JNC TN5400 2005-002

幌延深地層研究計画

坑道掘削(地下施設建設)時の調査研究段階(第 2 段階)計画

平成 17 年 6 月

核燃料サイクル開発機構

幌延深地層研究センター

本資料の全部または一部を複写・複製・転載する場合は、下記にお問い合わせください。

〒319-1184　茨城県那珂郡東海村大字村松 4-49
核燃料サイクル開発機構
技術展開部　技術協力課
電話：029-282-1122（代表）
ファックス：029-282-7980
電子メール：jserv@jnc.go.jp

Inquiries about copyright and reproduction should be addressed to:
Technical Cooperation Section,
Technology Management Division,
Japan Nuclear Cycle Development Institute
4-49 Muramatsu, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki, 319-1184, Japan

© 核燃料サイクル開発機構
(Japan Nuclear Cycle Development Institute)
2005

目次

1. はじめに ····· 1
2. 地層処分技術に関する研究開発課題と
幌延深地層研究計画の役割 ····· 1
3. 幌延深地層研究計画の経緯 ····· 2
4. 第 1 段階の調査研究成果の概要 ····· 2
5. 第 2 段階の調査研究 ····· 2
5.1 調査研究の目標 ····· 3
5.2 地下施設の建設 ····· 3
5.3 調査研究の概要 ····· 4
5.4 第 3 段階の調査研究計画の策定 ····· 7
6. 地上施設の建設 ····· 8
7. 環境調査 ····· 8
8. 開かれた研究 ····· 8

おわりに ····· 8
引用文献 ····· 9

表目次

表 1　幌延深地層研究計画における各調査研究段階のスケジュール‥ 10
表 2　幌延深地層研究計画で設定する研究開発課題の推移‥‥‥‥‥ 11

図目次

図 1　研究所設置地区 ····· 12
図 2　研究所設置地区と主な調査位置 ····· 13
図 3　施設の配置計画 ····· 14
図 4　地質構造モデルの一例 ····· 15
図 5　地下施設のイメージ図 ····· 16
図 6　立坑・水平坑道の断面 ····· 17
図 7　立坑の掘削計画 ····· 18

1. はじめに

深地層の研究施設は、原子力長期計画[1)]の中で高レベル放射性廃棄物地層処分技術の信頼性の確認や安全評価手法の確立に向けての研究開発を進めていく上での主要な施設であること、国民の研究開発に対する理解を得ていく場としての意義を有していることが示されています。

これを受け、核燃料サイクル開発機構（以下「サイクル機構」とします）は「幌延深地層研究計画（北海道幌延町：堆積岩)」、「超深地層研究所計画（岐阜県瑞浪市：結晶質岩)」の 2 つの深地層の研究施設計画を進めてきています。

深地層の研究施設計画は大きく 3 つの段階からなる、全体で約 20 年の計画です。第 1 段階として、地上からの調査によって、地下の状態や坑道を掘削した際の変化を予測します（地上からの調査研究段階)。第 2 段階は、坑道を掘削しつつ、第 1 段階の予測結果を確認するとともに、調査手法や解析手法の妥当性を確認します（坑道掘削時の調査研究段階)。第 3 段階には、主として坑道を利用して様々な試験を行います（地下施設での調査研究段階)。

このように、調査研究を段階的に進めることにより、地下深部の地質環境についての理解を深めながら、体系的に調査・解析・評価するための技術基盤を整備していきます。また、得られた地質環境情報に基づき、地下の坑道を設計・施工していくことを通じて、地下施設に関わる工学技術を整備していきます。

2. 地層処分技術に関する研究開発課題と幌延深地層研究計画の役割

サイクル機構が行う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では、以下の２つを目標としています[2)]。

①実際の地質環境への地層処分技術の適用性確認

②地層処分システムの長期挙動の理解

また、これらの目標を達成するために、研究開発項目として「深地層の科学的研究」、「処分技術の信頼性向上」、「安全評価手法の高度化」の 3 つの研究開発分野を設定しています。この中で、幌延深地層研究計画では堆積岩を対象とした深地層の科学的研究（地層科学研究)、地層処分研究開発である処分技術の信頼性向上と安全評価手法の高度化のうち、主に原位置での試験研究に関わる研究開発を進めています。

3. 幌延深地層研究計画の経緯

平成 12 年 11 月に北海道、幌延町、サイクル機構の間で「幌延町における深地層の研究に関する協定」を締結し、平成 13 年 4 月には幌延深地層研究センターを開設、地上からの調査研究段階（第 1 段階）の調査研究に着手しました（表 1）[3]。平成 14 年 7 月には平成 13 年度の地上からの調査結果などに基づき、その後の調査研究の主対象領域である研究所設置地区を幌延町北部の北進地区に選定しました（図 1、2）[4]。平成 15 年 3 月には研究所設置地区内において、地上/地下施設を建設するための用地を取得し、平成 15～16 年度に用地の造成工事を行いました(図 3)[5]。17 年度には、第 1 段階の調査研究が終了し、あわせて第 2 段階の調査研究を開始する予定です。

4. 第 1 段階の調査研究成果の概要

第 1 段階では、次の 2 つの目標を設定し調査研究を進めてきました[3]。

○ 地上からの調査研究による地質環境モデルの構築および坑道掘削前の深部地質環境の状態の把握

○ 地下施設の詳細設計および施工計画の策定

平成 13 年度より、地質調査、物理探査、表層水理調査、試錐調査を行い、地質環境モデル（地質構造モデル、地下水の水理モデル、地下水の地球化学モデル、岩盤力学モデル）を構築しました（図 4)。これらモデル化においては、新たにデータを取得するたびにモデルを見直すといった、段階的にモデルの信頼性を向上させていくアプローチを採用しました。さらに、取得したデータを活用し、幌延を 1 つの事例とした人工バリアの試設計や予備的な物質移行解析を行いました。その他にも、地震観測などの地質環境の長期安定性に関する研究を行い、天然現象の特性を明らかにするとともに、処分技術の信頼性向上のための室内試験などにより、基礎データを取得しました。

