

幌延深地層研究計画
地下施設での調査研究段階（第3段階）計画
—その1：深度350mまでの調査研究計画—

平成22年7月

日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター

本資料に関するお問い合わせは、下記へお願いいたします。

独立行政法人 日本原子力研究開発機構
幌延深地層研究センター 地域交流課
〒098-3224 北海道天塩郡幌延町北進 432-2
TEL : 01632-5-2022
FAX : 01632-5-2488

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 | 2 |
| 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 | 3 |
| 5. 第2段階の調査研究 | 3 |
| 6. 第3段階の調査研究 | 4 |
| 6.1 調査研究の目標 | 4 |
| 6.2 調査研究の概要 | 5 |
| 6.3 研究施設の配置 | 6 |
| 6.4 地層科学研究 | 6 |
| 6.4(1) 地質環境調査技術開発 | 6 |
| 6.4(2) 深地層における工学的技術の基礎の開発 | 6 |
| 6.4(3) 地質環境の長期変遷評価技術の開発 | 7 |
| 6.5 地層処分研究開発 | 7 |
| 6.5(1) 処分技術の信頼性向上 | 7 |
| 6.5(2) 安全評価手法の高度化 | 8 |
| 7. 環境調査 | 8 |
| 8. 開かれた研究 | 9 |
| おわりに | 9 |
| 引用文献 | 10 |

図 目 次

| | | |
|-----|----------------------|----|
| 図 1 | 幌延深地層研究計画の全体イメージ | 11 |
| 図 2 | 地下施設の概要図 | 14 |
| 図 3 | 250m 調査坑道における調査・試験内容 | 15 |
| 図 4 | 350m 調査坑道における調査・試験内容 | 16 |

表 目 次

| | | |
|-----|--------------------|----|
| 表 1 | 幌延深地層研究計画の全体スケジュール | 12 |
| 表 2 | 研究開発課題の推移 | 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）は、平成13年より幌延深地層研究計画に着手しており、開始から終了まで20年程度の計画で、堆積岩を対象とした調査研究を「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つの段階に分けて進めることとしています。平成17年10月に原子力委員会が公表した「原子力政策大綱」には、深地層の研究施設などを活用した研究開発の重要性が述べられています。

また、文部科学省と経済産業省は、平成22年4月に第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）を公表し、原子力機構は、この第2期中期目標に基づいて、「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）（平成22年4月1日～平成27年3月31日）」（以下、第2期中期計画）を策定しました。この中で、高レベル放射性廃棄物の処分技術に関する研究開発のうち、深地層の科学的研究については、深地層環境の深度（幌延では地下350m程度）まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し、処分事業の精密調査段階や安全規制に必要となる技術基盤を整備することとしています。また、地層処分研究開発については、深地層の研究施設などを活用して、実際の地質環境条件を考慮した現実的な処分場概念の構築手法や総合的な安全評価手法を整備する計画です。これらの調査研究や技術基盤及び研究坑道の整備などについては、業務の合理化・効率化の観点から、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深度500mを目標として、3本の立坑（東立坑、西立坑、換気立坑）と調査坑道を整備しながら、地層処分に関連する様々な調査研究を進めていきます。本計画書は、これまでに整備を終了した調査坑道と、現行の第2期中期計画期間内を目途に整備する深度350mまでの調査坑道を利用した第3段階の深地層の科学的研究（地層科学研究）と地層処分研究開発に係る調査研究計画の概要について示します。

なお、幌延深地層研究計画を進めるにあたっては、平成 12 年 11 月に国（科学技術庁）の立ち会いの下、北海道、幌延町及び核燃料サイクル開発機構（現原子力機構）の三者間で締結した「幌延町における深地層の研究に関する協定」を遵守します。

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

原子力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¹⁾。

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

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。幌延深地層研究計画では、これらの 3 つの研究開発分野について、「深地層の科学的研究」を「地層科学研究」、また、「処分技術の信頼性向上」と「安全評価手法の高度化」を「地層処分研究開発」として研究開発を進めており、原位置での試験に主眼を置いた研究開発を進めています。幌延深地層研究計画の全体イメージを図 1 に示します。

3. 幌延深地層研究計画の経緯

原子力機構は、平成 13 年 4 月に幌延深地層研究センターを開設し、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²⁾。平成 14 年 7 月には、平成 13 年度の地上からの調査研究結果などに基づき、その後の調査研究の主対象領域である約 3 km 四方の研究所設置地区を幌延町北中部の北進地区に選定しました³⁾。平成 15 年 3 月には、研究所設置地区内において、地上及び地下施設を建設するための用地（研究所用地）を取得し、平成 15～16 年度に用地の造成工事を行いました⁴⁾。平成 18 年 3 月には、平成 13 年 3 月からの約 5 年にわたる第 1 段階の調査研究が終了し、平成 19 年 3 月に第 1 段階の成果を「深地層の科学的研究」と「地層処分研究開発」の 2 分野において公表しました^{5)、6)}。また、平成 17

