

日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく
「地層処分技術に関する研究開発」報告書
－今後の研究課題について－

平成 26 年 9 月 30 日

独立行政法人日本原子力研究開発機構

日本原子力研究開発機構の改革計画に基づく
「地層処分技術に関する研究開発」報告書
－今後の研究課題について－

－目 次－

1. はじめに	1
1) 機構改革の経緯	1
2) 第2期中期目標及び第2期中期計画	2
3) 本研究開発の取組における留意点	3
4) 本報告書の位置づけ	4
2. これまでの研究開発成果	5
1) 深地層の研究施設計画と地質環境の長期安定性研究	5
2) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発及び使用済燃料の直接処分研究開発	9
(1) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発	9
(2) 使用済燃料の直接処分研究開発	11
3. 今後の研究課題	12
1) 深地層の研究施設計画の残された必須の課題	12
(1) 必須の課題の設定の考え方	12
(2) 超深地層研究所計画	14
(3) 幌延深地層研究計画	17
(4) 研究課題の合理化について	19
(5) 国内外専門家による必須の課題の妥当性の確認	19
2) 地質環境の長期安定性研究の今後の課題	20
(1) 研究課題の設定の考え方	20
(2) 今後の課題	20
3) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発及び使用済燃料の直接処分研究開発の今後の課題	21
(1) 研究課題の設定の考え方	21
(2) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発	22
(3) 使用済燃料の直接処分研究開発	22
4. おわりに	23
参考：地層処分技術開発の位置づけ	24

1. はじめに

1) 機構改革の経緯

「もんじゅ」の保守管理上の不備及びJ-PARCハドロン実験施設での事故を踏まえた改革の検討に基づき、「もんじゅ」及びJ-PARCに係る改革に加え、原子力機構全体に反映すべき安全文化醸成等に係る取組、組織・業務運営の見直し、さらには事業の合理化について、改革計画として「日本原子力研究開発機構の改革計画 自己改革 — 「新生」へのみち —」（平成25年9月26日）が取りまとめられた。

この中では、地層処分技術に関する研究開発について以下のことが示されている。

Ⅲ 東電福島原発事故以降における原子力機構の使命の再確認

5. 放射性廃棄物処理・処分技術開発

①高レベル放射性廃棄物処理・処分のための技術開発

地層処分技術に関する研究開発は、地層処分システムで起こる現象のメカニズムについての先進的な評価手法開発と、それに必要なデータベース整備に重点化して進める。

Ⅳ 改革計画

2. 原子力機構全体にわたる改革

(2) 事業の合理化

2) 事業・施設合理化の検討

②-5：地下研（東濃地科学センター／幌延深地層研究センター）事業の見直し

平成27年3月に予定していた精密調査の段階に資するための東濃地科学センター瑞浪深地層研究所及び幌延深地層研究センターの調査研究の成果の取りまとめを、前倒しして平成26年9月末までに行う。また、取りまとめ作業と並行して、深地層の研究施設で行うべき残された必須の課題を明確にした深地層の研究施設計画を、担当理事を主査とするチームにより、平成26年9月末までに策定する。

その際、「地層処分基盤研究開発調整会議」で策定された国の「地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成25年度～平成29年度）」（平成25年3月）、及び経産省総合資源エネルギー調査会の放射性廃棄物ワーキンググループで進められている放射性廃棄物処分の進め方の議論を考慮することとする。

本研究開発に関し、下記2)に示す第2期中期目標及び第2期中期計画、及び3)に示す本研究開発の取組における留意点に基づき、かつ上記改革計画を適切に反映しながら、研究開発成果の取りまとめ、及び成果を踏まえた残された必須の課題の取りまとめを行った。

2) 第2期中期目標及び第2期中期計画

地層処分技術に関する研究開発に係わる第2期中期目標及び第2期中期計画を以下にまとめると。

【第2期中期目標：<http://www.jaea.go.jp/01/pdf/mokuhyou22.pdf>】

高レベル放射性廃棄物の地層処分の実現に向け、「特定放射性廃棄物の最終処分に関する計画」(平成20年3月14日閣議決定)との整合性を取り、基盤的な研究開発を着実に進め、地層処分技術の信頼性の向上を図り、実施主体による処分事業と国による安全規制を支える技術基盤を整備し、提供する。そのため、超深地層研究所計画と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し、これらの成果により地層処分の安全性に係る知識ベースの充実を図る。さらに、実施主体との人材交流等を進め、円滑な技術移転を図る。

【第2期中期計画：<http://www.jaea.go.jp/01/pdf/keikaku22.pdf>】

実施主体である原子力発電環境整備機構による処分事業と国による安全規制の両面を支える技術基盤を整備していくため、「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係る様々な論拠を支える「知識ベース」を充実させる。

実施主体や安全規制機関との技術交流や人材交流等を進め、円滑な技術移転を図る。また、研究施設の公開や研究開発成果の発信等を通じて、国や実施主体等が行う地層処分に関する国民との相互理解促進に貢献する。

(地層処分研究開発)

- ① 人工バリアや放射性核種の長期挙動に関するデータの拡充とモデルの高度化を図り、処分場の設計や安全評価に活用できる実用的なデータベース・解析ツールを整備する。
- ② 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場概念の構築手法や総合的な安全評価手法を整備する。

(深地層の科学的研究)

- ① 深地層の研究施設計画として、超深地層研究所計画(結晶質岩：岐阜県瑞浪市)と幌延深地層研究計画(堆積岩：北海道幌延町)を進める。
これまでの研究開発で明らかとなった深地層環境の深度(瑞浪：地下500m程度、幌延：地下350m程度)まで坑道を掘削しながら調査研究を実施し、得られる地質環境データに基づき、調査技術やモデル化手法の妥当性評価及び深地層における工学技術の適用性確認を行う。これにより、平成26年度(2014年度)までに、地質環境の調査手法、地

下施設建設に伴う影響範囲のモニタリング方法等の地上からの精密調査の段階に必要な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。

- ② 地質環境の長期安定性に関する研究については、精密調査において重要となる地質環境条件に留意して、天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する手法を整備する。

(知識ベースの構築)

地層処分研究開発や深地層の科学的研究の成果等を総合的な技術として体系化した知識ベースを充実させ、容易に利用できるように整備することにより、処分事業と安全規制への円滑な技術移転を図る。

3) 本研究開発の取組における留意点

- 本研究開発の目的は、地層処分技術の信頼性のより一層の向上に寄与するとともに、処分事業と安全規制を着実に進めるための技術基盤を強化し、重要な意思決定プロセスを支える技術的拠り所を示すことである。そのため、本研究開発は、処分事業のどのフェーズのどのような意思決定プロセスに反映させるかを明確にしながら進める。
- 本研究開発の内容は、これまで資源エネルギー庁の主導の下に設置された地層処分基盤研究開発調整会議で確認されているように国及び関係する研究開発機関の密接な連携・協力の下で行う基盤的な研究開発として科学的あるいは体系的な視点に重点を置いたものとする。また、基盤的な研究開発として中心的な位置づけにあること、必要不可欠となる基盤的な研究開発の全体像に照らして関係する研究開発機関が行う研究との重複、または見落としがないことについて、同会議による全体計画*1（以下、全体計画）の議論を通じて確認する。
- 本研究開発の実施にあたっては、国内の研究機関や大学との共同研究、多数の諸外国機関との研究協力（二機関協力、国際研究プロジェクト）等を活用することで効率的・効果的に進めるとともに、その成果を協力協定に基づく技術協力や人的交流等を通じて実施主体による事業の技術基盤として反映していく。
- 1) の改革計画を踏まえ、成果の取りまとめを前倒しして実施するとともに、深地層の研究施設で行うべき残された必須の課題を明確にした深地層の研究施設計画の策定を含む本研究開発についての今後の課題を取りまとめる。また、これらの検討は国における最新の議論を踏まえたものとする。

