

第2期中期計画取りまとめ

① 取りまとめの骨格について

平成25年11月29日

地層処分研究開発部門
地質環境研究統合Gr

取りまとめに向けてのポイント

【範囲】

- 第2期中期計画としての取りまとめ（深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性に関する研究）

【反映先】

- 処分事業の各意思決定ポイント（に資する技術基盤）に照らし合わせて、整理

【構造化】

- 反映先の時間軸に沿ったまとめ群として分類
- まとめ群内：各成果をダイジェストとしてまとめ、ダイジェスト群からコアメッセージを提示
- 成果の構造化と同時に、同じ構造で課題群とそれから必須の課題を導出

【成果及び課題の充足性】

- 処分事業の先行例である海外の安全評価レポートの情報と対比（SR-Site等）

研究成果の要点と反映先

※OECD/NEA (2012) より

作業前フェーズ

作業中フェーズ

作業後フェーズ

直接的監視

間接的監視

監視なし

廃棄体の定置

地下での観測

処分場の閉鎖

サイト選定に関する意思決定

建設に関する意思決定

処分開始に関する意思決定

部分的埋め戻しに関する意思決定

廃棄体定置終了に関する意思決定

最終閉鎖に関する意思決定

追加対策に関する意思決定

追加対策に関する意思決定

各意思決定ポイントに反映

～第2期中期計画取りまとめ (H26)

- ✓母岩領域や移行経路として重要な構造の分布、各地質環境条件の初期状態と掘削影響挙動、長期の頑健・緩衝性能メカニズムを科学的に解明
- ✓サイト選定から地下施設の建設に至る一連のプロセスが工学的に可能であることを実証

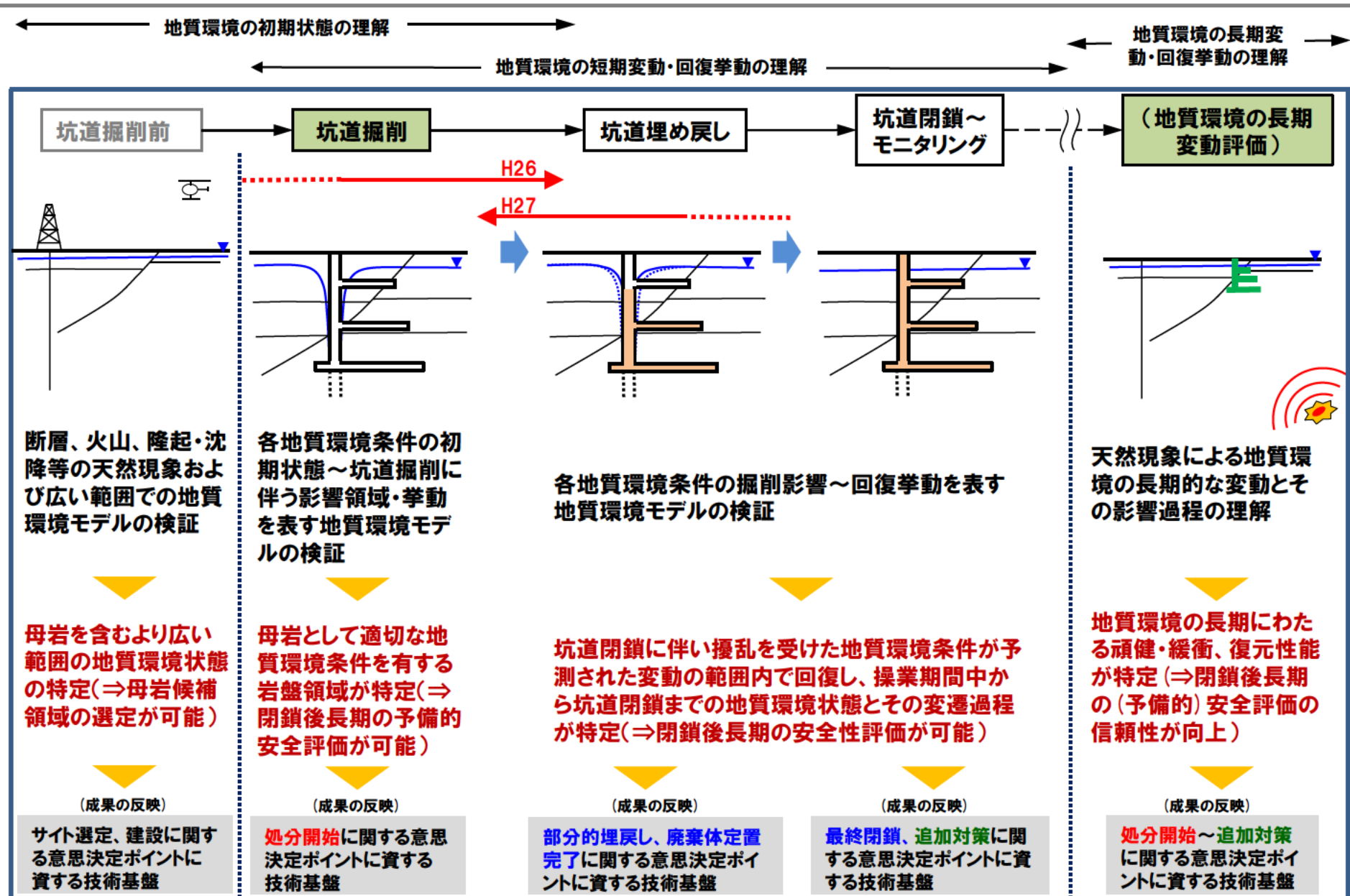
- 地上からの調査に基づく地質環境モデルと坑道掘削に伴う地質環境変化の予測の信頼性を実際の調査観測データに基づき確認
- 天然現象による地質環境の長期的な変動とその影響過程(頑健・緩衝性能)を調査解析する手法を開発