5. 第 2 段階の調査研究

本段階では、まず坑道の掘削を開始します。坑道の掘削と並行して、地質環境に関する情報を取得します。断層や割れ目帯、酸化還元境界などの重要な調査研究対象が認められた地点においては、必要に応じて立坑から小さな坑道などを設け、詳細な調査研究を実施します。これらの調査研究により取得する情報に基づき、第 1 段階において構築した地質環境モデル（数 km～数百 m 四方のスケール：施設スケール）の妥当性や

調査・解析手法の有効性を確認します。また、坑道掘削に伴う地質環境の変化を実際に把握します。さらに、新たに取得する地質環境情報に基づき、地質環境モデル（数十 m～数 m 四方のスケール：坑道スケール）を構築し、坑道を利用した調査研究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。本段階においても、「地質環境の概念の提示→調査研究計画の立案→調査の実施→モデルの構築および解析→評価」といった一連の手順の繰り返しにより、地質環境の調査・解析・評価手法を段階的に整備します。

これらの調査研究と合わせて、本段階までに取得する地質環境に関する情報を踏まえて、坑道を利用した調査研究の課題を抽出します。また、坑道を利用した研究段階における調査研究計画を詳細化および具体化します。一方、坑道の施工・維持・管理に関わる工学技術については、既存技術の有効性を確認するとともに高度化を行います。

なお、本段階において実施する調査研究の内容については、今後取得する地質環境に関する新たな情報や知見に基づいて、適宜最適化を図っていきます。また、調査研究スケジュールについても、適宜見直しを行い、最適化を図ります。

5.1　調査研究の目標

以下の 4 つの目標を設定し調査研究を進めます。

○坑道の掘削（地下施設の建設）に伴う一連の深部地質環境の調査・解析・評価技術の整備
○深地層における工学技術の基盤の整備
○地層処分技術に関する工学技術の有効性の確認
○安全評価手法の適用性の確認

5.2　地下施設の建設

地下施設は、深度 500m 程度の立坑(東立坑、西立抗、換気立坑) 3 本と水平坑道から構成されます。地下施設イメージを図 5 に示します。

地下施設の建設については、平成 17 年度にまず換気立坑の掘削を開始し、次いで東立坑、平成 21 年ごろに西立坑の掘削を開始する計画としています。立坑・水平坑道の断面を図 6 に、立坑の掘削計画を図 7 に示します。

一般に本地域のような堆積岩中にはメタンなどの可燃性ガスが含まれていることが多く、研究所用地周辺においても可燃性ガスの存在が確認

されています。そのため、防爆仕様の機器の採用やガス濃度の監視などの可燃性ガス対策を行うとともに、「万が一いかなる箇所で火災などの災害が発生しても、通気制御などにより安全区画を確保し、入坑者が安全に地上まで避難することができる防災システム」を基本とした安全対策を実施します。

5.3　調査研究の概要

上記の目標を達成するために、以下に示す実施項目を設定します。これらの実施項目は、調査研究の進捗などを踏まえて、逐次見直してきており（表 2)、今後も必要に応じて実施内容の追加や変更を行います。実施項目の内容を以下に示します。

5.3.1　地層科学研究

(1)地質環境調査技術開発

①地質環境データの取得

地表から深度 500m 程度までに展開される立坑と水平坑道の掘削時に、坑道壁面の地質観察、坑道への湧水量測定、湧水の水質調査などを行います。坑道から掘削する試錐孔を利用して地質や地下水水圧・水質、岩盤の力学物性などのデータを取得します。また、採取した岩石・地下水試料を利用した室内試験も行います。

地上においては、第 1 段階において掘削した試錐孔において、坑道掘削に伴う地下水水圧や水質の変化の有無を観測します。また、降水量、河川流量観測、気象観測などの表層水理調査を行います。なお、坑道掘削により取得する地質環境データを使用した地質環境モデル更新結果などから、物理探査や試錐調査などの地上からの調査を実施する可能性もあります。

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 1 段階で構築した施設スケールの地質環境モデルのうち、主として地質構造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。

第 1 段階で実施した地下施設建設に伴う地下水水圧・水質などの地質環境の変化の予測結果と、上記の①で取得したデータを比較することにより、予測手法の妥当性を確認します。これにより地上からの調査・予測・解析手法の妥当性を確認します。

坑道掘削に伴い取得する地質環境情報に基づき、地質環境モデル（数十 m～数 m 四方のスケール：坑道スケール）を構築し、坑道を利用した調

査研究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 段階で実施する調査試験研究計画を策定するための基礎情報となります。

③調査技術・調査機器開発

坑道内において調査を行う場合には、坑道内での固有の環境（高湿度など）や調査に使用できる空間が限られていることなどに対処するため、調査機器の改良・開発が必要と考えられます。

これまでにサイクル機構が実施してきた坑道内での調査研究（東濃鉱山における試験研究[6)] など）を通じて開発した水理試験装置などの調査技術・調査機器を適用し、その有効性を確認します。また、必要に応じて調査技術・調査機器の開発を行います。

また、坑道内における各種計測データを一元的に管理するためのシステムを構築します。

(2)地質環境モニタリング技術の開発

①試錐孔を用いたモニタリング技術開発

地表から掘削した試錐孔における地下水水圧・水質モニタリングシステムの有効性を検討します。また、モニタリングデータ管理システムの構築、モニタリングデータの解析手法の構築を行います。

②遠隔監視システムの開発

アクロスシステムを応用した遠隔監視システムの開発を行います。これまでに、弾性波アクロスと電磁アクロスの送受信機器の設置および試験観測を実施しており、第 2 段階では立坑掘削中における地下の状態に関する観測データ取得します。これを立坑掘削前の状態と比較することにより、地下の構造や状態の変化を把握する技術としての有効性を検討します。

また、岩盤の比抵抗変化を長期的に観測する手法の適用性確認などを行う予定です。

(3)深地層における工学的技術の開発

坑道の掘削により、第 1 段階において適用した詳細設計や施工計画策定などの手法ならびに適用した工学技術の有効性を評価し、その評価結果を適切に詳細設計や施工計画策定などに反映させる技術体系を整備します。

また、実際の地質環境が推定結果と大きく異なる場合、想定外の事象に遭遇した場合、あるいは、坑道の掘削により地質環境を著しく乱す事象が生じた場合などにおいて、柔軟に設計変更ができること、さらに現

