期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検討します。

3.1.2 地上からの調査・解析手法の妥当性確認と地質環境モデルの構築

第 2 段階では、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、地質環境モデルを更新します。また、坑道掘削に伴って取得する地質環境データに基づき、第 2 段階において展開する調査坑道周辺の地質環境を推定します。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。

平成 22 年度は、坑道掘削時の調査や立坑近傍のボーリング調査（PB-V01 孔および SAB-1 孔）などで取得された地質環境データに基づき、調査・解析手法とモデル化手法の体系化を進めるとともに、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の妥当性の確認と更新を継続します。

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、体系的な品質保証システムの構築を進めます。

(1) 地質構造モデル

第2段階では、坑道内での地質観察から得られる新たなデータに基づいて、第1段階で構築した地質構造モデルの妥当性を確認し、モデルを更新します。また、坑道周辺の詳細な地質構造モデルを構築します。

平成22年度は、平成21年度に引き続いて、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、モデルの詳細化を図ります。

(2) 岩盤の水理モデル

第 2 段階では、第 1 段階で構築した水理地質構造モデルの妥当性を確認するとともに、新たに取得するデータに基づき、モデルを更新します。また、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手法の妥当性を確認します。

平成 22 年度は、坑道の壁面観察結果や東立坑近傍のボーリング調査(SAB-1 孔)から得られた透水係数、および平成 21 年度までの調査結果に基づき、研究所設置地区とその周辺の水理地質構造モデルを更新します。このモデルを用いて、坑道掘削時の地下水の湧出量や周囲の水圧の変化を予測するための地下水流動解析を行い、実際の観測値との比較を通じて、水理地質構造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、これまでの調査の進展に伴って更新してきた水理地質構造モデルおよびそれに基づく地下水流動解析の結果を整理することにより、調査、モデル化、解析の一連の手順における留意点などを取りまとめます。

(3) 地下水の地球化学モデル

第 2 段階では、坑道内における調査研究を実施し、第 1 段階で構築した地球化学モデルによる予測結果や予測手法の妥当性を確認し、新たに得られたデータに基づき、必要に応じてモデルを更新します。また、地下施設建設の影響による地下水の水質変化を表現するモデル化手法について検討します。

平成 22 年度は、坑道壁面や坑道から掘削したボーリング孔などから得られる地下水や溶存ガス、岩石コアから取得する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、地下施設建設に伴う周辺地球化学環境の変化に関わる地球化学モデルの更新を継続します。

(4) 岩盤力学モデル

第2段階では、坑道における調査により、新たに取得するデータに基づき、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。

平成22年度は、平成21年度までに得られた室内試験結果や初期地圧の測定結果および坑道の掘削・調査により得られた計測データに基づき、第1段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性を確認するとともに、必要に応じてモデルを更新します。また、坑道内で実施している内空変位計測などの結果から、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。

3.1.3 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、必要に応じて第 3 段階の調査研究に使用する調査技術の開発を行います。

平成 22 年度は、坑道内における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、坑道周辺の岩盤および地下水の地球化学特性、微生物特性、岩盤の還元環境回復能力を把握するための地下水循環試験装置の開発を行います。また、坑道から掘削するボーリング孔を利用し、ボーリング孔間の岩盤の透水性に加えて物質移動特性を調べるための試験装置の開発を行います。

坑道の掘削に伴う坑道周辺の岩盤特性の変化の程度や範囲を把握するための技術開発や、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実施します。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 地質環境モニタリング技術開発

3.2.1 地上におけるモニタリング技術開発

第2段階では、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を含む地上からのモニタリング技術の適用性を確認するとともに、地下施設建設に伴う地質環境の変化に関するデータを取得します。

平成22年度は、これまでにボーリング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、高精度傾斜計および間隙水圧計を用いて、地表付近の微小な岩盤の変形の観測を継続し、引き続き坑道掘削による影響を評価します。
遠隔監視システムについては、これまでに取得したデータに基づいて、坑道掘削に伴う地質環境の変化に対する感度特性などの解析結果を取りまとめます。

一方、地下施設建設時の地下水流動の変化をモニタリングするため、平成18年度より実施している、比抵抗分布の変化を調べる電気探査については、地下施設建設の進捗状況、坑道からの湧水量、比抵抗値などの変化を見つつ、実施の判断を行います。

3.2.2 地下施設におけるモニタリング技術開発

第2段階では、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、施設閉鎖後の坑道周辺の環境を推測するための解析に利用します。

平成22年度は、これまでに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、坑道掘削に伴う地質環境（地下水流動や水質、微生物特性など）の変化に関するデータの取得を継続します。また、250m調査坑道において、同装置を改良した水圧・水質連続モニタリング装置の設置のための準備を進めます。

力学特性に関しては、平成21年度に立坑周辺に設置した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ー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高めます。さらに、250m調査坑道において、坑道の周辺に発生する掘削影響を対象とした試験の準備を進めます。

3.3 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、得ら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。

平成22年度は、東立坑および250m調査坑道の掘削を進めながら、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データを取得するとともに、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を確認します。

また、これまでに得られたデータに基づき、今後掘削する坑道の支保の合理化や地山評価方法の改良を行うとともに、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、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、シリカなどの新たなグラウト材料の開発を継続します。

