

地層処分事業と研究開発

国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
地層処分技術に関する研究開発報告会
— 第2次取りまとめ以降の研究開発の進展と今後の展開 —
平成27年7月14日、於コクヨホール

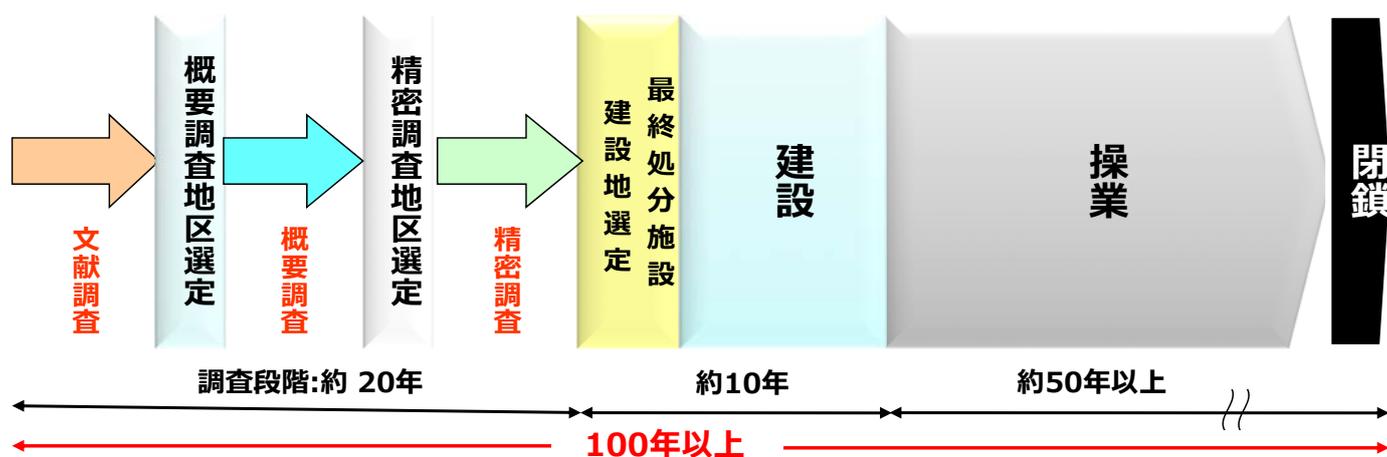
梅木 博之
原子力発電環境整備機構 (NUMO)

内 容

1. 日本における地層処分事業
2. 研究開発の展開
3. 地層処分計画の再構築
4. 今後に向けて

1. 日本における地層処分事業
2. 研究開発の展開
3. 地層処分計画の再構築
4. 今後に向けて

最終処分法に定められた処分場開発計画

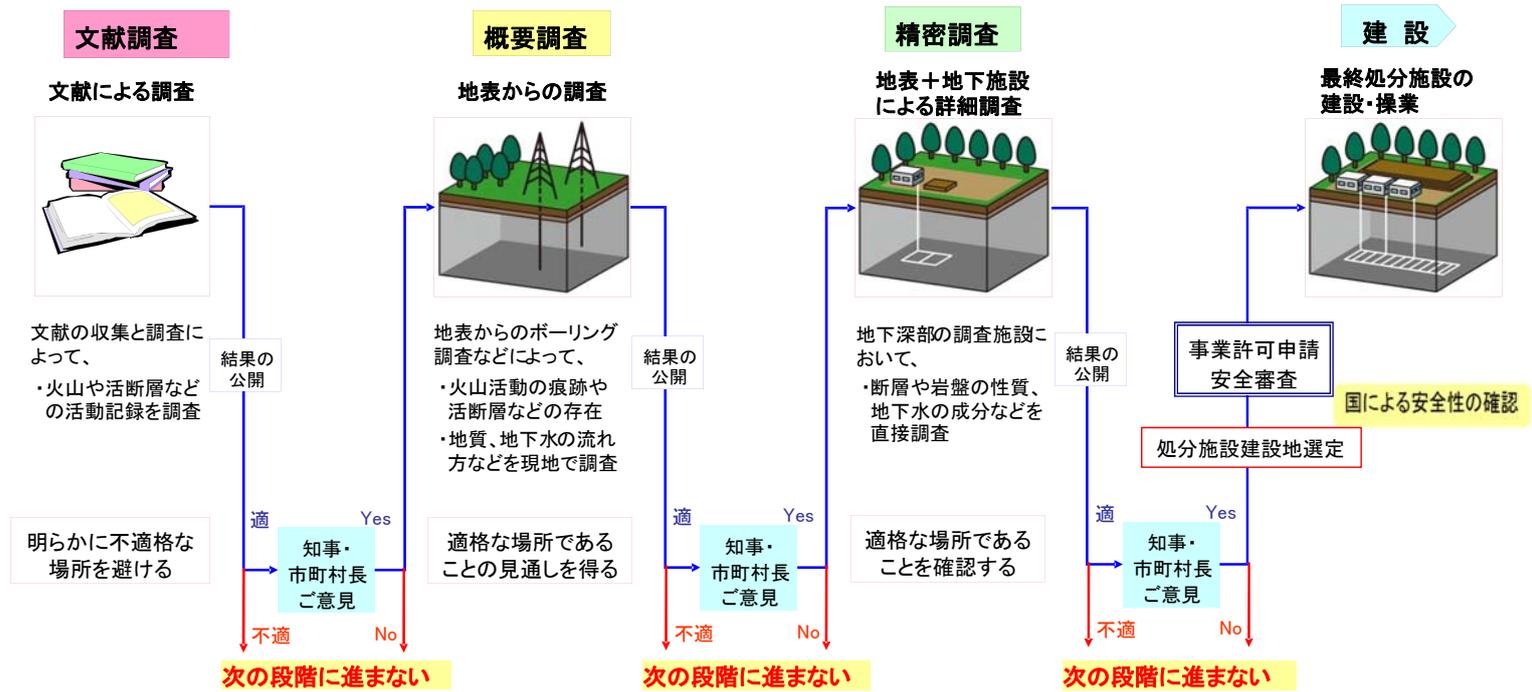


2002年: NUMOは全国市町村を対象に公募を開始

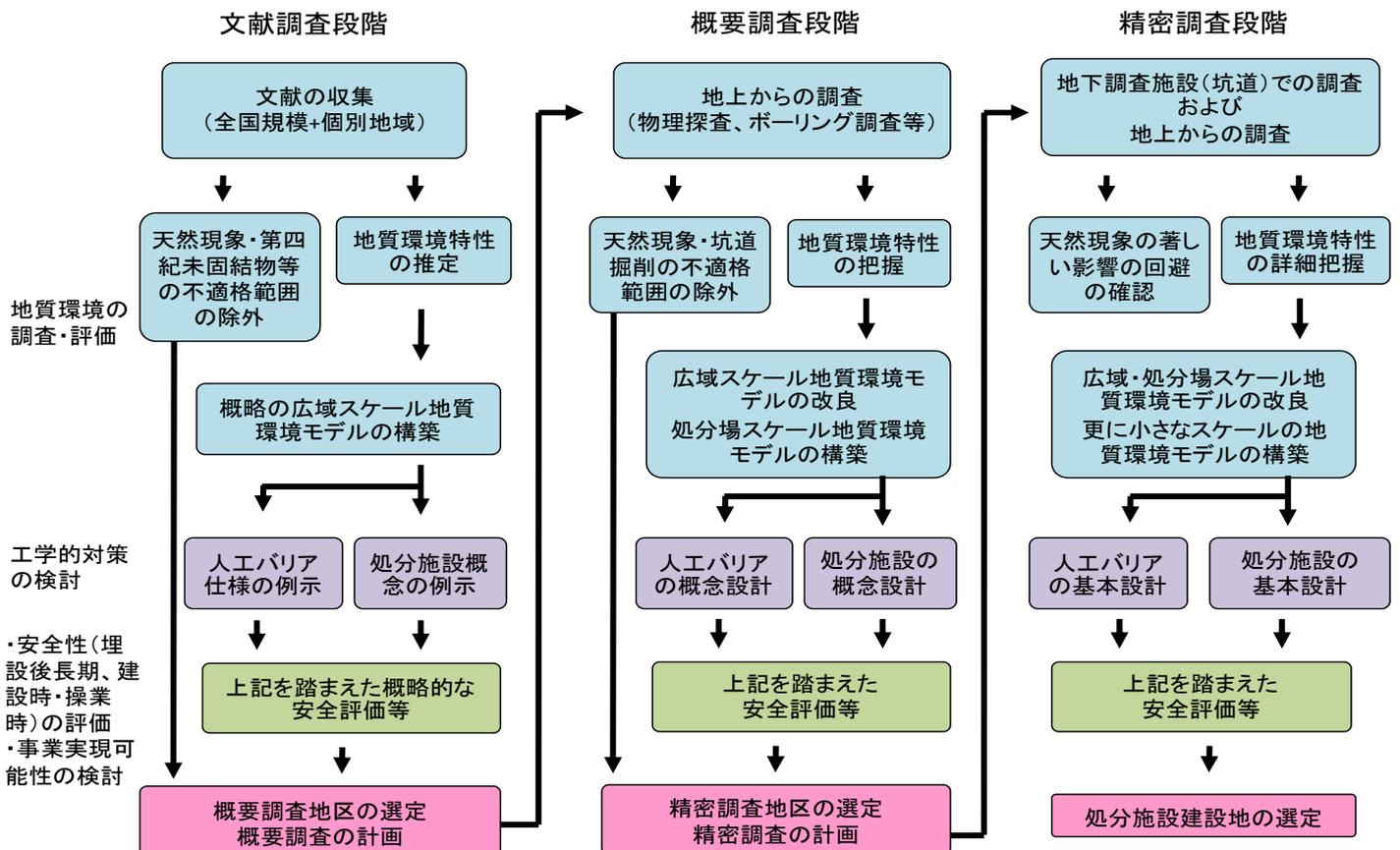
2007年: 国の申し入れと市町村の受諾による方法を付加(総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物小委員会中間取りまとめ)

