

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

平成13年3月

核燃料サイクル開発機構

目 次

1. はじめに	1
2. 計画の目的、目標と成果の反映	1
3. 地層処分研究開発第2次取りまとめの成果と課題	2
3.1 深地層の研究施設における研究課題と達成目標	4
3.2 研究内容と実施場所	8
4. 地表から行う調査研究（第1段階）	8
4.1 設置地区の選定	8
4.2 地層科学研究	10
4.2.1 地質環境調査技術開発	10
4.2.1.1 地表から地下深部までの地質環境データの取得	11
(1) 空中物理探査	11
(2) 地上物理探査	11
(3) 地質調査	12
(4) 表層水理調査	12
(5) 試錐調査	12
4.2.1.2 地質環境のモデル化と地下施設建設に伴う地質環境の 変化の予測	13
(1) 地質構造モデル	13
(2) 地下水の水理モデル	14
(3) 地下水の地球化学モデル	14
(4) 岩盤力学モデル	14
4.2.1.3 調査技術・調査機器開発	14
(1) 試錐孔掘削のための技術	15
(2) 試錐孔を用いた調査試験のための技術	15
4.2.2 地質環境モニタリング技術の開発	15
4.2.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発	15
4.2.2.2 遠隔監視システムの開発	15

4.2.3	深地層における工学的技術の基礎の開発	16
4.2.4	地質環境の長期安定性に関する研究	16
4.2.4.1	地震研究	16
4.2.4.2	天然現象の研究	17
4.3	地層処分研究開発	17
4.3.1	人工バリア等の工学技術の検証	17
4.3.2	地層処分場の詳細設計手法の開発	18
4.3.3	安全評価手法の信頼性向上	18
5.	環境調査・地上施設	19
5.1	環境調査	19
5.2	地上施設	19
6.	陸域地下構造フロンティア研究	20

・ 参考資料

1. はじめに

核燃料サイクル開発機構（以下、サイクル機構とする）が幌延町に計画している深地層研究所（仮称）計画（以下、深地層研究所とする）は、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月）」（以下、「原子力長計」とする）に示された深地層の研究施設の一つであり、堆積岩を対象に深地層の研究を行います。また、この研究施設は平成12年11月の「原子力長計」においても、今後の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行く上での主要な施設であることや、国民の研究開発に対する理解を得て行く場としての意義を有していることが示されています。

深地層研究所では、地層科学研究と地層処分研究開発などを行い、研究は、以下の3段階に分け、全体で20年程度行います。

- ・第1段階：地表から行う調査研究（6年間）
- ・第2段階：坑道を掘削しながら行う調査研究（6年間）
- ・第3段階：坑道を利用して行う調査研究（9～11年間）

なお、各段階は一部重複します。また、研究の進捗にあわせて各研究段階の期間などは見直していく予定です。

この計画書は、「地表から行う調査研究（第1段階）」の調査研究の計画をまとめたものですが、ここで示されている調査研究の実施内容や調査量などについては、調査の進展に伴い、その時点の最新の知見や技術を取り入れることとし、適宜見直していきます。

2. 計画の目的、目標と成果の反映

深地層研究所は、「原子力の研究、開発及び利用に関する長期計画（平成6年6月）」において、その重要性が示されている深地層の研究施設の一つであり、堆積岩を対象に深地層の研究を行います。また、平成11年11月にサイクル機構が取りまとめた「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 -」（以下、「地層処分研究開発第2次取りまとめ」）で示されている地層処分の技術的な信頼性や技術的掘り所を実際の深地層での試験研究を通じて確認していきます。

得られる成果は、岐阜県の東濃地科学センターにおける地層科学研究の成果とともに、茨城県の東海事業所で行っている地層処分研究開発、あるいは国際共同研究の成果と合わせて、実施主体が行う処分事業や国が行う安全規制などに反映していきます。

また、深地層研究所は、一般の人々に深地層やそこで行われる研究を実際に見て体験して頂くことにより、深地層や地層処分についての社会の理解に寄与

できる場としても整備していきます。

3. 地層処分研究開発第2次取りまとめの成果と課題

平成11年11月にサイクル機構が取りまとめた「地層処分研究開発第2次取りまとめ」ではこれまでの研究開発の成果として、

- ・ 10万年程度の将来にわたって安定な地質環境が存在すること
- ・ わが国の幅広い地質環境に対応して合理的に処分場（人工バリア^{*1}を含む）を設計、建設、操業、閉鎖を行うことができることおよび、必要に応じて一定期間の能動的な管理^{*2}ができるレベルにあること
- ・ 地層処分システム^{*3}の長期安全性については、廃棄物が人間環境に及ぼしうる影響は、安全の指針として国際的に共有されているレベルを下回ること

が示されています。

併せて2000年以降の研究開発として、これらの成果を具体的な地質環境条件へ適用することによって、技術の高度化、適用性の向上を行うことが地層処分を円滑に進めるために必要な幅広い理解を得るために重要であるとして、表-1に示すような具体的な研究開発課題が挙げられています。

これらのうち、深地層の研究施設計画に関連するものとして以下の5つの課題が示されています。

- (1) 地質環境の長期安定性に関する調査技術
- (2) 地質環境調査技術
- (3) 人工バリア等の工学技術
- (4) 地層処分場の詳細設計手法
- (5) 安全評価手法

脚注)

*1人工バリア：多重バリアシステム*の構成要素のひとつです。ガラス固化体、オーバーパックおよび、緩衝材からなる部分のことをいいます。高レベル放射性廃棄物が人間の生活環境に影響を及ぼさないようにする障壁として、人工的に形成したものです。

(*多重バリアシステム：高レベル放射性廃棄物を長期間にわたり生物圏から隔離し放射性物質の移動を抑えることにより、将来にわたって人間とその環境に、処分された放射性廃棄物による影響が及ばないようにするための多層の防護系からなるシステムです。工学技術により設けられる人工バリアと、天然の地層である天然バリアにより構成されます。)

