

地層処分技術に関する研究開発成果取りまとめと 今後の研究について

- 深地層の研究施設計画と地質環境の長期安定性研究 -

平成26年6月30日

日本原子力研究開発機構
バックエンド研究開発部門

取りまとめの方針と成果物概要

【方針】

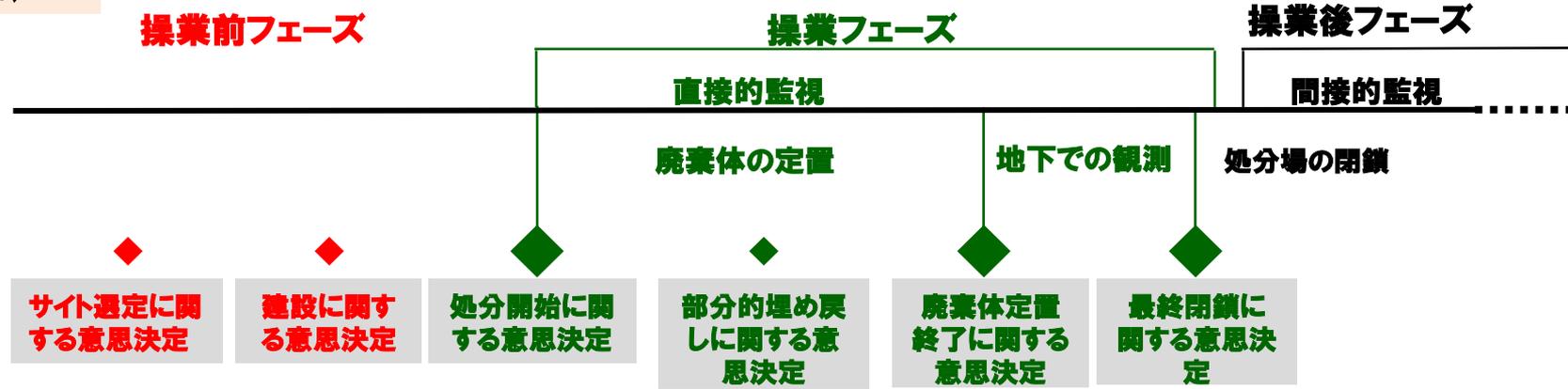
- 第2期中期計画としての取りまとめ（深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性に関する研究）
- 処分事業の各意思決定ポイントに照らし合わせて、整理
- 反映先の時間軸に沿ったまとめ群（A1、A2、A3群）として構造化（成果ダイジェスト→コアメッセージ）し、各意思決定ポイントにおけるセーフティケース（SC）や判断基準の構築等の際に、事業者・規制機関等が活用しやすい情報・技術パッケージ（CoolRepH26）として体系的に整備

【成果物】

- A1～A3群、B群に関するカーネルの記述 （完了）
- 成果マップ （完了）
- CoolRepH26のデザイン検討、入力作業 （整備中）

研究成果の要点と反映先

一般的な活動フェーズ
ICRP (2013)



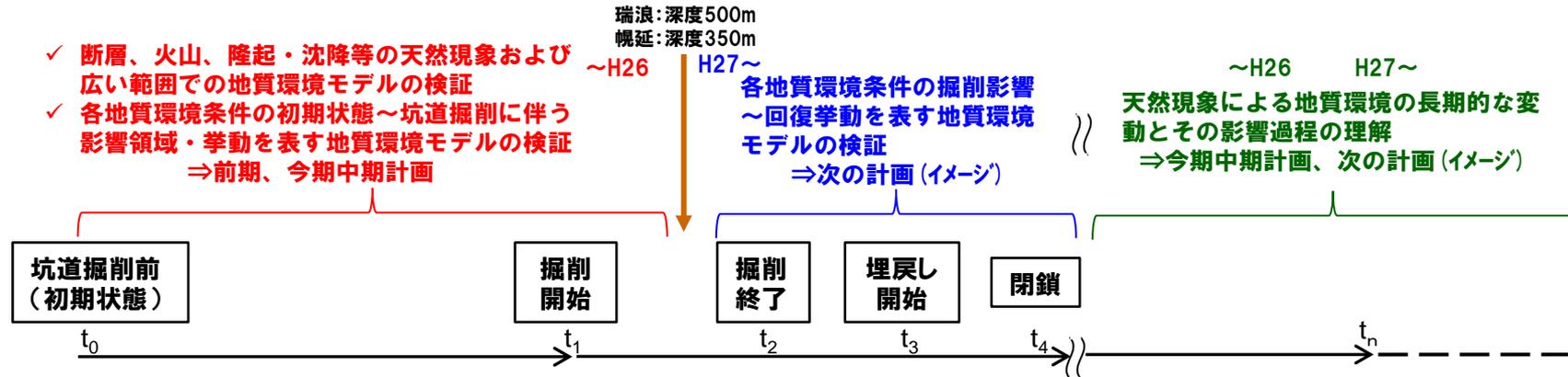
(NUMOの事業)



(JAEAの活動)



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	<ul style="list-style-type: none"> 坑道掘削前の母岩の地質環境状態のサイト記述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 異なる調査分野との連携、データの相互活用により地質環境モデルの信頼性が向上 など 	<ul style="list-style-type: none"> 地下数百mまでの掘削に伴う地質環境への影響を評価するための調査解析技術を適用し、その有効性や適用限界を確認 掘削影響を軽減するための有効な工学技術等について、これまでに得られた知見を集約、整理 	<ul style="list-style-type: none"> 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、それらの適用性を実際の地質環境条件下で確認
成果ダイジェスト(例)	<ul style="list-style-type: none"> 重要な地質環境特性を把握する際に有効な調査解析手法とその限界の提示 各地質環境モデルの信頼性(不確実性)評価手法の提示 など 	<ul style="list-style-type: none"> 掘削に伴う各地質環境特性(地質、水理、水質、岩盤力学)変化の理解 掘削影響領域評価技術 など 	<ul style="list-style-type: none"> 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 など



B群) 研究成果の知識統合のためのツールの整備

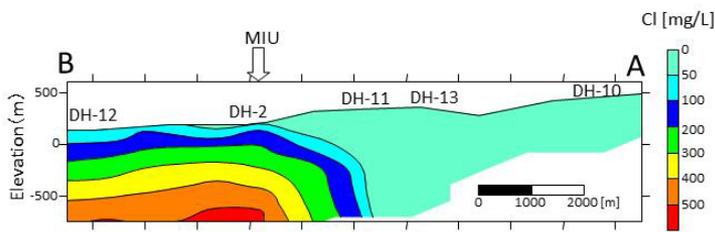
地質環境モデルの特徴・留意点などの情報共有、使用した情報の追跡性確保のためのツール群

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—

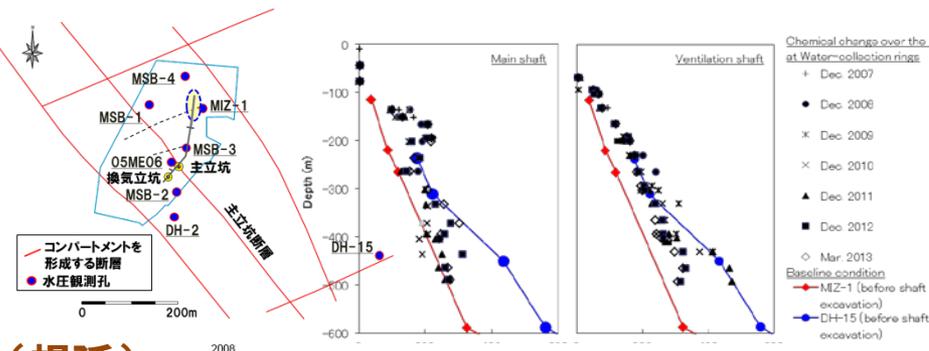
施設建設時の新たな知見(コンパートメント構造を踏まえたボーリング孔配置, 孔間水理試験, モニタリング思想など)により, 地上からの調査時に不可欠な考え方, 具体的対応方法を明示した

(瑞浪)



● 観察により得られた知見

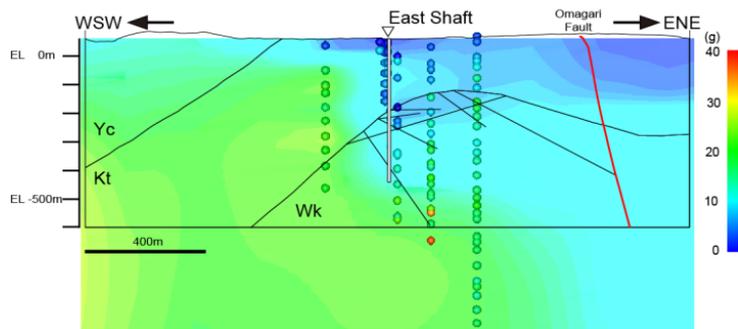
月吉断層や主立坑断層を境に, 地下水水質が異なる(瑞浪)。割れ目帯周辺で(塩分濃度)が異なる(幌延)。実際に地下水水質分布に影響を与え得る水理地質構造として, 礫岩層, 断層, 不整合面, 割れ目帯が挙げられる