3.4 地質環境の長期安定性に関する研究

3.4.1 地質環境の長期的変遷に関する研究

断層活動や海水準変動などの天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て、天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22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、および地表に露出している地層から採取する岩石サンプルの分析などを行います。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。

3.4.2 地震研究

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

平成22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解析し、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とともに、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・断層活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し、地下施設において原位置試験を実施します。

平成22年度は、第3段階で実施する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検討します。また、ガス移行挙動試験を実施するために必要な坑道の整備を250m調査坑道において行います。

第3段階の研究として、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に着手します。具体的には、平成21年度に140m調査坑道において施工した低アルカリ性コンクリート材料の施工箇所から岩石コアや地下水を採取し、分析を実施します。また、平成21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・製作を他の研究機関との共同研究として継続するとともに、一部の設備については試験を開始します。

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）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、地層処分において特徴的な、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。

平成22年度は、平成21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得られた地質環境データや、これまでに室内試験から得られ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。また、それらの情報や条件に基づいて、第3段階で実施する人工バリア性能確認試験などの設計手法の適用性に関する原位置試験の詳細な計画について検討します。

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や収着分配係数などの物質移動に関するデータのほか、物質移動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に関するデータを蓄積するとともに、物質移動に関するメカニズムや現象の理解を通して、データの信頼性と精度の向上、ならびに物質移動に関わるモデルの高度化を図ります。

平成22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動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、室内試験により得られたデータや、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動に関する原位置試験の詳細な計画について検討します。

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、サイトスケール）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動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。

平成22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動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動に関する解析を行い、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水理地質構造モデルの構築および地下水流動、物質移動を評価するための手順などを整理します。

さらに、共同研究として実施する新たなボーリング調査や重力探査などによりデータを取得し、安全評価手法の信頼性を向上する上で必要なモデルの更新などに反映します。

5. 地下施設の建設

平成22年度は、平成21年度に引き続き、東立坑の掘削および250m調査坑道の掘削を継続します。また、湧水抑制のための調査を行い、必要に応じて対策を行います。西立坑については、掘削の着手を目指します。なお、坑道整備については、合理化・効率化の観点から民間活力の導入を図ります。

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性状などの情報を適時設計に反映したものとします。なお、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21年度に引き続き、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。モニタリングの対象は、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の実施に当たっては、安全確保を最優先に作業を実施します。具体的には、自主保安の徹底を図るため、リスクアセスメントの実施や作業者などに対する安全教育を実施するとともに、定期的な安全パトロールを通じて作業に係る安全管理を行います。また、作業の安全確保をより確実にするための仕組みなどについて継続的な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、平成21年度に運用を開始した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、平成21年度にゆめ地創館の隣接地に建設した、地層処分概念や人工バリアシステムの工学技術に関わる研究を体感できる設備建屋を公開するとともに、設備建屋内において試験設備の整備を継続します。

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
- 埼玉大学：
  地下水の流れ方、メタンガスの起源などに関する研究
- 静岡大学：
  地下水・岩石中の微生物特性に関する研究

- 東京都市大学など：
  微量元素の放射化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

上記のほか、新潟大学など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：
  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：
  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
- 北海道立地質研究所：
  地形の変化と古環境の復元および表層水理に関する研究
- 原子力安全基盤機構、産業技術総合研究所：
  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

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に関して、平成21年度に引き続き、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を、それぞれの実施機関との共同研究として実施します。

8.2 国外機関との研究協力

- Nagra（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（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（フランス）やKAERI（韓国）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。

表1　平成22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、岩石サンプルの化学分析・鉱物試験	地下施設、北進地区、上幌延地区など
		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、地下水位・土壌水分の観測、水理地質構造に関する情報の取得	研究所用地、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
		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	研究所用地、地下施設、HDB-1～11孔、P-3～5地点など
		岩盤力学	坑道掘削時の力学特性や坑道内での初期地圧の測定	地下施設など
		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、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、	地下施設、上幌延地区、北進地区、幌延町沿岸域（陸域～海域）
	地質環境モニタリング技術開発	地上におけるモニタリング技術開発	地上からのボーリング孔を用いた水圧・水質モニタリング、高精度傾斜計・間隙水圧計、遠隔監視システムによる計測、比抵抗モニタリング技術の適用性確認	研究所用地、HDB-1～11孔、北進地区など
		地下施設におけるモニタリング技術開発	坑道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、間隙水圧計・水分計による計測、光ファイバー式地中変位計の長期性能確認、弾性波トモグラフィー調査	地下施設
	深地層における工学的技術の基礎の開発		岩盤の変位・応力の観測、坑道支保の合理化、地山評価方法の改良、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、岩石サンプルの分析	北進地区、上幌延地区、浜里地区、下沼地区、天塩川および問寒別川沿い
		地震研究	地震観測、GPS観測	研究所用地、地下施設、HDB-1、2、5孔敷地、中問寒観測点、北星園観測点、北進地区、上幌延地区、下沼地区
地層処分研究開発	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	研究所用地、地下施設など
	安全評価手法の高度化		物質移動に関するデータ蓄積、物質移動モデルの更新、地下施設周辺での物質移動に関する解析、表層部の水理地質構造モデルの構築、地下水流動、物質移動を評価するための手順の整理	研究所用地、北進地区など
地下施設の建設			東立坑および250m調査坑道の掘削、西立坑の着工、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	研究所用地、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	研究所用地、天塩川、清水川など