年 11 月には、坑道の掘削に着手し、第 2 段階（坑道掘削（地下施設建設）時の調査研究段階）の調査研究を開始しました⁷⁾。さらに、平成 22 年度には、坑道の整備に伴い、地下施設を用いた研究環境が整ってきたことから、第 2 段階の調査研究と並行して、第 3 段階（地下施設での調査研究段階）の調査研究を開始する予定です。

各調査研究段階におけるスケジュールを表 1 に、研究開発課題の推移を表 2 に示します。

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。

○地上からの調査研究による地質環境モデルの構築及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及び施工計画の策定

平成 13 年度より、地質調査、物理探査、表層水理調査、ボーリング調査を行い、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。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

第 2 段階では、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、必要に応じて坑道から小さな坑道やボーリング孔などを掘削し、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調査坑道周辺の地質環境を推定します。

これらの調査研究と合わせて、第 2 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及び具体化します。一方、坑道の施工・維持・管理に関わる工学的技術については、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、第 2 段階において実施する調査研究については、第 3 段階の調査研究と並行して継続しつつ、適宜見直しを行い、最適化を図ります。

6. 第 3 段階の調査研究

6.1 調査研究の目標

第 1 段階と第 2 段階の調査研究では、地下施設を包含する幌延地域周辺の地質環境やその長期変遷、地下施設の建設過程における周辺地質環境の変化の過程やその程度などを理解することができました。また、その過程で、地上からの地質環境調査に必要な調査解析技術や得られる情報の品質や不確実性を理解するとともに、物理探査や地上からのボーリング孔を利用した調査技術、モニタリング技術、地下施設を効率的に設計・施工をするための工学的技術、人工バリアの構築や評価などに必要な処分技術の一部を整備することができました。

第 3 段階の調査研究(その 1) では、これまでの調査研究、技術開発で得られた地質環境情報や工学的知見を踏まえた上で、深度 350m までの建設が終了した地下施設を利用して、地上からのボーリング孔を利用した調査研究では取得することが難しい地質環境特性(物質移動特性や坑道周辺の力学・水理・地球化学特性など) を取得するための地質環境調査技術、坑道を対象とした工学的技術、地下施設とその周辺影響領域を包

含する地質環境特性の長期変遷評価技術、堆積岩環境における処分場の設計・施工や操業・閉鎖に関わる処分技術、安全評価手法などに関わる技術を開発することを目標とします。

また、これらの研究開発の成果については、処分事業の実施主体や規制機関が利用可能な汎用的な基盤技術として整備していきます。

6.2 調査研究の概要

第3段階の調査研究（その1）では、深度350mまでの地質環境を対象に以下の様々な調査研究・技術開発のための環境整備を行い試験データを蓄積するとともに、深度350m以深における調査研究・技術開発課題を整理していきます。

地質環境調査技術として坑道周辺岩盤の力学特性、地下水流動特性、地球化学特性、物質移動特性を理解するための調査試験技術の開発を行います。また、工学的技術の開発では、地下施設を対象とした情報化施工技術や耐震設計手法の構築を行うとともに、それらの適用性確認などを行います。なお、第2段階の調査研究で行っている地下施設建設時の周辺地質環境変化のモニタリングについては、地下施設の建設が終了した後も継続して行います。

処分技術の開発では、低アルカリ性セメント系材料を利用した支保工及びグラウトの施工技術の確立及びそれが地質環境に与える影響の評価を行うとともに、処分場を想定した人工バリアとその周辺岩盤における連成現象を理解するための試験、緩衝材回収技術に係る実証試験などを行い、各処分技術の適用性を確認します。また、坑道の一部を埋め戻すことにより周辺の地質環境特性の回復過程を観測する技術の開発を並行して行い、処分場閉鎖後の周辺の地質環境特性が安定状態に達するまでの期間やその状態を予測するための観測・解析技術を構築します。

安全評価手法の開発では、処分場において人工バリア材料として利用されるベントナイトを主体とした緩衝材や周辺岩盤中の物質移動特性評価技術及び物質移動モデルの適用性確認を行うとともに、処分場閉鎖後の周辺地質環境特性の評価技術と処分場を包含する広域的な地質環境の

