地層処分におけるセーフティケースの構築

(2) 閉鎖前の安全性

日本原子力学会バックエンド夏期セミナー

2016年8月4日

原子力発電環境整備機構（NUMO）

鈴木　覚

発表内容

1. 背景
2. 処分場の構成と操業手順
3. 放射線防護
4. 一般労働安全
5. まとめと今後の取り組み

背景：閉鎖前の安全確保の対象

閉鎖前の安全性とは？

- 地層処分事業のサイト調査，建設・操業・閉鎖の期間における周辺公衆および作業者の安全性

  - **放射線安全の確保**
  - **一般労働安全の確保**
  - **環境保全（特に周辺公衆の安全性）**

建設・操業の期間を対象に
放射線安全と一般労働安全について検討

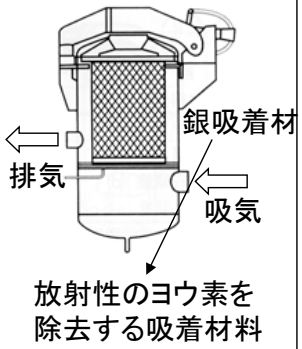
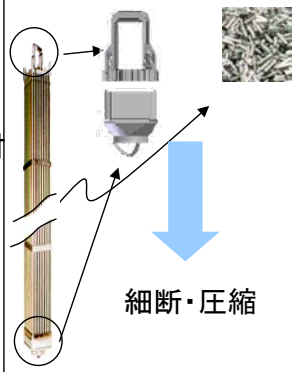
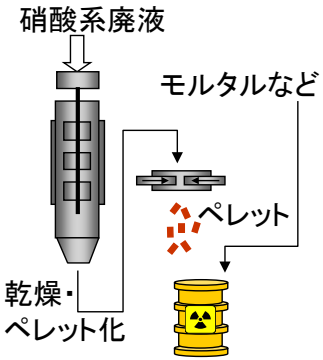
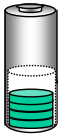
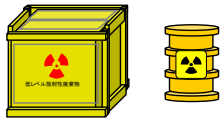
背景：対象廃棄物と安全確保上考慮すべき特性

高レベル放射性廃棄物

ガラス固化体

発熱量：350 ～600W
重量：約0.5 tons
高さ：約1.3 m
直径：約0.4 m
ステンレス製容器厚さ：6 mm
表面線量：約200 Sv/時間

地層処分対象低レベル放射性廃棄物（以下，TRU廃棄物）

	廃銀吸着材	エンドピース　ハル	濃縮廃液など	難燃性廃棄物
概要				
廃棄体イメージ（例）				
特徴	・放射性ヨウ素（I-129）を含む ・セメント固化体	・発熱量が比較的大 ・放射性炭素（C-14）を含む	・硝酸塩を含む ・モルタル，アスファルトによる固化体など	・焼却灰，不燃物 ・セメント固化体など
グループ	1	2	3	4