2008年: 改正法の施行(地層処分低レベル放射性廃棄物を事業対象に付加)

段階的調査に基づくサイト選定プロセス



サイト選定過程における調査情報の蓄積



- 
-
1. 日本における地層処分事業
 2. 研究開発の展開
 3. 地層処分計画の再構築
 4. 今後に向けて



地層処分に関する研究開発

• 地層処分の特徴を考慮した戦略

- － 超長期的な安全確保と処分事業の長期性への対応
- － 処分システムの継続的な信頼性向上

• 研究開発のアプローチ

- － 課題に即したボトムアップ的な研究開発から、要件に沿ったよりトップダウン的な研究開発への移行
- － セーフティケースの作成による研究の方向付けと課題抽出
- － 長期にわたる地層処分計画において求められる予見性
- － 最新の科学技術的知見の反映
- － 多様なステークホルダーへの共通な知識基盤の提供という視点への移行
- － 知識の開発に過度の負担とならず、知識の利用者の要求に適切に応えることを目的とした品質管理システムの適用

地層処分に関する技術的進展

■ 地層処分の技術的成立性の確認

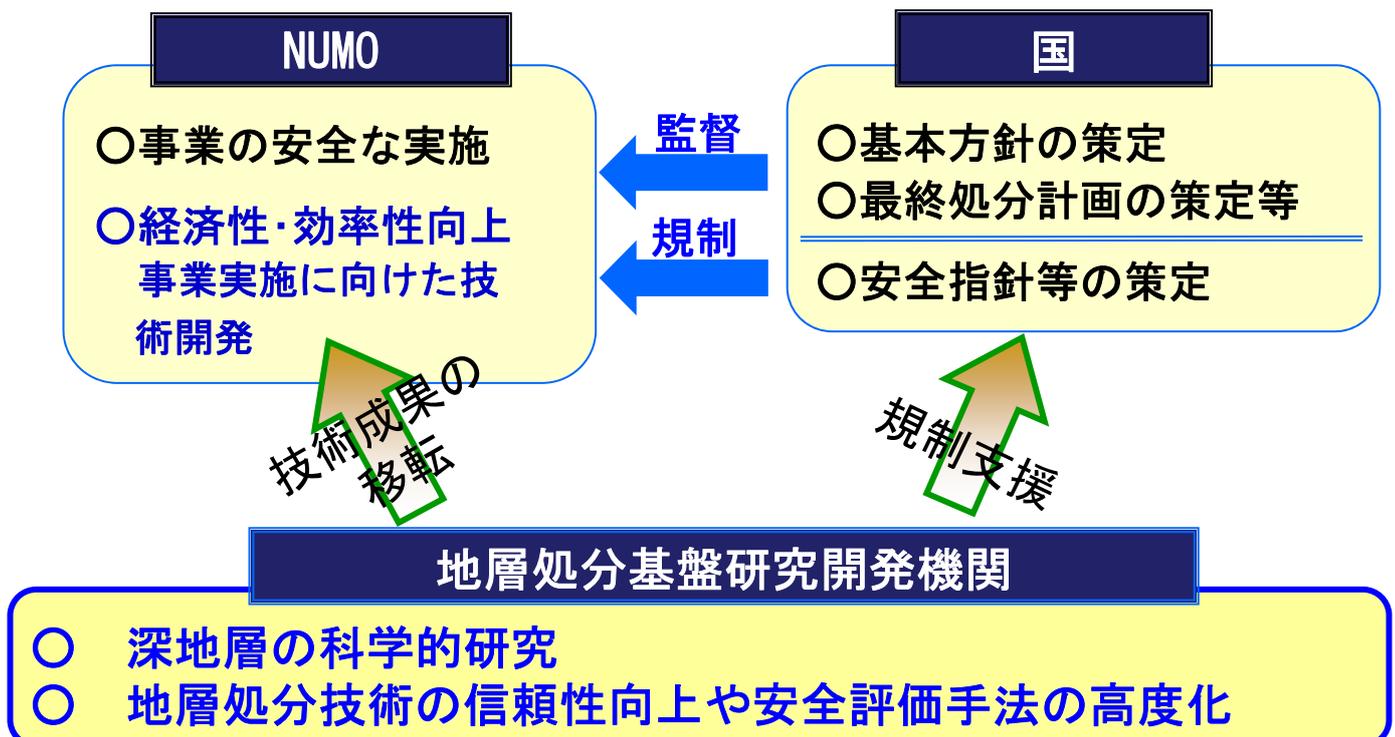
- 1976年から実施されてきた幅広い地質条件を対象とした研究開発の結果、
 - 日本においても適切なサイトを選定すれば、海外と同等の安全性を有する高レベル放射性廃棄物の地層処分が実現できるということを提示
「地層処分研究開発第2次取りまとめ(1999)」
 - 長半減期低発熱放射性(TRU)廃棄物に対して提示「第2次TRUレポート(2005)」
- 上記を技術基盤として「最終処分法」が成立(2000年、2008年改正)

■ 事業段階におけるこれまでの研究開発

- サイトが特定された際に適用可能とするための研究開発を継続強化
 - 現実的な地質環境条件への適用性実証
 - 処分場閉鎖後の長期安全性だけでなく建設・操業等の安全性の検討、関心のあるステークホルダーへの積極的な情報提供と合意形成
 - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的柔軟性の確保
 - 多様な情報の指数関数的な増加(情報爆発)に対応可能な知識マネジメント

地層処分事業段階における研究開発の体制

研究開発の役割分担は、経済産業省、NUMO、原子力機構等からなる「地層処分基盤研究開発調整会議」(H17.7設置)で全体計画を策定し、成果をレビュー



地層処分基盤研究開発とNUMO技術開発

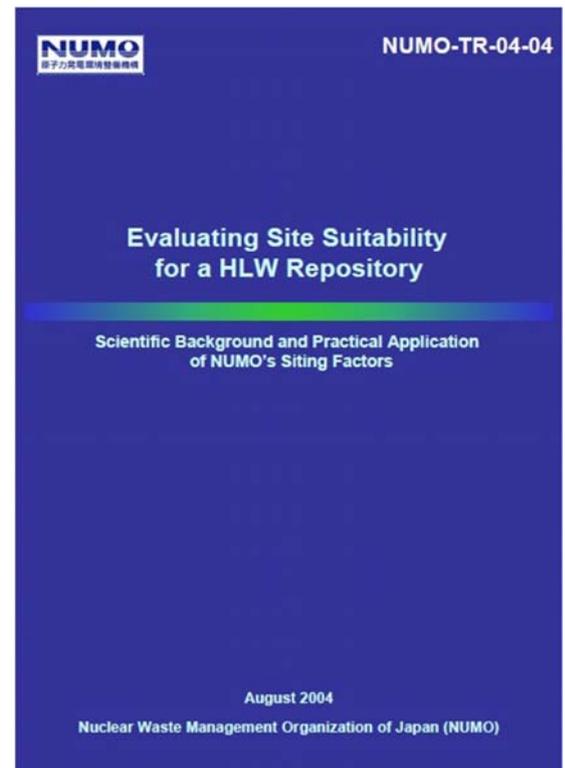
- 相互補完的關係
- 地層処分基盤研究開発
 - ・ 処分システムに係る現象の科学的基礎の理解とそのためのインフラ(特にURL計画)整備(自然物と天然物から構成されるシステムの複雑で長期にわたる現象の科学)
 - ・ 上記科学的基礎の理解に基づき、処分技術の信頼性向上を目的として、産業界も含め様々な科学技術分野の先端技術の適用を促進(先端科学技術の適用による処分技術の多様性の拡充)
- NUMO技術開発
 - ・ 基盤研究開発の成果を反映しつつ、処分事業を、安全性と経済性に配慮して確実に進めるための実際的技術の開発(経験と安全上の保守主義を重視した経済合理的な技術としての地層処分技術への統合)



公募方式のサイト選定—技術基盤(1)

「概要調査地区選定上の考慮事項の背景と技術的根拠」(NUMO, 2004)

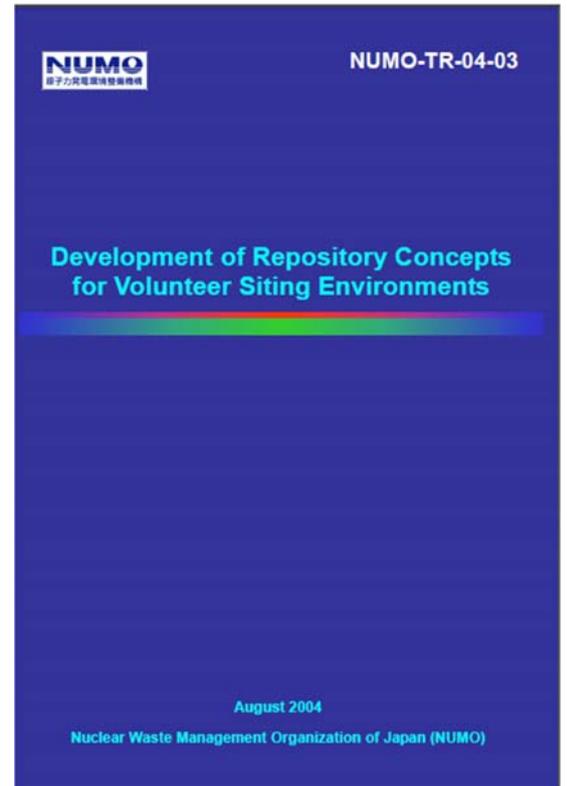
- 文献調査における考慮事項の提示
 - 法定要件に関する事項
 - － 概要調査地区選定に関する適格性を評価する事項
 - － 地震、噴火、隆起・侵食、第四紀の未固結堆積物、鉱物資源
 - 付加的に評価する事項
 - － 法定要件に対する適格性が確認された地区を対象に、概要調査地区としての特性を総合的に評価し、必要に応じて相对比较を行う事項
 - － 地層の物性・性状、地下水の特性、地質環境の調査・評価(範囲や規模、調査技術の適用性など)、建設・操業時における自然災害の発生可能性、土地の確保、輸送



