JAEA-Research
2007-048

JAEA-Research

幌延深地層研究計画　平成19年度調査研究計画

Horonobe Underground Research Laboratory Project
Investigation Program for the 2007 Fiscal Year

（編）松井　裕哉　中山　雅　真田　祐幸　山口　雄大

(Eds.) Hiroya MATSUI, Masashi NAKAYAMA, Hiroyuki SANADA and Takehiro YAMAGUCHI

地層処分研究開発部門
堆積岩工学技術開発グループ

Sedimentary Environment Engineering Group
Geological Isolation Research and Development Directorate

July 2007

Japan Atomic Energy Agency

日本原子力研究開発機構

本レポートは日本原子力研究開発機構が不定期に発行する成果報告書です。
本レポートの入手並びに著作権利用に関するお問い合わせは、下記あてにお問い合わせ下さい。
なお、本レポートの全文は日本原子力研究開発機構ホームページ（http://www.jaea.go.jp/index.shtml）より発信されています。このほか財団法人原子力弘済会資料センター*では実費による複写頒布を行っております。

〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4
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
電話 029-282-6387, Fax 029-282-5920

*〒319-1195　茨城県那珂郡東海村白方白根2番地4　日本原子力研究開発機構内

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

© Japan Atomic Energy Agency, 2007

幌延深地層研究計画　平成19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) 松井 裕哉、中山 雅、真田 祐幸、山口 雄大※

(2007年4月4日受理)

本計画は、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。

原子力機構の中期目標では、深地層の研究計画について、中間的な深度までの坑道掘削時の調査研究を進めるとともに、工学技術や安全評価に関する研究開発を他の研究開発機関と連携して実施し、これらの成果を地層処分の安全性に係る一連の論拠を支える知識ベースとして体系化することとされており、これに基づき、原子力機構では幌延深地層研究計画を着実に推進することとしています。

本計画は、調査研究の開始から調査研究の終了まで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おり、平成19年度は第2段階の3年目にあたります。

平成19年度は、地層科学研究として、地質環境調査技術開発、地質環境モニタリング技術開発、深地層における工学的技術の基礎の開発および地質環境の長期安定性に関する研究を、地層処分研究開発として、処分技術の信頼性向上および安全評価手法の高度化についての調査研究を継続します。

また、地下施設の建設については、換気立坑と東立坑の掘削を継続するとともに、先行ボーリング調査を実施します。

地上施設については、平成18年度に引き続き、PR施設の建設工事および展示物の製作を行い、平成19年5月末に竣工、夏頃に開館する予定です。また、国際交流施設については、実施設計を行います。

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
※技術開発協力員

Horonobe Underground Research Laboratory Project Investigation Program for the 2007 Fiscal Year

(Eds.) Hiroya MATSUI, Masashi NAKAYAMA, Hiroyuki SANADA and Takehiro YAMAGUCHI※

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

(Received April 4, 2007)

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 of 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 intermediate 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 2007 fiscal year (2007/2008), the third year of the Phase 2 investigations.

In the 2007 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", is 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", is also continuously carried out.

Construction of the underground facilities is ongoing at Ventilation Shaft and Access Shaft (East). Pre-boring around Ventilation Shaft is also carried out

Regarding the surface facilities, construction of the Public Information House and preparation of the exhibits are still continuing and will be completed in May 2007. Public Information House will be scheduled to open in this summer. A detailed design will be drawn up for the International Communication House.

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

---

※ Cooperative Staff

目次

1. はじめに ……1
2. 平成 19 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 地質環境データの取得 ……3
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 ……4
3.1.3 調査技術・調査機器開発 ……5
3.2 地質環境モニタリング技術開発 ……5
3.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発 ……6
3.2.2 遠隔監視システムの開発 ……6
3.3 深地層における工学的技術の基礎の開発 ……6
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 ……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 人工バリア等の工学技術の検証 ……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 ……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 ……8
6. 地上施設の建設 ……8
7. 環境モニタリング ……9
7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査 ……9
7.2 地下施設の建設に伴うモニタリング調査 ……9
8. 開かれた研究 ……9
8.1 国内機関との研究協力 ……9
8.1.1 大学等との研究協力 ……9
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 ……10
付録 …… 17

Contents

1. Introduction ····· 1
2. Outline of the investigation program for the 2006 fiscal year ····· 1
3. Geoscientific research ····· 3
3.1 Development of techniques for investigating the geological environment ····· 3
3.1.1 Acquisition of geoscientific data ····· 3
3.1.2 Evaluation of methodologies for investigation/analysis and for modeling of the geological environment ····· 4
3.1.3 Development of investigation techniques and equipment ····· 5
3.2 Development of techniques for long-term monitoring of the geological environment ····· 5
3.2.1 Development of monitoring techniques in boreholes ····· 6
3.2.2 Development of a remotely operated monitoring system ····· 6
3.3 Development of engineering techniques for use in the deep underground environment ·· 6
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 ····· 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 ····· 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 ····· 8
6. Construction of the surface facilities ····· 8
7. Environmental monitoring ····· 9
7.1 Monitoring of noise, vibration, water property, flora and fauna ····· 9
7.2 Monitoring the construction of the underground facilities ····· 9
8. Collaboration with other research organizations ····· 9
8.1 Collaboration with domestic research organizations ····· 9
8.1.1 Collaboration with universities ····· 9
8.1.2 Collaboration with other research organizations ····· 9
8.2 Collaboration with overseas research organizations ····· 10
Appendix ····· 17

1. はじめに

独立行政法人[注1)]日本原子力研究開発機構が、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平成17年10月に公表した「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、中期目標）[注2)]では、「深地層の研究計画について、中間的な深度までの坑道掘削時の調査研究を進める。あわせて工学技術や安全評価に関する研究開発を他の研究開発機関と連携して実施し、これらの成果を地層処分の安全性に係る一連の論拠を支える知識ベースとして体系化する」ことが目標として掲げられ、幌延深地層研究計画を着実に推進していくこととなっています。

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18年度には、第1段階の研究成果の取りまとめを行いました。平成19年度は第2段階の3年目であり、また「中期目標」の期間（平成17年10月1日～平成22年3月31日）における3年目となります。平成19年度は、主に北進地区に設定した研究所設置地区とその周辺において、調査研究を継続します。研究所用地内で、櫓設備を用いて地下施設（立坑）の建設を行うとともに、第2段階の調査研究を継続します。

2. 平成19年度の主な調査研究内容

平成19年度は、地層科学研究として、地質環境調査技術開発では、地下施設の坑道掘削時の調査および先行ボーリング調査[注3)]を利用して、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、第1段階の調査研究で取得したデータや知見を用いて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）の妥当性の確認と更新を行うとともに、新たに坑道周辺の詳細な地質構造モデルを構築します。調査技術・調査機器開発では、コントロールボーリング技術の適用性についての確認および地表からの比抵抗モニタリングを継続するとともに、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、本研究計画の主要課題の1つである地下

注1) 独立行政法人通則法 第二条には、『この法律において「独立行政法人」とは、国民生活及び社会経済の安定等の公共上の見地から確実に実施されることが必要な事務及び事業であって、国が自ら主体となって直接に実施する必要のないもののうち、民間の主体にゆだねた場合には必ずしも実施されないおそれがあるもの又は一の主体に独占して行わせることが必要であるものを効率的かつ効果的に行わせることを目的として、この法律及び個別法の定めるところにより設立される法人をいう。』と規定されています。

注2) 中期目標の期間は平成17年(2005年)10月1日から平成22年(2010年)3月31日までの4年6ヶ月間とされています。

注3) 坑道掘削に伴い湧水が生じる可能性のある箇所の特定や湧水量およびその水質などの調査を主目的とした試錐調査のことです。これらの結果は排水処理計画および特定された湧水箇所に対する湧水量低減のための詳細施工計画の策定に反映します。

水の塩水と淡水の境界に着目した調査技術開発に関する取り組みを開始します。

地質環境モニタリング技術開発では、平成18年度までに試錐孔に設置した長期モニタリング機器による観測を継続します。さらに、平成17年度までに設置した遠隔監視システムによる長期観測を継続しつつ、取得したデータの処理・解析を試行するとともに、地下施設建設に伴う地質環境の変化が解析結果にどのように現れるかを検討します。

深地層における工学的技術の基礎の開発では、立坑の掘削を進めながら、岩盤の変位や応力を計測するシステムを設置し、得られる情報に基づき坑道設計や覆工技術の妥当性を確認します。また、坑内火災時の立坑模型実験結果を踏まえて、火災時の通気網解析手法を検討します。

地質環境の長期安定性に関する研究では、断層活動などに関する地質調査や、採取した岩石サンプルの分析などを行うとともに、これまでに設置したGPS観測機器、電磁探査（地磁気地電流法）[注4)]観測機器および地表と試錐孔内に設置した地震計による観測を継続します。さらに、研究所設置地区周辺にGPS観測点を設置し、地殻変動量に関する解析を行います。

地層処分研究開発として、処分技術の信頼性向上では、第2段階に行う地下施設での原位置試験計画を具体化するために、低アルカリ性コンクリート材料に関する施工性の確認試験などを継続します。また、平成18年度までに得られたデータや知見を用いて人工バリアなどの設計手法の適用および長期健全性評価実施のための条件などを整理します。安全評価手法の高度化では、物質移動に関する基礎データの蓄積を進めます。さらに、平成18年度までに実施した広域スケール（研究所設置地区を含む 15km×30km 程度の領域）とサイトスケール（研究所設置地区を含む10km 四方程度の領域）における地下水流動や物質移動に関する検討の結果などに基づき、地下水流動や物質移動に影響を及ぼす地質環境の特性やパラメータの種類や精度などを検討します。

平成19年度に研究所設置地区および幌延町内の各調査地点で行う調査の種類と内容を表1に示します。また、それぞれの調査・観測地点、観測所などの位置を図1に示します。

地下施設の建設については、換気立坑と東立坑の掘削を継続し、掘削土（ズリ）置場の拡張整備を行います。また、今後、坑道における湧水箇所を対象とした湧水量低減のための詳細施工計画の策定などを目的とした先行ボーリング調査を実施します。この調査から得られるデータは調査研究へも反映されます。掘削土（ズリ）は掘削土（ズリ）置場に搬出します。地下施設から発生する排水は、排水処理設備で処理した上で、排水管路を経て天塩川に放流します。さらに、地下施設の調整設計を行います。

地上施設の建設については、PR施設の建設工事および展示物の製作を継続し、平成19年5月末に竣工、夏頃に開館する予定です。また、国際交流施設については実施設計を行います。

環境モニタリングについては、研究所用地周辺において、騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査を定期的に行うとともに、地下施設工事などから発生する排水の水質調査を定期的に行います。

開かれた研究については、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るものであり、学術研究の発展にも広く寄与するものであることから、国内外の関連する研究機関の専門家の参加を得て進めていきます。

注4) 太陽の黒点活動などに起因する自然磁場の変化により、地下に地質構造を反映した誘導電流が流れます。地磁気地電流法では、この電流が作る新たな磁場の変化などを測定し、地質構造を推定します。

3. 地層科学研究

3.1 地質環境調査技術開発

第2段階の調査研究の主な内容は、①第1段階における調査研究の結果、特に地質環境モデル（主として地下施設を含む数 km 四方程度の範囲を対象）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です。これらの研究のため、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、地下施設周辺の地質構造モデルの妥当性確認と更新を目的として、坑道内における地質観察などにより地層の分布や割れ目の連続性を三次元的に把握していきます。

平成19年度は、坑道内や先行ボーリング調査における地質観察、および採取した岩石サンプルの化学分析や鉱物試験[注5)]を行います。また、研究所設置地区およびその周辺における地表などにおいても上記と同様な調査、および平成15～17年度に掘削した地下数m～数十m程度の浅層試錐孔を用いたガス調査（ガスの濃度測定・分析）を行います。