長期変遷評価技術を組み合わせた総合的な安全評価手法の開発を行います。なお、各実施項目は、調査研究の進捗に合わせて適宜見直しを行います。

6.3 研究施設の配置

第3段階の調査研究（その1）は、第2段階において整備する地下施設を利用して実施します。地下施設の概要図を図2に示します。本計画書で示す深度350mまでの主な調査研究は、250m調査坑道及び350m調査坑道で実施します。250m調査坑道では、東立坑、西立坑及び換気立坑の3本の立坑を結ぶ水平坑道とボーリング横坑などを利用した調査研究を行います。350m調査坑道では、3本の立坑を結ぶ水平坑道と試験坑道などを利用して調査研究を行います。図3、図4に主な調査研究の配置を示します。

6.4 地層科学研究

(1) 地質環境調査技術開発

深度250mと350mに設置される調査坑道及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・地質構造、地下水の流れ、水質、物質の動き、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、トレーサー試験などの原位置試験を行います（図3、図4中の1-①で示す箇所¹）。また、坑道の掘削や埋め戻しによって生じる周辺岩盤における地下水の流れ、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、6.5(1)で後述する地層処分研究開発で実施する試験と同じ場所で行い、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（図3、図4中の1-②で示す箇所）。

(2) 深地層における工学的技術の基礎の開発

¹ 坑道掘削後の地質状況に応じて、レイアウトもしくは試験箇所を変更することがあります。また、その他の試験項目についても同様に試験計画を適宜見直し、最適化を図ります。

坑道内の観測などにより、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挙動について検討します。

(3) 地質環境の長期変遷評価技術の開発

地震・断層活動、隆起・沈降、気候・海水準変動などの天然現象が地下水の流れや水質などの地質環境に与える影響を評価するために、過去から現在に至る地質環境の長期変遷のプロセスやメカニズムを明らかにするとともに、それらを数値解析や実験を通じて再現する技術を構築します。また、研究所用地周辺の地形や地質・地質構造の分布や発達過程を三次元的に把握するとともに、岩盤の透水性や地下水の水質データ、地下水流動解析結果などとの比較を通じて、断層活動などが地下の地質環境に与える影響の程度や範囲を把握する手法を整備します。

6.5 地層処分研究開発

(1) 処分技術の信頼性向上

地層処分に関する技術のうち、人工バリアなどの処分システムの構築に関わる工学的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行います。人工バリアの設置方法としては、水平坑道に横置きに直接設置する横置き方式と、坑道から鉛直下向きに掘削された孔（ピット）に縦置きに設置する縦置き方式が考えられていますが、両者では坑道の形状・施工方法が異なります。このため、法定深度である300m以深においてこのような坑道や孔の安定性やこれらの建設が周囲の岩盤に与える影響などを確認します（図4中の2-②で示す箇所）。また、一部の坑道の支保工及びグラウトとして、低アルカリ性セメント系材料を使用し、坑道の安定性や止水性に加えて、周辺岩盤や地下水などの地質環境への影響について確認します（図3、図4中の2-①で示す箇所）。

また、人工バリアを構成するオーバーパック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、オーバーパックの腐食挙動及びガス移行挙動などを確認することにより、処分システムにおける相互作用や化学的安定性を評価します（図 4 中の 2-②で示す箇所）。

地層処分の概念では、人工バリアを設置した後の地下施設において、残置された坑道を埋め戻し、坑道の要所にプラグ（力学的な隔壁）を設置します。このため、坑道の埋め戻し及びプラグの閉鎖工としての施工性、力学的安定性及び品質の確認などを行います（図 4 中の 2-②で示す箇所）。この坑道の埋め戻しにより、坑道を掘削することによって影響を受けた坑道周辺の地下水圧などの地質環境が回復する過程を観測し、処分場閉鎖後の周辺の地質環境特性の変化を予測・解析する技術を構築します（図 4 中の 2-②で示す箇所）。

さらに、人工バリアの設置技術の高度化として、緩衝材の回収技術に係わる実証試験を行います（図 3 中の 2-①で示す箇所）。

(2) 安全評価手法の高度化

安全評価手法の高度化においては、実際の地質環境の性能を確認するために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動挙動を評価するためのデータを取得します（図 4 中の 2-③で示す箇所）。また、それらの試験と並行して、物質移動解析に必要なデータ（収着係数、拡散係数、空隙率など）を地下水や岩石を利用して室内試験により取得します。これらの試験で得られた成果や地層科学研究で得られた成果を活用して、幌延を事例とした安全評価手法の検討を行い、手法の適用性を確認します。

