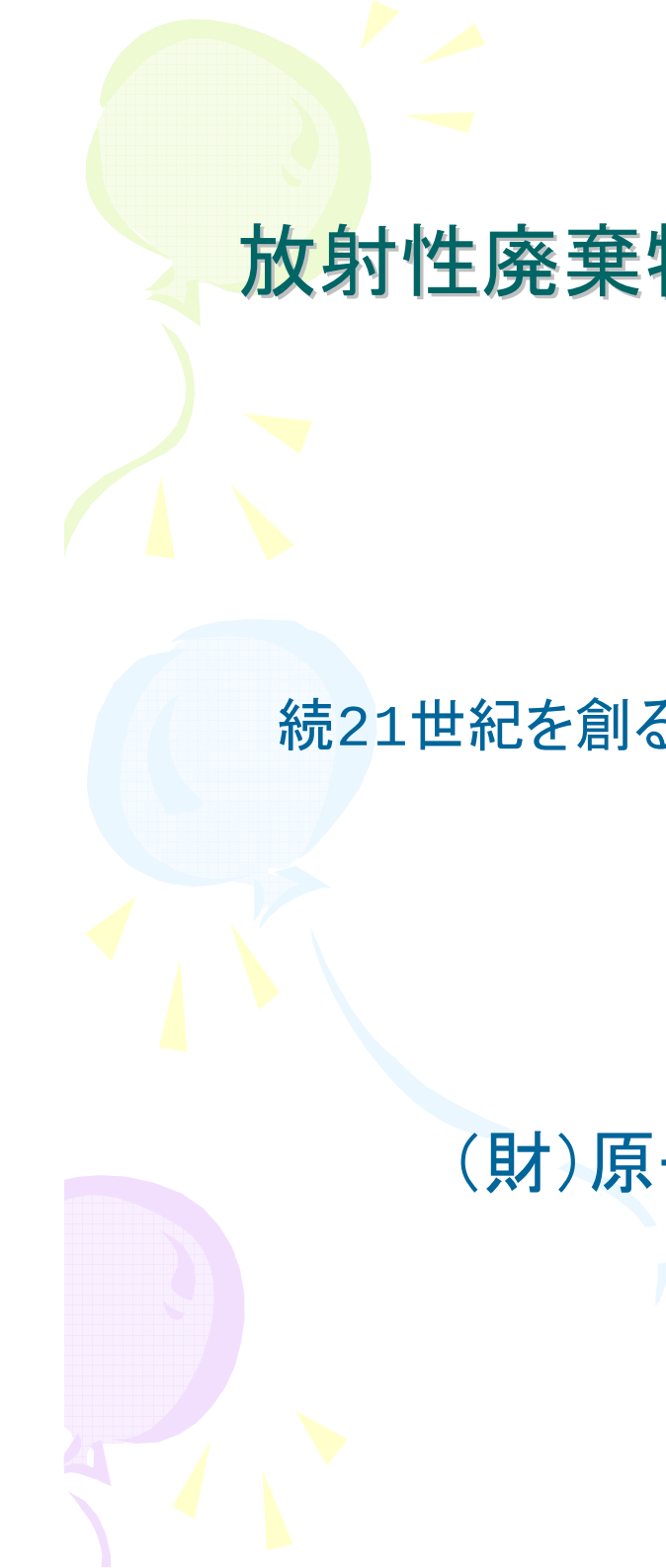




放射性廃棄物地層処分事業 と地盤工学的課題

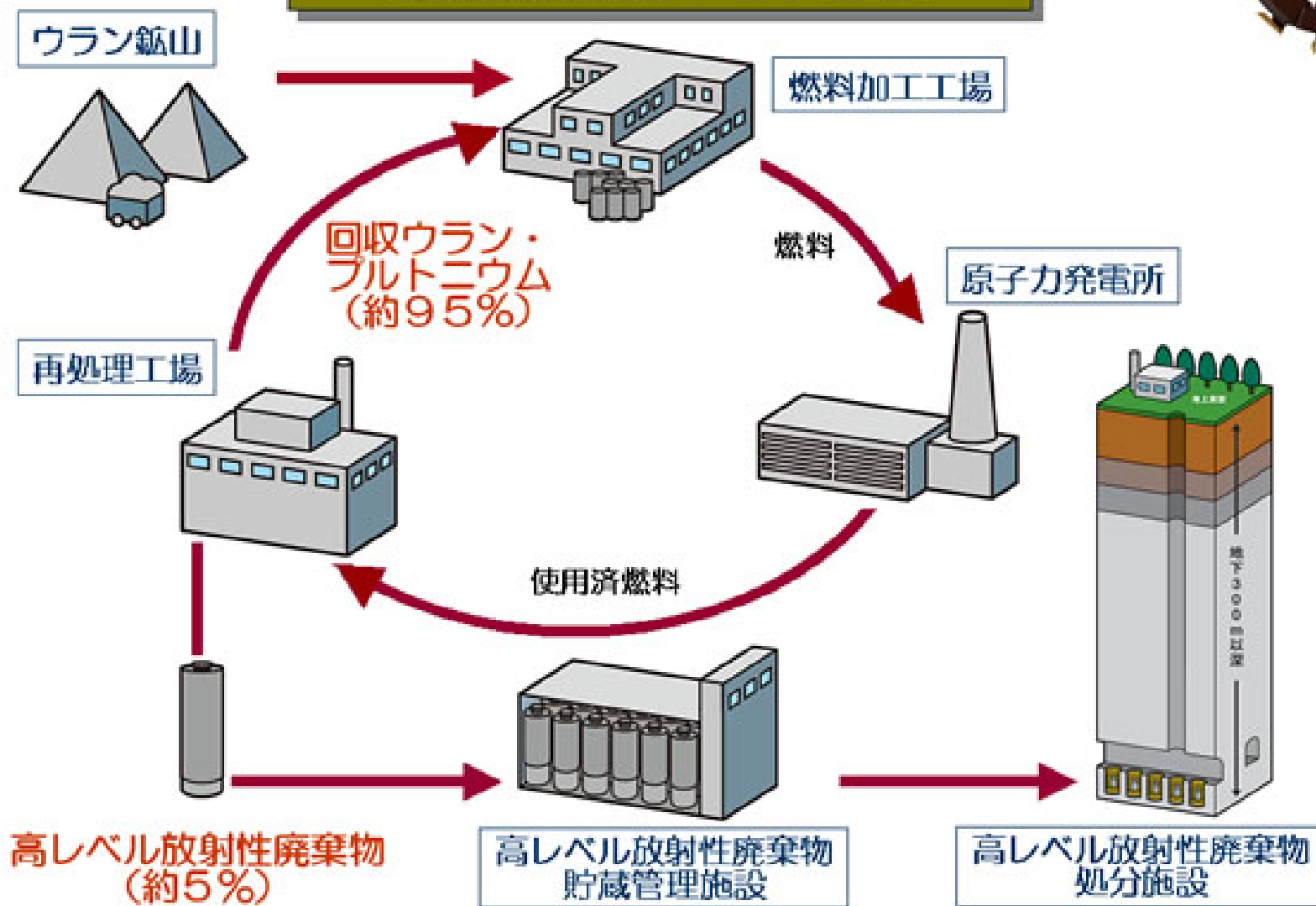
第43回地盤工学研究発表会

続21世紀を創る地盤工学セッションー地層処分における地盤工学ー

平成20年7月9日

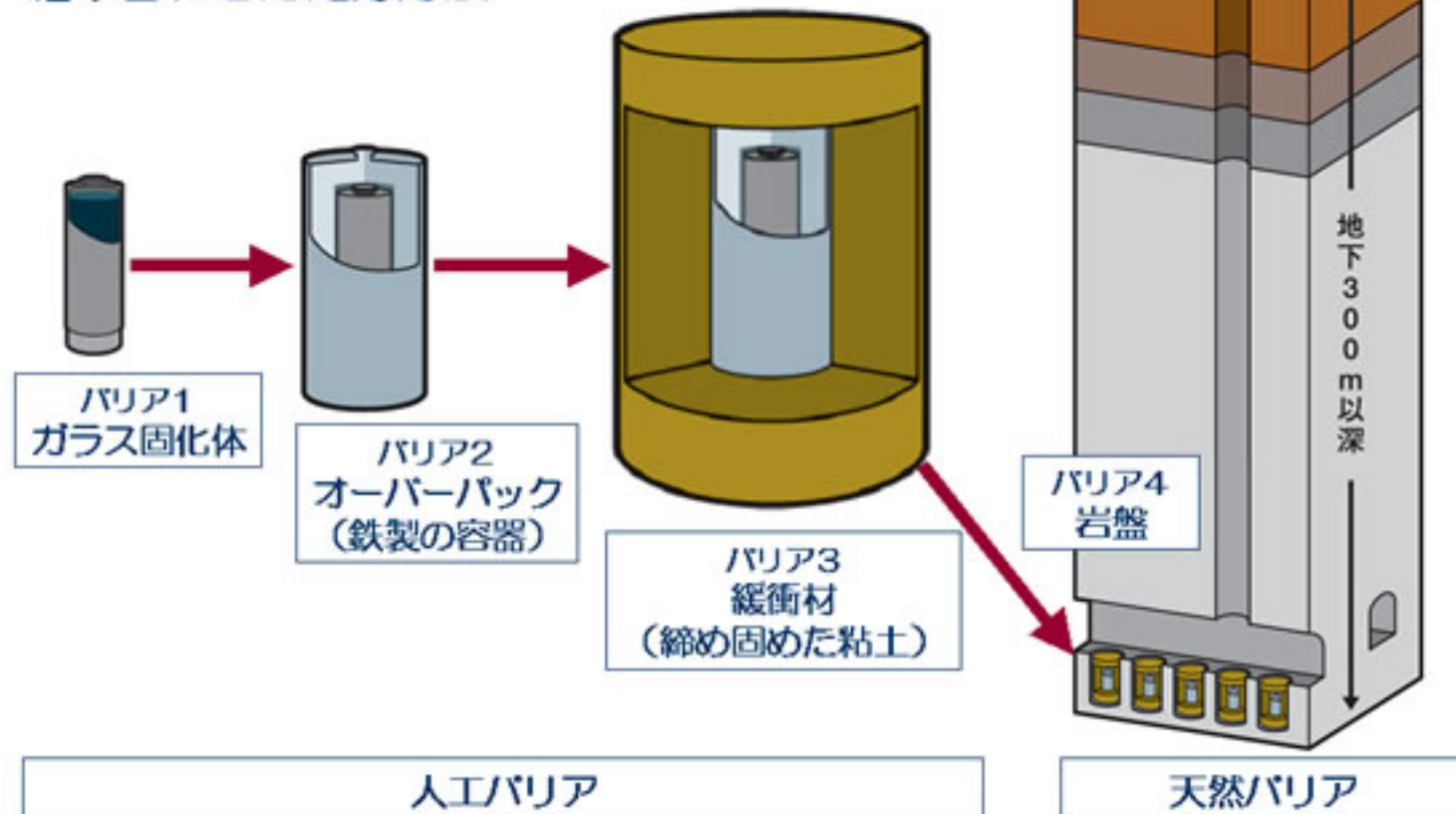
(財)原子力環境整備促進・資金管理センター
寺田賢二

原子燃料のリサイクル