次の計画のイメージ

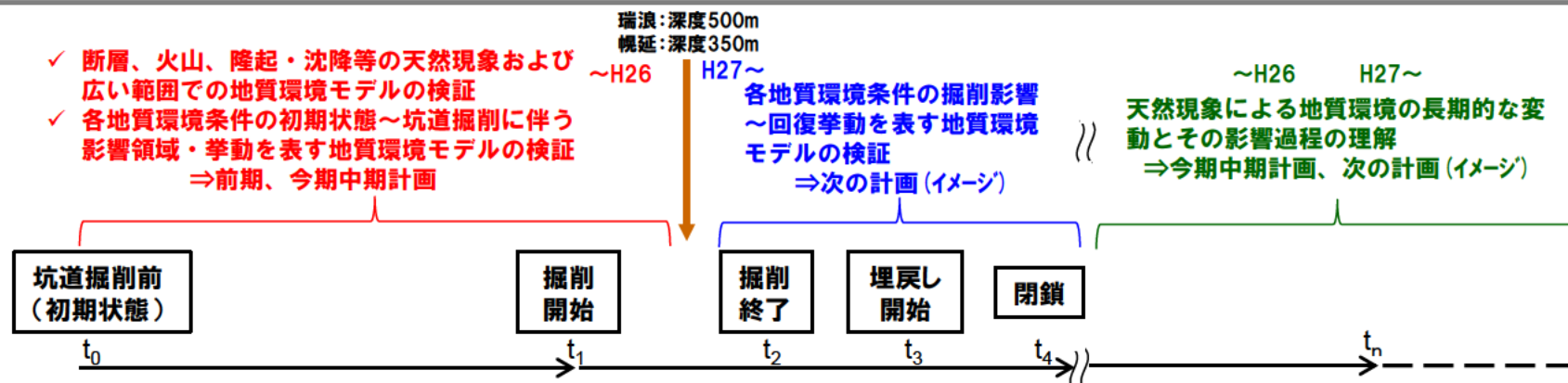
- ✓作業終了時における地質環境条件の回復挙動、長期の復元性能メカニズムを科学的に解明
- ✓地下施設の建設から閉鎖に至る一連のプロセスが工学的に可能であることを実証