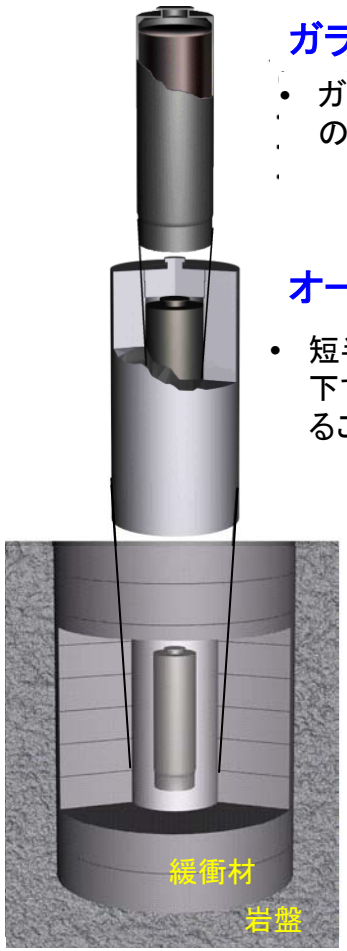
安全確保上の考慮事項
- 発熱性
- 高い放射能

安全確保上の考慮事項
- グループ2，4などの相対的に放射能が高く，発熱性の廃棄体
- アスファルト固化体の硝酸塩の影響

２．処分場の構成と操業手順

人工バリアの構成

高レベル放射性廃棄物の人工バリア



ガラス固化体

- ガラスマトリクスにより地下水中への放射性物質の浸出を抑制

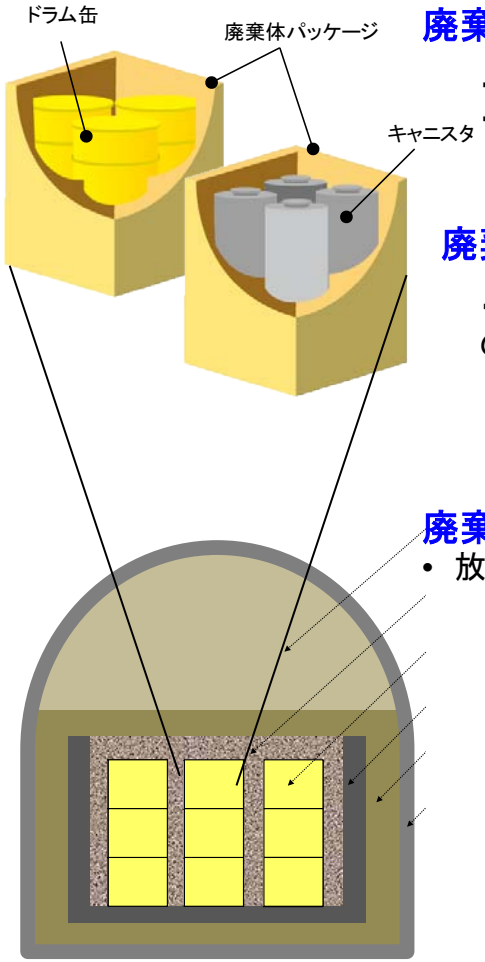
オーバーパック（金属製の容器）

- 短半減期核種の大半が減衰し，放射線と発熱量が低下するまでの期間，ガラス固化体と地下水が接触することを防止

緩衝材（粘土を主成分）

- 廃棄体の周囲の地下水の流れを抑制し，物質移行を遅延
- 放射性物質のコロイドの移行抑制
- 放射性物質を収着することによる移行遅延
- 廃棄体定置・緩衝材施工時の隙間の閉塞
- 自己修復能
- 地下水組成の化学的緩衝作用
- 岩盤変形などの物理的緩衝作用