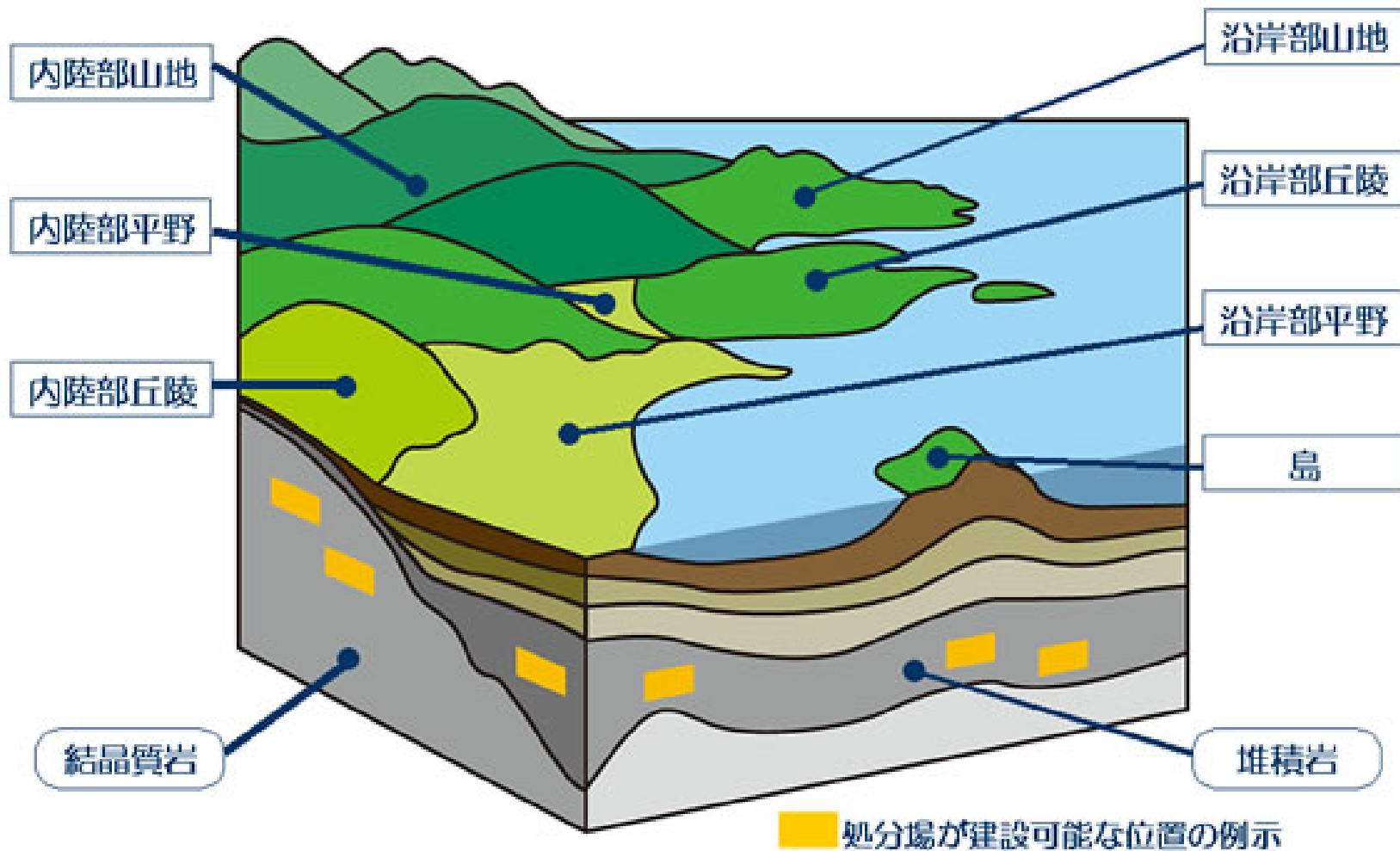
地層処分とは

深い地下の安定した岩盤（天然バリア）に
複数の人工障壁（人工バリア）を
組み合わせた処分方法



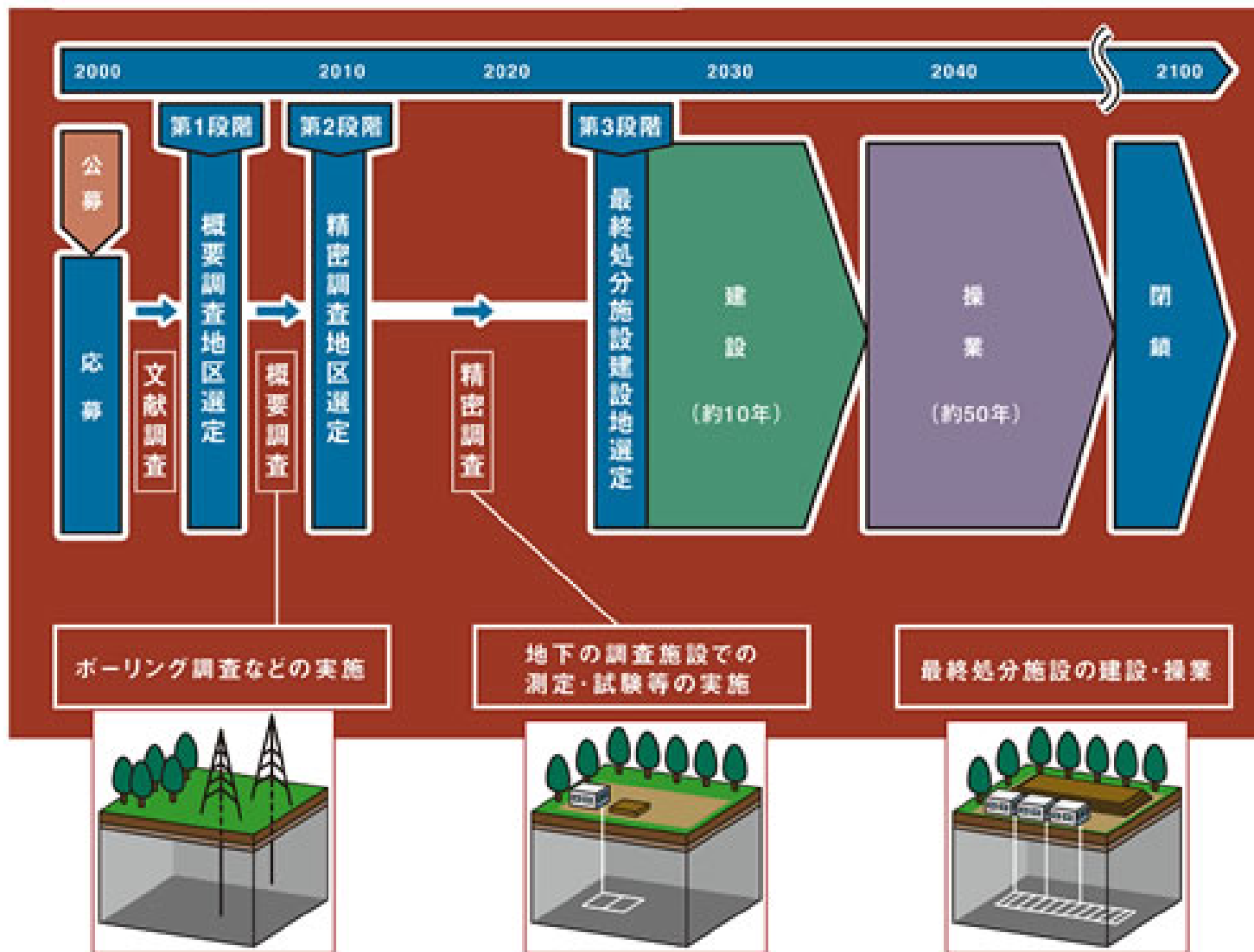
処分場の建設可能地域

処分場は、条件を満たす地域であればさまざまな地質環境で建設が可能

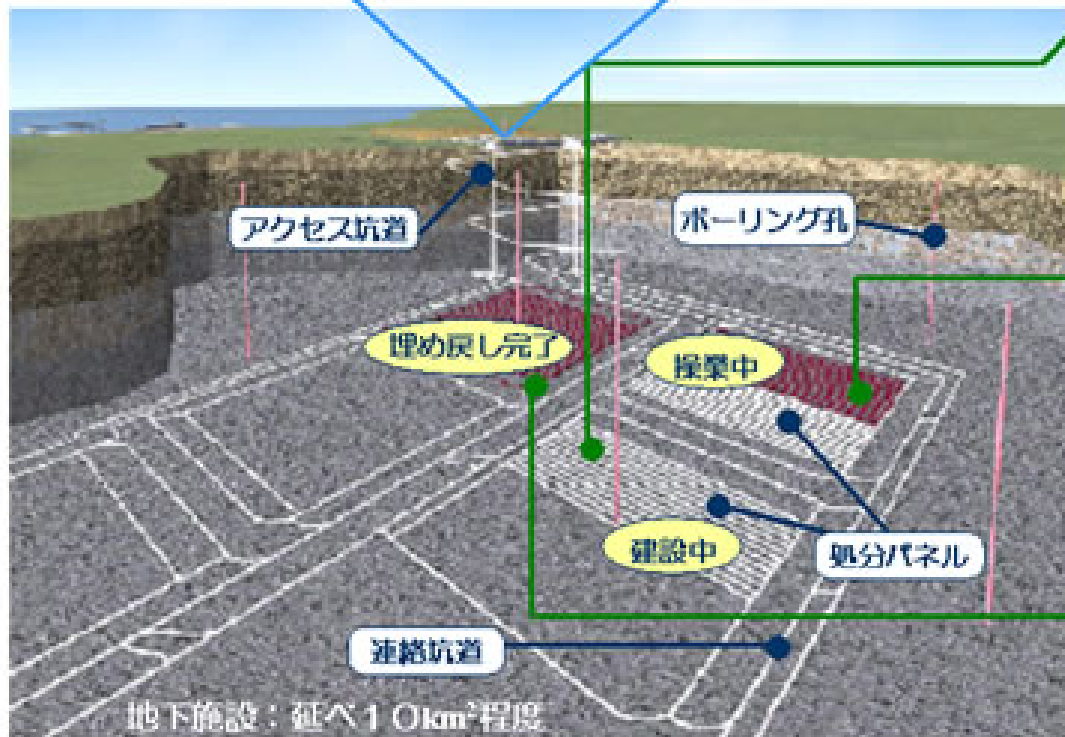


出典: NUMOのホームページ