➤ 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

(幌延)

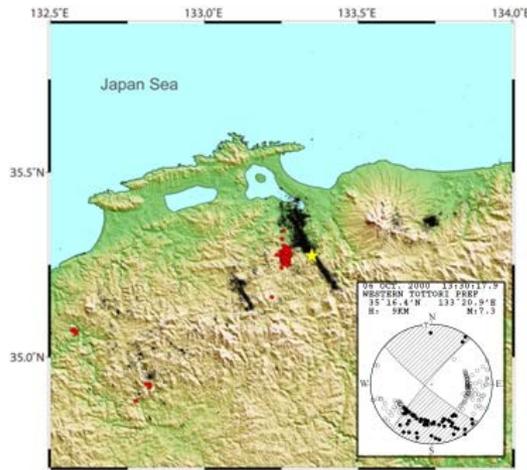


施設閉鎖後のモニタリングの知見を地表からの調査段階時のモニタリング孔配置計画にフィードバック

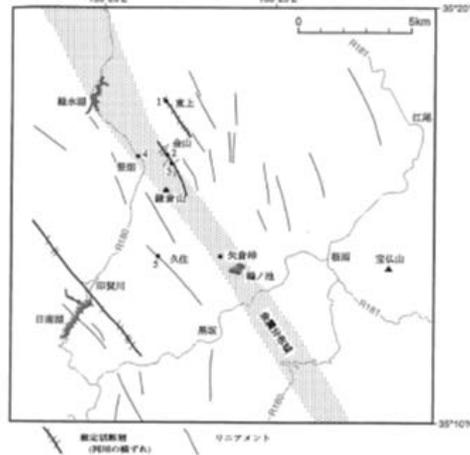
成果ダイジェストA1) 地質環境の初期状態の理解

— 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術 —

低活動性の断層や未成熟な断層といった変動地形が明瞭でない活断層を検出するため、断層ガスに含まれる希ガス同位体等を指標とした調査技術を提示した。

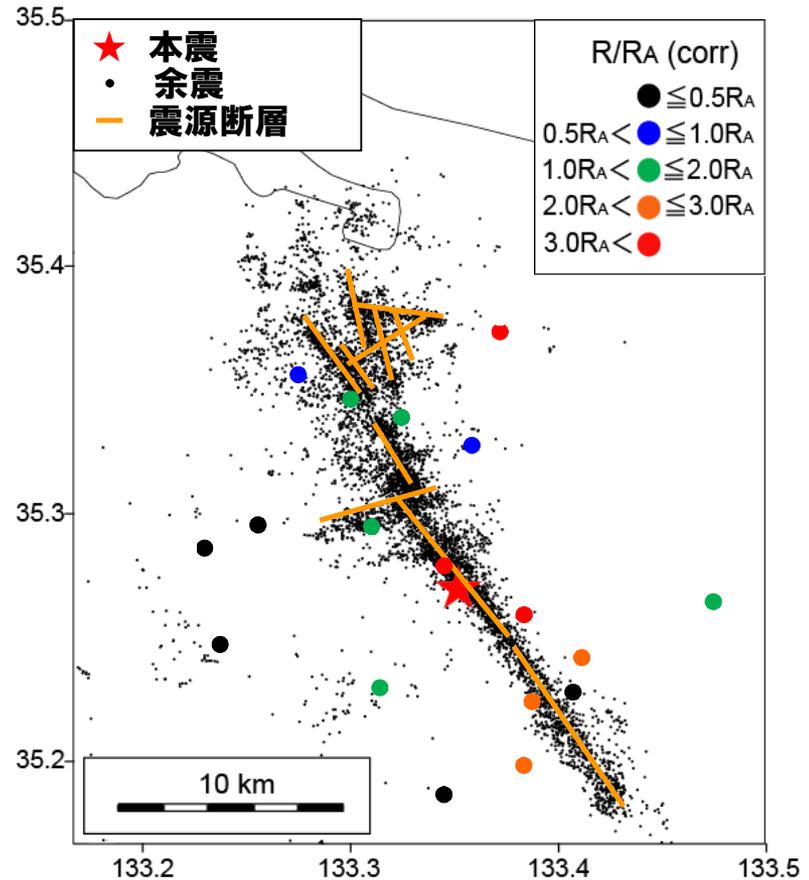


Low-frequency event (JMA, 2006)



鳥取県西部地震の震源とメカニズム、周辺のリニアメント分布

- 2000年鳥取県西部地震の震源域には活断層が識別されていないものの、震源域近傍の地下水の溶存ガスのヘリウム同位体比は高い値を示す。
- 変動地形が明瞭でない活断層であっても、断層周辺の遊離ガスや地下水の溶存ガスに含まれる希ガス同位体等の地球化学的特徴を指標として、その存否や分布等を明らかにできる可能性を示唆。



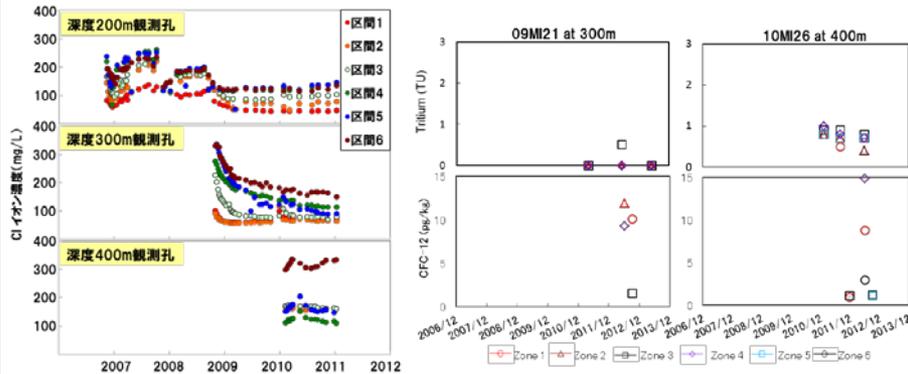
鳥取県西部地震震源域のヘリウム同位体比の分布

様々なタイプの断層についての研究事例を蓄積しつつ、地球化学データのみならず、地形・地質データや地球物理データを組み合わせた総合的な解析手法の構築が必要。

成果ダイジェストの例 A2)地質環境の短期変動・回復挙動の理解 —地下施設建設・操業に伴う地球化学特性の変化の観測・解析技術—

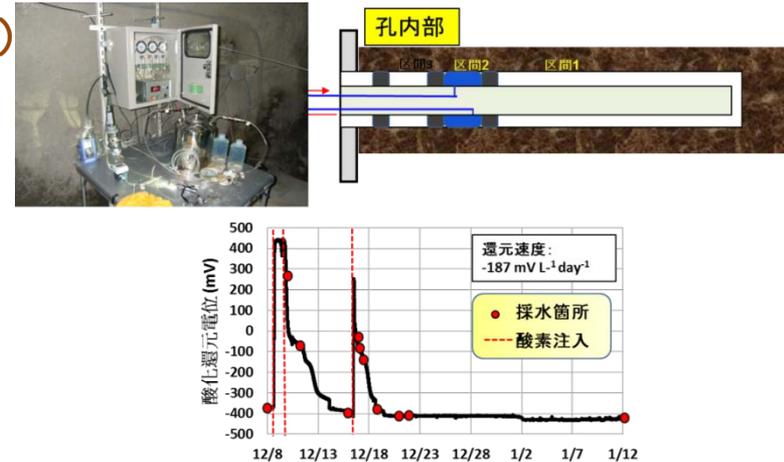
施設建設時の新たな知見(複数観測点での定期観測と多変量解析)により、
結晶質岩・堆積岩における施設建設・操業時の中長期変化の幅が推測可能になった

(瑞浪)



- 約10年間にわたる数百m³/日の地下水排水により、表層水を含む地下水が深度400mまで浸透。付随して地下水の水質も浅層地下水の組成に徐々に変化
- 坑道への湧水が多い条件では、維持管理期間が長いほど周辺地下水の水質は大きく変化する(操業期間中に坑道周辺の地下水が浅層水に入れ換わる可能性が高い)
 - 混合により水質が変化する環境では、周辺観測点での長期的なデータ取得、多変量解析による変化プロセスの把握、経時変化量に基づく将来予測により、建設、維持管理時の中長期的な水質変化を推察可能であることを提示

(幌延)