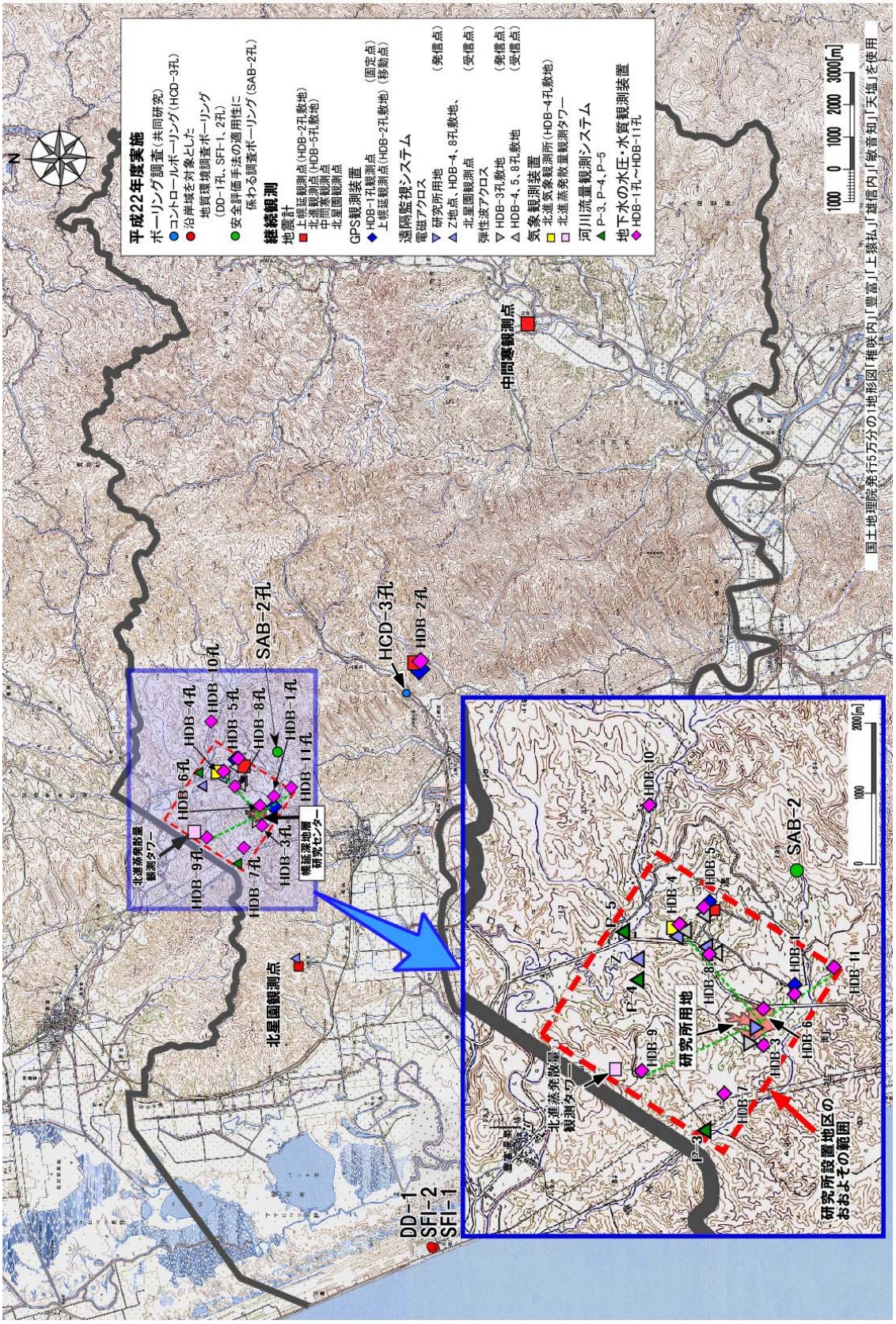


図1　ボーリング孔の位置および観測装置の設置場所

