

2 詳細技術報告書の説明

2.3 高レベル放射性廃棄物地層処分の 技術と安全性

NUMO技術報告会

2004年6月1日

原子力発電環境整備機構 (NUMO)

梅木 博之

報告書のねらい

処分サイトに適した処分場概念の構築方法

• 処分場概念

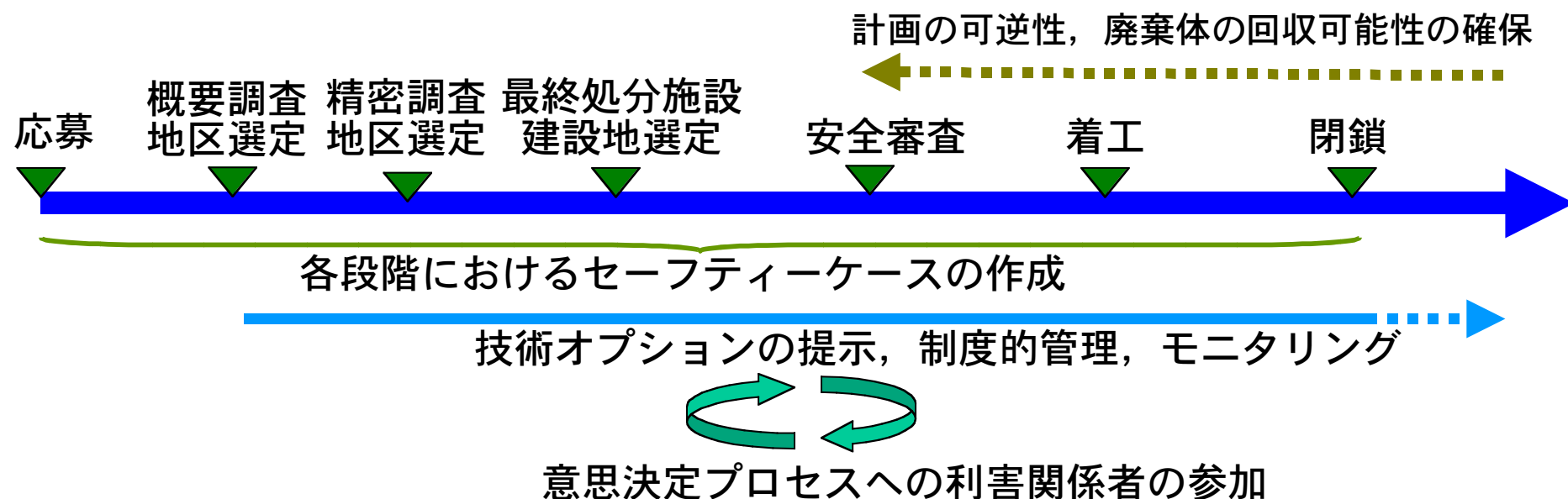
- 処分施設と立地点のサイト環境条件（地理／地形，地質環境，社会経済的因子）を合わせたもの
- 段階的に詳細化されるサイト環境条件の情報に基づく設計や安全評価の反復過程による最適化
- サイトの適切性に関する判断情報の提供

• 処分場概念の検討に必要な視点

- サイト環境条件
- 地上及び地下施設，人工バリアの設計とレイアウト
- 建設・操業・閉鎖，モニタリング，回収可能性
- 操業時及び閉鎖後長期間の安全性
- 環境，社会経済的影響

