

**「包括的技術報告：わが国における安全な地層処分の実現
－適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築－」（レビュー版）**

セッション 3 処分場の設計と工学技術

NUMO包括的技術報告書（レビュー版）に関する外部専門家向け説明会

原子力発電環境整備機構（NUMO）

山本 陽一

第4章の目的とアプローチ

○目的

多様な地質環境条件に対して、所要の安全機能を有する処分場の構築するための技術基盤が整っていることを提示

○アプローチ（再掲）

- 最新の科学的知見や技術開発成果に基づき、多様なサイト条件や社会的な環境変化などに対して柔軟に対応し、安全な処分場を成立させるための設計技術（設計因子を基軸とした体系的な設計の方法論や、設計オプションの考慮など）を準備していることを提示
- 検討対象母岩の地質環境モデルに基づいて、閉鎖前と閉鎖後長期の安全性、および建設・操業・閉鎖の工学的実現性を充足する処分場の仕様を具体的に提示
- この際、断層の存在など、サイト調査において現実的に遭遇する可能性がある地質環境への設計上の対応や処分概念の違いによる得失などを考慮できる、実用性のある設計の方法論を適用
- 処分場の設計で提示する仕様が現時点あるいは近い将来に到達可能な技術を用いて工学的に実現可能であることを提示。回収可能性が確保できることを提示

1. 設計の考え方
2. 人工バリアの設計
3. 地下施設の設計
4. 地上施設の設計
5. 回収可能性の維持と回収方法
6. 前回の報告会での主なご意見と報告書への反映
7. まとめと今後の取り組み

処分施設の仕様は、文献調査、概要調査、精密調査の各段階で取得される地質環境情報や、その時点の最新の技術開発成果などに基づき、**段階的に詳細化と最適化**を図る。

○ 設計因子を基軸とした体系的な設計の方法論の適用

異なるサイトや異なる事業段階においても、処分場に求められるさまざまな要件を統合的に考慮できるよう**首尾一貫した設計の考え方（設計因子を基軸とした体系的な設計）**を適用する。

※**設計因子**：

設計によって処分場に持たせようとする性能と能力を取りまとめたもの
閉鎖後長期の安全性、閉鎖前の安全性、工学的成立性、モニタリング、回収可能性、環境影響、社会経済的側面など

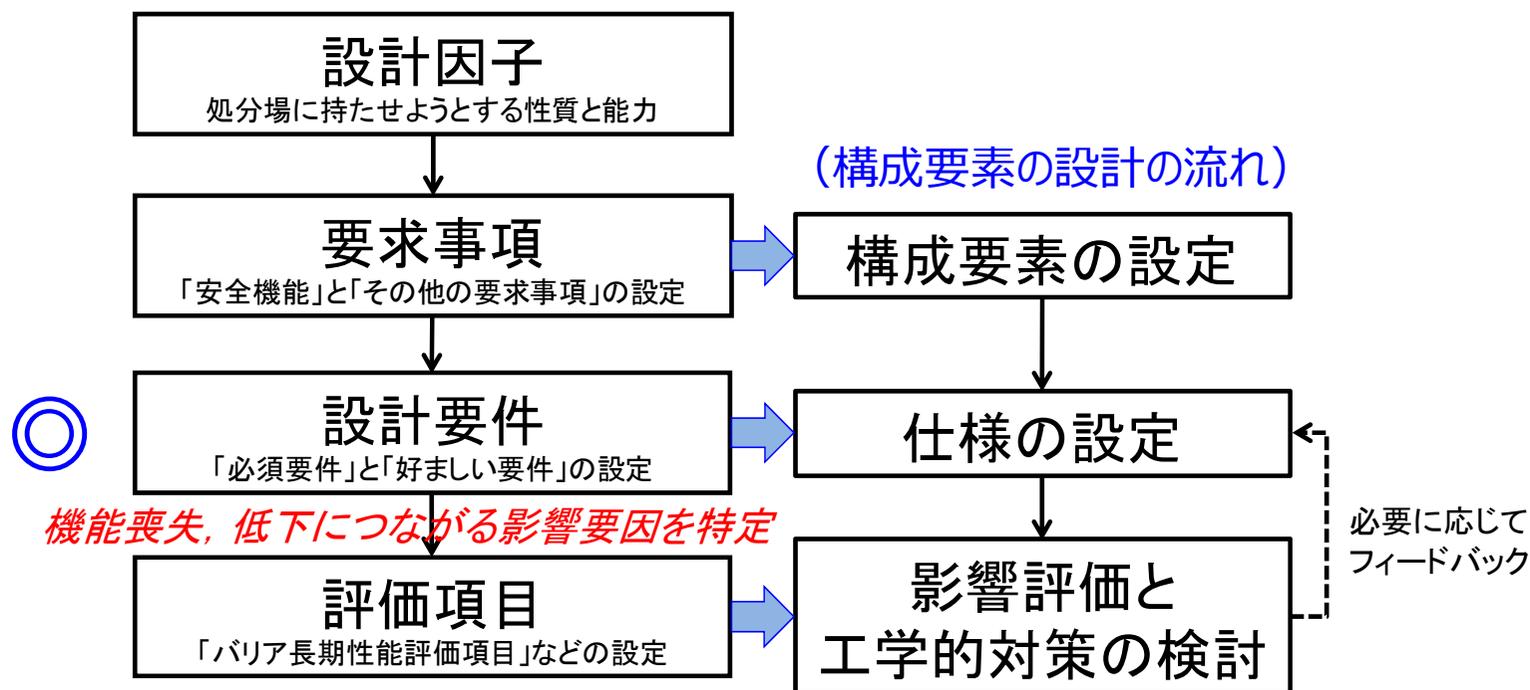
○ 設計オプションの整備

多様な地質環境や、長い事業期間中における科学技術の進歩などに柔軟に対応して、処分場の設計を進められるように、**複数の設計オプション（多様な選択肢）**を整備する。

設計因子を基軸とした体系的な設計

- 設計因子に対して、**処分場に必要**な**要求事項**を明確にして設定する。
- 適切な**処分概念**と**処分場の構成要素**を設定し、要求事項として表された処分場が有すべき安全機能を期待する構成要素に割り当てる。
- 要求事項の下位の属性として**設計要件**を**構成要素毎に展開**して、設計要件に対する**設計での確認方法**と**指標および基準**を設定する。
- 設計要件を充足するように**基本となる仕様**を設定する。
- この仕様を対象として、**操業期間中**や**閉鎖後**に構成要素の**機能喪失**や**低下**につながる**可能性がある影響要因**を**特定**し、仕様の妥当性を判断する**影響評価**を行う。

(設計要件および評価項目の設定の流れ)



設計因子, 要求事項および設計要件に基づく設計の流れ

設計因子と要求事項の設定

- ◆ 国際機関や関連する原子力施設の規制等で示されている処分場の安全確保の要件
- ◆ 最終処分基本方針など政策上の重要課題
- ◆ 処分場設計の実用性および合理性に係る要件

設計因子	処分場に必要な要求事項
閉鎖前の安全性	<ul style="list-style-type: none">・ 廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止・ 施設外への放射性物質の放出の防止・ 放射線の遮蔽・ 作業環境の維持・ 災害の発生・拡大の防止・ 災害時の避難経路の確保 <p>処分場に求められる安全機能 (第2章参照)</p>
閉鎖後の安全性	<ul style="list-style-type: none">・ 自然現象の著しい影響からの防護・ 人の接近の抑制・ 放射性物質の溶出抑制・ 放射性物質の移行抑制
回収可能性	<ul style="list-style-type: none">・ 回収可能性の維持・ 回収可能性の維持による安全性への影響の防止・低減
工学的成立性	<ul style="list-style-type: none">・ 実現可能な建設・操業・閉鎖の作業工程・方法・ 実証された技術の適用
経済的合理性	<ul style="list-style-type: none">・ 処分場の建設・操業・閉鎖の合理性・ 調達性

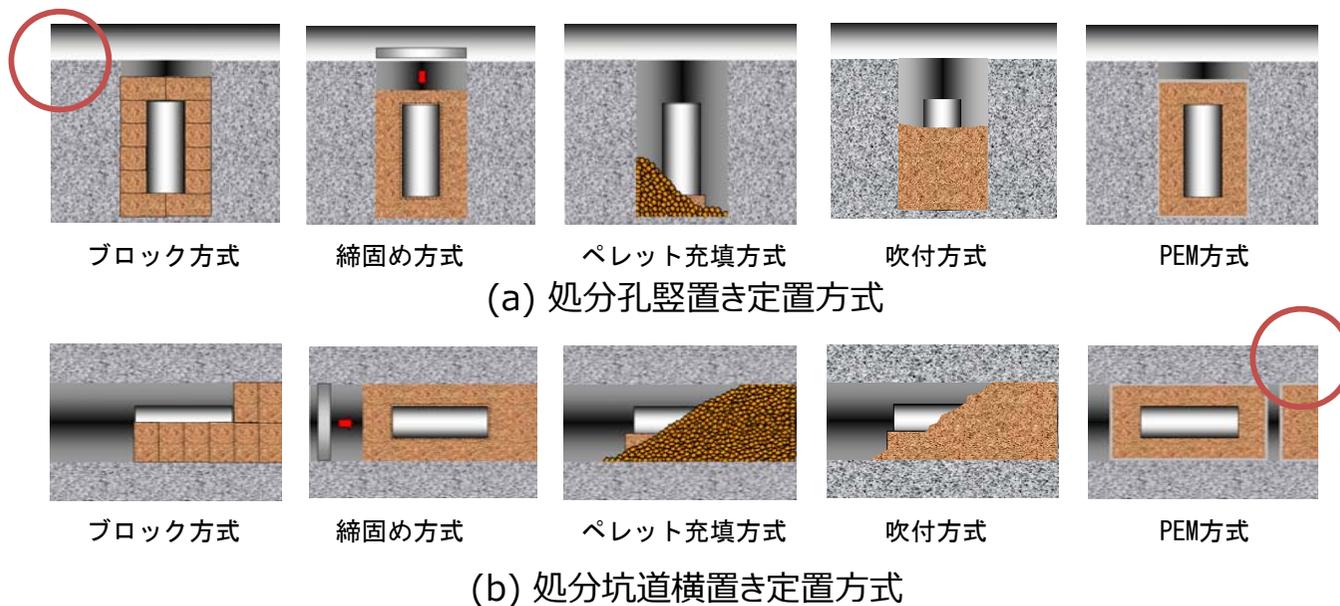
※ 環境保全，モニタリングも設計因子として考慮するが，本報告書では検討しないこととした。

環境保全については，サイトの地表の地質環境条件や社会条件に関する情報が必要であり，モニタリングについては，地上・地下施設の設計や建設・操業・閉鎖の具体的な方法を絞り込んだうえで検討することが合理的であることから，これらの設計因子については，今後，サイトの地質環境条件やそれに基づいて実施する詳細設計が具体化した時点で設定する。

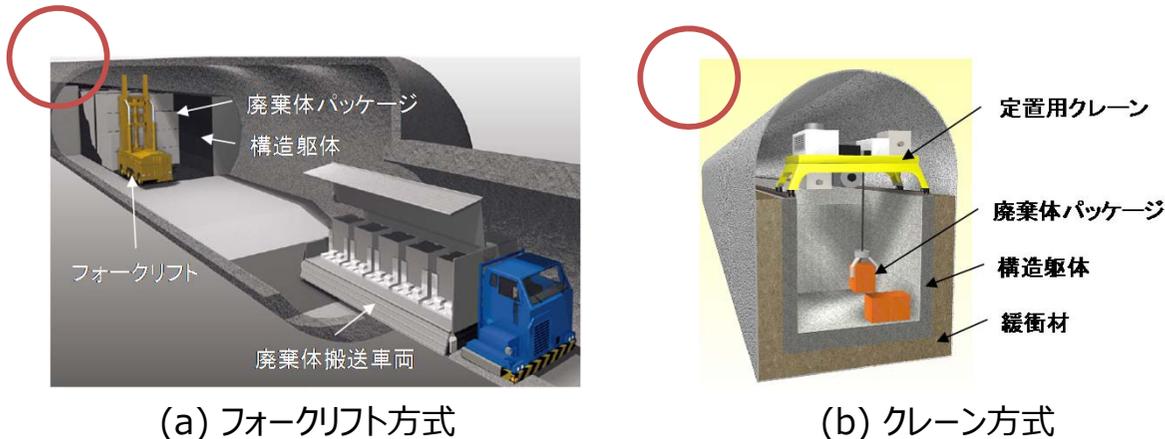
設計オプションの整備

～地質環境や社会条件への柔軟な対応～

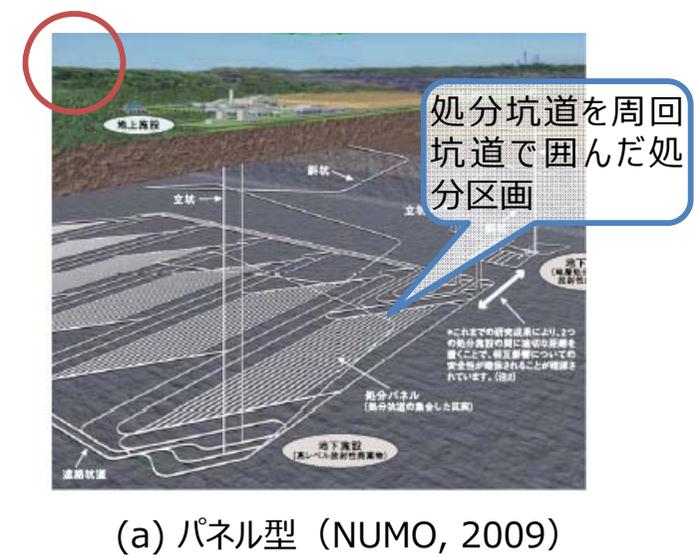
処分場概念，地下施設レイアウト，処分区画の配置，廃棄体の定置形態（縦置き，横置きなど），オーバパックや緩衝材などの人工バリア構成要素の材料などに関する設計上の多様な選択肢



【HLW人工バリアの定置・施工方法の例】



【TRU等廃棄体パッケージの定置方法の例】



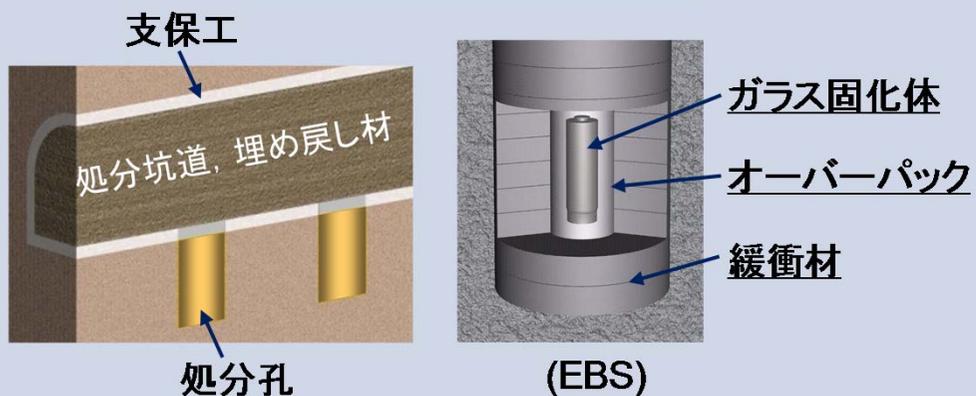
【地下施設のレイアウトの例】

報告書に適用した処分概念

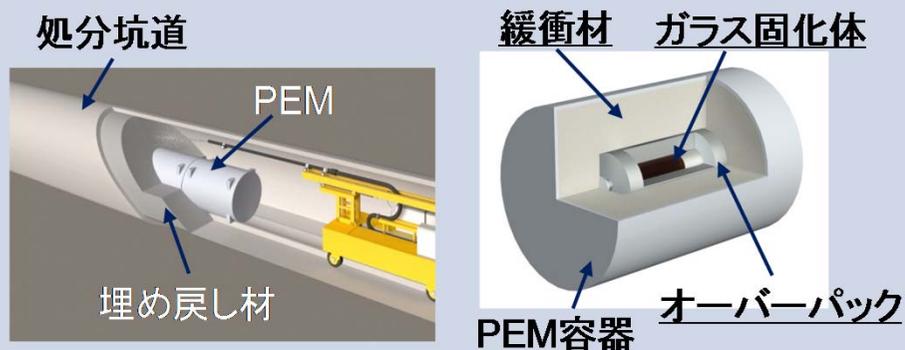
高レベル放射性廃棄物処分場の の処分概念

分散定置型

縦置き・ブロック方式

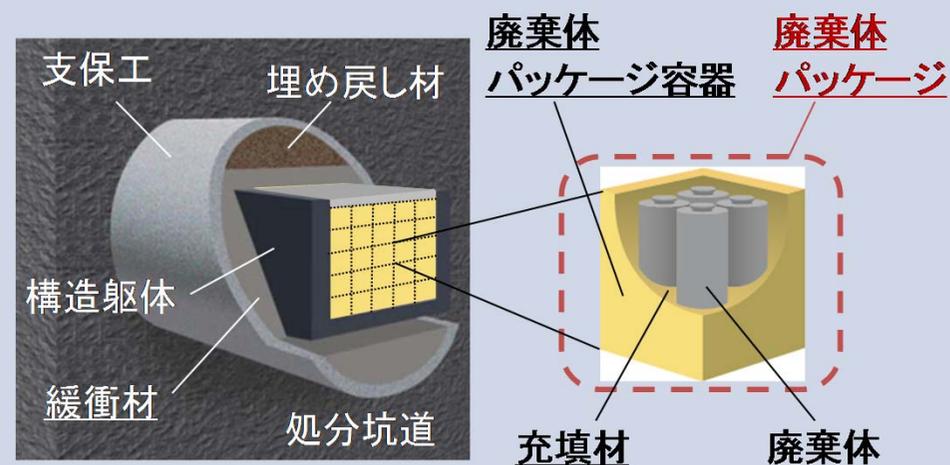


横置き・PEM方式※



TRU等廃棄物処分場の の処分概念

集積定置型

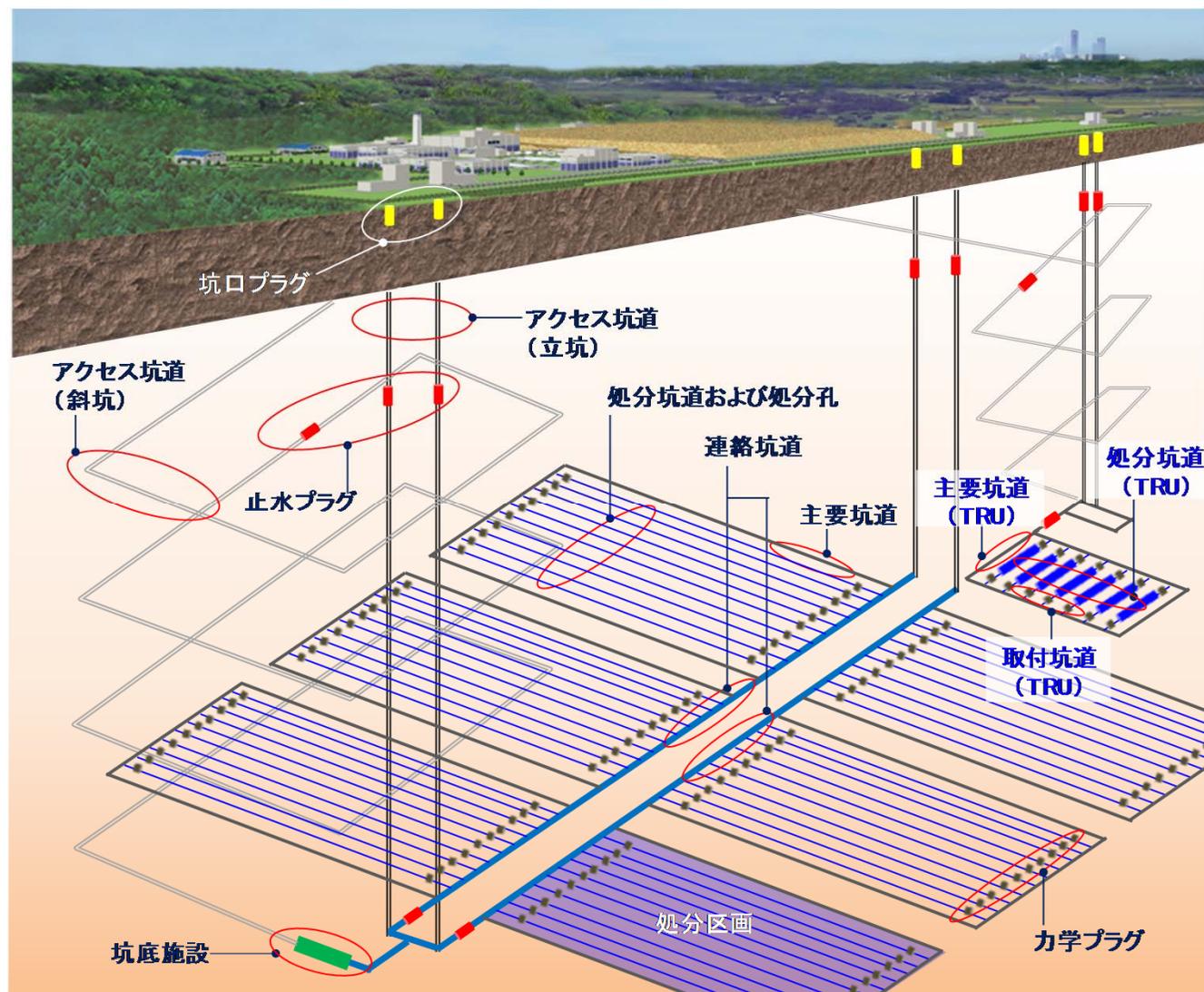


注) アンダーラインの構成要素が人工バリア

※ PEM (Prefabricated Engineered Barrier System Moduleの略) : 地上施設で廃棄体を人工バリアと一体化したモジュールを地下施設に搬送し, 定置する技術