(2) 岩盤の水理

第2段階では、第1段階において掘削した試錐孔や気象観測所、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確認と更新を行うためのデータを取得します。

平成19年度は、これまでに研究所設置地区とその周辺に設置した気象観測装置（降水量、気温・湿度、風向・風速、蒸発散量）および河川流量観測装置を用いたデータ取得を継続します。また、既存の試錐孔で地下水位の分布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。さらに、平成18年度までに試錐孔に設置した長期モニタリング機器を用い、地下水の圧力などを連続観測し、地下施設建設による影響の有無を確認します。

地下施設においては、坑道の掘削と並行して水理地質構造に関する情報（湧水を伴う割れ目の性状や湧水の量）を取得するとともに、先行ボーリング調査においても透水性や水理地質構造に関する情報を取得します。さらに、岩石のサンプルを採取し、岩石の透水性を調べる室内試験を実施します。

(3) 地下水の地球化学

第2段階では、第1段階までの調査・解析結果の妥当性を確認するため、坑道掘削による地下水の地球化学特性への影響を把握するための調査を行います。

平成19年度は、坑道からの掘削土（ズリ）および先行ボーリング調査で得られる地下水や岩石コアからの間隙水の抽出・化学分析や、坑道壁面からの湧水の採取・化学分析を継続します。また、平成17年度までに掘削した試錐孔（HDB-1～11孔、浅層試錐孔）から地下水を採取し、分

注5) 顕微鏡やX線回折装置を用いて、地層に含まれる微小な生物の化石や岩石の構成鉱物を調べます。

析します。さらに、河川水や降水の採取・分析を行います。

(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た周辺岩盤の物性変化の範囲と程度を調査します。

平成19年度は、先行ボーリング調査で得られる岩石コアを用い、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ことを目的とした室内試験を実施します。

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、必要に応じてモデルを更新します。また、坑道掘削に伴い取得する地質環境情報に基づき、数十m～数m四方程度の地質環境モデルを構築し、第2段階において展開する水平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礎情報となります。

また、地下水流動と地下水水質の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されます。

平成19年度は、坑道掘削時の調査および先行ボーリング調査で取得する地質環境データに基づき、第1段階の地質環境モデルの妥当性確認と更新を行います。この作業を通じて、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を新たに構築します。

また、平成18年度までに取得した地質環境データのデータベースへの登録作業を行います。

さらに、実際の経験に基づくノウハウや知識などの情報を、現実の地質環境を対象とした調査や評価に活用しやすい形態として整備していくことの一環として、幌延深地層研究計画を通じて策定された計画書および報告書などに記された技術的な記述の根拠を抽出・整理します。

(1) 地質構造モデル

第2段階では、坑道内での地質観察の結果に基づいて、第1段階で構築した地質構造モデルの妥当性確認と更新を行います。また、研究坑道周辺の詳細な地質構造モデルを構築します。

平成19年度は、坑道での壁面観察や先行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情報および、平成18年度までに実施した物理探査、地質調査、試錐調査の結果に基づいて、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）の妥当性の確認と更新を行います。

(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、モデルの更新を行います。また、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水理地質構造モデルを構築します。

平成19年度は、坑道の壁面観察結果や先行ボーリング調査から得られる透水係数、および平成18年度までの調査結果などを基に、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、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解析を行います。あわせて、異なる分野間のモデルの整合性検討として、密度の異なる地下水（淡水と塩水）やガスが溶け込んでいる地下水の流動についての解析を行います。

また、上記の水理地質構造モデルならびにそれに基づく地下水流動解析の妥当性を確認するこ

とを目的として、予測解析で得られた結果と、坑道掘削に伴い発生する湧水の量や試錐孔を用いた水圧モニタリング、地下水位観測結果などとの対比を行います。さらに、坑道掘削によって実際に取得される水理地質構造の情報に基づき、坑道の周辺を対象とした水理地質構造モデルを検討します。

(3) 地下水の地球化学モデル

第2段階では、地下施設における調査研究により、第1段階で構築した地球化学モデルによる予測結果および予測手法の妥当性を確認します。

平成19年度は、地下施設における調査および先行ボーリング調査により取得する地球化学データを利用して、地下水の地球化学モデルを更新していく予定です。

(4) 岩盤力学モデル

第2段階では、地下施設における調査により、第1段階で構築した岩盤力学モデルの妥当性確認および更新を行うとともに、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19年度は、先行ボーリング調査で得られた岩石コアを用いた室内試験結果に基づき、第1段階で構築した力学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します。また、坑道壁面などで実施している内空変位計測などの結果から、第1段階で実施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段階で改良した、幌延町の堆積岩や地下水が有する特性を考慮した調査技術を、実際に地下施設建設時の調査などに適用して、その妥当性を確認します。

平成18年度は、第1段階の調査研究成果の取りまとめを通じて、堆積岩を対象とした地上からの調査・解析・評価の進め方や調査・解析のノウハウなどを整理しました。また、個別の調査技術の適用性に関する知見や技術課題なども整理しました。

平成19年度は、第1段階の調査研究の技術情報や知見などをデータベース化し、堆積岩を対象とした地上からの調査・評価技術の整備を図ります。地表からの調査技術開発の継続として、試錐孔の角度と方向を制御して掘削するコントロールボーリング技術の適用性を確認するために、平成18年度に引き続き上幌延地区において主に大曲断層を対象とした試錐孔の掘削を行います。また、同地区にて水圧などのモニタリングシステムの適用性を確認するために、掘削長 100m程度の試錐孔を掘削し、モニタリング装置を設置します。

地下施設における調査では、地質環境のデータ取得に必要な調査技術や調査機器の開発を継続します。坑道内で掘削する試錐孔において岩盤の透水性を調べるために試作した装置、および地下水のpH、酸化還元電位などを原位置でモニタリングするために試作した測定装置の適用性を確認します。岩盤力学の分野では、坑道掘削直後からの岩盤の変形を長期的に安定して計測できる光ファイバー式地中変位計の開発を平成18年度に引き続き行います。また、本研究計画の主要な課題の1つである塩水と淡水の境界に着目した地下水の流動・水質および物質移動に関する調査について、他機関との共同研究を視野に入れた取り組みを開始します。

一方、地下施設建設時の周辺地質環境の変化をモニタリングするため、平成18年度にHDB-6孔を基点として線状に設置した測定点を利用した電気探査により、地下水の水質と関連のある比抵抗の分布の変化を調べます。

3.2 地質環境モニタリング技術開発

3.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発

第2段階では、第1段階で試錐孔に設置した、水圧・水質モニタリング機器の長期的な安定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ています。

平成19年度は、上記の長期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することによりその性能を確認し、各調査活動や地下施設建設による影響を評価します。また、地下水の圧力変化を把握するために、モニタリングデータの処理・解析方法を引き続き検討します。

坑道掘削に伴う地表付近の微小な岩盤の変形を観測するために、平成17、18年度に設置した高精度傾斜計および間隙水圧計を用いた観測を継続して行います。さらに、これらのデータを用いた解析手法について検討します。

3.2.2 遠隔監視システムの開発

第2段階では、地下施設建設中の観測データを基に、遠隔監視システムの解析手法の検討および適用性確認などを行います。

平成19年度は、これまでに設置した観測点における長期観測を継続し、取得したデータの処理・解析を試行するとともに、地下施設建設に伴う地質環境の変化が解析結果にどのように現れるかを検討します。

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、地下施設の坑道掘削に係る工学技術の適用性を確認するため、坑道掘削を進めながら、岩盤の変位や応力を計測するシステムを設置し、得られる情報に基づき、坑道設計や覆工技術の妥当性を確認します。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19年度は、換気立坑および東立坑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器を設置してデータを取得します。また、地下施設における坑内火災時の立坑模型実験結果を踏まえて、火災時の通気網解析手法を検討します。

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

第2段階では、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の流動などに関する調査・解析手法とを組み合わせて、将来の天然現象に伴う地質環境の変化を予測する手法の検討を行います。

平成19年度は、地形や地層の変形と断層活動に関する地質調査および地表に露出している地層と地下施設から採取した岩石サンプルの微化石分析や鉱物試験を行います。また、幌延町周辺の地殻変動や気候変動に関する情報の収集・整理を行うとともに、微化石分析や地層の解析結果およびこれまでに取得した地質情報と合わせ、幌延地域の新第三紀から第四紀の地殻変動や気候変動について検討します。これらの情報を基に、天然現象が地質環境に及ぼす影響についての情報を整理します。

また、既存の観測点におけるGPS観測を継続するとともに、研究所設置地区周辺に分布する断層やしゅう曲の活動性を検討するため、同地区周辺にGPS観測点を設置し、地殻変動量に関する解析を行います。これまでに電磁探査機器で取得した地下深部比抵抗値に関するデータについては、地震発生との関連性を検討するための取りまとめを行います。

3.4.2 地震研究

第2段階では、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、地震が地質環境に与える影響について検討します。

平成19年度は、これまでに地表および試錐孔底の付近（深度138m）に設置した地震計により、幌延町およびその周辺地域で発生する地震の観測を継続します。これらの観測により取得したデータを基に、震源分布や地下深部の構造について検討します。また、幌延町周辺地域で発生した過去の地震については、これまでに収集した情報を整理し、地震発生域や周期性について検討します。

4. 地層処分研究開発

4.1 処分技術の信頼性向上

4.1.1 人工バリア等の工学技術の検証

第2段階では、坑道掘削時に取得するデータに基づき、原位置試験(低アルカリ性コンクリート材料の施工性試験など)の計画を検討し、実施します。

平成19年度は、坑道の支保[注6)]材料や坑道閉鎖に関して、第2段階に行う地下施設における詳細な試験計画（内容、試験レイアウト）を作成するため、低アルカリ性コンクリート材料の施工性に関する試験を継続します。

4.1.2 設計手法の適用性確認

第2段階では、第1段階で取得した地質環境データに加えて、坑道掘削に伴い得られるデータを用いて、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検討に適用します。

平成19年度は、上記の設計手法を適用するために、第1段階の調査で得られた地質環境データや、第1段階で得られた岩石コアや地下水を用いた室内試験ならびに第2段階で取得するデータにより、人工バリアなどの設計手法の適用および長期健全性評価の実施のための情報と条件を整理します。

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

安全評価を行うために必要となる物質移動に係わるパラメータには、岩盤の透水係数や間隙率、拡散係数などがあります。第2段階では、実際の地質環境への安全評価手法の適用性を確認するにあたり、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などの物質移動に関するデータの取得をはじめとした基礎データの蓄積を進めるとともに、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を図ります。

平成19年度は、既存の試錐孔や先行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データ取得およびメカニズムの把握に関する室内実験や解析を継続します。

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・サイトスケール）で地下水流動や地層中での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・統合することにより既存の安全

注6) 周辺岩盤と地下空間の安定を保つために設ける構造物のことです。通常、ロックボルト、鋼製支保、吹付けコンクリートから構成されます。

評価手法の適用性を確認します。

平成19年度は、平成18年度までに実施した広域スケール（研究所設置地区を含む15km×30km程度の領域）とサイトスケール（研究所設置地区を含む10km四方程度の領域）における地下水流動や物質移動に関する検討の結果を踏まえ、第2段階で得られる地質環境情報に基づき、解析に用いる地質構造モデルや水理地質構造モデルを見直すとともに、第1段階での地質環境調査から物質移行評価までの一連の手法の信頼性を確認します。さらに、その結果を地質環境調査にフィードバックし、安全評価への成果の反映を念頭において、地上から地質環境を調査・解析・評価する技術整備を図るとともに、得られた知見を整理します。