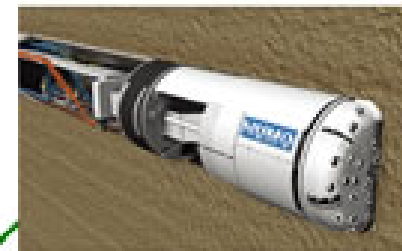
処分事業のスケジュール



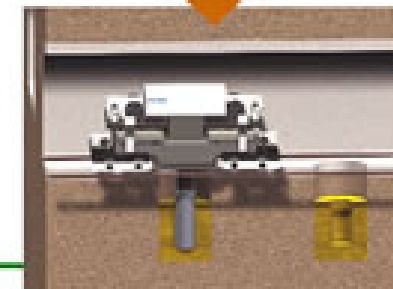
最終処分事業のイメージ



建設から操業までの流れ



地下坑道の建設

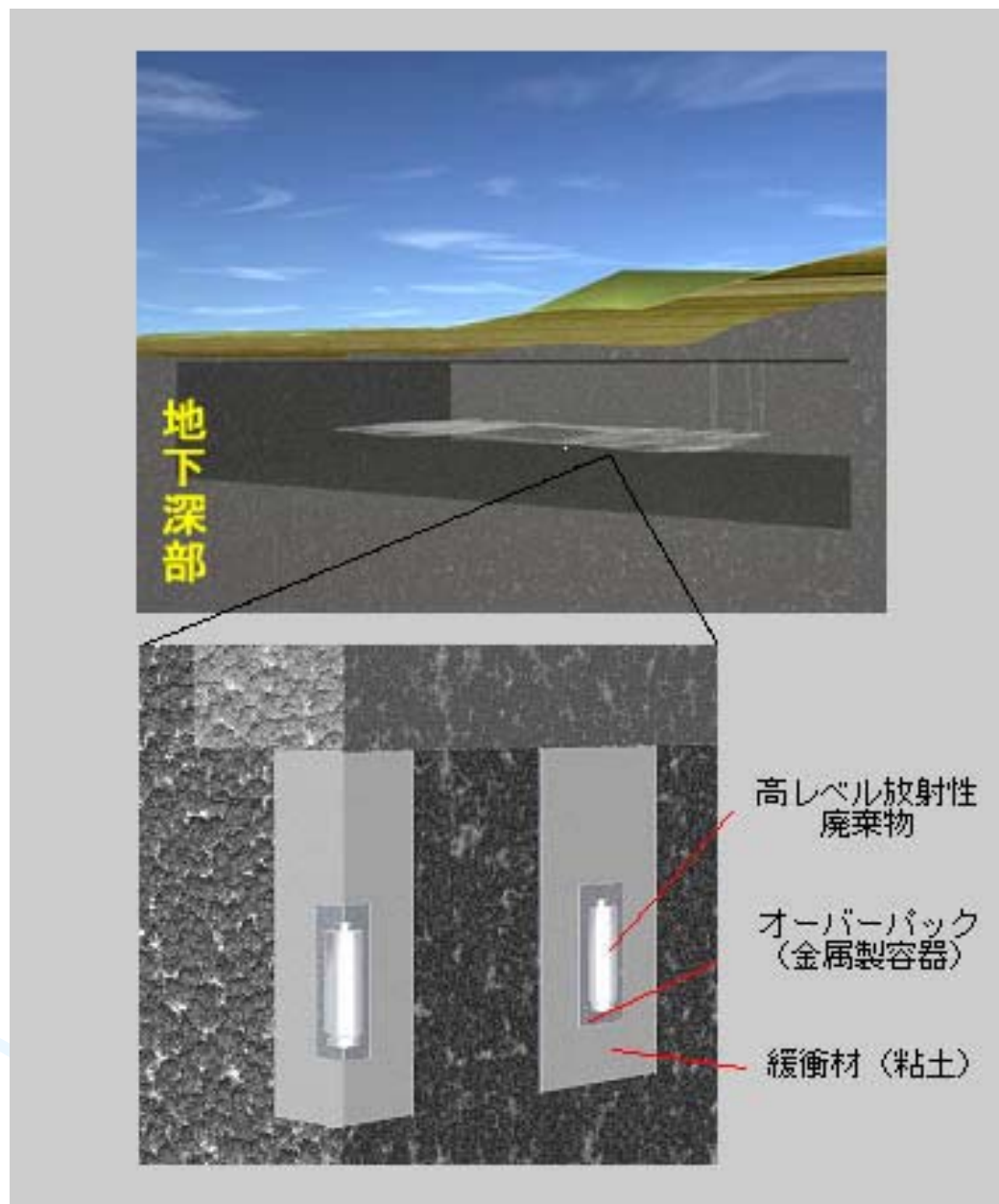


ガラス固化体の定置



処分坑道の埋め戻し

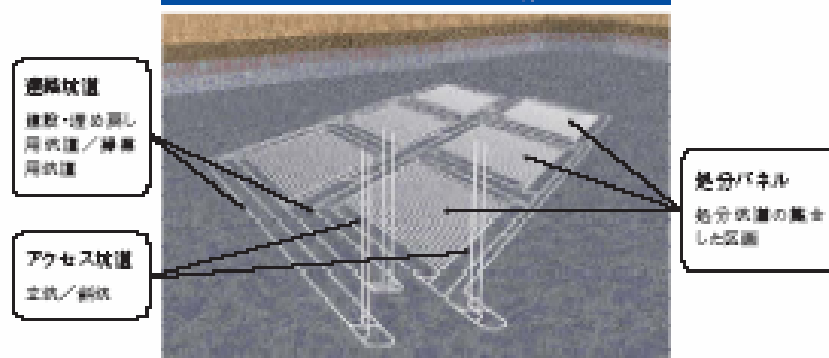
出典：NUMOのホームページ



出典: NUMOのホームページ