7. 環境調査

第 2 段階における地下施設の建設工事に際しては、研究所用地造成工事前及び工事の実施中に研究所用地周辺の環境モニタリング調査を定期的に行ってまいりました。第 3 段階開始後も、これまでと同様に周辺の環境への影響を確認するためのモニタリング調査を継続します。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深地層を対象とした科学研究は、地球科学や資源・土木工学をはじめとする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。原子力機構では、研究施設を国内外に開かれたものにするために、大学などの様々な研究機関との共同研究や研究協力を行うとともに、学術的な研究の場として広く提供していきます。また、施設見学会や体験学習などの場を通じて、より多くの方々に実際に地下を体験、理解して頂く機会を設けていきます。

おわりに

幌延深地層研究計画の成果は、原子力機構の他の研究拠点での成果と合わせ、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。また、研究開発業務の透明性や客観性を確保するために、研究計画の策定から成果までの情報を積極的に公表し、さらに研究成果については、国内外の学会や学術論文を通じて広く公開していきます。

引用文献

- 1) 核燃料サイクル開発機構(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.
- 2) 核燃料サイクル開発機構(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.
- 3) 核燃料サイクル開発機構(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.
- 4) 核燃料サイクル開発機構(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.
- 5) 太田久仁雄，阿部寛信，山口雄大，國丸貴紀，石井英一，操上広志，戸村豪治，柴野一則，濱克宏，松井裕哉，新里忠史，高橋一晴，丹生屋純夫，大原英史，浅森浩一，森岡宏之，舟木泰智，茂田直孝，福島龍朗(2007)：幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階（第 1 段階）研究成果報告書－分冊「深地層の科学的研究」，原子力機構技術資料，JAEA-Research 2007-044.
- 6) 藤田朝雄，谷口直樹，松井裕哉，棚井憲治，西村繭果，小林保之，平本正行，前川恵輔，澤田淳，牧野仁史，笹本広，吉川英樹，柴田雅博，若杉圭一郎，濱克宏，操上広志，國丸貴紀，石井英一，竹内竜史，中野勝志，太田久仁雄，瀬尾俊弘，宮原要，内藤守正，油井三和(2007)：幌延深地層研究計画における地上からの調査研究段階（第 1 段階）研究成果報告書－分冊「地層処分研究開発」，原子力機構技術資料，JAEA-Research 2007-045.
- 7) 核燃料サイクル開発機構(2005)：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，サイクル機構技術資料，JNC TN5400 2005-002.
- 8) 核燃料サイクル開発機構(1998)：深地層研究所（仮称）計画，サイクル機構技術資料，JNC TN1400 98-002.