地下施設の構成要素

さまざまな用途の坑道群（アクセス坑道，処分坑道，連絡坑道など），プラグ（止水プラグ，力学プラグ，坑口プラグ），坑内環境を維持するための設備などから構成



+

- 支保工
- 埋め戻し材
- 構造躯体 (TRU)
- 換気, 排水, 照明などの設備
- 搬送容器, 搬送車両

地上施設の構成要素

廃棄体を受け入れ、地下に搬送して定置するための準備と事業管理に必要な施設、
地下施設で行われる作業を支援するための一群の施設



- +
- 港湾施設 (Harbor Facility)
 - 専用道路 (Dedicated Road)

閉鎖前の安全性に関する安全機能と構成要素の関係

<放射線防護>

基本概念	安全機能	構成要素
作業時閉じ込め	廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止	ガラス固化体, オーバーパック 廃棄体パッケージ
	施設外への放射性物質の放出の防止	廃棄体受入施設 換気設備 (排気フィルタも含む)
放射線遮蔽	放射線の遮蔽	廃棄体パッケージ間充填材, 廃棄体受入施設の遮蔽壁, 廃棄体搬送車両, 定置装置などの設備・機器

<一般労働安全>

基本概念	安全機能	構成要素
作業環境の維持	換気能力	坑道の換気経路, 換気設備 (冷房設備含む)
	排水能力	坑道の排水経路, 排水設備
	照明能力	坑道の照明設備
災害の発生・拡大の防止	防火対策	防火設備, 消火設備
	坑道の力学的安定性	支保工
	そのほかの災害防止対策	落下・転倒防止装置, 非常用貯水槽
災害時の避難経路確保	避難経路の確保	アクセス坑道 (入気), 連絡坑道, 緊急待避所, 風門, 通信・連絡設備

閉鎖後長期の安全性に関する安全機能と構成要素の関係

基本概念	安全機能	構成要素		
		HLW	TRU	
隔離	自然現象の著しい影響からの防護	地質環境	地質環境	
	人の接近の抑制	地質環境	地質環境	
閉じ込め	放射性物質の溶出の抑制	ガラス固化体 オーバーパック	廃棄体 廃棄体パッケージ	
	放射性物質の 移行の抑制	放射性物質の溶解の抑制	地質環境	地質環境
		遅い地下水流速による放射性物質の移行の抑制	地質環境	地質環境
		放射性物質の移流による移行の抑制	緩衝材	緩衝材
		コロイド移行の抑制	緩衝材	緩衝材
		放射性物質の収着	緩衝材 地質環境	緩衝材 廃棄体パッケージ間 充填材 地質環境
		放射性物質の分散	地質環境	地質環境
坑道およびその周辺が卓越した放射性物質の移行経路となることの抑制	止水プラグ 埋め戻し材	止水プラグ 埋め戻し材		

※1 地質環境：地下水の流れが極めて遅く、還元性の化学環境を有する地質媒体

※2 赤字：人工バリアの構成要素，青字：地下施設の構成要素を表している

地下施設設置深度の設定

○ 上限深度

- 最終処分法（地表から300 m より深い位置の岩盤）
- 隆起・侵食（評価期間における安全評価結果が目安値を満足すること）

○ 下限深度

- 深くなることによる地圧や地温の上昇による影響に対して設置可能な深度

地下施設設置深度の設計要件

設計要件	内容	深度を深くすることによる影響	
		構成要素	要求事項への影響
坑道の力学的安定性	現実的な支保工で坑道の力学的安定性を確保すること	坑道	地圧の増大に伴う空洞安定性の低下
緩衝材の制限温度	合理的な廃棄体占有面積で緩衝材の温度を制限温度（100℃）を超えないように抑えること	緩衝材	地温の増大に伴う廃棄体専有面積の増加
坑内の制限温度	現実的な換気設備により、坑内環境を労働安全衛生規則で定める制限温度（37℃）を超えないように抑えること	換気設備	地温の増大に伴う換気（冷房）容量の増加

○ 本報告書の地下施設設置深度 → 下限深度に対して設定

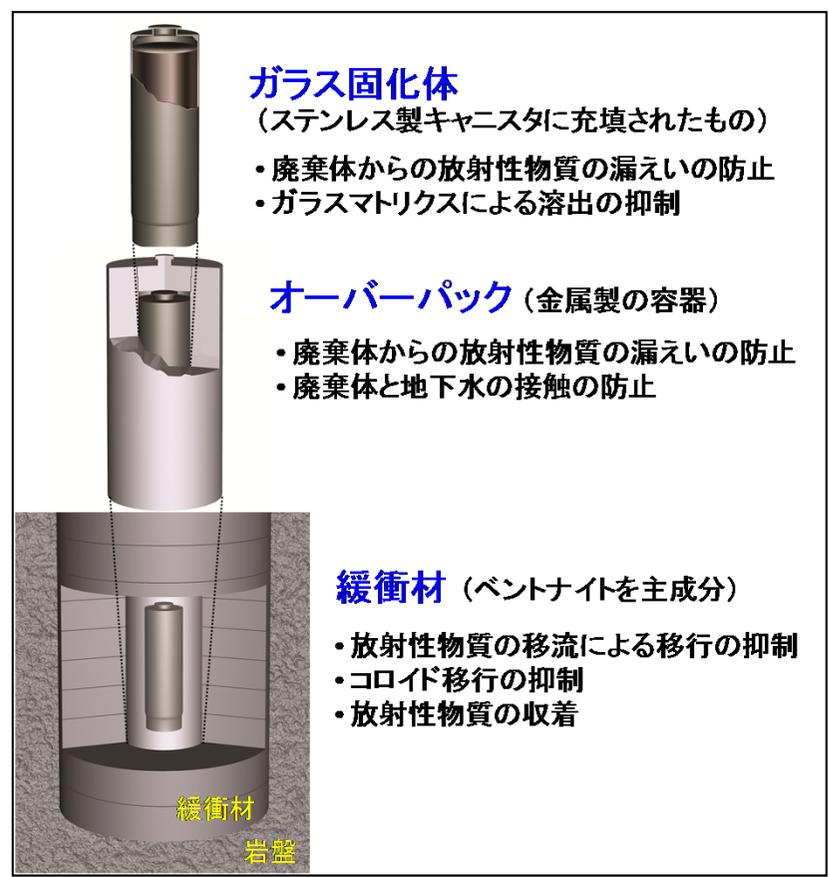
深成岩類，先新第三紀堆積岩類 ⇒ 1,000 m（坑内制限温度の設計要件から）

新第三紀堆積岩類 ⇒ 500 m（坑道の力学的安定性の設計要件から）

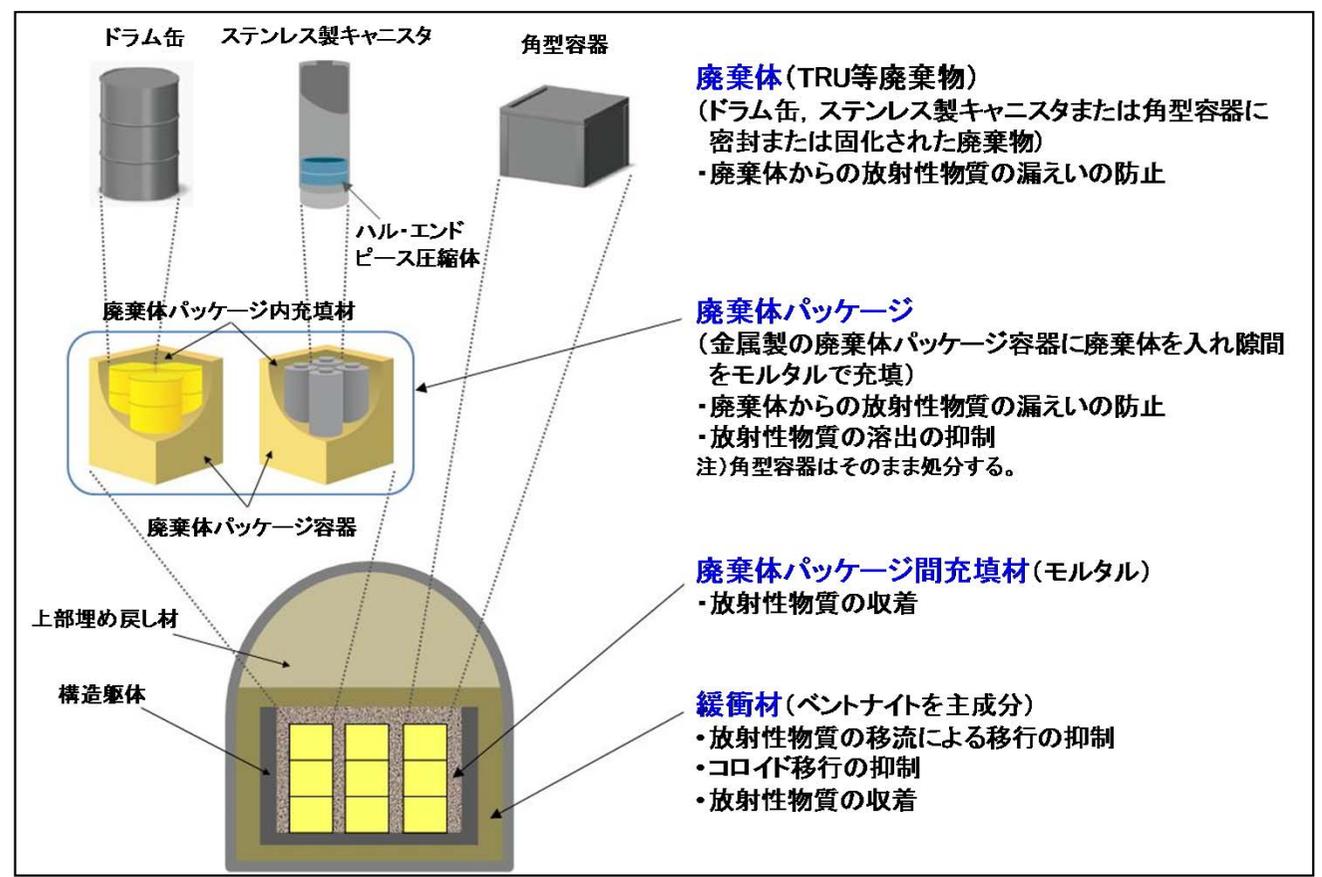
- 
-
1. 設計の考え方
 2. 人工バリアの設計
 3. 地下施設の設計
 4. 地上施設の設計
 5. 回収可能性の維持と回収方法
 6. 前回の報告会での主なご意見と報告書への反映
 7. まとめと今後の取り組み

人工バリアの構成要素

○高レベル放射性廃棄物処分場



○TRU等廃棄物処分場



人工バリアの構成と安全機能

オーバーパックの設計 (HLW)

○期待する安全機能

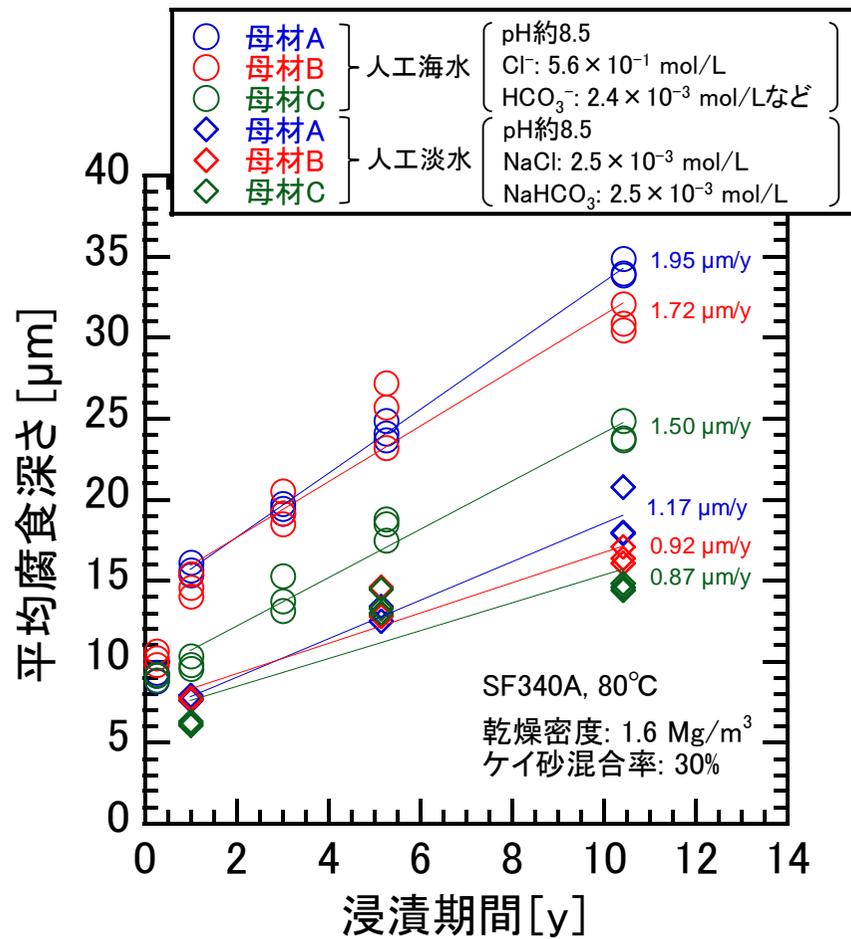
ガラス固化体の放射能が大きく減衰する少なくとも**1,000年間**は**ガラス固化体と地下水の接触を防止**する。

<設計要件>

要求事項	設計要件	方法	指標	基準
操業中の廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止 放射性物質の溶出の抑制	耐食性	全面腐食であることを確認した上で、少なくとも1,000年間の最大腐食深さを見積り、その値以上の腐食代を設定する。	腐食代	> 1,000年間の最大腐食深さ
	構造健全性	オーバーパックに常時作用する荷重に対して、オーバーパックが許容状態以下となるように材料、形状、厚さを設定する。	オーバーパックの応力状態や変形状態	許容状態以下であること
	耐食性に対する放射線影響の抑制	オーバーパック表面の吸収線量率が、腐食速度が加速される吸収線量率のしきい値以下となるように、遮蔽代を設定する。	吸収線量率	≤3 Gy/h
実証された技術の適用	製作性	現在の技術で十分製作可能である材料および形状とする。	—	—
実現可能な作業工程・方法	遠隔封入性	遠隔操作によるガラス固化体の挿入が可能なように、クリアランスを設ける。また、遠隔操作による溶接が可能である溶接部構造とする。	—	—
	遠隔定置性	遠隔操作による定置が可能なオーバーパック形状および把持構造を設定する。	—	—

オーバーパックの必要厚さ

10年間の炭素鋼浸漬腐食試験や放射線分解生成物による腐食促進の評価など、耐食性に関する知見が拡充されたことを受け、オーバーパックに必要な厚さを見直した。

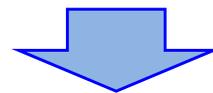


還元性環境における平均腐食速度の経時変化 (RWMC, 2017)

単位 : mm

	深成岩 (縦置き方式)	
	平板部	円筒部
①必要腐食代 (埋設後初期の酸化性環境における腐食)	≥11	≥11
②必要腐食代 (埋設後長期の還元性環境における腐食)	≥6	≥6
③必要耐圧代 (静水圧等への耐圧性)	≥104	≥44
④必要遮蔽代 (放射線による腐食促進の防止)	≥80	≥80
オーバーパックの必要厚さ (①+Max(②+③,④))	≥121	≥91

※ 必要厚さ ≥ 約160mm (第2次取りまとめ)



現状の設定値190mm

必要な安全機能の確保に対して設定値の余裕が高まった。

緩衝材設計の検討条件

○ 材料

- ・ ベントナイトを主成分（Na型のクニゲルV1）
- ・ ケイ砂の混合を考慮（熱伝導性，締固め性の向上）

○ 製作・施工方法と隙間の状態

対象	製作方法	隙間の状態
HLW（縦置き）	圧縮成型（ブロック）	2 cm（オーバーパック～緩衝材） 4 cm（緩衝材～処分孔）
HLW（横置き）	PEM容器内での締固め	2 cm（オーバーパック～緩衝材）
TRU※	現場締固め，吹付け工法	なし

※ TRUにおいて緩衝材は廃棄体グループ1，2，4Hに対して設置（非収着性，高発熱の廃棄体）

○ 地下水の水質

- ・ 淡水，海水相当の塩水（降水起源～沿岸部の海水起源の地下水への対応）

○ ベントナイトのCa型化

- ・ 坑道内のコンクリート製残置物からのCaの拡散による交換性陽イオンの置換（特に，TRU）

緩衝材の設計要件

○期待する安全機能

地下水の流れを抑制するとともに、放射性物質を収着することによって、放射性物質の周辺岩盤への移行を抑える。また、力学的・化学的緩衝作用によってガラス固化体を封入したオーバーパックを保護する。

要求事項	設計要件	方法	指標	基準	対象	
					HLW	TRU
放射性物質の移流による移行抑制 コロイド移行の抑制	低透水性	緩衝材中の放射性物質の移行が拡散によって支配されるように、緩衝材の密度を設定する。	ペクレ数	0.1以下	●	●
	自己シール性	施工時の隙間を充填可能な膨潤性を有していることを確認する。	膨潤率／隙間体積比	2以上	●	
	コロイドろ過能	コロイドが緩衝材中を透過しないように、緩衝材の密度を設定する。	コロイド透過率	0	●	●
	自己修復性	ガス発生により亀裂が生じたとしても、閉塞することのできる密度を確認する。	破過前後の透水係数の増加割合	1以下	●	●
放射性物質の溶出の抑制 (オーバーパックの成立性に必要な事項)	微生物影響の防止	緩衝材内で微生物活動が生じないことを確認する。	菌体数	増殖しないこと	●	
	物理的緩衝性	オーバーパックの腐食膨張による緩衝材の圧密応力と地下水静水圧の和がオーバーパックの耐圧強度を下回ることを確認する。	緩衝材圧密反力と地下水静水圧の合計	オーバーパックの耐圧強度を下回り、急増しないこと	●	
実証された技術の適用	製作施工性	緩衝材の製作が可能であることを確認する。	有効粘土密度 (Mg/m ³)	HLW:1.8以下 TRU:1.6以下	●	●