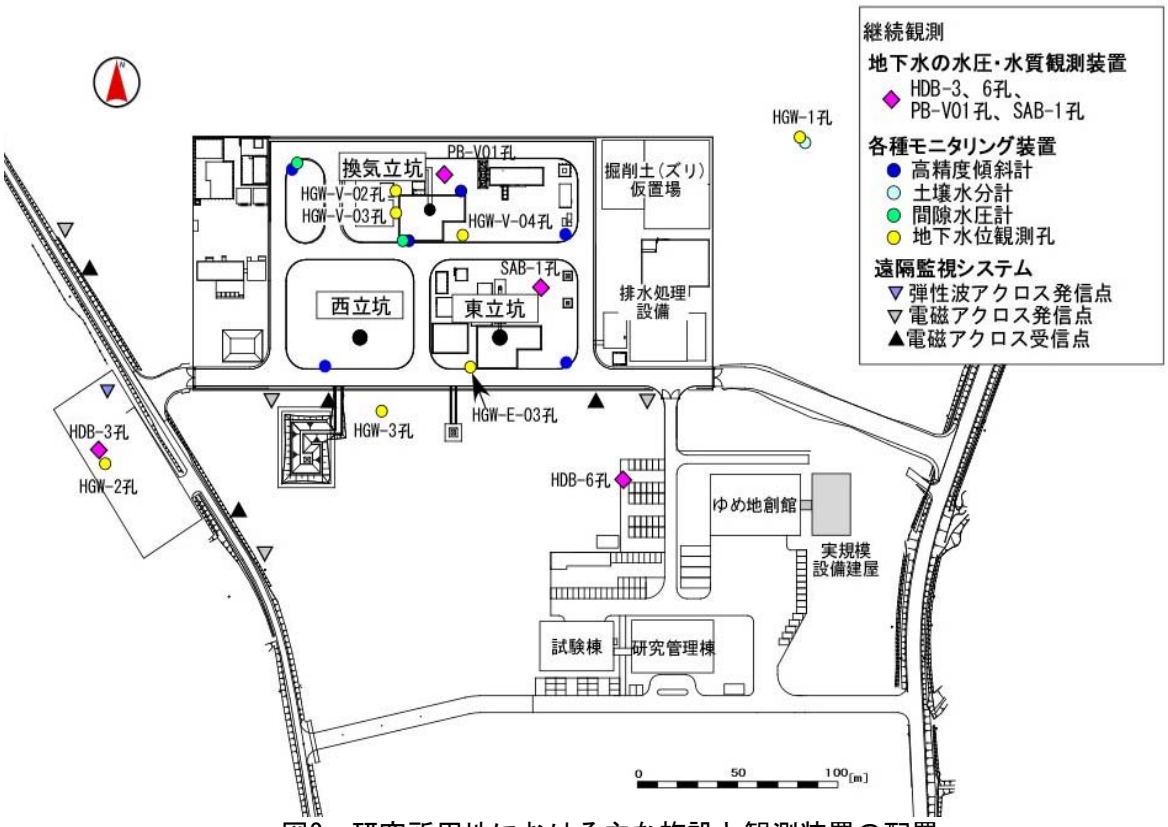
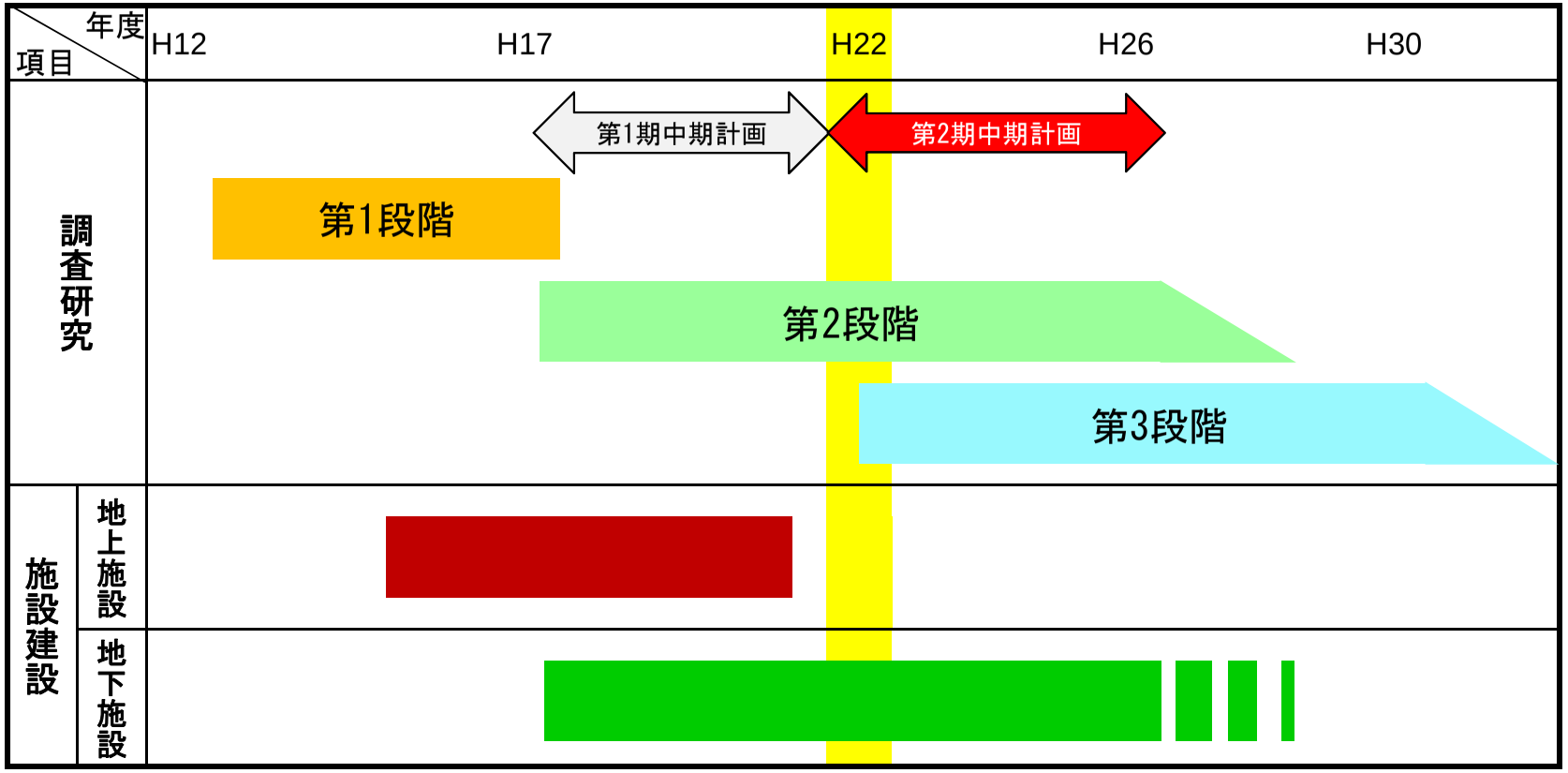