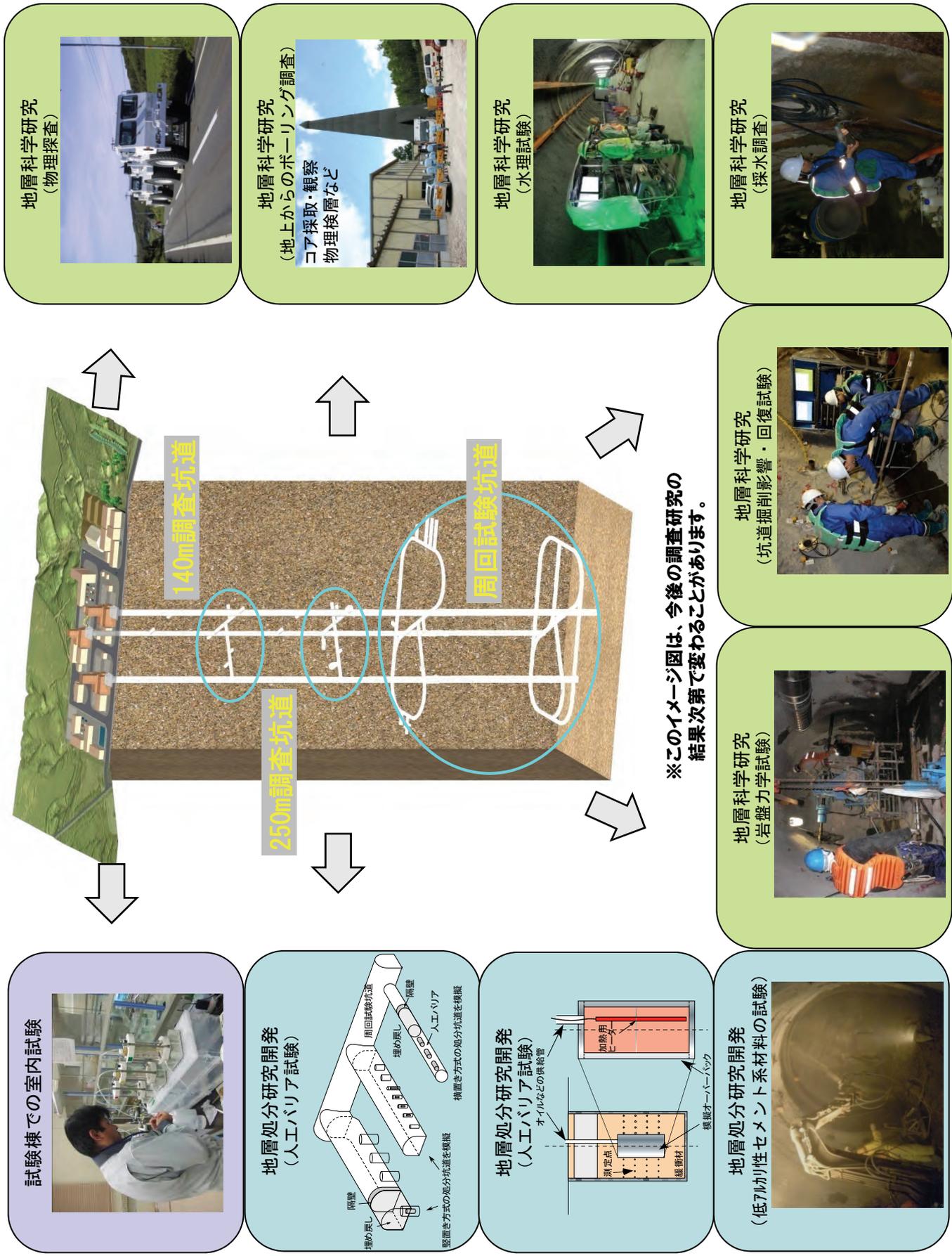
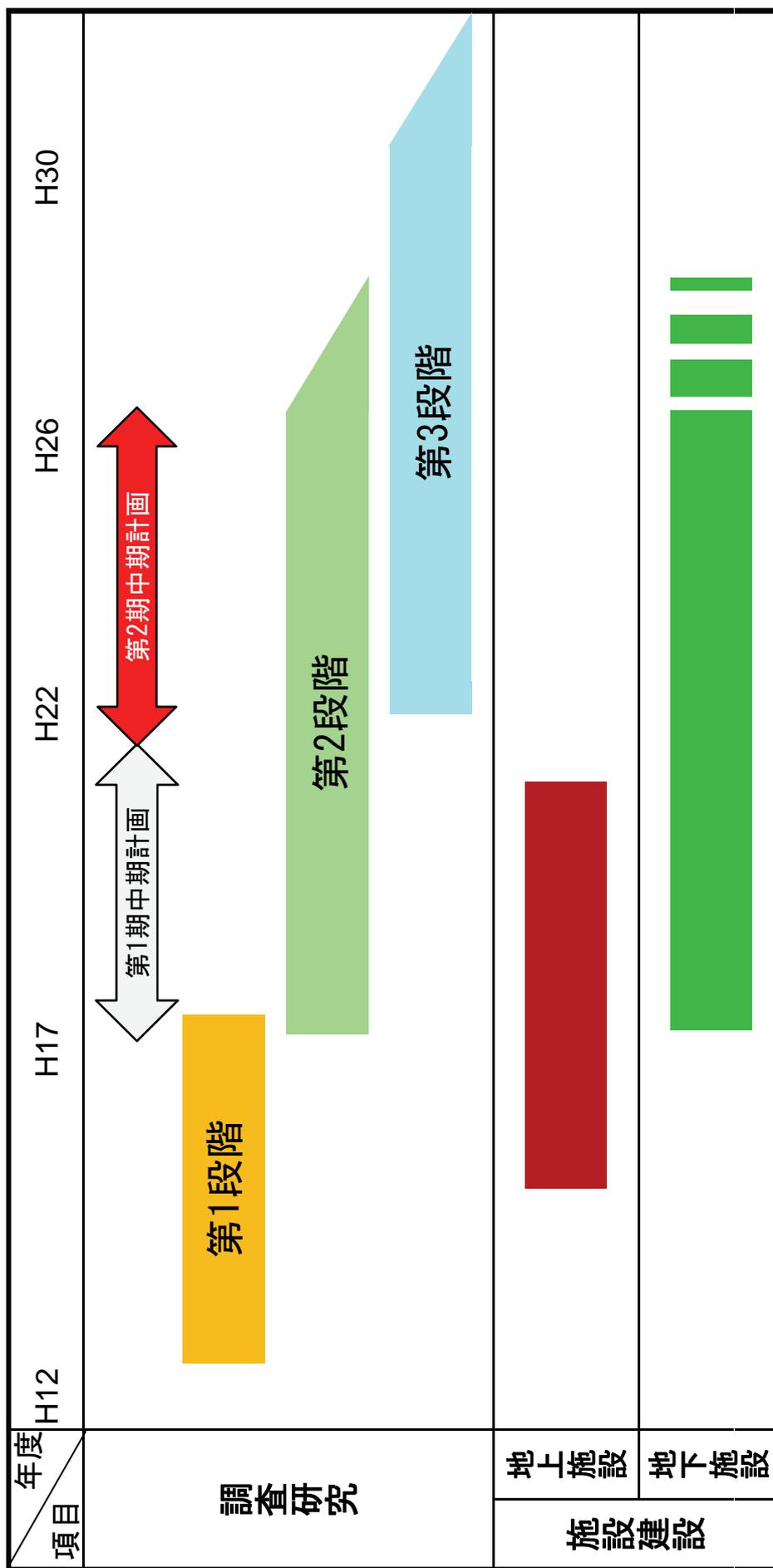