地層処分事業推進のキーワード

・段階的な意思決定 / 信頼の構築



・信頼の構造

➤ 地層処分安全性への信頼

- ・ セーフティーケース（長期にわたって安全性を確保できることの論拠）に対する科学的客観性と技術的信頼性

➤ 処分事業への信頼

- ・ 処分事業者の技術的能力と事業運営姿勢に対する信頼
- ・ 政策に対する信頼
- ・ 規制への信頼

地層処分の安全性

処分場閉鎖前安全性

- 処分場の建設，操業，閉鎖～事業廃止までの数十年～百年程度の期間
- 通常の原子力施設（ただし，線源は物理的・化学的により安定）と同様に扱うことが可能

処分場閉鎖後安全性

- 人間の関与が終了した後の時期
- 受動的なシステム（閉鎖後数万年といった長期間）
- 地層処分に特有なものとして考慮しなければならない

長期安全性の確保

- システムの固有性能の確保

- 適切なサイト選定
- 工学的対策

- 安全評価による長期安全性の確認

- 安全性に関する信頼性の保証

- システム固有性能のロバスト性

例：仮想的シナリオの検討

- 安全評価の信頼性

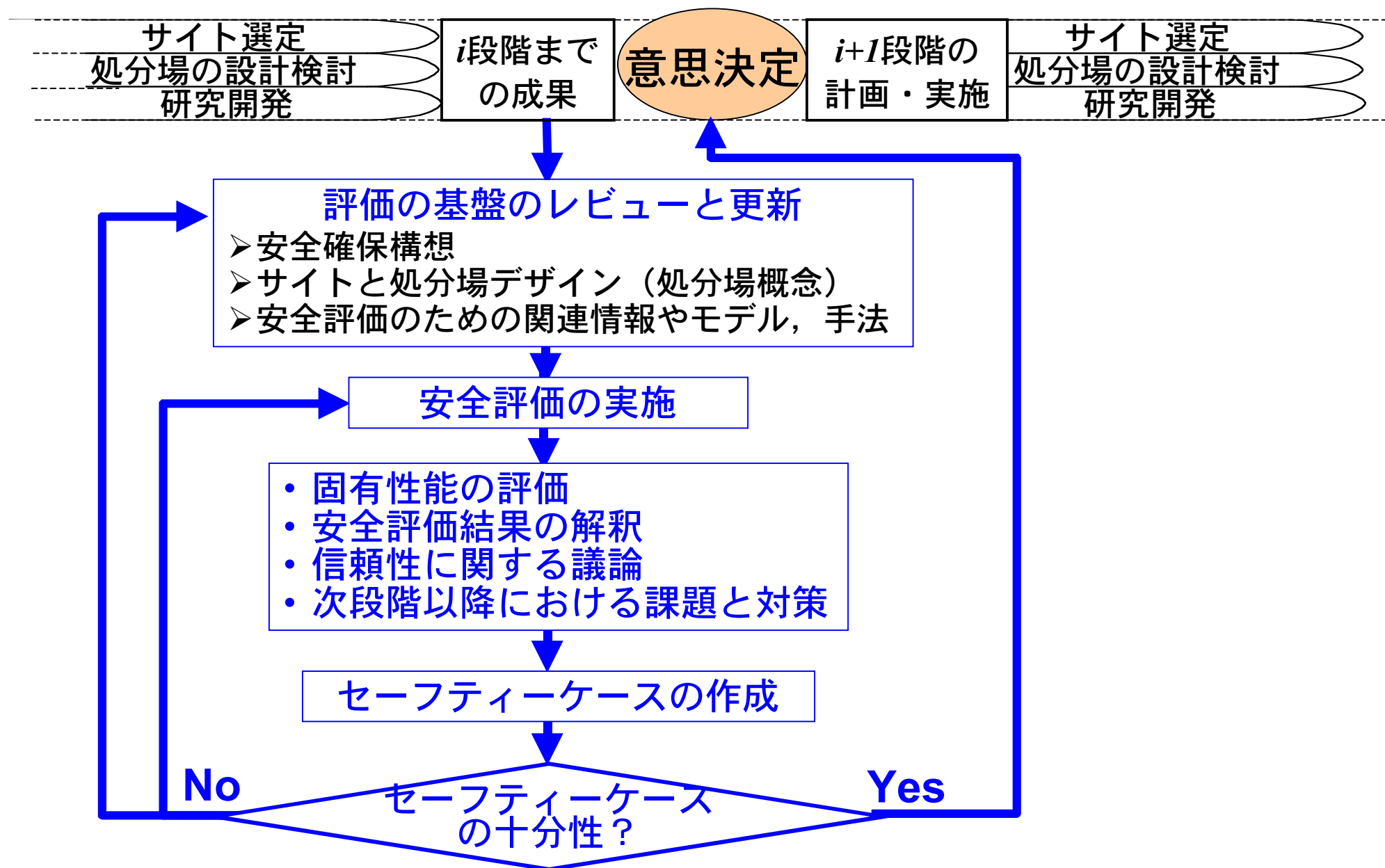
例：評価手法の妥当性，解析の品質管理，安全評価結果の相互比較

- 多面的な議論

例：ナチュラルアナログの適用，補完的安全指標による検討

➡ セーフティーケースとして提示

各段階におけるセーフティーケースの作成



サイト選定

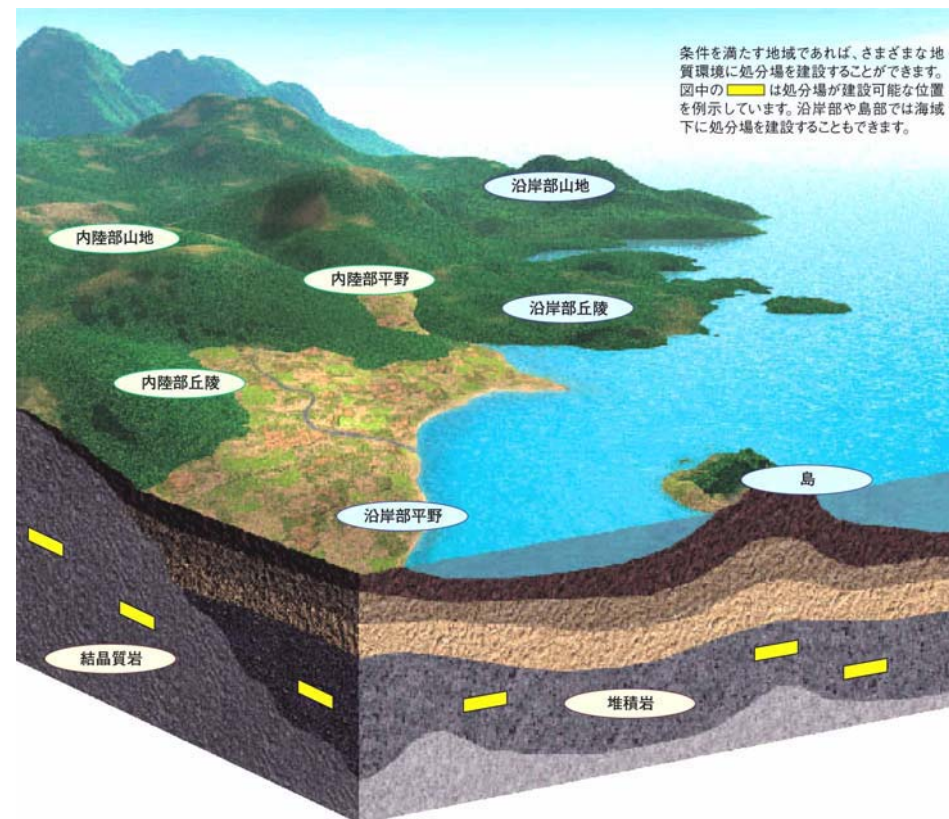
• 地層処分に適した地質環境

- 長期安定性
- 好ましい地質環境特性

• 段階的なプロセスによるサイト選定

- 概要調査地区／精密調査地区／最終処分施設建設地
- 段階的に進める調査によりサイト環境条件に関する情報を蓄積
- サイト環境条件の情報レベルに応じた処分場概念構築によるサイトの適切性の確認
- 処分場の建設に適したサイト環境条件は多様

処分場の建設に適したサイト環境条件



処分場の設計

- **処分場設計の技術基盤** (第2次取りまとめ(サイクル機構, 1999), 事業化報告書(電中研・電事連, 1999))
 - 人工バリア, 地上/地下施設の設計要件と設計手法
 - 幅広い地質環境を対象として概括的に準備
 - 特定のサイト環境条件に対する設計検討の始点

- **設計のロバスト性と柔軟性**
 - 十分な安全裕度をもった設計
 - 多重バリアシステムの冗長性
 - サイト環境条件に応じた設計オプション

人工バリアの設計

人工バリアに期待される機能

ガラス固化体

(ステンレス製キャニスタに充填されたもの)

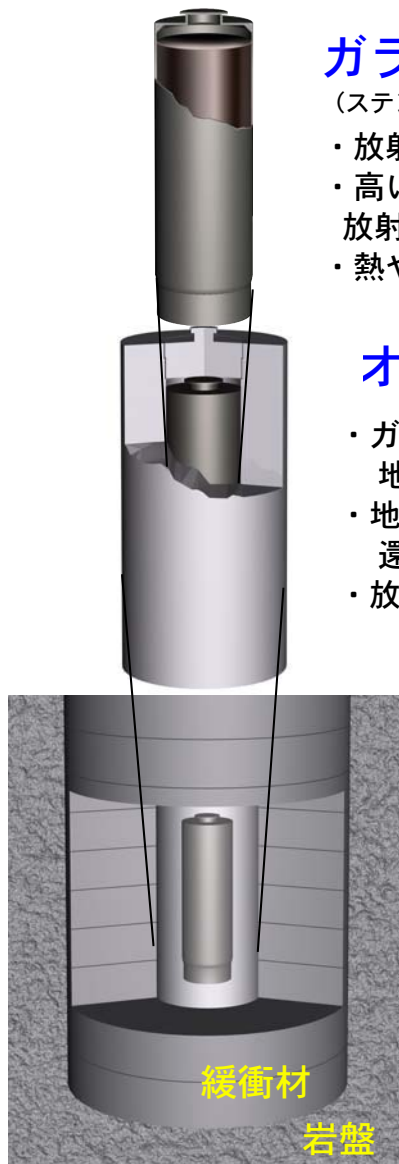
- ・放射性核種を均一かつ安定に固定
- ・高い化学的耐久性により地下水への放射性核種の溶出を抑制
- ・熱や放射線に対する安定性

オーバーパック (金属製の容器)

- ・ガラス固化体の発熱や放射能が高い期間、地下水とガラス固化体の接触を阻止
- ・地下水との反応によりガラス固化体近傍の還元性を維持
- ・放射性核種の腐食生成物への収着

緩衝材 (粘土を主成分)

- ・低透水性 (オーバーパックと地下水の接触抑制)
- ・小さな物質移動速度
- ・放射性核種の移行遅延 (収着)
- ・膨潤性と可塑性
- ・化学的緩衝性
- ・空隙水中での低い溶解度
- ・コロイド, 微生物, 有機物の移動に対するフィルター効果