公募方式のサイト選定－技術基盤(2)

「高レベル放射性廃棄物地層処分の技術と安全性」(NUMO, 2004)

- 公募によるサイト選定のアプローチでは多様な地質環境が想定
- 応募地域の地質環境に適した処分場の概念の選択や仕様の設計を柔軟に行うための方法論の開発
 - － 処分場概念カタログ
 - － 設計因子
- 応募地域の地質環境や処分場の設計仕様の特徴を表現可能な現実的なシナリオ、モデル、データの開発戦略



体系的な地質環境調査・評価技術の整備

これまでに基盤研究開発機関などが構築した文献調査段階から概要調査段階の地質環境調査・評価技術の有効性を、電中研との共同研究において確認

文献調査

火山や活断層の確認

文献情報に基づく地質環境モデルの構築

概要調査

地質構造

地質構造モデル

岩盤力学特性

物理探査

岩盤物性モデル

水理特性

地下水の地球化学モデル

ボーリング調査

地球化学特性

データの取得と解釈

地質環境の長期変遷の検討

地質環境モデルの構築

精密調査

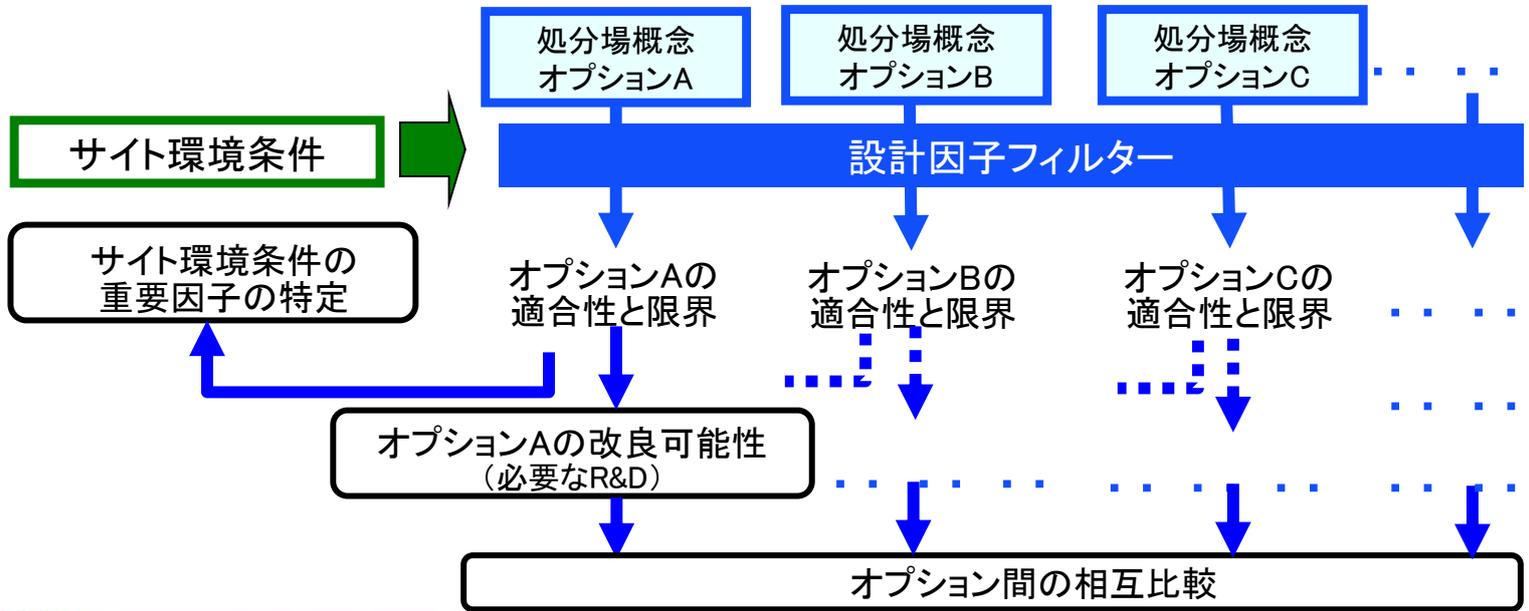
URL などを活用し、基盤研究開発機関により調査・評価技術を構築中

設計の方法論

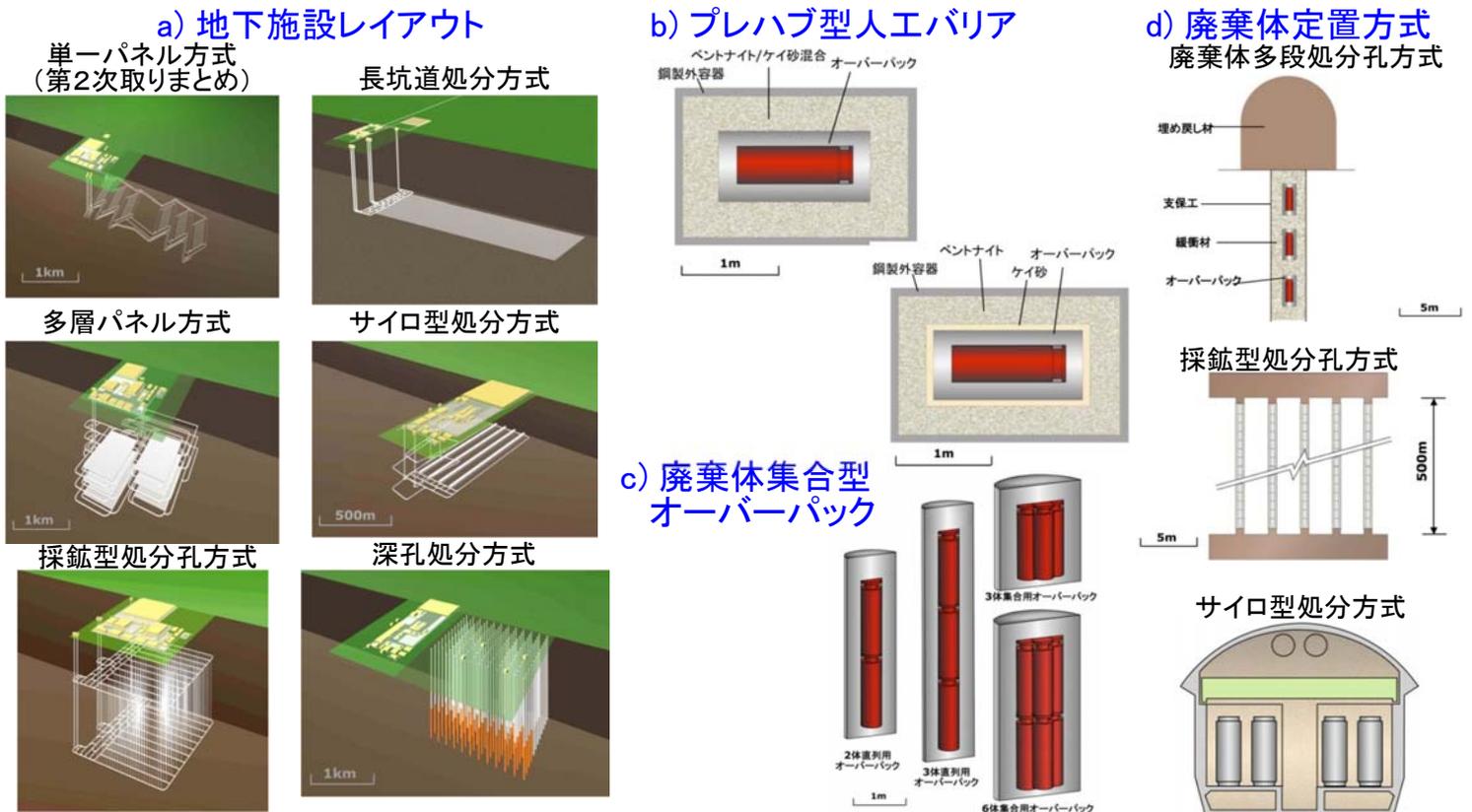
設計因子

- 長期安全性
- 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



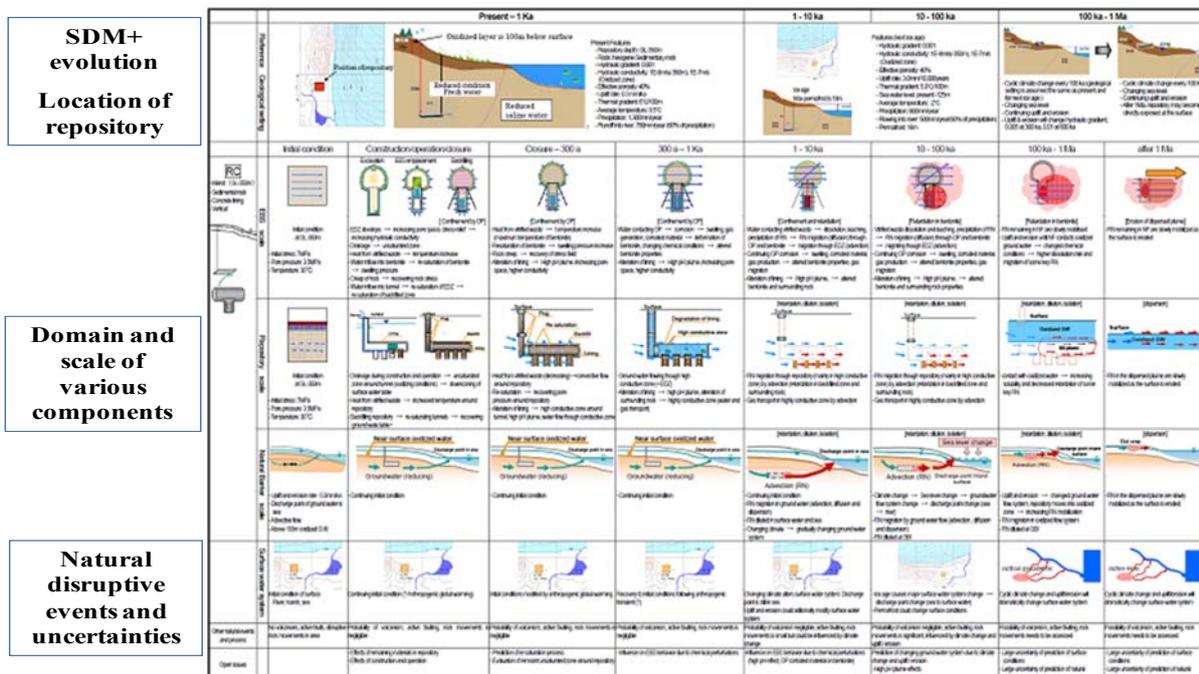