*2能動的な管理：処分を適切に実施するため、法令に従って国あるいは指定機関が行う、「人間による処分場の管理・保守」、「環境放射能のモニタリング」などです。

この管理ができるレベルにあるというのは、現在の技術および、その延長上の技術を用いて適切に管理が可能であることです。

*3地層処分システム：適切な地質環境のもとに多重バリアシステムを構築することによって、処分された高レベル放射性廃棄物による影響が将来にわたって人間とその生活圏に及ばないようにする仕組みです。

表-1 地層処分研究開発第2次取りまとめ以降の処分事業化技術に関わる課題の分類
(処分候補地(概要調査地区)の選定段階までの重点課題)

(1)地質環境の長期安定性に関する調査技術

目標	課題項目
サイト選定に資する地質環境の長期安定性にかかわる調査解析手法の体系化	地質環境の長期安定性評価に関する天然現象の影響評価手法の信頼性向上のための事例研究 サイト選定にあたって考慮すべき地質環境上の要件とその基準の設定など

(2)地質環境調査技術

目標	課題項目
地質環境調査技術の適用性確認	候補地(概要調査地区)・予定地(精密調査地区)での予備的調査のための調査・評価手法の体系化、実用化 地質環境特性を評価する技術の高度化 地質環境特性のモニタリング技術

(3)人工バリアなどの工学技術

目標	課題項目
工学技術の確認	処分場建設技術の確認 操業技術の確認 閉鎖技術の確認

(4)地層処分場の詳細設計手法

目標	課題項目
個別解析モデルの妥当性確認、データの拡充(長期試験、実環境条件下での試験による確認)	人工バリアシステム長期挙動評価手法(オーバーパック腐食挙動、緩衝材の特性、再冠水挙動、ガス移行挙動、セメント系材料の影響など)の妥当性確認 塩水環境下での人工バリア材の特性の評価・確認 岩盤の長期クリープ挙動*の評価・確認
詳細設計手法確立のための研究開発(合理化、品質保証など)	人工バリア仕様の合理化 人工バリアの総合的健全性評価 地下施設の設計/評価技術の確立 岩盤の長期健全性評価 地層処分システムのモニタリング項目の抽出および、適用技術の整備と高度化 品質管理手法の確立(管理手法および、管理基準値の確立など) 地下施設の耐震設計における既存の原子力施設の耐震設計指針との関連

(5)安全評価手法

目標	課題項目
信頼性向上のためのモデルの改良・データの拡充	人工バリア安全評価の信頼性向上 天然バリア安全評価の信頼性向上 システム総合評価用のデータの拡充 安全評価用データの拡充 ・サイト情報に対する生物圏モデルの適用性の確認

：深地層の研究施設での研究開発計画に含むもの、：ENTRY, QUALITY などでの研究開発計画に含むもの、
：諸外国の地下研究施設計画に含むもの。：、に含まれないもので今後検討する必要がある課題
出典：「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」(平成11年11月：サイクル機構)の表に加筆

脚注)

*長期クリープ挙動：一定の荷重または応力が作用している状態で、時間の経過とともに材料の変形(ひずみ)が長期的に進行する現象です。

3.1 深地層の研究施設における研究課題と達成目標

3. に示した(1)から(5)の研究開発課題を受け、深地層研究所計画で実施する研究開発課題と達成目標を次のとおり設定します(表-2)。

「地層科学研究」は、

地質環境調査技術開発

地表から行う調査研究や地下での詳細な調査により、信頼性の高いデータを体系的に取得し、これを用いて地質環境モデル^{*4}(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、逐次モデルの更新を行うことにより、地表から地下深部までの、地質環境が調査・把握できることを具体的に示します。また、地下施設の建設による地質環境の変化の予測解析を行い、これを第2段階で得られる実測データを用いて確認します。これらにより、一連の調査研究で用いた調査機器や、モデル化手法を含めた体系的な地質環境調査技術を確立します。

地質環境モニタリング技術の開発

モニタリング機器を開発・設置し、坑道掘削前の地下水の水圧などの地質環境データのモニタリングを開始し、地下での活動の影響や、その回復過程を系統的にモニタリングする過程で、必要な改良を加えることにより、地質環境モニタリング技術を開発します。

地質環境の長期安定性に関する研究

地震・断層活動、隆起・沈降運動、海水準・気候変動、火山活動などの研究や地殻変動に関する観測を行うことにより、事例を充実し、地層処分研究開発第2次取りまとめで示されている地質環境の長期安定性に関する評価手法の確立に反映します。

深地層における工学的技術の基礎の開発

堆積岩中の地下深部に大規模な施設を設計・施工する技術や地下施設の建設が地質環境に与える影響を明らかにするための試験研究、坑道掘削による岩盤領域への影響を修復する技術の検証のための試験研究の基本計画を策定します。

さらに、施設の安全確保、坑内の環境維持のために必要な対策に関する技術開発を行います。

脚注)