5. 地下施設の建設

平成19年度は、平成18年度に引き続き換気立坑および東立坑の掘削を行います。また、掘削土（ズリ）置場の拡張整備および、換気立坑近傍における先行ボーリング調査の実施ならびに地下施設の調整設計を行います。

換気立坑および東立坑の立坑一般部[注7)]を施工するために、平成19年3月から実施している櫓(やぐら)設備、スカフォード[注8)]および巻上機の設置を継続し、設置完了後に両立坑の掘削を再開します。また、換気立坑と東立坑を結ぶ水平坑道である140m坑道の一部を掘削します。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ていきます。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ていきます。

また、坑道掘削により発生した掘削土（ズリ）は、アスファルト含浸シートにて遮水性を確保した掘削土（ズリ）仮置場などに一時的に仮置きしたのちに掘削土（ズリ）置場に搬出します。なお、掘削土（ズリ）については有害物質量を定期的に確認します。

一方、地下施設から発生する排水は、排水処理設備にて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。

換気立坑近傍での先行ボーリング調査は、坑道掘削において予測される湧水に対処するため、湧水箇所の特定や湧水量およびその水質の推定を主目的として実施します。この調査の結果は、今後の排水処理計画や特定された湧水箇所を対象とする湧水量低減のための詳細施工計画の策定に反映します。

また、平成17年度以降の調査研究の結果を、地下施設の深部のレイアウトへ反映するために地下施設の調整設計を実施します。

6. 地上施設の建設

平成19年度は、平成18年度に引き続きPR施設の建設工事および展示物の製作を行い、平成19年5月末に竣工、夏頃に開館する予定です。PR施設は地下1階、地上1階、展望階から構成され、展望タワーの高さは地上から50mになります。また、展示内容は地下空間を体感できるものとなります。

国際交流施設については、平成18年度の基本設計に引き続き、実施設計を行います。

注7) 櫓設備やスカフォードを用いて掘削する範囲のことです。
注8) 立坑の工事に使用される作業足場のことです。

7. 環境モニタリング

7.1 騒音・振動・水質・動植物に関するモニタリング調査

平成18年度に引き続き、研究所用地周辺において定期的にモニタリング調査（騒音・振動・水質・動植物）を行います。

7.2 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などについて、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。モニタリング対象水は、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などとします。

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るものであり、学術研究の発展にも広く寄与するものです。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、各機関の専門家との議論を行いながら研究を進めていきます。

8.1 国内機関との研究協力

8.1.1 大学等との研究協力

- 北海道大学：圧縮ベントナイト[注9)]中の溶存ガスおよび溶存物質の移動経路の評価に関する研究、地下水・岩石中の有機物特性に関する研究
- 埼玉大学：地下水の流れ方などに関する研究
- 筑波大学など：岩石、鉱物、地下水に関する地球化学的研究
- 東京大学など：塩素安定同位体比を用いた水理地質構造モデル評価技術の開発
- 名古屋大学など：遠隔監視システムの開発に関する研究、地下水・岩石中の微生物特性に関する研究
- 京都大学など：断層帯の影響を考慮した地下水流動に関する研究
- 武蔵工業大学：微量元素の放射化学分析手法に関する研究
- 静岡大学：地下水・岩石中の微生物特性に関する研究

8.1.2 その他の機関との研究協力

- 電力中央研究所[注10)]：地質・地下水環境特性評価に関する研究（コントロールボーリング技術開発を含む）
- 原子力環境整備促進・資金管理センター[注11)]：高精度物理探査技術の適用性などに関する研究および地質環境評価技術の適用検討に関する研究

注9) ベントナイトと呼ばれる粘土を圧縮して固めた物です。ベントナイトは地層処分における人工バリアシステムに用いる緩衝材の候補材料です。

注10) 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11) 財団法人 原子力環境整備促進・資金管理センターは、放射性廃棄物処理処分の専門研究機関として発足しました。現在は、原子力発電環境整備機構を通して積み立てられる最終処分積立金の管理などを行う資金管理業務も実施しています。

・幌延地圏環境研究所[注12)]：堆積岩についての各種特性研究
・北海道立地質研究所[注13)]：地形の変化および古環境の復元に関する研究
・清水建設株式会社：地質環境モデル構築技術の高度化に関する研究
・三井住友建設株式会社：溶存メタンガスセンサーによるモニタリング技術の開発

8.2 国外機関との研究協力

・Nagra[注14)]（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の取りまとめに関する技術的検討など
・モンテリ・プロジェクト[注15)]（スイス）：難透水性堆積岩中の間隙水の地球化学的評価試験

また、産業技術総合研究所[注16)]や原子力安全基盤機構[注17)]、ANDRA[注18)]などの国内外の研究機関との研究協力についても検討しております。

このほかにも、経済産業省資源エネルギー庁が進める沿岸域の地質環境特性の評価技術に関す

注12) 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13) 北海道立地質研究所は、北海道の地質と地下資源に関する研究機関(北海道立地下資源調査所)として設立されました。現在、①地域資源の開発・利用・管理に関する研究、②国土利用保全、地下環境保全に関する研究、③地質災害の要因解明と防止に関する研究、④地学情報のセンター機能の充実、などを行っています。

注14) 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
Nagra 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、スイス国内の地下研究施設（グリムゼルなど）や幌延と同種の堆積岩のサイトにおいて地層処分に係る様々な調査研究を行っています。

注15) モンテリ・プロジェクト (Mont Terri Project) は、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。現在、原子力機構を含め 6 ヶ国から 12 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16) 独立行政法人 産業技術総合研究所は、通商産業省工業技術院などを経て、平成 13 年の独立行政法人化により発足しました。産業技術の広い分野におけるさまざまな技術開発を総合的に行っている、日本最大級の研究組織です。現在の研究分野は「ライフサイエンス」、「情報通信・エレクトロニクス」、「ナノテクノロジー・材料・製造」、「環境・エネルギー」、「地質」、「標準・計測」の 6 分野に大別されます。

注17) 独立行政法人 原子力安全基盤機構は、平成 15 年に設立され、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。①原子力施設および原子炉施設に関する検査、②原子炉施設などの設計に関する安全性の解析および評価、③原子力災害の予防、拡大防止などに関する支援、④エネルギーとしての利用に関する原子力の安全の確保に関する調査、試験、研究および研修、⑤安全の確保に関する情報の収集、整理、提供などを行っています。

注18) Agence nationale pour la gestion des déchets radioactifs (National radioactive waste management agency)：放射性廃棄物管理公社
ANDRA 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、現在、幌延と同種の岩石である堆積岩を対象に深地層の研究施設計画を進めています。

るプロジェクトを実施する研究機関との協力を行っていく予定です。

なお、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。

This is a blank page.

表 1 主な調査の種類と内容

調査の種類		内容	実施場所
地質環境調査技術開発	地質構造	坑壁観察、露頭調査、岩石サンプルの化学分析・鉱物試験、浅層試錐孔におけるメタンガス・二酸化炭素ガスの測定	北進地区、上幌延地区、坑道、浅層試錐孔（北進、開進地区）など
	岩盤の水理	気象観測（降水量、気温・湿度、風向・風速、蒸発散量の計測）、河川流量の観測、地下水位・土壌水分の計測、水圧モニタリング、岩石の室内透水試験	北進気象観測所、幌延市街地気象観測所、上問寒気象観測所、問寒別気象観測所、北進蒸発散量観測タワー、P-3～5 地点、坑道、研究所用地、浅層試錐孔、HDB-1～11 孔
	地下水の地球化学	坑道壁面からの湧水、試錐孔の孔内水、河川水、降水、掘削土（ズリ）および岩石コア抽出水の主要化学成分の分析	坑道、HDB-1～11 孔、浅層試錐孔、P-3～5 地点、掘削土（ズリ）置場
	岩盤力学	先行ボーリング調査などで得られる岩石コアを用いた室内試験	研究所用地など
	調査技術・調査機器開発	コントロールボーリング技術の適用性確認、地表からの比抵抗モニタリング、地下施設内から掘削する試錐孔内での調査に向けた機器の開発・試作、地下水の塩水と淡水の境界に着目した調査技術開発	研究所用地、上幌延地区、北進地区、幌延町沿岸域
地質環境モニタリング技術開発	試錐孔を用いたモニタリング技術開発	地下水圧の観測、データ転送設備の設置、高精度傾斜計・間隙水圧計・溶存メタンガスセンサーによる観測	HDB-1～11 孔、研究所用地
	遠隔監視システムの開発	地質構造・地質環境の状態の常時・短期観測、既存の観測点の整備	研究所用地、HDB-3, 4, 5, 8 孔敷地、受信点 Z
深地層における工学的技術の基礎の開発		岩盤の変位、応力の観測システム設置、先行ボーリング調査を利用した地下深部の岩盤や湧水の状況確認、坑内火災時の通気網解析手法の検討	坑道、研究所用地など
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	露頭調査、岩石サンプルの微化石分析・鉱物試験 GPS 観測、電磁探査機器による観測	北進地区、上幌延地区、HDB-1、2、5 孔敷地、幌延公園観測点、上問寒観測点
	地震研究	地震計による地震の観測	HDB-2、5 孔敷地、中問寒観測点、北星園観測点
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の開発、設計手法適用のための情報の整理	研究所用地など
	安全評価手法の高度化	物質移動に関する基礎データの取得・蓄積、現象理解に基づくデータの精度向上、物質移動に影響を及ぼす地質環境特性やパラメータの種類・精度の検討、物質移動モデルの構築	（現場作業なし）
地下施設の建設		換気立坑、東立坑および水平坑道の掘削、掘削土（ズリ）の掘削土（ズリ）置場への搬出、排水処理設備の運転、先行ボーリング調査、調整設計	研究所用地など
地上施設の建設		PR 施設の建設および展示物の製作・供用開始、国際交流施設の実施設計	研究所用地など
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、地下施設工事から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