アクセス坑道、連絡坑道、処分パネルを建設

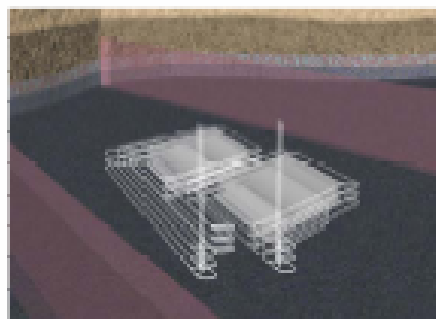
地下施設の基本構成



地質環境の特性に応じて対応

① 岩盤が強い場合は...

〈多層配置の例〉面積(占有投影面積)を小さくします



岩盤が小さく、十分な距離が確保できない場合は、処分パネルを多層配置します。上下のパネル間の距離は、ガラス固化体の形状や配置の方向的な定着性などを考慮して設計します。

② 岩盤が傾斜している場合は...

〈傾斜配置の例〉傾斜にあわせて配置します



岩盤が傾斜している場合は、その傾斜に応じて地下施設を建設します。

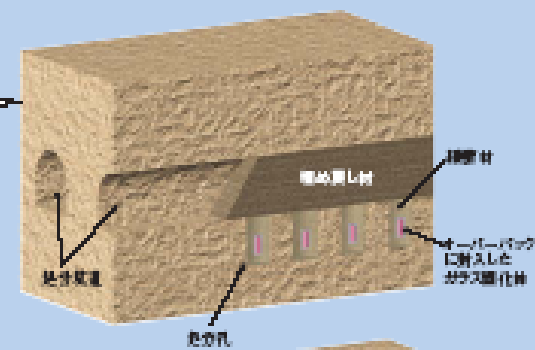
最も適切な方法を採用

ガラス固化体の定置方式

ガラス固化体の定置には、さまざまな方式があります。岩盤の状況や地質環境の条件を考慮して最も適切な方式で定置します。

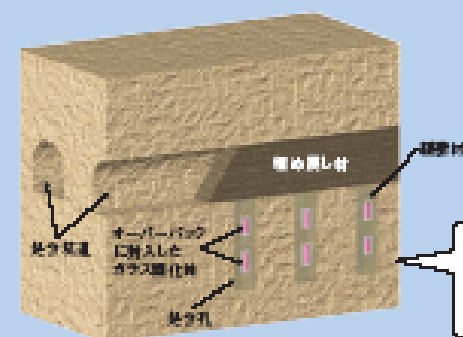
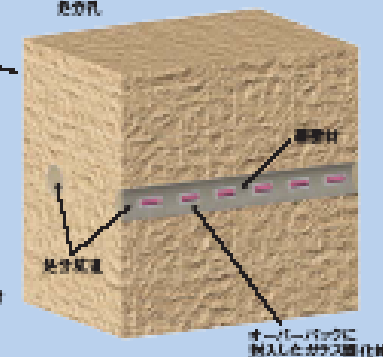
① 縦置方式

