

原子力委員会定例会ご説明資料

包括的技術報告書(レビュー版)の概要

「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—」

2019年 3月 12日

原子力発電環境整備機構(NUMO)



背景 — わが国の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と最終処分法の制定 (2000年:2007年改定)
 - 第2次取りまとめ(1999): わが国においても高レベル放射性廃棄物の地層処分が技術的に十分信頼性をもって行えることを提示
 - 第2次TRUレポート(2005): TRU等廃棄物に対して同様の確認
- 事業段階における研究開発 (NUMOおよび基盤研究開発機関)
 - 一層の技術的信頼性と実用性の向上のための研究開発を継続
 - 現実的な地質環境条件への適用性実証(国内外の地下研究所の利用)
 - 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
 - 科学技術の進歩や社会条件の変化に対応可能な技術的な柔軟性の確保(可逆性/回収可能性の確保, 代替概念の検討など)
 - 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
 - …
 - 多くの科学的知見や技術開発成果が蓄積



包括的技術報告の取りまとめ

■ 目的

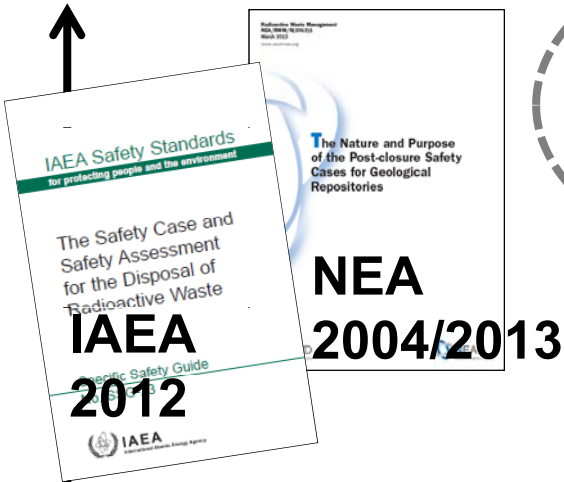
- これまでに蓄積されてきた科学的知見や技術を統合し、実施主体として、わが国の地質環境に対して安全な地層処分を実現するための方法を説明し、技術的な取り組みの最新状況を提示
 - 「科学的特性マップ」に基づき、サイト選定を進めるにあたって、国民の皆様からNUMOが技術的な信任を得ていくうえで重要

■ 取りまとめの考え方

- セーフティケースとして作成
 - セーフティケース(処分場の安全性を、さまざまな証拠に基づき論を尽くして説明するための文書)の作成は実施主体の役割(IAEA(2012), OECD/NEA(2004, 2013)など)
 - 事業の節目において、新しい科学的知見を反映しながら繰り返しセーフティケースを作成して社会に提示し、事業に関する意思決定の材料を提供
- 包括的技術報告書を、文献調査以降の事業段階で作成するセーフティケースの「基本形」と位置づけ

セーフティケースに関する国際的指針と各国における例

ジェネリック



国際的指針



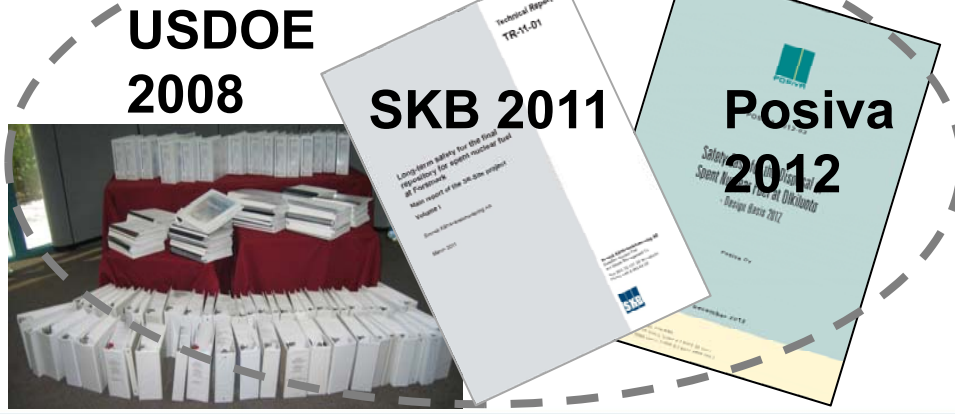
NUMO 包括的技術報告書
2018



ジェネリックまたは
岩種スペシフィック

許認可申請

Andra 2005:
サイトスペシフィック



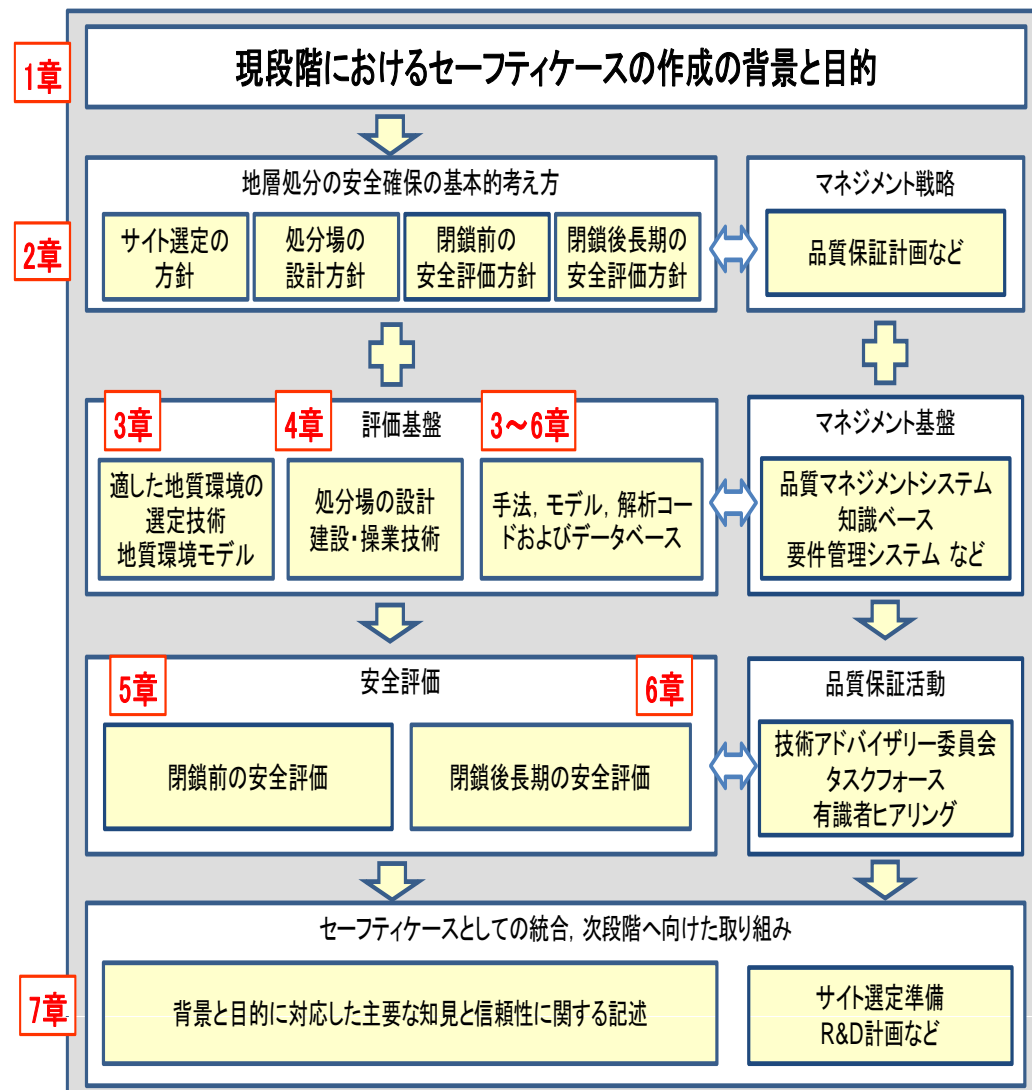
サイトスペシフィック
(特定のサイトを対象)

セーフティケースの構造と報告書の構成との比較関係

包括的技術報告書の内容

- **第1章 緒言**
 - 背景と目的
- **第2章 安全確保の基本的考え方**
 - 安全戦略(サイト選定・設計・評価戦略, マネジメント戦略)
- **第3章 地層処分に適した地質環境の選定およびモデル化**
 - 地質環境の調査・評価技術
 - 地質環境モデルの構築技術
 - 全国規模の情報・データに基づく地質環境モデルの作成
- **第4章 処分場の設計と工学技術**
 - 地質環境に応じて所要の安全機能を有する処分場を設計・建設・操業・閉鎖する技術
- **第5章 閉鎖前の安全性の評価**
 - 処分場の閉鎖前の安全性を評価する技術
 - 設計した施設の異常状態に対する影響評価
- **第6章 閉鎖後長期の安全性の評価**
 - 処分場閉鎖後の安全性を評価する技術
 - 設計した処分場に対する安全評価の実施と安全性に関する議論
- **第7章 セーフティケースとしての信頼性**
 - 技術的信頼性の確認, 信頼性をより向上させるための課題と今後の取り組みに関する議論
- **第8章 結言**

