

技術開発成果等の報告 (3) 処分技術・性能評価手法の開発

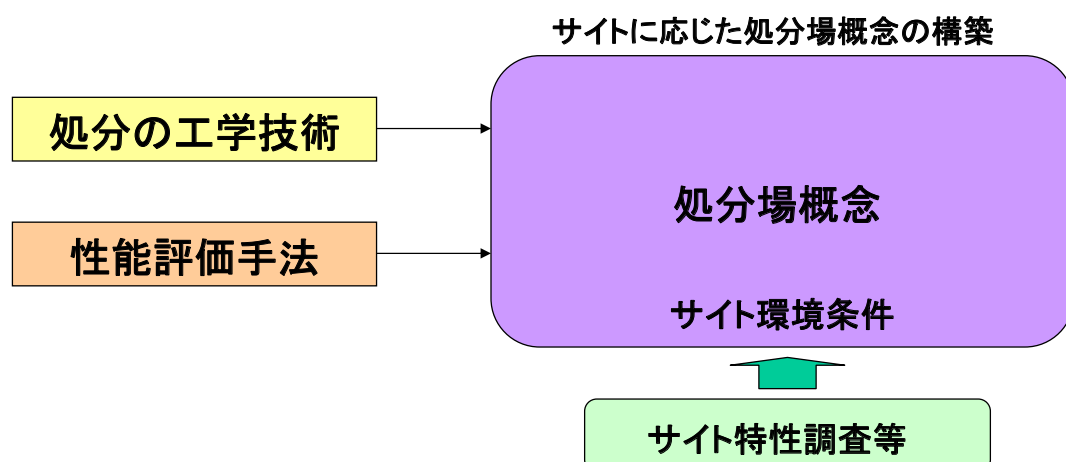
NUMO技術開発成果報告会

2008年1月17日

原子力発電環境整備機構 (NUMO)
処分技術・性能評価グループ
植田 浩義

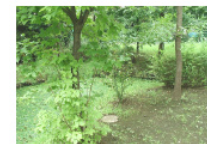
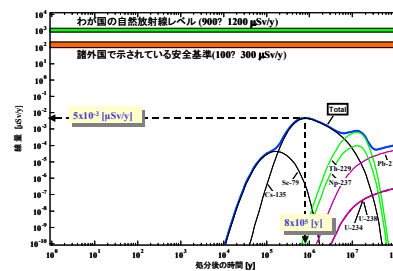
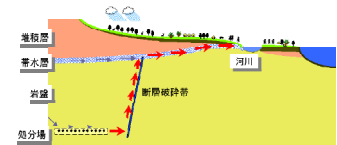
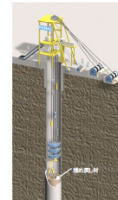
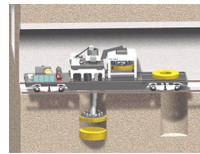
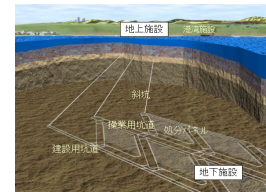
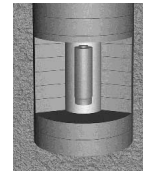
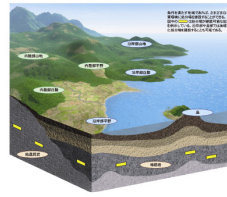
技術開発の目的: 処分場概念の構築

- この分野における技術開発の当面の目的は、処分場概念を構築するための方法論を整備することにある。
- 処分場概念という考え方を導入することにより、処分の工学技術と性能評価手法という2分野にまたがるテーマも包括的に検討することができる。