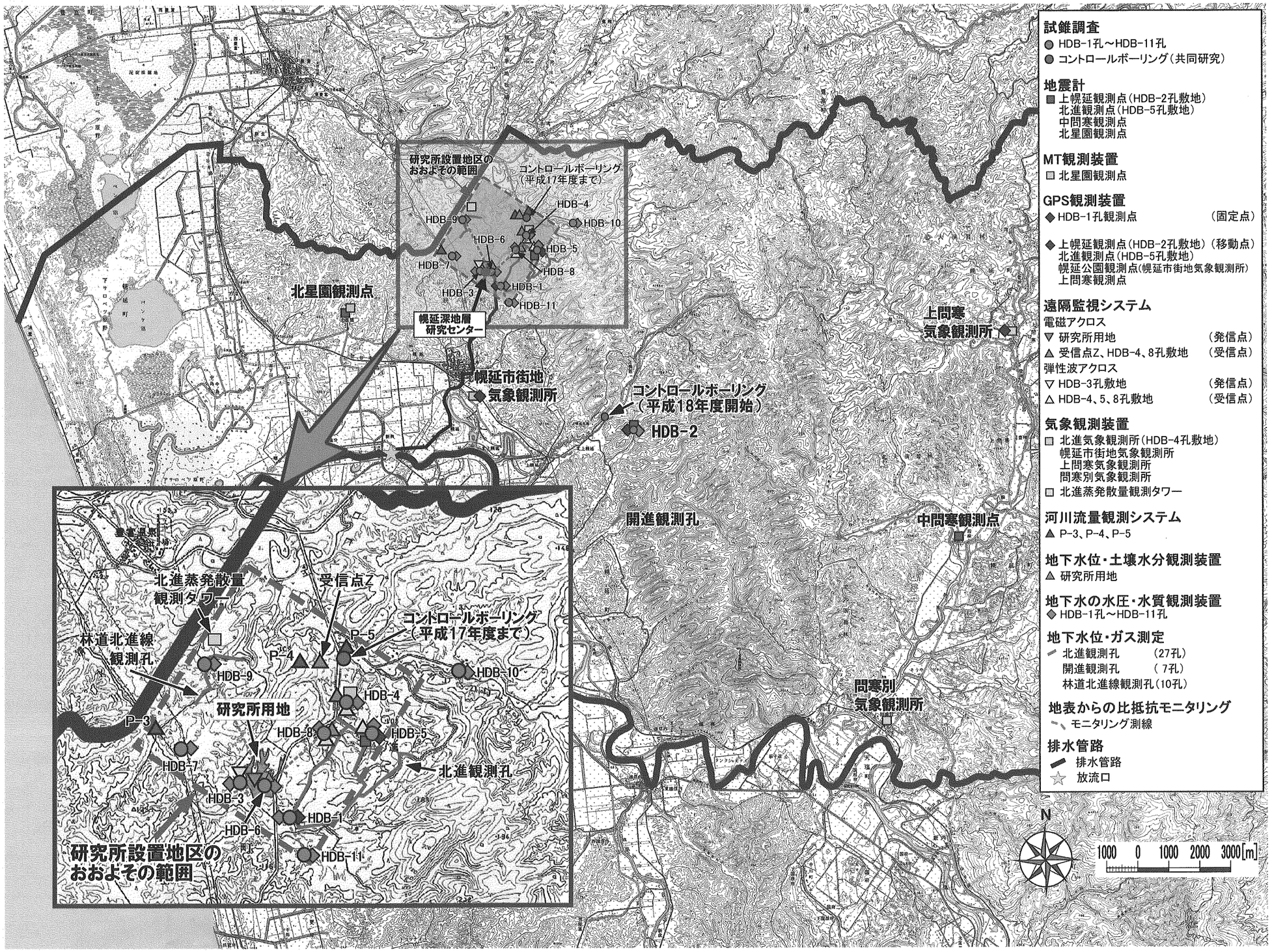


図 1 調査位置図

(国土地理院発行 5 万分の 1 地形図「稚咲内」「豊富」「上猿払」「雄信内」「敏音知」「天塩」を使用)

付録

This is a blank page.

調査研究のスケジュール(平成17年度～平成21年度)

調査研究項目	概要	年度 H17	H18	H19	H20	H21
		地上からの調査研究段階				
		地上からの調査研究段階における研究成果取りまとめ				
		坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階				
		独立行政法人日本原子力研究開発機構発足	「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)」(文部科学省、経済産業省 平成17年度設定 対象期間 平成17年10月～平成22年3月)			
3. 地層科学研究						
3. 1地質環境調査技術開発						
3. 1. 1地質環境データの取得						
(1)地質構造	・地下施設、地表および既存岩石コアからのサンプル採取、分析など					
(2)岩盤の水理	・表層水理調査、既存試錐孔における地下水圧モニタリングなど ・地下施設における湧水量測定、試錐孔を利用した水理調査(透水試験、水圧測定など)		地下施設建設中のデータ取得・地下施設建設前に取得したデータとの対比	地下施設建設中のデータ取得		
(3)地下水の地球化学	・既存試錐孔における地下水採水・分析など ・立坑、水平坑道壁面からの湧水の採水・分析 ・地下施設内で掘削する試錐孔などを利用した地下水採水・分析					
(4)岩盤力学	・既存試錐孔の岩石コアを用いた室内試験など ・地下施設内から掘削する試錐孔を利用した岩盤力学調査(岩石コアを用いた室内試験、試錐孔を用いた変位測定など)					
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						
(1)地質構造モデル	・数km～数百m四方のスケールを対象とした地質構造モデルの妥当性確認・更新 ・数十m四方のスケールを対象とした地質構造モデルの構築					
(2)岩盤の水理モデル	・地下施設における湧水量や地下施設周辺の水圧分布などの予測解析 ・数km～数百m四方のスケールを対象とした水理モデルの妥当性確認・更新など ・数十m四方のスケールを対象とした水理モデルの構築			立坑掘削予測解析・予測解析結果と実測値との対比・モデルの構築/更新		
(3)地下水の地球化学モデル	・数km～数百m四方のスケールを対象とした地球化学モデルの妥当性確認・更新 ・数十m四方のスケールを対象とした地球化学モデルの構築					
(4)岩盤力学モデル	・数百m四方のスケールを対象とした岩盤力学モデルの妥当性確認・更新 ・時間依存変形を対象としたモデルの構築					
3. 1. 3調査技術・調査機器開発	・地下施設における各種調査技術開発 ・地下施設建設時における地質環境の変化を物理探査手法により地表からモニタリングするシステムの開発		調査機器の改良・開発 親測システムの設置		適用試験・実用化 連続モニタリング/データ解析(各年度毎)	
3. 2地質環境モニタリング技術開発						
3. 2. 1試錐孔を用いたモニタリング技術開発	・既存試錐孔に設置した長期モニタリング装置の維持・管理およびそれらの有効性の検討			モニタリング装置の整備・取得データの管理・データの解析		
3. 2. 2遠隔監視システムの開発	・地震波や電磁波を用いた遠隔監視システムによるモニタリングおよびその適用性の検討	観測システムの整備			連続モニタリング・データ解析	
3. 3深地層における工学的技術の基礎の開発	・地下施設建設時に取得する各種データに基づく事前設計の妥当性確認、堆積軟岩を対象とした情報化施工技術の検討など		情報化施工プログラム検討		地下施設建設中のデータ取得・事前設計の妥当性評価	
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	・地表および地下施設におけるサンプルの採取・分析とそれに基づく断層活動、隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動などの天然現象の履歴および地質環境へ与える影響の検討 ・天然現象の履歴と地質環境の長期的変化を考慮した地質環境モデル構築手法の検討 ・天然現象が地質環境へ与える影響を評価する手法の検討	計画策定		試料採取・分析、天然現象の履歴、地質環境へ与える影響の検討 地質環境の長期的変化を考慮した地質環境モデルの作成と逐次更新 天然現象が地質環境へ与える影響を評価する手法の検討		
3. 4. 2地震研究	・地表に設置した地震計などを用いた地震活動や地殻変動、地震活動が地下水に与える影響の把握 ・地下施設内に設置した地震計などを用いた地震活動状況、地震活動が地下水に与える影響の把握			計画検討	地震観測およびGPS観測	地震計などの設置
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	・低アルカリ性コンクリート材料の施工性、人工バリアシステムの成立性の実証、坑道閉鎖などに関する研究	室内試験などによる基礎物性の把握	原位置試験計画検討	低アルカリ性コンクリート材料施工試験	施工性確認の原位置試験	周辺地質環境への影響モニタリング
4. 1. 2設計手法の適用性確認	・平成17年度取りまとめにおいて構築した人工バリアシステムなどの設計手法の妥当性検討および改良・高度化				事前調査	原位置試験計画検討
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	・安全評価のための物質移動に関する基礎データの取得・蓄積、メカニズムや現象理解に基づくデータの精度向上とその結果に基づくモデルの高度化	予備試験	室内試験などによる物質移動に関する基礎データの取得・メカニズム及び現象把握			
4. 2. 2安全評価手法の適用性確認	・実際の地質環境への安全評価手法の適用とその結果に基づく手法の高度化	広域スケールを対象とした物質移動概念モデルの構築・物質移動解析の実施		サイトスケールを対象とした物質移動概念モデルの構築・物質移動解析の実施		
5. 地下施設の建設						
・地下施設	・建設 換気立坑、東立坑、西立坑、140m坑道および280m坑道の建設 先行ボーリング調査結果に応じた排水処理設備の増設計画の策定および止水対策の施工計画の策定	換気立坑(扇風機坑道含む) 東立坑 西立坑 140m坑道 280m坑道	掘削および必要な設備の整備 掘削および必要な設備の整備			
・付帯施設 (排水処理設備・掘削土(ズリ)置場など)	・建設・運転 排水管路、排水処理設備、掘削土(ズリ)置場の工事	排水処理設備 掘削土(ズリ)置場 運搬路工事	排水管路工事 排水処理設備工事 1次工事	排水管路から排水 2次工事 掘削土(ズリ)置場へ運搬	第Ⅰ期工事竣工予定 3次工事	
・先行ボーリング調査	・試錐孔掘削 坑道掘削において予測される湧水に対処するため、湧水箇所の特定、湧水量およびその水質の推定を目的とした調査			換気立坑近傍での調査	東立坑近傍での調査	
・調整設計				調整設計		
6. 地上施設の建設						
・研究管理棟、試験棟	・建設工事	建設	竣工(平成18年5月)			
・PR施設	・PR施設建物の建設 ・展示物の製作、据付	実施設計	建屋建設工事 展示物製作・据付	開館準備 運用		
・国際交流施設	・国際交流施設の設計、建設	概念検討	基本設計	実施設計		建設工事
7. 環境モニタリング						
7. 1騒音・振動・水質に関するモニタリング調査						
・水質	・3ヶ月毎の定期的な河川水質分析			モニタリング		
・動植物	・春・夏・秋の定期的な生態調査(希少種を含む)					
・騒音、振動	・3ヶ月毎の定期的な騒音調査(研究所用地周辺)					
7. 2地下施設の建設に伴うモニタリング調査			バックグラウンド測定	モニタリング		
・排水、掘削土(ズリ)置場からの浸出水、周辺水質調査						
・天塩川						
8. 開かれた研究						
8. 1国内機関との研究協力						
8. 1. 1大学等との研究協力	・研究協力			先行基礎工学研究、共同研究(適宜実施)		
8. 1. 2その他の機関との研究協力	・協定、共同研究契約などに基づく研究協力			共同研究など(適宜実施)		
8. 2国外機関との研究協力	・協定、共同研究契約などに基づく研究協力			共同研究など(適宜実施)		

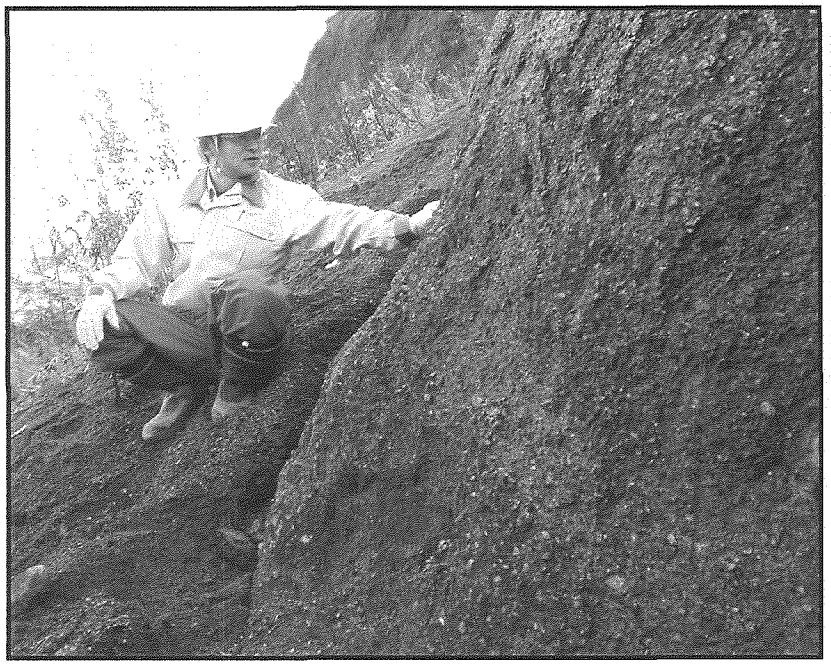
(脚注)後年度の実施内容などについては、計画の進捗に従い適宜見直します。
「地下施設の建設」における第Ⅰ期工事以降のスケジュールについては、未契約のため確定していません(点線部)。
東立坑近傍での先行ボーリング調査は換気立坑近傍での調査結果を受けて検討する予定のため確定していません(点線部)。