セーフティケースの一般的構造 (OECD/NEA, 2013との比較)





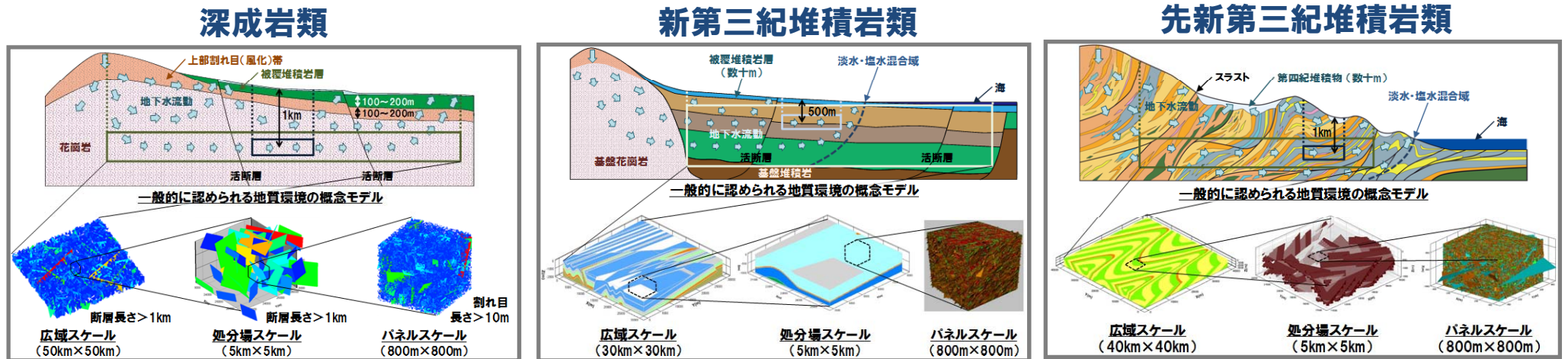
地層処分に適した地質環境の選定およびモデル化

■ 地質環境の調査・評価技術の信頼性の向上

- 技術開発による個別の調査・評価技術の精度向上
- 調査・評価技術の適用性検証事例(地下研の利用)の蓄積など

■ 地質環境の特徴をより忠実に反映した地質環境モデルの開発

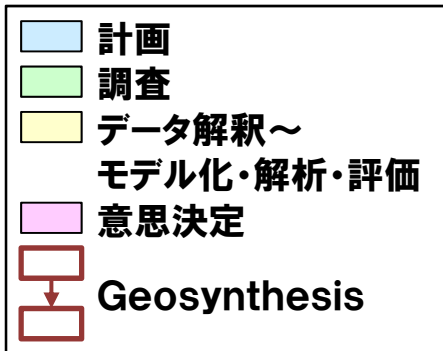
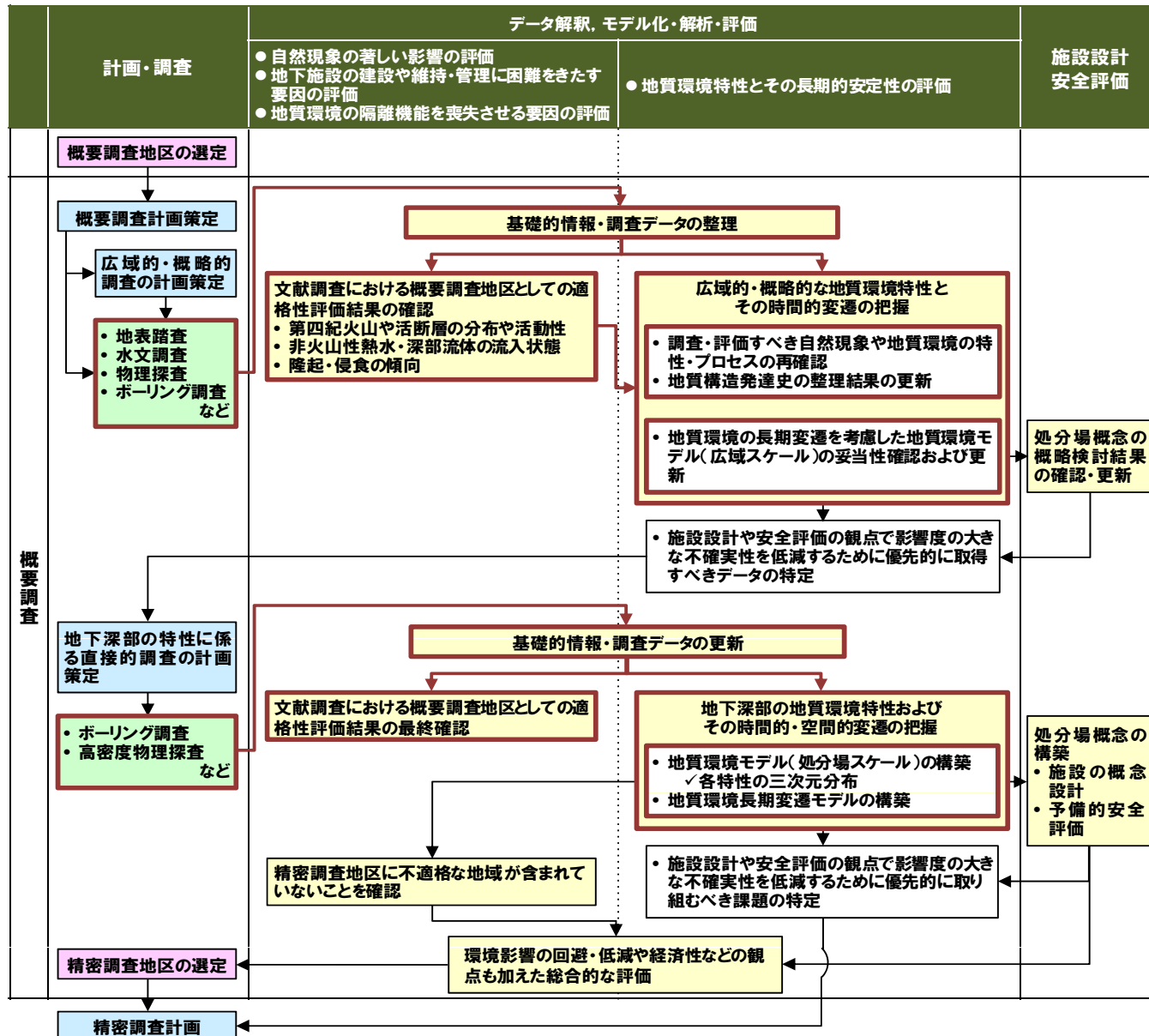
- わが国の地下深部に広く分布する代表的な三種類の岩種の特徴を表現
- 深地層の研究施設(幌延・瑞浪)の研究成果など, 地下深部の状況(特に, 断層・割れ目など)に関する最新の知見を利用





調査方法の体系的な整備

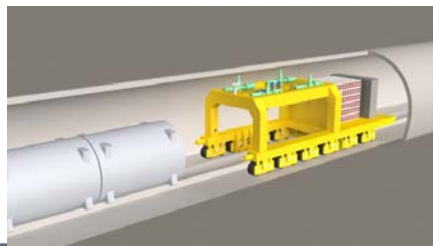
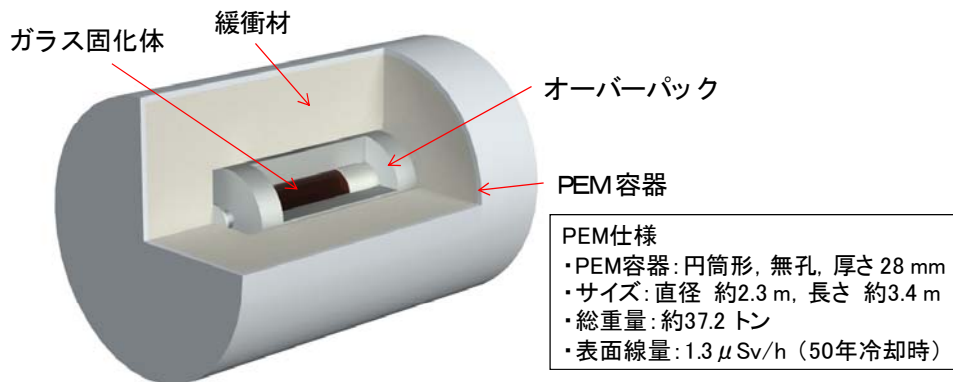
調査フローの例 (概要調査)