状の対策工が適切に対応し得ることを示すことにより、設計・施工技術の有効性を確認します。さらに、地質環境の変化の事前予測や対策工実施後の品質保証のための工学技術の検討を行います。一方、安全衛生面からの坑道内の研究環境の維持・管理や安全確保のための技術開発を実施します。

(4)地質環境の長期安定性に関する研究

この研究では、幌延地域での観測や調査が可能な天然現象である、地震・断層活動、隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動を対象としています。

第1段階では､幌延地域における天然現象の変遷を把握してきました。第 2 段階では、天然現象が地質環境へ及ぼす影響を明らかにし、その結果を基に地質環境の長期的変化を考慮した地質環境モデルの構築を行います。

断層活動や隆起・沈降・侵食、気候・海水準変動などの過去の天然現象が地質環境へ及ぼした影響については、地表踏査や坑道壁面調査、採取した試料の室内試験などにより影響の範囲や程度を把握します。地震などの現在も起こっている天然現象が地質環境へ及ぼす影響については、第 1 段階で設置した観測機器を用いて、地殻変動量や地下水水位・水圧の観測を行い、それらの変化と地震活動の特徴の関連性について検討します。

地質環境の長期的変化を考慮した地質環境モデルの構築にあたっては、過去から現在に至る上記の天然現象および地質環境の変遷に係わる情報の収集と解析を行い、天然現象が地質環境へ及ぼす影響の因子や影響のプロセスおよび影響のメカニズムなどを系統的に整理した上で実施します。なお、モデル作成過程において生じる不足データについては、適宜現地調査や室内試験などを実施し、得られたデータに基づいてモデルを適宜更新していきます。

5.3.2　地層処分研究開発

地層処分に関する技術のうち、人工バリア性能などに関わる工学要素技術の信頼性向上を図るための室内試験、原位置試験を行います。また、安全評価手法の実際の地質環境への適用性を確認するために、第 1 段階および第 2 段階で取得するデータを利用して、地下施設周辺での物質移行解析を試行します。

(1)処分技術の信頼性向上

①人工バリア等の工学技術の検証

処分技術の信頼性向上に関する研究課題のうち、坑道内の原位置において行うことが重要な試験として、低アルカリ性コンクリートの施工性を確認する試験およびガス移行挙動試験を行います。

低アルカリ性コンクリートに関する試験においては、坑道支保工としての基本的施工性の確認および適用範囲の把握、プラグ・グラウトなど閉鎖工としての施工性の確認、鉄筋腐食など施工後の品質の確認を行います。

ガス移行挙動試験は、人工バリアシステム全体の機能の評価とオーバーパック材料の腐食に伴い発生するガスの移行評価モデルの検証を行うことを目的として実施します。この試験では、試験用坑道に掘削するピットを利用し、坑道およびピット周辺岩盤、緩衝材および埋戻し材中のガスなどの挙動を､第 2 段階から第 3 段階にかけて連続的に観測します。

また、人工バリアおよび周辺岩盤の熱・水理・応力・化学連成挙動評価試験や人工バリアの定置精度確認試験など、第 3 段階に行う原位置試験の詳細設計を行います。

②設計手法の適用性確認

空洞の力学的安定性や支保工の性能を確認し、支保工が緩衝材や岩盤に与える影響などについて、実際の施工と各種の観測により得られる知見を集約・整理します。また、地下施設建設の各段階での地質環境情報を参考として、地層処分において特徴的な設計手法の実際の地質環境に対する適用性を概略的に評価します。

(2)安全評価手法の高度化

幌延を 1 つの事例として、地下施設周辺での物質移行解析を試行します。第 1 段階から第 2 段階へと段階的に取得される地質環境データを利用して、データの質と量に応じた安全評価手法の検討を行うことにより、安全評価の観点から地質環境の調査における留意点などを整理し、調査計画に反映させていきます。

また、物質移行解析に必要となるデータ（収着係数、拡散係数、空隙率など）を地下水や岩石を利用した室内試験により取得します。

5.4　第 3 段階の調査研究計画の策定

第 2 段階での調査研究の進展に伴い得られる知見や情報に基づいて、第 3 段階の詳細な調査研究計画を策定します。

6. 地上施設の建設

国内外の研究機関や専門家との研究協力を推進し、技術の継承や人材育成、地域の皆様や一般国民を対象とした理解の増進、体験学習の場とするために、地上施設を整備していきます。そのために必要となる環境基盤整備の一環として、PR 施設と国際交流会館の建設を進めます。

PR 施設は、平成 17 年に建設を開始し、平成 19 年の完成を予定しています。国際交流会館の建設については、平成 17 年度に概念検討を行い、平成 20 年ごろから建設を開始する予定としています。

7. 環境調査

研究所用地造成工事開始前および工事実施中に、研究所用地周辺の環境調査、モニタリング調査を行いました。第 2 段階では、第 1 段階に引き続き、モニタリング調査を実施します。環境への影響が懸念される場合には影響を回避・低減するために迅速かつ適切な措置を講じます。

環境調査項目は、水質調査、騒音・振動調査、動物調査（魚類調査)、植物調査とし、工事実施期間中の春季・夏季・秋季に実施します。なお、冬季については、水質調査、騒音・振動調査を実施します。

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、地球科学や工学などの幅広い分野にわたるものであり、学術研究などにも広く寄与するものです。研究施設を国内外に開かれたものとするために、北海道内外の大学をはじめとする研究機関などの参加を求めるとともに、学術的な研究の場として広く提供していきます。

おわりに

幌延深地層研究計画の成果は、他の事業所での成果と合わせ、わが国の地層処分計画を支える技術基盤として、タイムリーに処分事業や安全規制に反映します。

研究開発業務の透明性・客観性を確保する観点からは、研究計画の策定から成果までの情報を積極的に公表し、特に研究成果については国内外の学会や論文などを通じて広く公開していく方針です。

引用文献

1)原子力委員会(2000):原子力の研究,開発及び利用に関する長期計画,平成 12 年 11 月 24 日.

2)サイクル開発機構 (2001):平成 13 年度研究開発課題評価 (中間評価) 報告書, サイクル機構技術資料, JNC TN1440 2001-008.

3)サイクル開発機構 (2001):深地層研究所 (仮称) 計画－地表から行う調査研究 (第 1 段階) 計画, サイクル機構技術資料, JNC TN7410 2001-018.