図2　研究所用地における主な施設と観測装置の配置

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



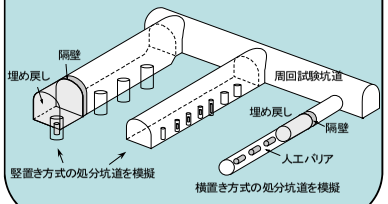
第１段階：　地上からの調査研究段階
第２段階：　坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階
第３段階：　地下施設での調査研究段階

JAEA-Review 2010-041

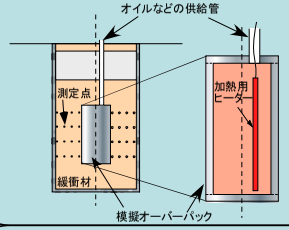
幌延深地層研究計画の全体イメージ

試験棟での室内試験

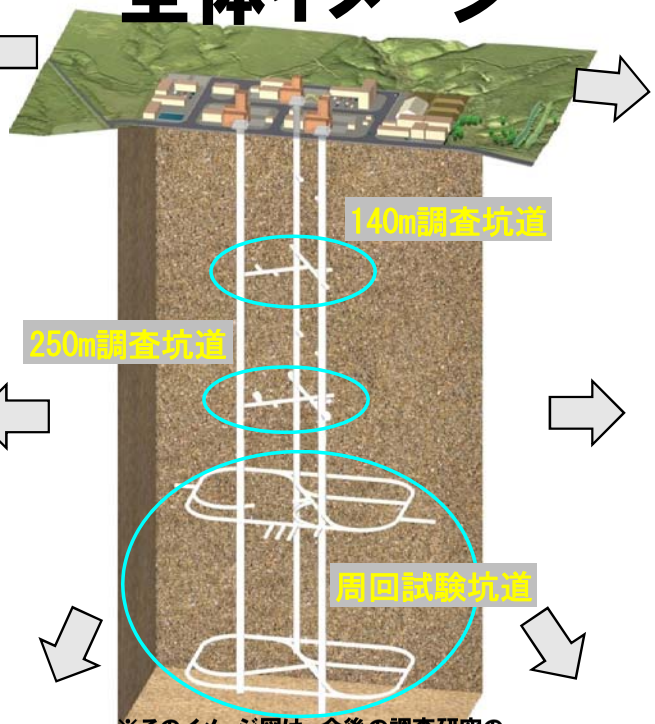
地層処分研究開発
（調査坑道での原位置試験イメージ）



地層処分研究開発
（オーバーパック腐食試験）



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）



※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。

地層科学研究
（岩盤力学試験）

地層科学研究
（坑道掘削影響試験）

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）

平成22年度の調査研究

地質環境調査技術開発
（地質環境データの取得）

・地質構造：坑道や地表での地質観察、岩石サンプルの化学分析・鉱物試験
・岩盤の水理：気象観測、河川流量の観測、地下水位・土壌水分の観測、水理地質構造に関する情報の取得
・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
・岩盤力学：坑道掘削時の力学特性や坑道内での初期地圧の測定

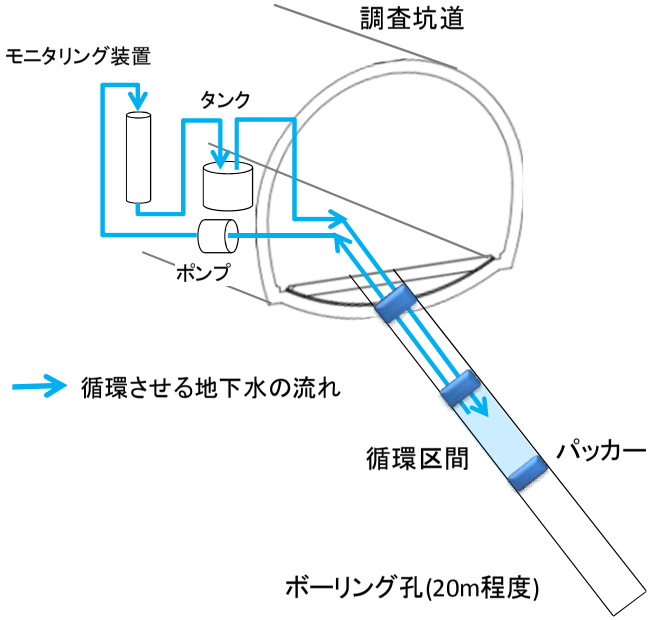
坑道壁面の地質観察の様子
（140m調査坑道）

地下水採取の様子
（250m調査坑道）

平成22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
- 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