*1 :

- ・～平成 24 年度：「高レベル放射性廃棄物及び TRU 廃棄物の地層処分基盤研究開発に関する全体計画」(2010 年 3 月)
- ・平成 25 年度～：「地層処分基盤研究開発に関する全体計画(平成 25 年度～平成 29 年度)」

4) 本報告書の位置づけ

本報告書では、1) の改革計画に沿って実施した、東濃地科学センター瑞浪超深地層研究所及び幌延深地層研究センターの調査研究の研究開発成果(2.1))、及び深地層の研究施設で行うべき残された必須の課題を明確にして策定した深地層の研究施設計画(3.1))を示す。

あわせて、地質環境の長期安定性研究についてのこれまでの研究開発成果(2.1))と今後の研究課題(3.2))、並びに高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発及び使用済燃料の直接処分研究開発についてのこれまでの研究開発成果(2.2))と今後の研究課題(3.3))を示す。

なお、研究開発成果の詳細については、CoolRep^{*2}H26 を参照のこと(<http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/index.html>)。

*2: CoolRep (クールレポ): 第1期中期計画における成果の取りまとめ(平成22年3月)以降、地層処分技術の研究開発に関する成果情報等を Web 上で発信するために導入された次世代科学レポートシステム。利用者が必要なときに情報にアクセスでき、その情報を利用者に適切な技術詳細レベルで、かつ最も利用しやすいフォーマットで提供できるインタフェースとして機能することを目的とするもの。

2. これまでの研究開発成果

1) 深地層の研究施設計画と地質環境の長期安定性研究

(深地層の研究施設計画)

- 深地層の研究施設計画では、第2期中期計画の個別課題として掲げた、超深地層研究所計画：地下500m程度、幌延深地層研究計画：地下350m程度までの坑道掘削とそれに伴う調査研究による各調査技術やモデル化手法の妥当性評価及び深地層における工学技術の適用性の確認について、安全確保を最優先に確実に遂行し、所期の目標を達成した。
- 特に、地質環境の初期状態の理解に必要な技術課題であった深部地質環境の調査・モデル化技術・手法の開発・実証について、坑道掘削前の地質環境モデルを構築するための方法論を調査量と不確実性との関連性に着目して体系化し、地上からの調査段階において重要な調査項目や組み合わせ、調査の限界等を例示的に明らかにした(図2-1)。加えて、ボーリング孔に設置した観測装置による、坑道掘削中の長期モニタリング(図2-2)などの実施により、坑道掘削に伴う水圧・水質等の変化の調査・評価手法を開発した。

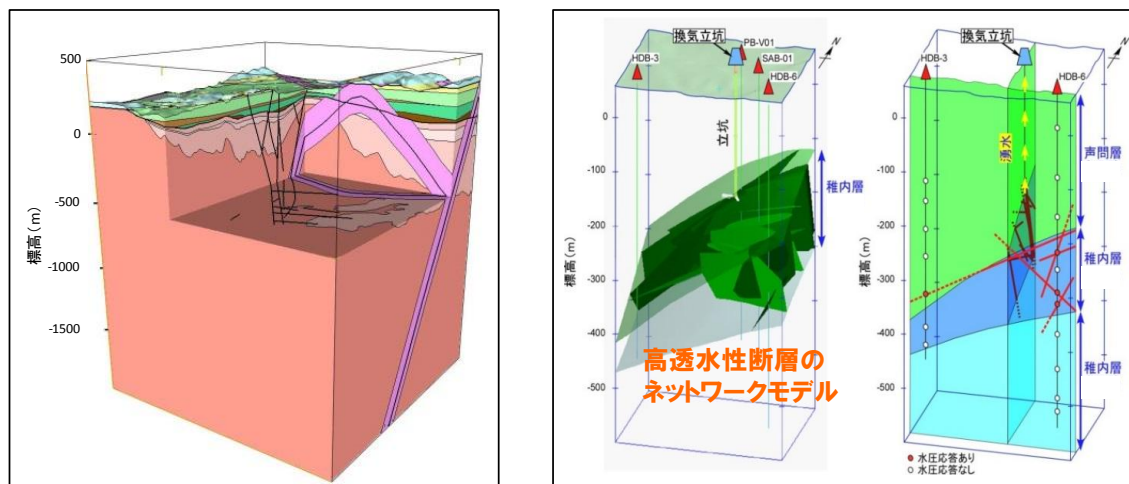


図 2-1 地質環境モデルの例

(左図：地質構造モデル(瑞浪超深地層研究所)、
右図：水理地質構造モデル(幌延深地層研究センター))



図 2-2 ボーリング孔に設置した観測装置による長期モニタリングの例

- また、瑞浪超深地層研究所と幌延深地層研究センターにおいて、上記深度まで坑道を掘削することにより、坑道掘削中に遭遇する事象（湧水、メタンガス発生など）に対応する既存技術の有効性評価と高度化を実施し、地下深部に安全に坑道を掘削する技術の確立として、地下での調査・試験に必要な坑道を安全・確実に掘削した実例を提示した（図 2-3）。



図 2-3 坑道掘削技術の確立（瑞浪超深地層研究所の例、深度 500m 研究アクセス北坑道）

- さらに、幌延深地層研究センターにおいては、処分システムの長期健全性への影響低減を目的とした低アルカリ性コンクリート材料を開発し、世界初の本格的坑道吹き付け施工技術を実証した（図 2-4）。



図 2-4 低アルカリ性コンクリート材料による坑道吹付け施工技術の実証
(幌延深地層研究センター深度 140m 調査坑道での施工例)

(地質環境の長期安定性研究)

- 地質環境の長期安定性に関する研究では、精密調査において重要となる地質環境条件に留意して、天然現象に伴う地質環境の変化を予測・評価する手法の整備を個別課題として設定し、我が国に特有な変動的な地質環境に対応可能な先端的調査基盤技術を開発した。
- とりわけ、東日本大震災以降の重要な研究テーマとなっている断層の活動性等に関して、地下水中の溶存ガスを用いた変動地形が明瞭で無い活断層の存否推定や断層運動に伴う地下水位の予測について、それらの有効性を示す重要な科学的知見を得た。

(研究成果の統合)

- 個別の研究成果は、処分事業の一般的なフェーズに合わせて構造化 (A1 群: 地質環境の初期状態の理解、A2 群: 地質環境の短期変動・回復挙動の理解、A3 群: 地質環境の長期変動・回復挙動の理解) し、その反映先や内容をより具体的に表現した。さらに、研究成果の知識統合のためのツールの整備 (B 群) とあわせ、研究成果の共有化と追跡性の確保を図り、設計・安全評価への知識伝達が可能な情報集合体とした (図 2-5)。