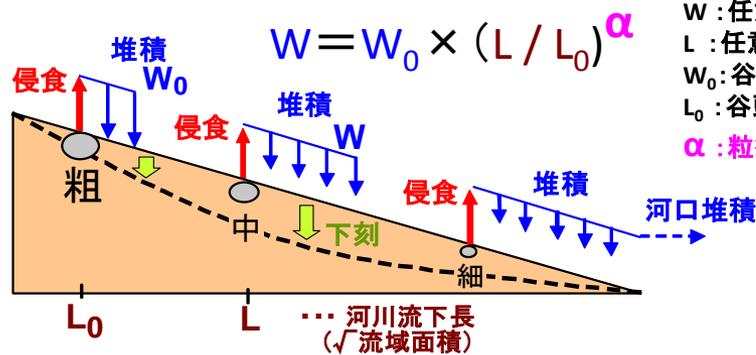
- 湧水量の少ない堆積岩においては、地下施設建設開始から数年間では、立坑周辺での化学的擾乱は起こっていない。
- 酸素が拡散しても、水—鉱物—微生物反応により、数日で無酸素状態となる。
 - 有機物に富む堆積岩は、十分な酸化還元緩衝能力を有している(堆積岩においては操業期間程度の中に坑道周辺が酸化状態になることはない)ことを提示
 - 有効な技術については、同左

坑道閉鎖(埋戻し)後の地質環境特性の回復、定常化過程に関わる知見の蓄積

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

— 地形変化シミュレーション技術 —

これまでに開発を進めてきた物理モデルを用いた10万年程度の地形変化シミュレーション技術の妥当性を評価した。

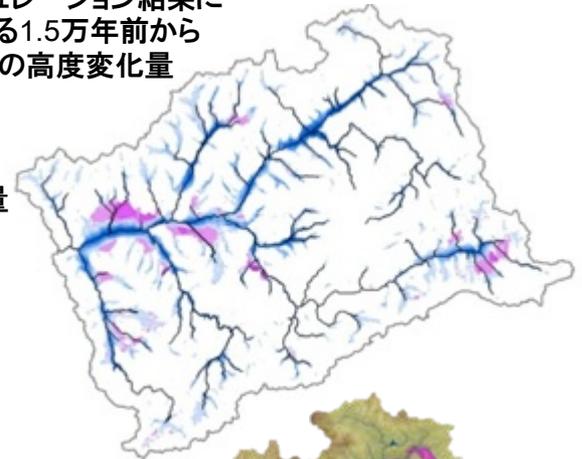
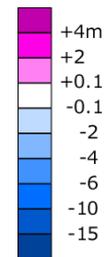


河川において侵食された土砂の運搬距離が下流側で増大する粒径変化モデル

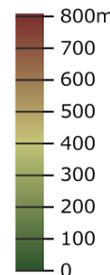
- 粒径変化に基づく河川堆積プロセスのシミュレーション方法(特許第5422833号)を組み込んだ地形変化シミュレーションプログラムを開発。
- 段丘等の地形データから復元した古地形を起点とするシミュレーションを実施し、現在の地形と高度において概ね一致するとともに、同規模の河成段丘を形成することを確認。
- 10万年程度で形成される段丘等の地形発達をシミュレートする技術を提示。

シミュレーション結果における1.5万年前から現在の高度変化量

高度変化量



地表標高



実際の低位段丘の分布(現在)
シミュレーション結果と実際の地形の比較

10万年程度で生じる将来の地形変化は、数値シミュレーション結果と外挿・類推の結果との比較・検討による予測結果の信頼性向上が課題。

研究成果の統合的取りまとめ

—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—

A1) 地質環境の初期状態の理解

地層処分に係る外部からの要請

A1群コアメッセージ

A1群必須の課題(案)

1. NUMO (2010): 地層処分技術開発ニーズの整理 ~ 精密調査地区選定に向けて~
2. NUMO (2013): 地層処分事業の技術開発計画
3. 総合資源エネルギー調査会原子力安全・保安部会(2003): 廃棄物安全小委員会報告書—高レベル放射性廃棄物処分の安全規制に係る基盤確保に向けて—
4. 日本政府(2014): エネルギー基本計画

等

A1成果ダイジェスト

A1成果ダイジェスト

A1成果ダイジェスト

⋮

A1成果ダイジェスト

各成果ダイジェストに基づきその意義を明示

A1課題ダイジェスト

A1課題ダイジェスト

A1課題ダイジェスト

⋮

A1課題ダイジェスト

各課題群を集約し、瑞浪・幌延の地質環境や天然現象の特色に応じて合理化

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

—成果ダイジェストマップによる網羅性と追跡性の確保(A2群の抜粋)—

コアメッセージ

成果ダイジェスト群

課題ダイジェスト群

必須の課題 (案)

コアメッセージ	成果ダイジェスト	課題ダイジェスト	必須の課題
<ul style="list-style-type: none"> 地下数百mまでの掘削に伴う地質環境への影響を評価するための調査解析技術を適用し、その有効性及び適用限界を確認 掘削影響を軽減するための有効な工学技術等について、これまでに得られた知見を集約、整理 	<p>地質・地質構造</p> <ul style="list-style-type: none"> 掘削損傷領域(EDZ)の分布 <ul style="list-style-type: none"> 堆積軟岩においては、坑道の壁面観察および坑道からのボーリング調査による割れ目調査より、坑道の掘削影響領域の詳細な分布を推定することが可能になった。一方、瑞浪のような花崗岩地域では、このような目視による識別は困難である。 <p>岩盤中の水理</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下空洞への地下水流入量 <ul style="list-style-type: none"> パイロットボーリング孔を用いた調査をすることによって、地下水流入量の予測精度が向上することを確認した。 坑道掘削中の湧水量や水圧の変化を用いて水理特性の不均質性を評価するためには、坑道への総湧水量のみならず、水理地質構造区分を考慮した区間湧水量の変化を測定することが有効であることを確認した。 スキニング効果(人工構造物やクラフト、亀裂の透水性変化など)が地下水流入量に影響を与えていることが把握できた。なお、瑞浪と横延を比較すると、両者ともに地下水流入量を抑制するスキニング効果が確認されているものの、そのスキニング効果の程度が異なり、結晶質岩の方が堆積軟岩に比べ地下水流入量の抑制効果が大きいたことが確認できた。 観測機器の維持管理方法の構築、関連するノウハウの蓄積および品質管理の考え方を構築することができた。 地下水位・水圧分布への影響 <ul style="list-style-type: none"> 水理地質学的コンパートメントを含む水理地質構造分布の不均質性を考慮した観測孔や観測区間を設置し、揚水試験や坑道掘削等に伴う地下水圧応答を観測することによって、水理地質構造の水理特性を把握することが可能となった。 ガス対策を含む観測機器の維持管理方法の構築、関連するノウハウの蓄積および品質管理の考え方を構築することができた。 地下水の流速分布 <ul style="list-style-type: none"> 坑内からのボーリング孔を用いて、低透水性岩盤中の水理特性の不均質性及び地下水流動特性を連続的かつ効率的に評価するための技術の必要性を明らかにした。 <p>地下水の地球化学</p> <ul style="list-style-type: none"> 地下水の塩分濃度 <ul style="list-style-type: none"> 施設建設/操業時の地球化学モニタリングの結果に基づいて優先的に閉鎖するパネル領域を決定することにより、地球化学的な影響領域の拡大を防ぐことが可能であることを示した。 地下施設閉鎖開始まで水質変化を推定するための手法として、地下施設建設時に得られた水質データに基づく多変量解析を利用した推定手法を開発した。 地下施設建設に伴う浅層水への深部への浸透を評価するための指標として、3HやCFCガスが有効であることを示した。また、瑞浪と横延の比較から、湧水量の少ない堆積岩においては、表層水の浸透が起こりやすく、化学的擾乱が小さいことが例示された。 地下水のpH・酸化還元電位 <ul style="list-style-type: none"> セメント材料が地下水のpHへ与える影響を評価した結果、地下水が坑道に湧水している箇所ではセメント材料の影響は小さく、地下水が坑道に湧出しない条件においてはアルカリ性地下水が長期滞留し、施設周辺に化学環境の不均質性が生じることが明らかとなった。 岩盤の酸化還元緩衝能を評価するための試験を実施し、有機物に富む堆積岩では坑道から硫酸が拡散し場合でも、水—鉱物—微生物反応により、数日で無硫酸状態となることを確認した。 	<ul style="list-style-type: none"> 坑道掘削に伴う損傷領域内での割れ目の変化を把握する手法の整備 坑道閉鎖(埋戻し)後の割れ目の閉塞・充填に関わる知見の蓄積 <p>施設閉鎖に伴う地下水流動特性の変化を予測するための調査技術やモデル化・解析技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 再冠水試験や坑道埋戻し試験によって、湧水量の空間的不均質性が埋戻し材に及ぼす影響について、調査技術やモデル化・解析技術の適応性の確認 観測機器の耐久性向上、遠隔モニタリング技術の開発、ガス対策を含む観測機器の維持管理方法の構築、関連するノウハウの蓄積、および品質管理の考え方の構築 坑道閉鎖(埋戻し)後の地質環境特性の回復、定常化過程に関わる知見の蓄積 <p>処分環境に近い低透水性岩盤中の水理特性の不均質性及び地下水流動特性を連続的かつ効率的に評価するための調査・解析・評価技術</p> <ul style="list-style-type: none"> 高透水性から低透水性に至る幅広い透水性の割れ目(透水量係数で10^{-10} - 10^{-3} m²/s程度の範囲)を連続的かつ効率的に調査可能な技術の開発 実際の割れ目の性状を考慮した亀裂ネットワークモデル化技術の開発 <ul style="list-style-type: none"> 坑道閉鎖(埋戻し)後の地質環境特性の回復、定常化過程に関わる知見の蓄積 建設・操業時に浸透した浅層地下水を、坑道閉鎖時に元来の地下水に置換・回復するための手順 浅層地下水が残留した場合の中長期的な地球化学特性の解析技術 坑道・クラフト周辺のpH分布、酸化還元状態の長期変化 適切な部分閉鎖(埋戻し)方法について、研究所閉鎖時の施工方法とモニタリングによる実証 	<p>地質環境機能回復評価に関する調査評価技術の開発(瑞浪)</p> <p>長期モニタリング技術の開発(瑞浪)</p>