*4 地質環境モデル：4.2.1.2 の本文中で説明しています。

表 - 2 深地層研究所（仮称）計画の各段階における調査研究の実施内容

深地層研究所（仮称）計画（平成10年10月）の目標	深地層研究所（仮称）計画における研究開発課題と全体目標		地表から行う調査研究 （第1段階）	坑道を掘削しながら行う調査研究 （第2段階）	坑道を利用して行う調査研究 （第3段階）	
<ul style="list-style-type: none"> ・ 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 	地層科学研究	地質環境調査技術開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表から地下深部までの効率的な地質環境調査技術の確立 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地質環境データの取得（空中・地上物理査、表層水理調査、地質調査、試錐調査、岩石・地下水の分析） ・ 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、岩盤力学モデルの構築 ・ 地下施設建設に伴う地質環境変化の予測解析 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地質環境データの取得（掘削される坑道での地質調査、物理探査、湧水量などの測定、岩石や地下水の分析など） ・ 取得されたデータに基づいた前段階の予測結果の確認と評価 ・ 次段階の坑道周辺の地質環境の予測 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地質環境データの取得（坑道内での詳細な地質調査、トモグラフィ調査、試錐調査、湧水量などの測定、岩石や地下水の分析など） ・ 取得されたデータに基づいた前段階での予測結果の確認と評価
		地質環境モニタリング技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ モニタリング機器の開発・設置 ・ 地下施設建設過程などの観測を通じての機器の改良モニタリング技術の検証 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 試錐孔内の地下水圧・水質モニタリング機器の開発・設置、観測開始 ・ 地震波などによる遠隔監視システムの開発・設置、観測開始 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 第1段階で設置したモニタリング機器・装置による観測の継続による機器・装置の有効性の確認と技術の改良 	<ul style="list-style-type: none"> ・ モニタリング機器・装置による観測の継続と技術の改良
		地質環境の長期安定性に関する研究	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震／断層活動、隆起／沈降、海水準／気候変動、火山活動などに関する観測による事例の充実 ・ 長期安定性に関する評価手法の信頼性の向上 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 研究計画の検討 ・ 文献調査、地震観測、トレンチ調査などによるデータの蓄積 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震観測、トレンチ調査、年代層序などによる断層活動、隆起／沈降、海水準／気候変動などの明確化 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地震観測、岩盤歪み観測などの継続と地質環境変化の将来予測
		深地層における工学的技術の基礎の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 深地層に大規模な施設を設計・施工する技術や坑道掘削による岩盤領域への影響を修復する技術の検証、施設の建設が地質環境に与える影響の試験研究 ・ 地下施設における安全確保、環境維持のための技術開発 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下施設の設計および、建設計画の策定 ・ 岩盤への影響の修復技術検証試験の基本計画の策定 ・ 地下施設の建設が地質環境に与える影響に関する試験研究の基本計画の策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地下施設の建設・建設技術の評価 ・ 坑道掘削技術の評価 ・ 地下施設の建設が地質環境に与える影響に関する試験研究の実施 ・ 岩盤への影響の修復技術など、検証試験の詳細計画の策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 坑道維持技術の検証試験 ・ 地下施設の建設が地質環境に与える影響に関する試験研究の実施 ・ 坑道掘削の岩盤への影響の修復技術の検証試験
<ul style="list-style-type: none"> ・ 堆積岩における地層処分システムの設計・施工に関する技術の開発 	地層処分研究開発	人工バリア等の工学技術の検証	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工バリアの搬送・定置技術や処分場の埋め戻し技術の検証 ・ それらの結果を基にした設計要領・基準の整備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工バリアの搬送・定置技術などの設計・研究 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工バリアの搬送・定置技術および、埋め戻し技術などの詳細設計 ・ 模擬人工バリアに係わる設計 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工バリアの搬送・定置技術および、埋め戻し技術などの検証 ・ 人工バリアの搬送・定置技術の設計要領、設計基準の整理
		地層処分場の詳細設計手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工バリアと周辺岩盤領域の熱・水・応力・化学連成現象などのニアフィールド長期挙動モデルの検証 ・ それらの結果を基にした設計要領・基準の整備 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 人工バリアと周辺岩盤領域の熱・水・応力・化学連成現象を理解するための人工バリア試験の検討 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 熱・水・応力・化学連成現象に関する人工バリア試験計画の策定 ・ 人工バリア材と岩盤に対するセメントの影響、ガス移行挙動および塩水環境における試験計画の検討 ・ 試験坑道周辺の挙動観測の機器設置 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 各試験の実施とデータ取得 ・ 設計手法、設計モデルの検証 ・ 設計要領、設計基準の整理
<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全評価手法の信頼性確認 		安全評価手法の信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全評価手法の試験的適用 ・ 安全評価に必要なデータの取り扱い、安全評価に用いるモデルの適用性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 地表からの調査における地質環境データを用いたシナリオ開発手法、安全評価モデルの有効性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 坑道掘削時のデータ取得項目、量、精度の検討 ・ 坑道を利用して行うモデルの適用性の確認のための試験計画の策定 	<ul style="list-style-type: none"> ・ 安全評価に必要なデータの項目、量、精度の確認 ・ 坑道周辺領域でのモデルの適用性の確認のための試験

地層処分研究開発」は、

人工バリア等の工学技術の検証

人工バリアの搬送・定置技術や、埋め戻し技術^{*5}を実際の深地層に適用することにより、その適用性の確認・検証を行うとともに、それらの設計要領・基準を整備します。

地層処分場の詳細設計手法の開発

人工バリアとその周辺の岩盤領域との熱-水-応力-化学連成現象などを地下坑道における試験研究により明らかにし、人工バリアと岩盤の長期挙動モデル^{*6}を検証します。また、検証結果を基にした緩衝材などの人工バリアの設計要領・基準を整備します。

安全評価^{*7}手法の信頼性向上

地層処分研究開発第2次取りまとめで示された安全評価手法を幌延を例として試験的に適用することによって、安全評価に用いるデータの取り扱いや、安全評価モデルの適用性を確認します。

なお、これらの研究開発課題と、平成10年に北海道、幌延町に申し入れた「深地層研究所（仮称）計画」に示した研究課題（目標）

- ・ 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

および、地層処分研究開発第2次取りまとめで抽出された研究開発課題を表-3に示します。

脚注)

*5 埋め戻し技術：空洞や坑道などにベントナイトなどを充填し、地下施設を天然バリアの性能を損なわない状態に復帰させることなどの技術です。

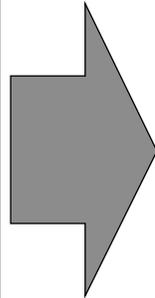
*6 長期挙動モデル：時間の経過とともに変化する人工バリアとその周辺の岩盤領域の変形や水圧の変化などを予測するモデルです。