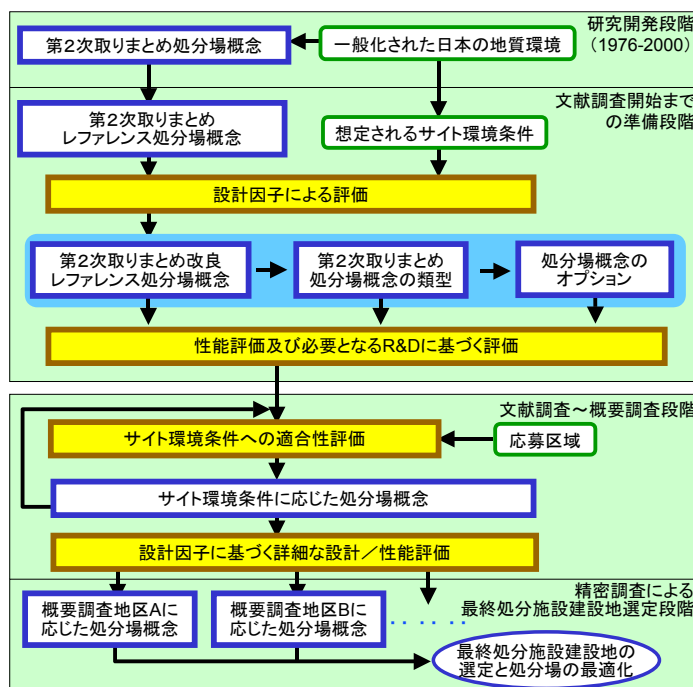
処分場概念とは？

- 処分施設とその立地点におけるサイト環境条件を合わせた、処分場についての包括的な概念。
- 処分施設の設計仕様やレイアウト、建設・操業・閉鎖やモニタリングの方法、操業時の安全対策及び閉鎖後の長期安全性、環境影響や社会経済的側面等に関する概念を含む。
- 処分場概念は、段階的に詳細化されるサイト環境条件の情報を反映して処分場の設計や性能評価を繰り返し試行することにより、最終処分施設建設地に建設されることになる処分場として最適なものとされる。



3

処分場概念構築の枠組み



文献調査開始までの準備段階として、レファレンスとしての第2次取りまとめ処分場概念に関し、想定される種々のサイト環境条件に対する成立性について概略の評価を行う。

具体的にサイトが特定される段階では、文献調査、概要調査、精密調査に応じて段階的に詳細化されるサイトの情報を反映しながら、サイト環境条件に応じた処分場概念を明らかにする作業が繰り返し進められる。この過程でも、処分場の設計や性能評価が試行されることにより、重点的に進めるべき技術開発内容を明らかにするとともにサイト調査の最適化が図られる。このような進め方は技術開発計画全体を管理する観点からも有効なものとなる。