処分場概念カタログーオプションの例



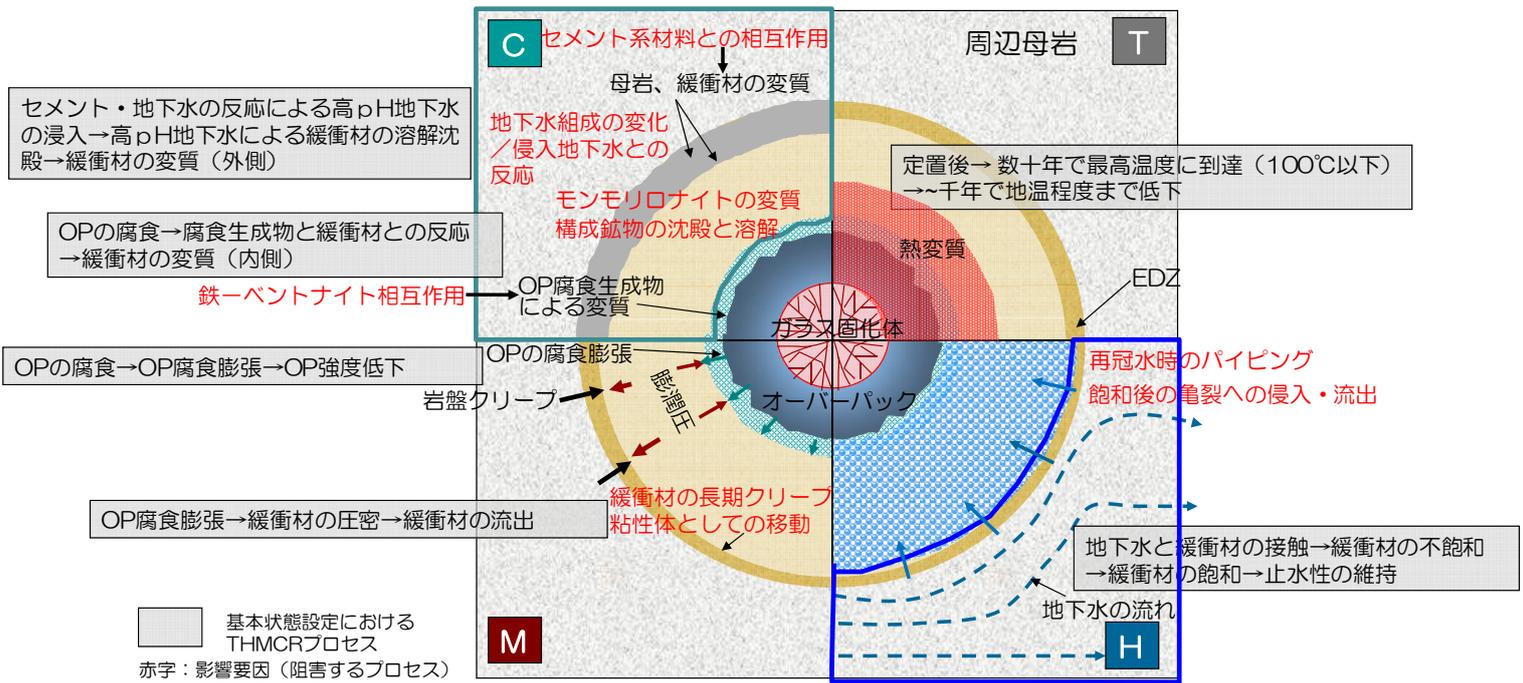
- 体系的シナリオ開発手法 (JAEAとの共同研究)
 - 安全機能とFEPを融合したアプローチ
 - 関連する学問分野の最新の知識の反映
- できるだけ現実的な (realistic) モデルやデータベース
 - 候補地地域の地質環境に応じた処分場の設計に基づく地層処分システムの特徴を適切に評価し、異なる地質環境や処分場設計を比較検討
- 閉鎖前及び閉鎖後の長期安全性を考慮したセーフティケースに応じた評価手法
- 指数関数的に増大する知識ベースを管理するための先端的知識管理ツールを利用したユーザーフレンドリーなコミュニケーションプラットフォーム

シナリオ ストーリーボード

- 多様な学術分野の最新の知見に基づくシステムの理解と付随する不確実性を概観
- さまざまなステークホルダーとのインターフェイス



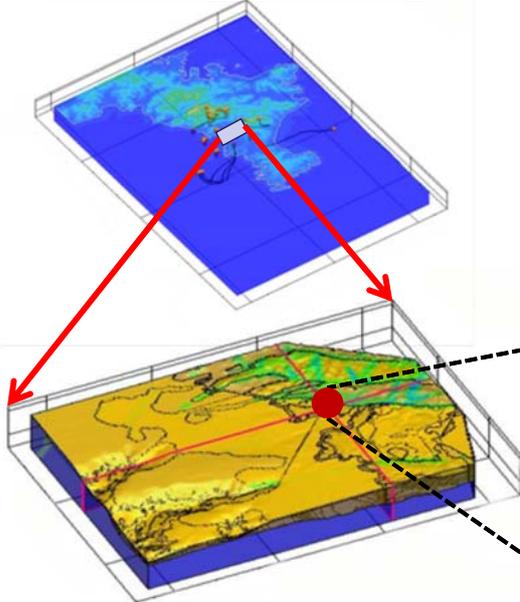
ニアフィールド状態設定と現象モデルの開発



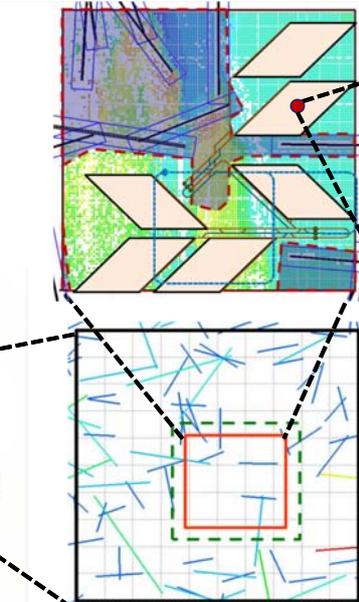
(NUMO-JAEA シナリオ開発手法に関する共同研究)

スケールに応じた水理地質構造モデルのイメージ

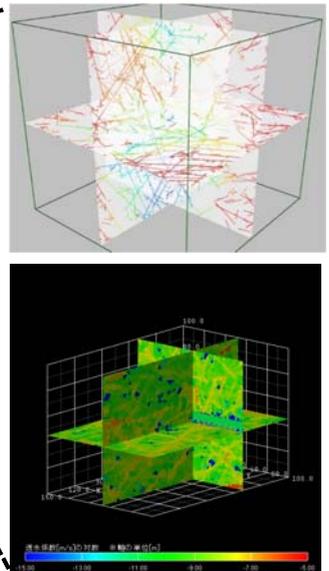
広域スケール (数十km)



処分場スケール (約km)



ブロックスケール (数百m)