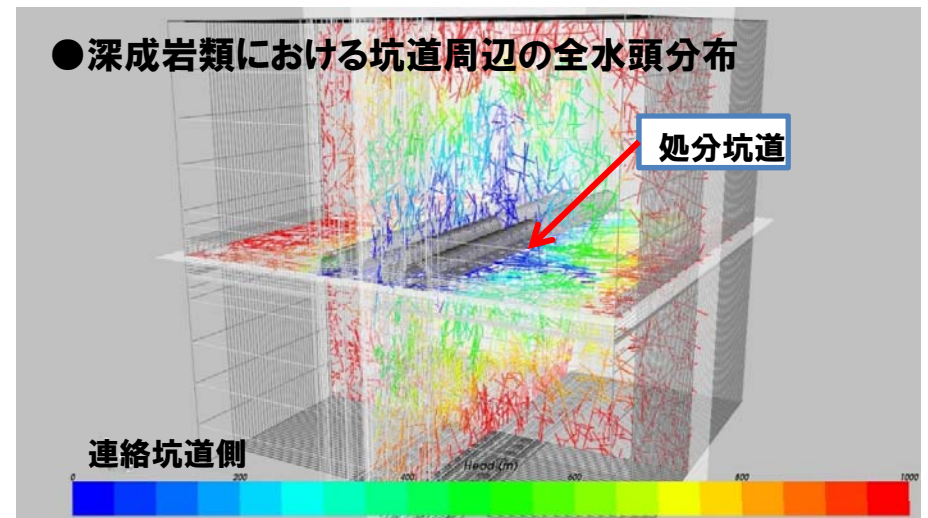


処分場の設計と工学技術

- 地質環境に応じたより実用性の高い設計方法の整備
 - 地質環境モデルの特徴(断層・割れ目の規模や頻度など)に対応した設計上の対策(処分区画の配置方法, 廃棄体・緩衝材の定置可否判断など)の具体化と設計例の提示
 - 安全対策を含む地上施設の仕様や作業方法の具体化
 - 廃棄体回収技術の具体化 など
- 人工バリア設計オプションの検討
 - 品質管理の容易さや操作性に優れる人工バリア定置方法(PEM)の導入
- 処分場の建設・操業・閉鎖に用いる工学的な技術の信頼性向上
 - 国内外における実規模実証試験の推進



PEM概念

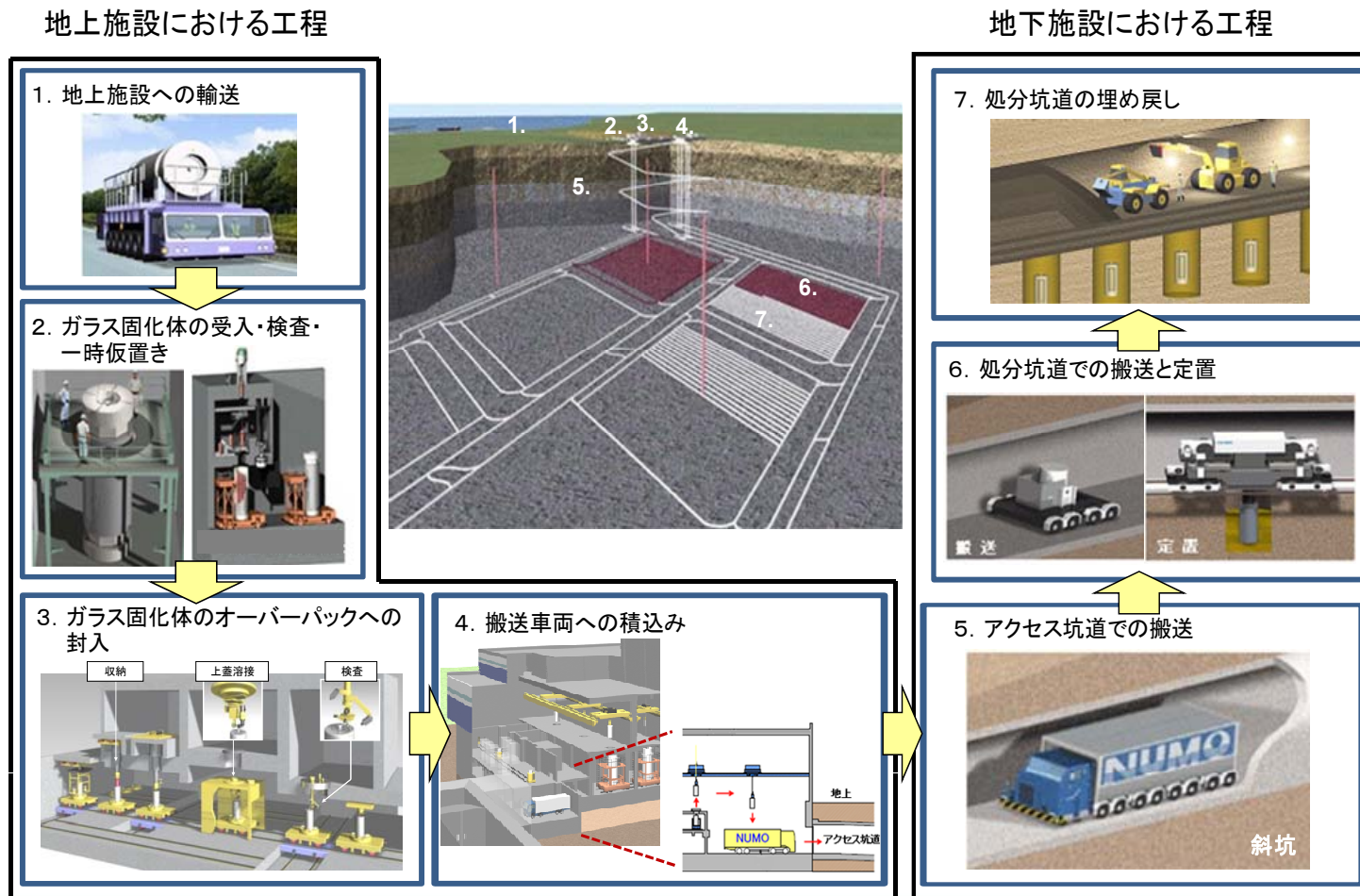


廃棄体の定置可否を判断するための処分坑における岩盤割れ目からの湧水量評価



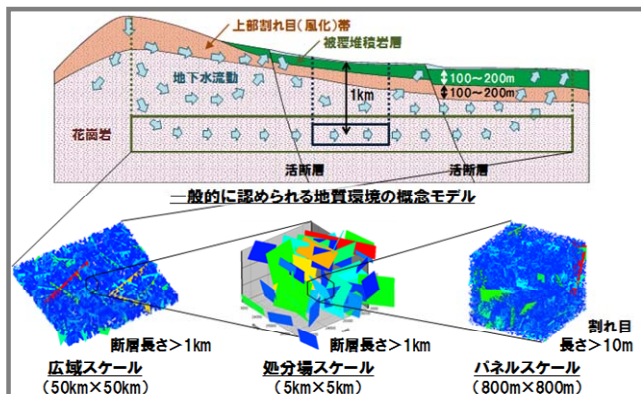
処分場の操業と安全対策

- 放射線安全の確保のための設計
 - 地上輸送車両，地下施設での搬送車両・定置装置：放射線遮蔽機能
 - 廃棄体を取り扱う地上施設：壁厚による放射線の遮蔽，負圧管理や換気設備におけるフィルター設置など

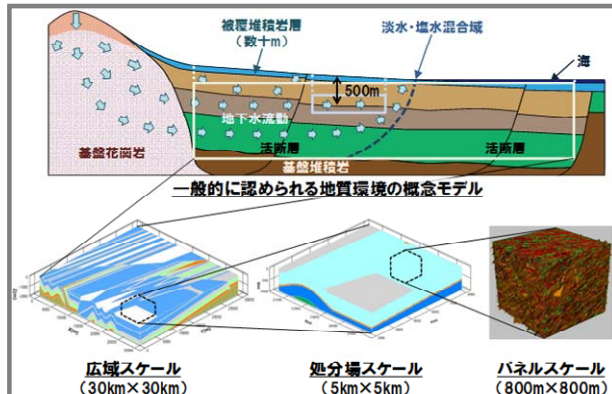


地質環境に対応した人工バリアと地下施設の設計

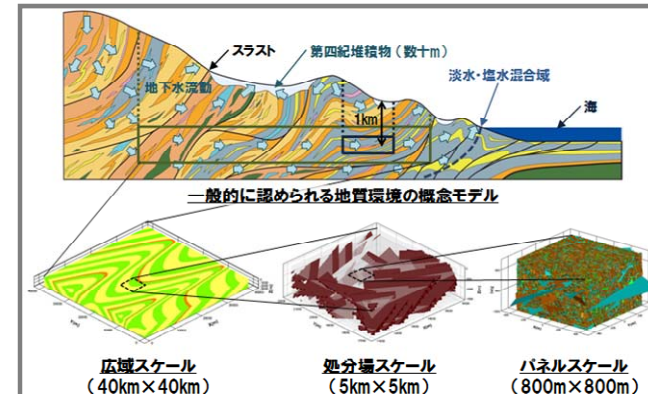
深成岩類 (モデル水質:2種類)