- 人工材料の施工や坑道埋戻しに伴う地質環境変化(特に回復過程)の予測の信頼性を実際の調査観測データに基づき確認
- 天然現象による地質環境の長期的な変動とその回復過程(復元性能)を調査解析する手法を開発

各調査段階における評価項目



取りまとめの構造



	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
第2期中期計画におけるコアメッセージ	- 坑道掘削前の母岩の地質環境状態を限られた調査量で予測 - Multiple lines of evidenceによる地質環境モデルの不確実性評価→信頼性が大きく向上	- 地下数百mまでの掘削(瑞浪:地下500m、幌延:地下350m)による影響範囲とそのメカニズムを把握 - 観測精度と費用対効果の両面を満足する技術体系を構築	天然現象による地質環境の長期的な変動とその影響過程を把握する調査解析技術の整備
成果ダイジェスト(例)	- 地上からの調査による地質環境モデルの信頼性および限界幅の提示 - 不均質性岩盤の効果的探査と不確実性の低減技術 - 品質マネジメントシステムの整備 など	- 掘削に伴う地下水圧・湧水量、水質変化挙動の理解 - 掘削影響領域評価技術 など	- 地震時の岩盤物性、地下水の水圧・水質の応答・回復メカニズム - 断層年代測定技術 - 天然現象(隆起・浸食、地震・断層活動、気候・海水準変動)による地下水への影響評価解析技術の解析 など



B群) 研究成果の知識統合のためのツールの整備

地質環境モデルの特徴・留意点などの情報共有、使用した情報の追跡性確保のためのツール群

第2期中期計画成果のコアメッセージ（案）（1）

A1) 地質環境の初期状態の理解

坑道掘削前の母岩の地質環境状態を限られた調査量で精度良く予測する調査解析手法やその組み合わせを花崗岩と堆積岩のそれぞれにおいて整備し、その有効性を実際の地質環境条件下で検証した。さらに、Multiple lines of evidence (複数の独立した証拠群) による地質環境モデルの不確実性評価を試み、評価結果の信頼性が向上する可能性を示した。

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解

地下施設建設に伴う地質環境状態の変化と回復挙動の科学的理解に向けて、地下数百mまでの掘削(瑞浪:地下500m、幌延:地下350m)による影響範囲とそのメカニズムを明らかにするとともに、重要度の高いモニタリング／解析技術を特定し、観測精度と費用対効果の両面を満足する技術体系を構築した。

第2期中期計画成果のコアメッセージ(案) (2)

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解

地下施設の閉鎖後に想定される天然現象に伴う地質環境の長期的な変動の傾向やパターンを推測する技術を整備し、それらの確度や精度を実際の地質環境条件下で確認した。さらに、地質環境の変動特性に関する知見を蓄積し、汎用性の高い基盤情報(データベース)として整備した。

B) 成果の統合および知識の伝達・伝承ツールの整備

研究成果(A1～A3)について、地質環境モデルを中心に、追跡性を確保し、関係者間で共有するとともに、設計・安全評価への知識伝達を行うツールが整備できた。

成果の詳細(成果ダイジェスト)の構成(案)

A1) 地質環境の初期状態の理解

- 地上からの調査による地質環境モデルの信頼性および限界幅の提示
- 不均質性岩盤の効果的探査と不確実性の低減技術
- ...

A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解

- 掘削に伴う地下水圧・湧水量、水質変化挙動の理解
- 掘削影響領域評価技術
- ...

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解

- 地震時の岩盤物性、地下水の水圧・水質の応答・回復メカニズム
- 断層年代測定技術
- ...