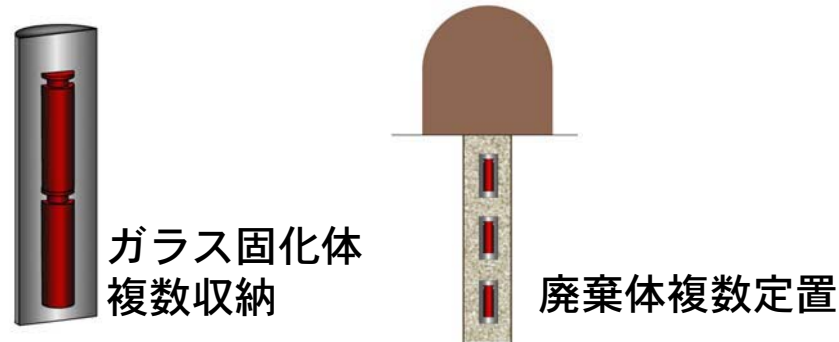


オプションの例

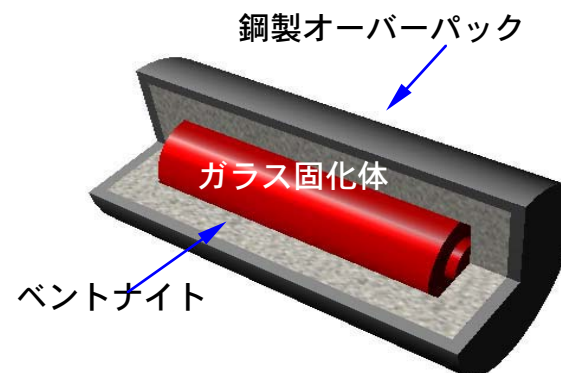
・ オーバーパック材

- 炭素鋼
- 銅-炭素鋼
- チタン-炭素鋼

・ 廃棄体の構成 / 定置



・ モジュール型人工バリア

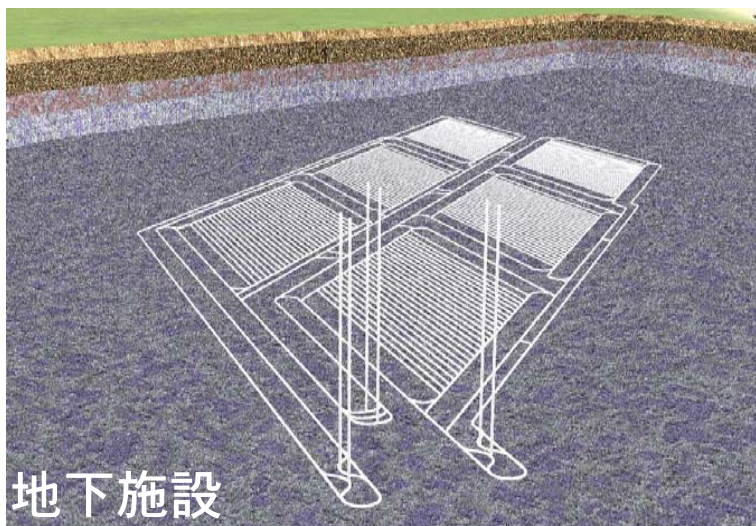
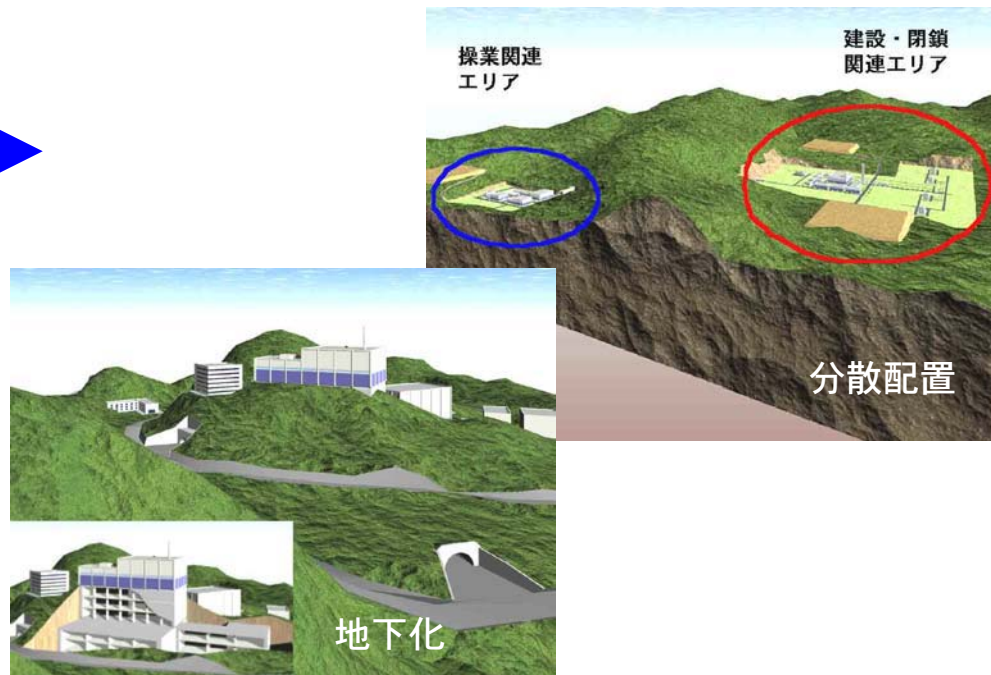