TRU廃棄物の人工バリア



廃棄体（ドラム缶，キャニスタなど）

・廃棄物を固形化
・長期の浸出抑制機能（検討中）

廃棄体パッケージ容器（金属製の容器）

・操業期間中の地下水と廃棄体の接触防止

廃棄体パッケージ間充填材（モルタル）

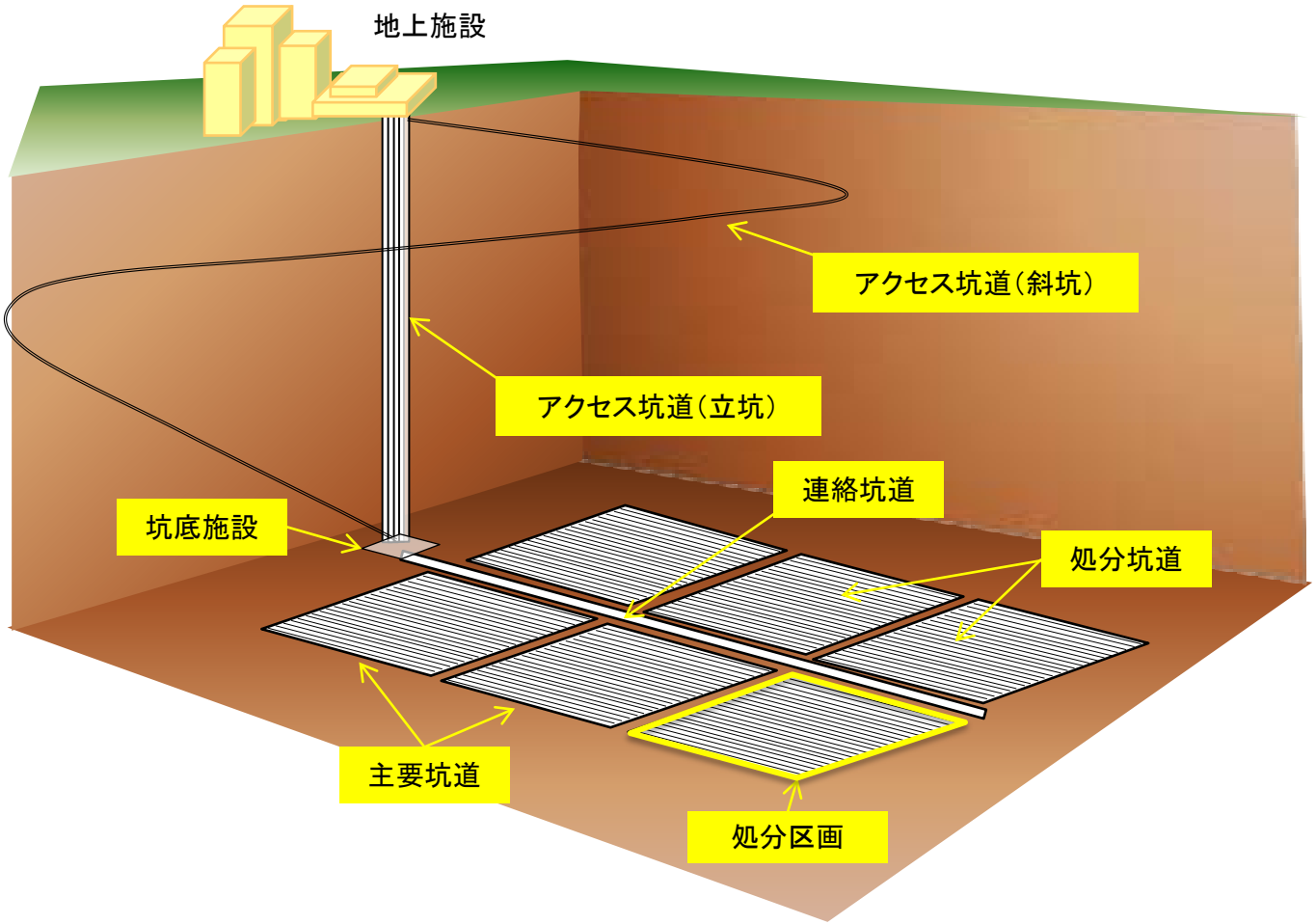
- 放射性物質の収着による移行遅延

緩衝材（粘土を主成分）

- HLWと同様の機能を期待

操業安全の観点からは，オーバーパック，廃棄体パッケージ容器に密閉性が必要。

処分場の構成



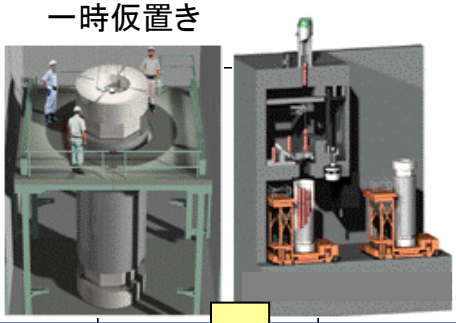
処分区画の建設と操業が同時並行で実施されることを想定。

操業工程のイメージ図（高レベル放射性廃棄物の例）

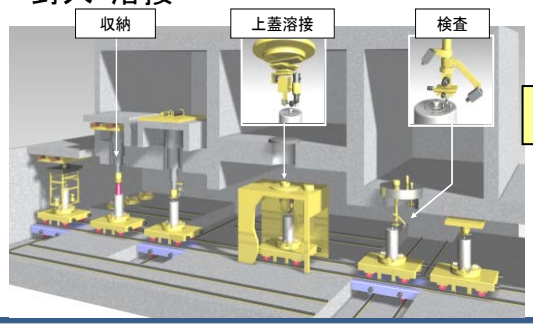
地上施設における工程

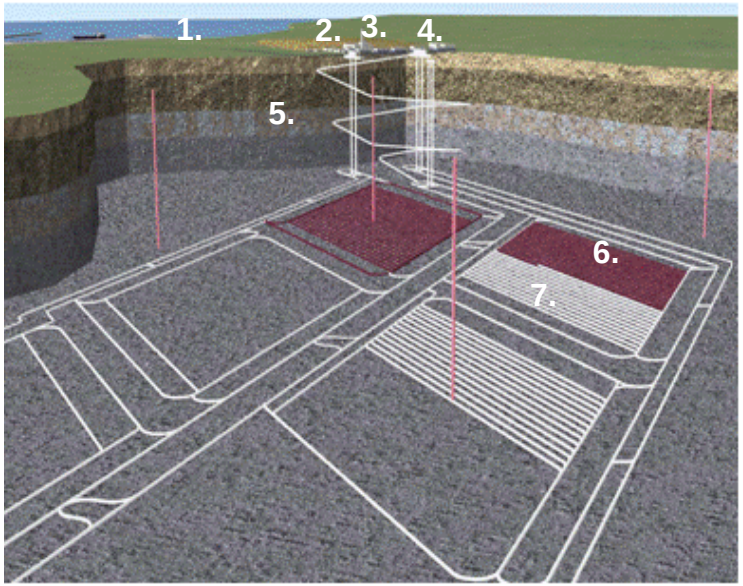
1. 地上施設への輸送

2. ガラス固化体受け入れ・検査・一時仮置き

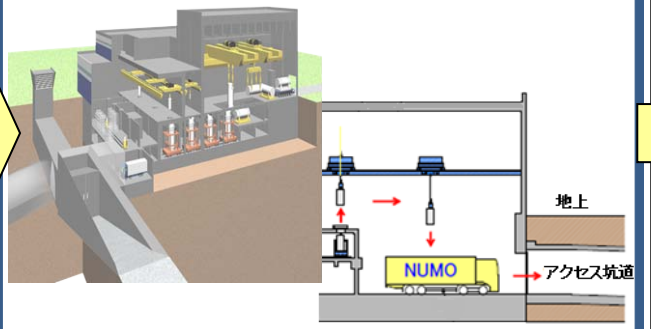