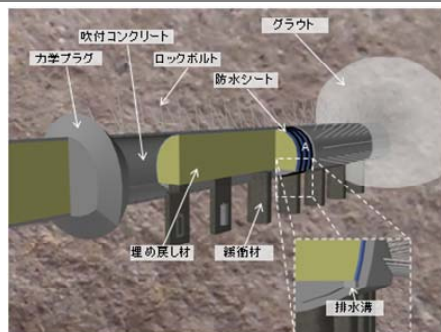
新第三紀堆積岩類(モデル水質:2種類)



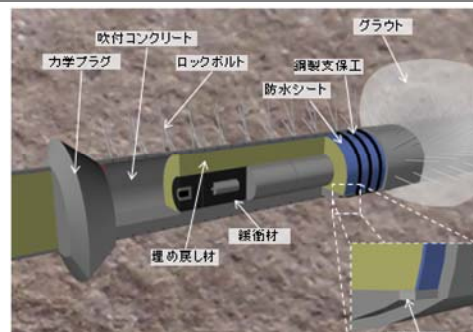
先新第三紀堆積岩類(モデル水質:2種類)



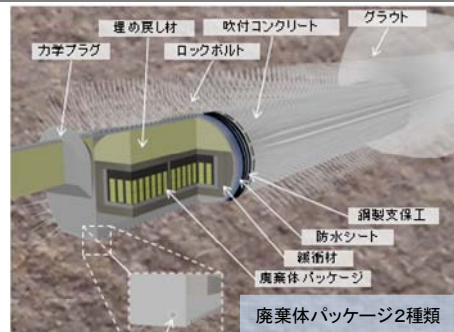
HLW 縦置き・ブロック方式



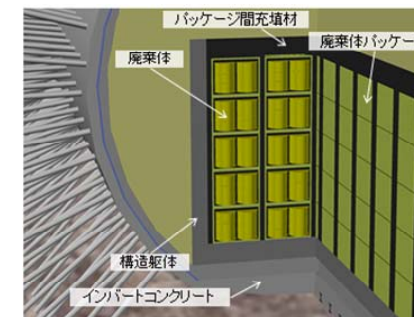
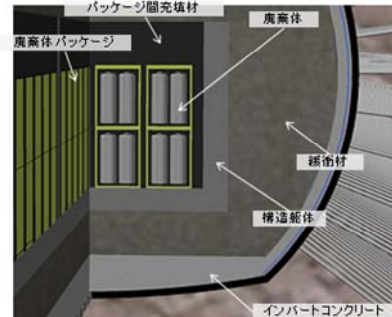
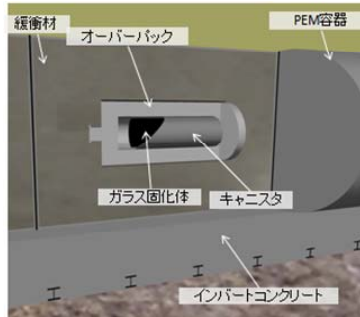
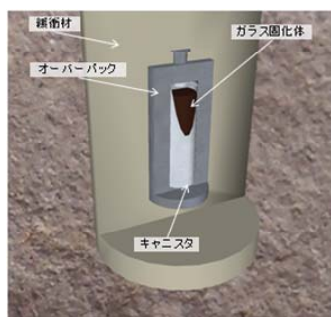
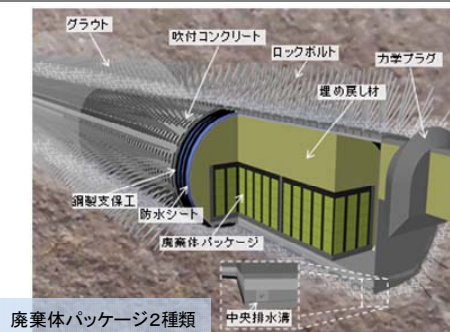
HLW 横置き PEM方式



TRU等廃棄物(緩衝材敷設有り)



TRU等廃棄物(緩衝材敷設無し)