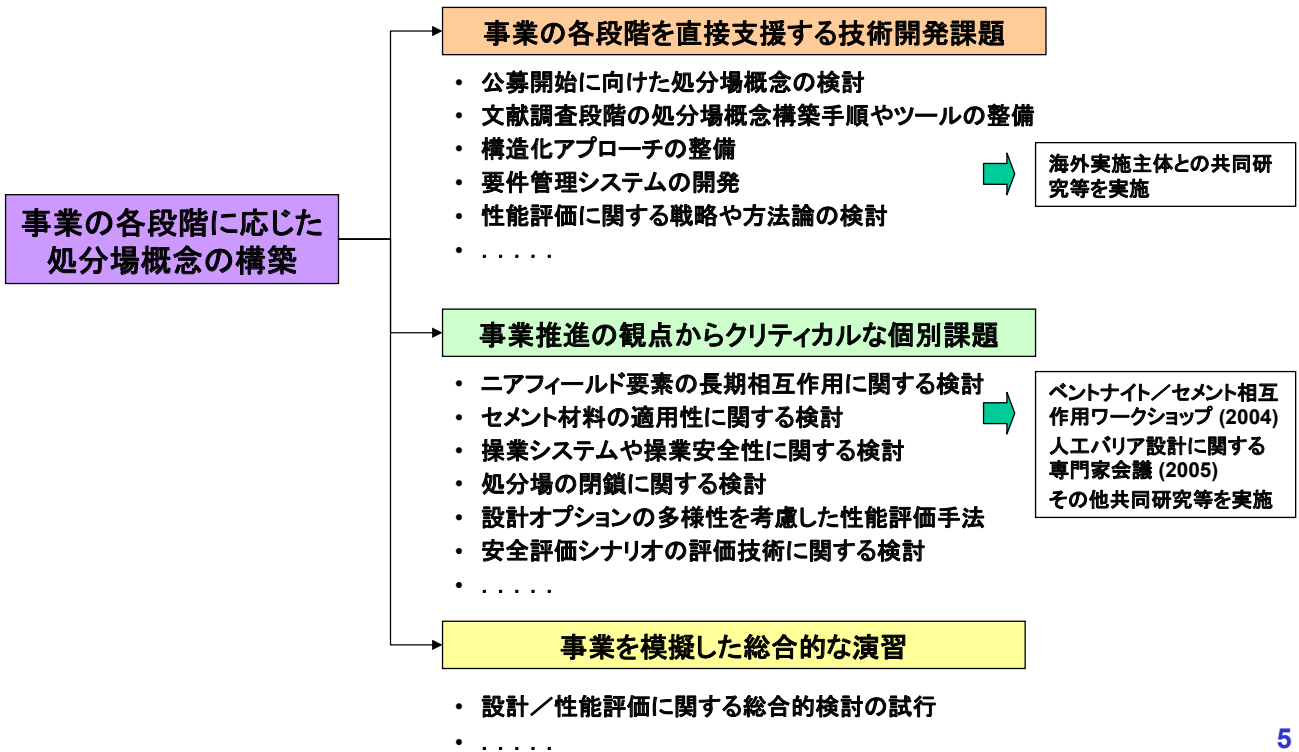
凡 例

環境条件

処分場概念

評 価

4

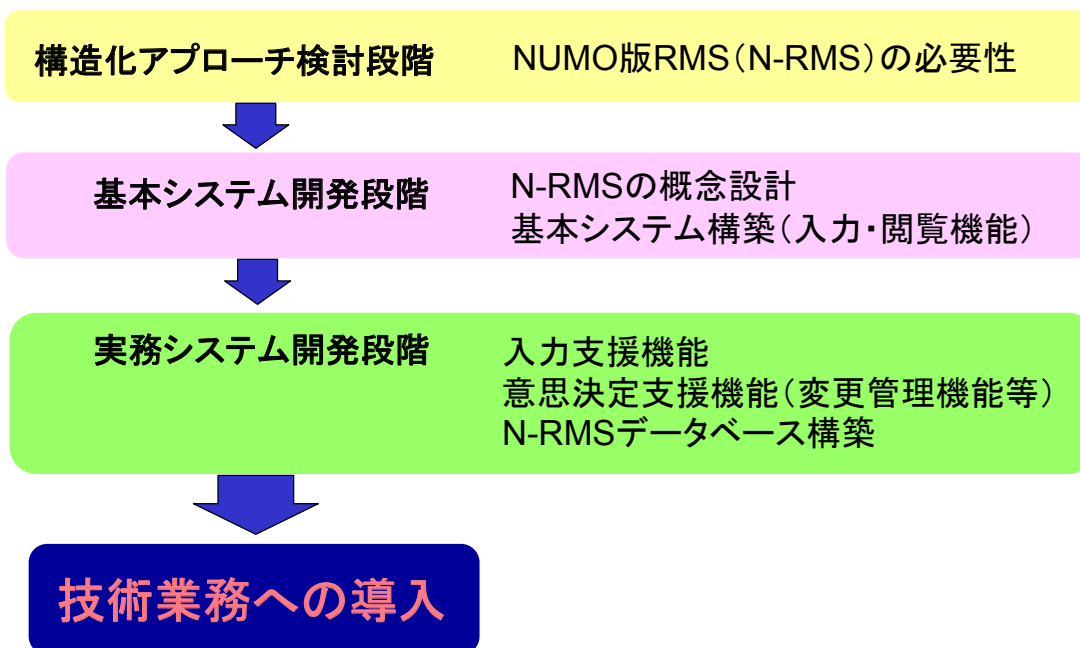


技術開発成果の例：要件管理システムの開発 (1/5)

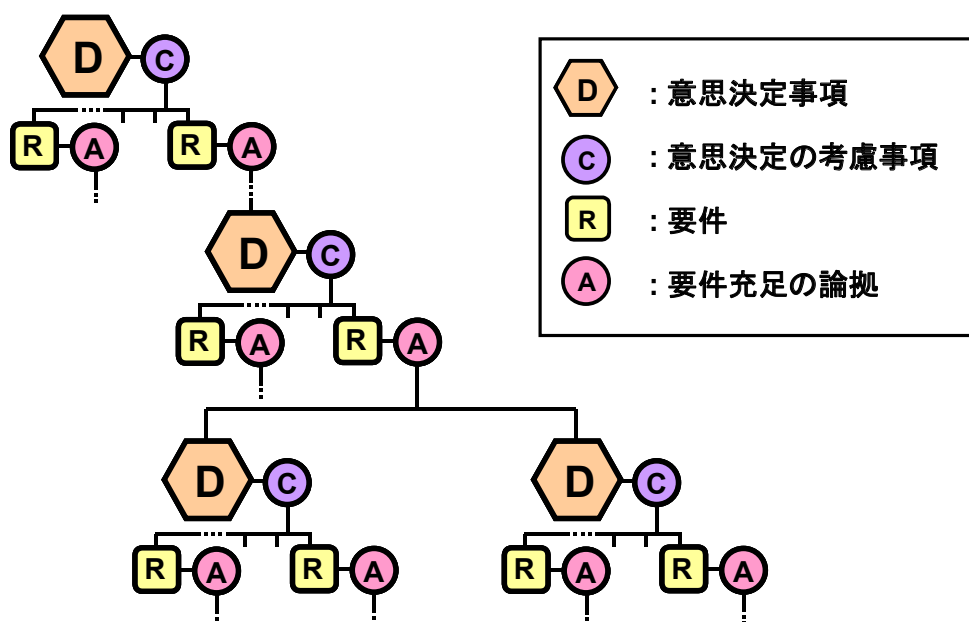
背景・目的

- NUMOは、段階的なサイト選定の進展に応じた処分場概念構築及び処分事業推進のための管理手法が重要と考え、事業における要件や意思決定に注目した事業管理手法として、構造化アプローチ (NUMO Structured Approach: NSA) の整備・実践に取り組んでいる。
- 本件では、構造化アプローチを効率的に実践するための計算機支援システムとして、要件管理システム (Requirements Management System: RMS) を開発する。RMSは、処分場概念等に関わる各要件やその関連情報を構造化し、データベースとして管理することを基本的な役割とする。さらに、意思決定支援機能等を備えることで、機構の技術業務全体を支援する。
- RMSの開発により次の効果が期待される。
 - 事業に関わる意思決定とその要件の効率的な情報管理
 - 事業に関わる意思決定の経緯の追跡性と透明性の確保
 - 意思決定事項や要件に変更があった場合、影響範囲の把握と検討すべき課題の効率的な抽出