地上施設と地下施設の設計

処分場の基本レイアウト

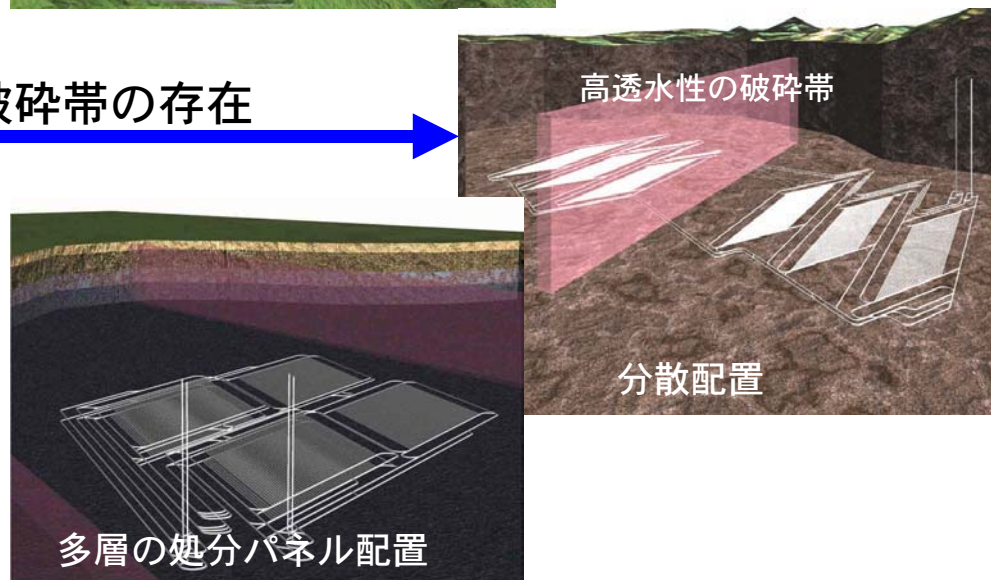


敷地面積に
制約がある
場合



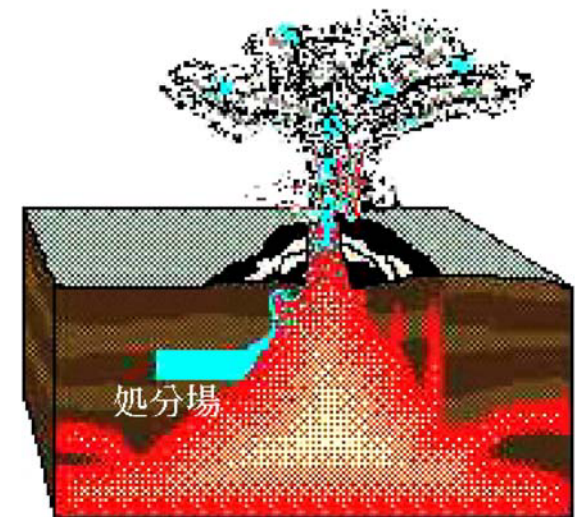
高透水性の破碎帯の存在

平面的な
拡がりが
狭い岩体



固有性能のロバスト性

- 適切な処分地の選定や処分場設計により,
 - 火山活動
 - 地震・断層活動
 - 隆起・侵食などの影響を排除することが基本
- 潜在的な影響について念のため仮想的シナリオとして検討
 - 第2次取りまとめにおける評価例
 - マグマの廃棄物直撃
 - 同時に放出される溶岩中の天然放射性核種の放射能以下
 - 新たな断層の廃棄物直撃
 - 断層中の地下水流量が $0.01 \text{ m}^3/\text{y}$ の場合の評価結果は処分後1,000年, 1万年, 10万年でそれぞれ, 160, 90, 270 $\mu\text{Sv}/\text{y}$

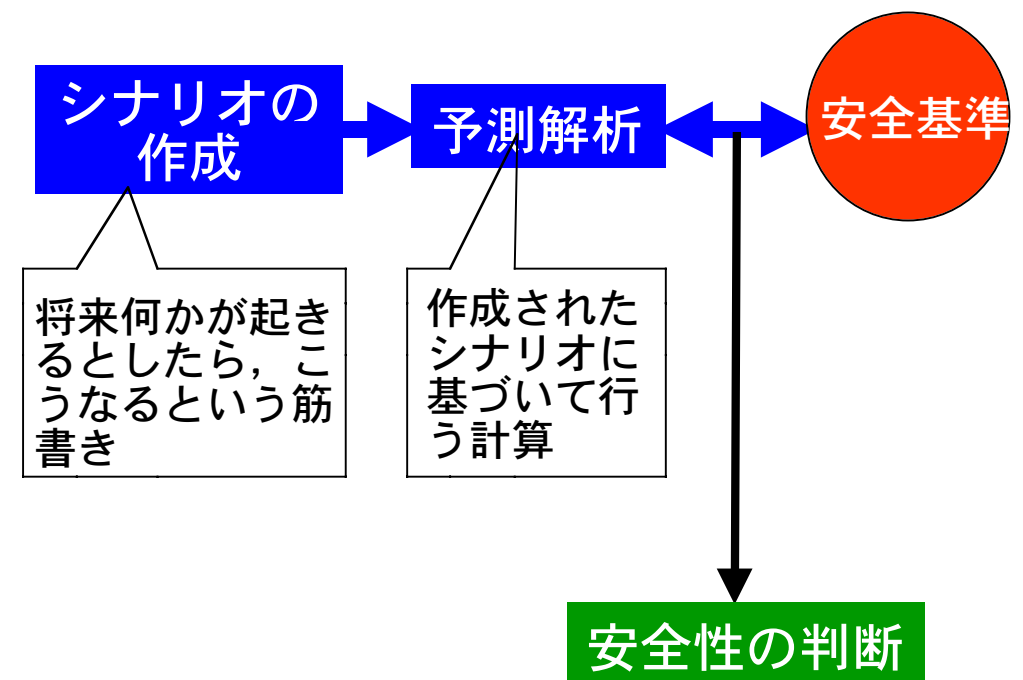


システムの安全評価

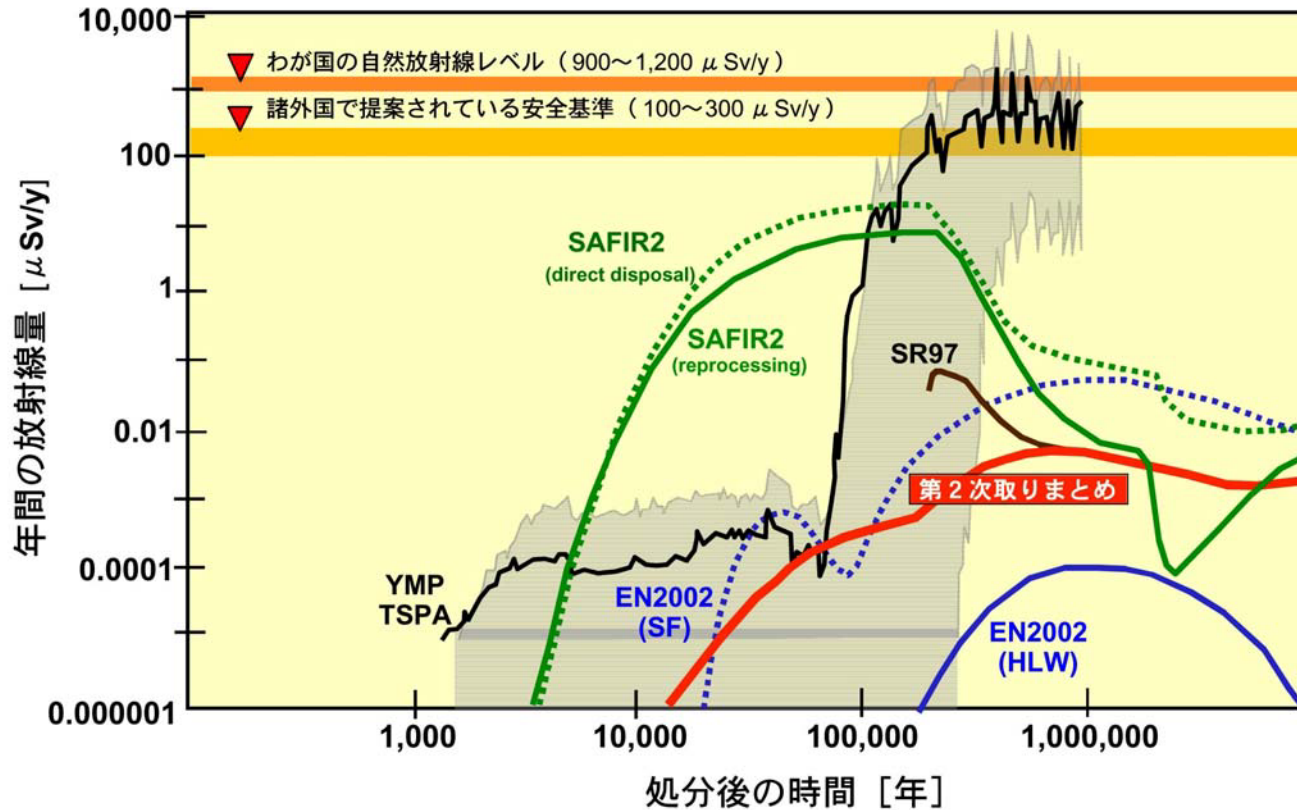
• “予測評価”による安全性の確認

- 通常の工学システムと異なり，対象とする全時間・空間領域にわたって働く安全機能を直接確認することは困難
- シナリオに基づく予測解析
- 長期間の予測に伴う不確実性を考慮