B) 成果の統合および知識の伝達・伝承ツールの整備

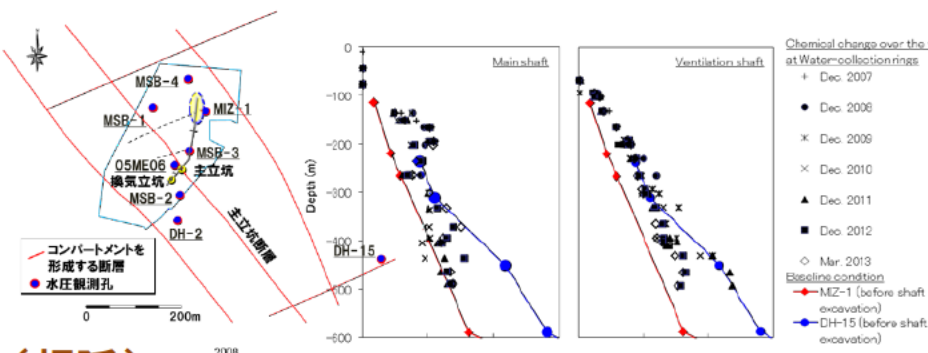
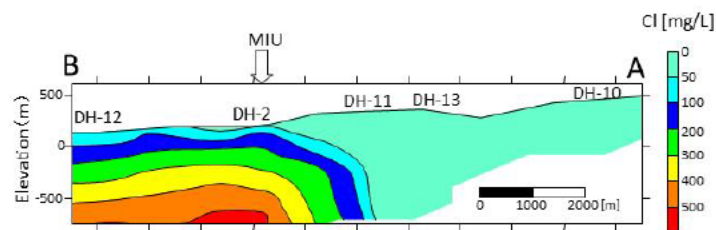
- 地質環境モデルの特徴の共有化
- 地質環境モデル構築にあたっての留意点の共有化
- ...

成果ダイジェストの例 A1)地質環境の初期状態の理解

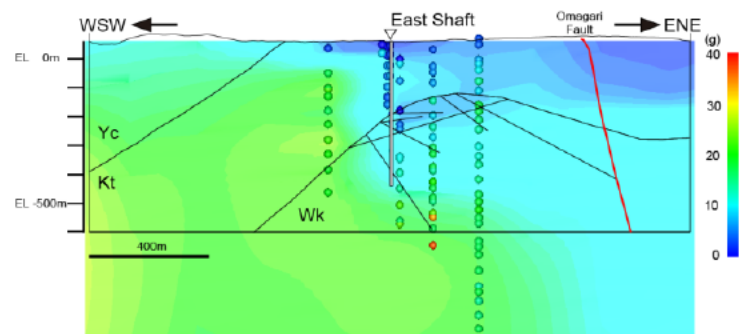
—地上から地球化学特性の三次元分布を把握するための調査技術—

施設建設時の新たな知見(コンパートメント構造を踏まえたボーリング孔配置, 孔間水理試験, モニタリング思想など)により, 地上からの調査時に不可欠な考え方, 具体的対応方法を明示した

(瑞浪)



(幌延)



● 観察により得られた知見

月吉断層や主立坑断層を境に, 地下水水質が異なる(瑞浪)。割れ目帯周辺で(塩分濃度)が異なる(幌延)。実際に地下水水質分布に影響を与え得る水理地質構造として, 礫岩層, 断層, 不整合面, 割れ目帯が挙げられる