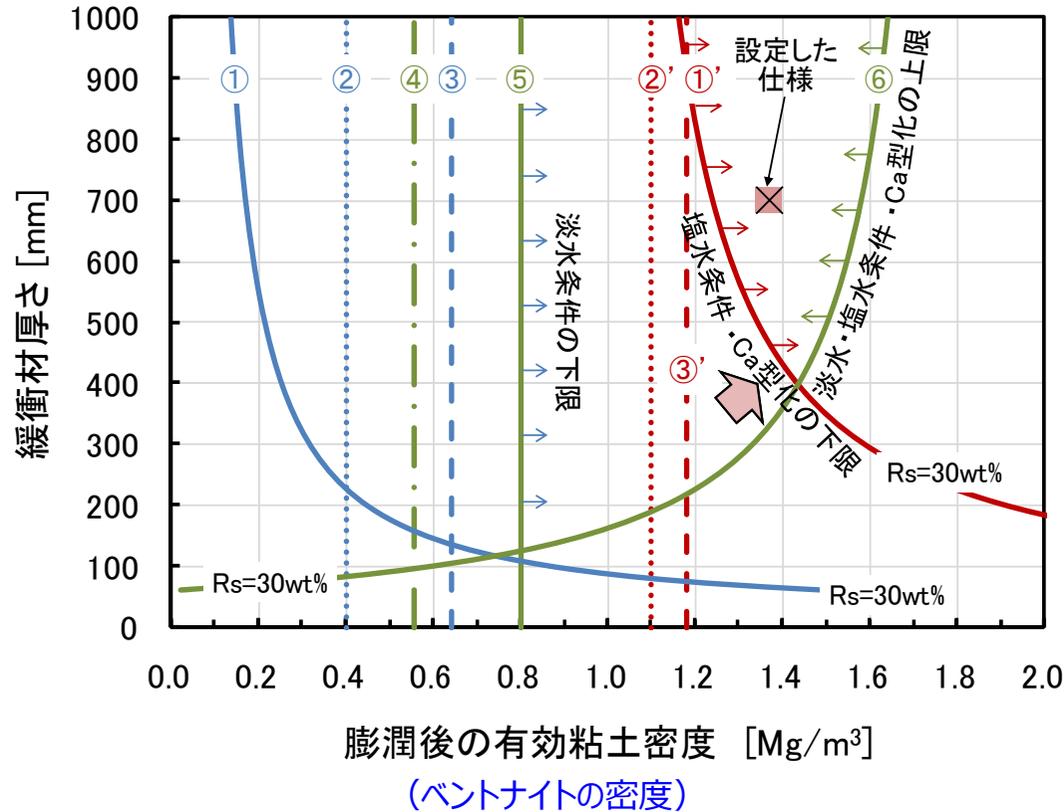
設計要件を満足する緩衝材の仕様成立範囲 (HLW)

- ① 自己シール性を有する下限(淡水)
- ② 低透水性を有する下限(淡水)
- ③ 自己修復性を有する下限(淡水)
- ④ 微生物影響を防止する下限(共通)
- ⑥ 製作施工性の上限(共通)

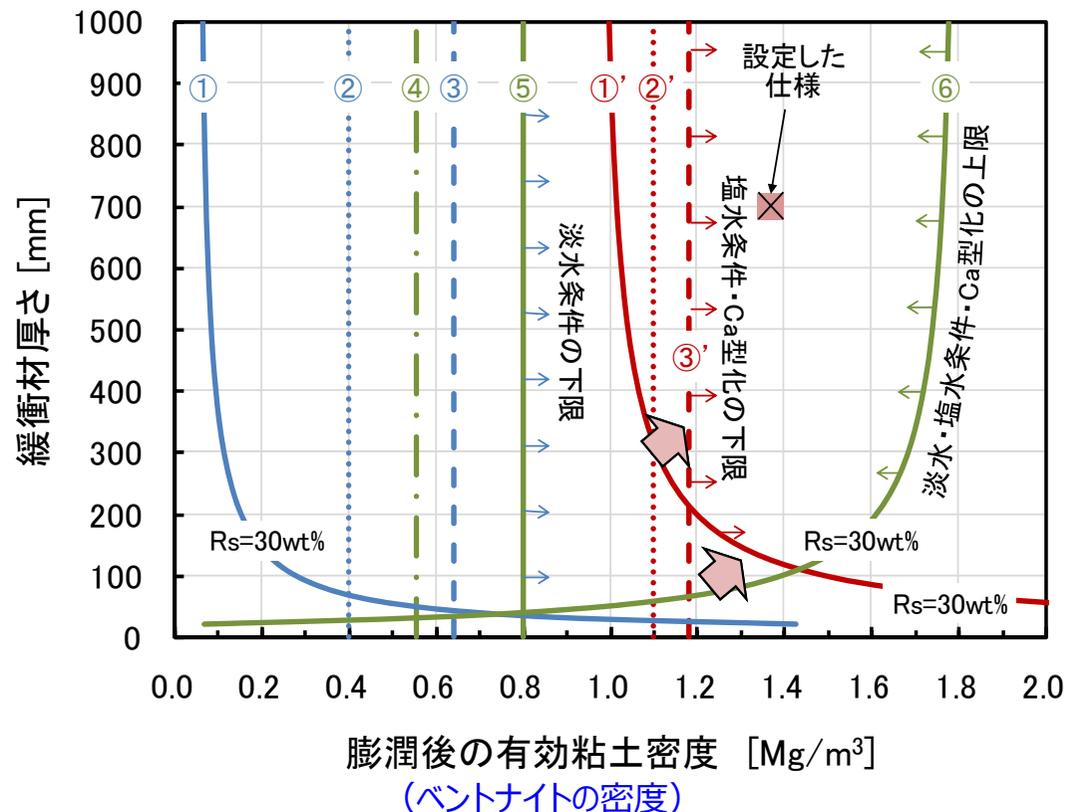
- ①' 自己シール性を有する下限(塩水, Ca型化)
- ②' 低透水性を有する下限(塩水, Ca型化)
- ③' 自己修復性を有する下限(塩水, Ca型化)
- ⑤ コロイドろ過能を有する下限(共通)

- ① 自己シール性を有する下限(淡水)
- ② 低透水性を有する下限(淡水)
- ③ 自己修復性を有する下限(淡水)
- ④ 微生物影響を防止する下限(共通)
- ⑥ 製作施工性の上限(共通)

- ①' 自己シール性を有する下限(塩水, Ca型化)
- ②' 低透水性を有する下限(塩水, Ca型化)
- ③' 自己修復性を有する下限(塩水, Ca型化)
- ⑤ コロイドろ過能を有する下限(共通)



[縦置き・ブロック方式]



[横置き・PEM方式]

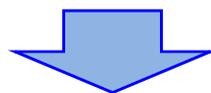
- 上記の設計要件を満足する**必要厚さにして十分な安全性の余裕**を有する。⇒ **合理化の方向性**
- PEM方式の場合は緩衝材の膨潤により充填する隙間が少なくできるため、**自己シール性の仕様成立範囲はより広範囲**になる。

設計要件を満足する緩衝材の仕様成立範囲 (TRU)

設計要件	有効粘土密度 [Mg/m ³]		
	淡水条件	塩水条件	Ca型化
低透水性	0.4以上	1.1以上	1.1以上
コロイドろ過能	0.8以上	0.8以上	0.8以上
自己修復性	0.6以上	1.2以上	1.2以上
製作施工性	1.6以下 (現場締固め)		

○ 仕様成立範囲

有効粘土密度 (ベントナイトの密度) : 1.2 ~ 1.6 (Mg/m³)

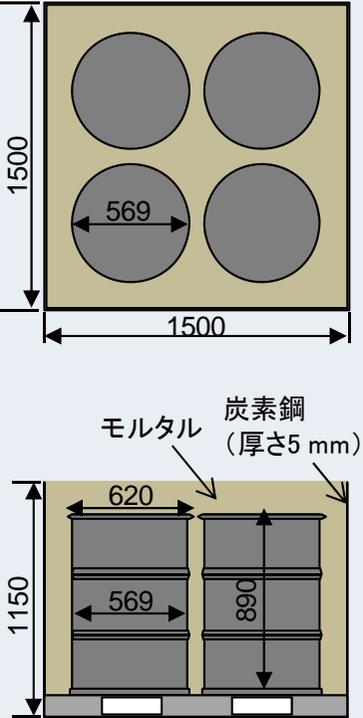
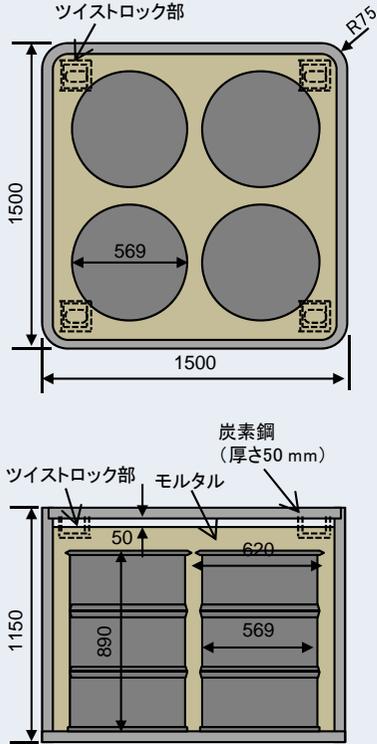


仕様は, ベントナイトの密度 : 1.4 Mg/m³に設定
緩衝材の乾燥密度 : 1.6 Mg/m³ (ケイ砂を30%混合)

廃棄体パッケージの設計要件（TRU）

要求事項	設計要件	方法	指標	基準
操業中の廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止	耐食性	操業中の大気腐食による腐食深さが、板厚と比較して顕著ではないことを確認する。	腐食深さ	板厚と比較して顕著でないこと
	構造健全性	操業中に作用する荷重に対して、廃棄体パッケージの許容状態以下となるように材料、形状、厚さを設定する。	オーバーパックの応力状態や変形状態	許容状態以下であること
実証された技術の適用	製作性	現在の技術で十分製作可能である材料および形状とする。	—	—
実現可能な作業工程・方法	遠隔封入性	遠隔操作による廃棄体の収容が可能ないように、クリアランスを設ける。また、遠隔操作による容器内の充填、溶接が可能構造とする。	—	—
	遠隔定置性	遠隔操作による定置が可能な廃棄体パッケージ形状および把持構造を設定する。	—	—

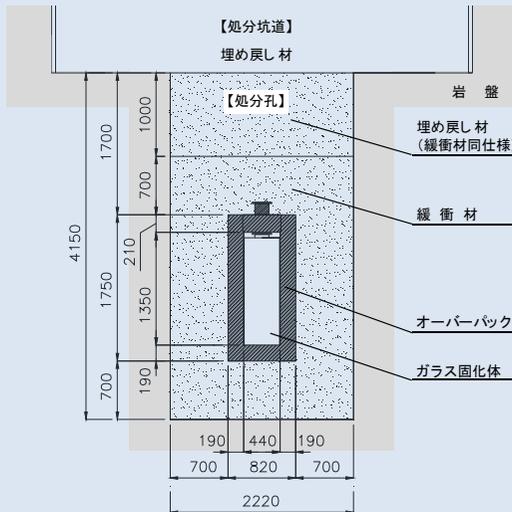
廃棄体パッケージの仕様

種類	廃棄体パッケージ(A)	廃棄体パッケージ(B)
定置方法	フォークリフト	クレーン
参考仕様	第2次TRUレポート	低レベル放射性廃棄物の処分容器
材質/厚さ	炭素鋼 / 5 mm	炭素鋼 / 50 mm
<p>寸法 (ドラム缶の例) 単位：mm</p>	 <p>Top view: 1500 mm x 1500 mm, 4 drums (569 mm diameter). Side view: 1150 mm height, 620 mm width, 569 mm drum width, 890 mm drum height. Material: 炭素鋼 (厚さ5 mm).</p>	 <p>Top view: 1500 mm x 1500 mm, 4 drums (569 mm diameter), ツイストロック部, R175. Side view: 1150 mm height, 620 mm width, 569 mm drum width, 890 mm drum height, ツイストロック部, 炭素鋼 (厚さ50 mm).</p>

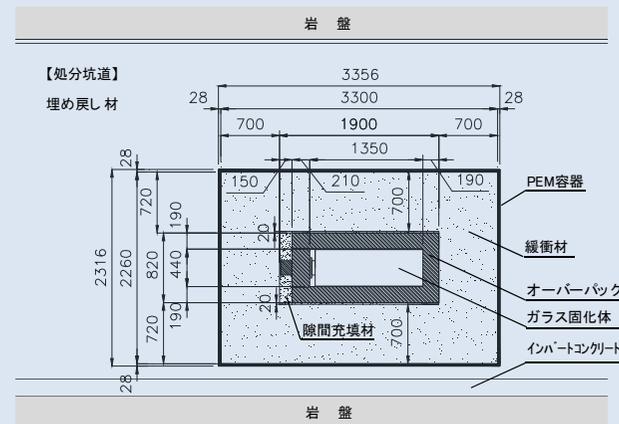
人工バリアの仕様例

高レベル放射性廃棄物処分場

【縦置き・ブロック方式】



【横置き・PEM方式】

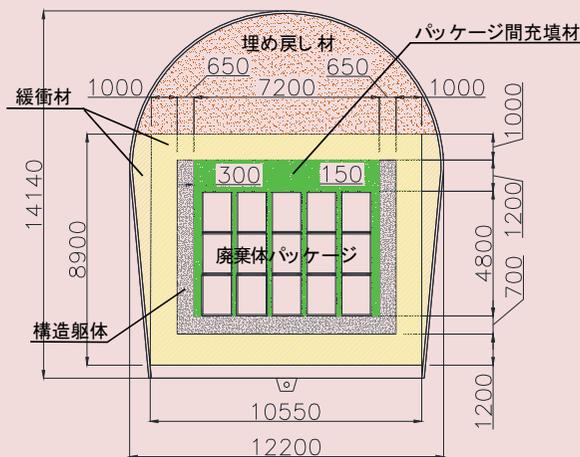


- ①オーバーパック
材料：炭素鋼
鋼材の規格：SF340A
 $\phi = 820 \text{ mm}$, $H = 1750 \text{ mm}$
厚さ：190 mm
- ②緩衝材
材料：ベントナイトとケイ砂の混合
乾燥密度： 1.6 Mg/m^3
ベントナイトとケイ砂の割合：7 : 3
(乾燥重量比)
厚さ：700 mm
ベントナイト製品名：クニゲルV1

TRU等廃棄物処分場

【緩衝材を設置する場合】

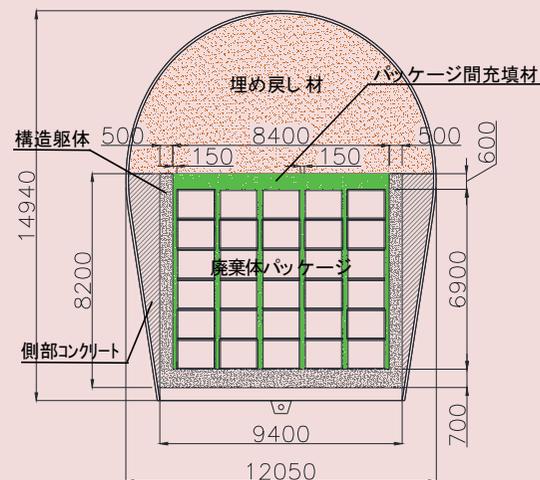
Gr. 1, 2, 4H



※グループ2の例

【緩衝材を設置しない場合】

Gr. 3, 4L



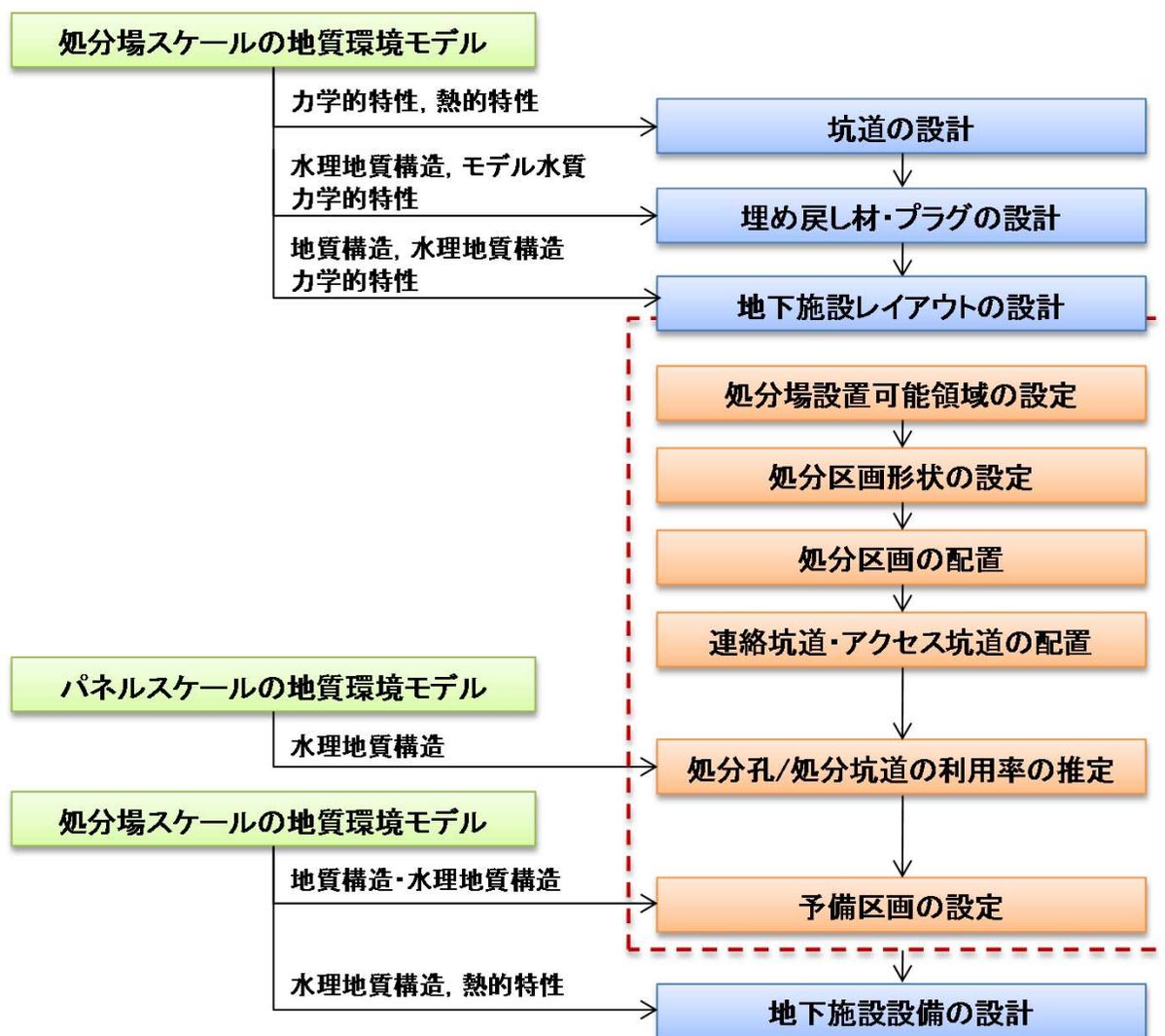
※グループ3の例

- ①廃棄体パッケージ (容器)
材料：炭素鋼
鋼材の規格：SM400A
厚さ：(A) 5 mm, (B) 50 mm
- ②廃棄体パッケージ間充填材
材料：モルタル, 30 N/mm^2
厚さ： $\geq 150 \text{ mm}$
- ③緩衝材
厚さ： $\geq 1000 \text{ mm}$
配合・密度は高レベル放射性廃棄物と同じ