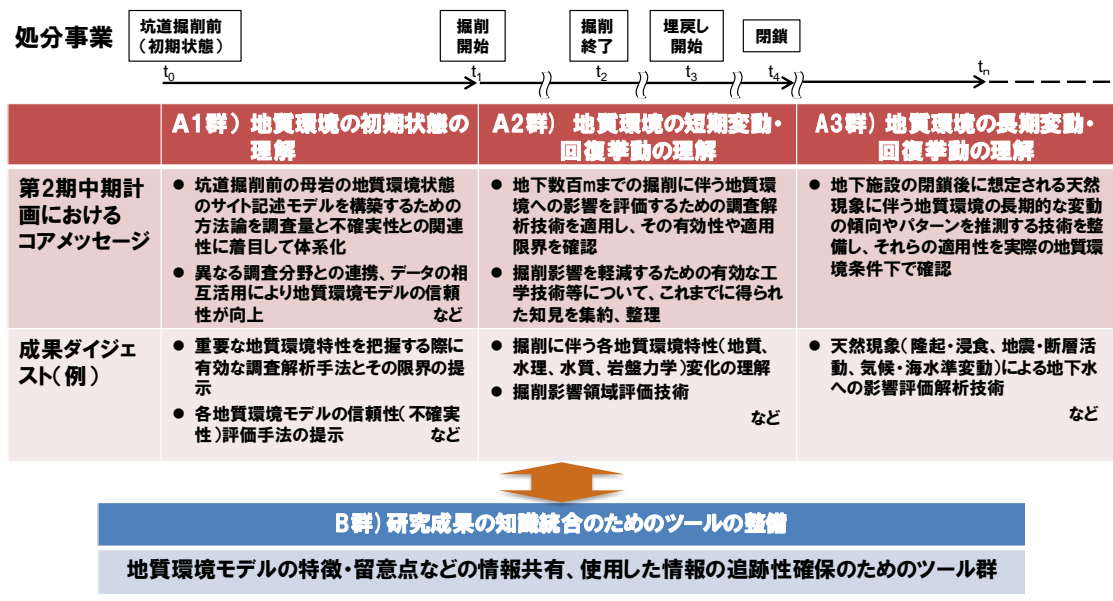


図 2-5 処分事業のフェーズに合わせた研究成果の構造化

- 第 2 期中期計画の成果の取りまとめにおいては、以上の研究成果を統合化し、地質環境の調査手法、地下施設建設に伴う影響範囲のモニタリング方法等の地上からの精密調査の段階に必要な情報・技術を CoolRepH26 として整備し、実施主体や安全規制機関のユーザーが容易に利活用できるシステムとした。

2) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発及び使用済燃料の直接処分研究開発

(1) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

(処分システムの工学技術)

- 処分場設計の技術基盤として、種々の因子が作用する現象を対象に以下を行った：
 - ・ 現象理解の深化：炭素鋼の腐食に対する γ 線の影響や溶接部の耐食性等のオーバーパットの合理的な設計に資する腐食データの提示、緩衝材の変質の主な要因となる鉄-ベントナイト相互作用による緩衝材中の二次鉱物の生成の影響範囲が限定的であることを解明
 - ・ データベースの開発、拡充：オーバーパット、緩衝材、両者の複合作用（鉄-ベントナイト相互作用）、埋め戻し材の基本特性データに関する試験条件を高温環境・高塩水環境に拡張設定したデータ取得・データベース化、緩衝材の機能の一つである膨潤性の試験方法の標準化を推進
 - ・ 連続データが取得可能なセンサー開発：深地層の研究施設計画（幌延）での原位置・実規模の人工バリア性能確認試験に適用可能な pH センサー及びオーバーパットの腐食モニタリング手法の開発
 - ・ 現象を評価できる解析コードの改良：処分後初期のベントナイト中の鉱物反応（pHの定量化）や間隙水中の塩濃縮を評価できる熱-水-応力-化学連成現象解析コードの改良
- 地質環境に対する化学的影響の少ない材料の施工性確認：深地層の研究施設計画（幌延）を活用して、地質環境に対する化学的影響を低減するための低アルカリ性セメントの施工性を確認
- 実規模の人工バリアの設置技術の見通し：実規模の人工バリアについて、定置装置による所定精度での施工確認
- 上記の実施においては、改革計画に示された「地層処分システムで起こる現象のメカニズムについての先進的な評価手法開発と、それに必要なデータベース整備に重点化」という点に留意
- また、成果と課題の明確化（深地層の研究施設計画とも連携）、及び処分事業のフェーズを念頭に置いた研究開発成果の反映先の明確化（図 2-6）に留意
- 「処分システムの工学技術」に係る研究開発成果を、実施主体・安全規制機関等のユーザーがそれら成果を容易に活用できるように CoolRepH26 として整備

(安全評価手法の高度化)

- 安全評価の技術基盤として、現実的な条件を対象に以下を行った：
 - ・ 天然現象の影響評価手法の改良：隆起・侵食による地形変化の概念モデルの開発、安全評価の試行
 - ・ 生物圏評価モデルの改良：実際の地表環境を考慮するアプローチの適用性の確認、長期的変遷を考慮した地表環境の状態設定の考え方の整理

- ・ 岩盤中水理・物質移行評価手法の改良：岩石亀裂内の地下水流動や物質移行の室内試験手法の高度化とデータの蓄積、深地層の研究施設計画（幌延）を活用して堆積岩を対象とした適切な原位置トレーサー試験方法の検討
- ・ コロイド・有機物・微生物の影響評価モデルの開発：深地層の研究施設計画（幌延）を活用した試験等による地下水化学に対する微生物影響評価モデルの適用性確認
- ・ 核種移行パラメータの設定手法の整備：室内及び原位置試験による現象理解を踏まえグリムゼル（スイス）や深地層の研究施設計画（幌延）を事例とした核種移行パラメータ評価手法の開発、緩衝材の収着・拡散モデルの高度化、直接処分のための収着・拡散パラメータ設定手法の提示
- ・ 安全評価の基盤情報としてのデータベースの拡充：熱力学データベース、収着・拡散データベース、ガラス溶解のデータベース更新、データの拡充
- ・ 上記の実施においては、改革計画に示された「地層処分システムで起こる現象のメカニズムについての先進的な評価手法開発と、それに必要なデータベース整備に重点化」という点に留意
- ・ また、成果と課題の明確化（深地層の研究施設計画とも連携）、及び処分事業のフェーズを念頭に置いた研究開発成果の反映先の明確化（図 2-6）に留意
- ・ 「安全評価手法」に係る研究開発成果を、実施主体・安全規制機関等のユーザーがそれら成果を容易に活用できるように CoolRepH26 として整備