*7 安全評価：地層処分システム全体、あるいはその要素である個別システムが有する機能について解析した結果を適切な基準と比較し、その性能について判断を行うことです。解析の対象が地層処分システム全体で、比較の基準が安全性に係わるものである場合には性能評価と安全評価とは同義です。

表-3 地層処分研究開発第2次取りまとめで抽出された研究開発課題と
深地層研究所（仮称）計画で設定する研究開発課題

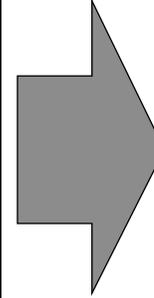
深地層研究所（仮称）
計画（平成10年10月）
での研究課題（目標）

- ・ 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



地層処分研究開発第2次取りまとめ
で抽出された研究開発課題

- 【地質環境調査技術】**
 - ・ 調査・評価手法の体系化・実用化
 - ・ 地質環境を評価する技術の高度化
 - ・ モニタリング技術の検証
- 【地質環境の長期安定性】**
 - ・ 天然事象の影響評価手法の信頼性向上のための事例評価など
- 【人工バリア等の工学技術】**
 - ・ 埋め戻しに関する検証試験など
 - ・ オーバーバック搬送・定置技術などの検証
- 【地層処分場の詳細設計手法】**
 - ・ 人工バリアの熱-水-応力連成試験、ガス移行挙動、塩水環境下試験など
 - ・ 緩衝材の長期挙動試験など
- 【安全評価手法】**
 - ・ 安全評価に必要なデータの拡充
 - ・ モデル（安全評価モデル、現象モデル）の適用試験



深地層研究所（仮称）計画
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
- ・ 地質環境の長期安定性に関する研究（主に、地震、断層、隆起・沈降・侵食）
- ・ 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向上

3.2 研究内容と実施場所

地層科学研究、地層処分研究開発の実施にあたっては、深地層研究所の実際の深地層の環境下での調査研究、ENTRY^{*8}などでの深地層を模擬した条件下での室内試験による現象モデルの検証や工学試験、QUALITY^{*9}などでの放射性同位元素を用いた試験を連携させて進めていきます（表-4）。

4．地表から行う調査研究（第1段階）

第1段階は、平成12年度末から平成17年度までの約6年間とします。その初期（平成12年度末～13年度）の調査研究結果に基づいて深地層研究所設置地区（2～3km四方）を選定し、その後、選定された深地層研究所設置地区および、その周辺地区（数kmから10数km四方）において調査研究を行います。なお、地震研究などについては、上記地区の他にも機器を設置し測定を行います。

また、第1段階の地表からの調査で得られる地質構造、地下水の流れ方、水圧分布・水質データなどを基に、深地層研究所設置地区内の具体的な地下施設の位置やレイアウト、第2段階以降に行う地下施設における地層科学研究や地層処分研究開発の計画を検討します。

4.1 設置地区の選定

第1段階の初期（平成12年度末～13年度）の調査研究結果に基づいて、深地層研究所設置地区を選定します。

深地層研究所の地下施設は、500m以深を目途に地下施設を設置することにしており、設置地区の選定にあたっては、研究の対象となる地層が500m程度の深さに十分な広がりや厚さをもって分布し、さらに安全に地下施設を建設でき、研究環境を確保できることが重要な要件になります。

文献などの既存資料に基づき対象となる地層が500m程度の深度に十分な厚

脚注)

*8 ENTRY (Engineering Scale Test and Research Facility)

(地層処分基盤研究施設): サイクル機構東海事業所の施設で、深い地下での地下水の流れ方や核種の移行などの現象について、地上の工学規模の試験装置を用いて試験を行います。得られたデータを用いて、コンピュータによる解析を行います。なお、放射性物質は使用しません。

*9 QUALITY (Quantitative Assessment Radionuclide Migration Experimental Facility)

(地層処分放射化学研究施設): サイクル機構東海事業所の施設で、深い地下の環境を模擬するために低酸素濃度の不活性な環境を備えた試験設備などを利用して、放射性同位元素を用いた試験により、核種の化学特性などを把握する施設です。

表-4 地層科学研究と地層処分研究開発；研究課題と実施場所

		深地層研究所（仮称）計画（堆積岩 / 塩水）	東海事業所（ENTRY, QUALITY）
地層科学研究	地質環境調査技術開発 （地質環境データの取得を含む）	<ul style="list-style-type: none"> ・地表から地下深部までの地質環境データの取得 ・地下深部の地質環境のモデル化 ・地下施設建設に伴う地質環境の変化の予測、予測手法の検証 ・調査・解析・評価手法の体系化 	—
	地質環境モニタリング技術の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・試験孔を用いたモニタリング技術開発 ・遠隔監視システムの開発、観測の開始 	
	地質環境の長期安定性に関する研究	主に、地震・断層・隆起・沈降・侵食、火山に関する事例研究など	
	深地層における工学的技術の基礎の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・地下施設の設計・建設 ・設計および、建設技術の検証 ・施工材料、施工技术に関する技術の検証 ・安全確保、環境維持技術の検証 ・岩盤領域の熱影響試験 <ul style="list-style-type: none"> ・地下施設が地質環境に与える影響に関する研究 ・坑道掘削による岩盤への影響を修復するための検証試験 ・地下水の再冠水挙動の評価 	
地層処分研究開発	人工バリア等の工学技術の検証	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア搬送・定置技術の検証に関するデータの取得 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア搬送・定置装置の設計
		<ul style="list-style-type: none"> ・埋め戻し技術の検証に関するデータの取得 	<ul style="list-style-type: none"> ・埋め戻し仕様の設計
	地層処分場の詳細設計手法の開発	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント影響試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・セメント系材料が人工バリア性能に及ぼす影響の評価
		<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア試験 ・ガス移行挙動試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリアの熱 - 水 - 応力 - 化学連成現象モデルの開発・評価 ・人工バリア設置の要素技術の体系化・評価、岩盤および緩衝材のクリープ挙動の複合評価 ・ガス移行挙動の評価（選択的ガス移行モデルの確立） ・人工バリアの総合的健全性評価（複合現象の長期挙動の評価、解析手法の高度化）
			<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材仕様の合理化（密度、ケイ砂混合率他）
			<ul style="list-style-type: none"> ・緩衝材の流出・侵食、長期クリープ、膨潤、長期変質挙動の評価・確認
			<ul style="list-style-type: none"> ・岩盤の長期健全性解析（腐食膨張などによる岩盤への影響評価、処分場の性能への影響評価）
			<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア腐食挙動の評価
			<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリア長期腐食評価の妥当性の検討
			<ul style="list-style-type: none"> ・腐食生成物の膨張量、物性、緩衝材への影響の評価・確認
<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリアの長期変質挙動の評価 			
<ul style="list-style-type: none"> ・塩水環境下での試験 	<ul style="list-style-type: none"> ・塩水環境下での人工バリアの特性の評価・確認 		
安全評価手法の信頼性向上	<ul style="list-style-type: none"> ・安全評価に用いる原位置データの項目、量、精度の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・QUALITYなどでの基礎特性データの取得 	
	<ul style="list-style-type: none"> ・安全評価に用いるモデルの適用性の確認 	<ul style="list-style-type: none"> ・安全評価に用いるモデルの適用性確認解析 	