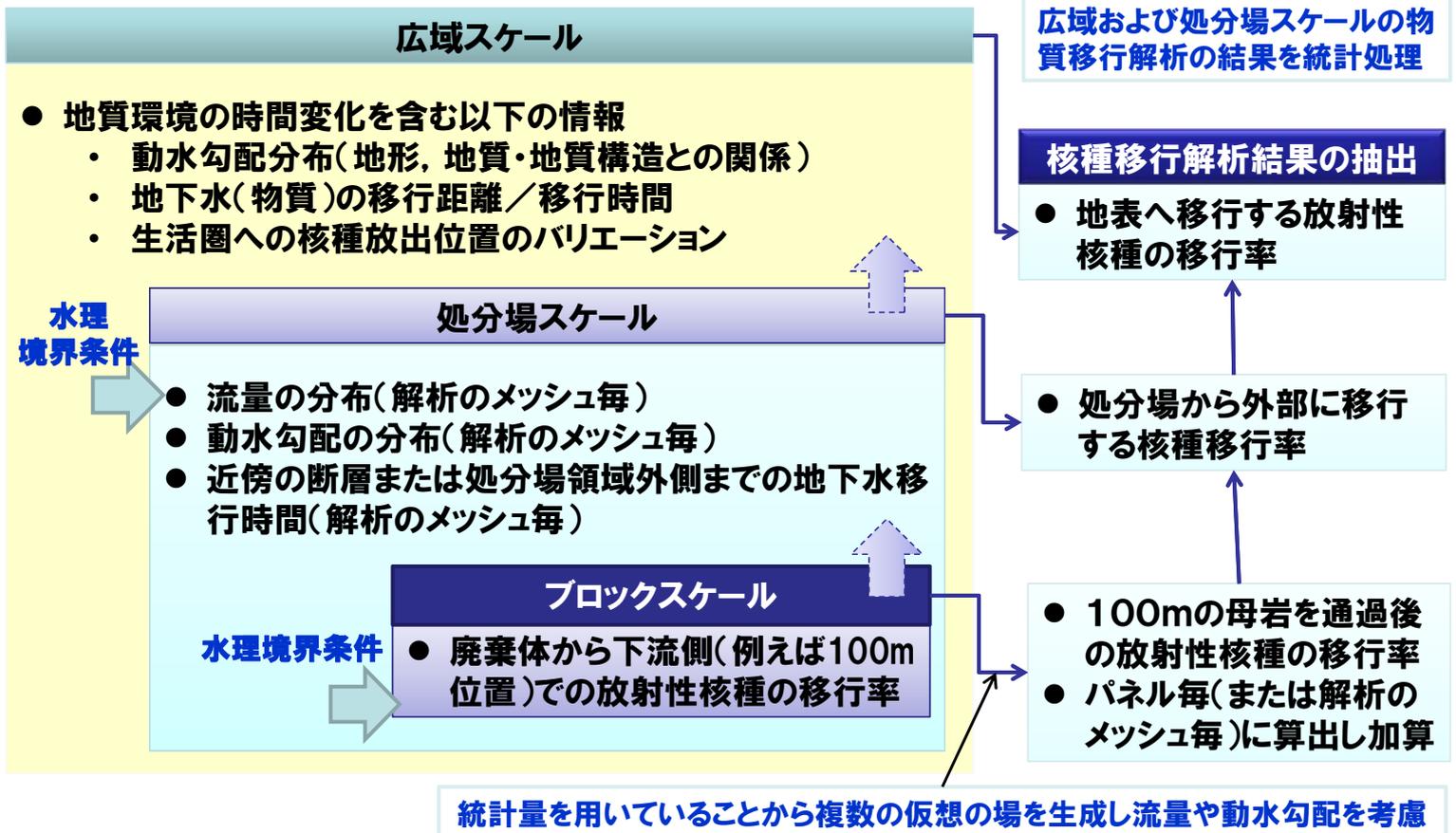


- 多孔質媒体モデルによる三次元解析
- 地質環境特性(T-H-M-C)やこれらの時間変化による影響
 - 動水勾配分布
 - 地下水の移行距離/移行時間
- GBI(地質環境と生活圏のインターフェイス)のバリエーション

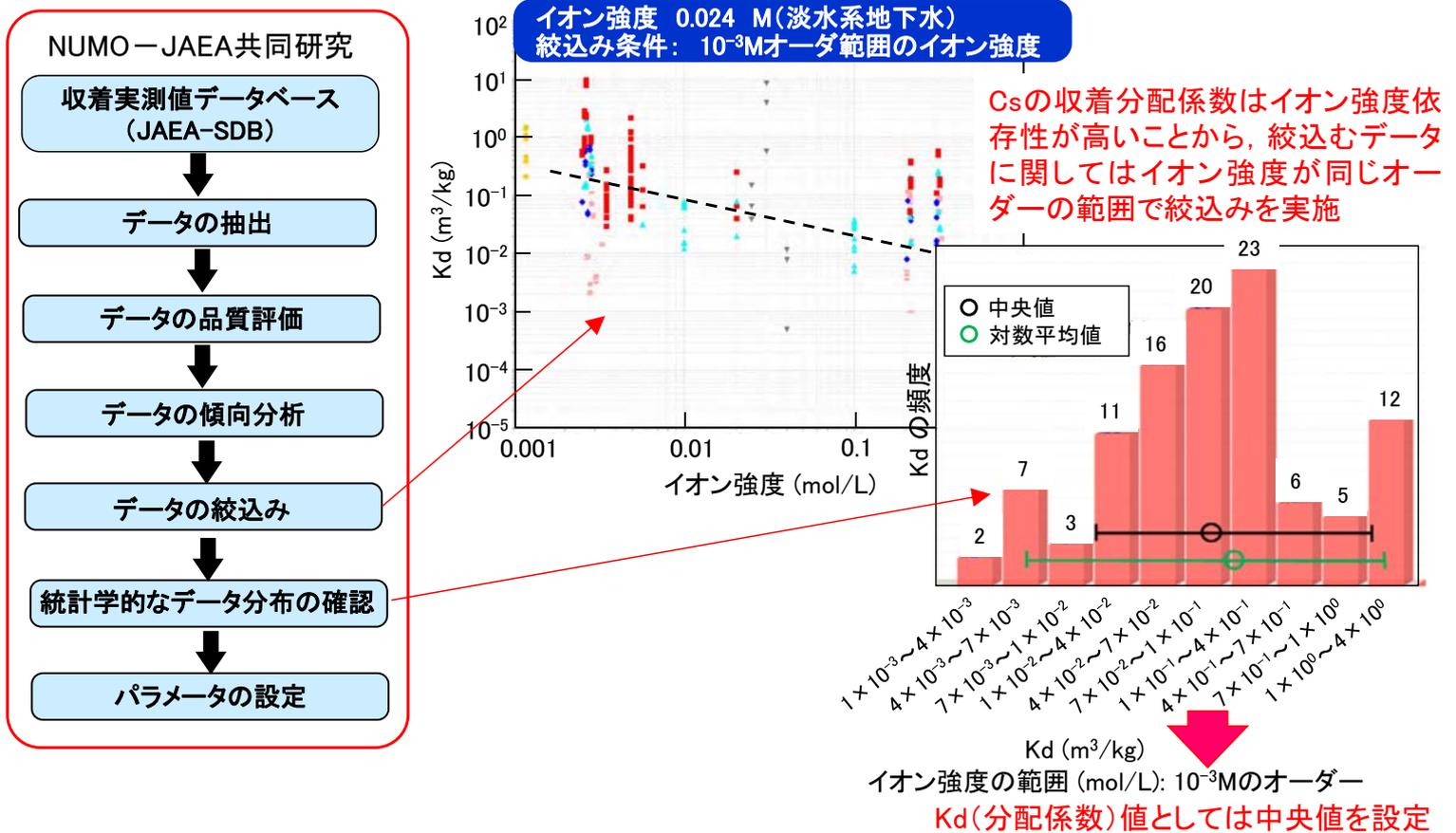
- 多孔質媒体モデルによる三次元解析
- 広域スケールと整合的な境界条件, 地質環境の設定
- 坑道の透水性やEDZ(掘削影響領域)の影響などの設計条件を考慮

- 割れ目情報, 人工バリア構成を形状モデルに反映
- 地下水の移行状態に基づき, 三次元の亀裂ネットワーク, 等価多孔質媒体, および両者の組み合わせによるモデル化と解析
- 広域・処分場スケールと整合的な境界条件, 地質環境の設定

各スケールにおける核種移行評価に関する情報の流れ



花崗岩類の収着分配係数の設定例



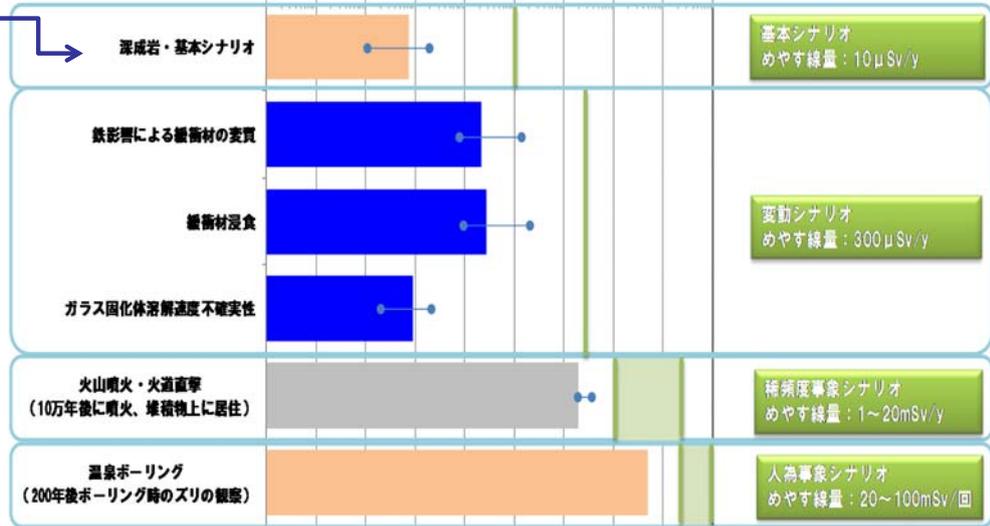
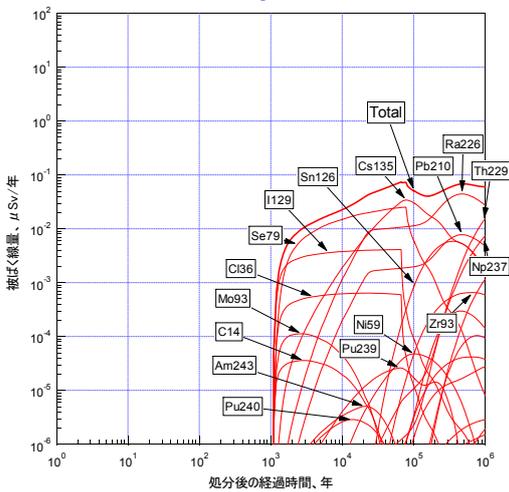
基本シナリオ