4)サイクル開発機構 (2002):幌延深地層研究計画－平成 13 年度調査研究結果と研究所設置地区選定, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 2002-017.

5)サイクル開発機構 (2005):幌延深地層研究計画－平成 16 年度調査研究成果報告, サイクル機構技術資料, JNC TN5400 2005-001.

6)サイクル開発機構 (1998):東濃鉱山における調査試験研究基本計画書,サイクル機構技術資料, JNC TN7410 99-006.

7)サイクル開発機構 (1998):深地層研究所 (仮称) 計画, サイクル機構技術資料, JNC TN1410 98-002.

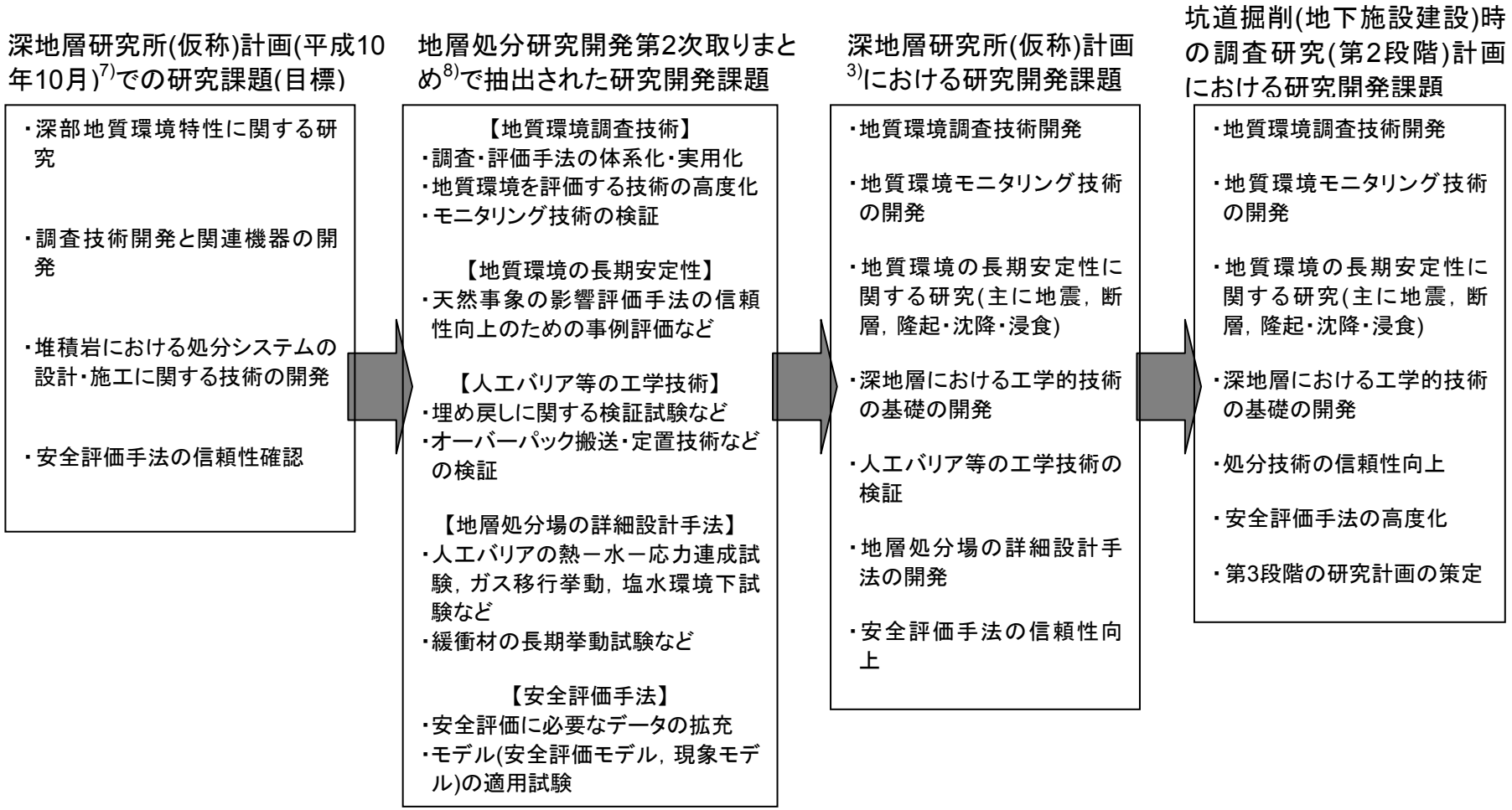
8)サイクル開発機構 (1999):わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性－地層処分研究開発第2次取りまとめ－総論レポート, サイクル機構技術資料, JNC TN1400 99-020.