- 
-
1. 設計の考え方
 2. 人工バリアの設計
 - 3. 地下施設の設計**
 4. 地上施設の設計
 5. 回収可能性の維持と回収方法
 6. 前回の報告会での主なご意見と報告書への反映
 7. まとめと今後の取り組み

地下施設の設計手順

- ① **坑道の設計**では、それぞれの坑道に必要な断面形状・寸法、および、設定した設置深度における空洞安定性の評価に基づいて支保を設計する。
- ② **埋め戻し材・プラグの設計**では、坑道周囲の掘削損傷領域（EDZ）の地下水流動特性に対する影響を考慮したうえで、埋め戻し材の仕様、およびプラグの仕様とその設置位置を設定する。
- ③ **地下施設のレイアウトの設計**では、坑道断面と埋め戻し材・プラグの仕様を踏まえ、処分区画の規模や形状、およびその配置に加え、連絡坑道の配置やアクセス坑道の数や配置などを検討し、地下施設全体のレイアウトを設定する。
- ④ **地下施設設備の設計**では、換気・冷房設備、排水設備などについて、設定した地下施設レイアウトを対象として検討する。



処分場の坑道の役割

役割	アクセス坑道 (斜坑)	アクセス坑道 (立坑※)	連絡坑道 主要坑道 取付坑道	処分坑道
廃棄体および操業関連機 械などの搬送通路	●	—	●	●
作業従事者の移動通路	—	●	●	—
建設機械の移動通路	—	●	●	—
掘削土の搬出路	—	●	●	—
換気経路	●	●	●	—
排水経路・給水経路	—	●	●	—
給電・通信路	—	●	●	—
緊急時避難経路	●	●	●	—

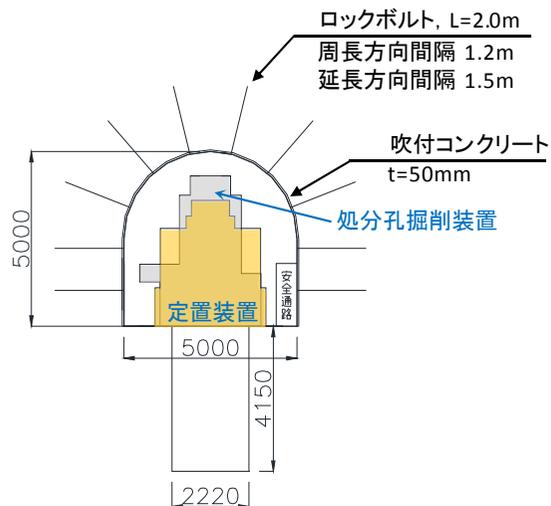
※ 立坑は複数配置し、各立坑の役割は配置に応じて割り当てる。

坑道の設計要件

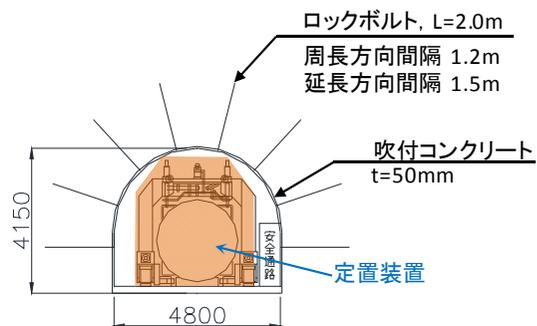
要求事項	設計要件	内容	設計項目
労働災害の発生・拡大の防止	空洞安定性	建設・操業が安全かつ円滑に行われるよう坑道の力学的安定性が確保できること	坑道形状, 内空径 支保工, 廃棄体定置間隔, 処分坑道中心間距離
	坑壁剥落防止	坑壁の剥落を防止すること	支保工
災害時の避難経路の確保	安全通路の確保	作業従事者が立ち入る区画については, 安全通路が確保されること	坑道形状, 内空径
作業環境の維持	収容性	人工バリアの設置, 建設・操業に必要な設備・機器, 換気・排水設備などのユーティリティ設備に必要な空間を確保すること	坑道形状, 内空径
放射性物質の移流による移行抑制 (緩衝材の成立性に必要な事項)	廃棄体の発熱影響の低減	廃棄体からの熱影響により人工バリアの性能が著しく低下しないこと	処分坑道中心間距離, 廃棄体定置間隔

坑道の設計 ～HLWの処分坑道断面と支保仕様の検討例～

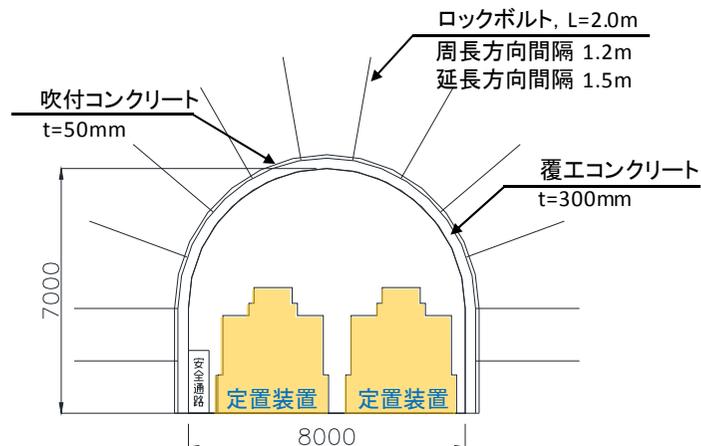
深成岩／先新第三紀堆積岩モデル



縦置ききの処分坑道

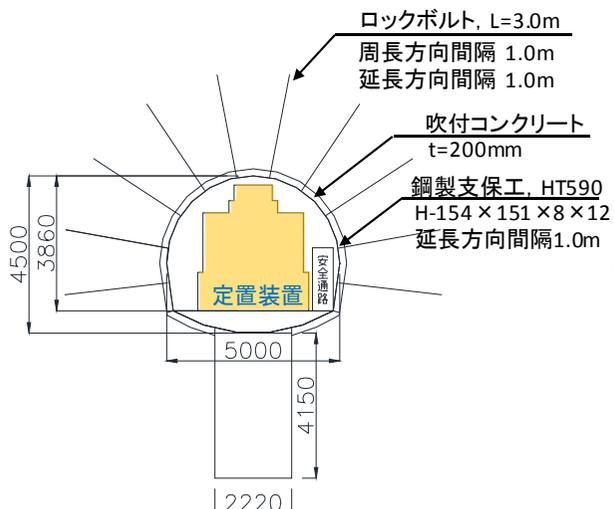


横置き・PEM方式の処分坑道

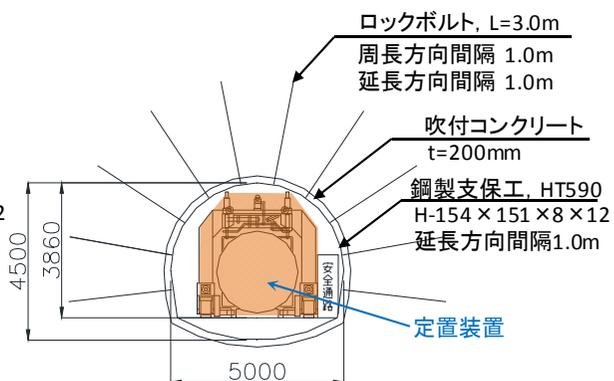


連絡坑道

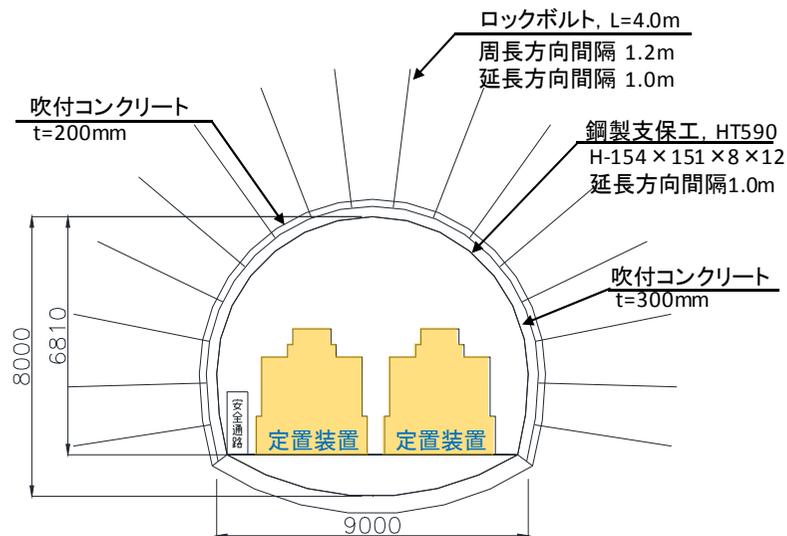
新第三紀堆積岩モデル



縦置ききの処分坑道



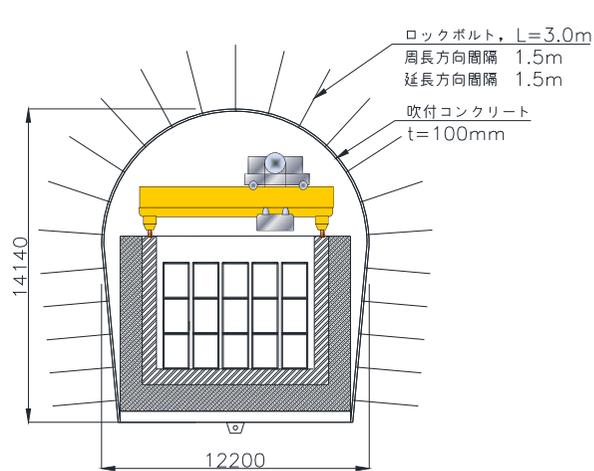
横置き・PEM方式の処分坑道



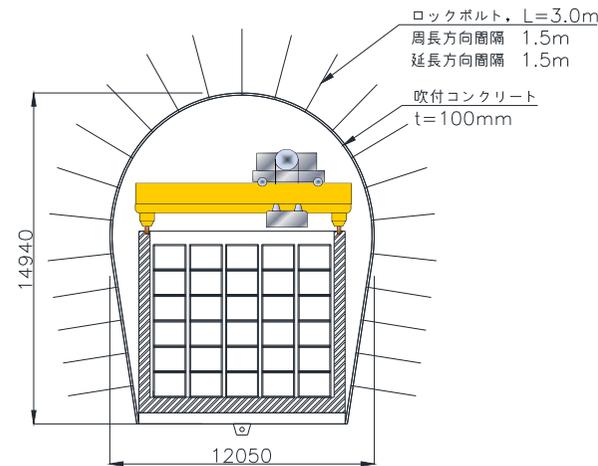
連絡坑道

坑道の設計 ～TRU等廃棄物処分の処分坑道断面と支保仕様の検討例～

深成岩／先新第三紀堆積岩モデル

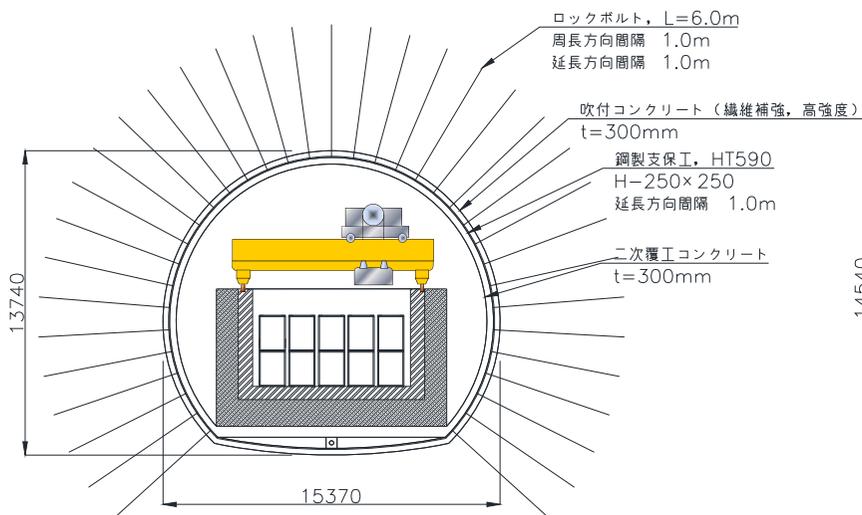


(a) グループ2

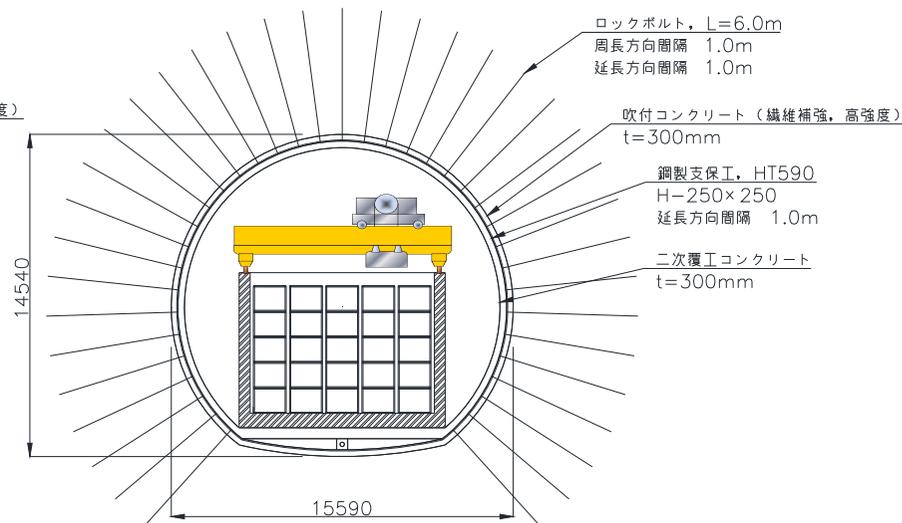


(b) グループ3

新第三紀堆積岩モデル

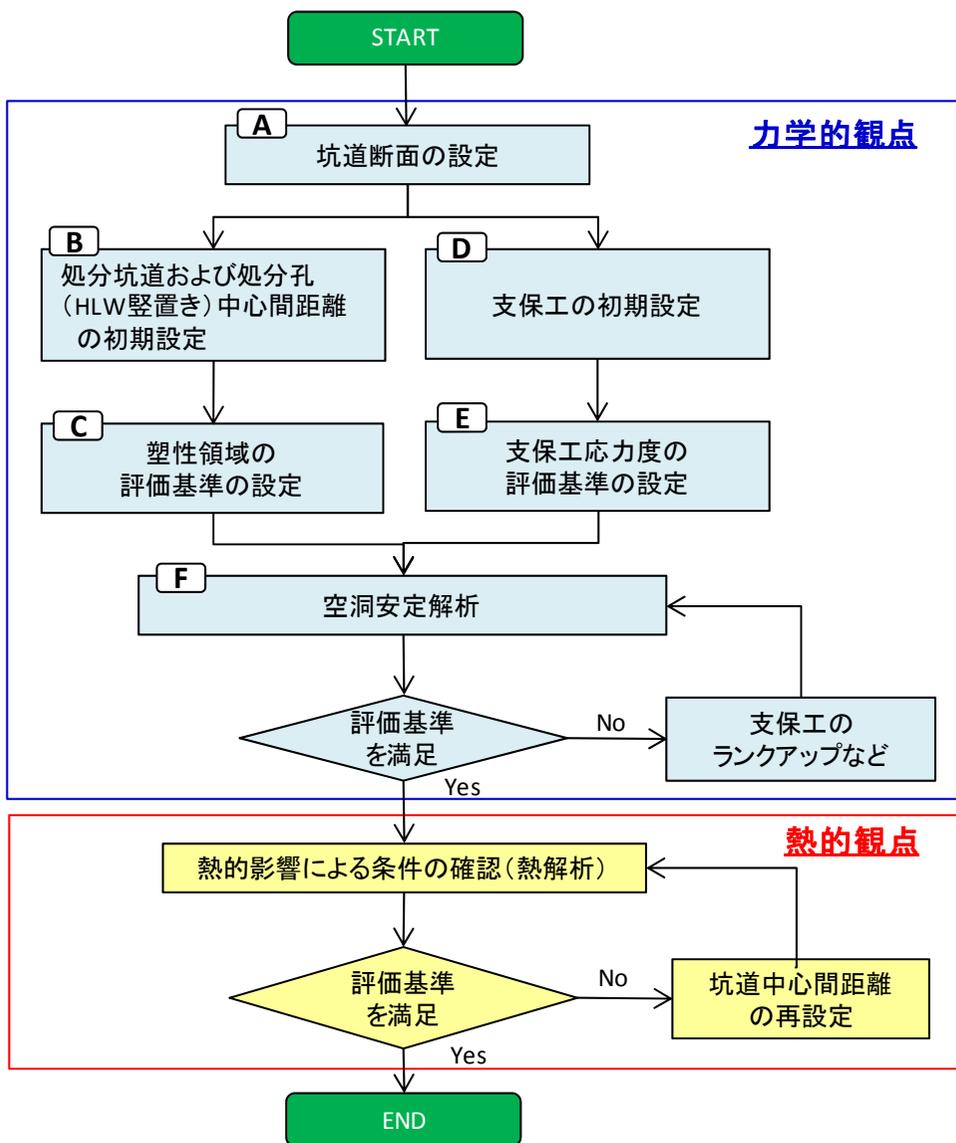


(c) グループ2



(d) グループ3

処分坑道の中心間距離の設定

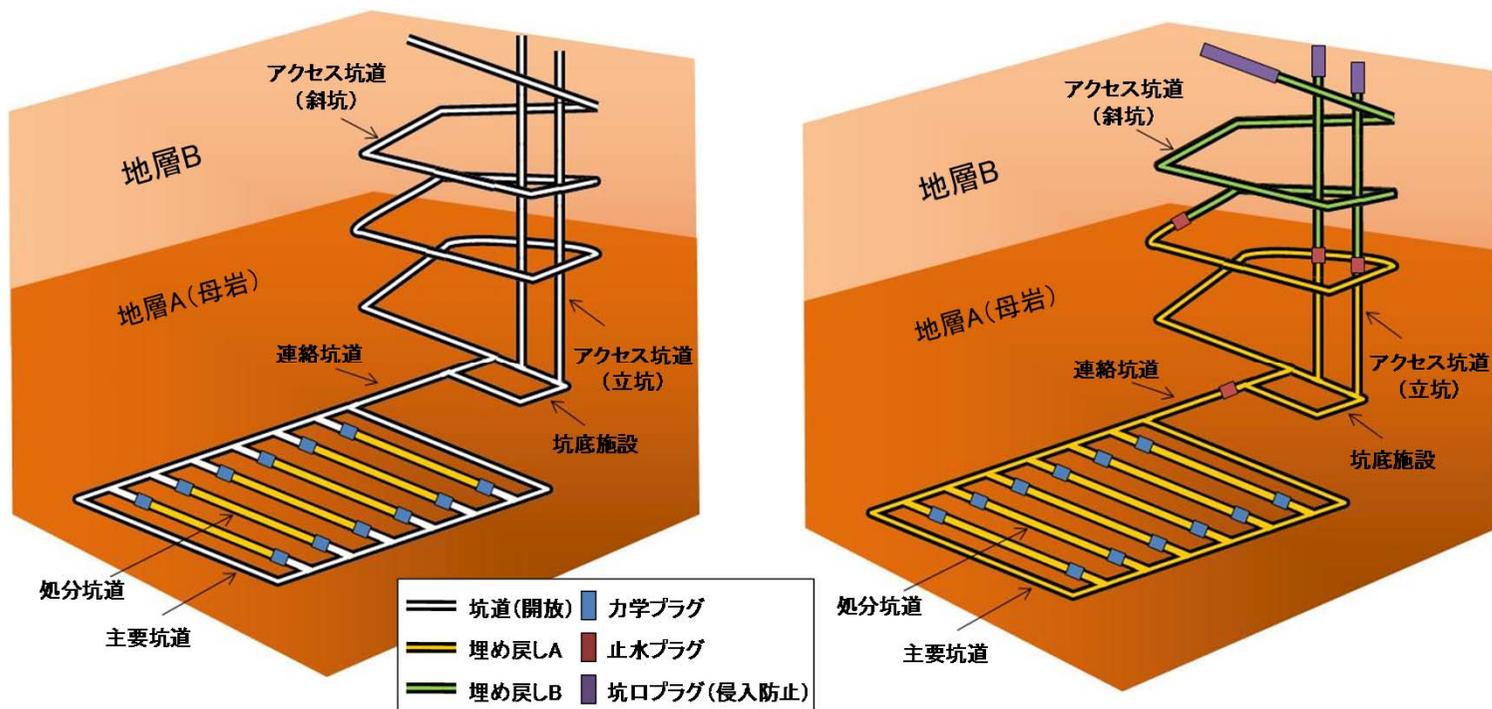


処分坑道の中心間距離の設定結果 (HLW)