3. ガラス固化体のオーバーパックへの封入・溶接



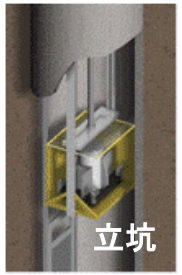


4. 搬送車両への積込み

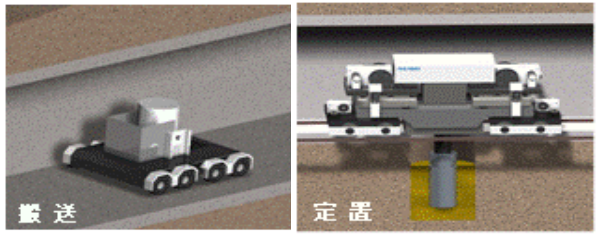


地下施設における工程

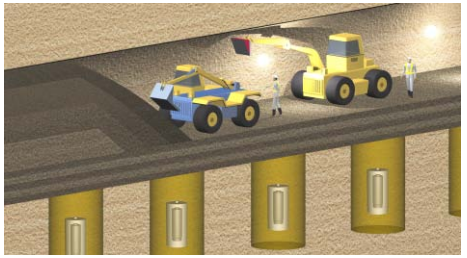
5. アクセス坑道での搬送



6. 処分坑道での搬送と定置



7. 処分坑道の埋め戻し



3. 放射線防護

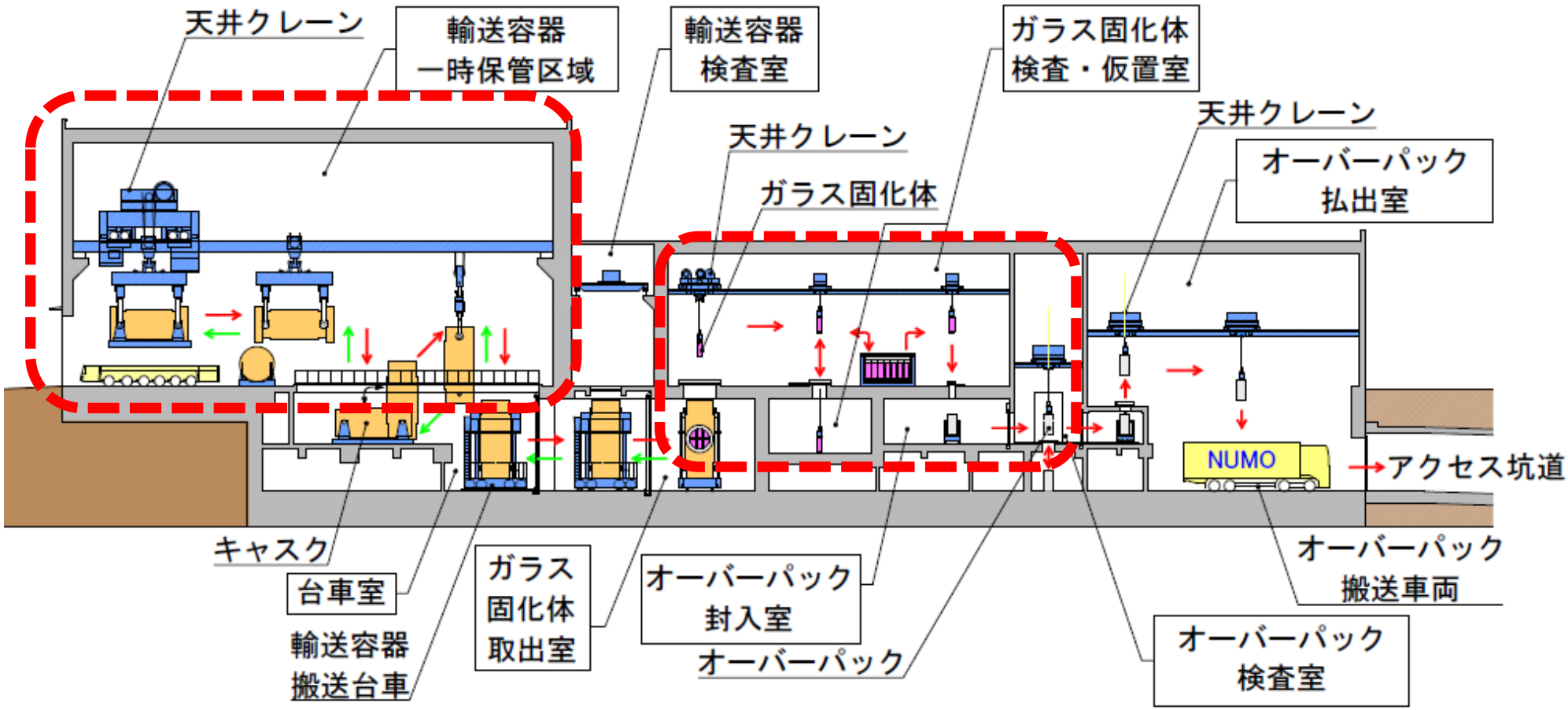
平常状態の安全確保

安全機能		説明
閉じ込め	廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止	操業期間中において廃棄体からの放射性物質の漏えいを防止する。
	施設外への放射性物質の過大な放出の防止	操業期間中において放射性物質取扱施設からの放射性物質の過大な放出を防止する。
放射線遮蔽	放射線の遮蔽	廃棄体からの放射線による空間線量率を遮蔽により低減する。