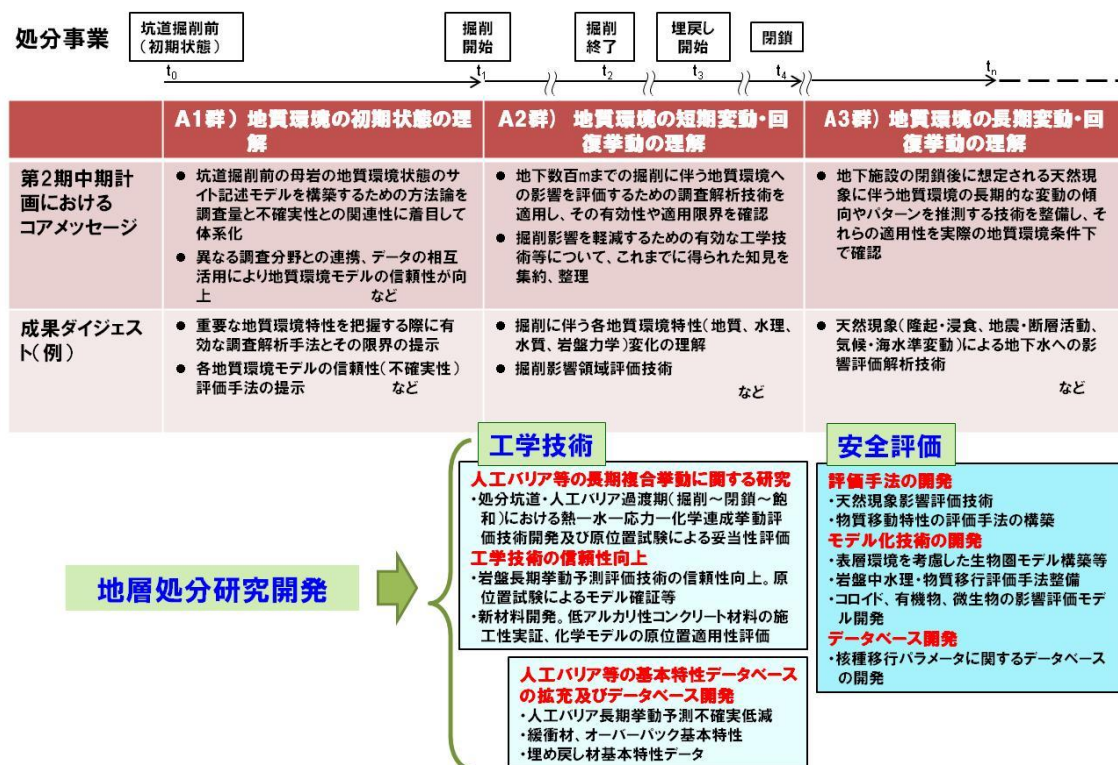


図 2-6 処分事業のフェーズに応じた研究開発の成果の反映先の明確化

(2) 使用済燃料の直接処分研究開発

- わが国での高レベル放射性廃棄物と TRU 廃棄物の地層処分に関する研究成果、及び諸外国で先行して進められている直接処分に関する研究開発成果を踏まえ、使用済燃料の特徴を考慮しつつ以下を試行
 - ・ 直接処分システムの予備的な設計の試行：廃棄体仕様・人工バリア仕様の設定、搬送・定置設備の概念設計、処分施設の建設、操業の観点からの坑道（処分坑道及び主要坑道）の設計
 - ・ 予備的な安全評価の試行：使用済燃料に特有な現象についての既往の知見の整理とそれに基づく基本シナリオの設定、不確実性を適切に考慮するためのリスク論的な考え方に基づくシナリオ区分の提示、モデル使用済燃料を対象とした核種の瞬時溶出挙動と UO₂ マトリクス溶解挙動に関するパラメータの設定、溶解度、収着・拡散に関するパラメータの最新のデータベースと現象論的モデルに基づく設定
- 上記試行を通じて、使用済燃料の直接処分の実現可能性の見通しについての検討結果をまとめるとともに、使用済燃料の直接処分の技術的信頼性の例示を目的とする「第 2 次取りまとめ」に向けて取り組むべき課題を抽出・整理し、「第 1 次取りまとめドラフト」を作成
- 今後、地層処分基盤研究開発調整会議や海外専門家によるレビューを実施した後、CoolRepH26 として公開予定

3. 今後の研究課題

1) 深地層の研究施設計画の残された必須の課題

(1) 必須の課題の設定の考え方

改革計画において、深地層の研究施設計画については、平成 27 年 3 月に予定していた「精密調査前半」に資することを目的とした成果の取りまとめ、及び残された必須の課題を明確にした今後の計画の策定を、平成 26 年 9 月末までに行うこととしている。これに基づき、瑞浪超深地層研究所（結晶質岩）及び幌延深地層研究センター（堆積岩）の 2 つの深地層の研究施設において今後実施すべき必須の課題を検討した。これまで、瑞浪超深地層研究所では深度 500m まで、幌延深地層研究センターでは深度 350m までの立坑掘削と研究試験用の水平坑道を展開しながら、地質環境を調査・評価する技術や深地層における工学技術の開発を着実に進めてきた。

今後とも、長期にわたる地層処分事業の過程で科学技術の進歩や事業の進展状況等によって変化する研究ニーズに継続的に取り組んでいく必要があり、計画の策定にあたっては、深地層の研究施設がこうした長期の取り組みに対応する重要なインフラであることを念頭に置くことが必要である。

深地層の研究施設計画に係る必須の課題の抽出は、以下の方法により進めた。

— 今後の課題の網羅的抽出と必要性の確認

- ・ 当初の研究開発計画に対する第 2 期中期計画期間までの達成度を明らかにした上で、処分事業進展段階（図 3-1）に沿った必須の課題の抽出
- ・ 第 2 期中期計画期間までに「精密調査前半」までに適用する技術・手法の整備をほぼ終了したため、今後は「精密調査後半」以降に適用する技術・手法の研究開発に重点化—選定条件に基づく課題の必要性の確認
- ・ わが国は変動帯に位置するため安定大陸と比較して火山活動や地震活動などが活発であり、地質構造が複雑であること、降水量が多く地下水が豊富であることなどに留意
- ・ 設定した選定条件（諸外国での研究開発動向、国際的な課題、わが国固有の地質環境に係る課題、成果の汎用性、処分事業への貢献度等）（図 3-2）を踏まえた、課題の必要性の確認

— 国における最新の議論の考慮

- ・ 総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会「放射性廃棄物ワーキンググループ」及び「地層処分技術ワーキンググループ」における議論等を考慮

— 地層処分基盤研究開発に関する全体計画（平成 25 年度～平成 29 年度）（地層処分基盤研究開発調整会議，2013）に示された課題等との比較による確認

- ・ NUMO による課題（「地層処分事業の技術開発計画」（NUMO，2013））と比較（図 3-3）し、それら課題の整合性を確認
- ・ 関係研究開発機関及び NUMO からなる「地層処分基盤研究開発調整会議 運営会