さをもって分布する深地層研究所設置対象区域を抽出し、空中物理探査^{*10}（磁気、電磁および、自然放射能探査）地上物理探査^{*11}（電磁探査）、地質調査、試錐調査などの地表からの調査により得られた、地層や断層、地下水の流れ方や水質、地層の力学的強度などに関するデータに基づいて総合的に評価して選定します。また、深地層研究所設置地区選定後、調査ボーリングなどにより地下施設の具体的な位置を決めていきます。

なお、施設の建設に必要な用地の確保や効率の観点からは、土地利用状況や道路の整備状況などの社会的な側面も重要な判断要件となります。

4.2 地層科学研究

第1段階における、「地質環境調査技術開発」では、地表からの調査によるデータの取得、地質環境のモデル化、地下施設の建設による地質環境の変化の予測を行います。「地質環境モニタリング技術の開発」では、モニタリング機器を開発・設置し、地下施設建設により地質環境が変化する前のデータの取得を開始します。「地質環境の長期安定性に関する研究」では、文献調査や現地調査、地震観測などにより、地震・断層活動、隆起・沈降・侵食の過程および、現在における地殻活動に関する情報の取得、整理を行います。「深地層における工学的技術の基礎の開発」では、地下施設の設計を行うとともに、施工管理方法の検討を行うとともに、地下施設建設の岩盤への影響の修復技術の検討のための試験計画の策定を行います。

4.2.1 地質環境調査技術開発

第1段階では、空中物理探査、地上物理探査、地質調査、試錐調査などの地表からの調査により、地質構造や地下水の水理特性、地下水の地球化学特性、岩盤の力学特性に関する地表から地下深部までの体系的な実測データを取得し、これを用いて地質環境をモデル化し、地下施設の建設による地質環境の変化の予測解析を行います。これを第2段階で得られる実測データを用いて検証することにより、地表から地下深部までの調査技術やモデル化手法を確立します。

脚注)

*10 空中物理探査：ヘリコプターや固定翼の航空機を用いて、空中から地球磁場の測定、人工的に発生させた磁場によって地下に誘導される電磁場の測定、岩石固有の自然放射能値の測定を行い、地層や断層の分布などを推定する調査です。広範囲にわたる地質構造を簡便に把握できる特徴があり、一般的には、鉱床探査、温泉や地下水探査、活断層の調査、地滑り調査などに利用されています。

*11 地上物理探査：地上から、地下の電気抵抗、電磁場、地震波速度、密度（重力値）などを測定し、地層や断層の分布などを推定する調査です。一般的には、トンネルなどの土木工事、温泉や地下水探査などに利用されています。

地質環境調査技術開発の第1段階の達成目標として、

(1) 地表から地下深部までの地質環境データの取得

(2) 地表から地下深部までの地質環境のモデル化

(3) 地下施設の建設に伴う地質環境の変化の予測

を設定し、以下の調査研究を進めます。

4.2.1.1 地表から地下深部までの地質環境データの取得

(1) 空中物理探査

岩石によって異なる磁性、電気抵抗、自然放射能を有していることに着目し、ヘリコプターを用いて空中から磁気探査、電磁探査、放射能探査を行い、地表から地下150m程度までの地層の分布や断層（割れ目帯）、しゅう曲などの地質構造を推定するためのデータを取得します。この結果は、試錐調査位置や深地層研究所設置地区の選定に反映します。

(2) 地上物理探査

地層の電磁気的な性質（電気抵抗など）、地層の中を伝わる地震波の速度、地層の密度の違いに着目した以下に示す地表からの物理探査を実施し、空中物理探査で推定できる深度（地下150m程度）より深いところ（地下2,000m程度）までの地質構造を推定するためのデータを取得します。

ア) 電磁探査

電磁探査は、地層の持つ電磁気的な性質（電気抵抗など）の違いに着目して、地表から地下2,000m程度までの地層の分布や断層（割れ目帯）、しゅう曲などの地質構造を推定するためのデータを取得します。この結果は、試錐調査位置や深地層研究所設置地区の選定に反映します。

なお、測定点数および、測点配置については、土地利用状況、測定点までのアクセス状況などを考慮した上で最終的に決定します。

イ) 反射法地震探査

深地層研究所設置地区において、地層の中を伝わる地震波の速度の違いに着目して、地表から地下2,000m程度までの地層の分布や断層（割れ目帯）、しゅう曲などの地質構造や大曲断層の地下での形状、位置などを推定するためのデータを取得します。