➤ 地質環境調査実施時のノウハウを整理した

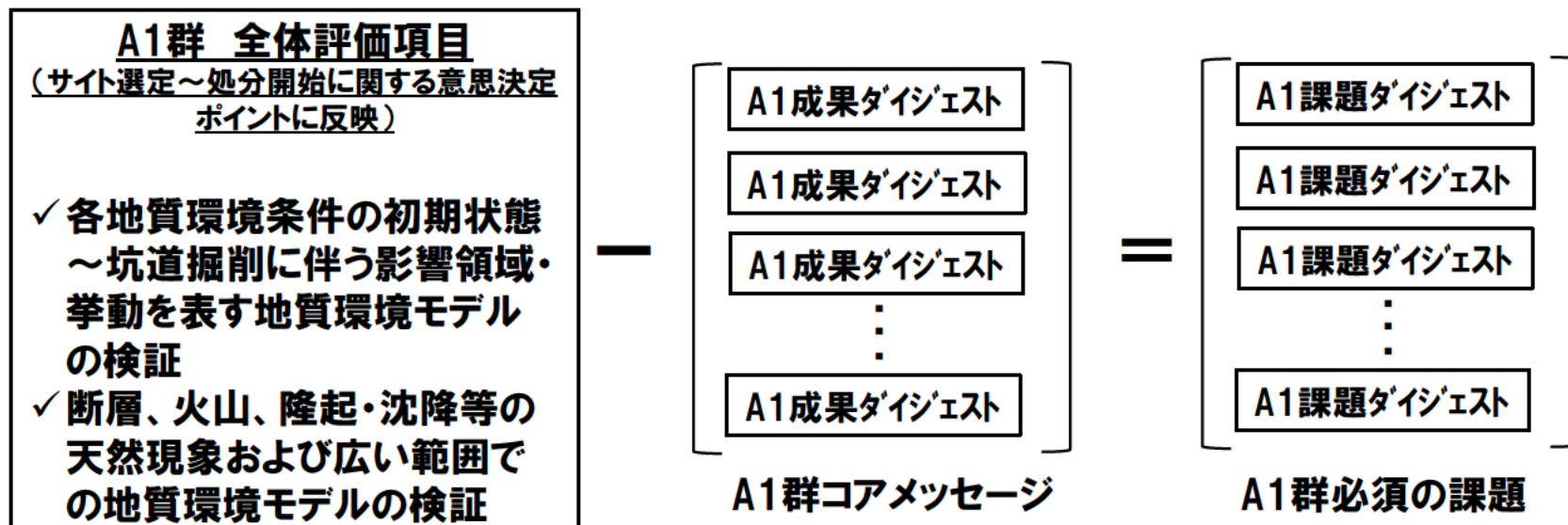
- ✓ 以上の地質構造が認められる場合, その両側で地下水水質を確認可能な調査レイアウトとする(水理地質学的コンパートメント毎に最低1本のボーリングを配置する)
- ✓ 施設建設時の周辺環境の擾乱範囲, 程度を事前評価するため, コンパートメント間のボーリング孔を利用した長期揚水試験の実施が望ましい
- ✓ 地下施設に達する可能性のある地質構造を含む観測孔は, 長期モニタリング孔として活用する
- ✓ 地下水の物理化学パラメータは, 地上からの調査では予察的な情報の取得に留まり, 坑道からの調査により補完する必要がある

施設閉鎖後のモニタリングの知見を地表からの調査段階時のモニタリング孔配置計画にフィードバック

研究成果の統合的取りまとめ

ー成果ダイジェスト、課題ダイジェストに基づくコアメッセージ、必須の課題の導出ー

A1) 地質環境の初期状態の理解



A2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解

....

A3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解

....

研究成果の統合的取りまとめ(案)(A1地質の例)

—成果ダイジェストマップによる網羅性と利便性の確保—

コアメッセージ

坑道掘削前の母岩の地質環境状態(ベースラインコンディション)を限られた調査量で精度良く予測する調査解析手法やその組み合わせを花崗岩と堆積岩のそれぞれにおいて整備し、その有効性を実際の地質環境条件下で検証した。さらに、Multiple lines of evidence(複数の独立した証拠群)による地質環境モデルの不確実性評価を試み、評価結果の信頼性が大きく向上する可能性を示した。

地質・地質構造

処分パネルの展開に適した岩体の分布、地下深部の断層や物質・地下水の移行経路となる構造の分布を把握するための調査解析技術やモデル化技術を整備

岩盤中の水理

....

成果ダイジェスト群

対象岩盤の分布と形状、および岩盤の地質学的不均質性を把握するための調査技術

- 地表地質調査、物理探査、ボーリング調査の組み合わせにより、断層の分布や割れ目の頻度などを考慮した対象岩盤の地質学的分類が可能になった。
- 従来は個別に進められてきた調査内容をトップダウン的に整理することにより、各種調査結果に基づき地質構造モデルを構築するための方法を整備した。
- 従来のモデルでは明示されなかった、調査の進展にともなう地質環境の理解度や構築した地質構造モデルの不確実性の表示方法を整備した(一部実施中)。
- 地表露頭調査、物理探査、ボーリング調査等の組み合わせにより、従来の地質図には記載されていなかった断層についても、方向性や頻度分布を概ね把握することが可能になった。
- 坑道周辺に分布する断層について、ボーリング調査以外で把握することが困難であった花崗岩中の断層分布について、前方探査(逆VSP探査)により、分布を把握できる可能性を示した。