図1 幌延深地層研究計画の全体イメージ

表1 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

表2 研究開発課題の推移

深地層研究所(仮称)計画(平成10年10月)⁸⁾における研究開発課題

- 深部地質環境特性に関する研究
- 調査技術開発と関連機器の開発
- 堆積岩における処分システムの設計・施工に関する技術の開発
- 安全評価手法の信頼性確認

深地層研究所(仮称)計画ー地表から行う調査研究(第1段階)計画²⁾における研究開発課題

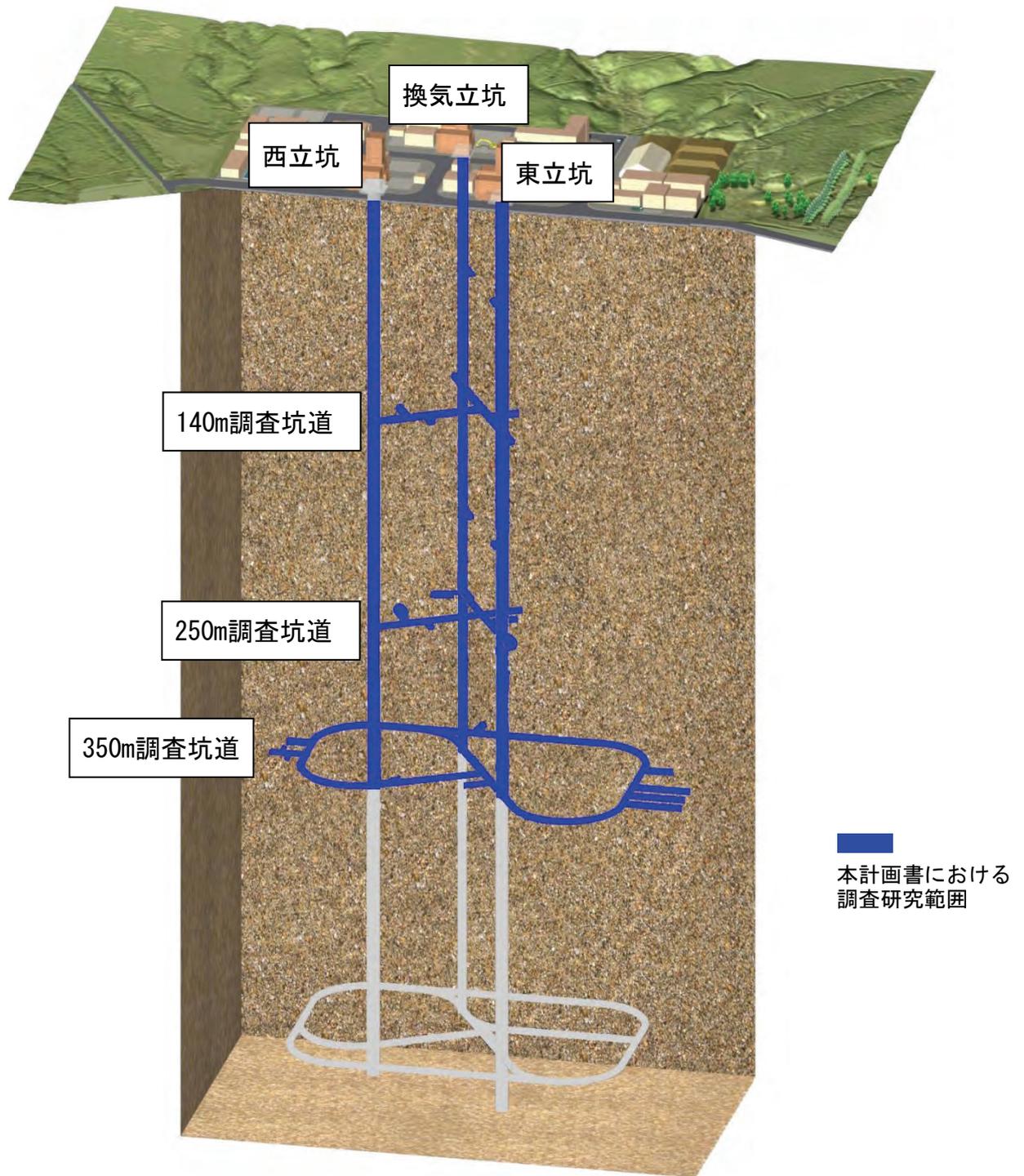
- 地質環境調査技術開発
- 地質環境モニタリング技術の開発
- 地質環境長期安定性に関する研究(主に地震、断層、隆起・沈降・浸食)
- 深地層における工学的技術の基礎の開発
- 人工バリア等の工学技術の検証
- 地層処分場の詳細設計手法の開発
- 安全評価手法の信頼性の向上