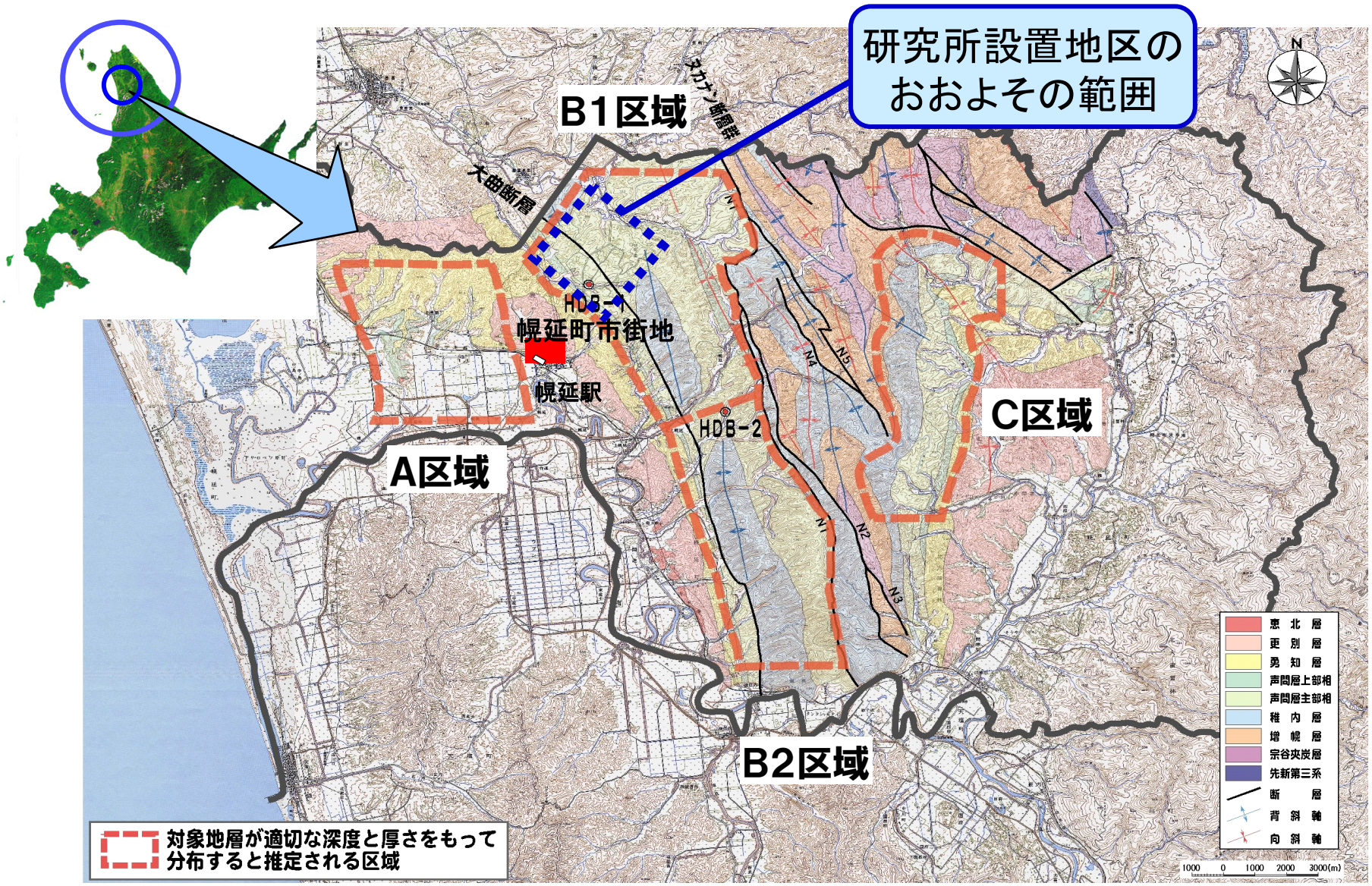
表１　幌延深地層研究計画における各調査研究段階のスケジュール

	通算年数	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
	年度（平成）	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
			▼幌延センター開設																		
				▼研究所設置地区の選定																	
研究段階	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）																				