成果ダイジェストA1) 地質環境の初期状態の理解 —まとめ—

- 安定な母岩領域をより確実に評価するための技術体系を構築
- 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)のサイト記述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
- 異なる調査分野との連携、データの相互活用により地質環境モデルの信頼性が向上



- 構築した技術や蓄積された技術的ノウハウにより、複雑な地質環境条件や制約条件を有する環境下に対応
- 重要な調査項目や組み合わせ、調査の限界等を例示



主要課題達成(技術移転に向けた知識化等の作業を実施)

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—

- 地下数百mまでの掘削に伴う地質環境への影響を評価するための調査解析技術を適用し、その有効性や適用限界を確認
- 掘削影響を軽減するための有効な工学技術等について、これまでに得られた知見を集約、整理



- 掘削影響領域を評価する際に有効な調査項目やレイアウト等、計画立案の合理化・最適化に必要な技術情報が利用可能



- ✓ 長期モニタリング技術の開発(瑞浪)
- ✓ 坑道閉鎖に伴う環境回復試験技術(瑞浪)
- ✓ 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・物質移動試験及びモデル化手法の開発(瑞浪)
- ✓ 地下水抑制技術(ウォータータイトグラウト技術)の開発(瑞浪)など
- ✓ 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認(幌延)
- ✓ 処分概念オプションの実証(幌延)

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 —まとめ—

コアメッセージ

- 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、それらの適用性を実際の地質環境条件下で確認



意思決定ポイントに対する技術的意味

- 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)に目処



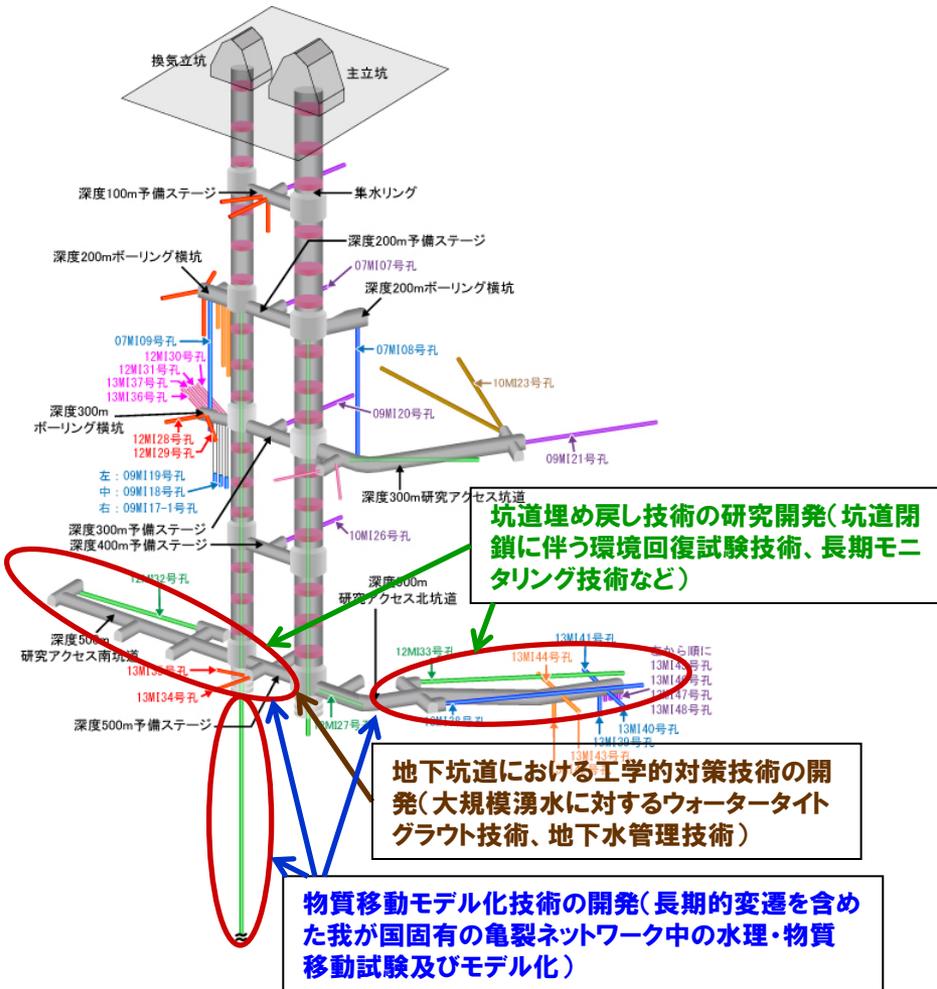
必須の課題(案)

- ✓ 地質環境の長期変遷解析技術の開発(瑞浪)など
- ✓ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証(幌延)

必須の課題(案):深地層の研究施設計画 -瑞浪(1/2)-

【必須の課題(案)】

- 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
 - 地下水管理技術
- 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・物質移動試験及びモデル化
- 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の開発など



研究坑道・ボーリング孔レイアウト(鳥瞰図)

試錐座の掘削 終了 ~H25.1	ボーリングビットの埋戻し 埋戻し材の初期状態の把握 ~H26.12	再冠水及び水圧回復 坑道内および周辺観測孔での水圧レスポンス、化学条件変化の確認
水圧・水質モニタリング孔掘削・装置設置 終了 水圧・水質Baselineの把握 ~H25.3	止水壁の施工・観測系再構築 止水技術の確認 ~H27.3	排水 坑道内および周辺観測孔での水圧レスポンス、化学条件変化の確認~H28.3
北坑道・モニタリング孔の掘削 坑道掘削中の影響の把握 ~H26.3	冠水及び水圧回復 坑道内および周辺観測孔での水圧レスポンス、化学条件変化の確認	止水技術の確認
水圧・水質モニタリング 坑道掘削後のBaselineの把握 ~H26.12 坑道周辺の十分な水位低下の把握	一部排水・水圧減圧 坑道内および周辺観測孔での水圧レスポンス、化学条件変化の確認	ビット埋戻し材の回収・分析 埋戻し材の変質状態の把握

必須の課題(案):深地層の研究施設計画

—瑞浪(2/2)—

○地下坑道における工学的対策技術の開発

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の組み合わせによって制御可能とするウォータータイトグラウトの施工技術の実証と地下水排水処理技術等の地下水管理技術の高度化により、操業段階に必要とされる工学技術を提示できる。