変動, 稀頻度事象, 人為事象シナリオ

- 深成岩類を対象
- 母岩からの出口の核種移行率を線量に換算
- 中規模の河川に核種が移行することを仮定
- 河川水を利用する農作業従事者の被ばくを想定

最大被ばく線量 ($\mu\text{Sv}/\text{年}$, または $\mu\text{Sv}/\text{回}$)

1E-4 1E-3 1E-2 1E-1 1E+0 1E+1 1E+2 1E+3 1E+4 1E+5



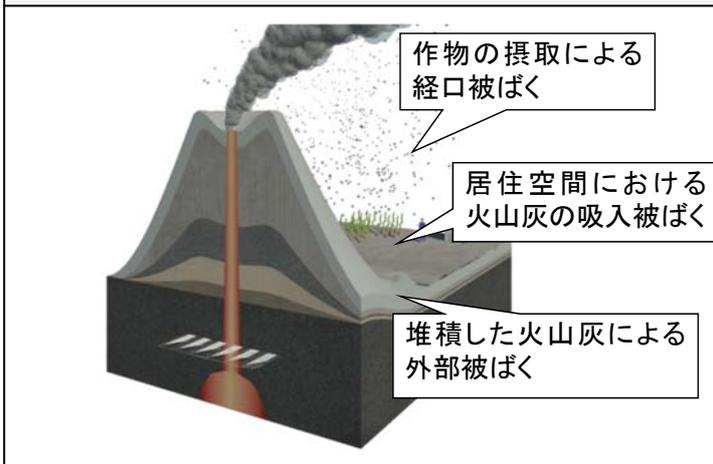
稀頻度事象シナリオに関する試行

検討を進めているシナリオ案

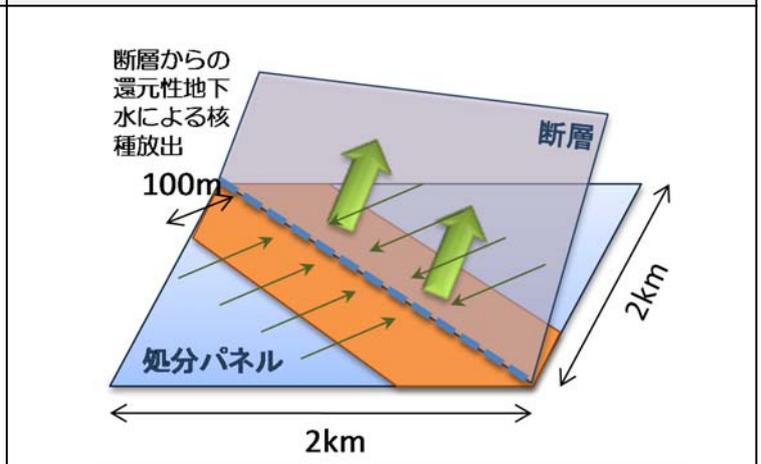
- 火山・火成活動(広い影響範囲が想定される熱水活動, マグマの貫入等), 断層活動(地下深部からの断層の進展, 低活動性の断層の活動等)については, 日本の地質環境を踏まえ, 注意深くシナリオ作成を実施
- 事象の発生時刻は, 幅広い時間範囲を検討
- 発生可能性は非常に低いと考えられるが, あえて直撃にまで至るシナリオについても検討

概念モデルの例

火道の処分場への直撃



断層の処分場への直撃



地質学的ハザードに関する評価技術の改良

- 国際的に著名な地質環境に関する専門家チームによる最新の知見を適用した検討—ITMアプローチ
- 構造運動と火山活動を対象としたハザードマッピングと潜在的影響の定量化に関する方法論の検討、及びケーススタディ

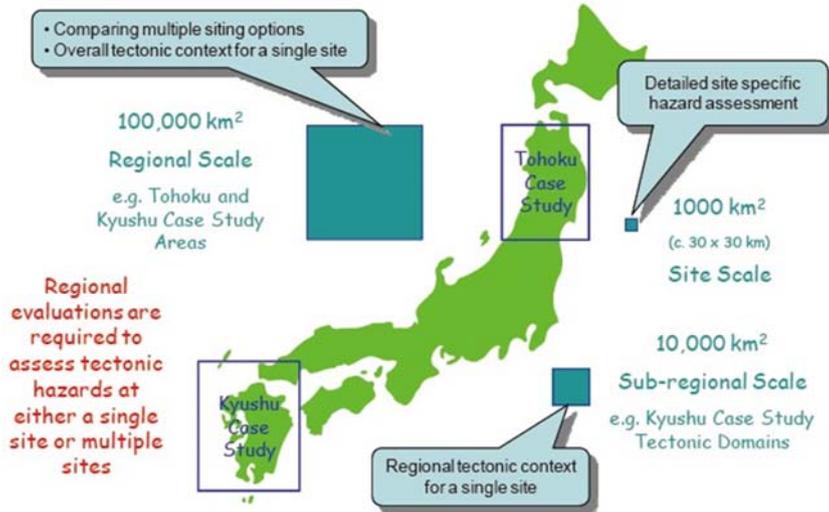


Figure 1.1: The ITM Methodology is applied at the regional to sub-regional scale, whether comparing alternative sites or assessing the tectonic hazard for a single site.



ITM: International Tectonics Meeting

P.24

超長期地質学的ハザードに関する理解促進

- 日本の地層処分にとって極めて関心の高い問題に関する合意形成への貢献
- ITM方法論の 10^6 年の時間スケールへの拡張とケーススタディ

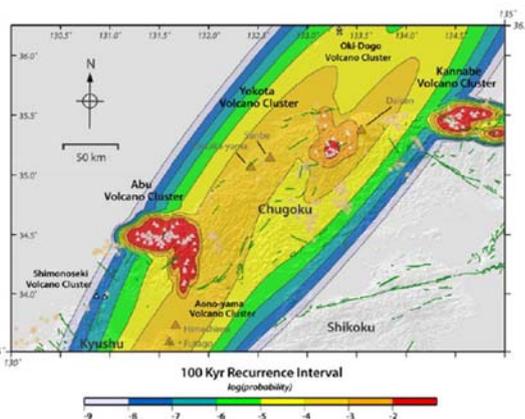
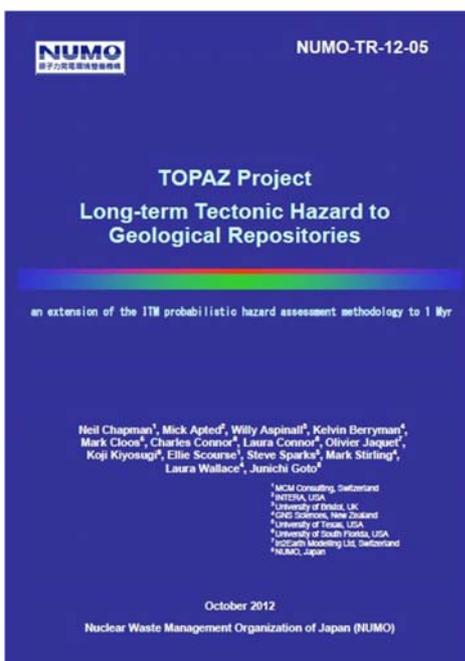
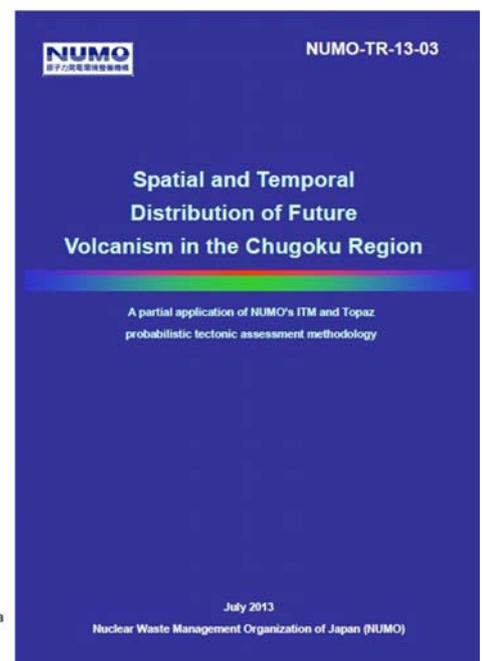