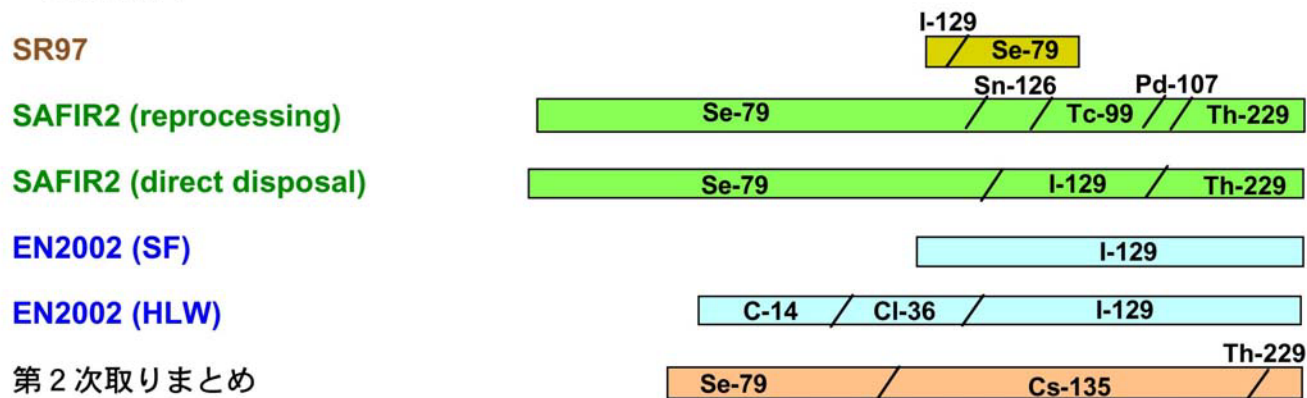
• 信頼性の提示



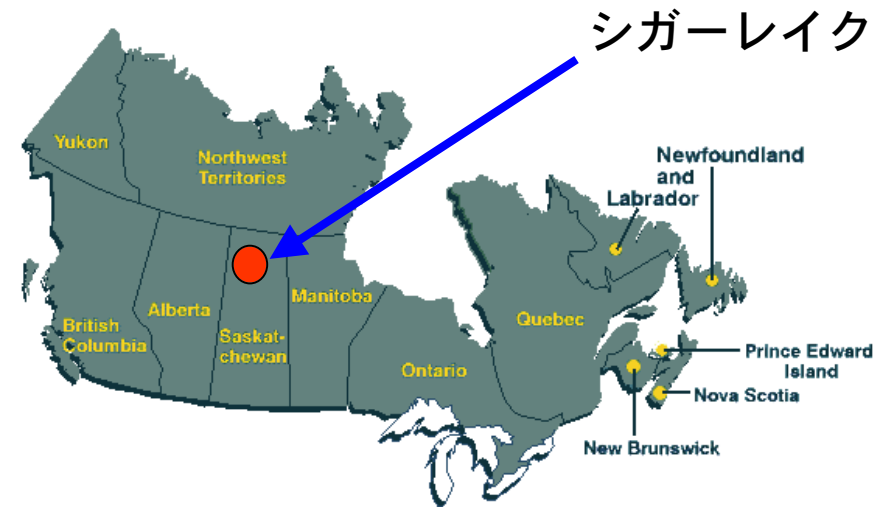
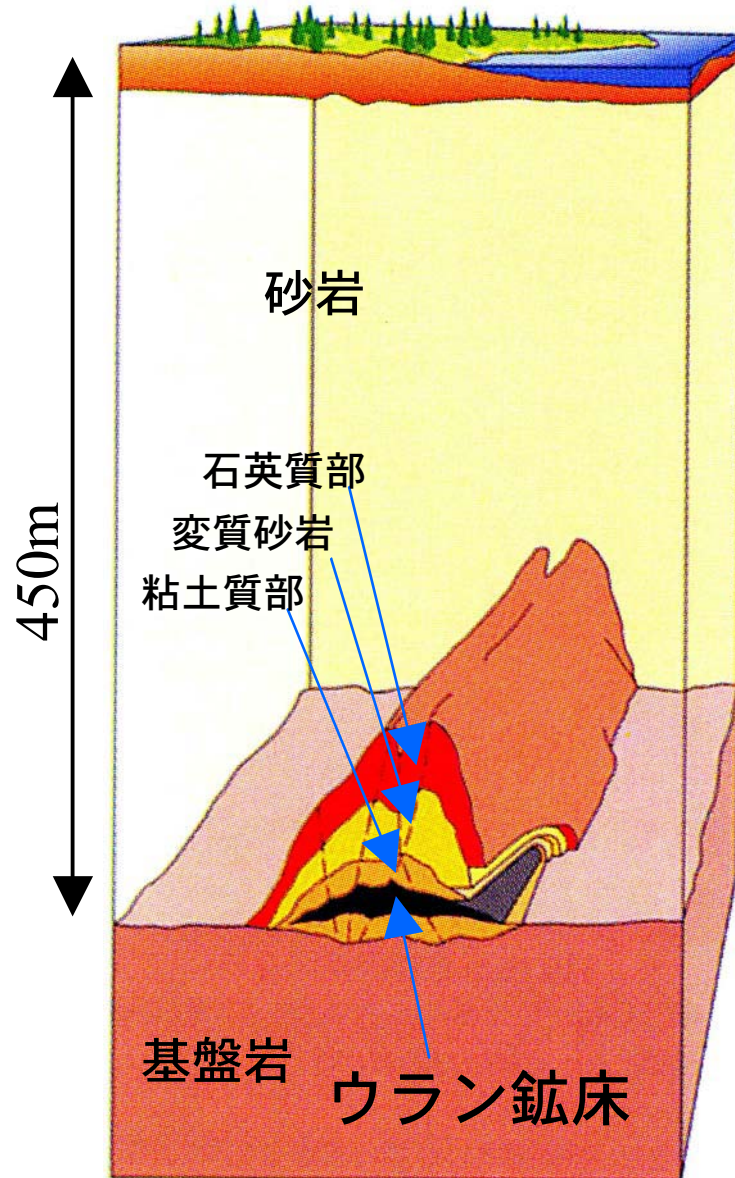
各国の安全評価結果の比較



支配核種



ナチュラルアナログの例



シガーレイクウラン鉱床の概念図
(Nagra (1994) :NTB93-03)