要件管理システム(RMS)の開発段階

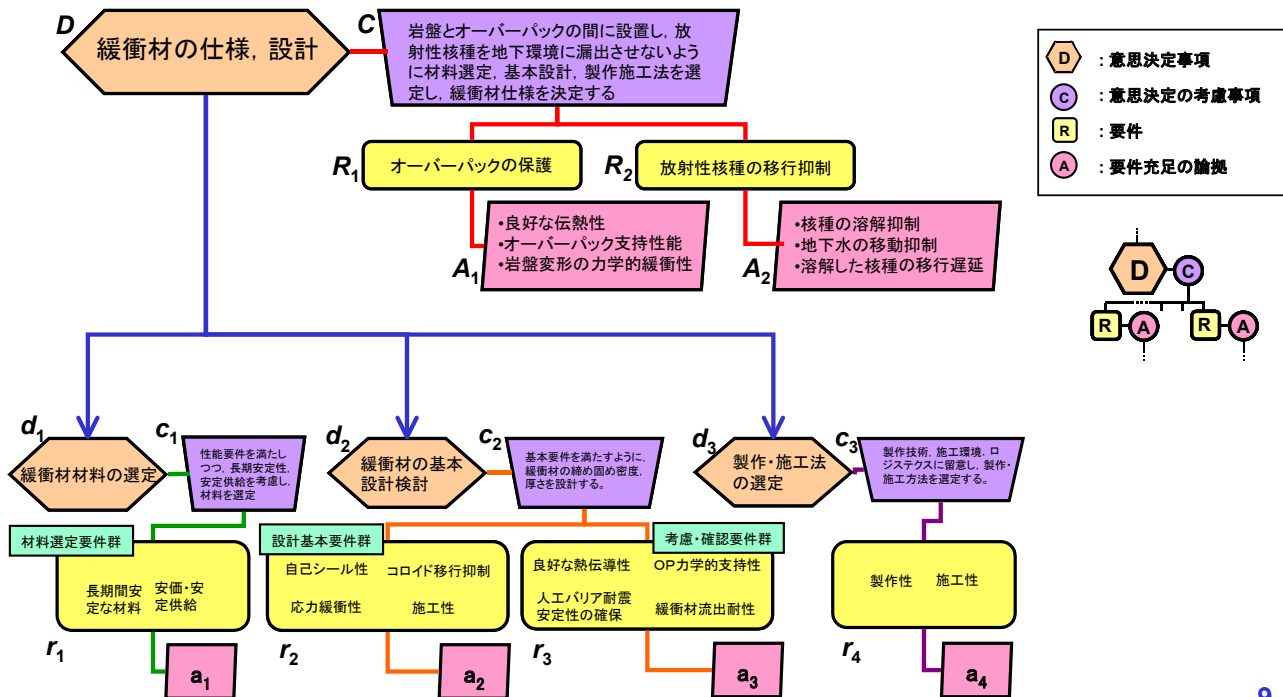


「意思決定事項」と「要件」の管理構造モデル



技術開発成果の例：要件管理システムの開発 (4/5)