なお、測定用の地震波の発信源には爆薬および、バイブレータ（振動装置）を測定点（線）の状況に応じて使用します。

ウ) 重力探査

深地層研究所設置地区において、地層の密度の違いに着目して、地表で

の重力値を観測することにより、地下における地層や断層の分布を推定します。

(3)地質調査

地表に露出している地層の観察や取得したサンプルを用いた顕微鏡観察や鉱物試験、花粉分析や化学分析、航空写真や衛星写真を用いたリニアメント解析^{*12}などにより、地層の重なり方や地層の性質、断層などの地質構造についてのデータを取得し、空中物理探査や地上物理探査の結果と合わせて、地質構造モデルを作成するためのデータとします。また、平成13年度の結果は、同年度に行う試錐調査位置、深地層研究所設置地区の選定に反映します。

(4)表層水理調査

降水の量や河川への流出量などの地下水の流れの解析に必要な実測データを取得するために、気象観測（降水量、気温・湿度、風向・風速、日射量、蒸発散量^{*13}）、河川の流量、地表付近の地下水位などの観測を行います。また、室内試験により、土壌の密度や土壌の水の通し易さなどを調べます。

(5)試錐調査

深地層研究所設置地区の選定を主たる目的に、地質調査、空中物理探査、地上物理探査の結果を基に試錐調査位置を決定し、深さ700m程度の試錐孔（ボーリング孔）を2孔掘削し、コア（岩芯）を用いた室内試験や、試錐孔を用いた試験を行います。

選定された深地層研究所設置地区および、その周辺地区において、掘削深度平均500m程度の試錐孔を10孔程度掘削し、地質環境のモデル化などに必要なデータを取得します。これらは、地下施設建設の基礎データとしても用いられます。

ア) コアを用いた試験など

- ・地層の地質学的性質を調べるコア観察（岩相、割れ目など）、鉱物試験（鉱物分析、化学分析、年代測定など）
- ・地層の電気的性質や密度などを調べる物理試験（間隙率、密度、電気抵抗、弾性波速度など）

脚注)

*12 リニアメント解析：空中写真や衛星写真を用いて、地表の線状の構造（断層や割れ目帯などに対応する）を抽出する作業です。

*13 蒸発散量：蒸発散は、湖沼などからの水面蒸発、土壌からの蒸発と、主に植物の葉からの蒸散に分けられますが、流域や植被面ではこれらの現象が同時に生じていることから、蒸発と蒸散を総称して蒸発散量と呼びます。

- ・地層の力学的強度を調べる力学試験（一軸・三軸圧縮試験、引張試験など）
- ・地層の水の通り易さを調べるための室内試験
- ・地層の地下水の水質を調べるためのコアからの地層水の抽出・分析
- ・地層にかかる圧力（応力）を調べるための応力測定

イ) 試錐孔を用いた試験など

- ・地層の電気的性質や密度などを調べる物理検層^{*14}（電気検層、密度検層、中性子検層、温度検層、音波検層、孔径検層など）
- ・地層の水の通り易さや地下水の圧力を調べるための試験
- ・地層にかかる圧力（応力）を調べるための応力測定
- ・地下水を採取し、地下水組成などの分析

4.2.1.2 地質環境のモデル化と地下施設建設に伴う地質環境の変化の予測

地表からの調査で得られたデータに基づき、地層や地下水の状況を表す地質環境モデル（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）を構築します。調査の進展によりデータ数が増えるに従って、それぞれのモデルの更新、改良を逐次行います。それと合わせてモデルに含まれる不確実な部分の低減の度合いについて検討することにより、地質環境のモデル化に必要な地質環境データ項目、量、精度などについて明らかにし、地表からの体系的な調査手法、地質環境のモデル化手法を確立します。

また、地質環境モデルに基づいて数値解析を実施し、地下施設を建設した場合の地質環境の変化の予測解析を行います。

さらに、深地層研究所計画において得られるデータは、その種類、量とも膨大なものとなるため、各種データを効率的、系統的に管理するデータベース化を進めます。

(1) 地質構造モデル

空中・地上物理探査、地質調査、試錐調査で取得された広域の地層の分布や、断層・割れ目帯・しゅう曲などの地質構造データを用いて、それらの分布を表す地質構造モデルを作成します。

脚注)

*14 物理検層：試錐孔内において、ケーブルの先端に装着した測定器によって、地層の電気抵抗を計測する電気検層、温度を計測する温度検層、地層の密度を計測する密度検層、地層の弾性波速度を計測する音波検層、地層の間隙の量を計測する中性子検層、試錐孔の孔径を計測する孔径検層などの地上から連続的に計測する測定手法です。

なお、この中で、密度検層と中性子検層では、それぞれ密封されたガンマ線源、中性子線源を測定に用います。

(2)地下水の水理モデル

地質構造モデルとコアを用いた室内試験や試錐孔を用いた試験で得られる地層の水の通し易さなどのデータを用いて、水理地質構造モデルの構築、改良を行い、これに基づいて、地層中における地下水の流れ方や水圧の分布を調べる数値解析を行うことにより、地下水流動モデルを構築します。さらに数値解析によって、地下施設の建設による地下水の流れ方や水圧の分布の変化を予測します。

なお、地下水の流れの解析を行う際に、地下水の密度の差が地下水の流れの解析に与える影響を把握するため、試錐孔から得られる実測データや地下水の分析結果を基に、第2段階に行う予定としている淡水と海水（塩水）の境界に関する研究計画を検討・策定します。

(3)地下水の地球化学モデル

試錐コアからの抽出水や試錐孔から採取した地下水の分析による水質データを基に、地下水の水質の分布を表す地下水の地球化学モデルを構築します。これと地下水の水質の形成に寄与したと考えられる地層の鉱物学的、化学的組成データを基に、水質が形成されたメカニズムを明らかにします。これにより、地下水の水理モデルで示された地下水の流れなどを検証します。

また、地下施設の建設による地下水の流れの変化に伴う水質の変化を予測し、第2段階の実測データと比較することにより地下施設の建設による地質環境の変化の予測結果を検証します。