議・統合 WG」において紹介された「精密調査後半」以降に必要となる NUMO の技術開発ニーズに対して、必須の課題の十分性を確認

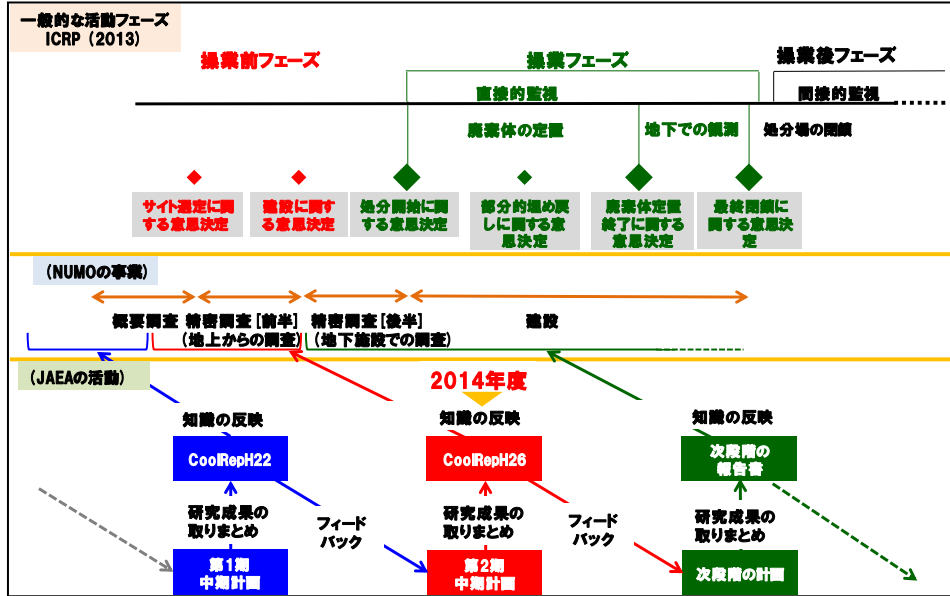


図 3-1 処分事業進展段階を対象とした研究成果の要点と反映先

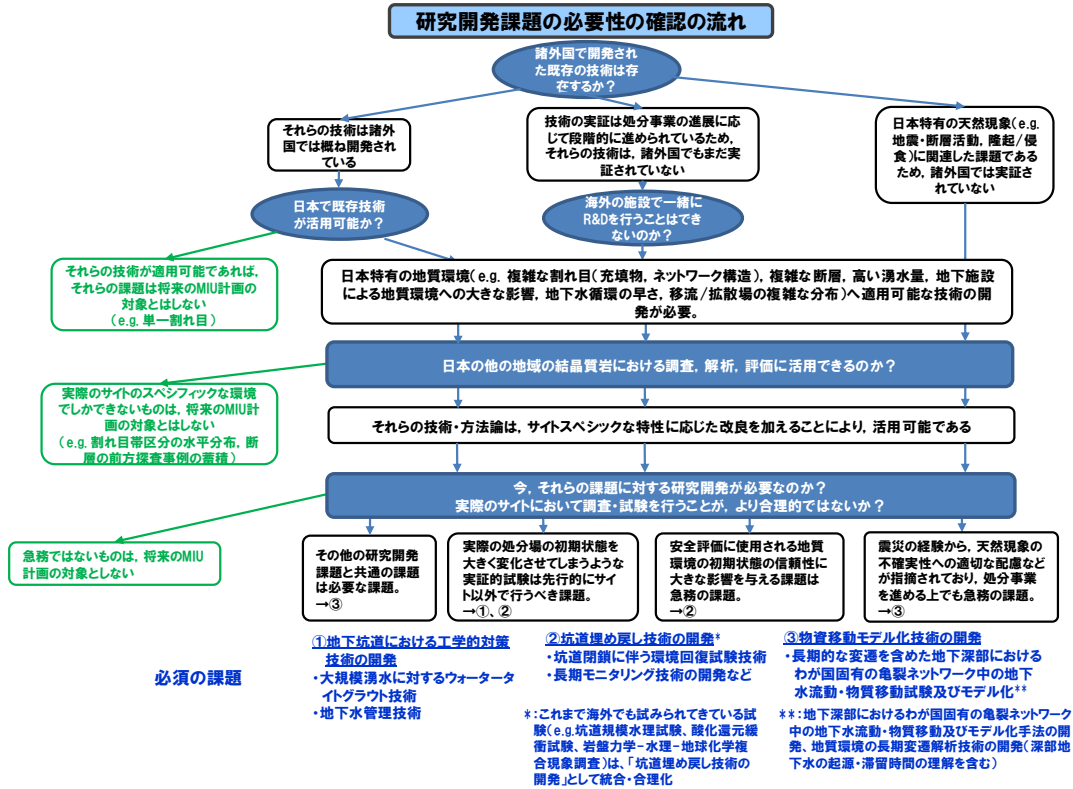


図 3-2 わが国の深地層の研究施設計画において解決すべき課題の確認 (瑞浪超深地層研究所の例)

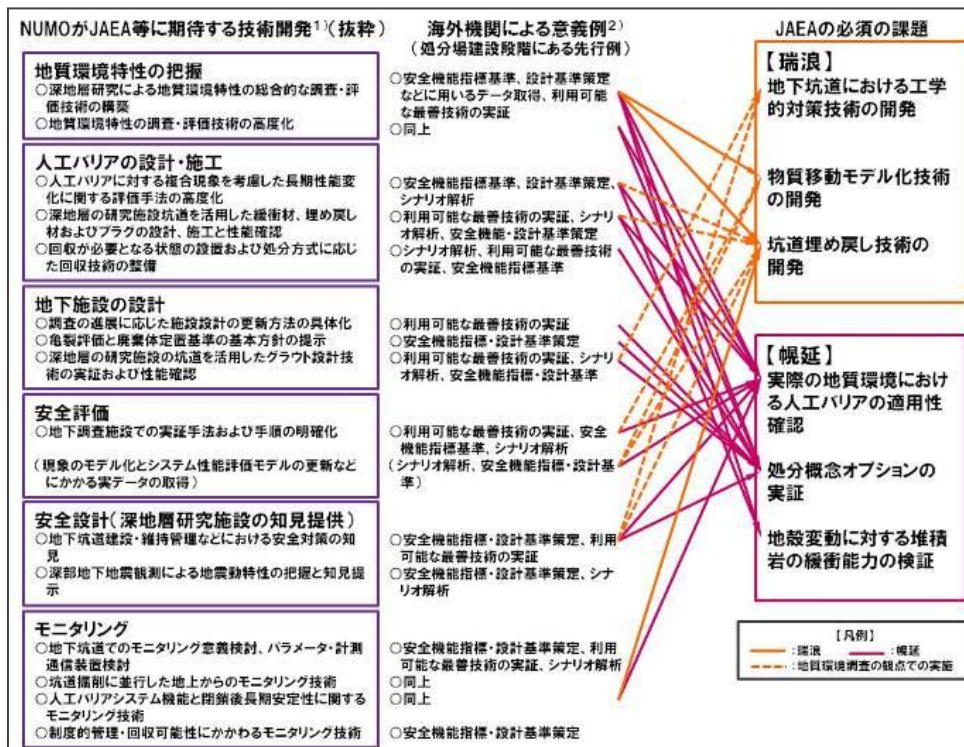


図 3-3 「地層処分事業の技術開発計画」(NUMO, 2013) の課題と必須の課題との対比

(2) 超深地層研究所計画

①抽出した必須の課題

上記(1)に示した考え方を踏まえて抽出した必須の課題を以下に示す。

- 地下坑道における工学的対策技術の開発（大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術*3、地下水管理技術）
 - ・ 深度 500m の研究坑道において、坑道への湧水量をプレグラウトとポストグラウト（図 3-4）の組合せによって制御可能とするウォータータイトグラウト施工技術を実証する。また、地下水排水処理技術等の地下水管理技術の高度化にも取り組む。

*3：坑道への地下水の湧水量を可能な限り低減させるグラウト技術。

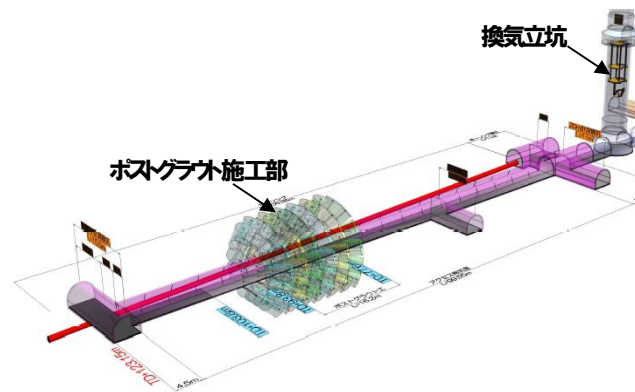


図 3-4 地下坑道における工学的対策技術の開発
 (「大規模湧水に対するウォータータイトグラウト技術」に関するポストグラウト工事のイメージ)