本表は、今後の調査研究等の結果次第で見直すことがあります。

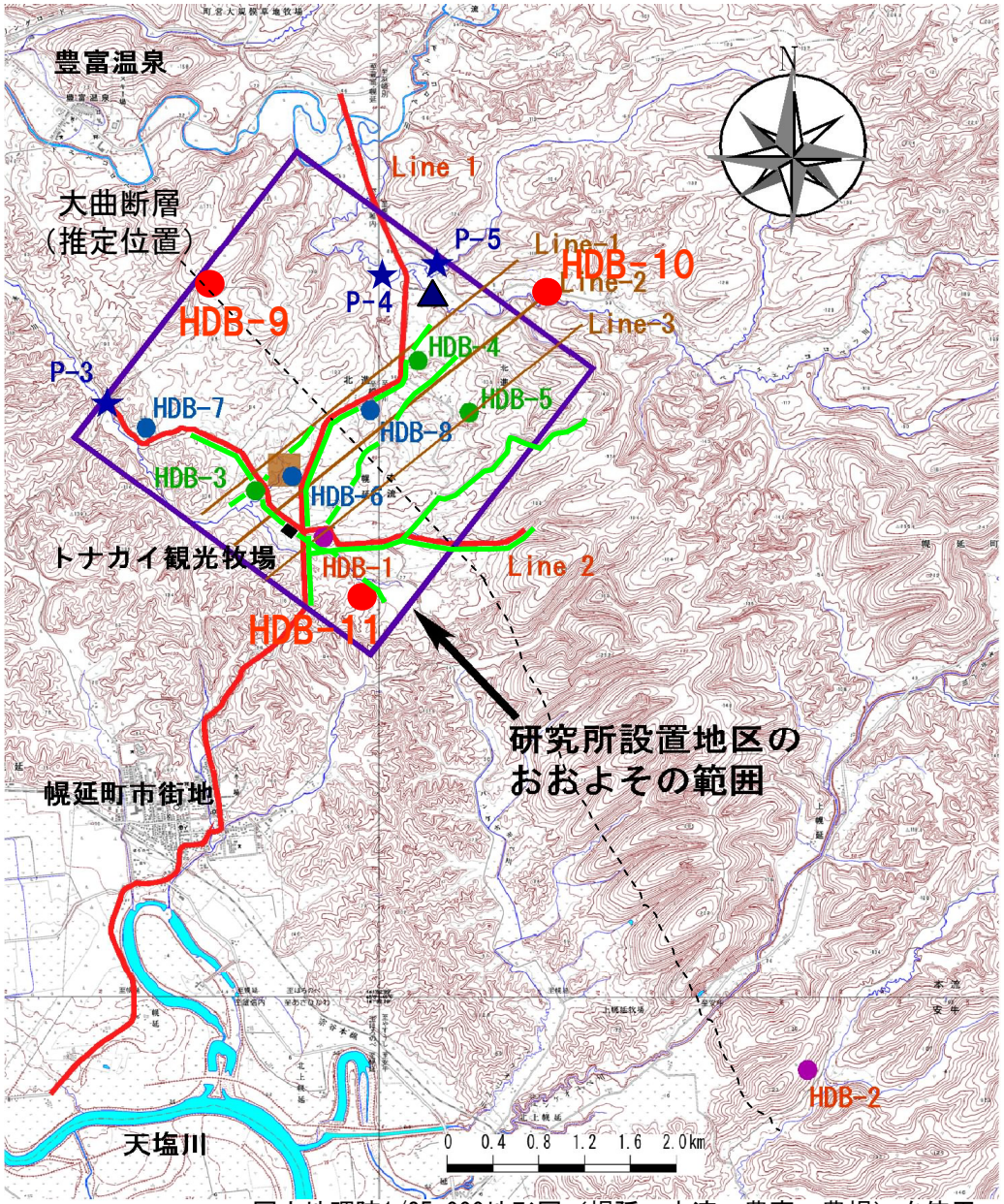
表2　幌延深地層研究計画で設定する研究開発課題の推移





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

図1　研究所設置地区

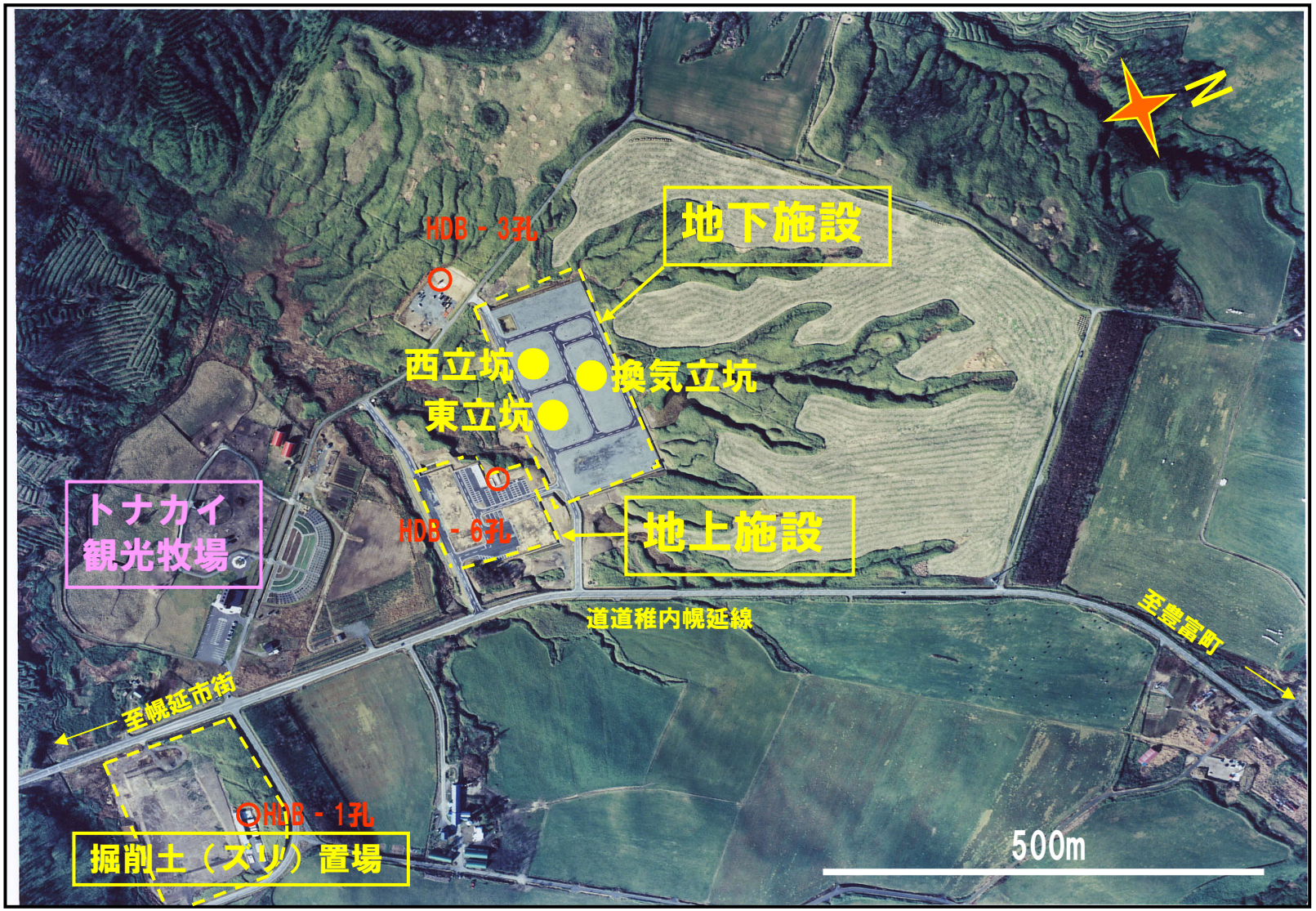


凡例

- 平成16年度試錐孔
- 平成15年度試錐孔
- コントロールボーリング
- 平成14年度試錐孔
- 平成13年度試錐孔
- 高密度反射法地震探査測線(H16)
- 電磁法（AMT法）探査測線(H15)
- 反射法地震探査測線(H14)
- 河川流量観測システム設置位置
- 研究所用地