条件		縦置き・ブロック方式		横置き・PEM方式			
		パネル型		デッドエンド型			
		深成岩類	新第三紀堆積岩類	先新第三紀堆積岩類	深成岩類	新第三紀堆積岩類	先新第三紀堆積岩類
空洞安定性	処分坑道のみ	10.0 m以上	12.0 m以上	10.0 m以上	9.6 m以上	12.0 m以上	9.6 m以上
	取付部考慮	—	—	16.0 m以上	16.0 m以上	21.6 m以上	16.0 m以上
廃棄体熱影響	貯蔵期間 50年	10.0 m	12.0 m	10.0 m	11.0 m	12.0 m	11.0 m
設定値 (最大値)		10.0 m	12.0 m	16.0 m	16.0 m	21.6 m	16.0 m

処分坑道の中心間距離の設定フロー

埋め戻し材・プラグの設置



(a) 操業期間（処分坑道の埋め戻しと力学プラグの設置）

(b) 処分場の閉鎖（全坑道の埋め戻しと止水プラグの設置）

坑道の埋め戻しとプラグの設置イメージ

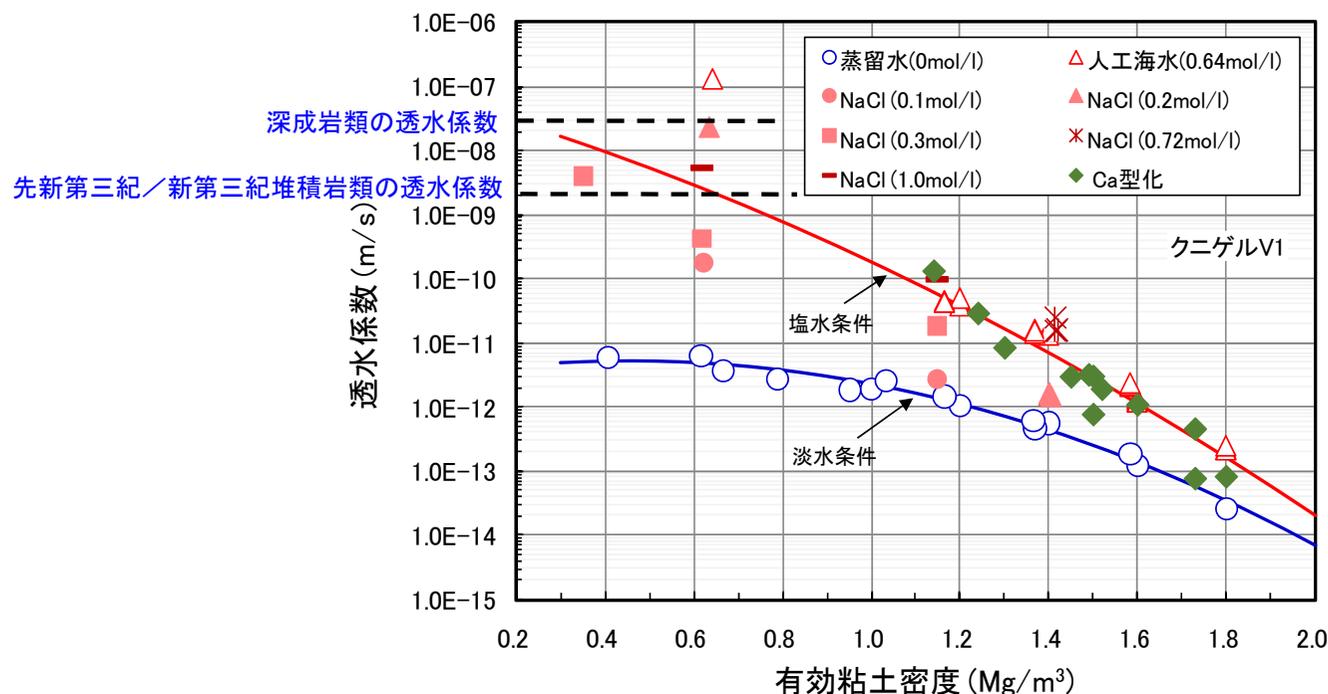
坑道シーリングの構成要素に期待する機能と役割

構成要素	要求事項	機能/役割の説明
止水プラグ	放射性物質の移行の抑制	<ul style="list-style-type: none"> 埋め戻し材との組み合わせで閉鎖後のアクセス坑道およびその周辺が放射性物質の移行経路になることを防ぐ。 放射性物質の移行経路となるような地下水の流れを抑制する。
埋め戻し材		<ul style="list-style-type: none"> 再冠水後の緩衝材や止水プラグ（粘土プラグ）の坑道への膨出を抑制する。
力学プラグ	緩衝材／止水プラグの成立性に必要な事項	<ul style="list-style-type: none"> 処分坑道において埋め戻しの完了していない空間側への埋め戻し材の膨出を抑制する。

- 廃棄体を定置した後の処分坑道は、操業期間中に埋め戻すことを想定。
- 閉鎖措置の段階では処分場を地上から隔離することを目的として、連絡坑道、アクセス坑道などの埋め戻しを行う。
- これらの埋め戻し材の施工と処分場の隔離を確実にするため、力学プラグと止水プラグを設置する。

埋め戻し材の設計

設計要件	確認方法	指標	基準
低透水性	坑道内が卓越した地下水の流動経路にならないように、埋め戻し材の密度を設定する。	透水係数	母岩の平均的な透水係数の10倍以下
製作施工性	坑道内での埋め戻し施工が可能な密度であることを確認する。	乾燥密度	1.8 Mg/m ³ 以下
評価項目	確認方法	指標	基準
緩衝材および止水プラグの膨出抑制	再冠水後の緩衝材および止水プラグの膨出を抑制し、これらの有効粘土密度が仕様成立範囲に収まることを、埋め戻し材仕様に対して確認する。	有効粘土密度 (緩衝材, 止水プラグ)	1.2 Mg/m ³ 以上



ベントナイトの有効粘土密度と透水係数の関係

(松本ほか, 1997 ; 棚井ほか, 1998 ; 菊池ほか, 2003 ; 日本原子力研究所, 2003 ; 笹倉ほか, 2003 ; 菊池ほか, 2005 ; に基づき作成)

埋め戻し材の仕様例

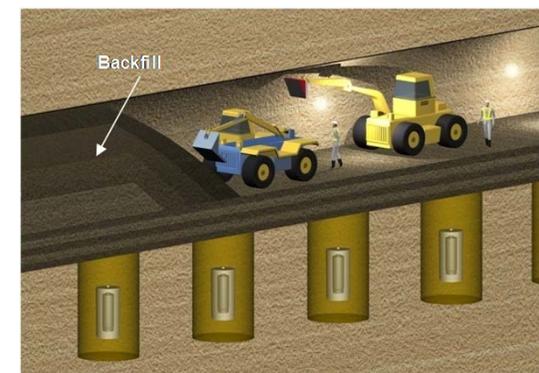
No.	仕様	対象坑道	施工方法
1	配合：ベントナイト／掘削土 = 15% / 85% 乾燥密度：1.8 Mg/m ³ 有効粘土密度：0.6 Mg/m ³	処分坑道（HLW縦置き方式），処分坑道（TRU），連絡坑道，取付坑道，主要坑道，アクセス斜坑，アクセス立坑	撒き出し・締固め工法
2	配合：ベントナイト／掘削土 = 50% / 50% 乾燥密度：1.6 Mg/m ³ 有効粘土密度：1.2 Mg/m ³	処分坑道（HLW横置き・PEM方式）	吹付け工法 （遠隔操作による）

■ 仕様 No.1

- 対象とする坑道で作業空間の放射線遮蔽が確保されていることから，施工機械の運転など埋め戻し作業を直接人間が行うことが可能であり，幅広い実績と効率性から「**撒き出し・締固め工法**」を採用。
- 「**膨出抑制**」の観点から最も低圧縮になる（乾燥密度が高くなる）配合条件を設定。

■ 仕様 No.2

- 緩衝材による放射線遮蔽効果が期待できるが，安全性の高い放射線防護の観点から，埋め戻し作業は遠隔操作による無人化施工で行うことを想定。PEM容器と坑道間の隙間が比較的大きいこと，砂分を多く含む場合の配合や密度に対して適用範囲の広い「**吹付け工法**」を採用。
- 遠隔操作による施工を想定することから，施工時の隙間充填性に対する品質の余裕を見込んで，直接施工による仕様No.1の場合よりも「膨潤性」と「低透水性」の高い仕様を設定。



撒き出し・締固め工法による坑道の埋め戻し作業のイメージ（縦置き方式）



吹付け工法による坑道の埋め戻し作業のイメージ（横置き方式）

止水プラグの設計

要求事項

- 閉鎖後のアクセス坑道およびその周辺が放射性物質の移行経路になることを防ぐ。

設計概念の特徴

- アクセス坑道に接続する連絡坑道に設置
- 止水プラグにより掘削前の母岩相当となる低透水性の領域を設けることで、連絡坑道とアクセス坑道間に天然バリアと同等の水理的な状態を創出
- EDZを含む坑道を通じた地上への移行経路を分断

設計要件

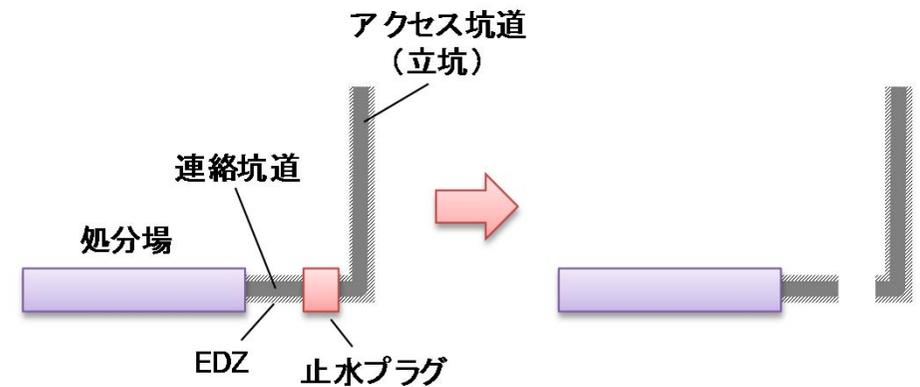
設計要件	内容	対応
低透水性	坑道埋め戻し材との組み合わせで、坑道およびその周辺に沿った地下水の流動を抑制すること	<ul style="list-style-type: none"> ベントナイトの使用(材料) EDZ幅を上回る切り欠き(構造)
施工の実現性	既存の技術または実現性のある技術で見通しのある技術で施工可能であること	<ul style="list-style-type: none"> 締固めたベントナイトブロックの積み上げ

設計手順

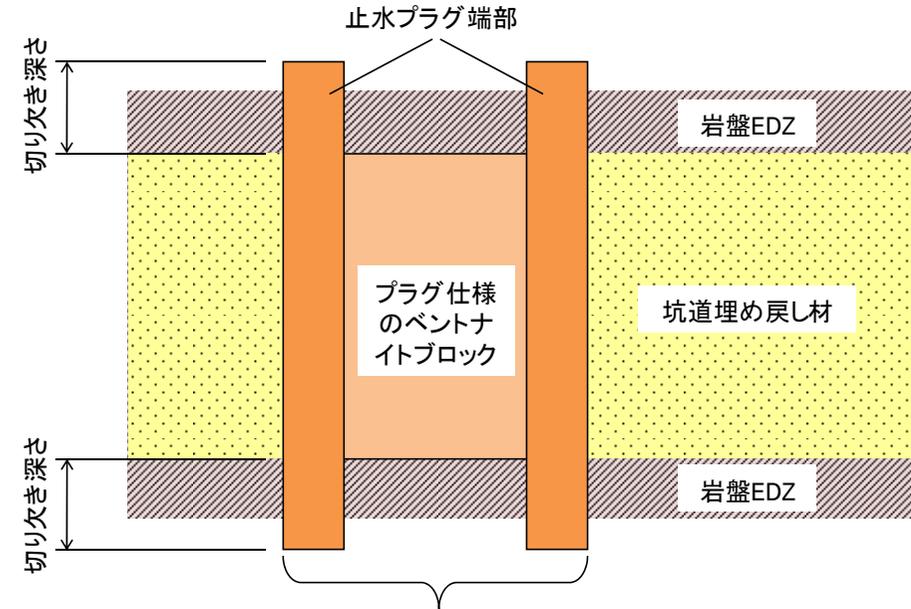
材料選定

材料仕様の設定

構造仕様の設定



止水プラグによる坑道シーリングの概念



止水プラグの構造

止水プラグの設計要件と仕様例

○ 材料に対する設計要件

設計要件	内容	指標	基準
低透水性	止水プラグ中の放射性物質の移行が拡散によって支配されるように、密度を設定する。	ペクレ数	0.1以下
製作施工性	ベントナイトブロックが製作可能な密度であることを確認する。	有効粘土密度	1.8Mg/m ³ 以下

○ 構造に対する設計要件

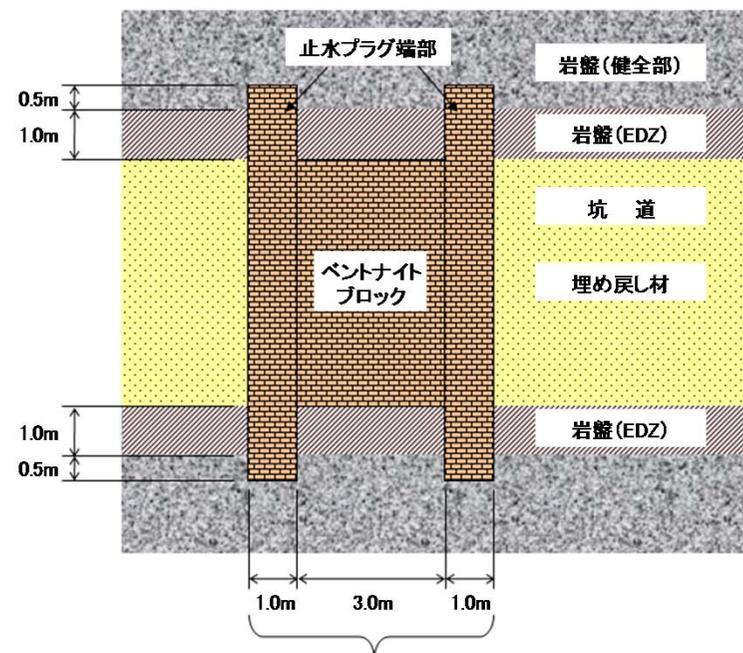
設計要件	内容	指標	基準
低透水性	坑道およびその周辺に沿った地下水の流動を分断するように、掘削前の母岩に相当する低透水性の領域が設定されていることを、止水プラグの仕様に対して確認する。	地下水通過流量	掘削前の母岩以下

材料の仕様成立範囲

設計要件	有効粘土密度 [Mg/m ³]			適用
	淡水条件	塩水条件	Ca型化	
低透水性	0.4	1.1	1.1	下限
製作施工性	1.8 (ブロック)			上限
共通仕様	1.1 ~ 1.8			

止水プラグの材料仕様

配合 (乾燥重量比)	乾燥密度 [Mg/m ³]	有効粘土密度 [Mg/m ³]	備考
ベントナイト 70 % ケイ砂 30 %	1.6	1.4	ベントナイトブロック製作の目標密度