以上の対策に加え，敷地境界の設定と放射線モニタリング，および放射線管理区域を設定し，作業者の被ばく管理にも努めることで安全を確保する。

廃棄体受入検査封入施設の概念的な設計

想定取り扱い数量
➢輸送容器一時保管区域（輸送容器20基×ガラス固化体28体/基）
➢ガラス固化体検査・仮置室（ガラス固化体28体）



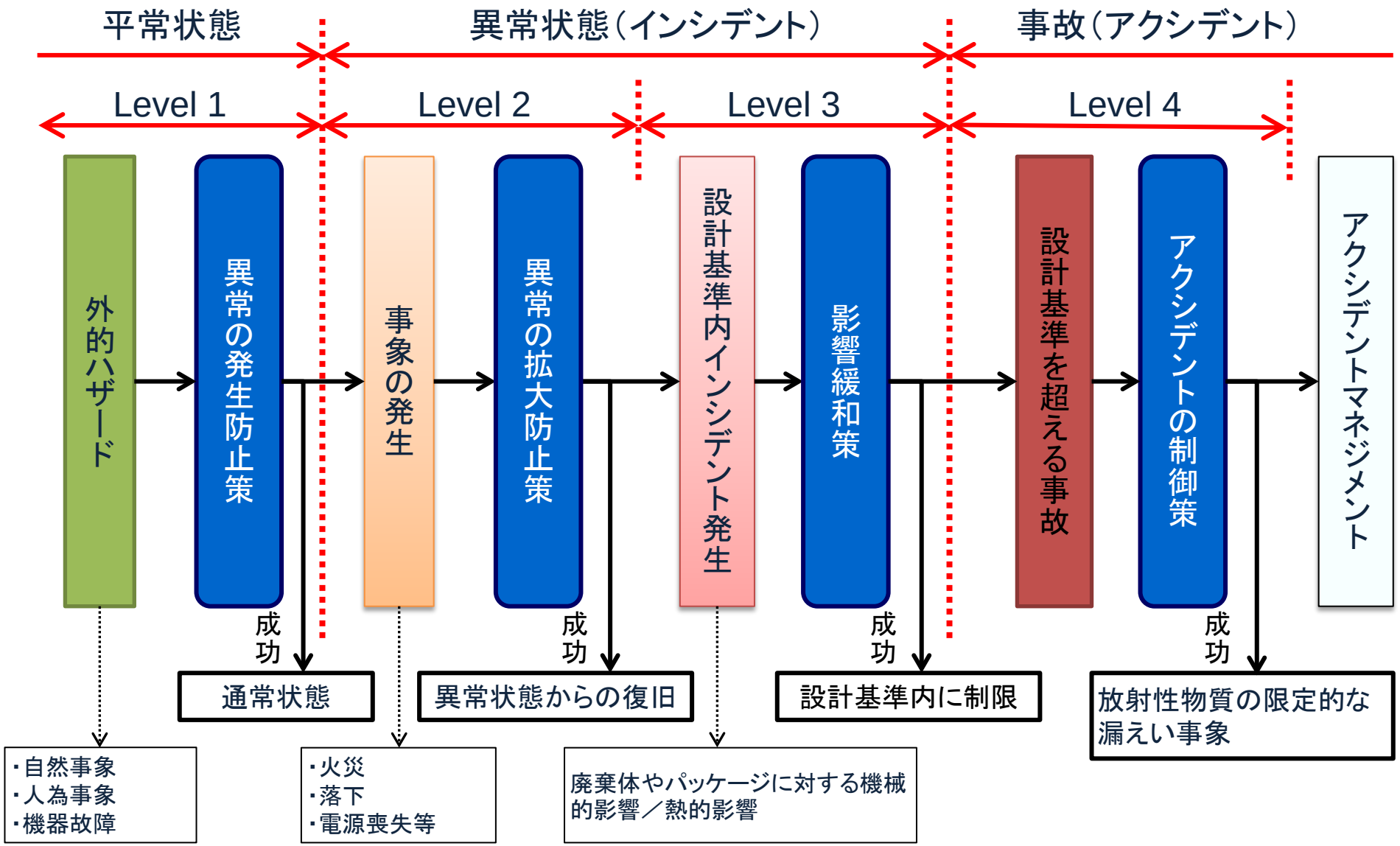
輸送容器一時保管区域は，輸送容器により閉じ込めと遮蔽の機能が確保される。ガラス固化体検査・仮置室は遮蔽壁の必要厚さを設計。

自然災害および人為的な災害への対策

ハザード	内容	設計項目
地震	・地震力に対して安全機能が損なわれるおそれがないもの ・周辺斜面について崩壊のおそれがないこと ・地震力に対して十分に支持することができる地盤に施設を設けること	建屋壁設計 施設設置位置
津波	・施設は，津波による遡上波が到達しない十分高い場所に設置すること ・津波による遡上波が到達する高さにある場合には，遡上波によって施設の閉じ込め機能等の安全機能を損なうおそれがないこと。	建屋壁設計 施設設置位置
自然災害の影響の防止	施設および敷地周辺の自然環境に基づいて，洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，生物学的事象，森林火災等から適用されるものの影響を防止すること	建屋壁設計 施設設置位置
人為的な災害の影響の防止	施設および敷地周辺の状況をもとに選択されるもので，飛来物（航空機落下等），ダムの崩壊，爆発，近隣工場の火災，有毒ガス，船舶の衝突または電磁的障害等を防止すること	建屋壁設計 施設設置位置
不法な侵入等の防止	施設内の人による核物質の不法な移転や妨害破壊行為，郵便物等による敷地外からの爆発物または有害物の持ち込み，サイバーテロなどを防止すること	設備設計 侵入防止対策および監視などの対策