移行経路として重要な構造を把握するための調査・観測技術、モデル化・解析技術

- 透水性の異なる岩盤領域を、岩盤の割れ目頻度や地山強度比から区分して、モデル化することが可能となった。
- 坑道の壁面観察により、従来は少数の事例が知られているにすぎなかった、岩盤中の割れ目や断層等の詳細な分布・特性を確認できた。
- コンパートメントなどの地下水流動に影響する構造の分布を、坑道掘削中の自然電位測定により把握できる可能性を示した。

課題ダイジェスト群

- 対象岩盤となる割れ目が少ない領域は、水平方向への深度変化が激しいと推定されることから、処分パネル配置の検討に資するためには、より広範囲での割れ目帯区分の妥当性確認が必要
- 幅が数m以上の断層の存在は地上からの調査で把握できるものの、地下深部では位置の推定に数十m以上の誤差を含むことから、地下深部の断層の位置を把握するための調査技術の整備が必要
- 坑道周辺の断層の分布を推定するための調査・解析技術として、前方探査による花崗岩中の断層分布の把握に関する適用条件の確認が必要

- 割れ目の分布は深度方向および水平方向に不均質であるため、不均質性を把握する調査とモデル化の手法についての検討が必要
- 割れ目の不均質性や形成プロセスの把握に資する知見の蓄積と、それらの調査・評価手法の整備が必要
- 自然電位測定を用いた水理地質構造の把握における適用条件の確認が必要

必須の課題

(課題1)

研究成果の構造的可視化(案)

—成果マップによる追跡性の確保(幌延の例)—

地上・海上調査(その1:論文3件、技術報告書15件)

松尾ほか(2004)「幌延深地層研究計画における電磁法による大曲断層調査」(JNC-TJ5410 2004-002)

三箇(2004)「幌延地域におけるリニアメント調査」(JNC-TJ5420 2004-001)

高畑ほか(2004)「幌延町における新第三紀堆積岩の地質・地質構造に関する調査」(JNC-TJ5420 2004-002)

「幌延町における新第三紀堆積岩の地質・地質構造に関する調査」[付録](JNC-TJ5420 2004-002-Appendix)

津久井(2005)「幌延における地質環境の長期安定性研究に関わる観測データ集-電磁探査機器およびGPS機器による長期観測-」(JNC-TN5450 2004-001)

安江(2005)「Data book of the fossil diatoms after the Neogene in the Horonobe town」(JNC-TN5450 2005-001)

上田ほか(2005)「幌延深地層研究計画に係る環境調査(平成16年度)報告書」(JNC-TJ5420 2004-006)

堀田(2005)「幌延町周辺地域を対象とした地震観測データの解析」(JNC-TJ5410 2005-004)

瀬尾ほか(2005)「幌延深地層研究計画における水収支法による地下水涵養量の推定-2003年8月~2004年7月-」(JNC-TN5400 2005-005)

下茂ほか(2005)「表層部における堆積軟岩の水理・物質移行特性データの取得」(JNC TJ5410 2005-003)

高橋(2005)「幌延深地層研究計画における地表踏査およびボーリング調査の各種測定・分析データ集」(JNC-TN5400 2005-010)

小川ほか(2005)「幌延岩石コアの拘束圧下における弾性波速度測定」(JNC-TN8400 2005-011)

安江ほか(2005)「北海道北部、幌延町における大曲-豊富断層の正確な位置の特定」(活断層研究:25号:39-46ページ)

新里ほか(2005)「幌延地域における地質環境の長期安定性に関する研究-長期安定性の評価・予測における地域特性の考慮-」(原子力バックエンド研究)

石井ほか(2006)「北海道北部、幌延地域における大曲断層の三次元分布と水理特性」(地質学雑誌)