処分坑にガラス固化体を立てに定置する方式



② 横置方式

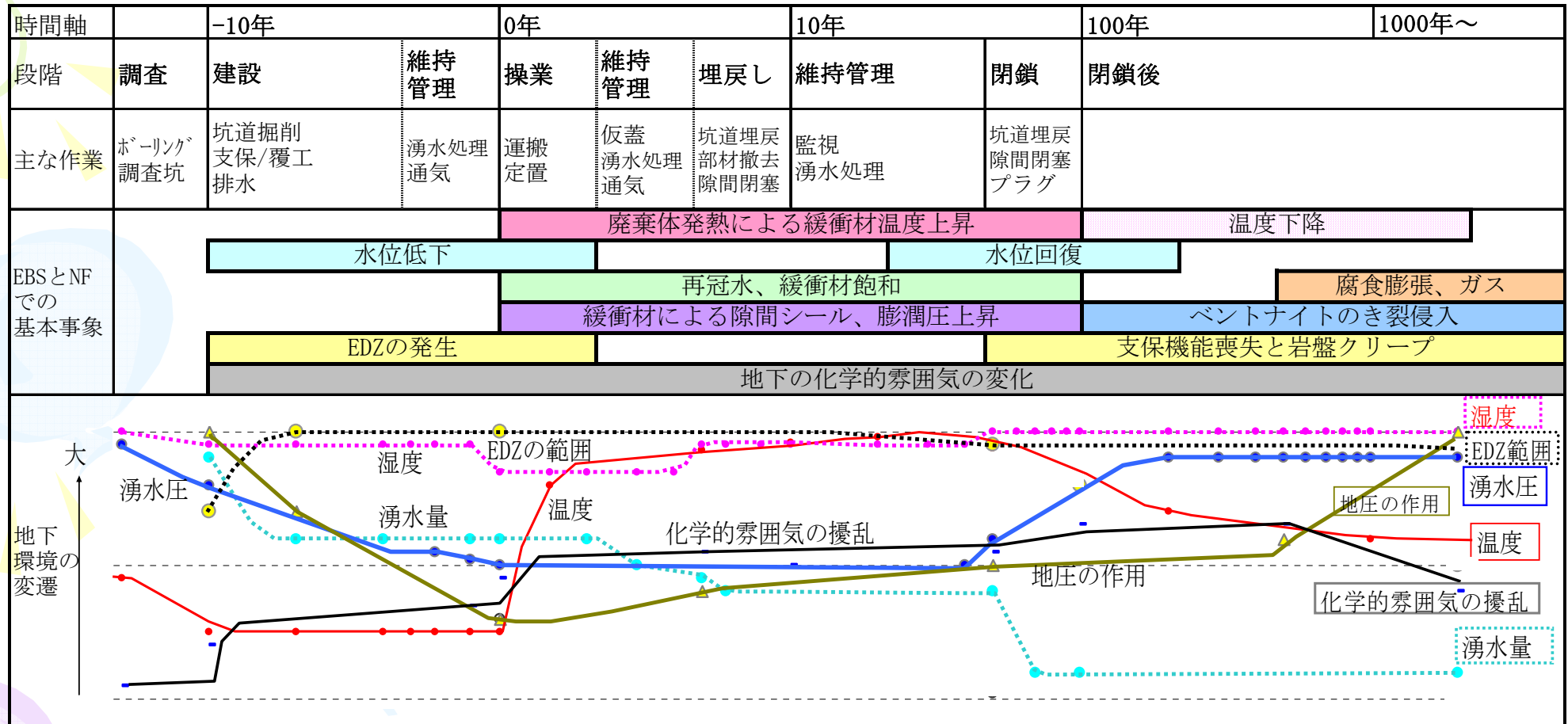
処分坑道にガラス固化体を横向きに定置する方式



③ 多段定置方式

岩盤が強い場合などは、同一処分坑に複数のガラス固化体を定置する方式が考えられます

放射性廃棄物処分における時間軸と発生事象

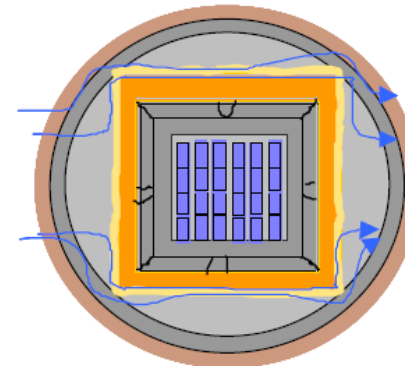
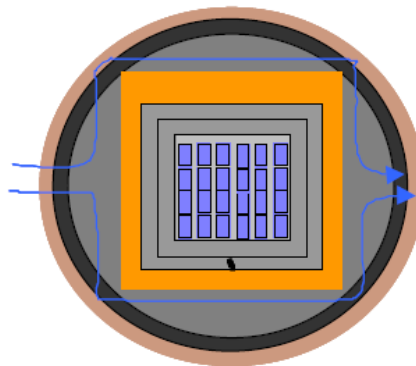
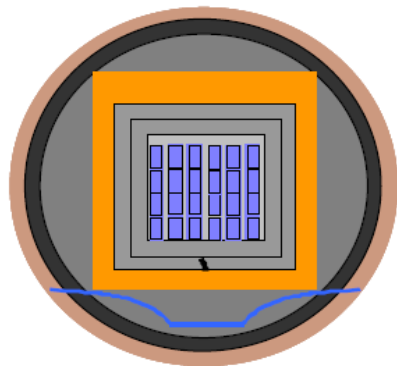


出所: 原環センター, 遠隔操作技術高度化調査 2007.3

施工～数百年後

およそ1千年後

およそ1万年後



設計仕様どおりに施工された人工バリアの再冠水過程。乾燥収縮等により高緻密コンクリート層に若干のひび割れ発生の可能性。

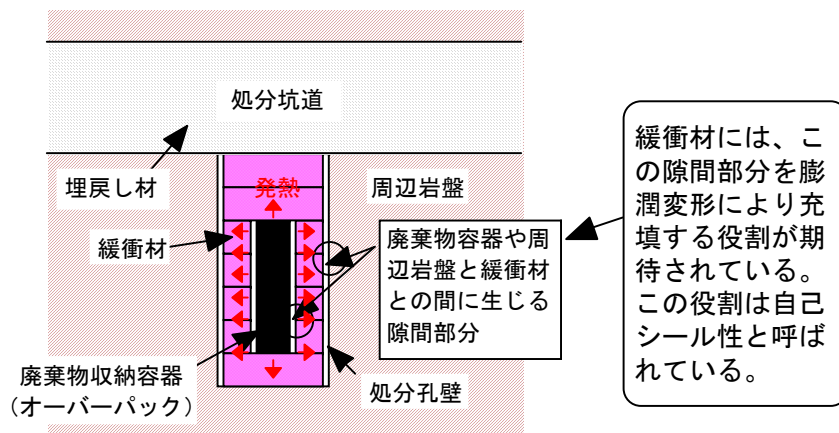
緩慢な溶脱/変質が開始。高緻密コンクリート層、ベントナイト層は初期性能を維持。支保工の力学性能は低下するものの、全体として空洞形状は維持される。

緩慢な溶脱/変質の進展。高緻密コンクリート層の低透水性喪失。ベントナイト層は若干変質するものの、機能を維持。人工バリアの力学性能は低下するが空洞とバリア材に有意な変形は生じない。

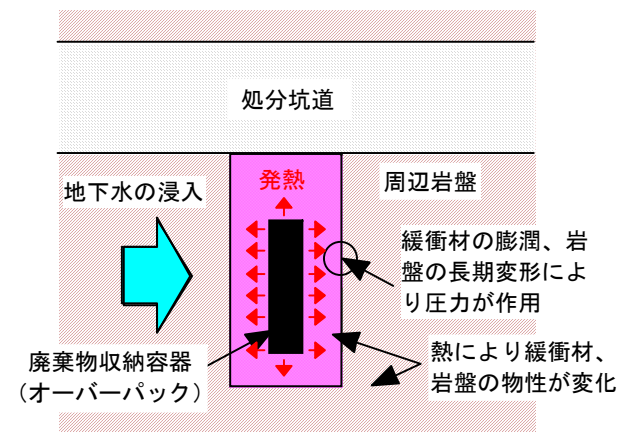
社)土

発生の可能性の高いシナリオのイメージ(加藤他2007)