処分事業の実施

- 処分事業の概要

- サイト選定：文献調査／概要調査／精密調査
- 許認可
- 処分場の建設・操業・閉鎖（掘削技術，遠隔操作技術等）

- 事業期間を通じて継続的に実施される諸活動

- 安全対策（作業安全，事故防止など）
- 環境対策（環境防護，付加価値創出の方策）
- モニタリング（作業安全，環境防護，閉鎖前の安全確認に必要なデータ取得）
- 品質保証（サイト調査データ管理，人工バリア品質管理など）

- 廃棄体の回収可能性の準備

- 記録の保存

処分場概念開発の方法論 (1/2)

必要な視点

- 長期的な事業の各段階に対応して段階的に詳細化されるサイト環境の情報を反映
- サイト環境条件に応じた設計とそれに対する性能評価
- 最新の科学技術的な知見の反映
- 処分場概念の種々のオプションを考慮

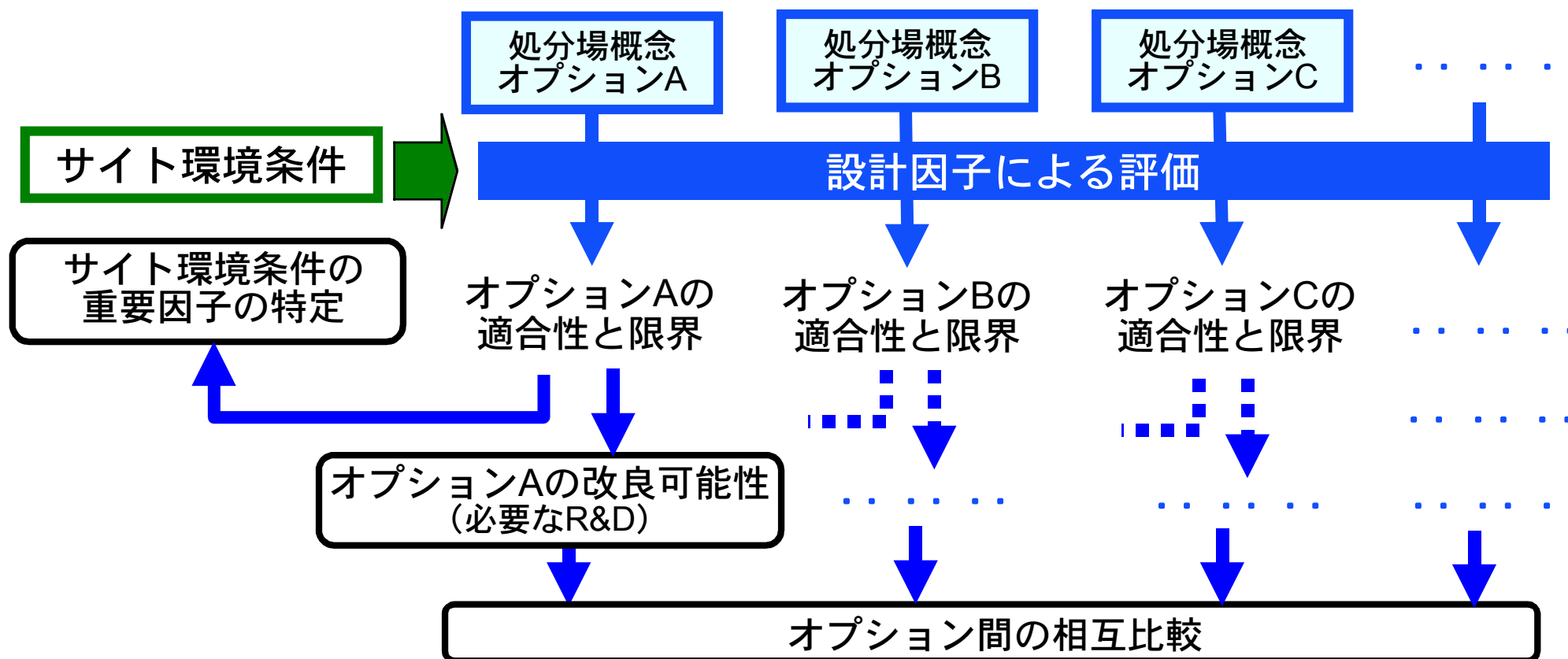
構造化された手法の必要性

- 段階ごとに得られる情報にしたがった反復的試行
- 閉鎖後安全性、環境影響や社会経済的因子など幅広い因子の考慮
- 概念構築プロセスの明確な論理性
- 意思決定の根拠となった情報の体系的な保存

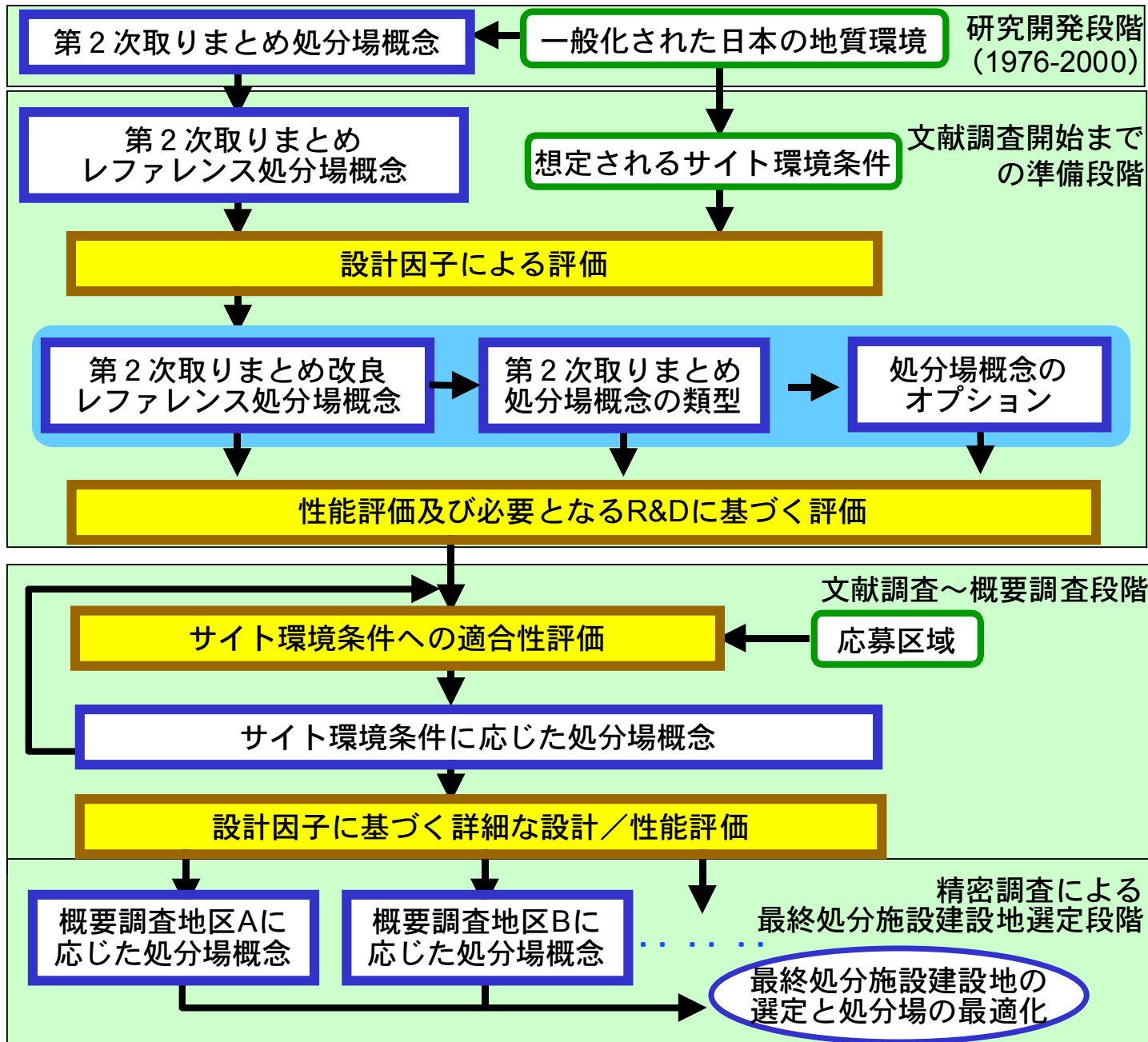
処分場概念開発の方法論 (2/2)