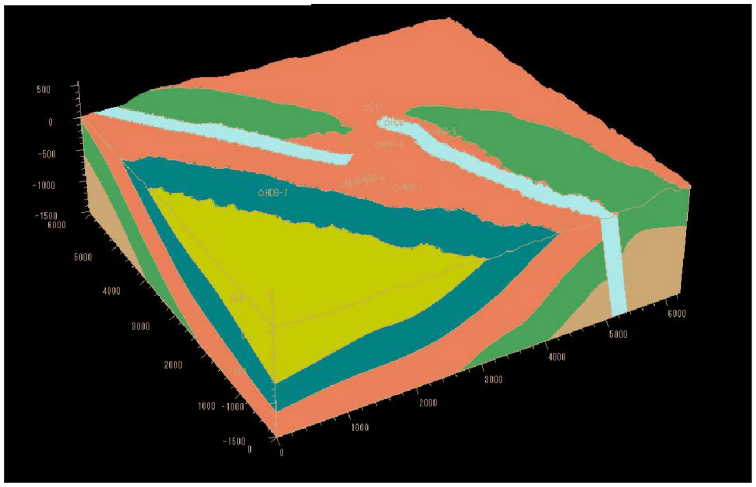
国土地理院1/25,000地形図（幌延、本流、豊富、豊幌）を使用

図2　研究所設置地区と主な調査位置

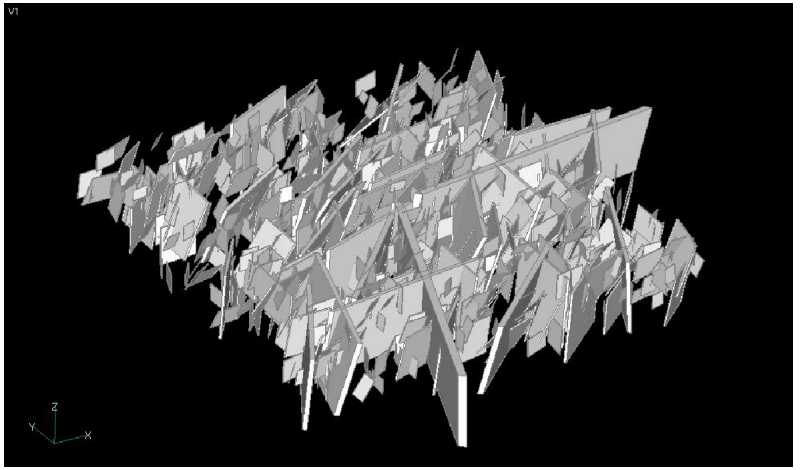


平成16年11月15日撮影

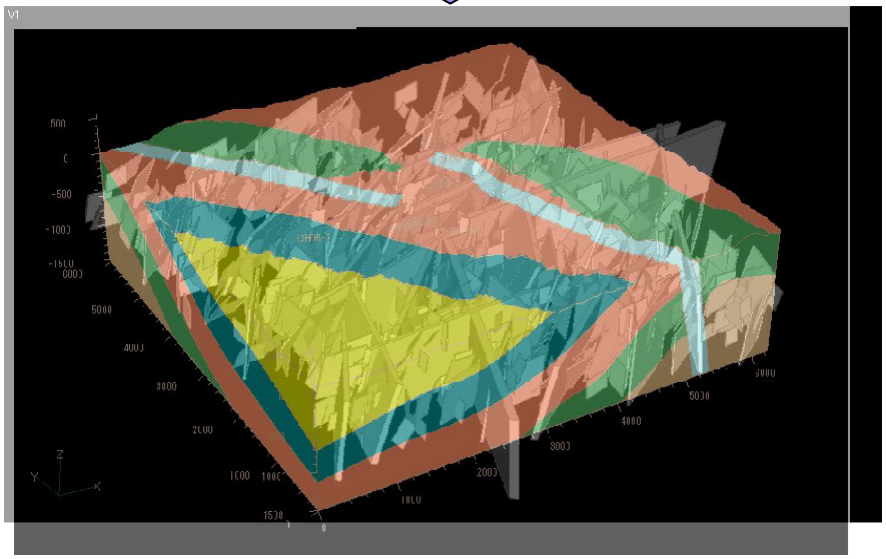
図3　施設の配置計画



大曲断層を考慮した地質構造モデル



割れ目帯ネットワーク



表層
更別層
勇知層
声問層
稚内層
増幌層
大曲断層

図4　地質構造モデルの一例

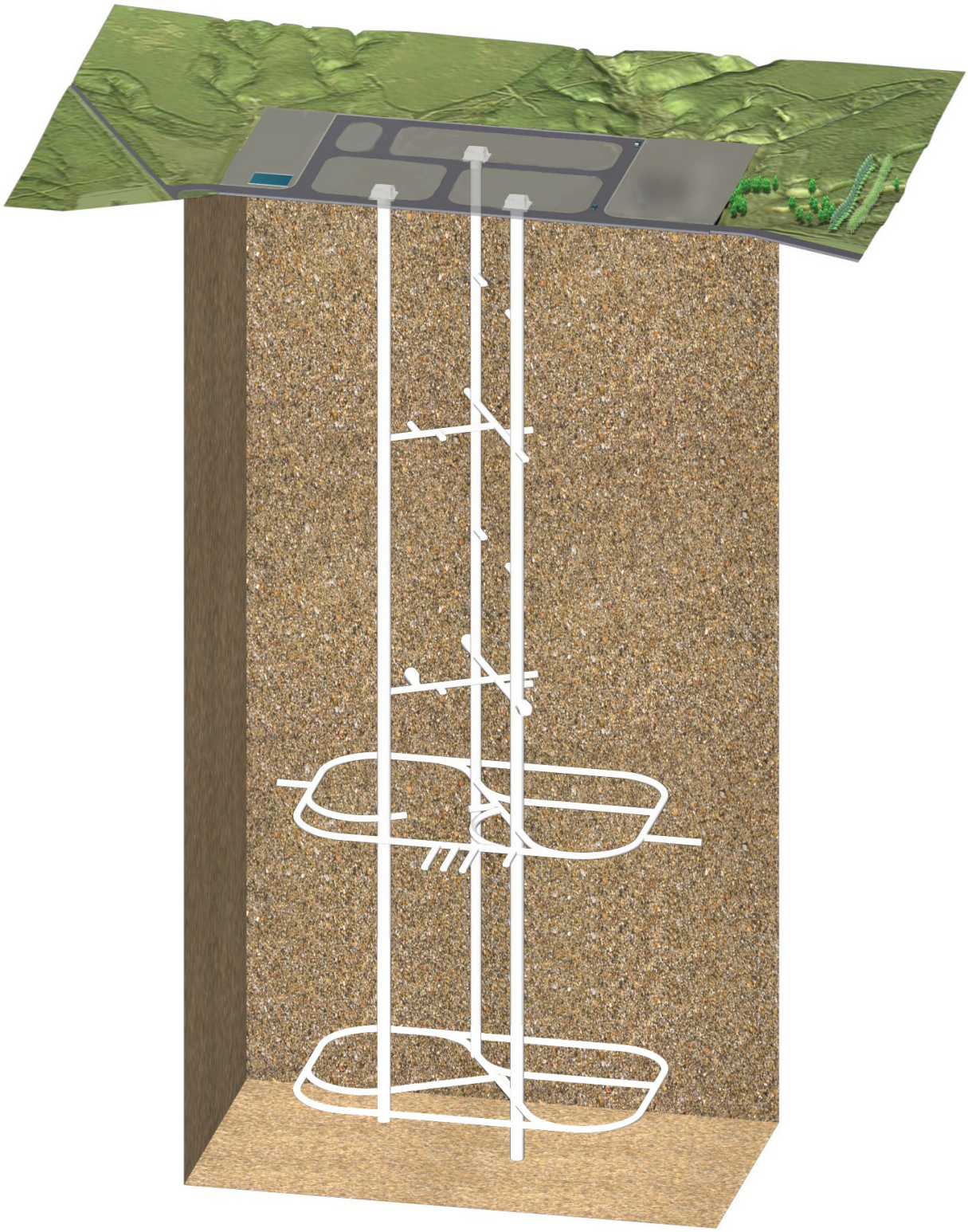


図5 地下施設イメージ図[1]