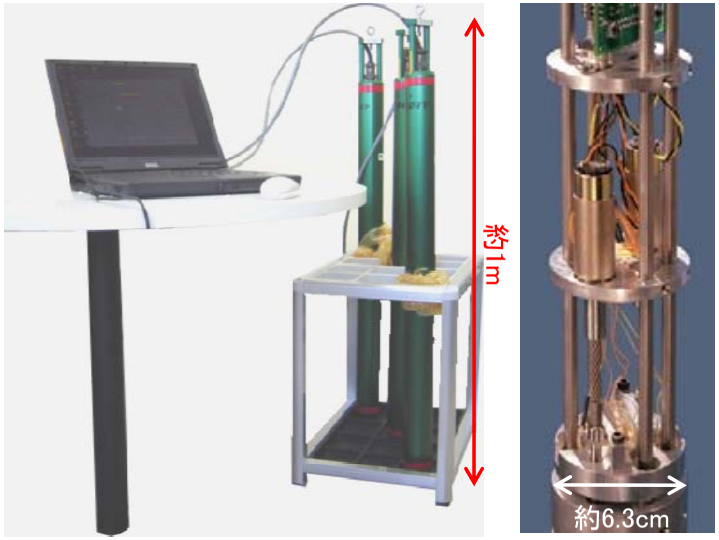
沿岸域を対象としたボーリング調査の様子
（浜里地区での調査）

平成22年度の調査研究

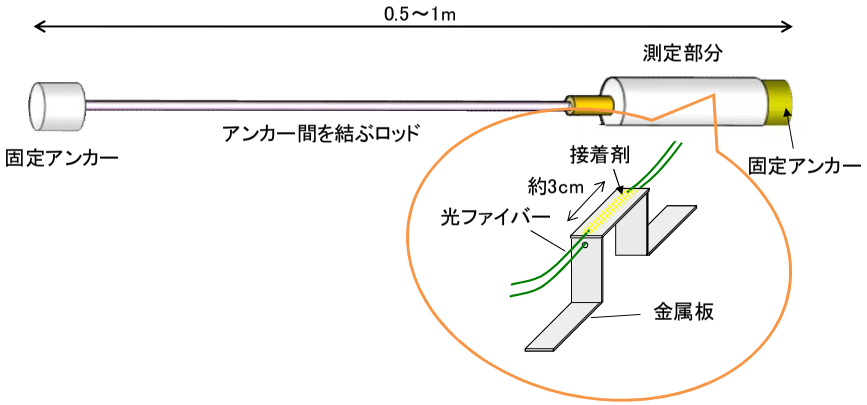
地質環境モニタリング技術開発

地上におけるモニタリング技術開発
- •地下水の水圧・水質モニタリング
- •高精度傾斜計・間隙水圧計による計測
- •遠隔監視システムによる計測
- •電気探査による比抵抗分布の変化の調査

地下におけるモニタリング技術開発
- •地下水の水圧・水質モニタリング
- •間隙水圧計、水分計による計測
- •光ファイバー式地中変位計による計測
- •弾性波トモグラフィー調査



高精度傾斜計の外観(左)および測定部(右)