設計因子：構造化のための基軸

- ✓ 閉鎖後安全性
- ✓ 操業安全性
- ✓ 工学的成立性/品質保証
- ✓ 工学的信頼性
- ✓ サイト特性調査とモニタリング
- ✓ 回収可能性
- ✓ 環境影響
- ✓ 社会経済的側面



段階的サイト選定プロセスと処分場概念開発の枠組み



凡 例

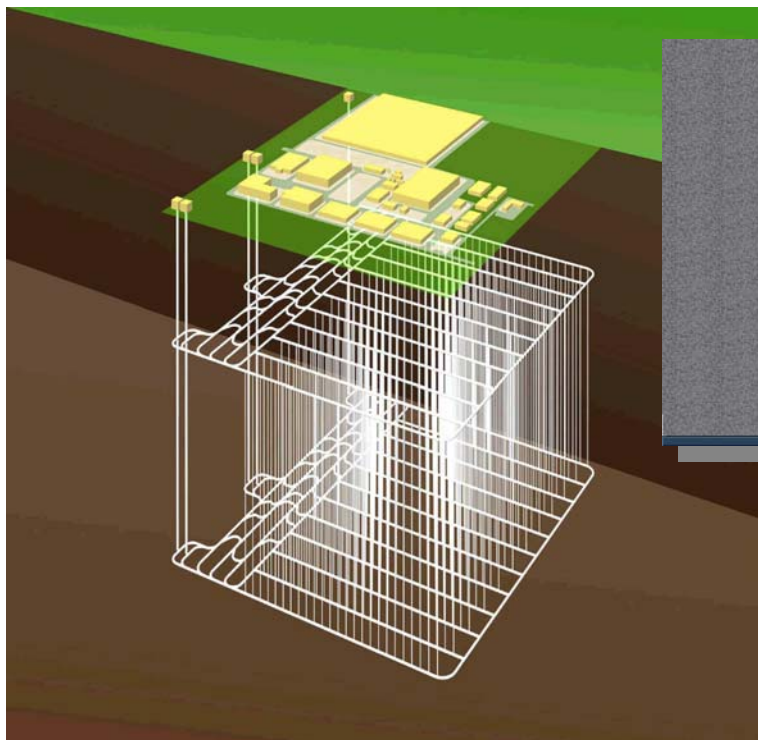
環境条件

処分場概念

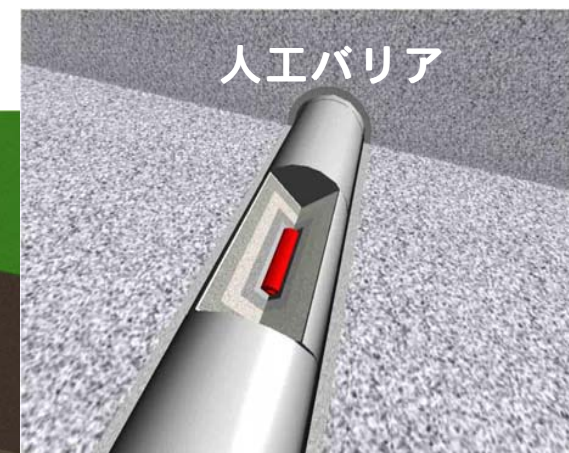
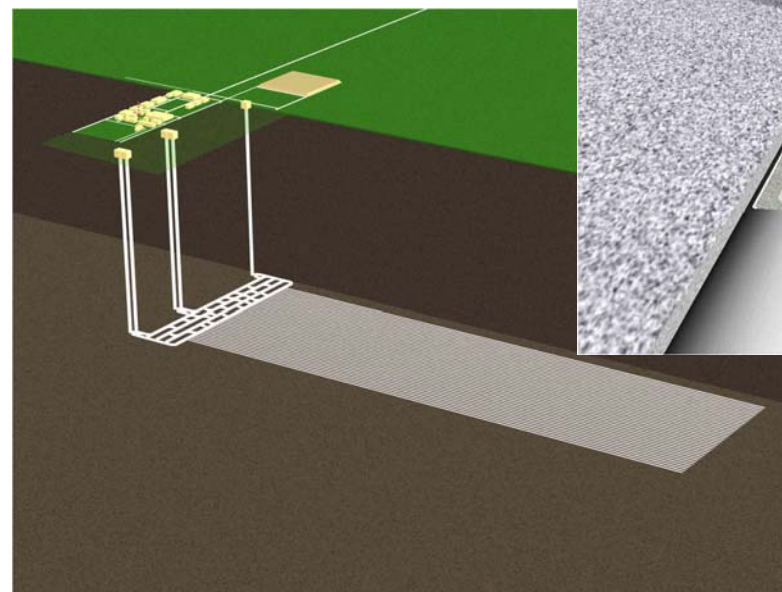
評 価