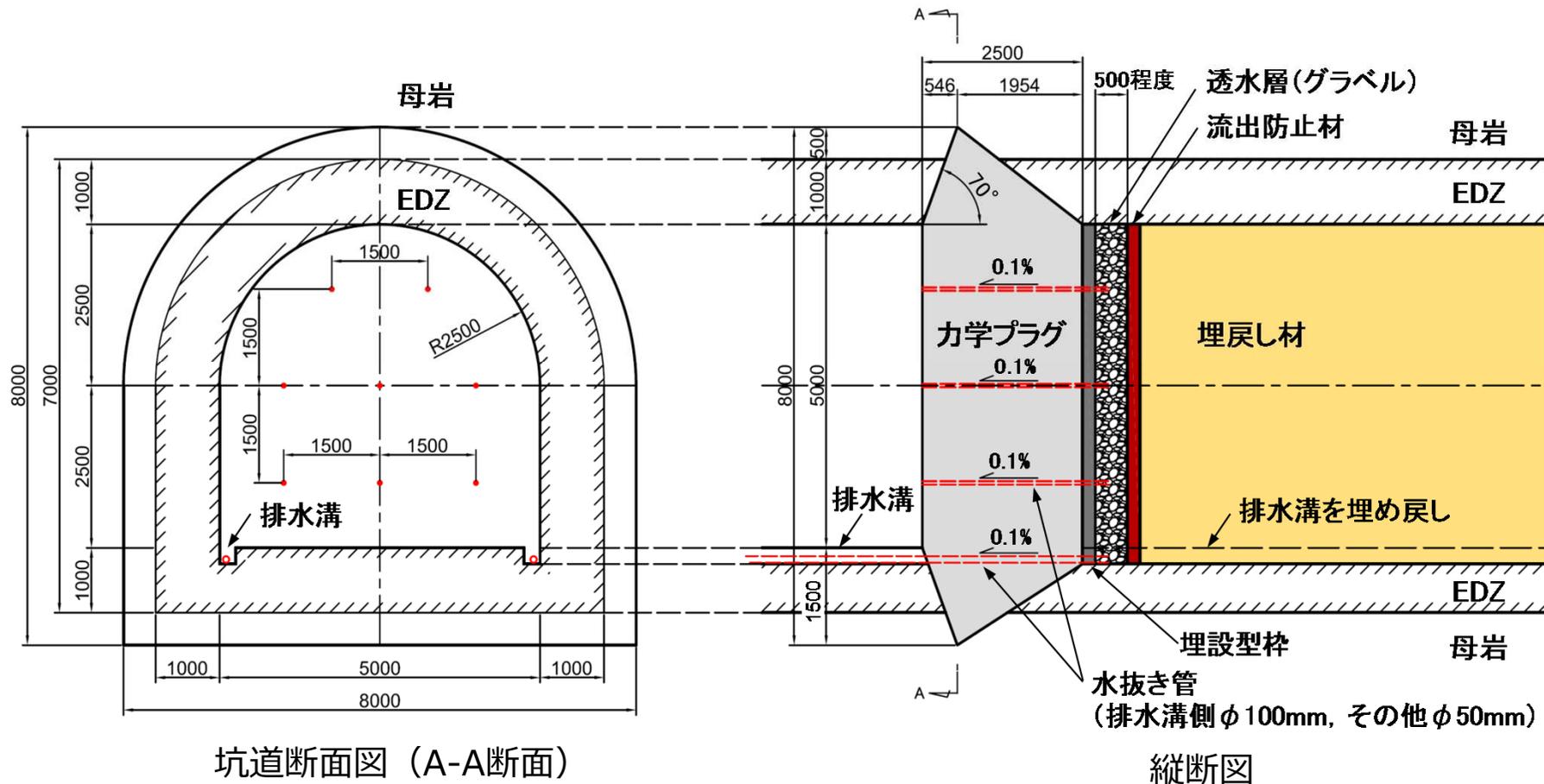


止水プラグ
設計した止水プラグの構造

力学プラグの設計要件と仕様例

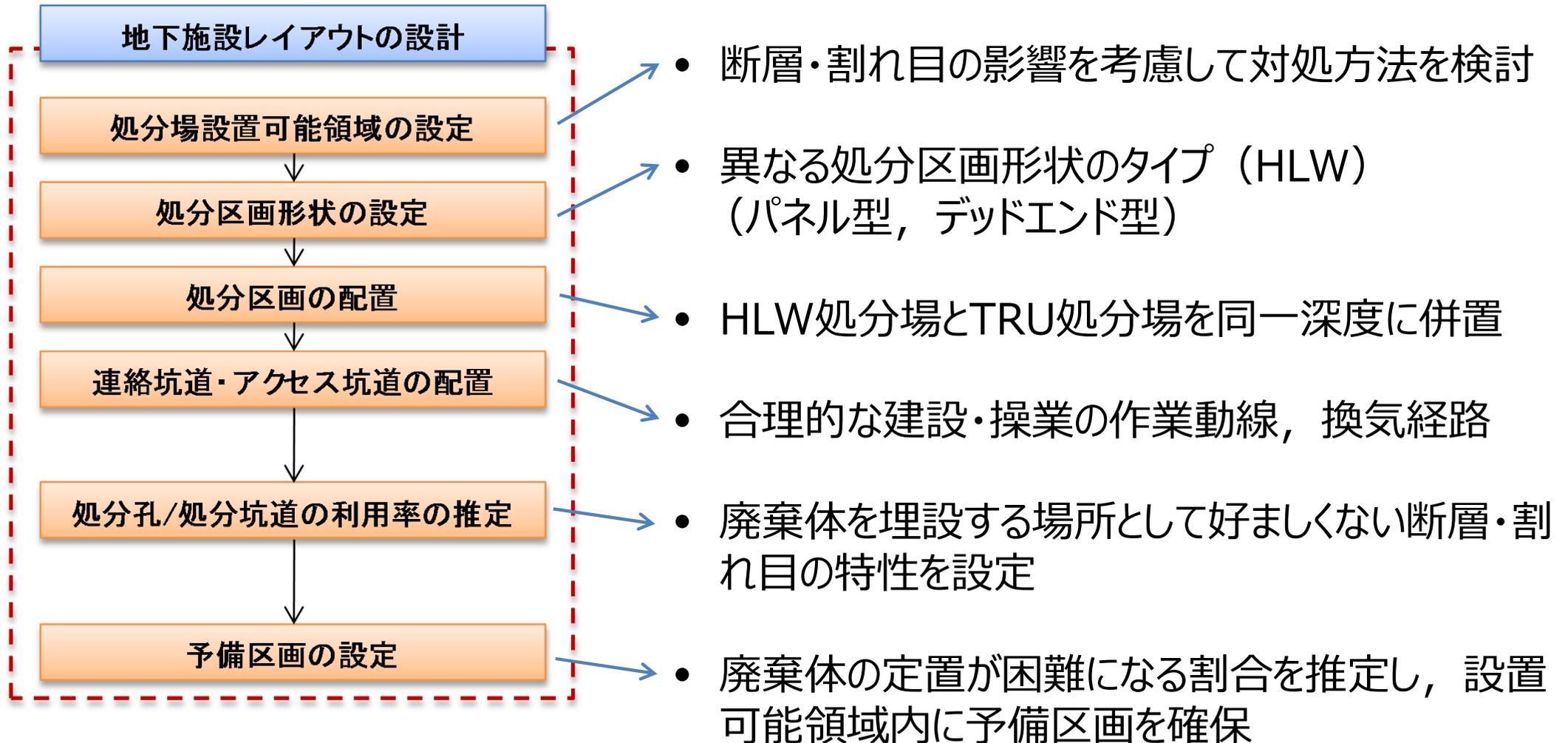
○ 設計要件

設計要件	内容	指標	基準
構造健全性	力学プラグに作用する荷重と発生断面力に対して構造健全性を維持し、埋め戻し材の膨出を防止できることを、力学プラグの仕様に対して確認する。	曲げ応力度 せん断応力度	許容応力度 以下
製作施工性	力学プラグが施工可能であること、設計条件を満たすコンクリートの配合が可能であることを確認する。	28日材齢の強度	設計基準強度 以上



設計した力学プラグの構造

レイアウトの設計における特徴的な検討内容/条件



地下施設レイアウトの設計要件

処分区画の配置の設計要件

設計要件	扱い※	内容	設計項目
処分坑道に沿った地下水流動の抑制	—	地下水流動方向に対して処分坑道の方向が直交であること	処分坑道の配置方向
処分坑道の空洞安定性確保	—	最大主応力と処分坑道の方向が一致していること	処分坑道の配置方向 坑道仕様
排水経路の確保	—	放射線管理区域を通過した湧水がほかの処分区画へ移動しないよう、処分坑道の勾配および処分区画全体の傾斜が設定されていること 出来るだけ自然流下による排水が可能なこと	処分坑道の勾配
併置処分に伴う相互影響の低減	○	HLWおよびTRUの処分区画が相互に熱的あるいは化学的影響を与えることのないように、処分区画を配置すること	HLWおよびTRUの処分区画の配置

連絡坑道・アクセス坑道の配置の設計要件

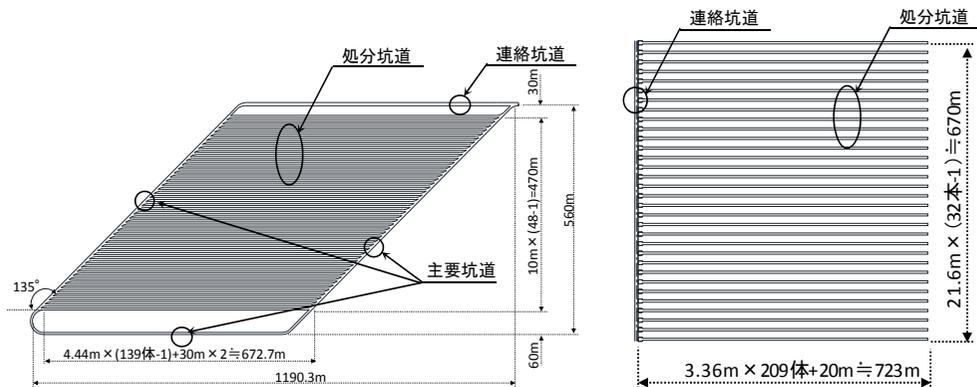
設計要件	扱い※	内容	設計項目
坑道の力学安定性の確保	○	接続した坑道において空洞安定性が確保できること	坑道離間距離
作業動線の独立性の確保	○	建設資機材搬入、掘削土の搬出、廃棄体定置、埋め戻しの各作業動線が独立していること（建設と定置・埋め戻しの動線が交差しない）	坑道の配置 立坑の本数と本数
換気経路の独立性の確保	○	作業動線に応じた換気経路が確保されていること、放射線管理区域と非管理区域で排気の経路が独立していること	坑道の配置 立坑の本数と本数
排水経路の独立性の確保	○	作業動線に応じた排水経路が確保されていること、かつ、放射線管理区域と非管理区域で排水経路が独立していること	連絡坑道の配置および勾配
避難経路の確保	○	建設・操業に伴う災害に備えて、避難経路が確保されていること、避難経路が確保できない場合に備えて、緊急退避所が備えられていること	避難経路 緊急待避所
アクセス斜坑の限界勾配		運搬方式に応じた限界勾配以下とすること	アクセス斜坑の勾配

※ ○：地下施設レイアウトの設計に必須の要件，－：好ましい要件

処分区画の設定

高レベル放射性廃棄物処分場

○ 処分区画の形状 (HLW)



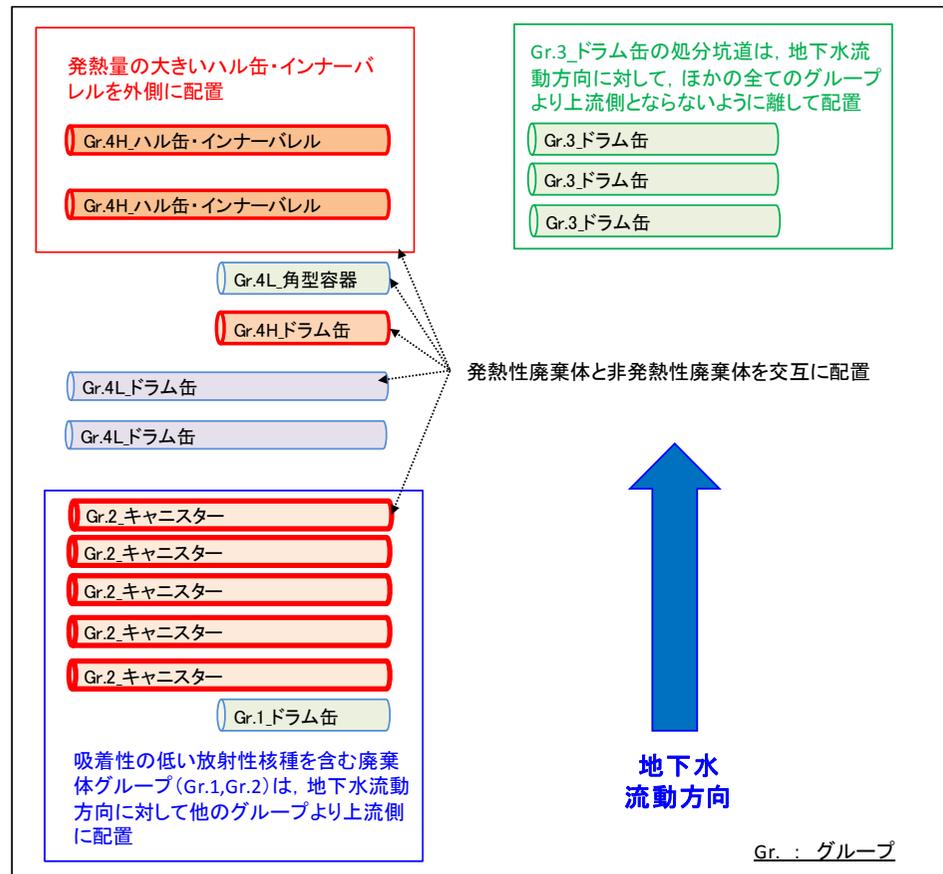
パネル型 (深成岩類, 縦置きの場合) (新第三紀堆積岩類, 横置きPEM方式の場合)

○ 処分区画のタイプと区画数 (HLW)

処分概念	深成岩類	新第三紀堆積岩類	先新第三紀堆積岩類
縦置き・ブロック方式	パネル型 6区画	パネル型 6区画	デッドエンド型 8区画
横置き・PEM方式	デッドエンド型 6区画	デッドエンド型 6区画	デッドエンド型 8区画

TRU等廃棄物処分場

○ 廃棄体特性を考慮した処分坑道の配置

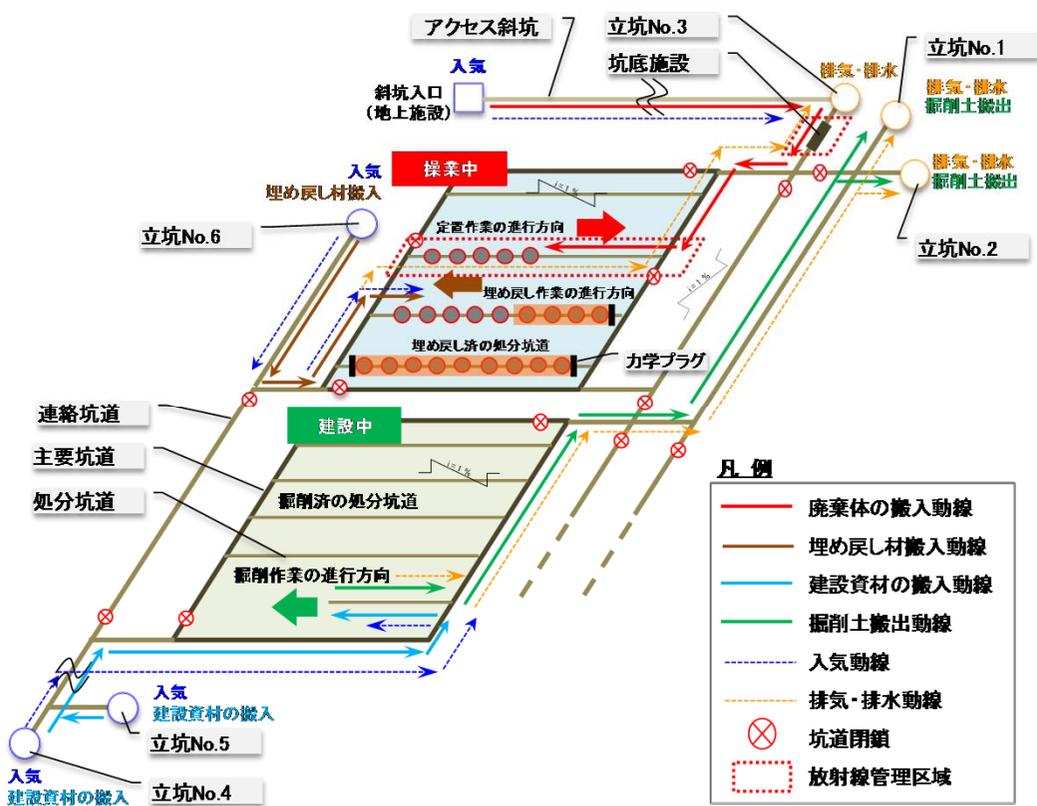


地下施設レイアウトの設計 ～断層，割れ目に対する対処～

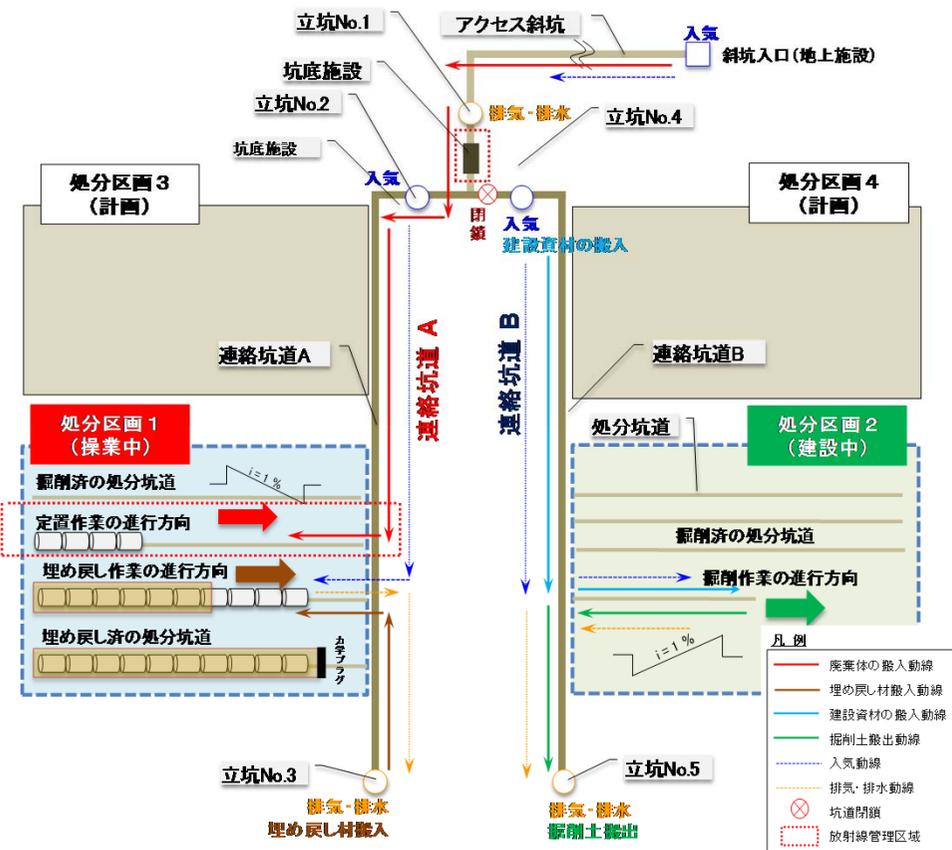
断層，割れ目の分類	地質環境モデルの構築における考え方	地下施設の設計での取り扱い
長さ 10 km以上の断層	<p>活断層の可能性のある断層と想定する。 文献調査から精密調査の前半の段階において除外する断層として扱う。 広域スケールの地質構造モデルで記載するが，処分場スケールのモデル領域からは除外するように扱う。</p>	<p>左記の対応により，地下施設レイアウトの検討では対象とならない。</p>
長さ 1～10 kmの断層	<p>文献調査から精密調査の前半の段階においてその位置や特性を概ね把握できる断層。 広域スケールおよび処分場スケールの地質環境モデルにその分布が記載される断層。</p>	<p>異常出水などにより掘削に支障を生じる可能性があるため，断層が分布する領域に処分坑道を配置しない。 ⇒レイアウト決定特性（LDF）に設定</p>
長さ 1 km未満の断層	<p>母岩中に普遍的に分布しているため，概要調査および精密調査の段階においてすべてを検出することは現実的ではなく，その性状の把握や統計量の算出を目的とした調査・評価を行うこととなる。 パネルスケールの地質環境モデルで記載される断層。</p>	<p>処分区画の設置領域に分布することを許容して 扱う。湧水対策の観点から処分坑道または処分孔の掘削，緩衝材の施工に支障が生じる可能性がある場合には，分布箇所に廃棄体を定置しない。 ⇒定置位置決定特性（EDFに設定）</p>