幌延深地層研究計画の全体イメージ
地上施設
(実験室イメージ)
地層処分研究開発
(坑道の閉鎖技術)
コンクリートプラグ
粘土プラグ
地層処分研究開発
(人工バリア搬送・定置試験)
地層処分研究開発
(人工バリアと周辺岩盤の長期挙動)
コンクリート支保
電気ヒーター
オーバーパック
(炭素鋼)の
腐食挙動
試験坑道
熱の伝播
人工バリアの
長期挙動
地層科学研究
(物理探査)
地層
断層
地層科学研究
(試錐調査)
・コア採取, 観察
・物理検層など
試錐孔掘削
地層科学研究
(岩盤の透水試験)
試錐孔
透水層
透水試験機器
地下水の流れ
透水試験区間
地層科学研究
(地下水の採水)
ウインチ
試錐孔
地下水採水区間
地下水
採水器
地層科学研究
(坑道掘削影響試験)
応力・変位
測定など
試験坑道
孔間トモグラフィ
試験
地層科学研究
(坑道における調査試験研究)
注入孔
観測孔
トレーサー試験
坑道断面
※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。

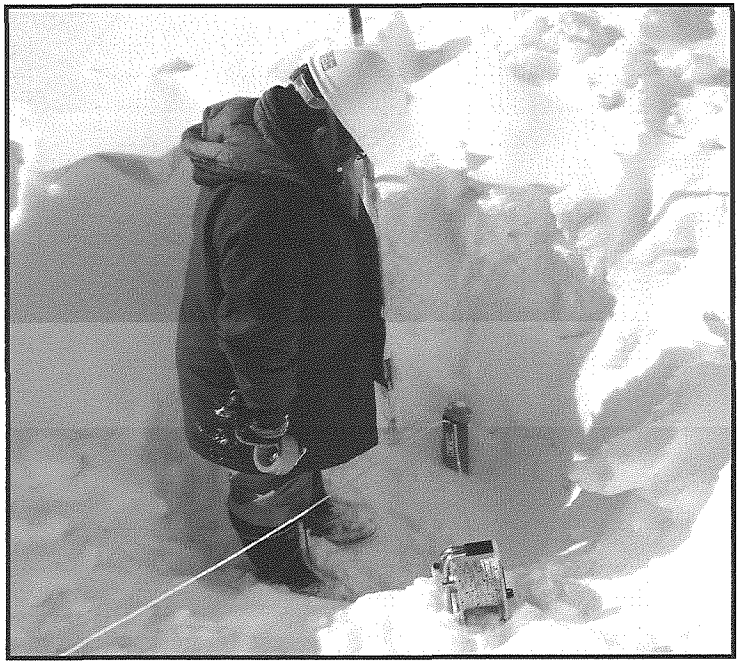
平成 19 年度の調査研究(1/15)

地質環境調査技術開発
(地質環境データの取得:地質構造)

坑道内や先行ボーリング調査における地質観察、および採取した岩石サンプルの化学分析や鉱物試験を行います。また、研究所設置地区およびその周辺における地表などにおいても上記と同様な調査、および平成 15～17 年度に掘削した地下数 m～数十 m 程度の浅層試錐孔を用いたガス調査(ガスの濃度測定・分析)を行います。



地質調査(露頭調査)の例

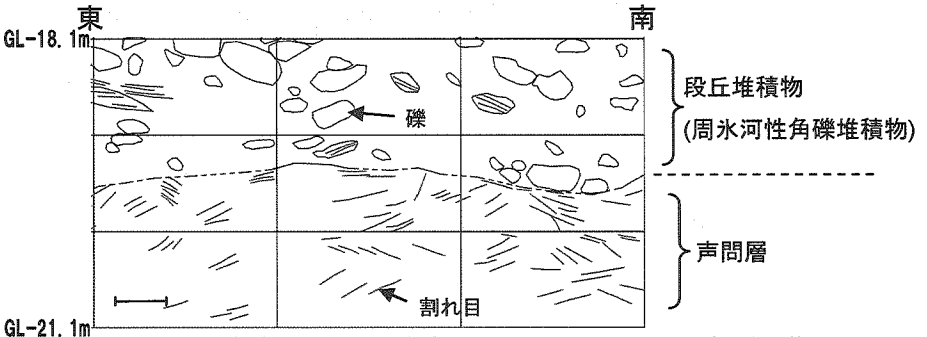


地質調査(ガス調査)の例

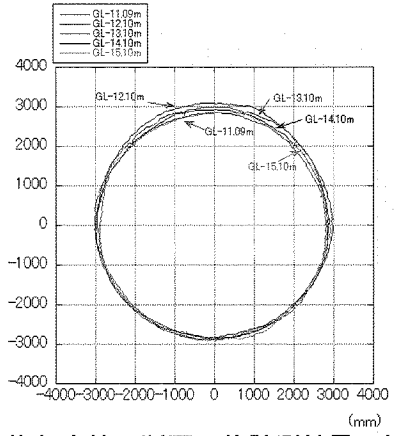
平成 19 年度の調査研究(2/15)

地質環境調査技術開発
(地質環境データの取得:地質構造)

立坑壁面観察状況
(東立坑:深度 10.0～11.5m)



東立坑の地質観察結果の例 ※礫・割れ目に関しては10cm以上のものを記載



換気立坑の断面形状計測結果の例

立坑内における調査結果

平成19年度の調査研究(3/15)

地質環境調査技術開発
(地質環境データの取得:岩盤の水理)

これまでに研究所設置地区とその周辺に設置した気象観測装置(降水量、気温・湿度、風向・風速、蒸発散量)および河川流量観測装置を用いたデータ取得を継続します。また、既存の試錐孔で地下水位の分布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。さらに、平成18年度までに試錐孔に設置した長期モニタリング機器を用い、地下水の圧力などを連続観測し、地下施設建設による影響の有無を確認します。

地下施設においては、坑道の掘削と並行して水理地質構造に関する情報(湧水を伴う割れ目の性状や湧水の量)を取得するとともに、先行ボーリング調査においても透水性や水理地質構造に関する情報を取得します。さらに、岩石のサンプルを採取し、岩石の透水性を調べる室内試験を実施します。

気象観測装置

北進気象観測所の例

P-4観測地点の例

河川流量観測

平成 19 年度の調査研究(4/15)

地 質 環 境 調 査 技 術 開 発
(地質環境データの取得:地下水の地球化学)

坑道からの掘削土(ズリ)および先行ボーリング調査で得られる地下水や岩石コアからの間隙水の抽出・化学分析や、坑道壁面からの湧水の採取・化学分析を継続します。また、平成 17 年度までに掘削した試錐孔(HDB-1～11 孔、浅層試錐孔)から地下水を採取し、分析します。さらに、河川水や降水の採取・分析を行います。

地下水の地球化学データ取得
(立坑壁面からの湧水の採取)

JAEA-Research 2007-048

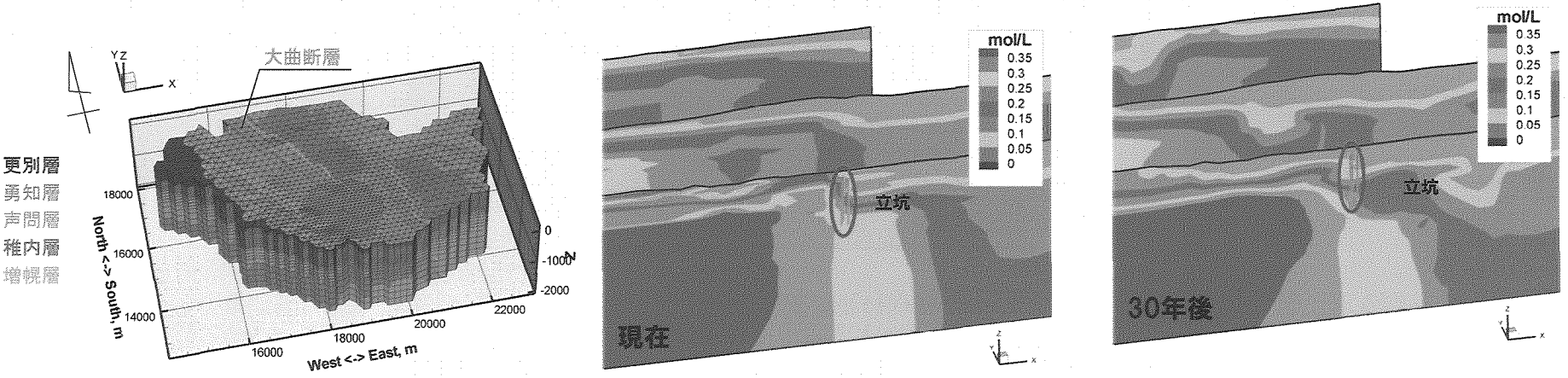
平成 19 年度の調査研究 (5/15)

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

坑道掘削時の調査および先行ボーリング調査で取得する地質環境データに基づき、第 1 段階の地質環境モデルの妥当性確認と更新を行います。この作業を通じて、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を新たに構築します。

また、平成 18 年度までに取得した地質環境データのデータベースへの登録作業を行います。

さらに、実際の経験に基づくノウハウや知識などの情報を、現実の地質環境を対象とした調査や評価に活用しやすい形態として整備していくことの一環として、幌延深地層研究計画を通じて策定された計画書および報告書などに記された技術的な記述の根拠を抽出・整理します。



立坑掘削後の地下水の水質変化予測
（塩化物イオン濃度）

地下水の地球化学モデルの例

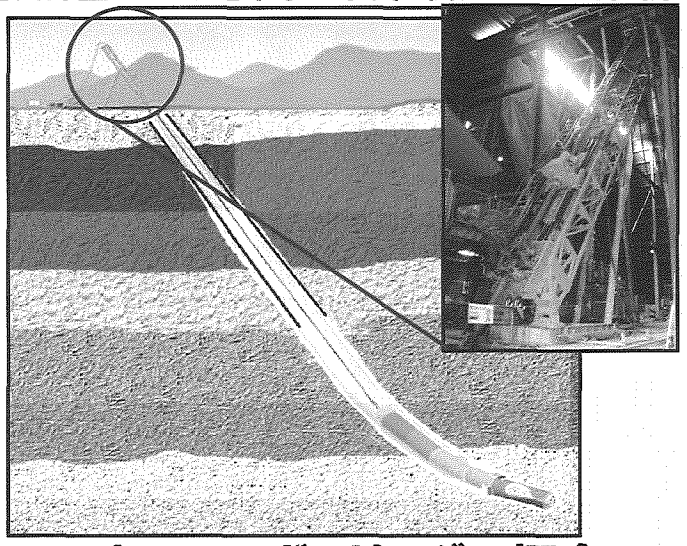
平成 19 年度の調査研究 (6/15)

調査技術・調査機器開発

第 1 段階の調査研究の技術情報や知見などをデータベース化し、堆積岩を対象とした地上からの調査・評価技術の整備を図ります。地表からの調査技術開発の継続として、試錐孔の角度と方向を制御して掘削するコントロールボーリング技術の適用性を確認するために、平成 18 年度に引き続き上幌延地区において主に大曲断層を対象とした試錐孔の掘削を行います。また、同地区にて水圧などのモニタリングシステムの適用性を確認するために、掘削長 100m程度の試錐孔を掘削し、モニタリング装置を設置します。