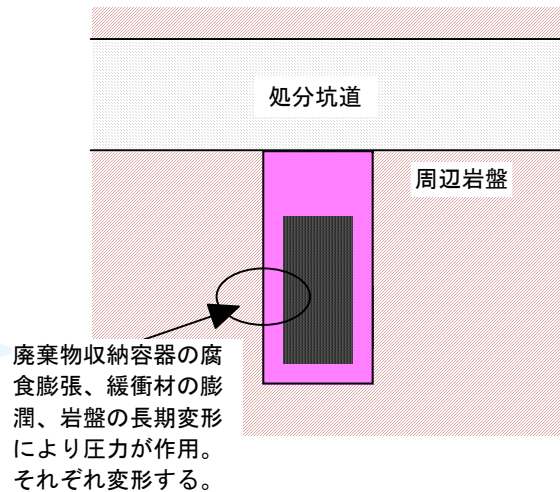
廃棄物収納容器（オーバーパック）と緩衝材の定置直後



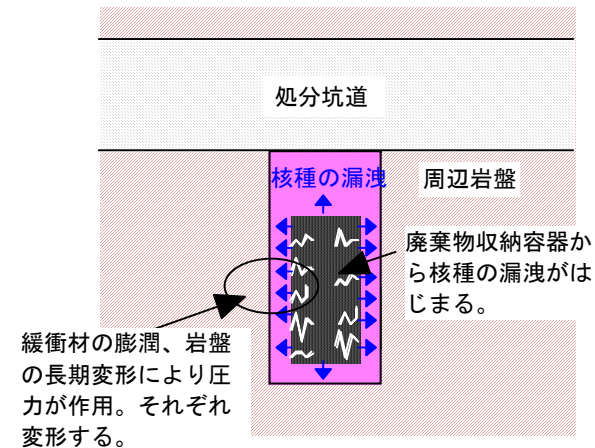
定置～100年前後経過（再冠水）



100年前後（再冠水）～1000年経過



1000年～



「高レベル放射性廃棄物地層処分技術の現状とさらなる信頼性向上に向けて」(社)土木学会、2004. 6

処分孔周辺において想定される事象(小峯・緒方, 1999)

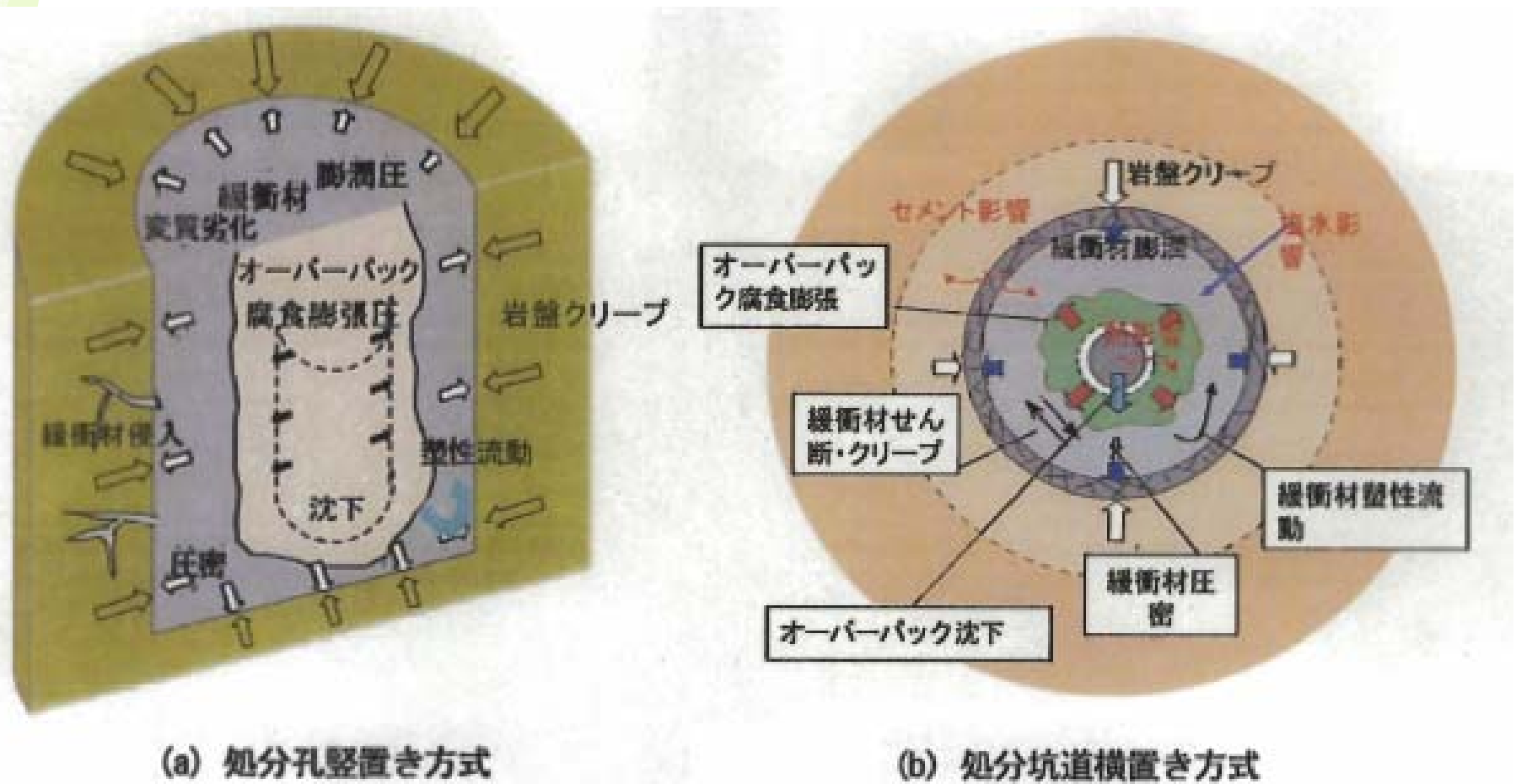


図 3.4-2 ニアフィールドにおける力学的相互作用要因

緩衝材の設計要件(HLWの例)