(4)岩盤力学モデル

室内試験や試錐孔を用いた調査により得られる地層の力学的データなどを基に、地層の強度の分布や応力^{*15}状態を表す岩盤力学モデルを作成し、これを用いた数値解析により、地下施設の力学的安定性の評価および、地下施設の建設による地下施設周辺の地層の応力変化や変形などを予測します。

4.2.1.3 調査技術 調査機器開発

深地層研究所における調査研究は、既存の調査技術、調査機器を活用して実施することを基本とし、軟らかくて崩れ易く、膨潤する性質を持つ堆積岩、石油やガスが存在する地層、深度 500m 程度の地層に加わる大きな圧力などの条件に対応するために必要な、掘削・調査技術開発を行います。

脚注)

*15 応力：物体に外力が加わる際に、その物体の内部に生じる力です。

(1) 試錐孔掘削のための技術

本研究で対象となる堆積岩は、軟らかくて崩れ易く、膨潤する性質を有しており、試錐孔の掘削にあたっては、泥水^{*16}を使用し、パイプによって試錐孔の壁の保護を行う必要があります。

このような泥水やパイプの使用は、試錐孔内で行う各種計測（地層の水の通し易さの試験や水圧の測定、地下水の採水・水質の測定、地層の強度の測定など）に影響を与えるため、これらにできるだけ影響を与えないような試錐孔の掘削技術や、堆積岩の膨潤を抑制する泥水の改良・開発を行います。

(2) 試錐孔を用いた調査試験のための技術

試錐孔を用いて地下水の流れ易さや水圧を測定する試験機器および、地下水を採水する機器、地層の強度などを測定するための機器について、石油やガスの存在下でも耐久性のある材質・構造を持つように改良、開発を行います。

4.2.2 地質環境モニタリング技術の開発

第1段階においては、地下施設建設前の地質環境データの初期値を取得するために、地質環境モニタリング機器の開発・設置を行い、観測を開始します。

4.2.2.1 試錐孔を用いたモニタリング技術開発

第1段階から第3段階に至るまで、地下深いところの地下水の水圧や水質の長期的な変化をモニタリングするには、機器の長期的な耐久性などが重要となります。

このため、モニタリング機器の材質、仕様などを開発・改良し、掘削した試錐孔に順次設置し、データ取得を開始し、初期データおよび、その経時変化や地下施設建設の影響などを把握することにより、モニタリング技術、機器の信頼性を高めます。

4.2.2.2 遠隔監視システムの開発

遠隔監視システムは、周波数^{*17}を精密にコントロールした比較的弱い信号（地震波や電波）を地上から絶えず放射し続け、時刻を精密に合わせた複数の受信機を使って地下を通ってきた信号を観測します。このようにして得られたデー

脚注)

*16 泥水：試錐孔の壁を保護する目的で、掘削に使用する水に添加剤を混ぜたものです。

*17 周波数：ゆっくりした振動か早い振動かを表すものです。例えば、ラジオのチャンネルの違いは周波数の違いに相当します。

タを解析することにより、地層の様子とその変化を地下施設の建設前から建設中、建設後まで把握します。

第1段階では、広い周波数範囲の信号を、送信機から精度良く送信する技術の改良と、広い周波数範囲の信号を精度良く受信できるように受信機（記録計）の記録間隔、送信機とのタイミング（時間的連動）などの改良を行います。その後、モニタリングシステム全体の調整・設置を行い、データの取得を開始します。

4.2.3 深地層における工学的技術の基礎の開発

第1段階では、大深度地下空間の開発利用に必要な技術として、地下施設の建設が地質環境に与える影響を明らかにするための試験研究や、坑道掘削による岩盤への影響の修復技術の検証のための試験などの基本計画を策定します。さらに、地下の深いところで遭遇する様々な現象を考慮した坑道の安全確保、坑内環境の維持のために必要となる対策工（支保工の選定）など、施工管理方法を検討します。これらの成果を踏まえて、第2段階から建設を始める地下施設の設計を行います。

4.2.4 地質環境の長期安定性に関する研究

第1段階においては幌延町周辺地域の新しい時代の地殻活動に着目し、

- ・地震・断層活動、隆起・沈降・侵食の過去および、現在における地殻活動に関する情報の取得・整理

という達成目標を設定し、調査研究を進めます。

4.2.4.1 地震研究

幌延町周辺は、1975年の豊富町周辺の群発地震、1986年の幌延町周辺の群発地震などの特徴的な地震活動の場にあります。第1段階では、地震計（速度計、加速度計）の設置・観測による地震動データの取得・蓄積を行い、北海道北部地域の地震活動の特徴やその断層などとの関係を把握するとともに、試錐孔を用いた地下水のモニタリングデータと合わせて、地震が地下水に与える影響の評価を行います。

なお、研究の実施にあたっては、気象庁など、他の研究機関の観測データと合わせて処理を行いながら、地震の時間的な分布や空間的な分布など、北海道北部地域の地震活動を把握します。

4.2.4.2 天然現象の研究

幌延町を縦断する大曲断層の活動性、段丘の傾きや動き、天塩盆地の隆起・沈降、海水準の変動の履歴を明らかにすることを目的として地殻変動観測や断層の調査などを行います。

歪み計、傾斜計などから構成される地殻変動観測装置を用いて長期間連続的に地殻変動を観測し、他の研究機関のデータと合わせることによって広い範囲での地盤の変位を調べ、地域の局所的な地殻変動を調査します。また、大曲断層の構造などを、地表からのトレンチ^{*18} 調査などによって確認し、その活動性を明らかにします。