「意思決定事項」と「要件」の対応関係（例：緩衝材の設計）

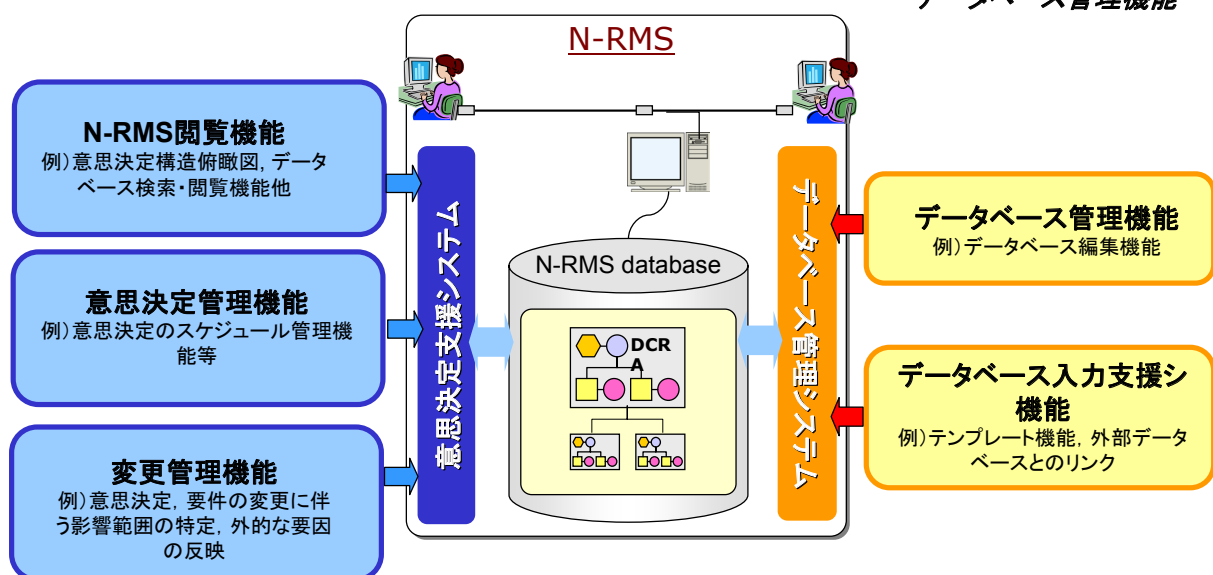


9

技術開発成果の例：要件管理システムの開発 (5/5)

意思決定支援機能

データベース管理機能



10

技術開発成果の例:

設計オプションの多様性を考慮した性能評価手法の検討 (1/5)

背景

- 段階的に進められる地層処分事業では、さまざまな不確実性や制約条件への対応に配慮して、複数の設計オプション(パネル/坑道配置方法、廃棄体定置方式等)を検討
- 設計オプションを適切に絞り込むためには、設計オプション間の相違を、安全性、経済性など、様々な観点から評価することが必要
- ここで、性能評価の観点から設計オプション間の差異を評価する場合、既存の一次元モデルでは、人工バリアや地下施設の三次元的形状及び周囲の岩盤の不均質性が保守的に単純化されるため、定量的な差別化が困難な状況であった。



目的

- 人工バリアや処分場施設の形状や周囲の岩盤の不均質性を考慮することができるツールを開発し、設計オプションの違いを性能評価の観点で評価するための技術基盤を整備する。

11

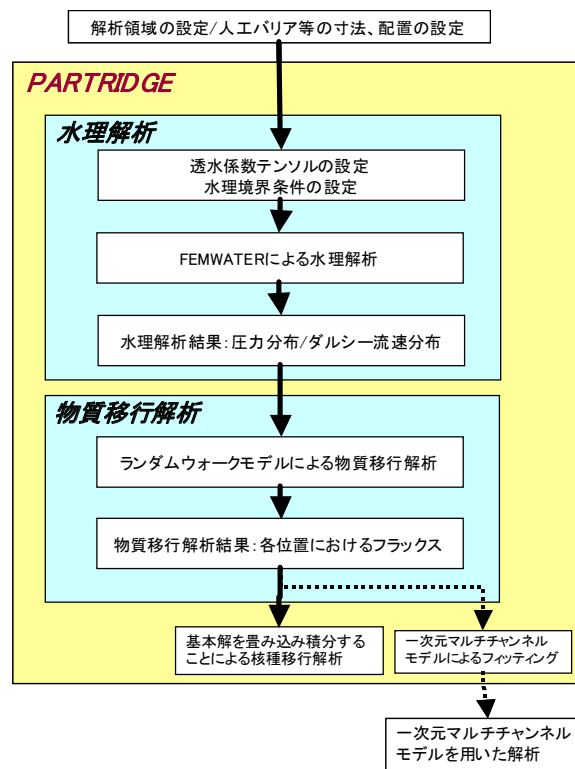
技術開発成果の例:

設計オプションの多様性を考慮した性能評価手法の検討 (2/5)

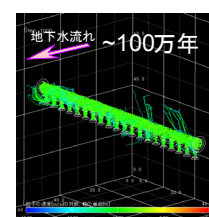
- 3次元不均質場における地下水流動と物質移動を解析するためのコードとして、PARTRIDGEを開発

- 解析では、以下の構造を考慮することが可能

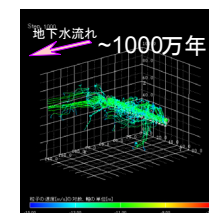
- ✓ 大規模な破碎帯などのように決定論的に表現される高透水路
- ✓ 統計的に表現される多数の亀裂を含む複雑な不均質性を呈する岩盤
- ✓ 坑道や人工バリアといった複雑な構造物



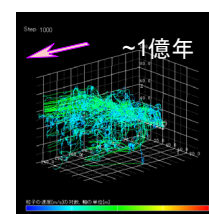
3次元核種移行解析における粒子軌跡の経時変化(Cs-135に関する例)