幌延深地層研究所計画坑道掘削(地下施設建設)時(第2段階)計画⁷⁾における研究開発課題

- 地質環境調査技術開発
- 地質環境モニタリング技術の開発
- 地質環境長期安定性に関する研究(主に地震、断層、隆起・沈降・浸食)
- 深地層における工学的技術の基礎の開発
- 処分技術の信頼性向上
- 安全評価手法の高度化
- 第3段階の研究計画の策定

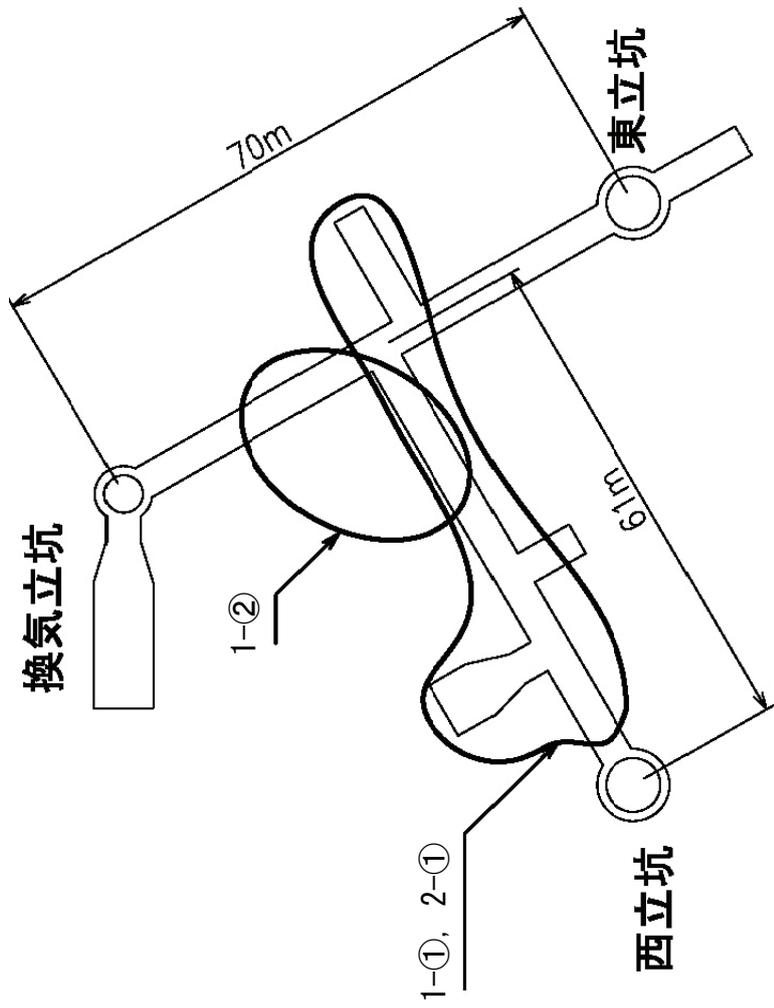
幌延深地層研究所計画地下施設での調査研究段階(第3段階)計画における研究開発課題(本計画書)