著しい影響を与える災害については，サイト選定や施設設置位置を適切に設定。
また，その他の災害も可能な限り影響を受けにくいように施設設置位置を決定する。

異常事象および事故対策の考え方



深層防護の考え方に準じて異常時の安全対策を検討

閉鎖前の安全性の評価の方法：評価シナリオの特定

処分施設で想定される異常状態（シナリオの出発点）

①火災

②爆発

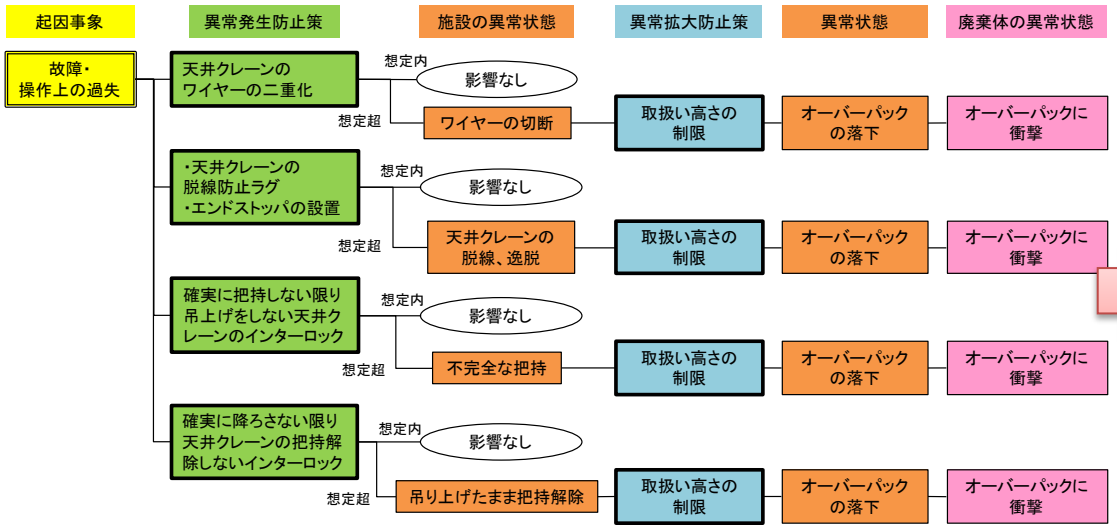
③浸水・水没

④電源喪失

⑤設備・機械の故障・破損，人為的過失

⑥建屋・坑道の損傷

- 評価シナリオの網羅性確保のため，イベントツリーを作成。
- 想定されるハザードをデータベース化。今後，継続的に検討し，ハザードデータを拡充。



オーバーパックの落下事象のイベントツリーの例

- 安全対策の余裕，多重性，独立性を評価の上，廃棄体，オーバーパックなどの頑健性の評価対象とするシナリオを抽出。
- 評価方法を検討するため，オーバーパックおよび廃棄体パッケージの落下事象を評価。

4. 一般労働安全

安全確保の考え方:一般労働安全

- 一般労働安全の取り組みには，事前に設計・計画段階で実施する「安全対策」と，安全対策を有効に運用する「安全管理」の両方が求められる。
- 「安全対策」は，労働災害対策と作業環境対策に大別される。

安全対策		説明
作業環境対策	作業環境※の維持	労働に適する環境を維持すること
労働災害対策	災害の発生・拡大の防止	労働災害の要因となる事象の発生防止と拡大の対策を有すること
	災害時の避難経路確保	災害時の避難経路が確保されていること