さらに、地域に隣接する利尻火山についても過去に積もった幌延町内の火山灰の調査などを行います。

4.3 地層処分研究開発

第1段階における、「人工バリアなどの工学技術の検証」、「地層処分場の詳細設計手法の開発」では、第2段階以降の坑道を用いて行う試験研究計画を策定します。

また、「安全評価手法の信頼性向上」は、安全評価に必要なデータの項目、量、精度の確認、モデルの適用試験と改良を行います。

4.3.1 人工バリア等の工学技術の検証

地層処分研究開発第2次取りまとめでは人工バリアの施工品質（定置状態）について、実規模試験を通じた確認が必要としています。この施工品質の基準を定めるため、人工バリアの定置装置に求められる精度（位置や傾き、隙間の大きさなど）を明らかにするとともに、坑道の閉鎖に求められる埋め戻し材の性能を明らかにします。

第1段階では、緩衝材の定置の精度がオーバーパックの腐食や緩衝材の性能に与える影響を把握する室内試験などを行います。

得られた成果を基に、第2段階以降に地下施設で行う定置試験の計画を策定します。

脚注)

*18 トレンチ調査：断層などの分布する地域で、地上から断層の近傍を掘削（溝掘り）することで、断層面などを直接観察する調査手法です。

4.3.2 地層処分場の詳細設計手法の開発

地層処分研究開発第2次取りまとめでは、最適な処分場を設計するための詳細設計手法を確立する必要があるとしています。

このため、周辺岩盤を含めた人工バリアの調査研究を行います。第2段階以降には主に以下のような試験を予定しています。

- ・人工バリア試験：廃棄体を模擬したヒーターを設置し、人工バリアの熱による影響などを調べる試験
- ・セメント影響試験：セメントによって地下水が高アルカリ性になることが人工バリアに与える影響などを調べる試験
- ・ガス移行挙動試験：オーバーパックスの腐食により発生するガスがどのように動いていくのかを調べる試験
- ・塩水環境試験：地下水に塩分が含まれる環境において、オーバーパックスの腐食や緩衝材の膨張特性を調べる試験

第1段階では、上記の試験の実施に向けて、海外の地下研究施設での研究事例の調査などを行うとともに、試験の最適な環境条件の把握や、現象を予測する手法の開発・検証するための室内試験を行い、第2段階に向けた試験の基本計画を策定します。

4.3.3 安全評価手法の信頼性向上

安全評価に必要な地質環境データの項目、量、精度の確認、モデルの適用試験と改良を行います。

第1段階では、

- ・地表からの調査により取得されるデータを用いて、シナリオ^{*19} 開発手法および、人工バリア、天然バリア、生物圏それぞれの安全評価モデルを試験的に適用し、その有効性を確認します。

脚注)

*19 シナリオ：放射性廃棄物が人間環境におよぼす影響を評価する観点から、地層処分システムの処分直後の状態を基に、長期間のうちにその状態を変化させる可能性のある一連の現象を想定し、これらを組み合わせて地層処分システムの長期挙動を示したものです。シナリオを作成する目的は、地層処分システムの長期挙動を時系列的に記述することにより、地層処分システムの安全を解析するための道筋を規定し、その解析に必要な安全評価モデルの開発やデータ収集の枠組みを与えることです。

あわせて、不確実性解析^{*20}、感度解析^{*21}などを実施し、安全評価上重要であり、調査により取得されるべきデータ項目と、その量、精度などについても検討を行います。

- ・これらの研究に必要な放射性核種の収着や拡散といった核種移行の基本特性の測定は、東海事業所のQUALITYなどを用いて行います。

5．環境調査・地上施設

5.1 環境調査

環境への影響を未然に防止する観点から、自主的に環境調査を行います。

幌延町の自然的状況や社会的状況を把握するために、文献・聞き取り調査^{*22}と合わせて、希少動植物の存在の確認や、地下水の利用状況を調査します。

深地層研究所設置地区の選定後は、選定された地区を対象として、詳細な現地調査を行います。さらに、環境への影響を追跡調査する必要があると考えられる項目について、モニタリング調査を継続します。

5.2 地上施設

地上施設として、研究管理棟、コア倉庫棟、ワークショップ棟などを建設することを予定しています。

造成および、地上施設の基本設計は、平成13年度から開始します。その後、測量などによる深地層研究所設置地区の地盤状況の把握や、地下施設の坑口の位置の選定および、レイアウトなどの検討の進展に合わせて、実施設計を行うことにします。

脚注)

*20 不確実性解析：地層処分の安全評価では、地層という不均質で大きな領域を解析の対象とし、長期にわたる評価期間を考慮する必要があるため、その評価結果には不確実性が伴います。この不確実性を定量化するために用いられる手法が不確実性解析です。

*21 感度解析：モデルに含まれるパラメータの結果に対する影響度を定量化することで、パラメータの重要度の分類などに用いられます。

*22 聞き取り調査：希少動植物の現況など、文献調査では得られない新しい情報を自治体、地元の方々、あるいは企業などに直接聞いて調査することです。

6．陸域地下構造フロンティア研究

阪神淡路大震災を契機に、科学技術庁(現：文部科学省)は平成7年度より地震に関して創造的な基礎研究を「地震総合フロンティア研究」として推進しています。サイクル機構は、このうちの「陸域地下構造フロンティア研究」を分担しており、岐阜県の東濃鉦山や神岡鉦山において地震発生機構の解明や観測手法の開発を目的とした研究を進めています。

北海道北西部は、ユーラシアプレート^{*23}と北米プレートという2つのプレートの境界に位置し、過去に比較的大きな地震が発生しており、また、最近では局地的な群発地震が観測されています。このような地域は、地震発生機構の解明を目的とした研究の場としても重要な地域であることから、地震防災科学技術の発展にその成果を活用する構想に基づき、当地での「陸域地下構造フロンティア研究」の実施について、今後、国や大学などの研究機関と協議を進めていきます。

本研究については、地震や関連する地殻の変動に限らず、地震の発生に関与していると考えられている地下水などの動きや化学的性質の変化に着目して、総合的に進めていきます。

脚注)

*23 プレート：地球の表面は、ジグソーパズルのように十数枚の岩盤(プレート)に覆われています。それぞれのプレートは1年に数センチという速さで移動しており、境界では一方が他方の下に潜りこむ現象などが見られます。