連絡坑道とアクセス坑道の配置

パネル型とデッドエンド型の建設区画と作業区画の独立性，換気経路確保の容易性の観点からの比較



【パネル型】

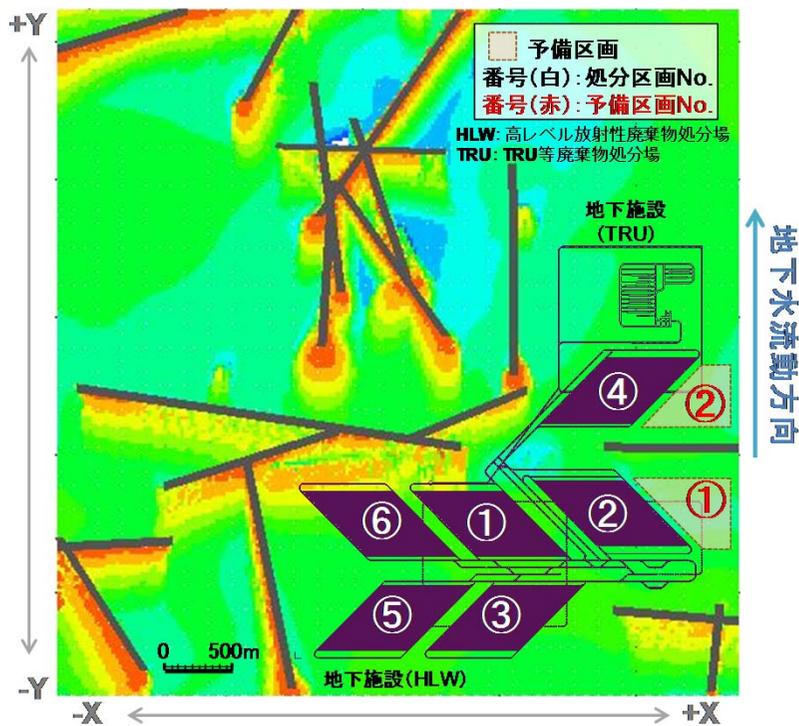


【デッドエンド型】

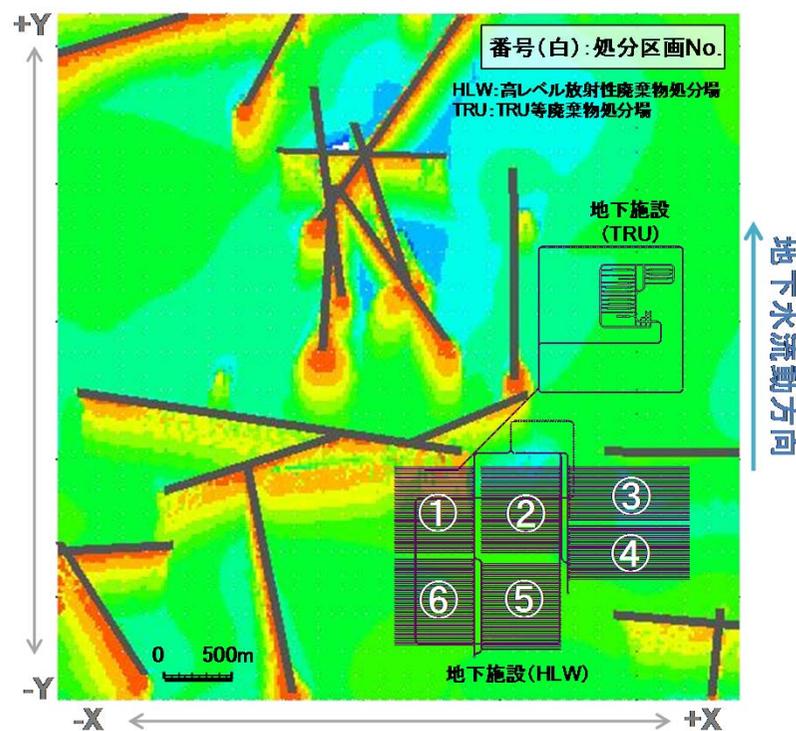
- 貫通した坑道が多いので，換気の制御のために風門を複数設置する必要があり，換気経路が複雑化。
- 搬送定置装置の進入路が限定され，定置と埋め戻しの作業動線が複雑化

- 連絡坑道毎に独立した換気経路を有するため，風門による制御は必要ない。
- 定置区画と建設区画を独立できるため，建設・作業の作業動線と換気経路がシンプル

地下施設レイアウトの設計例（深成岩類）



縦置き・ブロック方式の
パネル型



横置きPEM方式の
デッドエンド型

- 複雑な地質構造に対しても、地下水移行時間が短い位置、および断層破砕帯の分布位置を避けて処分区画を配置可能。
- TRU等廃棄物処分場との併置が可能（HLW処分場の下流側に設置）。
- 処分坑道内の湧水による定置率が低い場合にも、予備区画を準備することで所定数量の廃棄体を埋設することは可能。

地下施設設備の設計

閉鎖前の安全性（一般労働安全）に関する安全機能と構成要素の関係（再掲）

基本概念	安全機能	構成要素
作業環境の維持	換気能力	坑道の換気経路, 換気設備（冷房設備含む）
	排水能力	坑道の排水経路, 排水設備
	照明能力	坑道の照明設備
災害の発生・拡大の防止	防火対策	防火設備, 消火設備
	坑道の力学的安定性	支保工
	そのほかの災害防止対策	落下・転倒防止装置, 非常用貯水槽
災害時の避難経路確保	避難経路の確保	アクセス坑道（入気）, 連絡坑道, 緊急待避所, 風門, 通信・連絡設備

換気・冷房設備の設計 ～設計要件と規則/指針～

<設計要件>

設計要件	内容	設計項目
作業エリアの酸素濃度の維持	作業エリアの酸素濃度を維持するため、必要量の空気を送気できること	換気ファン, 風門
可燃性ガスの希釈	地質環境条件によって坑道内に発生する可燃性ガス（メタンガス等）を希釈し、地上に排出できること	換気ファン, 風門
有害ガスや粉塵の希釈	建設工事に伴って坑道内に発生する有害ガス（発破の後ガスや機械の排出ガス）や粉塵などを希釈し、地上に排出できること	換気ファン, 風門, 集じん機
作業エリアの温度の維持	作業エリアの温度が適温となるように、岩盤や建設機械によって熱せられた空気を冷却できること	冷却設備能力
坑道内の通気速度制限	坑道内の通気速度が定められた通気速度基準を超えないこと	換気ファン, 風門
事故時の放射性物質の漏えいの防止	地下施設内で放射性物質の漏えいを伴う事故が発生した場合にも、施設外への放出を防止すること	換気ファン, 風門, 緊急換気設備

<関係する規則/指針>

準拠基準類	指標	基準値	摘要
労働安全衛生規則 第611条	温度	37 ℃ 以下	法令
ずい道等建設工事における換気技術指針	温度	湿球温度28 ℃ 以下	指針による目標値
	風速	0.3 m/s 以上 0.5 m/s 以上（可燃性ガス）	
	作業従事者の呼気	0.05 m ³ /s 人	
鉱山保安法施行規則	風速	7.5 m/s 以下	鉱山保安法は適用外のため参考値として設定

換気・冷房施設の仕様例（HLW）

換気設備の仕様例（深成岩類の場合）

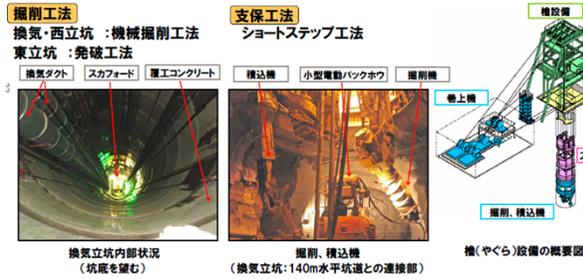
名称	仕様	数量	
		縦置き・ブロック方式	横置き・PEM方式
坑口ファン	定格風量 2,000 m ³ /min 定格全圧 4.9 kPa	4 台 (排気用立坑2本×2台)	1 台 (排気用立坑1本×1台)
局部ファン	定格風量 1,000 m ³ /min 定格全圧 2.9 kPa	6 台	6 台
集じん機	定格風量 1,200 m ³ /min	6 台	6 台
風 門	W=5,000 mm	42 台 (処分坑道)	—
風 門	W=8,000 mm	26 台 (連絡坑道)	37 台 (処分坑道)
軟 管	φ900 mm	4,000 m	3,300 m

冷房設備の仕様例

処分概念	縦置き・ブロック方式			横置き・PEM方式		
	深成岩類	新第三紀 堆積岩類	先新第三紀 堆積岩類	深成岩類	新第三紀 堆積岩類	先新第三紀 堆積岩類
岩種	深成岩類	新第三紀 堆積岩類	先新第三紀 堆積岩類	深成岩類	新第三紀 堆積岩類	先新第三紀 堆積岩類
処分区画形状	パネル型	パネル型	デッド エンド型	デッド エンド型	デッド エンド型	デッド エンド型
冷房能力の合計 [kW]	1,200	設置不要	3,200	800	設置不要	1,600

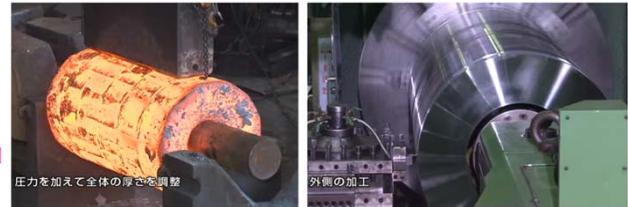
処分場の建設・操業技術

○ アクセス坑道（立坑）



地下研における立坑の建設 (JAEA, 2008)

○ オーバーパック



人工バリア製作技術の開発・実証 (RWMC, 2014)

○ 緩衝材



○ 埋め戻し

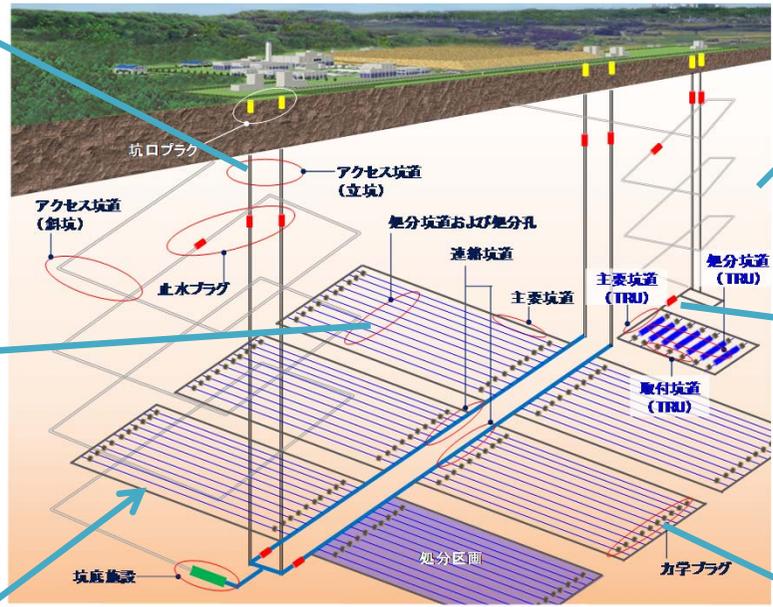


横（斜め）締固め工法による坑道の埋め戻し (SKB, 2001)

○ 処分孔



地下研における模擬処分孔の掘削 (JAEA, 2014)



○ 止水プラグ



粘土プラグの実証試験 (藤田ほか, 2007) ※JAEA

○ カマフラグ



コンクリートプラグの実証試験 (SKB, 2015)

○ 処分坑道，連絡坑道など



地下研における水平坑道の建設 (JAEA, 2013)

○ 縦置き・ブロック方式



(JAEA, 2014)

○ 横置き・PEM方式



(RWMC提供)

人工バリアに対する操業技術の開発・実証

- 
-
1. 設計の考え方
 2. 人工バリアの設計
 3. 地下施設の設計
 - 4. 地上施設の設計**
 5. 回収可能性の維持と回収方法
 6. 前回の報告会での主なご意見と報告書への反映
 7. まとめと今後の取り組み

廃棄体の受入・検査・封入施設の設計要件

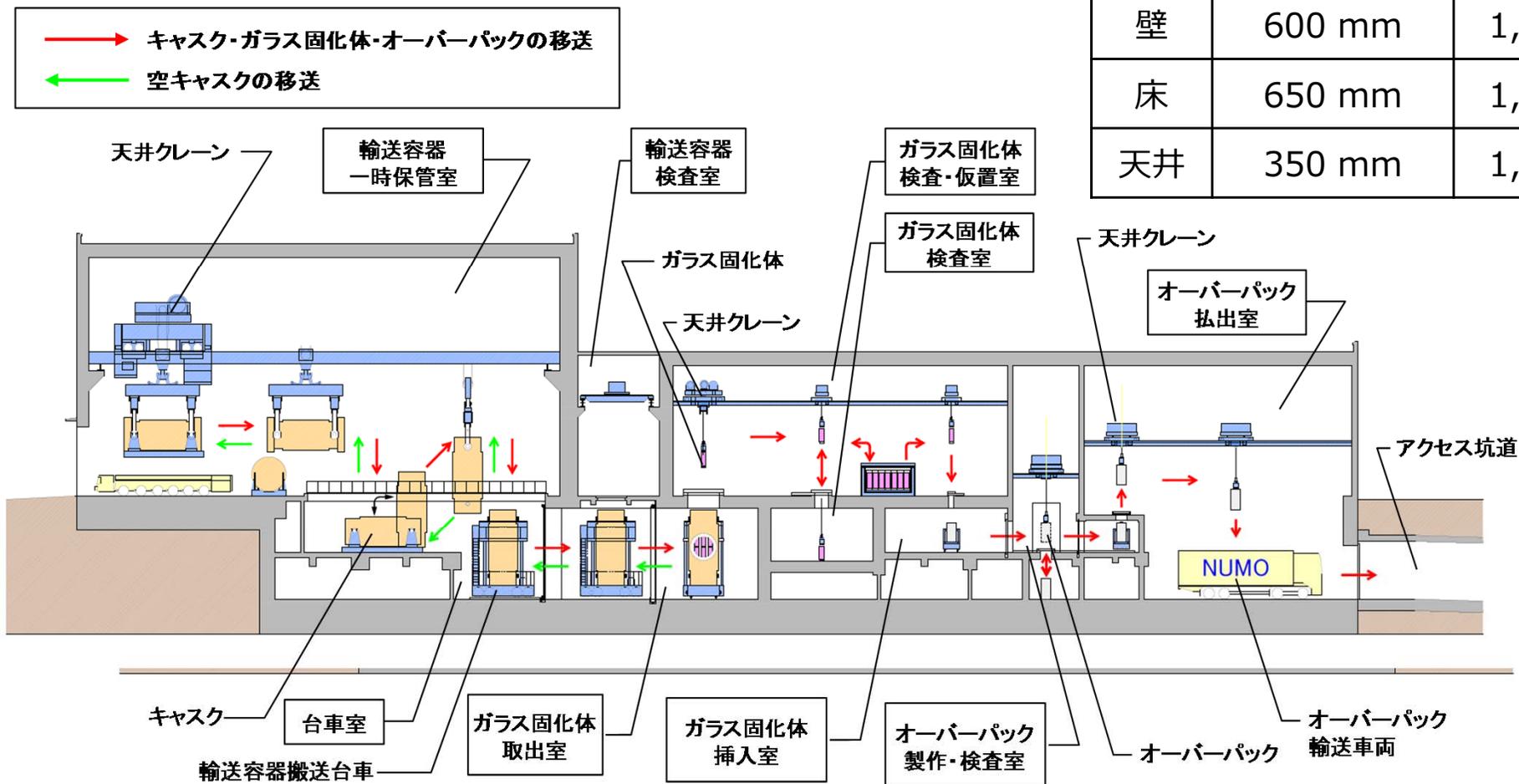
	設計要件	内容	設計項目
閉鎖前の安全性	周辺公衆の放射線からの防護	事業所周辺の線量を十分に低減できるよう、遮蔽そのほかの適切な措置を講じていること	施設設置位置、遮蔽壁 換気設備、輸送容器
	作業従事者の放射線からの防護	管理区域そのほか事業所内の人間が立ち入る場所における線量を低減できるよう、遮蔽そのほかの適切な措置を講じていること	遮蔽壁、輸送容器 放射線管理区域設定
	閉じ込め機能の確保	放射性物質による汚染が発生するおそれのある作業区画は、その内部を負圧状態に維持することが可能であること	放射線管理区域設定 換気設備（含、排気フィルタ） 廃棄体、オーバーパックまたは廃棄体パッケージ、輸送容器
	異常状態における機能喪失の防止	「落下」、「火災」、「爆発」、「外部電源喪失」、および「そのほかの装置の故障」などの異常状態においても、閉じ込めの機能を喪失しないように、異常の発生防止策、拡大防止策を考慮した設計であること	廃棄体、オーバーパックまたは廃棄体パッケージ 定置用クレーンなどの廃棄体などを取り扱う設備、装置
	放射線の監視測定	閉じ込め機能が確保されていることを監視できること、漏えいを検知し、速やかに警報できること	監視測定設備
工学的成立性	廃棄体の収容性	1回の輸送で受け入れる輸送容器を一時的に保管できること	建屋内区域の配置設計
	廃棄体パッケージ製造能力	1日に所定の数量の廃棄体パッケージを製造できること	廃棄体取扱設備
	遠隔操作性	遠隔操作により廃棄体を検査できること 遠隔操作により廃棄体をオーバーパックまたは廃棄体パッケージ容器に封入できること	廃棄体取扱設備

廃棄体受入・検査・封入施設の設計 (HLW)

※ TRUの設計例は参考資料に掲載

必要遮蔽厚さ (HLW)

分類	輸送容器 一時保管室	ガラス固化体 検査・仮置室
壁	600 mm	1,300 mm
床	650 mm	1,300 mm
天井	350 mm	1,200 mm



- ・輸送船 1 回の最大積載数を受け入れ可能な施設とした。
- ・作業従事者に対する線量限度 (50 mSv/年) を超えないように、部屋ごとの立ち入り頻度、滞在時間に応じて線量率区分を設定して遮蔽壁の必要厚さを設計。

自然現象に対する安全対策の考え方

自然現象	安全対策（著しい影響は設置領域から除外されていることを前提）
地震	耐震設計を行い、地震力に対して十分耐えうる構造とする。
津波	サイトの周辺の地形を考慮して、津波によって影響が及ぼされることがないように施設を高台に設置することや、防潮堤の設置、浸水防止扉の設置などの対策を施す。
洪水	サイトの周辺の地形を考慮して、高台に設置することや、浸水防止扉の設置などの対策を施す。
風（台風）	サイトの周辺で観測された最大風速を考慮して、施設設計において、台風などの風により損傷を受けることがないように設計する。
竜巻	施設は、竜巻などの風圧、飛来物の衝撃荷重に対して、損傷を受けることがない設計とする。
凍結	サイトの周辺で観測された最低気温を条件として設計する。
降水	サイトの周辺で観測された最大降水量を条件として設計する。構内排水計画の策定および建物内への浸水を防止する。
積雪	サイトの周辺で観測された最大積雪量を考慮して、施設設計において、積雪により損傷を受けることがないように設計する。
落雷	落雷により施設の安全性を損なわないよう避雷設備を設計する。
地滑り	サイトの周辺での観測記録および敷地付近の地形や地質の状況を考慮して、必要に応じて地滑り対策工法を施す。
火山の影響	降下火砕物（火山灰）が施設に影響を与える可能性がある場合には、降下火砕物の飛来、衝突、堆積などにより施設の機能が損なわれない設計とする。
生物学的事象	考慮すべき生物学的事象として、鳥類の侵入などを想定し、施設や立坑の出入口の開口部には網目構造のバードスクリーンを設置し、侵入を防止する設計とする。
森林火災	延焼被害を防止するために、施設と周辺の森林との間に可燃物を排除した領域（防火帯）を設けるなどの対策を施す。

人為事象に対する安全対策の考え方

人為事象	安全対策
飛来物 (航空機落下など)	地上施設の設置位置の周辺状況を考慮して、必要な場合には、航空機などの飛来物が施設に衝突することを想定しても安全が確保できる設計とする。
ダムの崩壊	地上施設の設置位置の周辺状況を考慮して、必要な場合には、高台に設置することや、浸水防止扉の設置などの対策を施す。
爆発	地上施設の設置位置の周辺状況を考慮して、近隣の施設の爆発事故の影響が想定される場合には、安全上重要な施設を離間距離をとって配置するなどの対策を施す。
近隣工場の火災	地上施設の設置位置の周辺状況を考慮して、近隣工場の火災の影響が想定される場合には、安全上重要な施設を離間距離をとって配置するなどの対策を施す。
有毒ガス	地上施設の設置位置の周辺状況を考慮して、近隣の施設からの有毒ガスの影響が想定される場合には、安全上重要な施設を離間距離をとって配置するなどの対策を施す。
船舶の衝突	地上施設の設置位置の周辺状況を考慮して、船舶が施設に衝突する可能性が想定される場合には、安全上重要な施設を海岸から離間距離をとって配置するなどの対策を施す。
電磁的障害	電磁的な干渉や妨害を受ける可能性のある施設や廃棄体を扱う設備については、フェイルセーフ機能を設け、障害が起こった場合にも安全性が確保されるように対策を施す。
不法な侵入などの防止	不法な侵入により、地上施設の安全性が損なわれることを防ぐために、廃棄物の防護のための区域の設定、サイバーテロに対する情報セキュリティ対策、防護対象物への接近を困難にする対策、区域の出入り管理、見張り人による区域内外の巡視などの検知の対策、治安当局への連絡体制の整備などの妨害破壊行為の防止対策を施す。