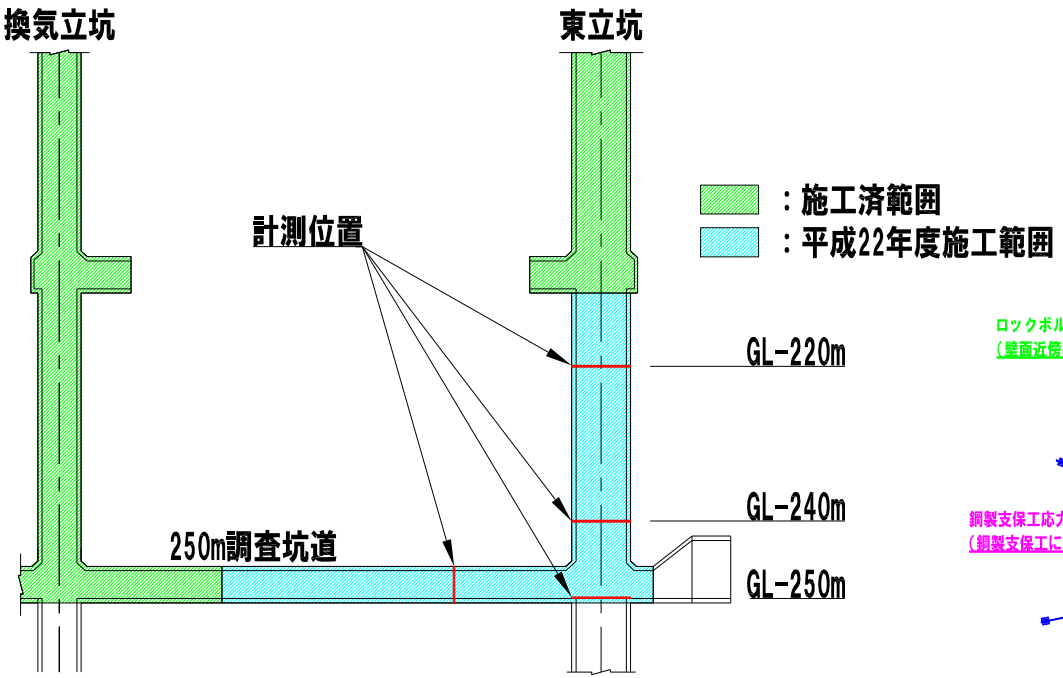
光ファイバー式地中変位計の概念図

JAEA-Review 2010-041

平成22年度の調査研究

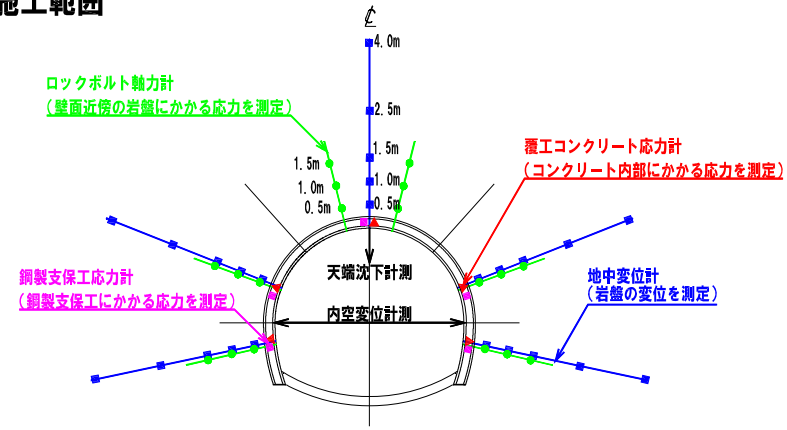
深地層における工学的技術の基礎の開発

- 岩盤の変位・応力の観測
- 坑道の支保の合理化や地山評価方法の改良
- 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



計測機器設置位置図

計測機器設置状況
（140m調査坑道の例）



計測機器配置図
（調査坑道）

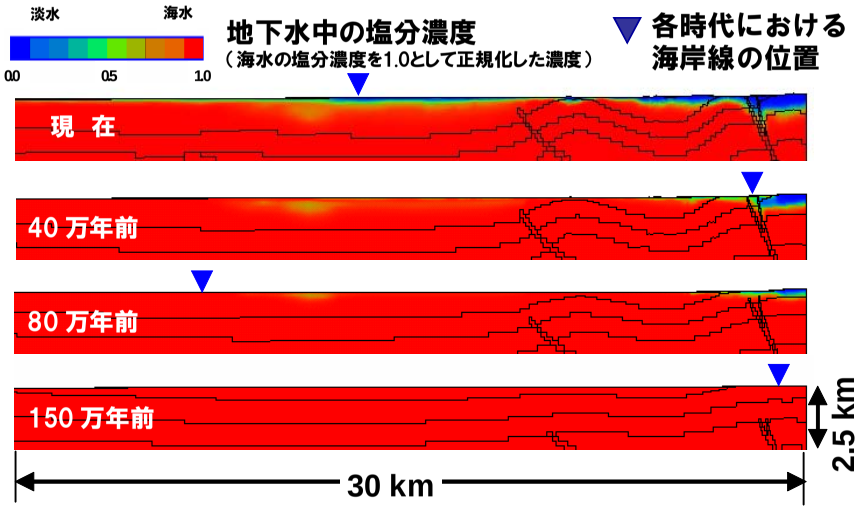
JAEA-Review 2010-041

平成22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、岩石サンプルの分析
- 地震研究：地震観測、GPS観測

地質調査の様子



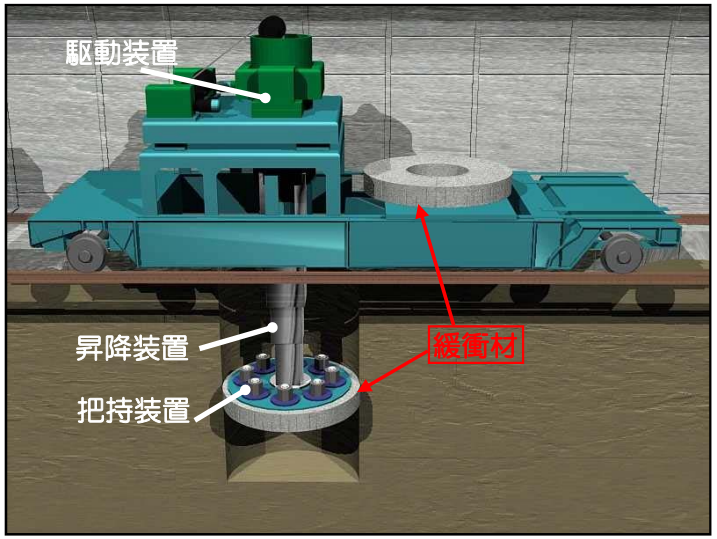
地下水水質の変遷に関する数値解析の例
（気候・海水準変動および地質構造の変遷を考慮）