青柳ほか(2006)「幌延深地層研究計画第2段階(平成17~21年度)を対象とした工学技術の適用性検討に関する計画案」(JAEA-Review 2006-014)

一安ほか(2006)「幌延深地層研究計画にかかわる環境調査,平成17年度(委託研究)」(JAEA-Research 2006-041)

津久井ほか(2007)「幌延深地層研究計画における高密度反射法地震探査,マルチオフセットVSP探査,重力探査」(JAEA-Data/Code 2006-026)

太田ほか(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」(JAEA-Research 2007-044)

研究成果の網羅性

－スウェーデン SKB SR-site(2011)との比較に基づく成果・課題の検証－

SR-site (2011) における目次構成	本取りまとめにおける該当項目の有無※
1 はじめに	
2 方法	
3 FEP分析	
4 Forsmarkサイト	
4.1 はじめに	
4.2 Forsmark地域(の概要)	○
4.3 岩石ドメインとそれらに関連した熱・力学特性	○
4.4 変形ゾーン、割れ目ドメインと割れ目	○
4.5 岩盤応力	○
4.6 基盤岩の水理特性	○
4.7 割れ目ドメインと水理地質構造DFN、岩盤応力の統合モデル	○
4.8 地下水(の地球化学特性)	○
4.9 基盤岩の物質移行特性	○
4.1 表層システム	○
5 処分場の初期状態	
5.1 はじめに	
5.2 処分場に適合したサイトー地下開削	○
5.3 燃料とキャニスター空洞(部)の初期状態	
5.4 キャニスターの初期状態	
5.5 緩衝材の初期状態	
5.6 埋め戻し位置トンネルの初期状態	○
5.7 処分場の閉塞と処分場の他の工学的要素の初期状態	○
5.8 モニタリング	○
6 外的条件のハンドリング	
6.1 はじめに	
6.2 気候に関連した事項	○
6.3 将来の人的行動	
7 内的プロセスのハンドリング	
8 安全機能と安全機能指標	
9 入力データの編集	
10 Forsmarkサイトにおける処分場の代表的な時間的変遷の解析	
10.1 はじめに	
10.2 掘削と操業フェーズ	○
10.3 閉鎖後における温暖気候の初期フェーズ	○
10.4 代表的な氷河サイクルにおける残されたフェーズ	○
10.5 その次の氷河サイクル	○
10.6 地球温暖化による変化	○
10.7 代表的な変遷の解析からの結論	○
11 シナリオの選択	
12 選択されたシナリオの封じ込め可能性の解析	
13 選択されたシナリオの遅延可能性の解析	
14 追補的解析と補足議論	
15 結論	

○該当項目有、○一部該当

※深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性に関する研究を対象

- 堆積岩については、オパリナスクレイプロジェクト(2002)を参照・レビュー
- 本取りまとめは、SR-site(2011)で記述されている項目(地質環境特性、長期にわたる地質環境の変遷)を網羅しているほか、変動帯に位置するわが国の地質学的特徴(地震・断層、火山、隆起・沈降など)についてもカバー
- 地下施設を活用した研究成果の導出が今後の主要な課題

※ NUMOの技術開発計画(2013)との整合性については別途確認

成果ダイジェストA1) 地質環境の初期状態の理解 ーまとめ(案)ー

- 坑道掘削前の母岩の地質環境状態(ベースラインコンディション)を限られた調査量で精度良く予測する調査解析手法やその組み合わせを瑞浪、幌延のそれぞれで整備、検証(調査・解析手法は、結晶質岩・堆積岩で共通する部分と固有な部分が存在)
- Multiple lines of evidence (複数の独立した証拠群) による地質環境モデルの不確実性評価により、評価結果の信頼性が向上



- 構築した技術や蓄積された技術的ノウハウは、複雑(不均質)な地質環境条件や制約条件を有する環境下に対応
- わが国に分布する結晶質岩・堆積岩において、母岩として適切な地質環境条件を有する岩盤領域を地上から特定することが可能