※作業環境とは，地下あるいは地上施設の環境（温度，湿度，酸素濃度，粉じん濃度，ラドン濃度，照度，騒音レベルなど）

一般労働安全関連の設計：作業動線・換気経路の検討

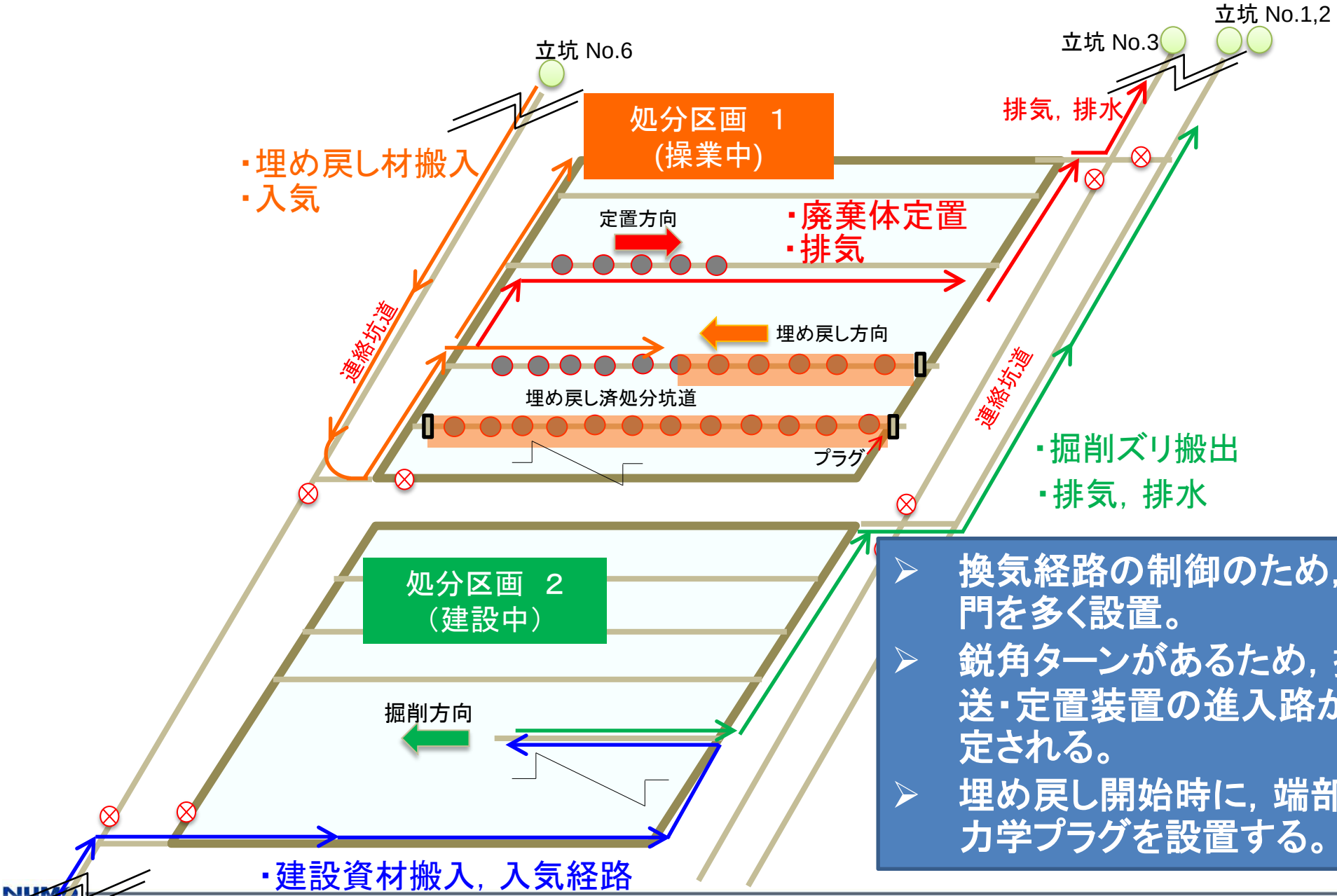
連絡坑道・アクセス坑道の配置に関する設計要件

作業環境の維持，労働災害の発生防止の観点から設計要件を設定

設計要件	必須	内容	設計項目
空洞安定性の確保	○	空洞周辺の塑性領域が許容される支保工の仕様および離間距離であること	支保工 坑道離間距離
作業動線の確保	○	建設資機材搬入，ズリ出し，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・埋戻しの動線が交錯しない）	坑道の配置
換気経路の確保	○	換気経路に応じて，**必要な入排気立坑の本数**が確保されていること **定置作業区画と建設区画は独立**していること。	アクセス立坑
操業スペースの確保	○	廃棄体の積替エリアが確保されていること	坑底施設
操業の安全性確保	○	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
排水経路の確保	—	・**放射性管理区域を通過した湧水が他区画へ移動しない**こと ・坑道の排水勾配と掘削方向が整合していること	坑道の縦断勾配