- 
-
1. 設計の考え方
 2. 人工バリアの設計
 3. 地下施設の設計
 4. 地上施設の設計
 - 5. 回収可能性の維持と回収方法**
 6. 前回の報告会での主なご意見と報告書への反映
 7. まとめと今後の取り組み

なぜ回収可能性が必要か？

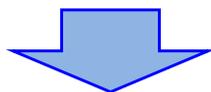
改定された最終処分基本方針（2015年5月22日閣議決定）

第4 特定放射性廃棄物の最終処分の実施に関する事項

最終処分事業は極めて長期にわたる事業であることを踏まえ、今後の技術その他の変化の可能性に柔軟かつ適切に対応する観点から、基本的に最終処分に関する政策や最終処分事業の**可逆性を担保**することとし、今後より良い処分方法が実用化された場合等に**将来世代が最良の処分方法を選択**できるようにする。このため、機構は、特定放射性廃棄物が最終処分施設に搬入された後においても、安全な管理が合理的に継続される範囲内で、最終処分施設の**閉鎖までの間の廃棄物の搬出の可能性（回収可能性）を確保**するものとする。

第5 特定放射性廃棄物の最終処分に係る技術の開発に関する事項

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最終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ものとする。合わせて、最終処分施設を**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、最終処分施設の閉鎖までの間の特定放射性廃棄物の**管理の在り方を具体化**する。当該技術開発等の成果については、最終処分事業や国の安全規制において有効に活用されることが重要である。



- 将来世代が最良の処分方法を選択できるように、**可逆性と回収可能性を担保**する。
- 閉鎖せずに**回収可能性を維持した場合の影響**について研究を進め、管理の在り方を具体化する。

可逆性（Reversibility）

原則として、処分システムを実現していく間に行われる**決定を元に戻す、あるいは検討し直す能力**を意味する。後戻り（Reversal）とは、決定を覆し、以前の状態に戻す行為。

回収可能性（Retrievability）

原則として、**処分場に定置された廃棄物あるいは廃棄物パッケージ全体を取り出す能力**を意味する。回収（Retrieval）とは、廃棄物を取り出す行為。

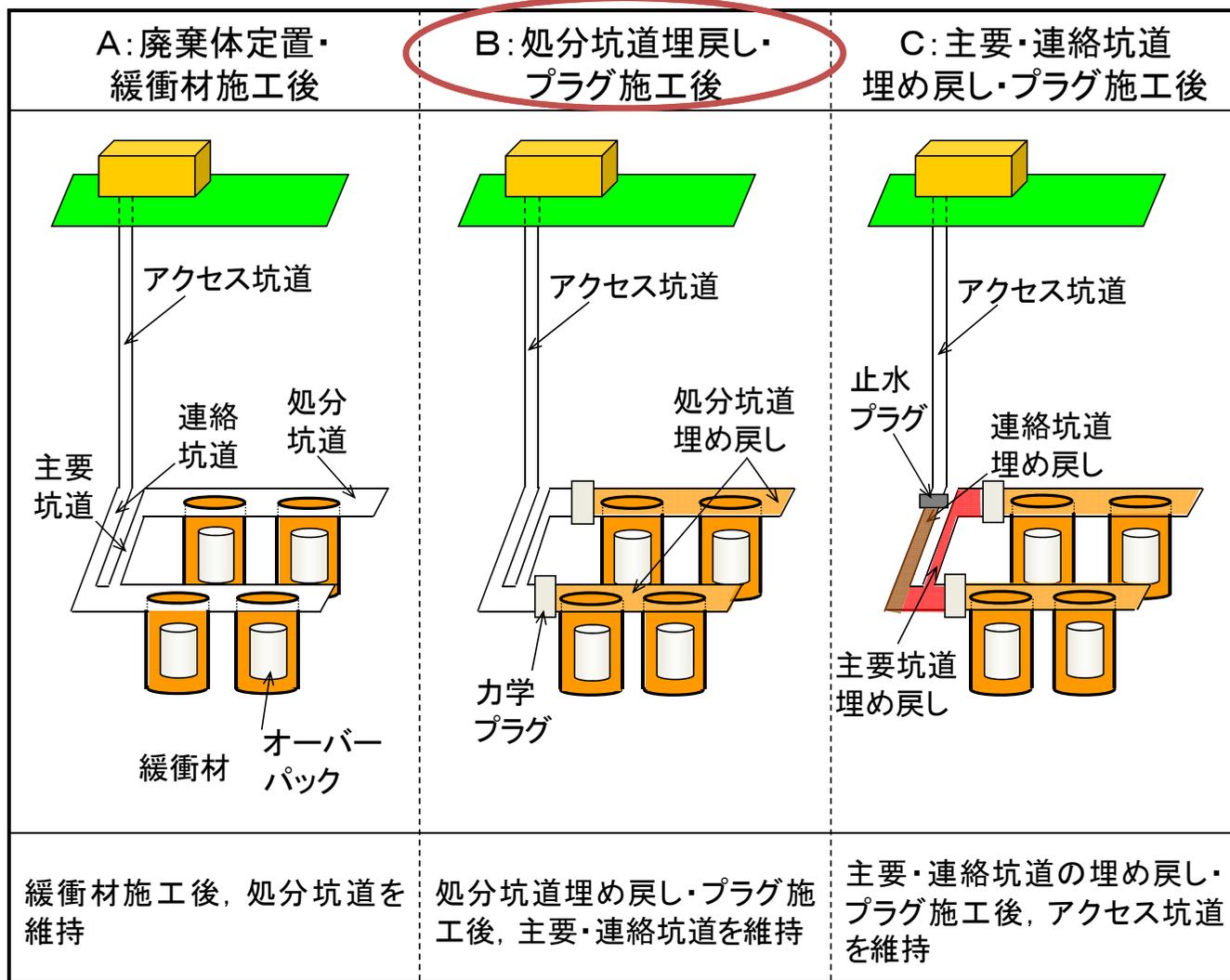
（出典：OECD/NEA,2011）

○ 実施内容

- 回収可能性の維持することによる影響，維持するのに好ましい状態について整理
- 現状の設計に対して回収可能性を維持するための技術の工学的成立性

回収を維持する状態

回収可能性を維持する状態として3つの状態を想定し、回収可能性を維持することに伴う地層処分に対する影響（坑道の維持管理，人工バリアの温度，緩衝材の流出，オーバーパックの腐食等の観点）について比較評価



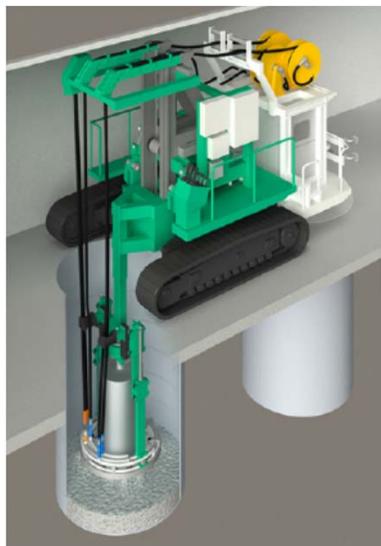
回収方法（処分概念に対応した回収技術の整備）

① 処分坑道端部プラグの除去



（縦置き・ブロック方式の場合）

② 処分坑道埋め戻し材の除去（自由断面掘削機）



縦置きを対象とした回収方法のイメージ
（RWMC, 2015）

③ 緩衝材の除去
（右図の塩水噴射除去装置）

④ オーバーパックの回収
（右図の装置に機能を備える）

（横置き・PEM方式の場合）

② 隙間埋戻し材の機会除去（外周部）



③ 隙間埋戻し材の塩水ジェット除去（PEM周辺）



④ PEMの回収
（専用装置の開発による）



PEMの回収方法のイメージ

処分概念に対応した回収技術の概念を検討し、現状の設計で回収可能性を確保できることを確認。遠隔操作による実証的な検討が国内外で実施中。

- 
-
1. 設計の考え方
 2. 人工バリアの設計
 3. 地下施設の設計
 4. 地上施設の設計
 5. 回収可能性の維持と回収方法
 - 6. 前回の報告会での主なご意見と報告書への反映**
 7. まとめと今後の取り組み

前回の報告会での主なご意見と報告書への反映（1/2）

■ 経済性や合理化

コストも実現性の大きな要因であるため、設計、施工段階での合理化については、方向性を含めて積極的に記載・説明をお願いしたい。

- 必要な性能に対する余裕やそれぞれの条件に対する特徴を比較して合理化の方向性を提示。
- 今後必要な取り組みとして具体的内容の記述を追加。また、地層処分研究開発全体計画（H30-H34）に反映。

■ プラグの設置イメージ

プラグ（力学、止水）の施設における設置状況の全体的イメージと操業から閉鎖後の想定される状態と性能の考え方などについて分かり易く説明していただきたい。

- 坑道の埋め戻しとプラグ設置のイメージ図を追加して、期待する性能の考え方を説明。

前回の報告会での主なご意見と報告書への反映（2/2）

■ 作業環境の基準

坑道内の温度や換気などの一般労働安全にかかわる地下の作業環境について、情報を追加して欲しい。

- 換気・冷房設備の設計を新たに追加。坑道内の作業環境に関して基準を定めている規則，指針を参照し，設計要件に設定。

■ 自然現象への対応

処分場閉鎖前の自然現象への対応については，関心も高く丁寧に説明する必要がある。

- 様々な自然現象に対する安全対策について類似施設を参考に取りまとめ，自然現象に関する設計の考え方として記述を追加。

- 
-
1. 設計の考え方
 2. 人工バリアの設計
 3. 地下施設の設計
 4. 地上施設の設計
 5. 回収可能性の維持と回収方法
 6. 前回の報告会での主なご意見と報告書への反映
 7. **まとめと今後の取り組み**

まとめ

- わが国の多様な地質環境に柔軟に対応するための設計の考え方を、実際のサイトにどのように適用するのか、処分場の設計例とともに示した。
- 処分概念については、従来より検討してきた縦置き・ブロック方式に加え、湧水対策および品質管理の容易性の観点から横置き・PEM方式を高レベル放射性廃棄物処分の有望な設計オプションの一つとして提示した。
- 現実的な地質環境に対応した地下施設の設計手法として、断層の分布を考慮したレイアウトの判断指標、割れ目からの湧水を考慮した廃棄体定置の判断指標を導入した。
- 処分場の閉鎖後にアクセス坑道が地上と地下とを結ぶ短絡的な放射性物質の移行経路となることを防止するための、坑道の埋め戻しとプラグの設置の考え方と設計例を示した。
- 処分場の建設・操業・閉鎖および回収可能性を確保するための技術開発や実規模大の実証試験が国内外で進められており、第2次取りまとめ以降、技術の実用性が向上している。

わが国の地質環境の特徴に柔軟に対応して、所要の安全機能を有する処分場を設計することは可能であり、それらを支える工学技術の実用性も向上している。

第2次取りまとめおよび第2次TRUレポートからの進展

- 複数の設計オプションの整備が進められており、多様なサイト条件や科学技術の進歩などに柔軟に対応して**処分場を設計するため選択肢が拡充**された。
- **幅広い地下水質等への影響を考慮**した上で安全機能を確保できる人工バリアの仕様が示された。また、最新の科学的知見を反映した人工バリア仕様の**合理化の方向性**が提示された。
- 地下施設の設計において、断層および割れ目に対する対処方法や坑道内の換気設備の設計など、**実践的な検討を実施**。
- 処分場の建設・操業・閉鎖および回収可能性を確保するための技術開発や実規模大の実証試験が国内外で進められており、**技術の実用性が向上した**。

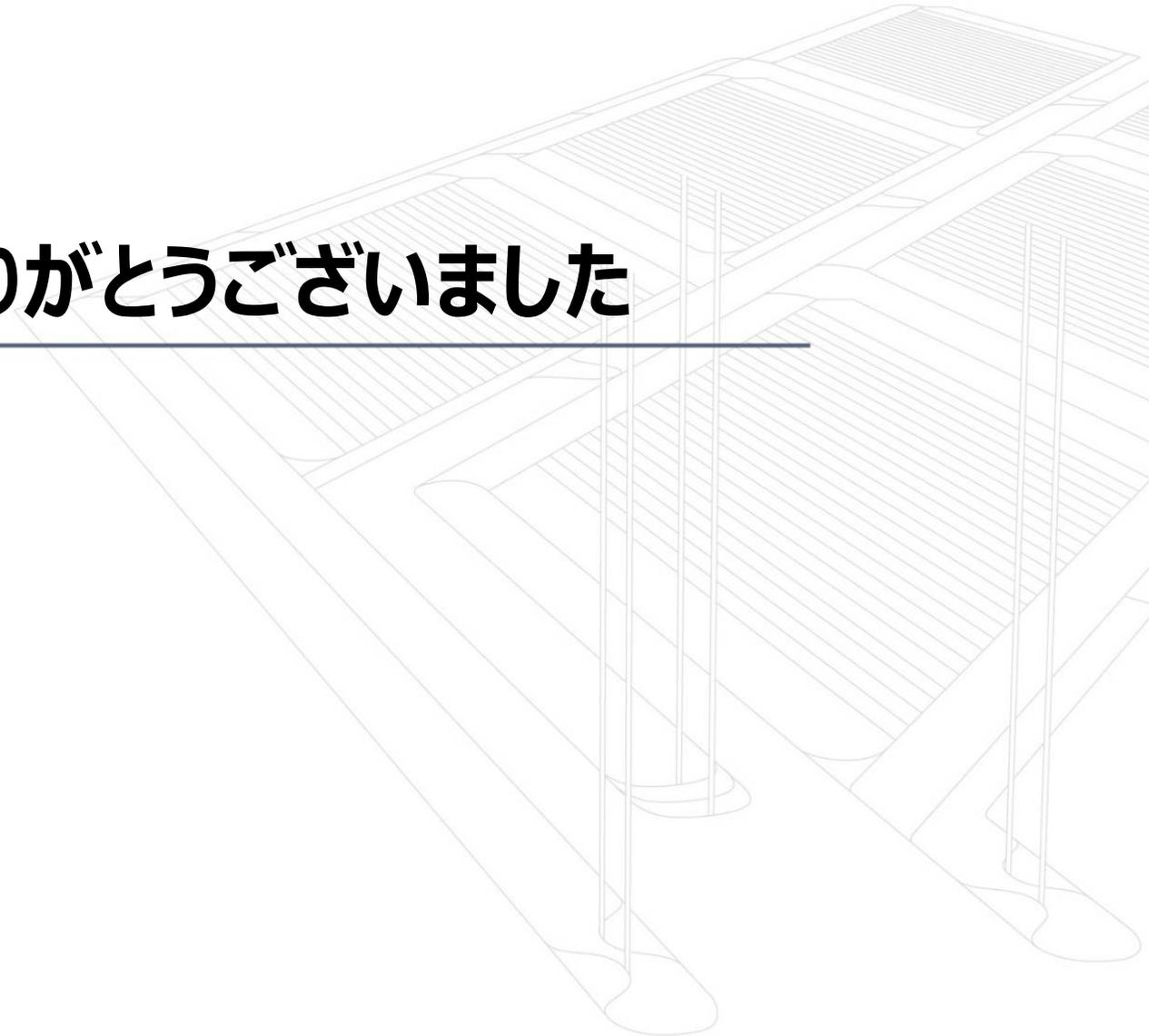
処分場の設計と工学技術に関する今後の取り組み

所要の安全機能を確保した処分場を構築するための実用的な設計技術，および基本となる人工バリアの仕様・材料は準備されてきていることを示した。今後の取り組みについては、**処分場の安全性および経済的合理性を高めるとともに、実証試験などを通じた技術の実用化や品質管理手順・方法の確立を図ることを目標とする。**

分類	主な実施項目
人工バリア	<ul style="list-style-type: none">➤ 人工バリア代替材料と設計オプションの整備➤ TRU等廃棄物処分に対する人工バリアの閉じ込め機能の向上➤ 人工バリア長期挙動の評価技術の整備と実証➤ 人工バリアの設計手法，材料特性試験の標準化➤ 人工バリアの製作技術および定置技術の開発と実証
地上・地下施設	<ul style="list-style-type: none">➤ 処分施設の設計技術の向上➤ 処分場建設の安全性を確保する技術の高度化➤ 処分場閉鎖後の水みちを防止する技術の整備
回収可能性	<ul style="list-style-type: none">➤ 廃棄体回収技術の開発と実証➤ 回収可能性の維持に伴う影響評価技術の整備



ご清聴ありがとうございました



参考文献 (1/2)

- 藤田朝雄, 杉田裕, 升元一彦, 風間秀 (2007) : 結晶質岩における粘土プラグの閉鎖性能に関わる原位置試験および解析評価, 原子力バックエンド研究, Vol.14, No.1, pp.13-30.
- JAEA (日本原子力研究開発機構) (2013) : 幌延深地層研究計画の成果と今後の予定, 第16回 地層処分研究開発・評価委員会, 資料16-4 (H25.3.19) , http://www.jaea.go.jp/04/tisou/iinkai/hyouka_iinkai/16-4.pdf (2016年7月15日閲覧) .
- JAEA (日本原子力研究開発機構) (2014) : 幌延深地層研究計画 平成25年度調査研究成果報告, JAEA-Review 2014-039.
- JAEA (日本原子力研究開発機構) (2008) : 幌延深地層研究計画 平成20年度調査研究計画, JAEA-Research 2008-063.
- 菊池広人, 棚井憲治, 松本一浩, 佐藤治夫, 上野健一, 鐵剛志 (2003) : 緩衝材の飽和透水特性-II - 海水性地下水が緩衝材の透水性に及ぼす影響 -, JNC TN8430 2003-002.
- 菊池広人, 棚井憲治 (2005) : 幌延地下水を用いた緩衝材・埋め戻し材の基本特性試験, JNC TN8430 2004-005.
- 松本一浩, 菅野毅, 藤田朝雄, 鈴木英明 (1997) : 緩衝材の飽和透水特性, PNC-TN8410 97-296.
- 日本原子力研究所 (2003) : 平成14 年度 放射性廃棄物処分の長期評価手法の調査報告書 (1/2) 「確立的アプローチによる長期的評価手法の調査」.
- NUMO (原子力発電環境整備機構) (2009) : 公募関係資料, 特定放射性廃棄処分の最終処分施設の設置可能性を調査する区域.

参考文献 (2/2)

- RWMC (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2014) : オーバーパックの製造工程, 2014年3月18日公開, <https://www.youtube.com/watch?v=kiguuGpQOis> (2018年2月8日閲覧) .
- RWMC (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2014) : 緩衝材の製造工程, 2014年3月18日公開, <https://www.youtube.com/watch?v=UStNmCzaXLk&feature=youtu.be> (2016年03月16日閲覧) .
- RWMC (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2015) : 平成26年度地層処分技術調査等事業 地層処分回収技術高度化開発 報告書.
- RWMC (原子力環境整備促進・資金管理センター) (2017) : 平成28年度地層処分技術調査等事業 処分システム工学 確証技術開発 報告書 (第1分冊) 人工バリア品質/健全性評価手法の構築 – オーバーパック.
- 笹倉剛, 畔柳幹雄, 岡本道孝, 小林一三 (2003) : ベントナイト変遷挙動のモデル化のためのデータ取得 II, JNC TJ8400 2003-048.
- SKB (2001) : Äspö Hard Rock Laboratory. Report on the installation of the Backfill and Plug Test, SKB IPR-01-17.
- SKB (2011) : Site selection – siting of the final repository for spent nuclear fuel, SKB R-11-07.
- SKB (2015) : System design of Dome Plug, Experiences from full-scale wire sawing of a slot abutment for the KBS-3V deposition tunnel plug, SKB R-14-24.
- 棚井憲治, 三原守弘, 田中益弘, 伊藤勝, 前田崇宏 (1998) : カルシウム型化及びカルシウム型ベントナイトの基本特性 – 膨潤圧, 透水係数, 一軸圧縮強度及び弾性係数 –, PNC TN8410 98-021.