処分場概念オプションの例

垂直処分孔内縦置き方式



水平処分孔内横置き方式

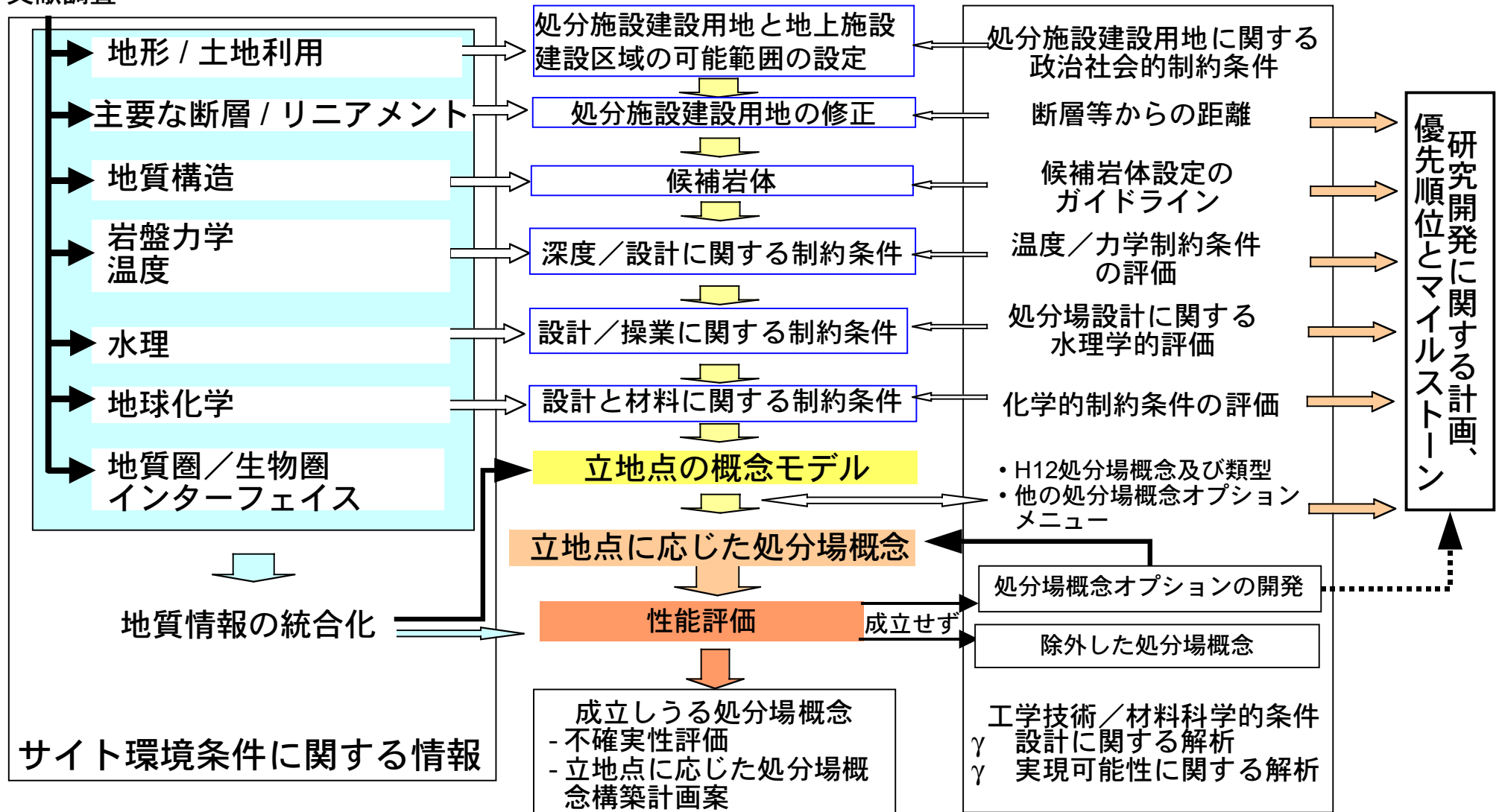


サイト環境条件を反映した処分場概念開発フロー

立地点

「地質的条件」に関する事前確認

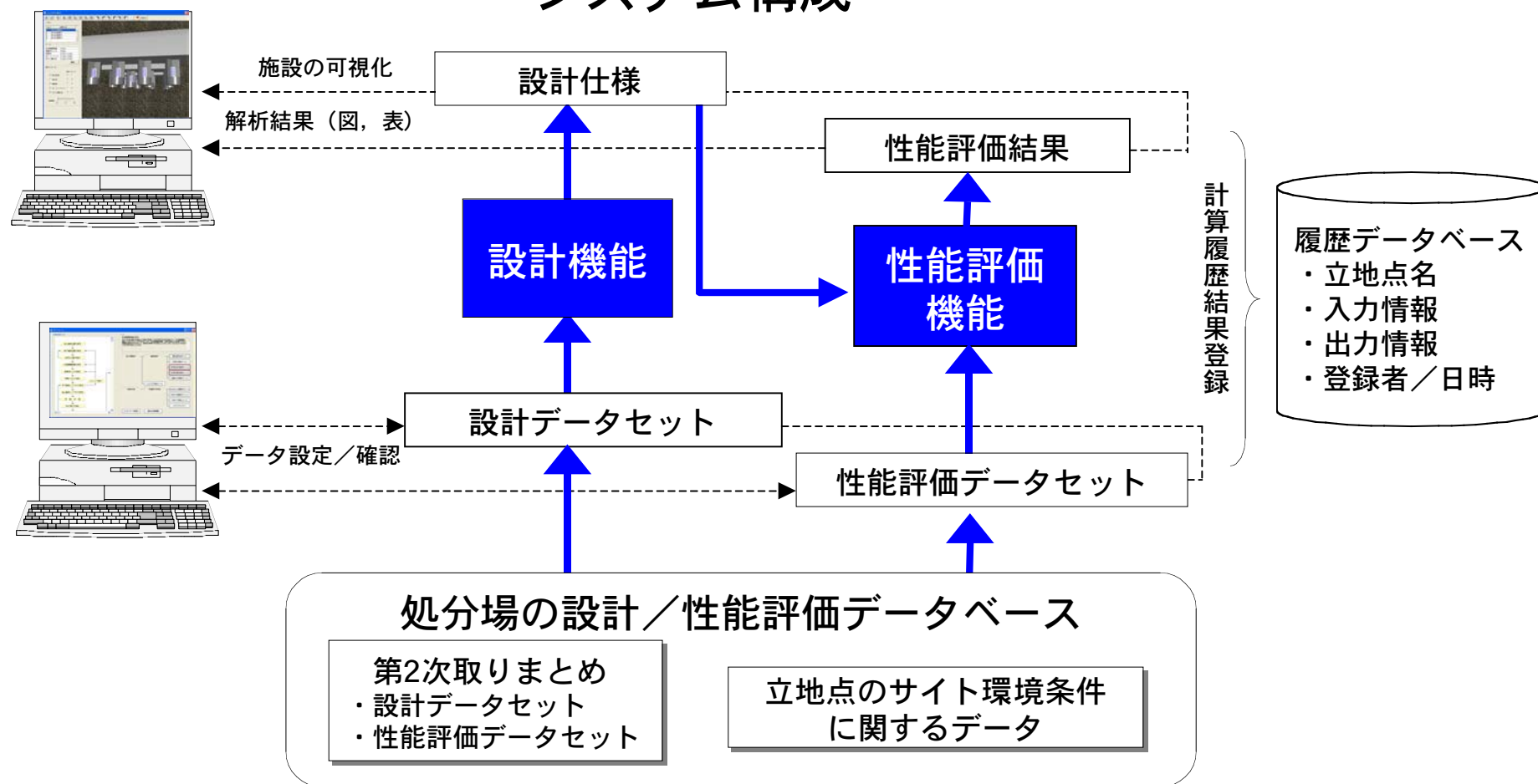
文献調査



処分場概念構築システムの開発

- ・ サイト環境条件に関する情報を用いた概略的な処分場の設計と安全評価を実施するための解析システム

システム構成



まとめ

- 与えられたサイト環境条件に対する処分場概念構築のための方法論の開発
 - 処分事業の進展に応じたサイト環境情報の適切な反映
 - サイト環境情報に応じた適切な設計による安全機能（固有の性能）を合理的に反映した性能評価
 - 最新の科学技術的な知見の設計や性能評価への適切な反映
 - 種々のオプションの考慮
- 技術開発計画の管理機能
 - 設計や性能評価の試行による重点的技術開発課題の抽出
 - サイト調査の最適化のための情報提供
- 計算機支援の処分場概念構築システムの開発
 - 効率性，適切な品質管理