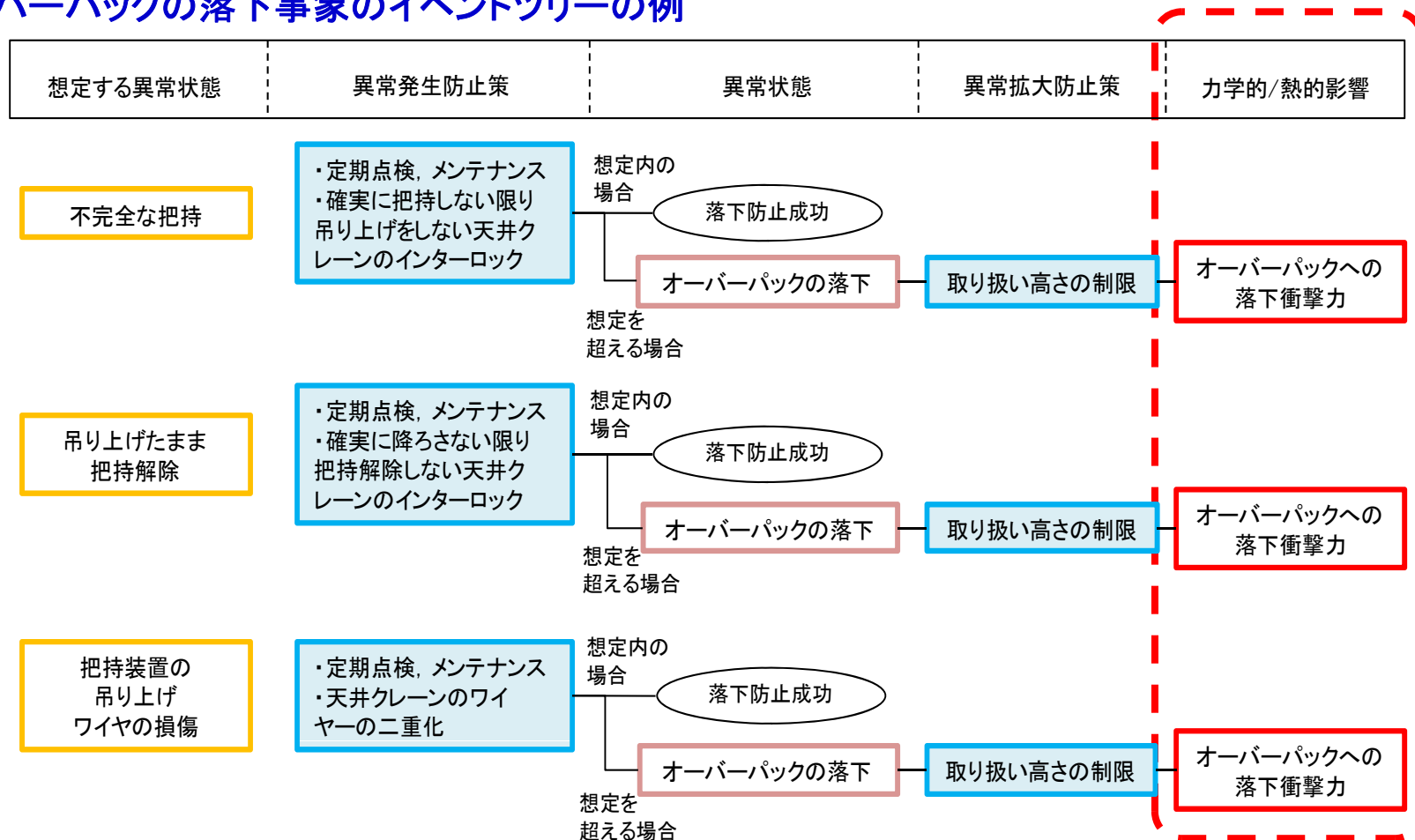




閉鎖前の安全性の評価

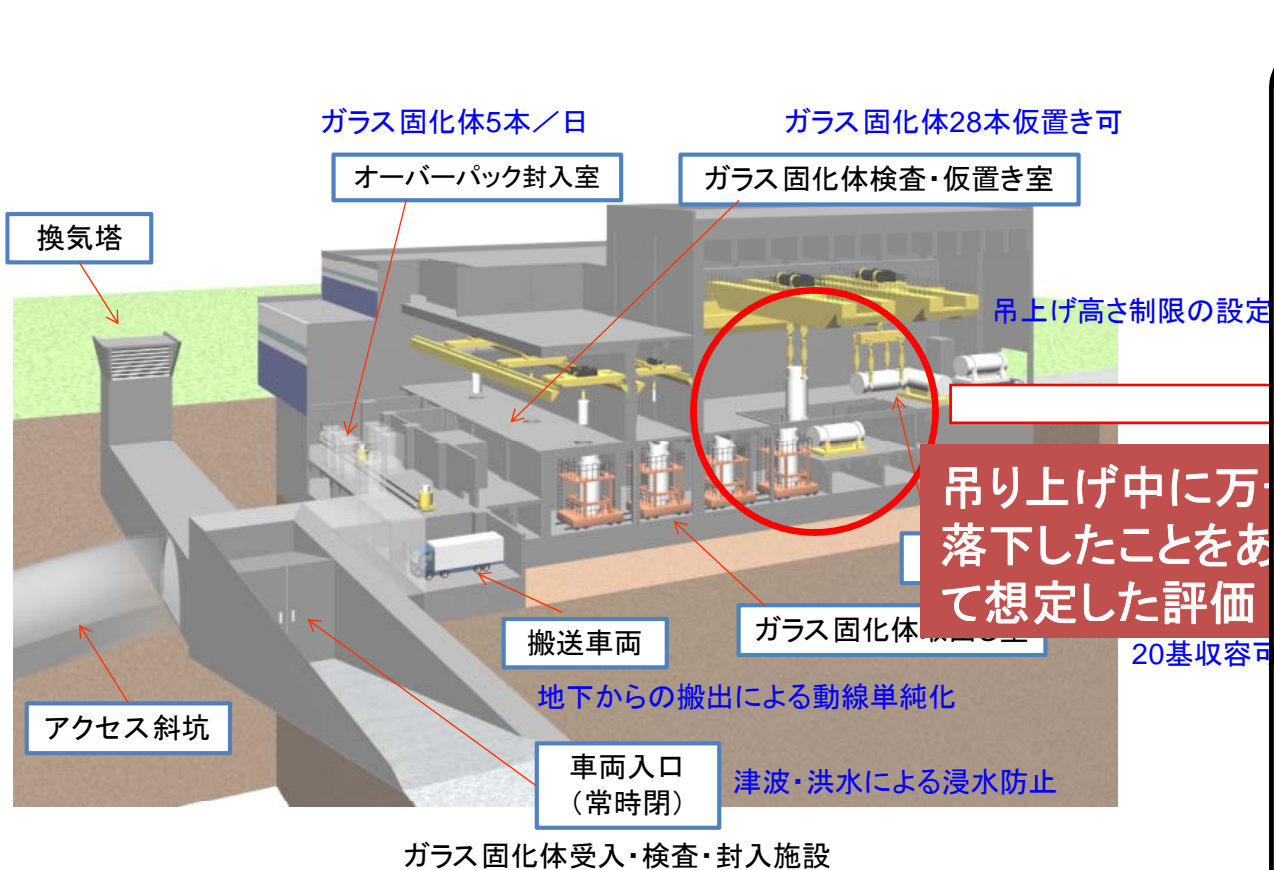
- 施設内に異常事象が発生し、設計した多重の安全対策が無効化することを想定したシナリオ
- 影響を解析的に評価

オーバーパックの落下事象のイベントツリーの例





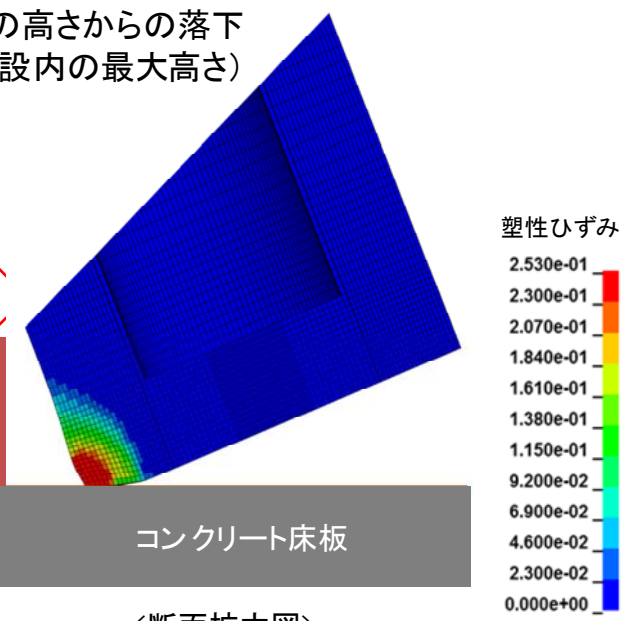
影響評価の例: オーバーパックの落下事象



吊り上げ中に万一
落下したことをあえて
想定した評価

オーバーパックの落下

9mの高さからの落下
(施設内の最大高さ)



コンクリート床板

<断面拡大図>

オーバーパック表面は変形するものの、貫通亀裂の発生には至らず、ガラス固化体への影響は考えにくい

閉鎖後長期の安全性の評価

■ 安全評価手法の高度化と信頼性の向上

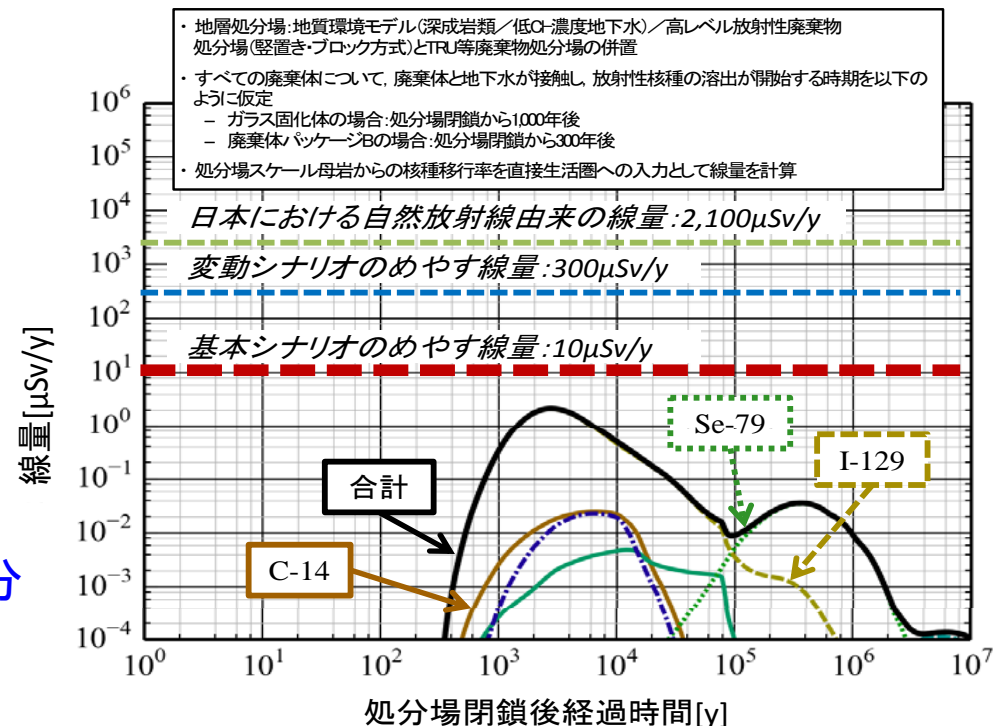
- 事象の発生可能性を考慮したシナリオの作成と分類手法の開発
- 安全評価モデルおよびデータセットの信頼性と実用性の向上
 - 人工バリアや地下施設の構造的な特徴, ニアフィールド※における地質環境モデルの特徴をできるだけ詳細に反映した三次元の物質移行モデルの開発
 - 核種移行解析のパラメータ設定に必要なデータベースの拡充など

※ニアフィールド: 人工バリアとその周辺岩盤

■ 安全評価の実施

- 三岩種の地質環境モデルを対象とした処分場の設計例に対して安全評価を実施
 - 発生する可能性が極めて小さい安全評価シナリオを想定した解析を含めて, 国際機関の勧告に基づいて設定しためやすの線量を下回る結果

高レベル放射性廃棄物+TRU等廃棄物併置処分
基本シナリオに対する解析ケースの評価例
(深成岩類, 低Cl⁻濃度地下水のケース)