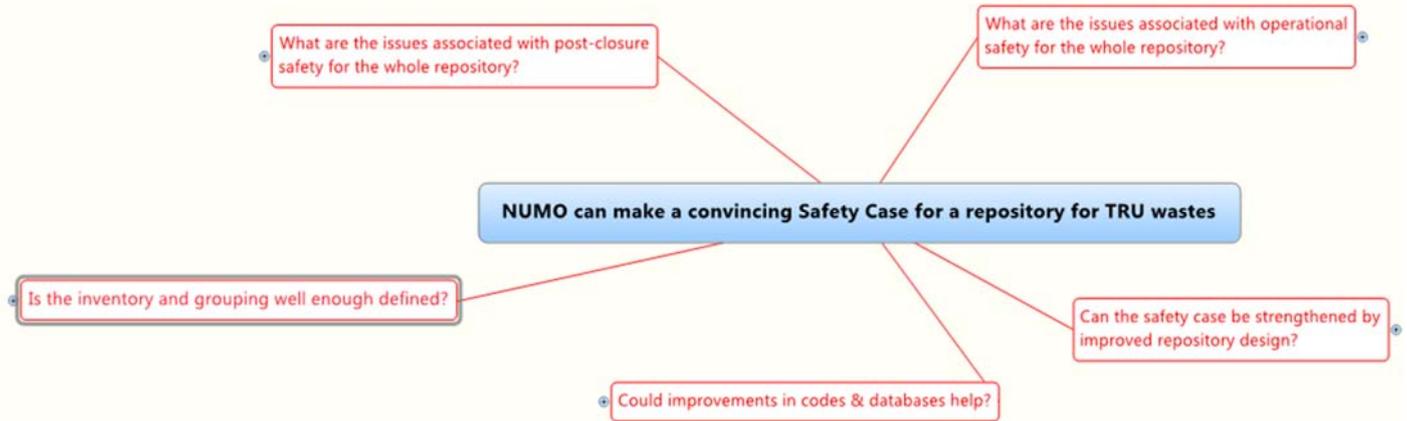
Figure 5.12: Probability of a new volcano or volcanic system forming within a 25 km² area during the next 100 kyr contoured as the logarithm of probability to illustrate order of magnitude changes across the Chugoku region. Symbols as in Figure 5.1.



TRU廃棄物に関する検討

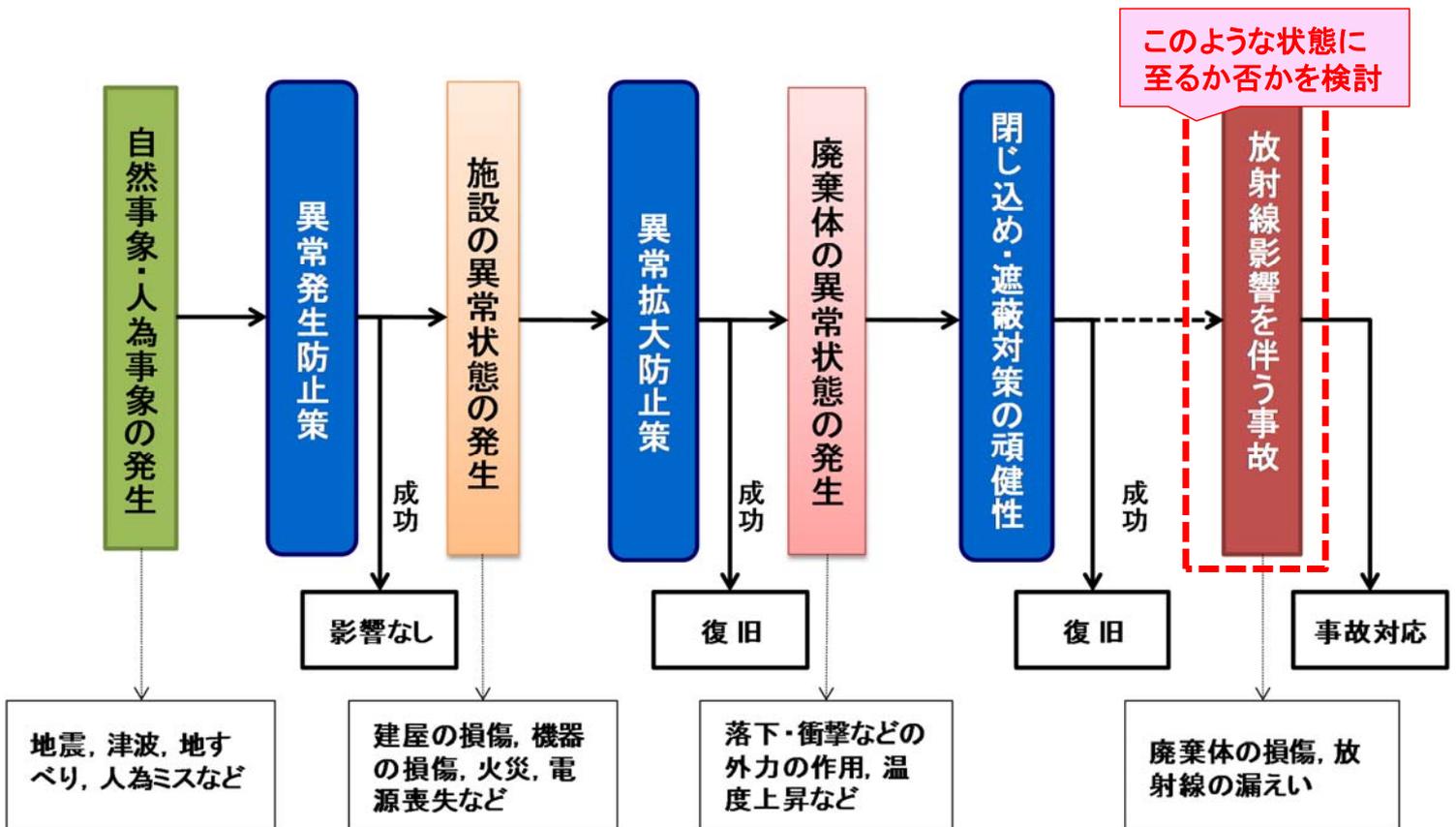
■ 第2次TRUレポート以降の取り組み

- インベントリの見直しに応じた設計・性能評価 (NUMO-TR-10-03)
- 国際ワークショップ (2011: 討論モデルを用いたTRU廃棄物処分概念の検討) (NUMO技術報告書準備中)



■ TRU廃棄物処分場概念カタログの準備

多重防護による閉鎖前の安全対策の基本的考え方



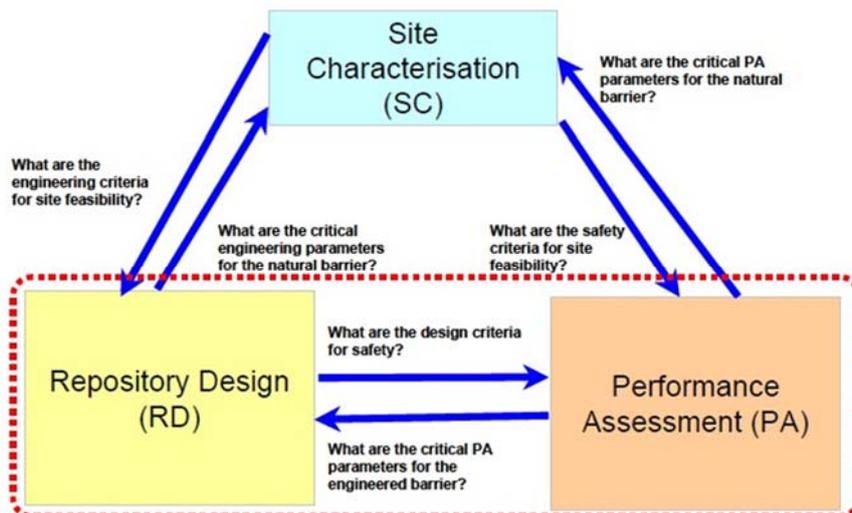
閉鎖前の安全性－イベントツリーによる影響伝播の分析例

	起因事象	施設の異常状態	廃棄体などの異常状態	影響を受ける安全機能
地上施設	地震, 津波, 人為ミスなど	・遮へい壁への地震力の作用		遮へい
		・装置故障→取り扱い中の把持具からの落下	ガラス固化体に対する外力の作用	閉じ込め
		・電源喪失→換気停止 ・装置故障→取り扱い装置からの出火	ガラス固化体の温度上昇	
地下施設	オーバーパック, 岩盤により遮へい機能は十分な裕度を有する。			遮へい
	地震, 有害ガス, 異常出水, 津波など	・車両故障→車両逸走 ・坑道の落盤 ・メタンガスの爆発 ・積替え, 定置作業中の落下 ・地下施設の水没	オーバーパックへの外力の作用	閉じ込め
	人為ミスなど	・車両故障→逸走→搬送車両の火災	オーバーパックの温度上昇	

廃棄体に関する異常状態は、**温度上昇と外力の作用に大別**
 表中の朱書きの状態について、廃棄体の閉じ込め機能の裕度の検討を実施

技術的知識基盤の統合化

- 地質環境に関する知見は構造化された方法論 (geosynthesis) によって統合、サイト記述モデル (site descriptive model (SDM)) に集約
- SDMに基づいて処分場の設計や安全評価を実施
- 一連の作業はセーフティケースに統合



- 
-
1. 日本における地層処分事業
 2. 研究開発の展開
 3. 地層処分計画の再構築
 4. 今後に向けて



東日本大震災と福島第一原子力発電所事故

- 原子力事業全般に対する国民の信頼が失墜
 - 地層処分: 科学技術の限界の自覚(学術会議)、最新知見に基づく安全性の定期的な確認と国民との共有の必要性など(原子力委員会の見解)の指摘
- 総合資源エネルギー調査会に二つのWGを設置
 - 放射性廃棄物WG(2013年7月)／地層処分技術WG(2013年10月)
 - これまでの地層処分の取り組みや技術的信頼性について原点に立ち返った議論