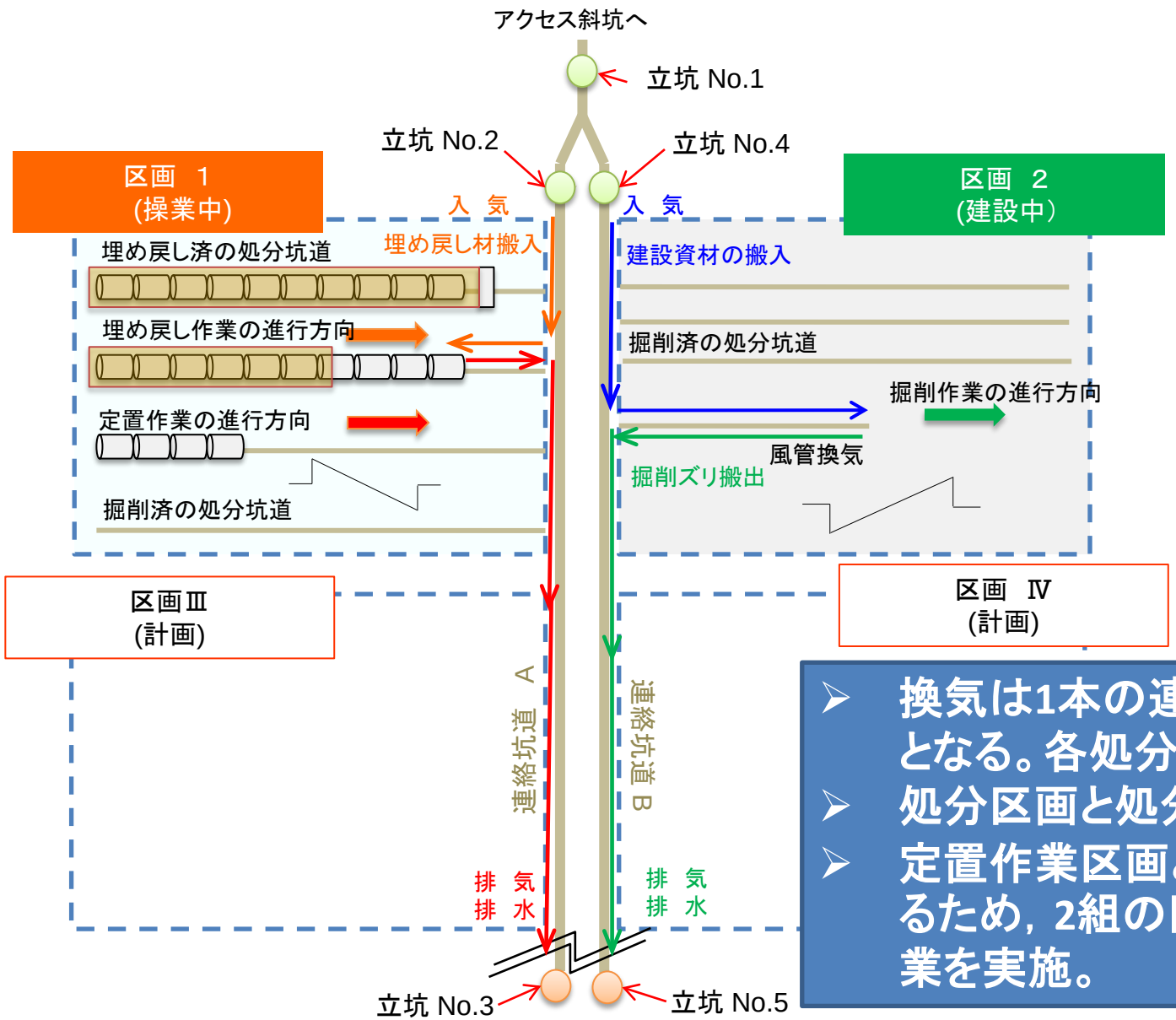
レイアウトの設計オプションとして，処分パネル型（平行四辺形）とフィッシュボーン型を検討し，安全確保上の特徴を比較。

処分パネル型の作業動線・換気経路の考え方（概念）



- 換気経路の制御のため，風門を多く設置。
- 鋭角ターンがあるため，搬送・定置装置の進入路が限定される。
- 埋め戻し開始時に，端部に力学プラグを設置する。

フィッシュボーン型の作業動線・換気経路の考え方（概念）



- 換気は1本の連絡坑道でワンススルーとなる。各処分坑道には風管換気。
- 処分区画と処分坑道は直交。
- 定置作業区画と建設区画を独立させるため，2組の区画で交互に建設・操業を実施。

５．まとめと今後の取り組み

閉鎖前の安全確保のまとめ

- 閉鎖前の安全確保の対象は，周辺公衆と施設で建設や操業に従事する作業者。
- 関係法令との対応も考慮して，放射線防護，一般労働安全，環境保全に分類して取り組む。

- 放射線防護は，廃棄物管理事業の新規制基準を参照し，平常状態の安全性（閉じ込め，遮蔽），自然災害等への対策，異常・事故対策について地上施設の設計を実施。地層処分特有の事象を考慮。
- 異常・事故対策は，深層防護の考え方に基づいている。
- 地上・地下施設における火災・落下などの影響評価方法を検討し，試行的な評価を実施している。

- 一般労働安全については，おもに作業環境の維持，避難経路の確保などの観点から，地下施設レイアウトの検討を実施。
- 従来検討してきた，パネル型のレイアウトに比べ，フィッシュボーン型の方が，換気計画のやり易さ，避難経路等の確保のやり易さの観点から，より適性が高い。

今後の技術開発項目

施設の安全対策に関する技術開発項目

- （主として候補サイトの地質環境や社会環境を対象として）自然災害等への対策および関連技術整備
- 操業安全ハザードシナリオに基づいた各種の安全対策設備の整備
- 換気設計手法の整備，火災・煙シミュレーション，避難シミュレーションに基づいたレイアウト設計検討
- 廃棄体パッケージ間の隙間充填材に対する放射線影響評価と対策の整備

閉鎖前の安全評価に関する技術開発項目

- 閉鎖前の安全性評価シナリオ構築手法の開発
  評価シナリオの作成プロセスの透明性と追跡性の確保が肝要（事象の発生可能性や重畳の考慮の方法など）。まずは，操業安全ハザードデータベースを構築し，国内外の知見を集約する。
- 火災影響評価方法の標準化（火炎のモデリング，継続時間の設定など）
- 異常状態に陥った廃棄物または，影響を受けた廃棄物の処置
  補修するか否か，その判断基準も含めて，今後，施設の設計までに検討を進める。
- TRU廃棄物のうち，アスファルト固化体の硝酸影響の評価

ご静聴ありがとうございました。