平成22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：
　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
・安全評価手法の高度化：
　物質移動に関するデータ蓄積、物質移動モデルの更新、地下施設周辺での物質移動に関する解析、表層部の水理地質構造モデルの構築、地下水流動、物質移動を評価するための手順の整理

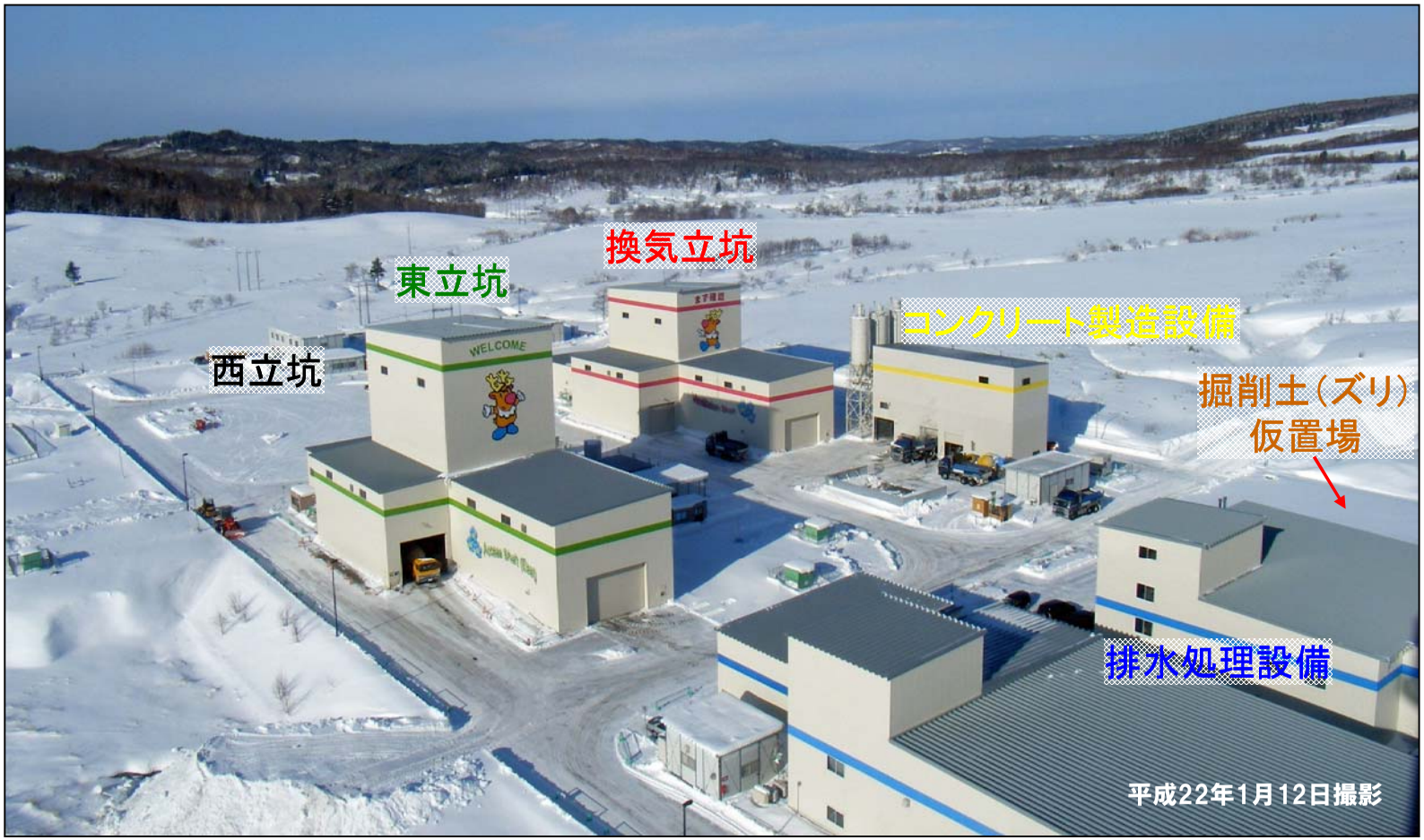
低アルカリ性コンクリート材料の
影響評価のためのコア採取
（140m調査坑道）



緩衝材定置試験設備の概念図

平成22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22年度の調査研究

地下施設の建設

- 東立坑および250m調査坑道の掘削
- 西立坑の着工
- 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

東立坑の状況
（東立坑深度140mから坑底を望む）

掘削土(ズリ)置場の拡張

平成22年度の調査研究

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

環境モニタリングの作業の様子
（魚類生息調査）

安全確保への取組み

- リスクアセスメントの実施
- 安全教育の実施
- 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、埼玉大学、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）、ANDRA（フランス）、モンテリ・プロジェクト（スイス）、KAERI（韓国）など

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

地下施設の見学の様子
日本原子力学会
バックエンド夏期セミナー；
平成21年7月31日

KAERI（韓国原子力研究院）との情報交換
平成21年11月25～26日開催：国際交流施設

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 ≙ $(10^3/4\pi)A\ m^{-1}$

(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	1γ=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 μ =1μm=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