- 物質移動モデル化技術の開発（長期的な変遷を含めた地下深部におけるわが国固有の亀裂ネットワーク中の地下水流動・物質移動に関する試験及びモデル化技術）
 - ・深度 500m の研究坑道において、花崗岩中の割れ目での物質の移動現象を理解し、モデル化するための調査解析を実施する。また、割れ目の透水性及び地下水流動・水質の長期的変化や地下水流動の緩慢さを明らかにするための調査を実施する（図 3-5）。

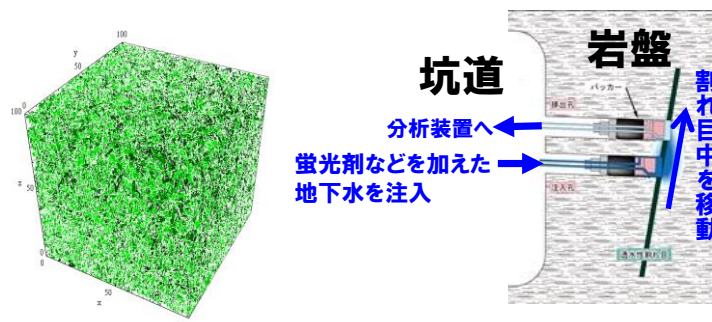


図 3-5 物質移動モデル化技術の開発
 (左図：割れ目分布モデルの例、右図：研究坑道内での物質移動試験の例)

- 坑道埋め戻し技術の開発（坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術、長期モニタリング技術など）
 - ・深度 500m の研究坑道において、坑道の一部を埋め戻し、地下水を自然に冠水させることによって、地下水の水圧・水質及び坑道周辺岩盤の化学的・力学的変化を観察し、地質環境の回復能力等を評価すると共に、地質環境に応じた埋め戻し技術の構築を目指す。また、長期の観測に必要なモニタリング技術の開発も実施する（図 3-6）。

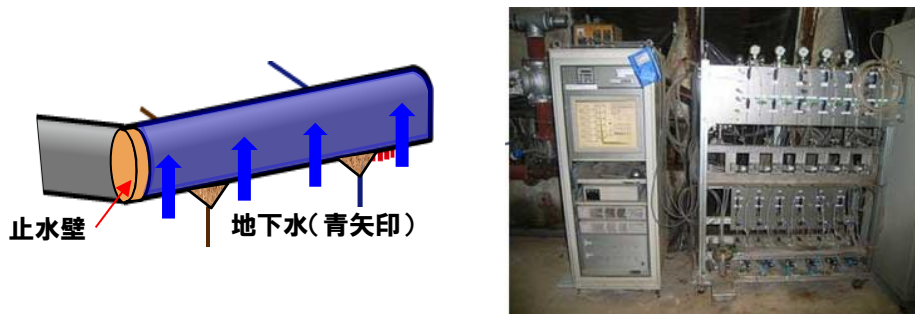


図 3-6 坑道埋め戻し技術の開発

(左図：再冠水試験のイメージ、右図：モニタリング装置の例)

②施設計画（坑道展開）

これまでの成果から、当該深度までの地質環境調査とモデル化技術は、ほぼ確立し、深度 500m まで展開した坑道に、大規模湧水箇所や、特性の異なる亀裂領域が存在していることを確認している。このため、深度 500m までで必須の課題に取り組む場が確保可能である。なお、深部塩水系地下水の起源・滞留時間を把握するための深度 500m 以深の深層ボーリングを実施する計画である。(図 3-7)。

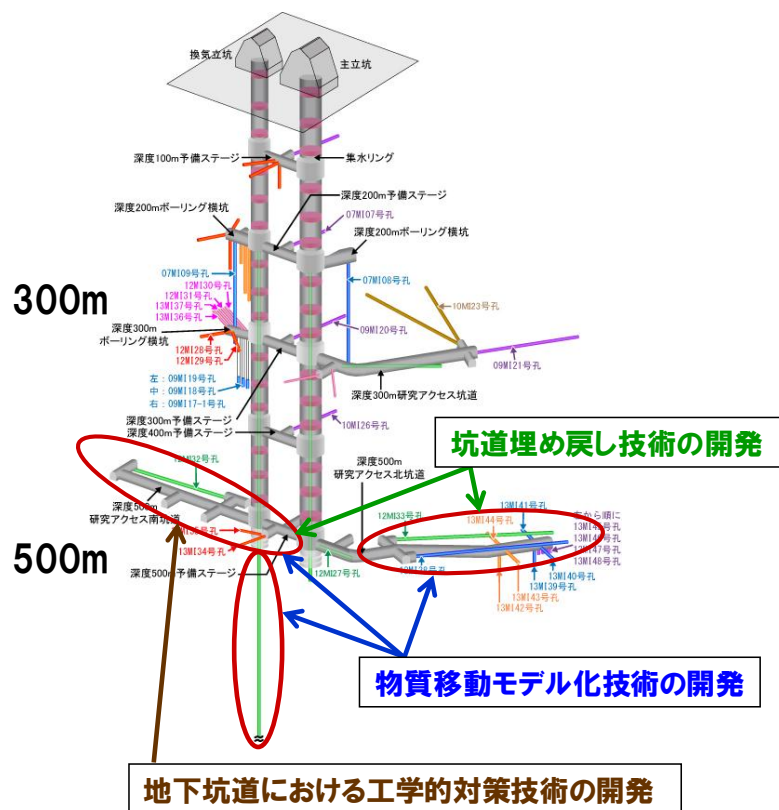


図 3-7 超深地層研究所計画の必須の課題と坑道展開図

③今後の取り組み

今後も地元との協定を遵守して、抽出された必須の課題に取り組む。

抽出した必須の課題を実施するため、水平坑道の掘削深度は平成 25 年度に掘削終了した深度 500m までとして土地賃貸借期間（平成 34 年 1 月まで）を念頭に置いて、研究を実施する。また、原子力機構の第 3 期中期計画期間（平成 27～31 年度）末までに、研究の進捗状況等を確認し、跡利用検討委員会での議論も踏まえ、坑道埋め戻しなどのその後の進め方について決定することとする。

（3）幌延深地層研究計画

①抽出した必須の課題

上記（1）に示した考え方を踏まえて抽出した必須の課題を以下に示す。

－実際の地質環境における人工バリアの適用性確認（人工バリア性能確認試験、オーバーバック腐食試験、物質移行試験）

- ・平成 26 年度から深度 350m 調査坑道で実施している人工バリア性能確認試験、オーバーバック腐食試験、物質移行試験を通して、実際の地質環境において、人工バリアや周辺岩盤中での熱-水-応力-化学連成挙動や物質移行現象などを計測・評価する技術の適用性を確認し、「精密調査後半」に必要となる実証試験の技術基盤を確立する（図 3-8）。