安全評価シナリオ区分とめやすの設定

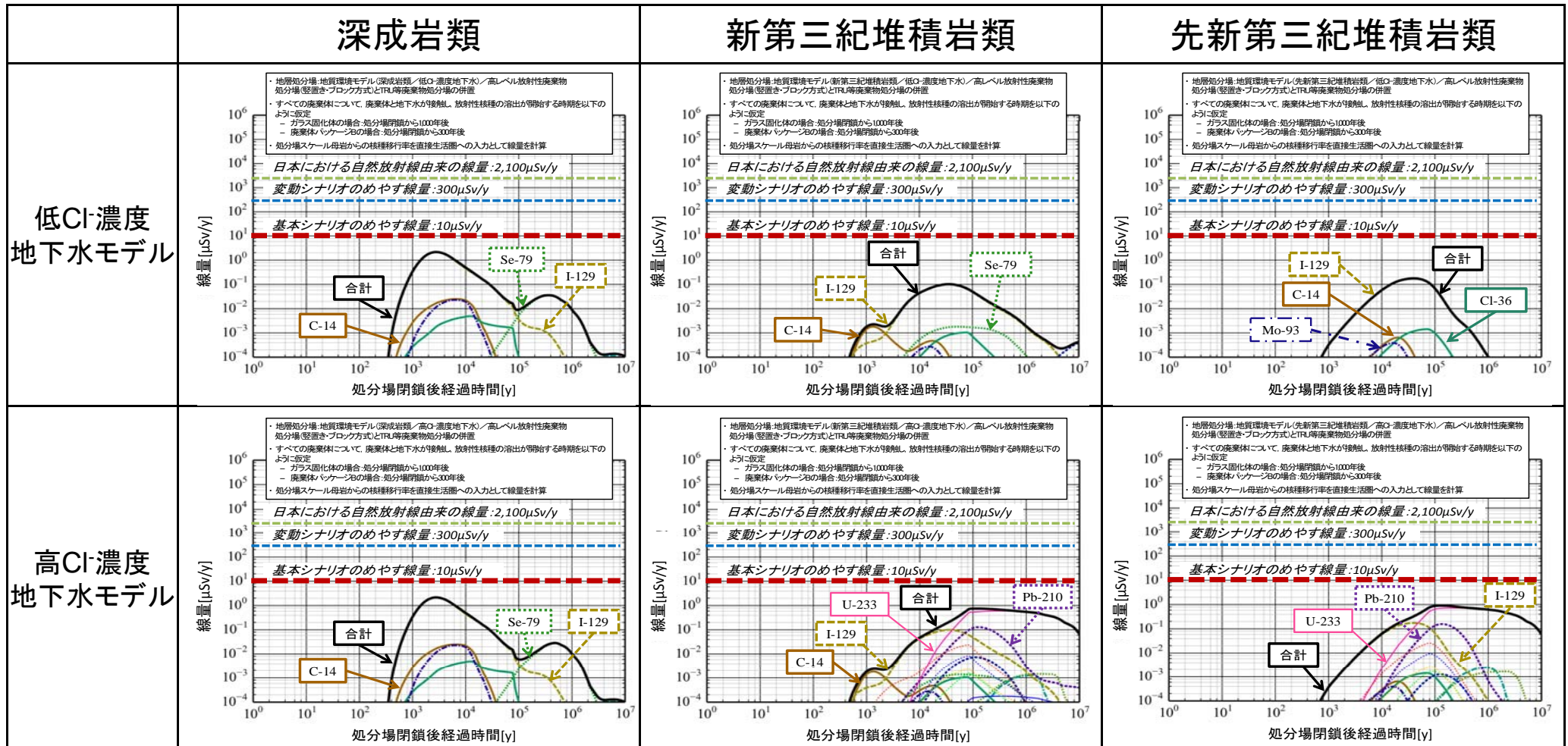
区分	考え方	めやす
基本シナリオ	<ul style="list-style-type: none">● 発生する可能性が高く通常起きるものと想定されるシナリオ● 通常発生すると考えられるシナリオに対しては可能な限り被ばく線量を抑えるように事業者として最大限の努力を行うものとし、諸外国の安全規制に適用されている基準の最小値を事業者の努力目標値として設定	10 μ Sv/y
変動シナリオ	<ul style="list-style-type: none">● 基本シナリオに対して、科学的知見に基づいて合理的に設定できる不確実性を考慮したシナリオ● 合理的に考えられる不確実性を考慮しても安全が確保できることを示すためにICRPで推奨された線量拘束値を「安全基準」として設定	300 μ Sv/y
稀頻度事象シナリオ	<ul style="list-style-type: none">● 発生可能性が極めて小さい自然事象にかかわるシナリオ● 極めて発生可能性が小さいシナリオが発生したとしても、著しい放射線学的影響がないことを示すためのシナリオであり、ICRPが示している同様のシナリオに対する被ばく状況の参考値の幅を適用	20-100 mSv(1年目) 1-20 mSv/y (2年目以降)
人間侵入シナリオ	<ul style="list-style-type: none">● 発生可能性が極めて小さい偶発的な人間侵入を想定したシナリオ● 人間侵入シナリオに対しても、著しい放射線学的影響がないことを示すためのシナリオであり、ICRPが示している同様のシナリオに対する被ばく状況の参考値の幅を適用	20-100mSv(1年目) 1-20mSv/y (2年目以降)

閉鎖後長期の安全評価に対する解析ケース

	No.	Name
基本シナリオの解析	1	基本ケース
	2	ガラス溶解速度の不確実性ケース
変動シナリオの解析	3	ハル・エンドピース腐食速度の不確実性ケース
	4	構造躯体の劣化に関する不確実性ケース
	5	硝酸プルームの広がりに関する不確実性ケース
	6	母岩の割れ目の連結性に関する不確実性ケース
	7	緩衝材への核種の収着分配係数の不確実性ケース
	8	緩衝材中の核種の実効拡散係数の不確実性ケース
	9	母岩への核種の収着分配係数の不確実性ケース
	10	母岩中の核種の実効拡散係数の不確実性ケース
	11	溶解度設定における温度影響の不確実性ケース
	12	溶解度制限固相の熱力学データの不確実性ケース
稀頻度事象シナリオの解析	13	新規火山発生の直撃を仮想したケース
	14	地下深部からの断層進展直撃を仮想したケース
人間侵入シナリオの解析	15	ボーリング作業従事者の被ばくを仮想したケース
	16	ボーリング孔による核種移行経路短絡を仮想したケース

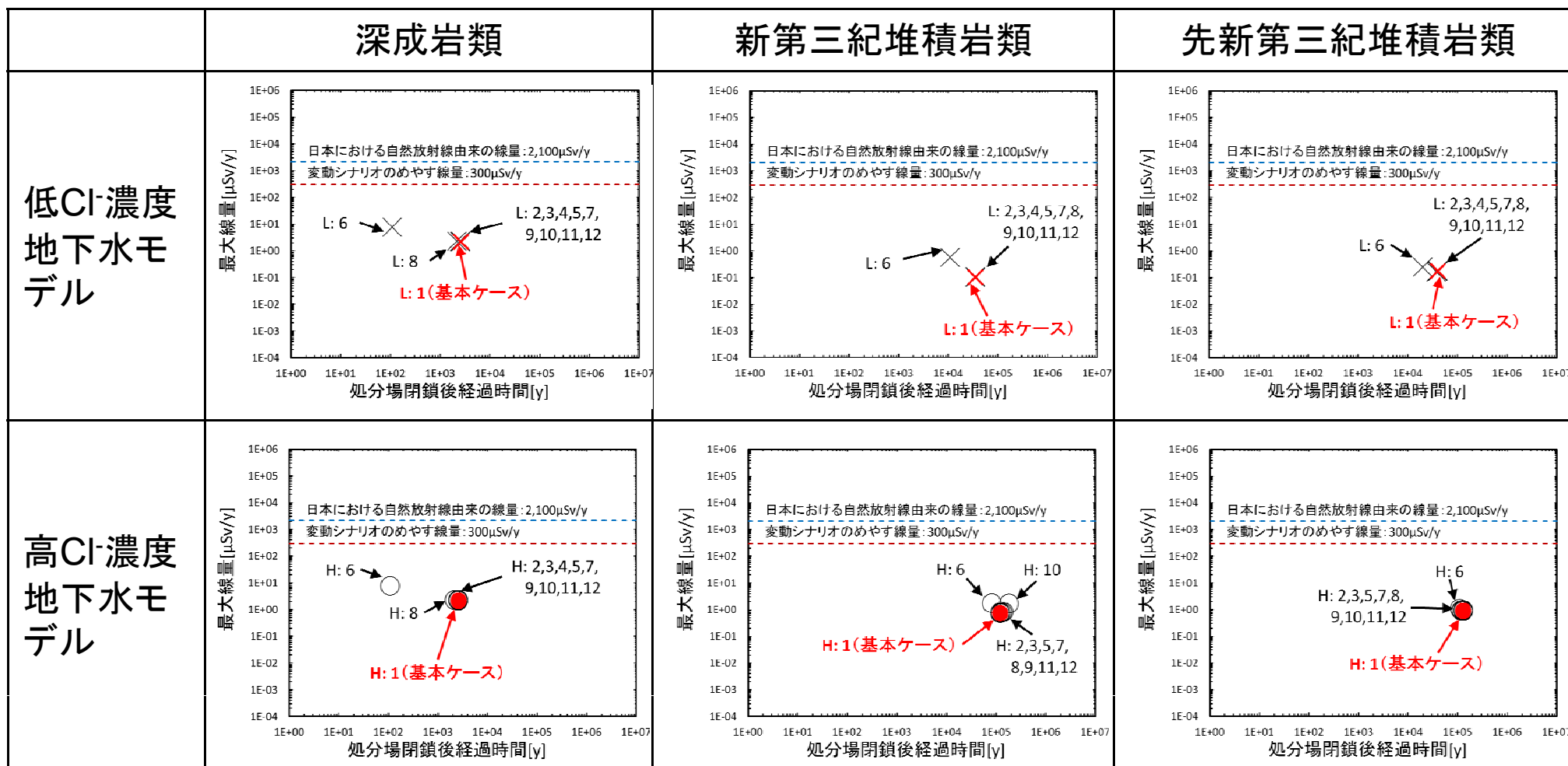
基本ケースの解析結果(高レベル放射性廃棄物+TRU等廃棄物)