地下施設における調査では、地質環境のデータ取得に必要な調査技術や調査機器の開発を継続します。坑道内で掘削する試錐孔において岩盤の透水性を調べるために試作した装置、および地下水の pH、酸化還元電位などを原位置でモニタリングするために試作した測定装置の適用性を確認します。岩盤力学の分野では、坑道掘削直後からの岩盤の変形を長期的に安定して計測できる光ファイバー式地中変位計の開発を平成 18 年度に引き続き行います。また、本研究計画の主要な課題の 1 つである塩水と淡水の境界に着目した地下水の流動・水質および物質移動に関する調査について、他機関との共同研究を視野に入れた取り組みを開始します。

一方、地下施設建設時の周辺地質環境の変化をモニタリングするため、平成 18 年度に HDB-6 孔を基点として線状に設置した測定点を利用した電気探査により、地下水の水質と関連のある比抵抗の分布の変化を調べます。



コントロールボーリングの概念

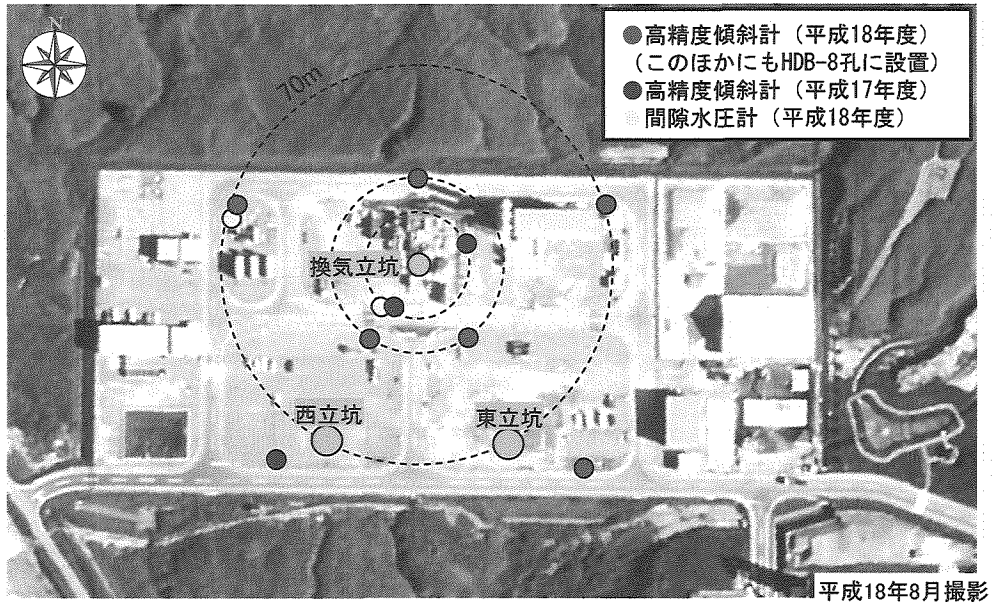
光ファイバー式地中変位計

平成 19 年度の調査研究 (7/15)

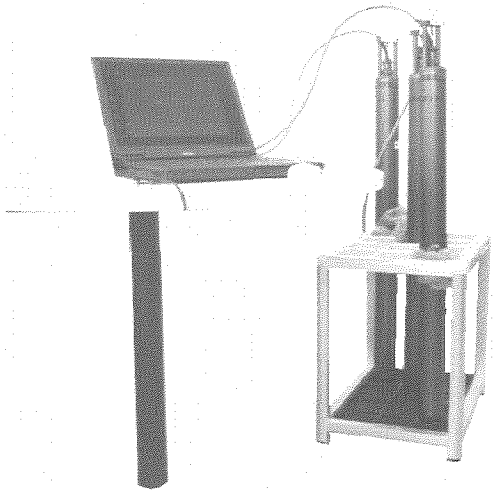
地質環境モニタリング技術開発
（試錐孔を用いたモニタリング技術開発）

これまでに設置した長期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することによりその性能を確認し、各調査活動や地下施設建設による影響を評価します。また、地下水の圧力変化を把握するために、モニタリングデータの処理・解析方法を引き続き検討します。

坑道掘削に伴う地表付近の微小な岩盤の変形を観測するために、平成 17、18 年度に設置した高精度傾斜計および間隙水圧計を用いた観測を継続して行います。さらに、これらのデータを用いた解析手法について検討します。



高精度傾斜計の配置

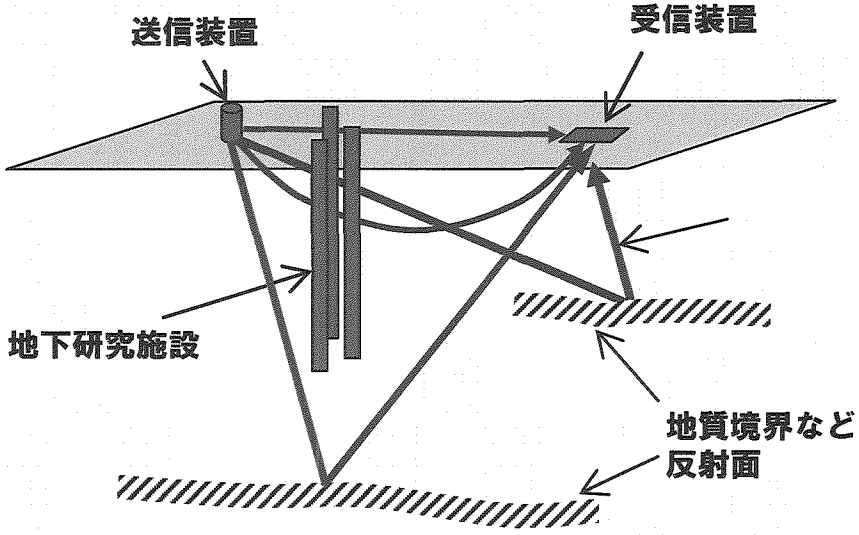


地下施設周辺に設置する高精度傾斜計

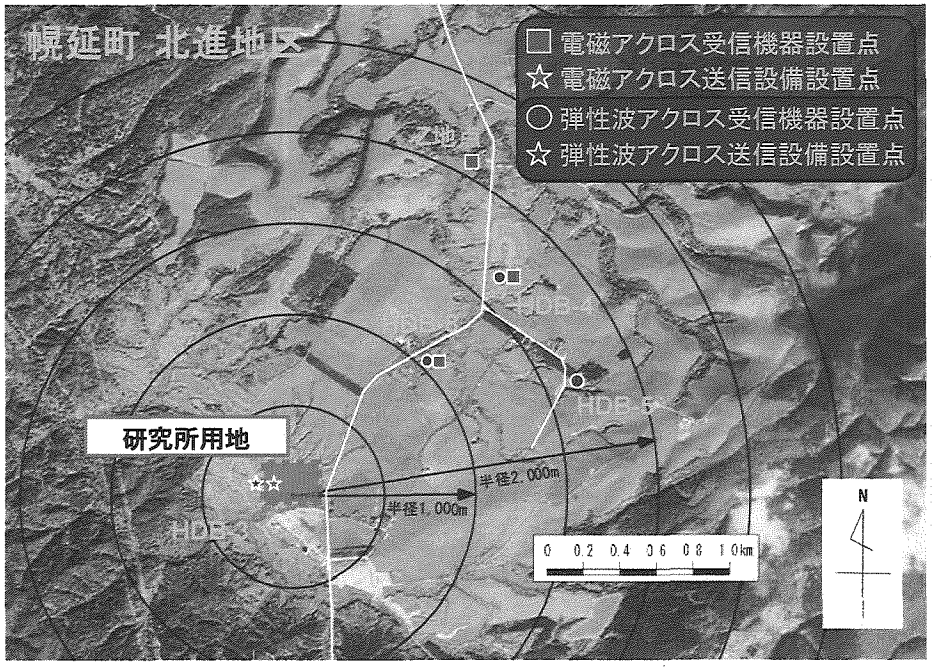
平成19年度の調査研究(8/15)

地質環境モニタリング技術開発
(遠隔監視システムの開発)

これまでに設置した観測点における長期観測を継続し、取得したデータの処理・解析を試行するとともに、地下施設建設に伴う地質環境の変化が解析結果にどのように現れるかを検討します。



遠隔監視システムの観測概念図



遠隔監視システムの設置点

平成 19 年度の調査研究 (9/15)

地質環境の長期安定性に関する研究

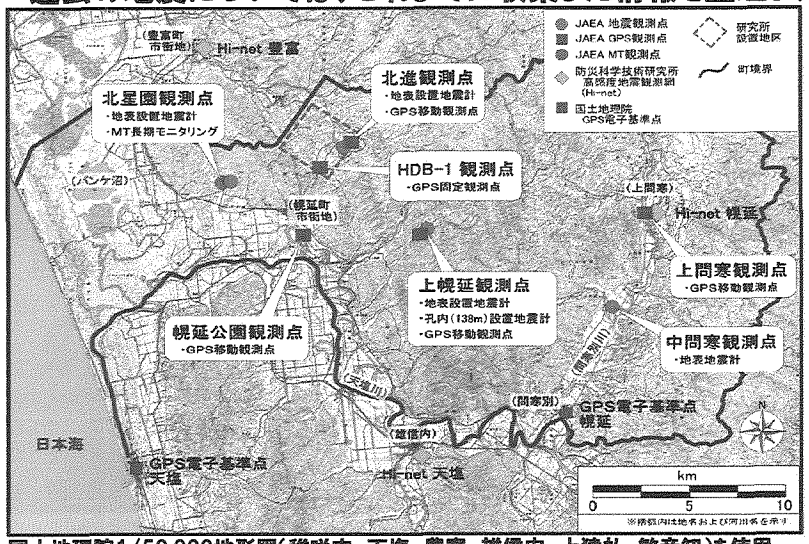
・地質環境の長期的変遷に関する研究

地形や地層の変形と断層活動に関する地質調査および地表に露出している地層と地下施設から採取した岩石サンプルの微化石分析や鉱物試験を行います。また、幌延町周辺の地殻変動や気候変動に関する情報の収集・整理を行うとともに、微化石分析や地層の解析結果およびこれまでに取得した地質情報と合わせ、幌延地域の新第三紀から第四紀の地殻変動や気候変動について検討します。これらの情報を基に、天然現象が地質環境に及ぼす影響についての情報を整理します。

また、既存の観測点における GPS 観測を継続するとともに、研究所設置地区周辺に分布する断層やしゅう曲の活動性を検討するため、同地区周辺に GPS 観測点を設置し、地殻変動量に関する解析を行います。これまでに電磁探査機器で取得した地下深部比抵抗値に関するデータについては、地震発生との関連性を検討するための取りまとめを行います。

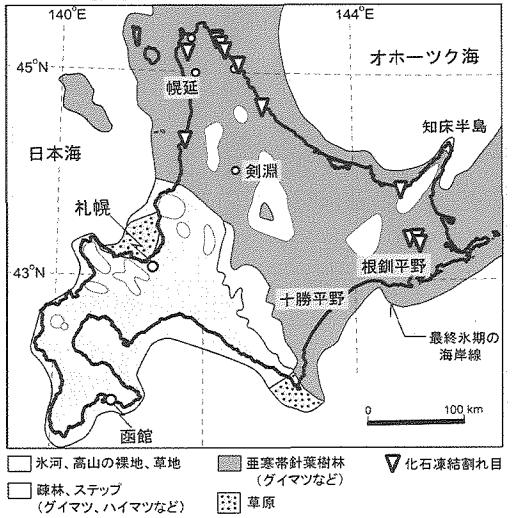
・地震研究

これまでに地表および試錐孔底の付近(深度 138m)に設置した地震計により、幌延町およびその周辺地域で発生する地震の観測を継続します。これらの観測により取得したデータを基に、震源分布や地下深部の構造について検討します。また、幌延町周辺地域で発生した過去の地震については、これまでに収集した情報を整理し、地震発生域や周期性について検討します。