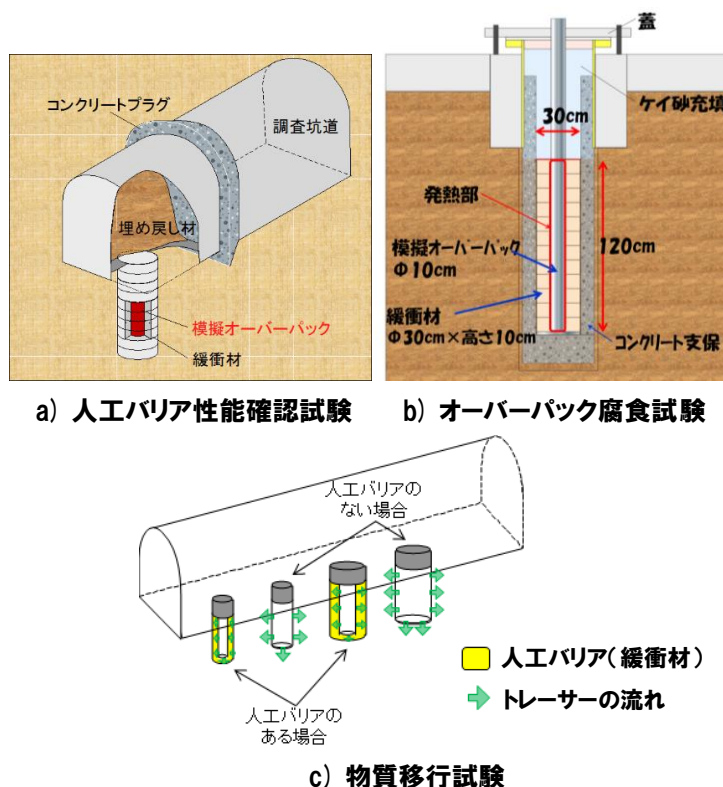
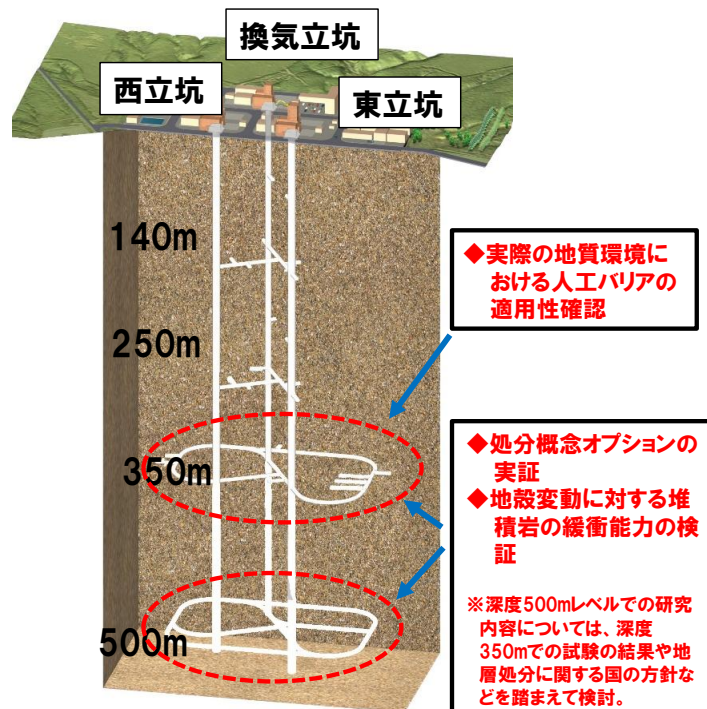


図 3-8 実際の地質環境における人工バリアの適用性試験

- 処分概念オプションの実証（処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験、人工バリアの定置・品質確認などの方法論に関する実証試験、高温（100℃以上）などの限界的条件下での人工バリア性能確認試験）
 - ・人工バリア設置環境の深度依存性を考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証し、多様な地質環境条件に対して柔軟な処分場設計を行うことを支援する技術オプションを提供する。
- 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証（水圧擾乱試験などによる緩衝能力の検証・定量化、地殻変動による人工バリアへの影響・回復挙動試験）
 - ・地震・断層活動等の地殻変動に対する力学的・水理学的な緩衝能力を定量的に検証し、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、より科学的・合理的に行える技術と知見を整備する。

②施設計画（坑道展開）

水平坑道展開深度については、深度による地質環境条件の変化を考慮した技術開発、特に温度・圧力条件を考慮した処分概念オプションの実証や地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証に取り組むため、「深地層研究所（仮称）計画」（平成10年10月）を踏まえ研究坑道を展開することとする（図3-9）。



深度500mの坑道展開については、必須の課題の実施に必要な最小限のレイアウトにしていく。

図3-9 幌延深地層研究計画の必須の課題と坑道展開図

③今後の取り組み

今後も地元との協定を遵守して、抽出された必須の課題に取り組む。

抽出された必須の課題のうち、「実際の地質環境における人工バリアの適用性確認」については、人工バリアやその周辺の地質環境に関する基盤的な計測・評価技術の確立を目指して、平成26年度に開始した深度350m調査坑道における人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験及び物質移行試験を着実に進める。

深度500mレベルでの研究内容については、深度350mでの調査研究の成果や地層処分に関する国の方針などを踏まえて検討する。また、研究終了までの工程やその後の埋め戻しについては、第3期中期計画期間中に決定することとする。

(4) 研究課題の合理化について

研究課題は、第2期中期目標期間までの達成度を明らかにした上で抽出された課題を踏まえて、国際的な課題、我が国固有の地質環境に係る課題、処分事業への貢献度等の選定条件を踏まえた必要性の確認等を行い、絞り込みを行った。

その結果、瑞浪超深地層研究所における必須の課題に関する研究は、深度500mまでの研究坑道で実施できることを確認し、集約することとした。

幌延深地層研究センターにおいては実施すべき研究を絞り込み、深度500mの坑道展開については必須の課題がより明確になった場合において、必要最小限のレイアウトで検討していく。

また、外部資金を含め、多角的な予算獲得に努める。

(5) 国内外専門家による必須の課題の妥当性の確認

必須の課題（案）について、機構内の委員会（「地層処分研究開発・評価委員会」：平成25年12月11日、平成26年3月27日、平成26年6月30日、平成26年9月5日、「深地層の研究施設計画検討委員会」：平成25年12月11日、平成26年2月27日）において審議を重ね、概ね妥当であるとの評価を受けた。「地層処分研究開発・評価委員会」において、深地層の研究施設計画についての見解（平成26年9月19日）として、「これまでの成果が適切に前倒しして取りまとめられ、必須の課題を明確にした今後の計画が策定されている」等とされ、必須の課題とともに成果の妥当性が示された。さらに、「今後も2つの深地層の研究施設計画を継続し地層処分技術に関する研究開発および国民との相互理解促進を進めていくべきである」等、深地層の研究施設の重要性も指摘された。

また、国際レビューワークショップ（6月18日～20日）においても、現在の知識レベルの過不足を明らかにしているとともに、将来に焦点を当てるべき研究開発テーマを特定していることなどの評価を得ている。

2) 地質環境の長期安定性研究の今後の課題

(1) 研究課題の設定の考え方

第2期中期計画期間の研究開発は、計画に沿って着実に成果を上げてきている。

東日本大震災後、地質環境の長期安定性研究に対する要求が強まっている。このような東日本大震災後の状況も踏まえ、地質環境の長期安定性研究の今後の課題を抽出した。これらの課題に取り組むにあたり、深地層の研究施設計画で抽出された必須の課題との連携を図る。

(2) 今後の課題

①断層の活動性に係る評価技術

—坑道で遭遇したような上載地層法*4が用いられない断層の活動性や地すべりに伴うノンテクトニック断層の判定の評価技術等

②地殻構造の高精度・高分解能モニタリング技術

—鳥取県西部地震の震源断層のような未成熟な断層の検出技術や処分場閉鎖後の長期（～300年）のモニタリング技術等

③稀頻度自然現象による地質環境への影響の評価技術

—巨大海溝型地震による沿岸域での地質断層の再活動、地下水の異常湧出による影響評価技術や、断層の伸展に伴う地質環境の変化（深部流体（熱水）の上昇、表層水の混入）の評価技術等

④時間スケールに応じた地圏環境変動の予測技術

—測地学的スケールと地形・地質学的スケールの変動速度の矛盾の解明、10万年を超えるような超長期の予測技術の整備、モデルの高度化（可視化・数値化）による予測に対する信頼性の向上等