最大線量の評価結果 $10 \mu\text{Sv/y}$ (「めやす」として設定した目標値)



変動ケースの解析結果(高レベル放射性廃棄物+TRU等廃棄物)

変動ケースの最大線量の評価結果 < 300 $\mu\text{Sv/y}$ (ICRPの勧告している線量拘束値)



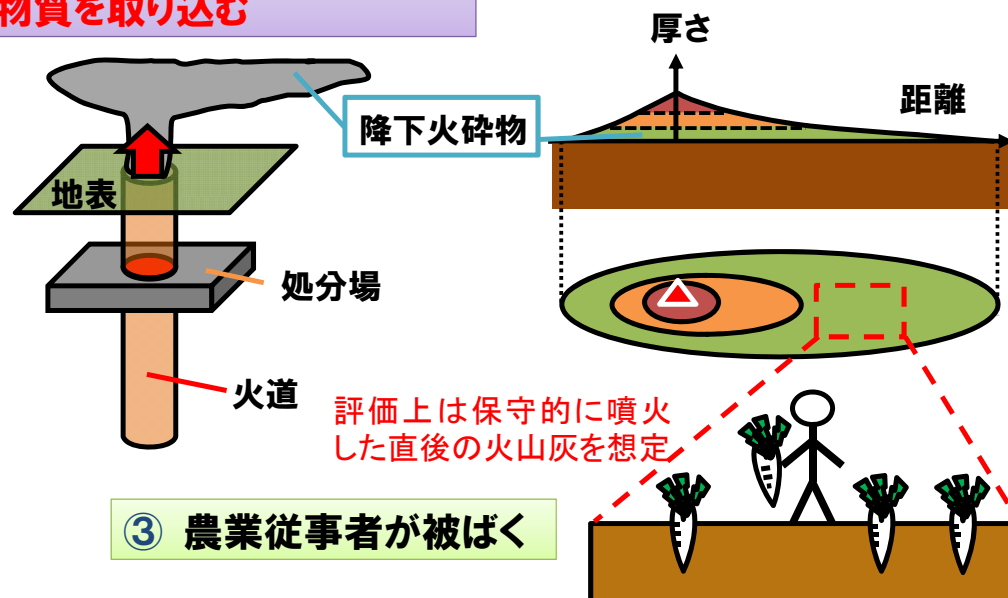
稀頻度事象シナリオの評価：新規火山発生ケースの例

シナリオの考え方

- 日本列島に沈み込むプレートの位置や運動方向・速度は約200万年前からほとんど変化がなく、火山の分布も過去からほとんど変化がない
- 火山・火成活動が及ぶ範囲を避けてサイトを選定しておけば、将来も火山・火成活動の影響を受けることは考えにくい
- 特に地質環境の安定性に関する不確実性が大きくなる将来10万年程度を超える期間において新たな火山・火成活動の発生を完全に否定することはできない

① 閉鎖後10万年後に処分場に貫入したマグマが放射性物質を取り込む

② マグマが地表に噴出し噴出物(火山灰)として堆積



- 線量の評価結果 0.09 mSv/y < 稀頻度事象シナリオの「めやす」線量 ($1\text{-}20 \text{ mSv/y}$)
- リスクの試算 $1 \times 10^{-12}/\text{y}$
 - 処分場が新たな火山の直撃を受ける確率 $2.5 \times 10^{-7}/\text{y}$ (ITM-TOPAZ Projectで開発した手法を適用: NUMO-TR-12-05, 2012)



セーフティケースの信頼性確保の取り組み

■ 評価基盤に関する信頼性

- 地質環境モデルの構築にあたり品質に留意して取得された地下深部のデータを活用
- モデルやデータセットの技術的な妥当性などについて、外部の専門家に確認を行いながら一連の検討を実施
- 不確実性への対処
 - 処分場の設計では、安全に裕度をもたせた設計を実施
 - 閉鎖後長期の基本シナリオの安全評価では、諸外国の安全規制で示されている最も厳しい線量基準(10 μ Sv/y)を事業者の目標として設定
 - 保守性に留意してシナリオ、モデル化やパラメータの設定を実施
- ナチュラルアナログによる傍証
 - 安全評価上の設定の保守性の確認
 - ✓ ガラス固化体の溶解速度: 100~200万年前の天然ガラスの存在
 - ✓ オーバーパック腐食速度: 地下に埋設された古代ローマ時代の鉄釘や古代遺跡からの鉄製出土品が長期間にわたりほぼ腐食せずに存在

■ 安全性に関する多面的議論

- 線量以外の補完的指標による処分場の安全性の検討
 - 処分場の放射能は10万年後にその元となった天然のウラン鉱石と同等以下に減衰
 - 基本シナリオの解析結果では、三種類の岩種とも処分後10万年時点で98~99%の放射能が処分場内に保持(閉じ込め機能の発揮)

第2次取りまとめおよび第2次TRUレポートからの主な進展

- 幌延・瑞浪を含む地下深部で実際に取得された情報に基づき、地下深部の状況（特に、断層・割れ目の特性など）がより実態に即して表現されたわが国の代表的な三種類の岩種の地質環境モデルを作成。これを対象とした処分場の設計と安全評価を実施したことで、わが国の多様な地質環境に対する地層処分技術の信頼性が向上
- 処分場の設計技術をより具体化・詳細化
 - 断層・割れ目への対処方法
 - 廃棄体の回収技術の具体化など
- 実規模大の実証試験が国内外で数多く蓄積されていることによって、工学技術の信頼性が向上
- 操業中における万一の異常状態の発生までを考慮した安全性について、定量的かつ詳細な評価を実施
- 閉鎖後長期の安全評価について、最新のデータベースに基づく核種移行パラメータの設定、三次元核種移行解析技術などの適用による安全評価の信頼性が向上



まとめと今後の予定

【まとめ】

- これまでの技術開発成果や科学技術的知見に基づく地質環境の調査・評価，処分場の設計，安全評価に係る一連の技術を適用し，安全な地層処分を実現するための方法をセーフティケースとして取りまとめるとともに，技術的信頼性や実用性をさらに向上するための技術課題を抽出
 - 本報告書は，今後の技術開発成果や，サイトが明らかになった場合はそのサイト固有の条件などを反映して，継続的に更新を行うセーフティケースの基本形として活用可能
 - 技術開発課題は，「地層処分研究開発に関する全体計画（平成30年度～平成34年度）」（地層処分研究開発調整会議，2018）と「地層処分事業の技術開発計画（2018年度～2022年度）」（NUMO-TR-18-01，2018）に反映