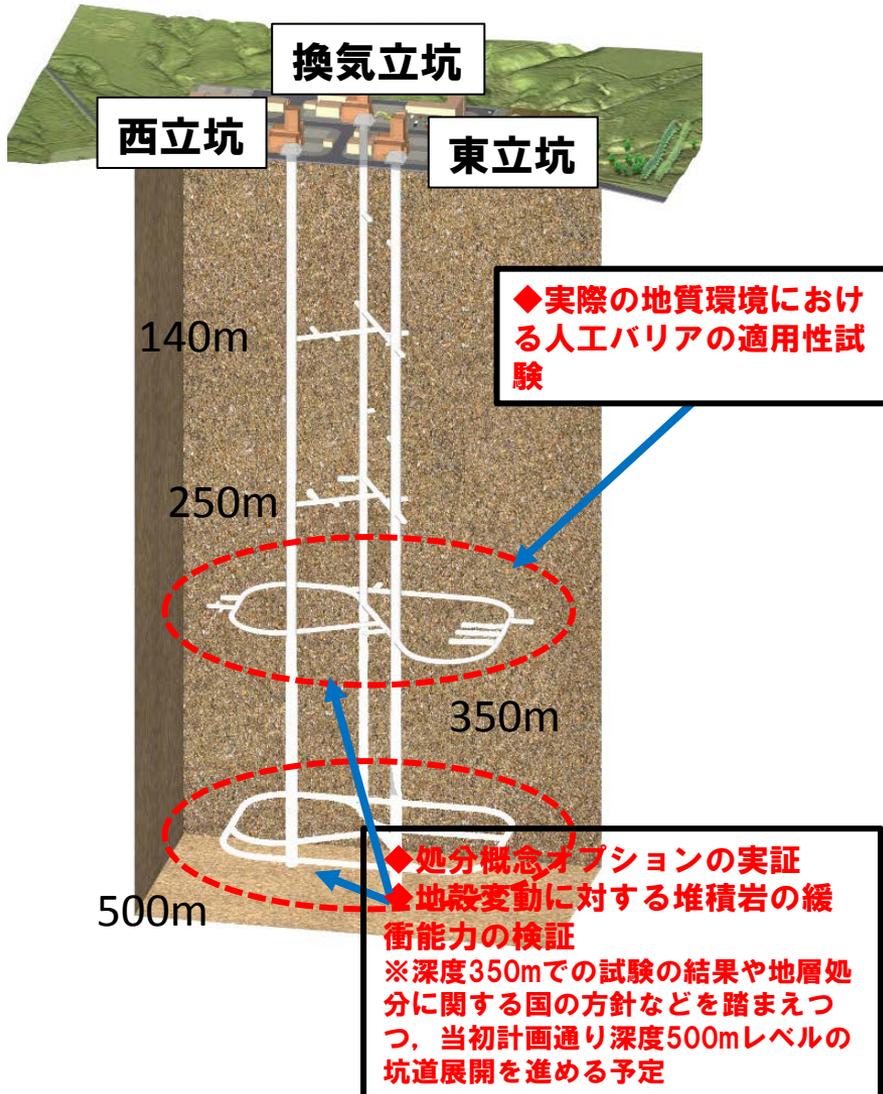
○物質移動モデル化技術の開発

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定量的に把握するとともに、そのメカニズムをモデル化し、岩盤中の透水不均質性や、地下水流動の緩慢さ、水質の長期的変化、物質移動特性を評価する事により、花崗岩地域における操業中・操業後段階に実施主体が安全評価上必要とする長期的な変遷を含めた地質環境の調査評価技術と安全規制の観点で重要となる信頼性確認評価手法が提示できる。

○坑道埋め戻し技術の開発

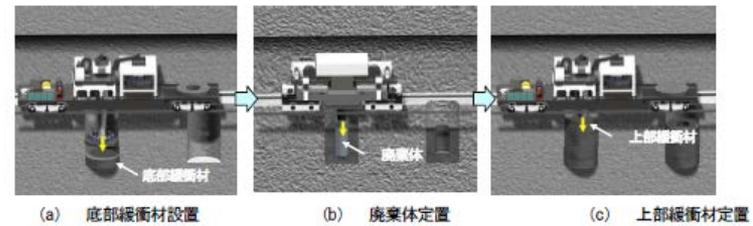
深度500mの研究坑道において、坑道の一部を埋め戻し、地下水を自然に冠水させることによって、坑道閉鎖時の地質環境条件を評価するとともに、地質環境に応じた埋め戻し技術を構築することにより、操業中・操業後段階に実施主体が必要とする地質環境調査技術・工学技術と安全規制の観点で重要となる信頼性確認評価手法が提示できる。

必須の課題(案):深地層の研究施設計画 - 幌延(1/2) -

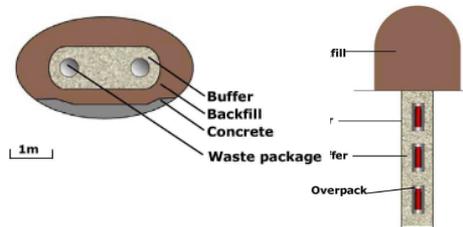


【必須の研究課題】

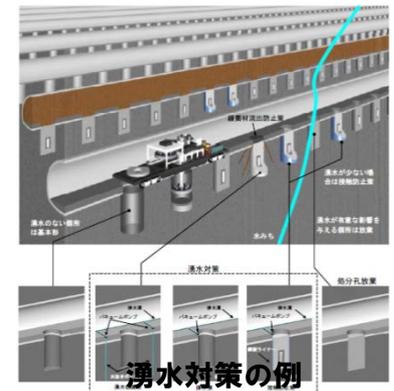
- 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
 - 人工バリア性能確認試験
 - オーバーパック腐食試験
 - 物質移行試験
- 処分概念オプションの実証
 - 定置・品質確認などに関する実証試験
 - 高温条件下(100℃<)での人工バリア性能確認試験
 - 処分孔等の湧水対策・支保技術などの実証試験



遠隔定置技術の検討例



定置概念オプションの検討例



○地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

- 堆積岩の水圧擾乱試験
- 人工バリアへの地殻変動影響及び回復挙動試験

500m水平坑道の展開は外部資金による
テーマ設定により決定する。

地下施設全体イメージ図

必須の課題(案): 深地層の研究施設計画

— 幌延(2/2) —

◆ 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

平成26年度から350m調査坑道で実施される人工バリア性能確認試験、オーバーパック腐食試験、物質移行試験などを通して、実際の地質環境における計測技術や評価技術の適用性を確認することにより地層処分技術の信頼性が向上する。

◆ 処分概念オプションの実証

人工バリア設置環境の深度依存性も考慮し、種々の処分概念オプションの工学的実現性を実証することにより、多様な地質環境条件に対して安全で柔軟な処分場設計を行うための現実的な技術の構築が可能となる。

◆ 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

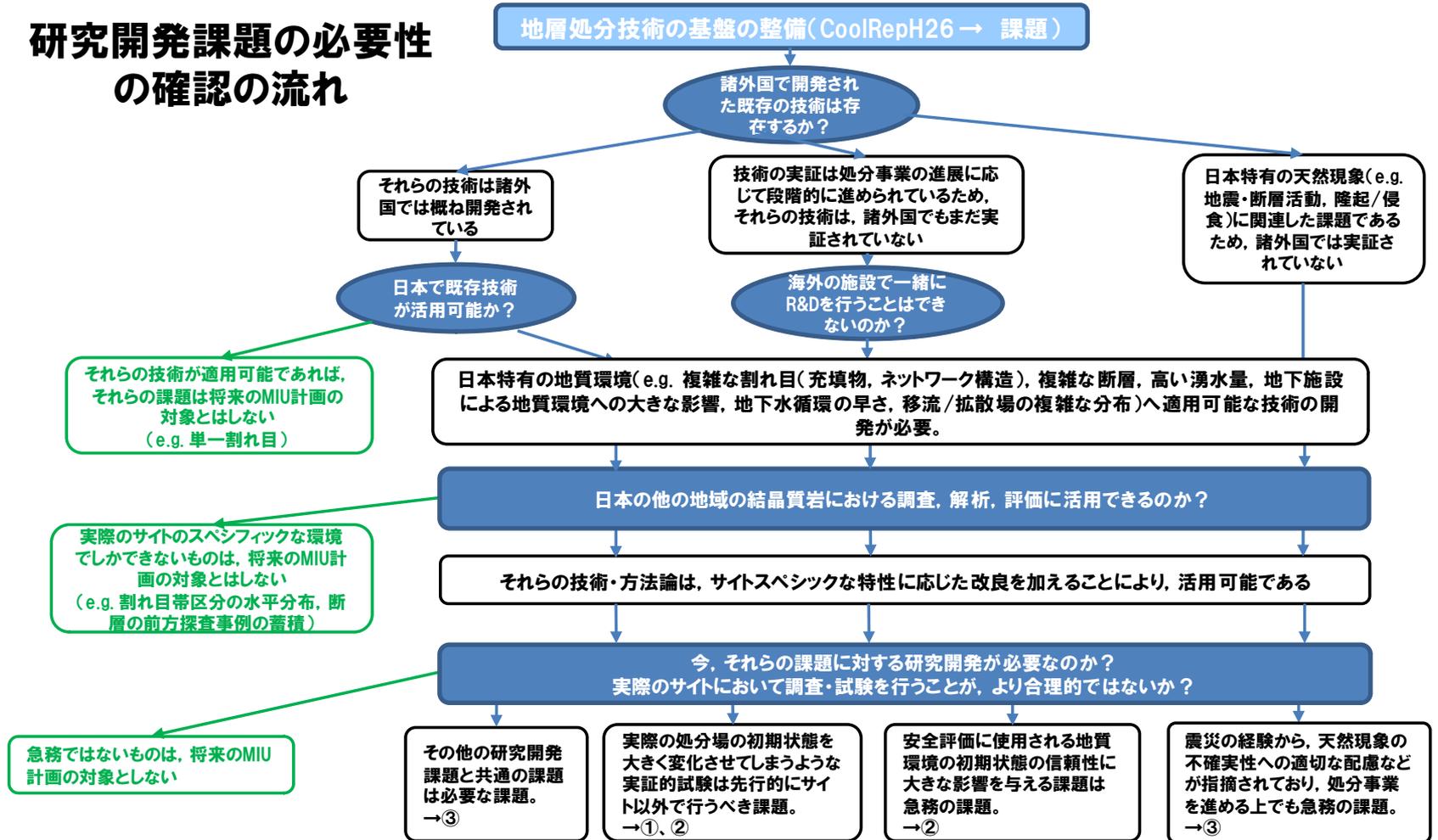
日本の一般的な堆積岩について、地震・断層活動他による地殻変動に対して力学的・水理学的に緩衝能力の高い領域の存在が期待できる。このような地殻変動緩衝能力を定量的に検証し、そのメカニズムを示すことにより、堆積岩地域における立地選定や処分場の設計を、科学的・合理的に行うことが可能となる。