*4：通常の活断層の評価の時に使う方法で、12～13万年前の地層を基準にして、断層がその地層をずらしていれば活断層、そうでなければ地質断層と見なす。

3) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発及び使用済燃料の直接処分研究開発の今後の課題

(1) 研究課題の設定の考え方

(研究課題の背景、基盤調整会議全体計画との関係)

第2期中期計画期間の研究開発は、計画に沿って着実に成果を上げてきている。ここで、第2期中期計画期間中に実施した研究開発は、地層処分基盤研究開発に関する全体計画に沿って実施したものであり、その実施を通じて抽出された個々の研究テーマに係る課題も全体計画に沿った研究開発を進めるうえで必須のものである。

(わが国固有の課題への取組み)

変動帯に位置することに起因する天然現象による影響の可能性はわが国での地層処分に係る設計や安全評価を考えるうえで重要な課題である。この課題は、東日本大震災のあと国民的な関心も高くなってきている。また、現段階ではわが国でのサイトの条件が明らかになっていないことから、研究開発としては地質環境条件の多様性や不確実性を考慮した取り組みを実際の地質環境への適用に留意しつつ実施することが重要な課題となる。

(研究課題の抽出手順)

第2期中期計画期間中の研究開発を実施する中で、個々の研究テーマに係る課題を以下の考え方で抽出する。

- 地層処分に係るニーズと第2期中期計画期間中の成果の差分（例えば、継続的に取り組むべき課題）
- 第2期中期計画期間中に具体化された地層処分に係るニーズ（例えば、代替処分オプションとしての使用済燃料の直接処分に係る調査・研究）
- 第2期中期計画期間中の研究開発を実施する中で見出された課題（例えば、改良・高度化に向けた課題、新規課題）

これら個々の研究テーマに係る課題を下記の視軸のもとに整理することで、高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発と使用済燃料の直接処分研究開発のそれぞれの研究開発の今後の全体的な方向性を明らかにすることとした：

- 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発：処分システム構築・評価解析技術の先端化研究
- 使用済燃料の直接処分研究開発：「第2次取りまとめ」での技術的信頼性の例示

(2) 高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発

- ニアフィールド複雑系の評価解析技術開発
 - ・ 処分場閉鎖前から処分場閉鎖後長期にわたるニアフィールドシステム変遷に関する一貫した現象論的モデルとデータベース開発
 - ・ 工学規模や実規模あるいは処分場で想定される地下環境条件での工学技術の実証研究
- 地質環境の長期変動に関わる研究成果の活用
 - ・ 天然現象の影響を考慮したシナリオ及び安全評価モデルの開発
 - ・ 長期変動にリンクした生活圈モデル開発
- 合意形成プロセスを考慮した処分概念構築手法の開発
 - ・ 代替処分概念の検討
 - ・ 合意形成の促進に資するモニタリング技術等の開発
 - ・ レジリエンス的視点を考慮した地層処分システムのロバスト性概念の検討
- 地層処分システム評価確証技術の統合化
 - ・ 要素技術相互の関連性を踏まえ、先端的技術等を反映した系統的統合
 - ・ 関連する多種多様な知識の体系化

(3) 使用済燃料の直接処分研究開発

- 使用済燃料及び地質環境条件の多様性や不確実性を考慮した設計及び安全評価（シナリオ・モデル・パラメータの設定と評価解析）
- 上記の設計・安全評価及びセーフティケースの検討を通じた、わが国における使用済燃料直接処分の技術的信頼性の例示（「第2次取りまとめ」）
- 「第2次取りまとめ」以降の研究開発の展開を見据えた試験研究計画の立案

4. おわりに

「日本原子力研究開発機構の改革計画 自己改革―「新生」へのみち―」において、深地層の研究施設計画については、平成 27 年 3 月に予定していた「精密調査前半」に資することを目的とした成果の取りまとめ、及び残された必須の課題を明確にした今後の計画の策定を、平成 26 年 9 月末までに行うこととした。

これを踏まえ、第 2 期中期計画期間中の瑞浪超深地層研究所及び幌延深地層研究センターにおける調査研究の成果を前倒して取りまとめた。第 2 期中期計画期間中の調査研究では、処分事業の進展段階に沿った成果の意義と反映先を明確化した上で、「精密調査前半」までに資する研究開発をほぼ終了し、これらの成果を、実施主体や安全規制機関等による活用の際の利便性の向上と情報の追跡性の確保を図るために CoolRepH26 として取りまとめた。

第 2 期中期計画期間までの達成度を踏まえて、今後は処分事業の「精密調査後半」以降に適用する技術・手法の開発に重点化することとして、深地層の研究施設計画の必須の課題を抽出した。必須の課題の研究テーマは、国における最新の議論を反映し、わが国の地質環境特性を踏まえた上で、諸外国での研究開発動向や瑞浪超深地層研究所・幌延深地層研究センターでの成果の汎用性などのわが国での研究開発課題の必要性と比較することにより絞り込み、各々 3 つの必須の課題に集約した。これらは処分事業の実施主体のニーズと対比し、その整合性を確認している。また、施設規模の見直し等の合理化の方向性を示した。

併せて、地質環境の長期安定性研究及び高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発についても、第 2 期中期計画期間中の成果を CoolRepH26 として取りまとめるとともに今後の課題も明らかにした。

参考：地層処分技術開発の位置づけ

＜原子力政策大綱：平成17年10月11日＞

- 廃棄物の効果的で効率的な処理・処分を行う技術は循環型社会の実現を目指す我が国社会にとって必須の技術である。このことを踏まえて、研究開発機関等は、放射性廃棄物の効果的で効率的な処理・処分を行う技術の研究開発を先進的に進めるべき
- 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
- 国及び研究開発機関等は、全体を俯瞰して総合的、計画的かつ効率的に進められるよう連携・協力するべき

＜特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針：平成20年3月14日改定＞

- 国及び関係研究機関は、最終処分の安全規制・安全評価のために必要な研究開発、深地層の科学的研究等の基盤的な研究開発及び地層処分技術の信頼性の向上に関する技術開発等を積極的に進めていく
- 関係研究機関は、最終処分の安全性、信頼性について、分かりやすい情報発信に努めるとともに、深地層の研究施設等においては、当該研究施設や研究開発の内容の積極的な公開等を通じて、特定放射性廃棄物の最終処分に関する国民との相互理解促進に貢献していくことが重要

＜エネルギー基本計画：平成26年4月＞

- 廃棄物を発生させた現世代の責任として将来世代に負担を先送りしないよう、高レベル放射性廃棄物の問題の解決に向け、国が前面に立って取り組む必要がある。
- 高レベル放射性廃棄物については、我が国においても、現時点で科学的知見が蓄積されている処分方法は地層処分である。他方、その安全性に対し十分な信頼が得られていないのも事実である。したがって、地層処分を前提に取組を進めつつ、可逆性・回収可能性を担保し、今後より良い処分方法が実用化された場合に将来世代が最良の処分方法を選択できるようにする。
- このような考え方の下、地層処分の技術的信頼性について最新の科学的知見を定期的かつ継続的に評価・反映するとともに、幅広い選択肢を確保する観点から、直接処分など代替処分オプションに関する調査・研究を推進する。あわせて、処分場を閉鎖せずに回収可能性を維持した場合の影響等について調査・研究を進め、処分場閉鎖までの間の高レベル放射性廃棄物の管理の在り方を具体化する。