【今後の予定】

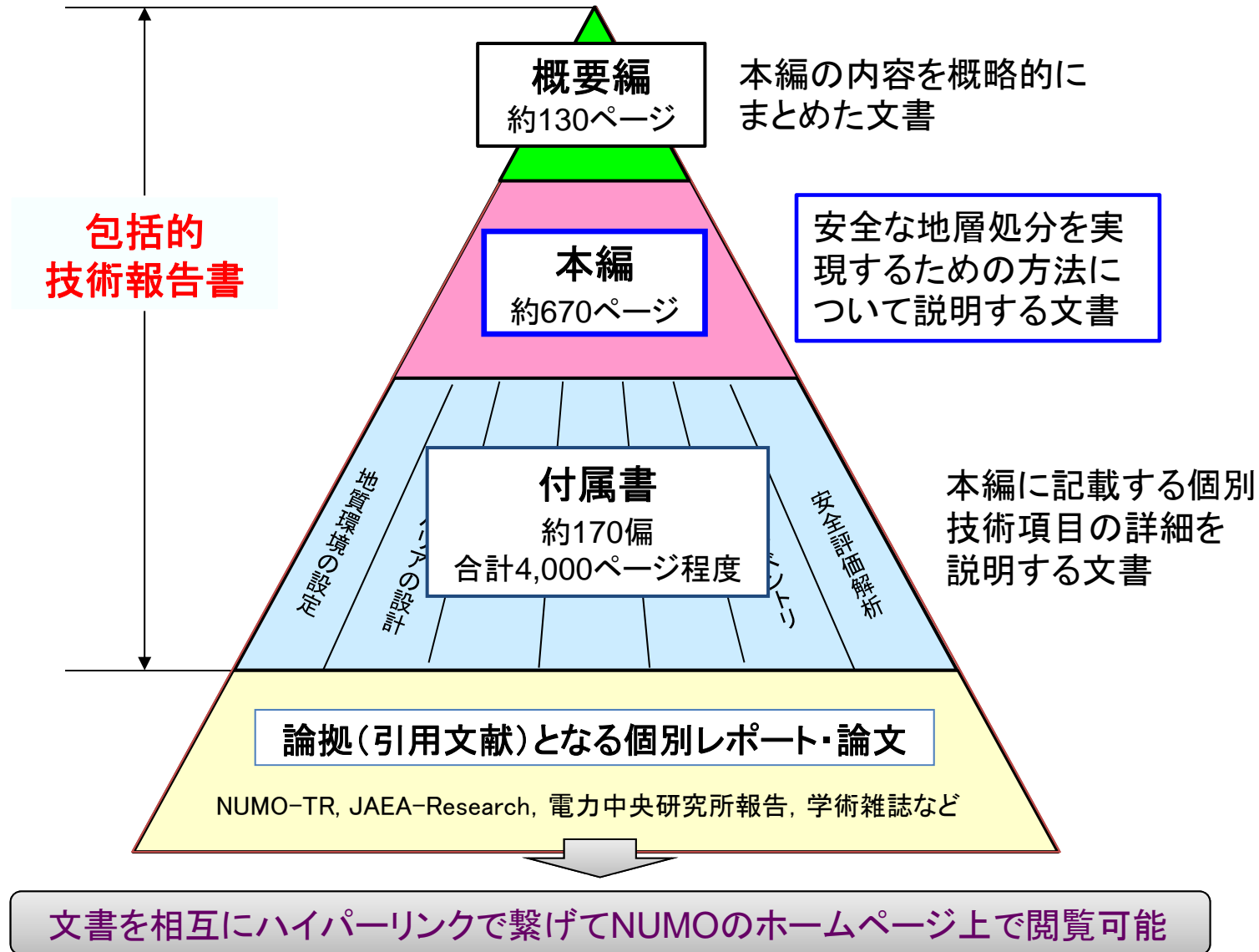
- 外部レビューによる包括的技術報告書の技術的信頼性の確認
 - 日本原子力学会によるレビュー（2018年12月～2019年9月）
 - 国際機関（OECD/NEA）によるレビュー（2019年冬～2020年夏頃を予定）
- 包括的技術報告書を活用した多様な技術分野の専門家とのコミュニケーション
 - 専門家を対象とした説明会の開催（2019年5月下旬）
 - 各学会等での講演，論文投稿など
- 非専門家を含む幅広い方々とのコミュニケーション
 - 成果報告会（テーマ「地層処分の安全性についてどのように対話を行うべきか」（仮題））の開催（2019年4月20日予定）



参 考



包括的技術報告書の文書構成




対象とする放射性廃棄物の種類と量

- 国の最終処分計画(2008)に基づき、以下の放射性廃棄物を処分できる処分場を想定
- 本報告書では両廃棄物を同一サイトで処分する**併置処分を想定**して検討を実施

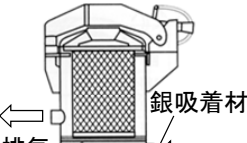
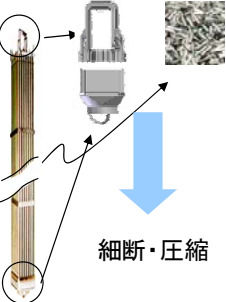
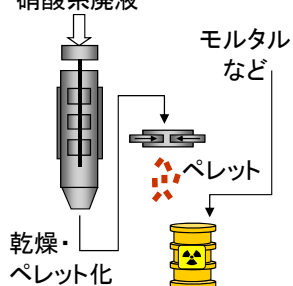


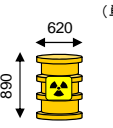
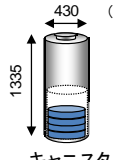
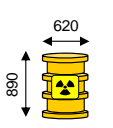
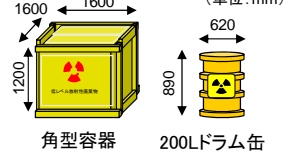
◆ 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体): 4万本以上(年間1,000本)

◆ TRU等廃棄物(地層処分低レベル放射性廃棄物): 19,000m³以上

ガラス固化体



【日本原燃製造の仕様】
 発熱量: 350 W(製造後50年)
 重量: 約 500 kg
 高さ: 1340mm
 直径: 430 mm
 ステンレス製容器厚さ: 6 mm
 表面線量: 約160 Sv/時間
 (製造後50年)

グループ	1	2	3	4	
				低発熱性L	発熱性H
概要	<p>廃銀吸着材</p>  <p>放射性的ヨウ素を除去する吸着材料</p>	<p>エンドピース ハル</p>  <p>細断・圧縮</p>	<p>濃縮廃液など 硝酸系廃液</p>  <p>乾燥・ペレット化</p> <p>モルタルなど ペレット</p>	<p>難燃性廃棄物</p>  <p>ゴム手袋 (焼却・圧縮)</p> <p>不燃性廃棄物</p>  <p>工具 金属配管</p>	
主な廃棄体の形態	<p>(単位: mm)</p>  <p>200Lドラム缶</p>	<p>(単位: mm)</p>  <p>キャニスタ</p>	<p>(単位: mm)</p>  <p>200Lドラム缶</p>	<p>(単位: mm)</p>  <p>角型容器 200Lドラム缶 その他(ハル缶, インナーバレル)</p>	
特徴	<ul style="list-style-type: none"> 放射性ヨウ素(I-129)を含む セメント固化体 	<ul style="list-style-type: none"> 発熱量が比較的大 放射性炭素(C-14)を含む 	<ul style="list-style-type: none"> 硝酸塩を含む モルタル, アスファルトによる固化体など 	<ul style="list-style-type: none"> 焼却灰, 不燃物 セメント固化体など 	
見込み発生量	319 [m ³]	5,792 [m ³]	5,228 [m ³]	5,436 [m ³]	1,309 [m ³]
最大発熱量(発生時点)	1 [W/本]未満	90 [W/本]未満	1 [W/本]	16 [W/本]	210 [W/本]



検討対象とする母岩の設定

- 日本地質学会がわが国の岩種を7種類に分類。このうち、処分場の設置に適さないと想定される2岩種(強度が小さい第四紀堆積岩類, 火山近傍に分布する第四紀火山岩類)を除いた5岩種について、幌延・瑞浪を含む**全国規模の地質環境の公開情報に基づいて特性を整理**
- 5岩種のうち、地下深部に広く分布し、特徴の異なる**深成岩類, 新第三紀堆積岩類, 先新第三紀堆積岩類**を検討対象母岩に設定

時代	新第三紀	先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	
岩種	堆積岩類	堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
地表分布比(%)	11	33	10	16	7
深度500m分布面積比(%)	15	35	15	20	5
深度1000m分布面積比(%)	10	45	10	25	10
水みちの構造	粒子間隙 割れ目	割れ目 層理面 粒子間隙	割れ目 粒子間隙	割れ目 岩脈	割れ目 片理面
透水係数の代表値(m/s)	3×10^{-7}	5×10^{-7}	2×10^{-7}	5×10^{-8}	9×10^{-7}
有効間隙率の代表値(%)	25~26	4~7	5~8	0.8~1	1~7
熱伝導率の代表値(W/m K)	1.7~1.8	1.4~1.5	2.4~2.5	2.8~2.9	3.3
一軸圧縮強さの代表値(MPa)	9~28	74~90	92~106	109~111	26~46
化学的緩衝能	大	大	小	小	小
【参考】第2次 取りまとめにお ける区分	地質学的分類	堆積岩系		結晶質岩系	
	設計・安全評 価上の分類	軟岩 多孔質媒体		硬岩 亀裂性媒体	

(参考)地質時代