基本的な要件		設計要件	内容
放射性核種の隔離	放射性核種の移行抑制	低透水性	低透水性を有することにより緩衝材中の地下水の動きを遅くして、結果的に緩衝材中の物質移動が遅くなるようにするとともに、ガラス固化体の溶解速度や核種の溶出を抑制すること
		収着性	ガラス固化体から放射性核種が溶出した場合、それを収着することによって放射性核種の移行を抑制すること
		コロイドフィルトレーション	放射性核種がコロイドとして移行することを妨げること
		化学的緩衝性	地下水のpHや還元性(Eh)などを化学的に緩衝することにより地下水の化学的条件を好ましいものとする
人工バリアの成立	製作・施工が可能である	自己シール性	地下水の浸入に伴う膨潤によって、定置時の周辺岩盤との隙間や緩衝材内に生じた隙間を充填できること
		施工可能な締固め特性	既存の技術によって所要の密度が得られるような締固め特性を有すること
		施工可能な強度	ブロック方式による施工を想定した場合、据付時のハンドリングに必要な力学的特性を有すること
	所要の期間、人工バリアに有意な影響を及ぼさない	変形能	廃棄体埋設後、オーバーパックの機能が維持される期間、オーバーパックの腐食膨張と岩盤のクリープ変形を力学的に緩和できること
		強度	廃棄体埋設後、オーバーパックの機能が維持される期間、オーバーパックを力学的に安定に支持でき、地震に対しても健全性を維持できる力学特性を有すること
		熱伝導性	良好な熱伝導性を有することにより、ガラス固化体の発熱を外部に伝え、ガラス固化体の安定な形態を損なうような熱による変質を生じさせないこと 人工バリアの性能に有意な影響を及ぼすような緩衝材の熱的な変質が生じないこと

表 3.4-2(1) ニアフィールドの化学及び力学的相互作用評価における今後の取り組みの方向性

		今 後 の 取 り 組 み の 方 向 性				
		室内試験	モデル	データベース	ナチュラアナログ	原位置試験
化学的相互作用	炭素鋼オーバーパック腐食生成物の緩衝材への影響	・Fe 型化処理したベントナイトの水熱試験 ・長期変質試験	・試験結果に基づきモデル化を検討	・Fe 型化等の化学反応等の基本定数をデータベース化	・天然に参考となる対象があれば調査	・室内試験結果により実施の可否を判断
	普通セメントのニアフィールド周辺の影響 ①オーバーバックへの影響	・高アルカリ環境での炭素鋼の局部腐食、応力腐食割れの発生/進展挙動評価 ・高アルカリ環境でのチタン不動態皮膜の耐食性評価	・高アルカリ環境でのオーバーバック寿命評価モデルの検討	・高アルカリ環境での炭素鋼の腐食局在化に関するデータ整備、応力腐食割れ発生条件に関するデータ整備 ・高アルカリ環境でのチタンの腐食データ整備	・該当なし	・原位置試験による炭素鋼オーバーバックの酸化性環境での耐食性実証
	②緩衝材への影響 (a)変質挙動の評価	・モンモリロナイトなどベントナイト構成鉱物の高アルカリ条件における溶解速度取得及び溶解モデル開発 ・圧縮成型ベントナイトの変質確認試験	・溶解速度を考慮した地球化学・物質移行連成モデルの改良・整備 ・モデルの妥当性評価	・高アルカリ条件における鉱物の溶解速度、熱力学データの整備 ・高アルカリ条件における溶存化学種の熱力学データの整備	・中央ヨルダンにおけるナチュラアナログ ・コンクリート/ベントナイトの接触事例の調査	・室内試験結果により実施の可否を判断
	(b)変質したベントナイトの特性評価	・変質ベントナイトの作製方法の検討 ・変質ベントナイトの特性評価（コロイドフィルトレーション、透水係数） ・変質ベントナイトの核種移行試験	・該当なし	・変質ベントナイトの基本特性データの整備 ・変質ベントナイトの核種移行データの整備	・ナチュラアナログでの試料を用いた特性データの取得	・室内試験結果により実施の可否を判断
	③岩盤への影響 (a)変質挙動の評価	・岩盤主要構成鉱物の高アルカリ条件における溶解速度取得及び溶解モデル開発 ・岩盤変質確認試験	・緩衝材への影響の変質挙動の評価と共通（但し、物質移行として移行・分散を考慮）	・緩衝材への影響の変質挙動の評価と共通	・マカーリンにおけるナチュラアナログ ・コンクリート/岩盤の接触事例の調査	・スイスグリムゼル等の原位置試験によるモデルの確認
	(b)変質した岩石の特性評価	・変質岩石の作製方法の検討 ・変質岩石の特性評価（透水係数） ・変質岩石の核種移行試験	・該当なし	・変質岩石の基本特性データの整備 ・変質岩石の核種移行データの整備	・ナチュラアナログでの試料を用いた特性データの取得	・室内試験結果により実施の可否を判断

表 3.2-1 緩衝材の長期挙動評価における今後の取り組みの方向性

		今 後 の 取 り 組 み の 方 向 性				
		室内試験	モデル	データベース	ナチュラルアナログ	原位置試験
長期化学的挙動評価	ベントナイト間隙水組成の長期評価	・間隙水特性の把握のための試験	・ベントナイト間隙水の化学ポテンシャルやイオン分布などを考慮したモデルの開発	・間隙水特性評価のための化学反応定数等のデータベースの整備	・ベントナイト鉱床における間隙水化学データの取得	・室内試験の結果より実施の可否を判断
	イオン型 (Ca 型化) の変化の評価	・Ca 型化処理したベントナイトの特性評価 (コロイドフィルトレーションなど)	・イオン交換反応等を考慮した化学平衡反応-物質移行連成モデルで評価が可能	・イオン交換平衡定数の整備 ・Ca 型化処理したベントナイトの基本特性や核種移行特性データの整備	・ナチュラルアナログでの試料を用いた特性データの取得	・室内試験の結果より実施の可否を判断
	鉱物学的な変化 (イライト化・シリカセメンテーション) の評価	・イライト化・シリカセメンテーションさせたベントナイトの特性評価 (コロイドフィルトレーションなど)	・シリカセメンテーションについては、化学反応速度等を考慮したモデルの開発	・イライト化・シリカセメンテーションさせたベントナイトの基本特性や核種移行特性データの整備	・ナチュラルアナログでの試料を用いた特性データの取得	・室内試験の結果より実施の可否を判断
長期力学的挙動評価	長期力学評価モデルの信頼性向上	・圧密試験・三軸圧縮試験・クリープ試験・クリープ破壊試験によるデータの蓄積 ・模型実験 ・長期圧密・クリープ試験	・選定されたモデル (関ロ-太田、足立-岡など) の整備・改良 ・模型試験などによるモデルの検証 ・分子レベルのマイクロメカニズムに基づくモデル開発	・緩衝材の力学定数の整備	・ベントナイト鉱床における坑道変位などの調査	・原位置試験による工学規模の人工バリア力学挙動試験
	様々な処分環境に対する力学挙動評価	・温度条件や溶液条件 (海水、セメント系材料の影響を想定したアルカリ溶液) をパラメータとした三軸圧縮試験・クリープ試験	・モデルでの適用性確認	・処分環境に応じた緩衝材の力学定数の整備	・該当なし	・原位置試験場所の地下水環境に対する人工バリア力学挙動試験