国土地理院1/50,000地形図(稚咲内、天塩、豊富、雄信内、上猿払、敏音知)を使用

幌延町内の観測点



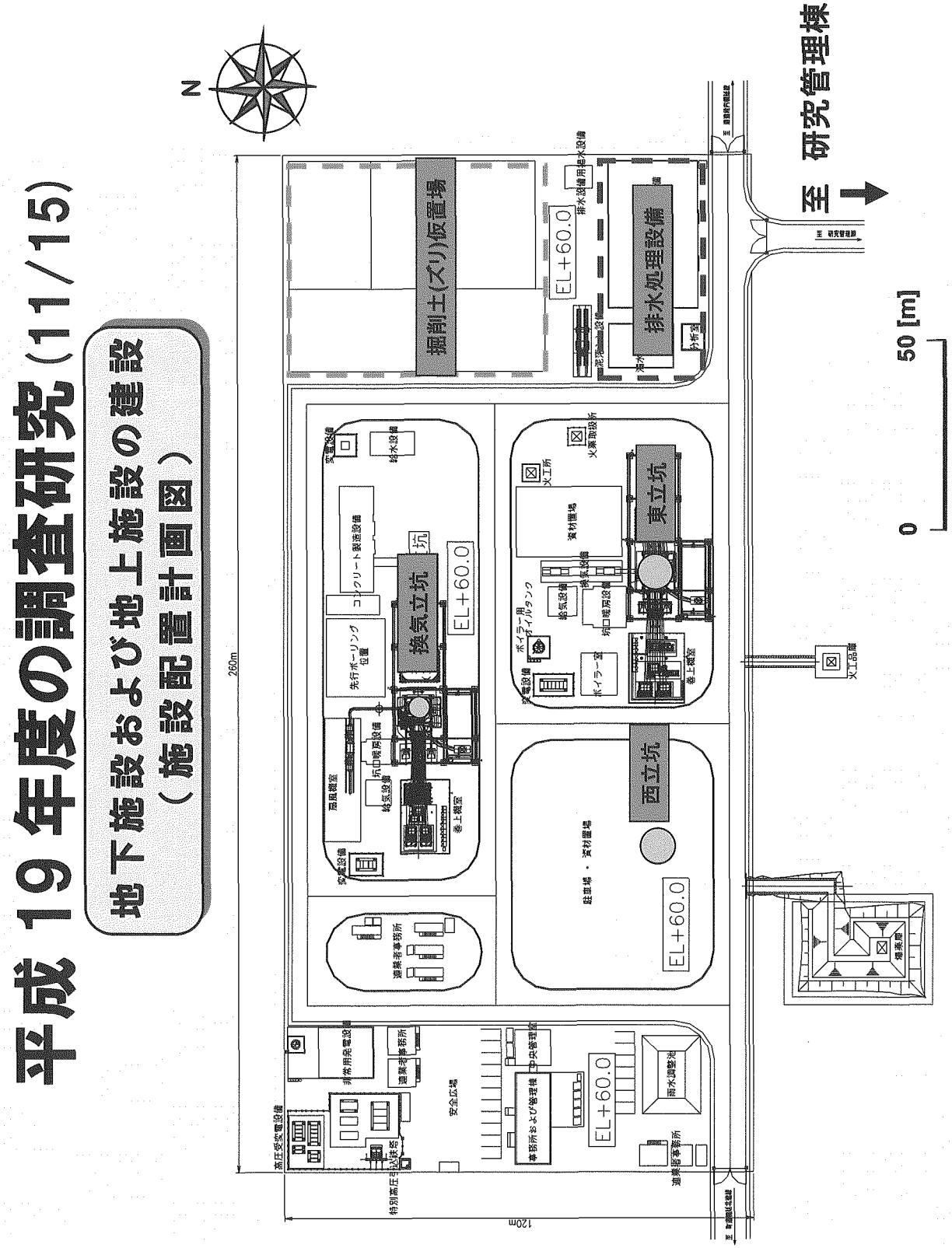
最終氷期最寒冷期(約 1.8 万年前)の植生分布(文献調査による)

平成19年度の調査研究(10/15)

地下施設および地上施設の建設
(研究所用地およびその周辺の様子)

平成18年8月20日撮影

JAEA-Research 2007-048


平成19年度の調査研究(11/15)
地下施設および地上施設の建設
(施設配置計画図)
N
至 研究管理棟
0
50 [m]
掘削土(ズリ)仮置場
排水処理設備
換気立坑
東立坑
西立坑
EL+60.0
260m
120m

平成 19 年度の調査研究 (12/15)

地 下 施 設 の 建 設

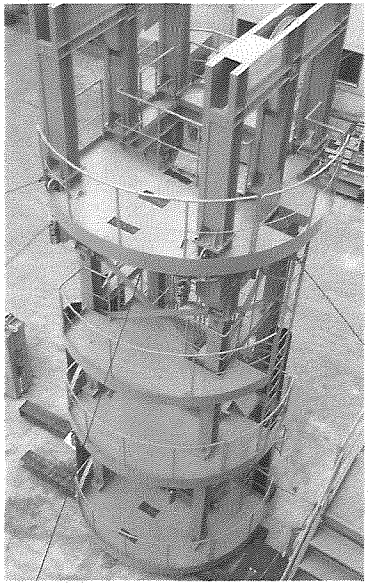
掘削工法

換気・西立坑　：機械掘削工法

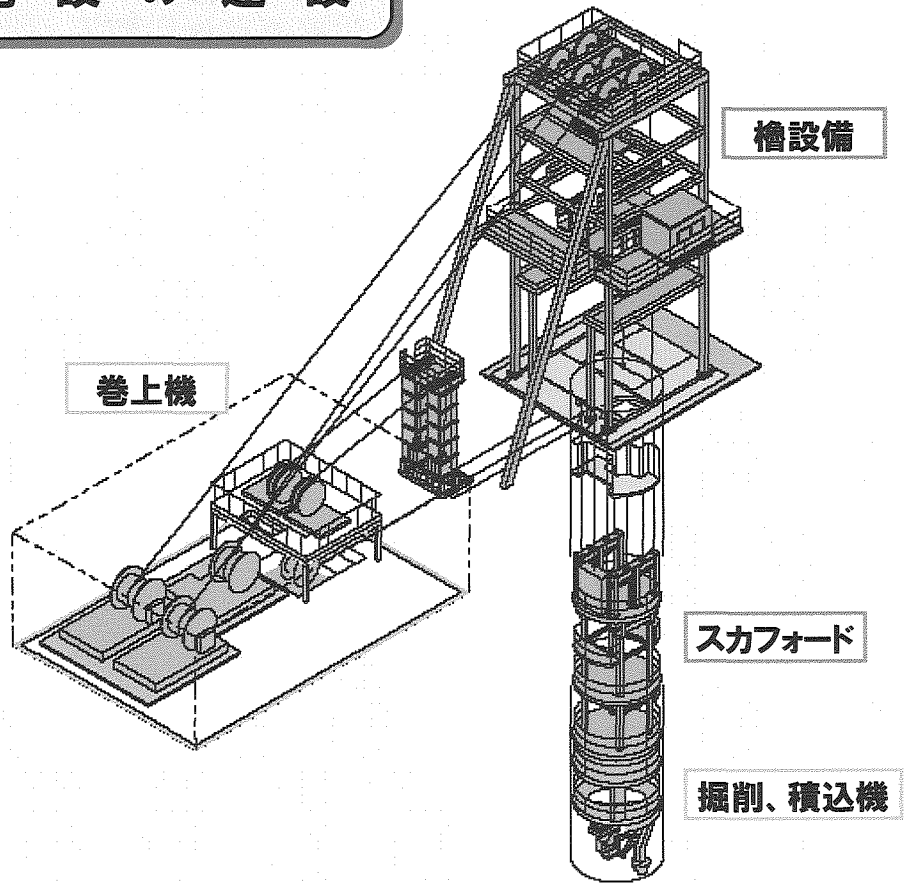
東立坑　：発破工法

支保工法

ショートステップ工法



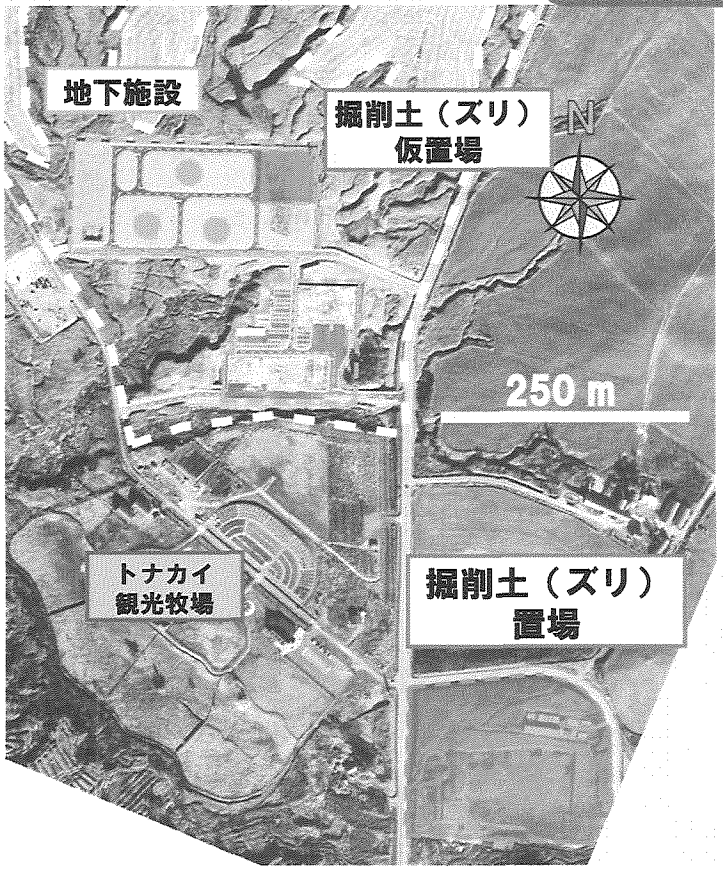
スカフォード



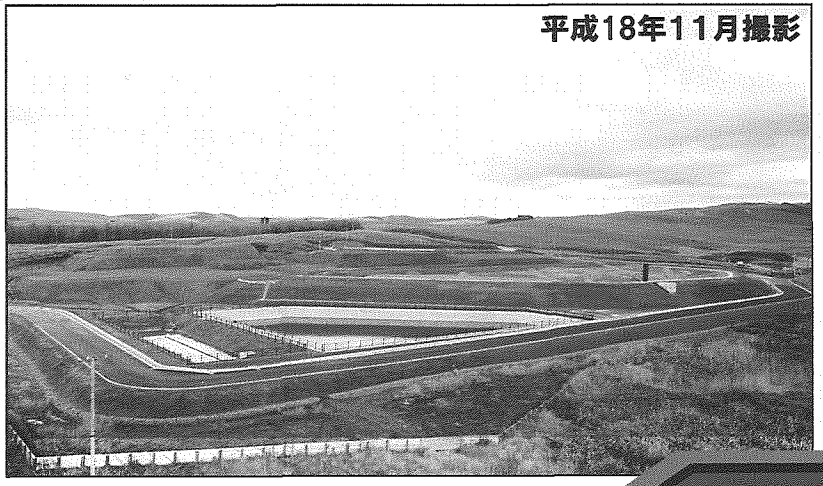
櫓(やぐら)設備の概要図

平成 19 年度の調査研究(13/15)