深地層の研究施設計画に関する抽出された必須の課題(案)の必要性の確認(1/2)

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

— 操業前 ————— 操業中 ————— 操業後 —————→

研究開発課題の必要性の確認の流れ



必須の課題

- ①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
 - 地下水管理技術

- ②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の開発など

- ③物資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・物質移動試験及びモデル化**

*:これまで海外でも試みられてきている試験(e.g. 坑道規模水理試験, 酸化還元循環試験, 岩盤力学-水理-地球化学複合現象調査)は、「坑道埋め戻し技術の開発」として統合・合理化

** : 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・物質移動及びモデル化手法の開発、地質環境の長期変遷解析技術の開発(深部地下水の起源・滞留時間の理解を含む)

深地層の研究施設計画に関する抽出された必須の課題(案)の必要性の確認(2/2)

「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

NUMOがJAEA等に期待する技術開発¹⁾(抜粋)

地質環境特性の把握

- 深地層研究による地質環境特性の総合的な調査・評価技術の構築
- 地質環境特性の調査・評価技術の高度化

人工バリアの設計・施工

- 人工バリアに対する複合現象を考慮した長期性能変化に関する評価手法の高度化
- 深地層の研究施設坑道を活用した緩衝材、埋め戻し材およびプラグの設計、施工と性能確認
- 回収が必要となる状態の設置および処分方式に応じた回収技術の整備

地下施設の設計

- 調査の進展に応じた施設設計の更新方法の具体化
- 亀裂評価と廃棄体定置基準の基本方針の提示
- 深地層の研究施設の坑道を活用したグラウト設計技術の実証および性能確認

安全評価

- 地下調査施設での実証手法および手順の明確化
- (現象のモデル化とシステム性能評価モデルの更新などにかかる実データの取得)

安全設計(深地層研究施設の知見提供)

- 地下坑道建設・維持管理などにおける安全対策の知見
- 深部地下地震観測による地震動特性の把握と知見提示

モニタリング

- 地下坑道でのモニタリング意義検討、パラメータ・計測通信装置検討
- 坑道掘削に並行した地上からのモニタリング技術
- 人工バリアシステム機能と閉鎖後長期安定性に関するモニタリング技術
- 制度的管理・回収可能性にかかわるモニタリング技術

海外機関による意義例²⁾ (処分場建設段階にある先行例)

- 安全機能指標基準、設計基準策定などに用いるデータ取得、利用可能な最善技術の実証
- 同上

- 安全機能指標基準、設計基準策定、シナリオ解析
- 利用可能な最善技術の実証、シナリオ解析、安全機能・設計基準策定
- シナリオ解析、利用可能な最善技術の実証、安全機能指標基準

- 利用可能な最善技術の実証
- 安全機能指標・設計基準策定
- 利用可能な最善技術の実証、シナリオ解析、安全機能指標・設計基準

- 利用可能な最善技術の実証、安全機能指標基準、シナリオ解析
- (シナリオ解析、安全機能指標・設計基準)

- 安全機能指標・設計基準策定、利用可能な最善技術の実証
- 安全機能指標・設計基準策定、シナリオ解析

- 安全機能指標・設計基準策定、利用可能な最善技術の実証、シナリオ解析
- 同上
- 同上

- 安全機能指標・設計基準策定

JAEAの必須の課題

【瑞浪】

地下坑道における工学的対策技術の開発

物質移動モデル化技術の開発

坑道埋め戻し技術の開発

【幌延】

実際の地質環境における人工バリアの適用性確認

処分概念オプションの実証

地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

【凡例】

- : 瑞浪
- : 幌延
- - - : 地質環境調査の観点での実施

1) NUMO (2013): 地層処分事業の技術開発計画, NUMO-TR-13-02.

2) SKB (2011): Long-term safety for the final repository for spent nuclear fuel at Forsmark, SKB-TR-11-01.

今後の課題(案):地質環境の長期安定性に関する研究

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が用いられない断層の活動性
- ✓ 地すべりに伴うノンテクトニック断層の判定 等

② 地殻構造の高精度・高空間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
- ✓ 処分場閉鎖後の長期(～300年)モニタリング技術 等

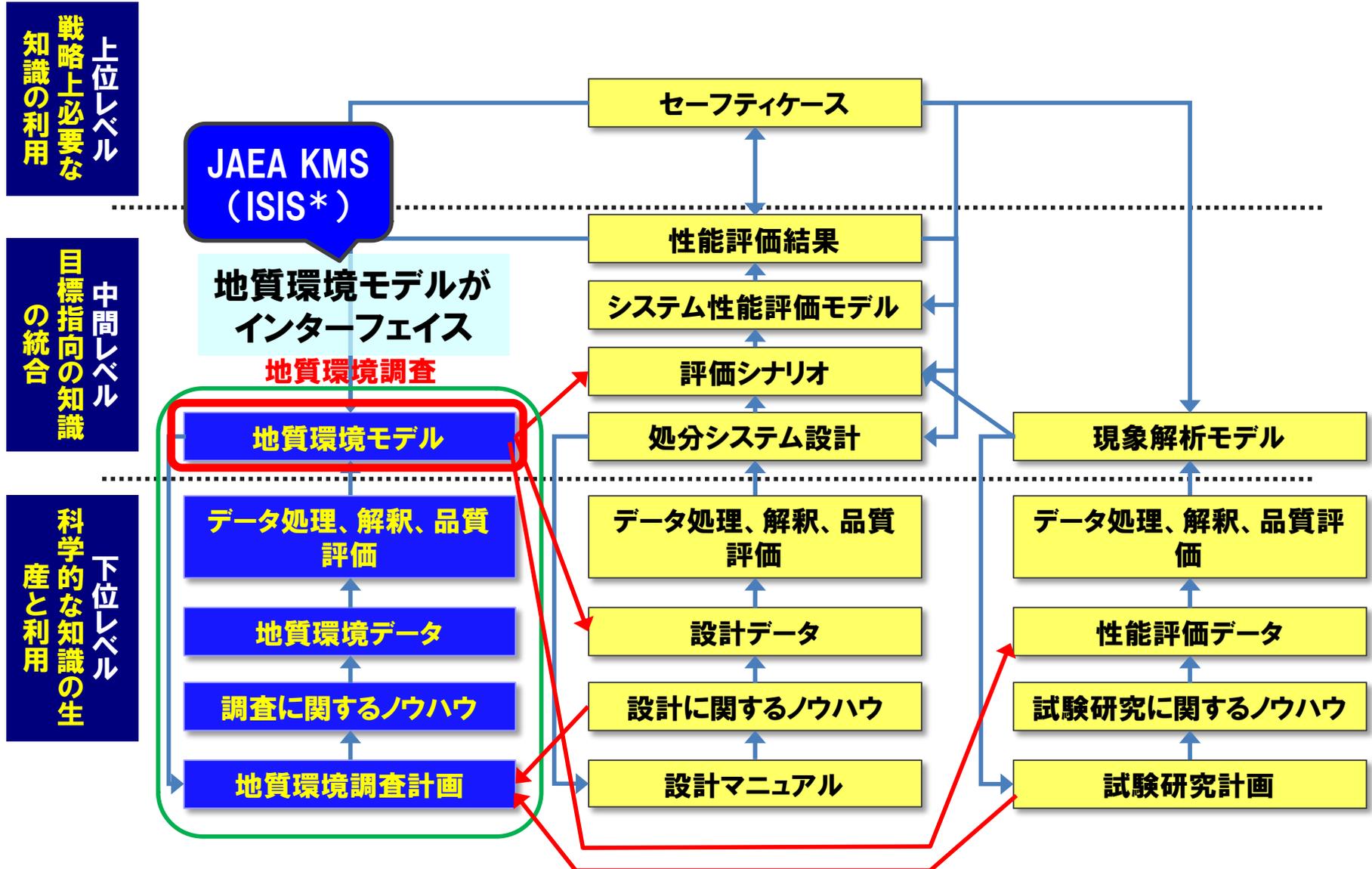
③ 稀頻度自然現象による地質環境への影響の評価技術

- ✓ 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
- ✓ 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) 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
- ✓ 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