総合資源エネルギー調査会ワーキンググループ

放射性廃棄物ワーキンググループ

【設置目的】

最終処分に関する政策の再構築に向けた議論・検討を実施



【結論】

- ① 可逆性・回収可能性を適切に担保し、将来世代も含めて最終処分の意思決定が見直せるようにする
- ② 科学的に適性が高いと考えられる地域を国が選定し、地質環境特性を科学的見地から説明し、立地への理解を求める
- ③ 多様な立場の住民が参加する地域の合意形成の仕組みを検討
- ④ 受入地域の持続的発展につながる支援策を国が自治体と協力して検討、実施 等

「放射性廃棄物WG中間とりまとめ」(平成26年5月)

地層処分技術ワーキンググループ

【設置目的】

地層処分の技術的信頼性について、改めて最新の科学的知見を反映した再評価を実施



【結論】

段階的な調査を適切に行うことにより、全ての天然現象の長期的変動の影響を踏まえても尚、おのこの好ましい地質環境とその地質環境の長期安定性を確保できる場所を我が国において選定できる見通しが得られた

「最新の科学的知見に基づく地層処分技術の再評価—地質環境特性および地質環境の長期安定性について—」
(中間とりまとめ、平成26年5月)

最終処分に関する基本方針の改定の要点

(平成27年5月22日閣議決定)

■ 現世代の責任と将来世代の選択可能性

- ・ 将来世代に負担を先送りしないよう地層処分に向けた対策を確実に進める
- ・ 可逆性・回収可能性の確保、地層処分の技術的信頼性を高めつつ代替オプション(廃棄物減容化・有害度低減、直接処分など)を含めた技術開発等を進める

■ 全国民、地域との相互理解の醸成

- ・ 事業実現に貢献する地域に対する敬意や感謝の念や社会としての利益還元の必要性が広く理解されること
- ・ 国から全国の地方自治体への緊密な情報提供と丁寧な対話

■ 国が前面に立った取り組み

- ・ 国が科学的により適性が高いと考えられる地域(科学的有望地)を提示するとともに、調査等への理解と協力について関係自治体へ申し入れ

■ 事業に貢献する地域に対する支援

- ・ 地域の主体的合意形成に向けた多様な住民参画の「対話の場」の設置と活動の支援
- ・ 地域の持続的発展に資する総合的な支援措置を検討し講じる

■ 推進体制の改善等

- ・ NUMOの体制強化
- ・ 信頼性確保のため、原子力委員会の関与の明確化と継続的な評価、原子力規制委員会は調査の進捗に応じ安全確保上の考慮事項を順次提示
- ・ 使用済燃料の貯蔵能力の拡大

科学的有望地の選定－審議の経緯

- 放射性廃棄物WGから地層処分技術WGに対し、科学的有望地の要件・基準等に関する検討を要請
- 地層処分技術WGにおいて議論開始(2014年12月)、**現在審議中**
 - 地層処分に好ましい地質環境及びその長期安定性に関する2014年5月「中間とりまとめ」に基づく**閉鎖後長期安全性**に加え、**操業時の安全性(地下施設・地上施設)**、**実現可能性**を検討対象
- 議論の途中経過を放射性廃棄物WG(2015年3月24日)に報告・審議

包括的技術報告書(2015R)(仮称)の作成

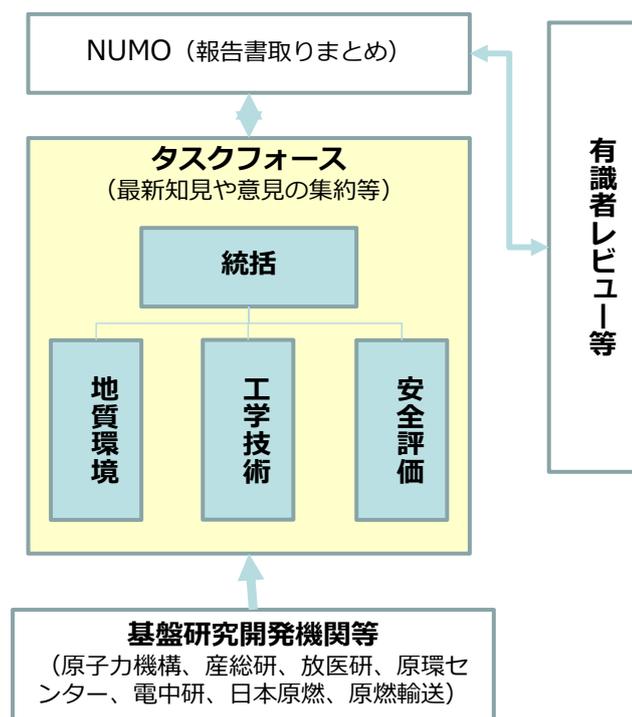
- 背景
 - 東北地方太平洋沖地震、東京電力福島第一原子力発電所事故を受けた地層処分計画見直しの議論
 - 国の審議会(廃棄物WG、技術WG)の議論
 - わが国の地質環境の特徴に対処しながら、どのように安全な処分場を構築するのか、**事業者として、最新の科学技術的知見に基づいて安全な地層処分の実現性を示すことは、地層処分の技術的信頼性を高め、今後の事業展開への着実な準備を図るために重要**
- 報告書作成の基本的アプローチ
 - **セーフティケースの概念**に沿って、ジェネリックな現段階におけるわが国の地層処分の安全性と実現性を取りまとめ
 - 有望地が選定された後、文献調査以降の作業に対するテンプレートの準備
 - 作成過程から国内外専門家との意見交換を行いながら2015年度末までに作成し、国際レビューを受ける計画

2015Rの特徴

- **最新の知見や社会的要求の変化を踏まえた、わが国における安全な地層処分の実現性に対する信頼性の向上**
 - 閉鎖前および閉鎖後の長期に対して、わが国の地下深部における現実的な地質環境の特徴を考慮した、より実践的な設計・安全評価手法の提示と、それらを適用した設計例と安全性の見通しの提示
 - モニタリングや回収可能性に関する記述の追加
 - 操業時における事故時の対応の提示
- **サイト選定に即応するための技術の整備**
 - 文献調査以降の地質環境モデルの雛型となる候補母岩モデルの準備
 - 多様なサイト条件を比較できる設計、安全評価の技術の整備
 - 最新知見を反映した人工バリア設計の合理化の方向性の提示
 - リスク論的な考え方を導入した安全評価の枠組みの構築(評価期間とめやす線量の設定、シナリオ構築の方法論)
 - 人材育成や技術継承などのマネジメント戦略を含めた、安全確保に向けた事業の実施方針(安全戦略)の具体的な記述

2015R—最新の技術開発成果の反映と品質確保

- 個別分野の技術開発成果に基づく最新の科学的知見等を適切かつ効率的に反映するために、基盤研究開発機関等の専門家の参画を得て「タスクフォース」を設置
- 報告書の企画の段階から、国内外の幅広い専門家から意見を聴取し、報告書の目的や趣旨、作成方針、盛り込むべき内容の妥当性などを確認
- 一定の品質が担保された文献情報や解析コードを活用(例えば、国内外で実績が豊富な解析プログラムの使用、解析結果の他プログラムによるクロスチェック)



- 
-
1. 日本における地層処分事業
 2. 研究開発の展開
 3. 地層処分計画の再構築
 4. 今後に向けて



鍵となる課題

- ・ ステークホルダーの信頼獲得：地層処分の社会的受容
 - － 公開性と対話の重要性
 - － 長期間にわたる処分事業を通じたセーフティケースの信頼性向上
 - － 地層処分技術の知識基盤としての体系化

技術的な重要課題への継続的取り組み

- **超長期の安全性評価のための予測技術の信頼性向上**
 - 3.11を踏まえたシビアアクシデント（巨大地震・津波の影響、とくに操業時など）にも留意した地層処分の安全性検討
- **処分場建設・操業・閉鎖に係る工学技術の実証**
 - 人工バリアの実規模性能実証試験
 - 遠隔制御、自動化技術の開発・実証
- **地層処分事業の柔軟性確保**
 - ステークホルダーの合意形成に資する「可逆性」や「回収可能性」を考慮した処分概念の開発
 - モニタリングシステムの体系化
- **地層処分マネジメントシステム開発**
 - 要件／知識／品質の統合管理システム開発
- **人材育成と将来世代への技術伝承**

安全コミュニケーションの促進

- **地層処分の安全性を説明するセーフティケースの複雑性**
 - 多岐にわたる膨大な知識、情報、データを基に構築
- **ステークホルダー間に存在する情報の非対称性**
- **コミュニケーションのための知識マネジメント**
 - 様々なレベルでの要求に応じた情報の提供
 - なぜ放射性廃棄物の処分が必要なのか
 - なぜ地層処分が選択されたのか
 - 火山や地震が多いわが国でも地層処分ができるのか
 - 数万年もの長期の安全性をどのように確認するのか
 - 万一の事態が起こったらどうするのか
 - …



研究開発の枠組み強化への取り組み

- 内外の関係機関・大学等との連携
 - 地層処分基盤研究開発調整会議
 - 基盤的研究機関に対する具体的な技術開発ニーズの提示、研究成果の体系的整理等、技術開発全体のマネジメントにおけるリーダーシップの発揮
 - 共同研究
 - JAEA（シナリオ開発手法、核種移行データベース、ガラス溶解の現象論的モデル開発（計画中）など）
 - 電力中央研究所（地質環境調査技術実証研究）
 - 国際ネットワークへの参加
- 人材の育成
 - 研究開発の現場への技術者派遣を通じた「現場に強い」技術能力の向上
 - 対話活動に必要なコミュニケーション能力の向上



ご清聴有難うございました。

NUMO ホームページ <http://www.numo.or.jp>