- 地質環境調査技術開発
- 深地層における工学的技術の基礎の開発
- 地質環境の長期変遷評価技術の開発
- 処分技術の信頼性向上
- 安全評価手法の高度化



※坑道の配置は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

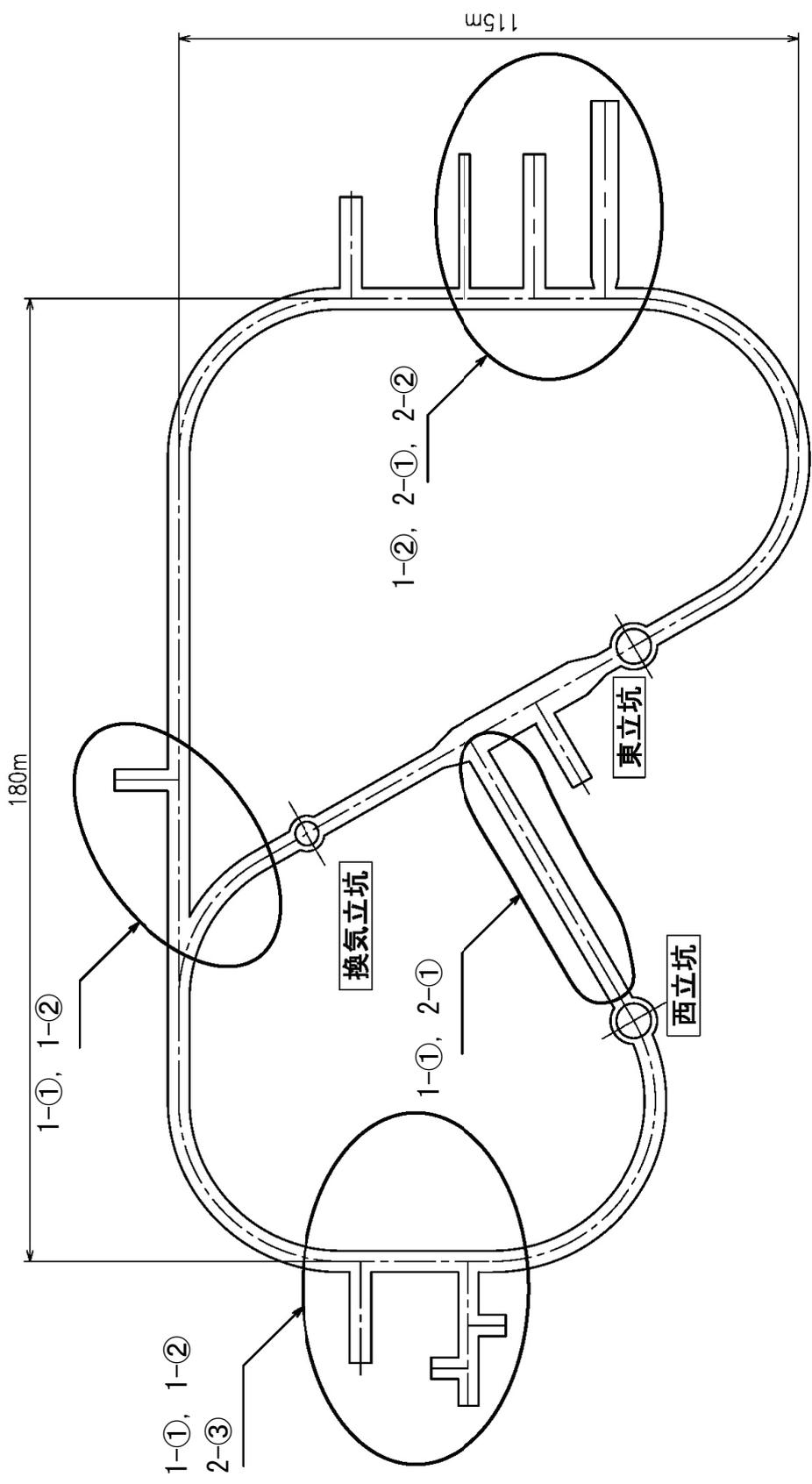
図2 地下施設の概要図



1. 地層科学研究
 - 1-① 地質環境調査技術開発 (地質調査, 水理試験, 採水調査, 岩盤を対象とした物質移動試験)
 - 1-② 地質環境調査技術開発 (坑道掘削影響・回復試験)
2. 地層処分研究開発
 - 2-① 処分技術の信頼性向上 (低アルカリリ性セメント系材料の施工・影響評価試験, 緩衝材回収試験)

※坑道の配置や試験場所は, 今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

図3 250m調査坑道における調査・試験内容



1. 地層科学研究
- 1-① 地質環境調査技術開発 (地質調査, 水理試験, 採水調査, 採水調査, 岩盤を対象とした物質移動試験)
 - 1-② 地質環境調査技術開発 (坑道掘削影響・回復試験)
2. 地層処分研究開発
- 2-① 処分技術の信頼性向上 (低アルカリ性セメント系材料の施工・影響評価試験)
 - 2-② 処分技術の信頼性向上 (人工バリア試験)
 - 2-③ 安全評価手法の高度化 (人工バリアやその周辺岩盤を対象とした物質移動試験)

※坑道の配置や試験場所は、今後の調査研究の結果次第で見直すことがあります。

図4 350m調査坑道における調査・試験内容