B群) 研究成果の知識統合のためのツールの整備 —セーフティケース作成における地質環境調査の役割—

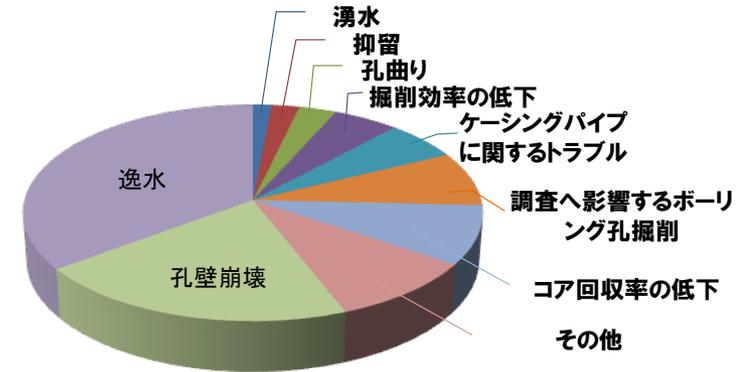
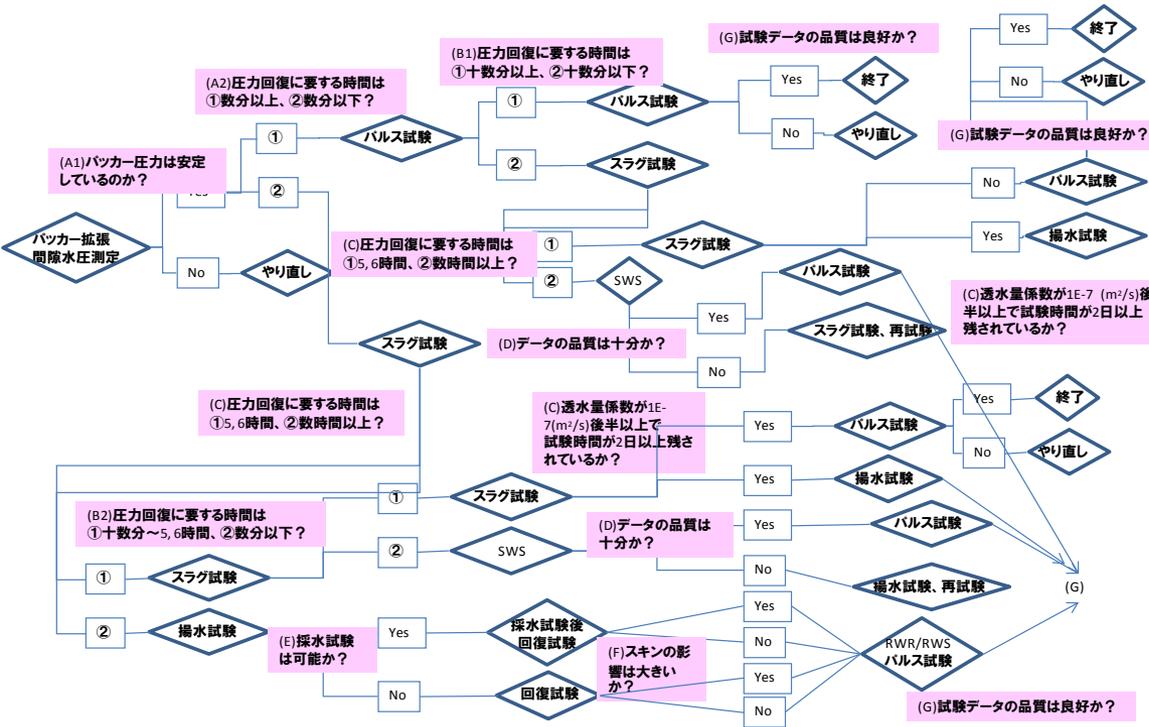


* ISIS: Information Synthesis and Interpretation System、次世代型サイト特性調査情報統合システム (H19~H24、経済産業省委託事業)、JAEA KMSの地質環境調査に関するシステム

具体的なサイトの地質環境状態に応じた最適化に向けた 継続的な取り組み

(複雑な) 試験手法のルールベース化 (シーケンシャル水理試験の例)

トラブル事例の事例ベース化 (瑞浪での深層ボーリングの例)



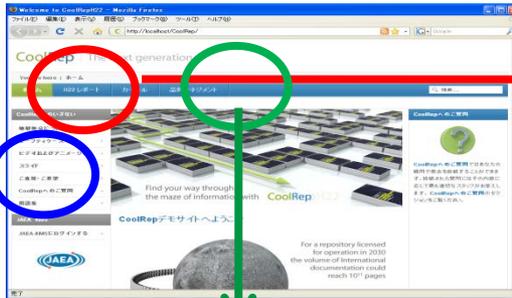
論文や報告書に記述されにくい形式知や暗黙知(ノウハウ・判断根拠等)に関する技術情報の表出化と共有化が可能

CoolRepH26の概要

CoolRep
ホーム

CoolRepH26 本文

〈カーネル群〉



文書の構造化



知識ベース
(JAEA KMS、データベース、技術資料…)

文書の構造化・体系化、知識の追跡性の確保が可能

1. 深地層の研究施設設計画および地質環境の長期安定性研究
2. 処分場の工学技術
3. 性能評価研究
4. TRU廃棄物
5. 使用済燃料の直接処分研究開発(第1次取りまとめドラフト版のレビュー終了後にKernelとして公開)

* カーネル
(Knowledge Elements incorporating Requirements, Novelty, Experience and Limitations): 地層処分に特徴的な研究分野ごとに最新の研究開発成果をコンパクトにまとめたもの
(<http://kms1.jaea.go.jp/CoolRep/>)

CoolRepH26の構成案

<全体>

CoolRep H26(深地層の研究施設計画・地質環境の長期安定性研究カーネル)の頁構成(案)	
1	アーキテクト(仮)
1.1	深地層の研究施設計画および地質環境の長期安定性研究に関する経緯と現状
1.2	研究成果の統合化に向けた基本方針と成果の構造
1.3	第2期中期計画における主要研究成果のコアメッセージ
1.4	第2期中期計画以降における必須の研究課題
2	地質環境の初期状態の理解(成果ダイジェストA1群)
2.1	研究概要
2.2	研究のアプローチ
2.3	地質・地質構造
2.3.1	はじめに
2.3.2	第2期中期計画における達成目標
2.3.3	実施内容と成果(結晶質岩/堆積岩)
2.3.4	今後の課題
	参考文献 ※細目構成は以下、同様
2.4	岩盤中の水理
2.5	地下水の地球化学特性
2.6	岩盤力学
2.7	物質の移動
2.8	工学技術
2.9	地質環境の長期安定性
3	地質環境の短期変動・回復挙動の理解(成果ダイジェストA2群)
3.1	研究概要
3.2	研究のアプローチ
3.3	地質・地質構造
3.4	岩盤中の水理
3.5	地下水の地球化学特性
3.6	岩盤力学
3.7	物質の移動
3.8	工学技術
3.9	地質環境の長期安定性
3.10	人工バリアの設置環境と性能
4	地質環境の長期変動・回復挙動の理解(成果ダイジェストA3群)
4.1	研究概要
4.2	研究のアプローチ
4.3	地質・地質構造
4.4	岩盤中の水理
4.5	地下水の地球化学特性
4.6	岩盤力学
4.7	物質の移動
4.8	地質環境の長期安定性
5	成果の統合および知識の伝達・伝承ツールの整備(成果ダイジェストB群)
6	調査解析手法の適用性と開発状況(ハード・ソフトウェアの)リソースリスト)
7	まとめ