[1] このイメージ図は、今後の調査研究等の結果次第で見直すことがあります。

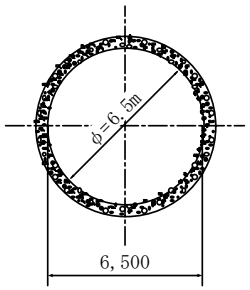
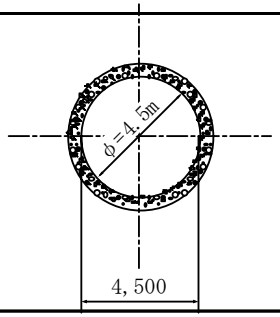
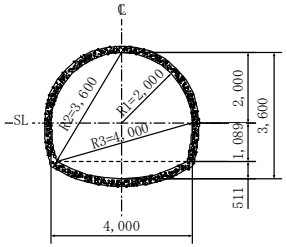
項　　目	東･西立坑	換気立坑	水平坑道
断 面 図			
断面形状	円形	円形	三心円馬蹄形
内　　径	6.5m	4.5m	4.0m(内空幅)
掘削工法	全断面堀下がり工法 東立坑　発破工法 西立坑　機械工法 (ショートステップ工法)	全断面堀下がり工法 機械工法 (ショートステップ工法)	全断面掘削工法 機械工法 (NATM)
断面算定 根　　拠	立坑･水平坑道の施工性の確保	立坑の施工性の確保	坑道内からの試錐作業空間の確保 (試錐長は10数m程度)
備　　考	水平坑道の作業立坑として利用		･大型試錐座の設置 7.0m(内空幅)断面

図6 立坑･水平坑道の断面

掘削工法

自由断面掘削機
全断面堀下がり工法

支保工法

ショートステップ工法
掘進長　1m ／ステップ
覆工コンクリート　2m／ステップ

機械掘削の例（換気立坑）

掘削 ⇒ **ずり出し** ⇒ **覆工コンクリート**

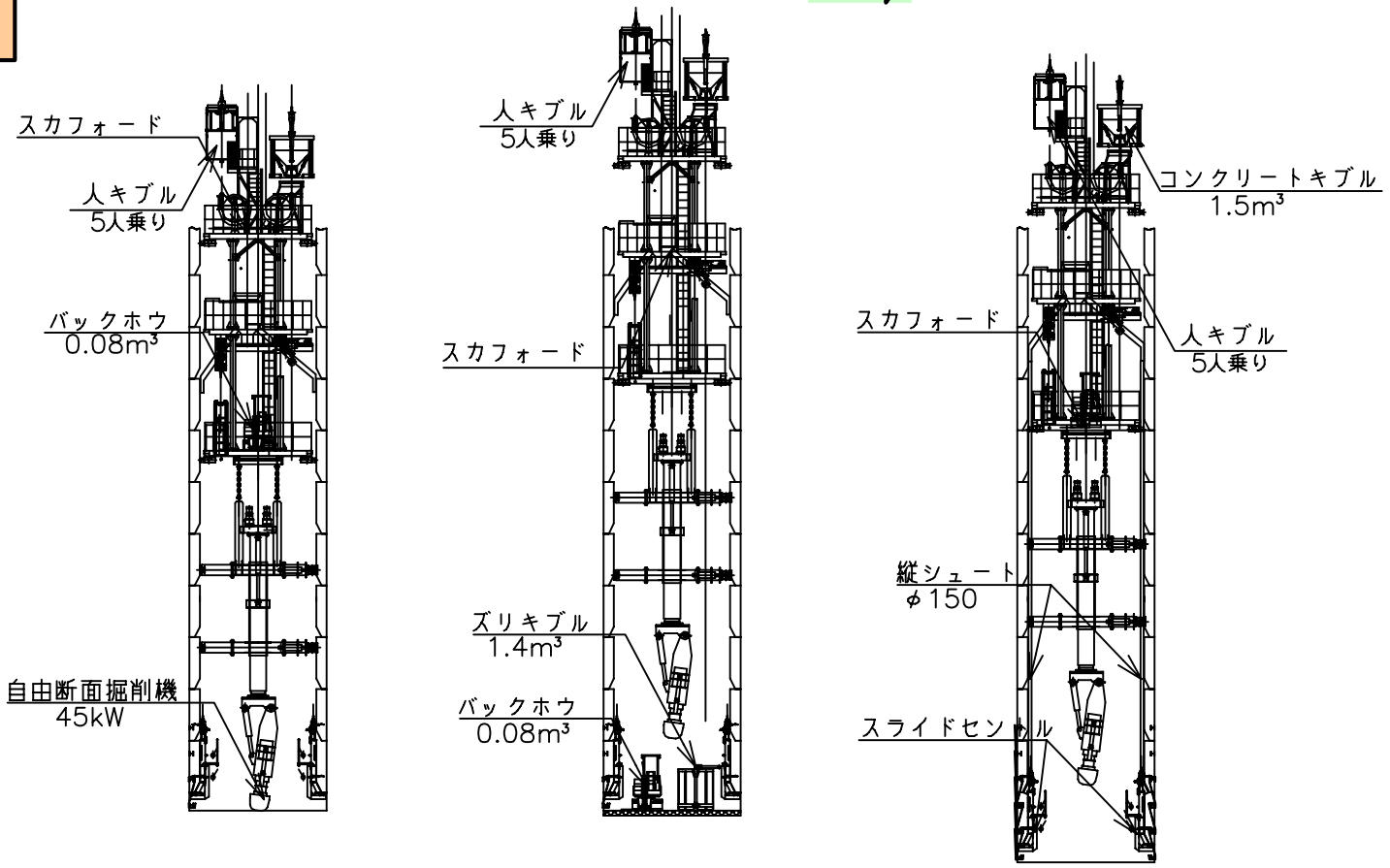


図7 立坑の掘削計画