透水性の特に高い亀裂に沿って岩盤中を移行



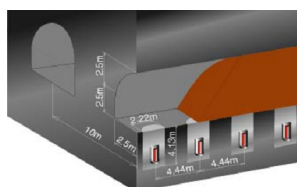
大規模かつ高透水性の亀裂に進入した粒子は下流端まで流下



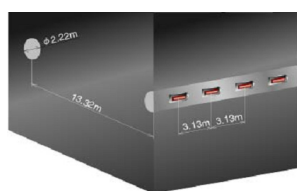
平均的な透水性の亀裂内を移行する粒子が下流端に到る

12

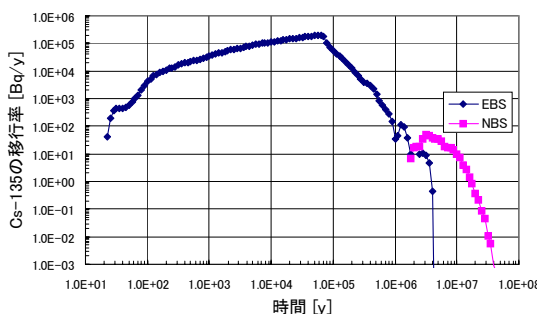
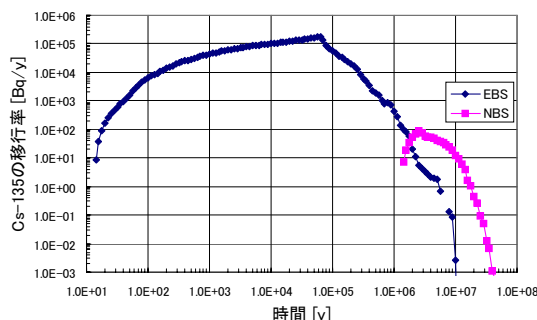
技術開発成果の例： 設計オプションの多様性を考慮した性能評価手法の検討 (3/5)



処分孔縦置き方式



処分坑道横置き方式



廃棄体定置方式の違いの影響

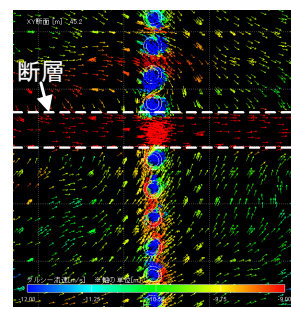
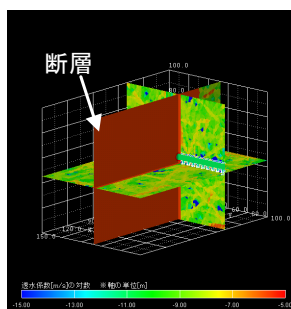
- 第2次取りまとめでは岩盤が低透水性であるために、核種は、まず、緩衝材中に一様に拡散して一定の濃度(C_{max})となり、その後岩盤に移行するため、EBSからの移行率は C_{max} によって規定される。
- 縦置きの場合、上部坑道の体積が大きいことから、 C_{max} が横置きよりも小さくなり、EBSからの移行率が顕著に低減されることが想定されるが、算出された核種移行率に顕著な差異はなかった(左図は廃棄体ごとの移行率)。
- ✓ 縦置きの場合に上部坑道に核種が移行するには時間遅れがあるために、 C_{max} は処分孔内の緩衝材体積によって規定される。

13

技術開発成果の例： 設計オプションの多様性を考慮した性能評価手法の検討 (4/5)

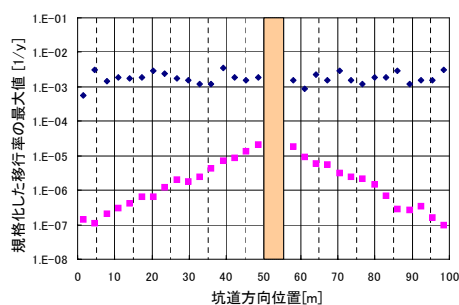
プラグによる止水効果の影響

- 坑道と直交する流動方向の透水性断層(健全部の平均透水係数×100)を想定
- 廃棄体は坑道と断層の交差部以外の部分に配置
- 各廃棄体周辺を通過する地下水は断層によって集水される傾向を示す

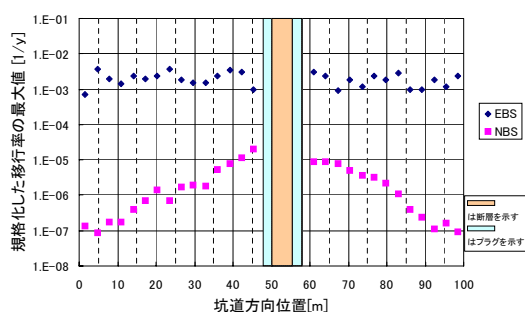


断層を想定したケースの透水係数場(左)およびダルシー流速分布(右)

EBSおよび母岩からの移行率の比較 (各点は廃棄体ごとの移行率の最大値を示す)



断層のみ(プラグなし)のケース



断層と坑道の交差部にプラグを設置したケース

14

技術開発成果の例： 設計オプションの多様性を考慮した性能評価手法の検討 (5/5)