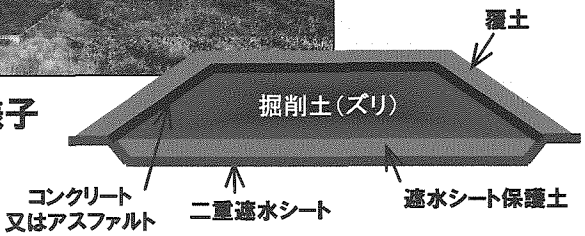
地下施設および地上施設の建設
(掘削土(ズリ)置場のイメージ)



掘削土(ズリ)置場周辺の空中写真



掘削土(ズリ)置場の様子



掘削土(ズリ)置場の概念図

基本的な考え方

「土壌汚染対策法」、「水質汚濁防止法」などの法律に準拠し、環境に配慮した管理を実施する

仕様

- 広 さ:約　23,000m^2
- 容 量:約　100,000m^3
- 土壌汚染対策法の遮水工封じ込め型に準ずる

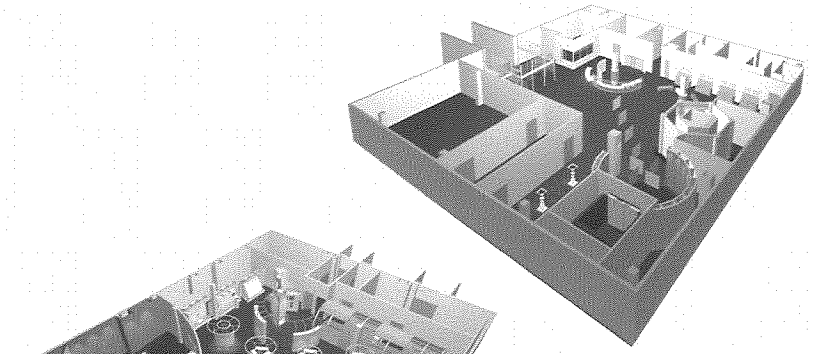
JAEA-Research 2007-048

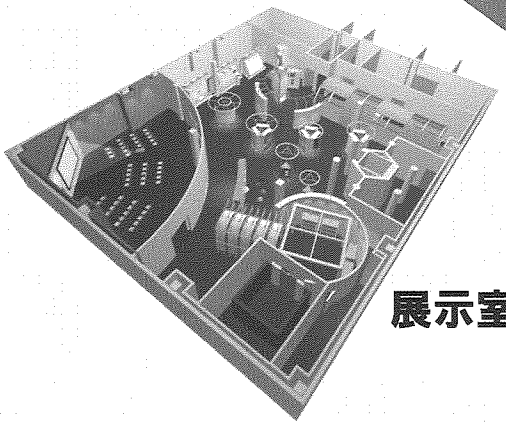
平成19年度の調査研究(16/17)

地上施設の建設

PR施設の外観
（平成19年1月26日撮影）

展示室(1階)のイメージ



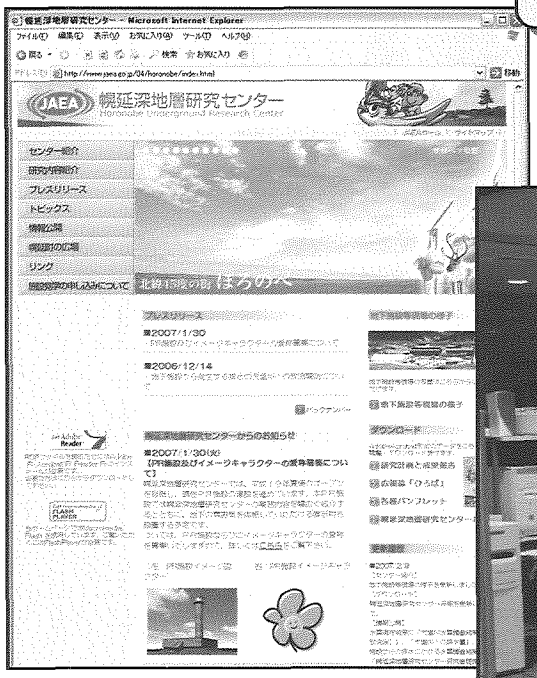


展示室(地下1階)のイメージ

PR施設内部のイメージ図

平成19年度の調査研究(15/15)

開かれた研究



ウェブサイトでの
情報発信

(http://www.jaea.go.jp/04/horonobe/)

インフォメーション
ルーム

（研究管理棟中央ホール）

国外の専門家との
意見交換

第16回 NEA Clay Club会議
平成18年9月6日～9日

JAEA-Research 2007-048

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）	キログラム毎立法メートル	kg/m^3
質量体積（比体積）	立法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
（物質量の）濃度	モル毎立方メートル	mol/m^3
輝度	カンデラ毎平方メートル	cd/m^2
屈折率	（数の）1	1

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３．固有の名称とその独自の記号で表される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(a)	rad		$m \cdot m^{-1}=1$(b)
立体角	ステラジアン(a)	sr(c)		$m^2 \cdot m^{-2}=1$(b)
周波数	ヘルツ	Hz		s^{-1}
力	ニュートン	N		$m \cdot kg \cdot s^{-2}$
圧力，応力	パスカル	Pa	N/m^2	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
エネルギー，仕事，熱量	ジュール	J	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
工率，放射束	ワット	W	J/s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
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	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
静電容量	ファラド	F	C/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
電気抵抗	オーム	Ω	V/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-2}$
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V	$m^{-2} \cdot kg^{-1} \cdot s^3 \cdot A^2$
磁束	ウエーバ	Wb	V・s	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
磁束密度	テスラ	T	Wb/m^2	$kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-1}$
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
セルシウス温度	セルシウス度(d)	℃		K
光束	ルーメン	lm	cd・sr(c)	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot cd=cd$
照度	ルクス	lx	lm/m^2	$m^2 \cdot m^{-4} \cdot cd=m^{-2} \cdot cd$
（放射性核種の）放射能	ベクレル	Bq		s^{-1}
吸収線量，質量エネルギー分与，カーマ	グレイ	Gy	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$
線量当量，周辺線量当量，方向性線量当量，個人線量当量，組織線量当	シーベルト	Sv	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2}$

(a)ラジアン及びステラジアンの使用は、同じ次元であっても異なった性質をもった量を区別するときの組立単位の表し方として利点がある。組立単位を形作るときのいくつかの用例は表４に示されている。
(b)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“1”は明示されない。
(c)測光学では、ステラジアンの名称と記号srを単位の表し方の中にそのまま維持している。
(d)この単位は、例としてミリセルシウス度m℃のようにSI接頭語を伴って用いても良い。

表４．単位の中に固有の名称とその独自の記号を含む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	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-1}$
力のモーメント	ニュートンメートル	N・m	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2}$
表面張力	ニュートン毎メートル	N/m	$kg \cdot s^{-2}$
角速度	ラジアン毎秒	rad/s	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-1}=s^{-1}$
角加速度	ラジアン毎平方秒	rad/s^2	$m \cdot m^{-1} \cdot s^{-2}=s^{-2}$
熱流密度，放射照度	ワット毎平方メートル	W/m^2	$kg \cdot s^{-3}$
熱容量，エントロピー	ジュール毎ケルビン	J/K	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量熱容量（比熱容量），質量エントロピー	ジュール毎キログラム毎ケルビン	J/(kg・K)	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
質量エネルギー（比エネルギー）	ジュール毎キログラム	J/kg	$m^2 \cdot s^{-2} \cdot K^{-1}$
熱伝導率	ワット毎メートル毎ケルビン	W/(m・K)	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot K^{-1}$
体積エネルギー	ジュール毎立方メートル	J/m^3	$m^{-1} \cdot kg \cdot s^{-2}$
電界の強さ	ボルト毎メートル	V/m	$m \cdot kg \cdot s^{-3} \cdot A^{-1}$
体積電荷	クーロン毎立方メートル	C/m^3	$m^{-3} \cdot s \cdot A$
電気変位	クーロン毎平方メートル	C/m^2	$m^{-2} \cdot s \cdot A$
誘電率	ファラド毎メートル	F/m	$m^{-3} \cdot kg^{-1} \cdot s^4 \cdot A^2$
透磁率	ヘンリー毎メートル	H/m	$m \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot A^{-2}$
モルエネルギー	ジュール毎モル	J/mol	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot mol^{-1}$
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)	$m^2 \cdot kg \cdot s^{-2} \cdot K^{-1} \cdot mol^{-1}$
照射線量（X線及びγ線）	クーロン毎キログラム	C/kg	$kg^{-1} \cdot s \cdot A$
吸収線量率	グレイ毎秒	Gy/s	$m^2 \cdot s^{-3}$
放射強度	ワット毎ステラジアン	W/sr	$m^4 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}=m^2 \cdot kg \cdot s^{-3}$
放射輝度	ワット毎平方メートル毎ステラジアン	$W/(m^2 \cdot sr)$	$m^2 \cdot m^{-2} \cdot kg \cdot s^{-3}=kg \cdot s^{-3}$

表６．国際単位系と併用されるが国際単位系に属さない単位

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=86400 s
度	°	$1° =(\pi/180)$ rad
分	’	$1’ =(1/60)° =(\pi/10800)$ rad
秒	”	$1” =(1/60)’ =(\pi/648000)$ rad
リットル	l、L	$1l=1\ dm^3=10^{-3}m^3$
トン	t	$1t=10^3$ kg
ネーパ	Np	1Np=1
ベル	B	1B=(1/2)ln10(Np)

表７．国際単位系と併用されこれに属さない単位で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 単位であらわされる数値
電子ボルト	eV	$1eV=1.60217733(49)\times10^{-19}J$
統一原子質量単位	u	$1u=1.6605402(10)\times10^{-27}kg$
天文単位	ua	$1ua=1.49597870691(30)\times10^{11}m$

表８．国際単位系に属さないが国際単位系と併用されるその他の単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
海里		1海里=1852m
ノット		1ノット=1海里毎時=(1852/3600)m/s
アール	a	$1a=1\ dam^2=10^2m^2$
ヘクタール	ha	$1ha=1\ hm^2=10^4m^2$
バール	bar	$1bar=0.1MPa=100kPa=1000hPa=10^5Pa$
オングストローム	Å	$1Å=0.1nm=10^{-10}m$
バーン	b	$1b=100fm^2=10^{-28}m^2$

表９．固有の名称を含むCGS組立単位

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
エルグ	erg	$1\ erg=10^{-7}$ J
ダイン	dyn	$1\ dyn=10^{-5}N$
ポアズ	P	$1\ P=1\ dyn \cdot s/cm^2=0.1Pa \cdot s$
ストークス	St	$1\ St=1cm^2/s=10^{-4}m^2/s$
ガウス	G	1 G ^10^-4T
エルステッド	Oe	1 Oe ^(1000/4π)A/m
マクスウェル	Mx	1 Mx ^10^-8Wb
スチルブ	sb	$1\ sb=1cd/cm^2=10^4cd/m^2$
ホト	ph	$1\ ph=10^4lx$
ガル	Gal	$1\ Gal=1cm/s^2=10^{-2}m/s^2$

表10．国際単位に属さないその他の単位の例

名称	記号	SI 単位であらわされる数値
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^-2Gy
レム	rem	1 rem=1 cSv=10^-2Sv
X線単位		1X unit=1.002×10^-4nm
ガンマ	γ	$1\gamma=1\ nT=10^{-9}T$
ジャンスキー	Jy	$1\ Jy=10^{-26}W \cdot m^{-2} \cdot Hz^{-1}$
フェルミ		1 fermi=1 fm=10^-15m
メートル系カラット		1 metric carat = 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
カロリー	cal	
ミクロン	μ	1 μ =1μm=10^-6m

（第７版，1998 年改訂）