必須の課題

成果ダイジェストA2) 地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —まとめ(案)—

コアメッセージ

- 地下施設建設に伴う地質環境状態の変化と回復挙動の科学的理解に向けて、地下数百mまでの掘削(瑞浪:地下500m、幌延:地下350m)による影響範囲とそのメカニズムを解明
- 重要度の高いモニタリング／解析技術を特定し、観測精度と費用対効果の両面を満足する技術体系を構築



意思決定ポイントに対する技術的意味

- 花崗岩、堆積岩ともに、掘削影響領域(EDZ)の発生から進展に伴う過程を3(4)次元に予測、可視化することが可能
- わが国に分布する結晶質岩・堆積岩において、母岩として適切な地質環境条件を有する岩盤領域の地質環境特性を評価する際に有効



必須の課題

成果ダイジェストA3) 地質環境の長期変動・回復挙動の理解 ーまとめ(案)ー

- 地下施設の閉鎖後に想定される天然現象に伴う地質環境の長期的な変動の傾向やパターンを推測する技術を整備し、それらの確度や精度を実際の地質環境条件下で確認
- 地質環境の変動特性に関する知見を蓄積し、汎用性の高い基盤情報(データベース)として整備



- 天然現象による地質環境の長期的な変動とその影響過程を複合的に評価することが可能
- 地質環境の長期にわたる頑健・緩衝、復元性能の理解(実証、信頼性の向上)に目途



必須の課題

成果ダイジェストB) 研究成果の知識統合のためのツールの整備 ーまとめ(案)ー

- 研究成果(A1～A3)について、地質環境モデルを中心に、追跡性を確保し、関係者間で共有するとともに、設計・安全評価への知識伝達を行うツールを整備
 - ー 地質環境モデルの特徴の共有化
 - ー 地質環境モデル構築にあたっての留意点の共有化
 - ー 構築した地質環境モデルで使った情報の追跡性確保
 - ー 地質環境モデルの構築手順の共有化
 - ー 意思疎通・協働作業



地質環境調査ー設計・安全評価の間、それぞれの分野の関係者間での知識の共有・伝達、協働作業を行うことが可能

今回の最終的な“ステートメント”のイメージ(案)

- 第2期中期計画(H22～H26)における、超深地層研究所計画および幌延深地層研究計画、地質環境の長期安定性に関する研究の結果、サイト選定から処分開始に関する意思決定ポイントまでに必要な技術情報が事業者・規制機関が活用可能な形式で体系化され、所期の目標としていた精密調査(前半)の段階に必要な技術基盤が整備された。
- 本成果で体系化された調査解析技術は、処分場の許認可段階にある国外の地層処分事業(スウェーデン、フィンランド)での適用技術と比肩しうる網羅性と品質を有している他、地震・断層、火山などの天然現象の高精度調査解析技術との組み合わせにより、わが国の地質環境に適応したより幅広い地質環境特性のシナリオに対応可能である。
- 今後は、部分的埋め戻しや廃棄体定置終了、最終閉鎖に関する意思決定ポイントに必要な技術基盤を整備するために、これらに関する先進的な研究開発を深地層の研究施設において実施し、世界をリードする地層処分技術として国内外に広く発信していく。

参考資料

第2期中期計画(概要)

第2期中期計画期間:平成22年4月1日～平成27年3月31日

1)地層処分研究開発

- ・ 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、モデルの高度化
→処分場の設計・安全評価に活用できる実質的なデータベース・解析ツールを整備
- ・ 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
→現実的な処分概念の構築手法・総合的な安全評価手法を整備

2)深地層の科学的研究

<深地層の研究施設>

- ・ 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:深度500m程度、幌延:深度350m程度)まで坑道を掘削しながら調査研究
→調査技術やモデル化手法の妥当性評価、深地層における工学技術の適用性確認
→平成26年度までに、地上からの精密調査の段階に必要な技術基盤を整備し、実施主体や安全規制機関に提供

<地質環境の長期安定性に関する研究>

- ・ 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

3)知識ベースの構築

- ・ 知識ベースを充実、容易に利用できるように整備
→事業・規制への円滑な技術移転を図る