2 地質環境の初期状態の理解(成果ダイジェストA1群)	
2.1	研究概要
2.2	研究のアプローチ
2.3	地質・地質構造
2.3.1	はじめに
2.3.2	第2期中期計画における達成目標
2.3.3	実施内容と成果
	(1) 岩盤の地質学的不均質性の把握
	(2) 被覆層の厚さの把握
	(3) 移行経路として重要な構造の把握
2.3.4	まとめと今後の課題
2.3.5	参考文献
2.4	岩盤中の水理
2.4.1	はじめに
2.4.2	第2期中期計画における達成目標
2.4.3	実施内容と成果
	(1) 動水勾配分布の把握
	(2) 岩盤中の透水性分布の把握
	(3) 帯水層の分布の把握
	(4) 帯水層中の流束分布の把握
2.4.4	まとめと今後の課題
2.4.5	参考文献
2.5	地下水の地球化学特性
2.5.1	はじめに
2.5.2	第2期中期計画における達成目標
2.5.3	実施内容と成果(結晶質岩/堆積岩)
	(1) 地下水の水質分布(塩分濃度分布)の把握
	(2) 地下水のpH・酸化還元電位の把握
	(3) 地下水の滞留時間の把握
2.5.4	まとめと今後の課題
2.5.5	参考文献
2.6	岩盤力学
2.6.1	はじめに
2.6.2	第2期中期計画における達成目標
2.6.3	実施内容と成果(結晶質岩/堆積岩)
	(1) 応力場の把握
	(2) 岩盤の物理・力学特性の把握
	(3) 地温勾配分布の把握
	(4) 岩盤の熱特性の把握
2.6.4	今後の課題
2.6.5	参考文献
2.7	物質の移動
2.7.1	はじめに
2.7.2	第2期中期計画における達成目標
2.7.3	実施内容と成果(結晶質岩/堆積岩)
	(1) 岩盤の取層・拡散特性の把握
	(2) 物質移動場の把握
	(3) コロイド/有機物/微生物の影響の把握
2.7.4	まとめと今後の課題
2.7.5	参考文献
2.8	深地層における工学技術
2.8.1	はじめに
2.8.2	第2期中期計画における達成目標
2.8.3	実施内容と成果(結晶質岩/堆積岩)
	(1) 設計・施工計画技術
	(2) 建設技術
	(3) 施工対策技術
	(4) 安全性を確保する技術
2.7.4	まとめと今後の課題
2.7.5	参考文献
2.9	地質環境の長期安定性
2.9.1	はじめに
2.9.2	第2期中期計画における達成目標
2.9.3	実施内容と成果(結晶質岩/堆積岩)
	(1) 変動地形が明瞭でない活断層等に係る調査技術
	(2) 地殻内の震源断層等に係る調査技術
	(3) 内陸部の隆起・侵食速度の算出に係る調査技術
2.9.4	まとめと今後の課題
2.9.5	参考文献

参考:A1群詳細

国内外専門家によるレビュー(1/3)

1. 機構内第三者委員会によるレビュー

	主要なコメント	対応の現状
第18回課題評価委員会 (H26.3.27)	福島の環境動態・回復など他分野への成果の展開・利活用に向けた工夫も必要。日本固有の着眼点やオリジナリティのある成果については、世界に発信すべき。用語の定義や表現、デザインについても留意されたい	他分野への展開・利活用に関しては、本文で説明していく予定。研究成果の発信内容や方法については、頂いたご意見を参考に作成中
	モニタリングなど、後に続く評価結果の確認作業との関連性が不十分。安全性の評価等に際しては、定量的すぎないように本質を述べるようにしてほしい	フィードバックプロセスの全体像がわかるように、各フェーズの反映先を図・本文を用いて説明。評価に際しては、サイト固有の評価結果が持つ一般的な意味を可能な限り記述
	(除外される)周辺の活断層の取り扱いについて、地層処分システムに及ぼす影響など今後より詳細な検討が必要。技術の高度化の一方で、単純化・簡略化の視点も忘れずに留意されたい	周辺の活断層の影響評価に関しては、今後の重要課題の一つとして、検討を進める。単純化・簡略化についても、今後の評価の軸の一つに加えていく
第17回課題評価委員会 (H25.11.29)	研究成果をより柔軟に事業や規制に反映できるような工夫が必要。研究成果と意思決定との間にあるステップについても具体化すべき	研究成果とセーフティケースとの関連性を横断的に整理し、CoolRepH26上で明示する予定
	事業者のニーズに合わせた成果の発信が必要	研究成果をセーフティケースやNUMOの技術開発計画等に照らし合わせる形で整理中
	瑞浪、幌延の地質環境の違いに着目した研究成果の整理と両URLのオリジナリティを強調すべき	瑞浪、幌延で共通する技術・知見、特有な技術・知見とに分けた形で整理※1
第15回URL検討委員会 (H25.11.29)	一般市民向けの理解しやすい成果の発信が重要	上記※2と同じ
第16回URL検討委員会 (H26.2.27)	瑞浪、幌延に固有な岩盤の特徴と一般的な特徴を整理することが必要	上記※1の際に一般化できるものについても整理
	課題が達成された調査解析技術については、適用範囲を明確にすべき	瑞浪、幌延での適用性を明確にした上で、他の岩盤に適用した際の限界を考察※3
第12回長期安定性検討委員会 (H26.3.12)	文献調査や概要調査時の課題が残されていないかの印象を受ける。瑞浪、幌延とは異なる地質条件時の課題等を明示すべき	上記※3に加えて、具体的なサイト選定に際しての取り組みについても明示
	国内外の専門家、一般市民向けの効果的なアピール策が必要	上記※2と同じ。専門家に対しては、成果の蓄積をより具体的に提示する予定

これまでのところ、概ね妥当であるとの評価

国内外専門家によるレビュー(2/3)

2. 国際レビューワークショップ

開催日:平成26年6月18日(水)~20日(金)
(ただし、20日は希望者による瑞浪URL見学)

場 所:アットビジネスセンター東京駅会議室

主な参加者:

国内専門家 19名

地層処分研究開発評価委員会委員

深地層の研究施設計画検討委員会委員

NUMO、経済産業省

国外専門家 6名

IAEA、Nagra(スイス)、NDA(英国)、DOE(SANDIA、
LBNL、米国)、KAERI(韓国)

JAEA 35名(ファシリテータ含む)

プログラム:

1日目:

セッション1 深地層の研究施設計画の現状

第2期中期計画取りまとめの概要

第2期中期計画期間の成果(瑞浪/幌延)

セッション2 事業者等による要求事項と今後の計画

日本における処分事業・規制の状況とニーズ

深地層の研究施設計画に対するNUMOのニーズ

今後の必須の課題(案)(瑞浪/幌延)

2日目:

セッション3 深地層の研究施設計画の今後の方向性
及び必須の課題

レビュー結果

- 日本の地層処分計画の現状を考えると、瑞浪・幌延の両URL計画は、これまでおよび将来において、地層処分の実現に大きく貢献しており、国の貴重な資産として認識すべきである。また、両URLの開発成果は、日本の異なる地質環境を適切に評価できることを示唆している。
- 両URLは、下記のこれまでの成果により国の貴重な資産として位置付けられる。
 - 日本の異なる地質環境を評価するためのアプローチとして、その適切性を実際に示していること
 - 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
 - 汎用性のあるセーフティケースの構築を支援していること
 - 国の地層処分計画に多数の教育した技術者・研究者を輩出していること 等
- 両URLの継続、特に下記のような実証試験の実施は、事業許可申請段階に至るまでの地層処分事業に対して非常に大きな裕度を与える。
 - 回収技術、埋め戻し・閉鎖技術
 - モニタリング技術
 - 過酷的なシナリオの評価技術 等

国内外専門家によるレビュー(3/3)

3.国際レビューワークショップで示されたNUMOの詳細ニーズと必須の課題との対比

NUMOの分野別詳細ニーズ (国際レビューワークショップ)

【地質環境調査】

- 母岩に対するダメージを最小限にする長距離の高エネルギー震源の開発
- 岩石・鉱物学的測定による断層の活動性評価手法の高度化
- 既存の調査手法の高度化と体系化

【工学技術/設計・建設】

- EBSの搬送・定置技術の実証と品質保証システムの開発
- 廃棄体の回収技術の実証
- 高水圧下でのグラウト技術の実証
- 処分坑道の掘削と廃棄体パッケージの定置のための岩盤状態の評価指標(日本版の岩盤の適切性判断指標/基準の開発)

【性能評価】

- 原位置での個別現象の長期挙動を確認するための加速試験手法の確立
- EBS中のTHMC挙動に関する原位置データの測定技術
- 原位置試験による緩衝材材料のパイピング/エロージョンの評価技術と測定技術
- 地下の化学反応を評価するためのマイクロ化学プローブの開発

JAEAの必須の課題

【瑞浪】

- 地下坑道における工学的対策技術の開発
- 物質移動モデル化技術の開発
- 坑道埋め戻し技術の開発

【幌延】

- 実際の地質環境における人工バリアの適用性確認
- 処分概念オプションの実証
- 地殻変動に対する堆積岩の緩衝能力の検証

【その他】

- 長期安定性研究等



まとめ

- 研究開発成果と必須の課題(案)に関する要点 -

- 第2期中期計画での瑞浪・幌延の両URL計画および地質環境の長期安定性に関する研究の結果、地質環境の初期状態の理解に必要な研究課題を達成。それらを「サイト選定から処分場建設に関する意思決定ポイント」に必要な情報・技術パッケージ (CoolRepH26) として整備し、事業者・規制機関等のユーザーがそれらの成果を容易に活用できるようになった。
 - 精密調査前半までに想定される適切な地質環境を有する候補地点や地下施設を配置するための3次元的な岩盤領域をより確実に特定することが可能となった。この技術は、今後の具体的なサイトの地質環境状態に応じた最適化が実施できる基盤となる。
- 次の意思決定ポイントに資する研究成果が蓄積されつつあり、瑞浪・幌延の地質環境の特色や国際動向に応じて、必須の課題に集約・合理化することにより、地質環境の短期、長期変動・回復挙動、人工バリアの実証試験に焦点を当てた今後の研究計画策定の基盤を提示した。

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