まとめ

- 各設計オプション間の性能の差異について定量的に検討することが可能なコード PARTRIDGEを開発し、第2次取りまとめで設定された地質環境条件の下、設計オプションの違いに起因するバリア性能の差異について検討した。
 - ✓ 第2次取りまとめの条件においては、廃棄体定置方式について、顕著な性能の違いは見られなかった。
 - ✓ 断層に対するプラグの効果は限定的であるため、性能評価の観点からは、断層から一定の距離を確保して定置した方が効果的である。
- 3次元的な核種の移行挙動を把握することにより、性能評価から設計にフィードバックする基礎情報が得られ、設計オプションの検討につなげることができる。

今後の課題

- ここでの検討結果は、地質環境条件やそれに応じた設計仕様によって変動しうる可能性があるため、今後具体的なサイトが明らかになれば、サイトスペシフィックなモデルによる再検討が必要
- 適切な設計オプションを選択すべく性能評価と設計のリンケージを図り、設計の要件と性能評価の要件の間の適切なバランスをとりつつ、合理的な処分場概念の構築を進めていく

15

技術開発成果の例：設計・性能評価の試行 (1/4)

➤ 背景

- これまでは“サイトを特定しないSite-genericな検討”が主であり、事業進展の観点からは十分とは言えない面があった。
- 現状の機構内の調査計画は概ねサイトの地質の長期安定性把握を主な目的としているため、設計、性能評価の観点から調査に求める要件を抽出する必要がある。

➤ 検討の目的

- 実際の地質環境条件を参考に作成した仮想的サイト条件を基にSite-specificな設計、性能評価を各調査段階について試行し、各段階のデータセット及び解析・検討の具体的な内容を把握する。
- 設計、性能評価の観点からの調査への要件を抽出する。

➤ 検討の概要

- 実際の地質環境条件を参考に仮想サイト条件を構築
文献、概要、精密の各調査段階の仮想データセットを情報の一貫性に留意して構築
- 仮想データセットを用いた設計・性能評価の試行
処分孔縦置き定置方式で検討。各調査段階で・空洞安定性・地下水流動・核種移行等を評価。処分パネル設置位置の検討。既往検討より処分パネル数6で検討。人工バリアは「第2次とりまとめ」のレファレンスと同じ。

16

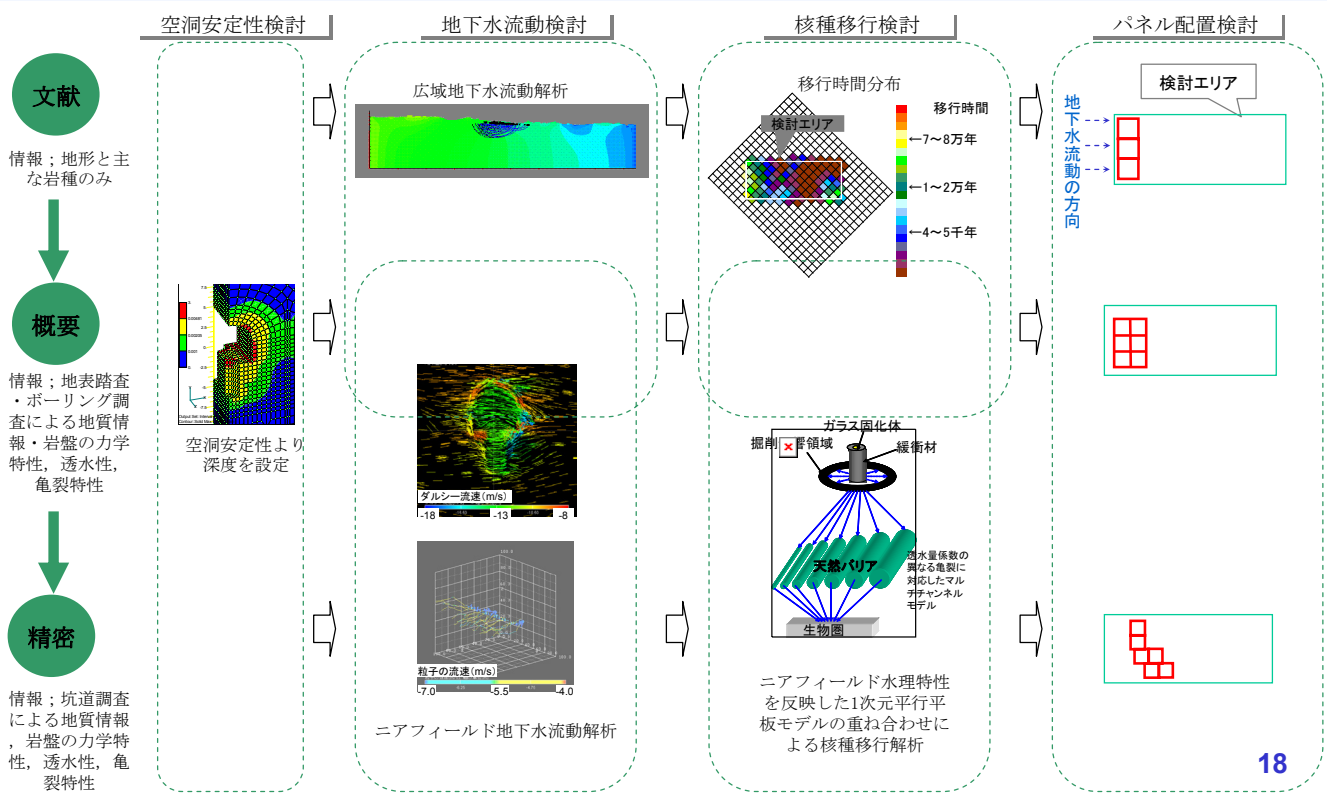
技術開発成果の例：設計・性能評価の試行 (2/4)

調査段階別の調査内容、データ内容

段階	調査内容	主なデータ内容
文献調査	5万分の1, 20万分の1の地質図 - 地質図記載の岩種に関する一般的知見	- 地質; 3種類の岩種。検討エリア左1/3付近をほぼ鉛直の推定断層が横断。 - 地圧; 側圧比$K=164/\text{深度(m)}+0.74$ - 力学特性; CH級平均。$c=2.7\text{MPa}$, $\phi=50^\circ$, 弾性係数$E=5.9\text{GPa}$ - 透水性; 100m以深岩盤$5\text{E}-8\text{m/s}$(先新第三系堆積岩対数平均の1/10), 断層$1\text{E}-6\text{m/s}$(断層破碎帯の平均値)
概要調査	- 地表踏査, 物理探査 - ボーリング, BHTV, コア観察 - 孔内試験 - 一軸圧縮試験	- 地質; 4層に区分。推定断層を否定。 - 地圧; $K=0.61$(孔内調査水平2次元; スリープフラクチャリング法) - 力学特性; CH級平均。一軸試験のみのため強度は文献調査段階と同じ。$E=14\text{GPa}$(コア状況から設定) - 透水性; 200m以深岩盤$1\text{E}-8\text{m/s}$(ルジオン試験測定下限) - 亀裂特性; 1.1本/m, 顕著な異方性無し(BHTV)
精密調査	- 調査坑道 - 原位置岩盤力学試験 - 高精度透水試験	- 地質; 4層のうち1層を3細分。 - 地圧; $K=0.51$(坑内調査3次元; 応力解放法) - 力学特性; 4層のCH級。夫々($c[\text{MPa}]$, $\phi[^\circ]$)=(1.9, 40), (2.7, 50), (2.7, 50), (3.4, 57), $E[\text{GPa}]=10, 14, 14, 19$(平板載荷試験結果等) - 透水性; 岩盤$1\text{E}-9\text{m/s}$(調査坑道での高精度透水試験) - 亀裂特性; 0.6本/m, 顕著な異方性無し(調査坑道)

17

技術開発成果の例：設計・性能評価の試行 (3/4)



18

得られた知見と調査への提言

- 各調査段階におけるデータセット内容とそれに応じた解析手法、検討プロセスを把握できた。その結果、設計・性能評価とサイト特性調査の相互関係が、具体的な情報の流れに基づいて理解された。
- ニアフィールドの詳細な地下水流動・核種移行解析により、処分パネル設置位置の性能が上回る可能性が抽出された。
- 設計・性能評価に与える影響が大きい下記について、出来るだけ早い段階で詳細情報を得る調査計画の必要性和、検討手法の整備(括弧内)が認識された。
 - ニアフィールド詳細解析に必要な亀裂情報(広域透水性との関係の把握)
 - 設置可能深度に影響する地圧(調査法による違いの把握)

今後の課題

- 沿岸部の特徴を反映した仮想的サイト条件を用いた検討
 - 海水準変動による塩淡水境界移動を考慮した地下水流動(密度流含む)・核種移行解析
 - 海水系地下水条件が人工バリア・建設・操業機器・材料に与える影響
 - 沿岸部地形特徴が建設・操業計画に与える影響 etc

19

処分技術・性能評価手法の開発 まとめ

- 事業の各段階に応じた処分場概念の構築を当面の目的として、技術開発を展開している。工学技術と性能評価の2分野に横断的な課題についても、処分場概念の考え方により包括的に検討して来た。
- 文献調査段階のための技術開発は完了し、次の概要調査段階あるいは長期に向けた課題の検討を開始している。
- 次段階に向けて、処分場概念の構築とサイト特性調査との相互関係についての理解を具体的に深めつつある。
- 課題に応じて、共同研究、国際ワークショップ、有識者による委員会等を利用
- 各成果は、NUMO技術成果報告書、国内学会あるいは国際会議に公開して来たが、今後は、NUMO技術成果報告書への取りまとめをより積極的に進める。

20