

包括的技術報告書(レビュー版)の概要

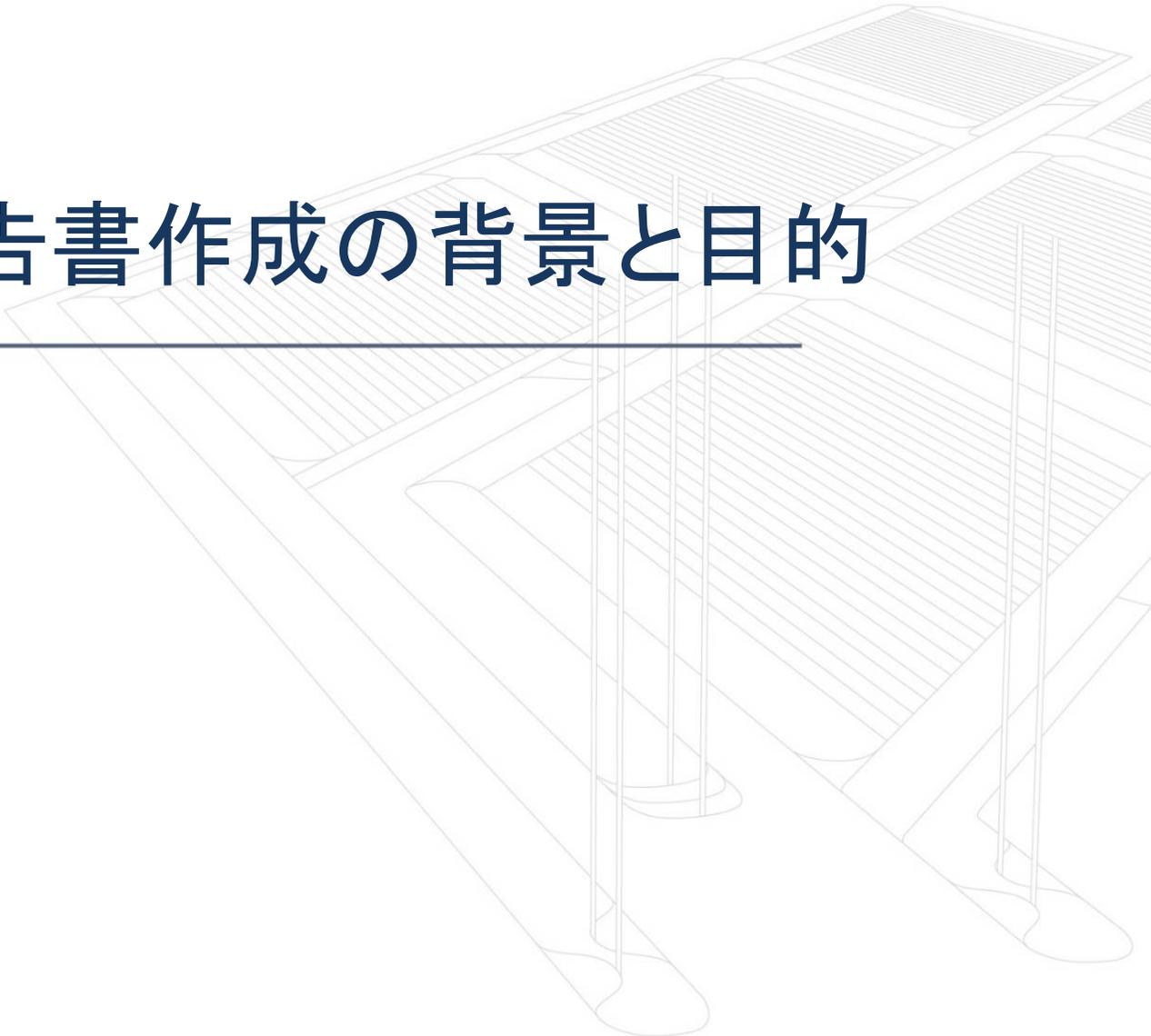
「包括的技術報告:わが国における安全な地層処分の実現
—適切なサイトの選定に向けたセーフティケースの構築—」

2018年 11月21日

原子力発電環境整備機構(NUMO)



包括的技術報告書作成の背景と目的



わが国における地層処分事業に係わるこれまでの経緯(1/3)

● 1999年 「第2次取りまとめ」※1公表

- ✓ 30年以上にわたる研究開発成果を取りまとめ、核燃料サイクル開発機構(現JAEA)がわが国で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。
- ✓ 2000年、原子力委員会はこれを地層処分の事業化に向けての技術的拠り所になると評価。

※1:「わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 —地層処分研究開発第2次取りまとめ—」, 核燃料サイクル開発機構(現日本原子力研究開発機構), 1999.

● 2000年 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(最終処分法)成立 原子力発電環境整備機構(NUMO)設立。事業開始

● 2001年 深地層研究の開始

- ✓ 深地層における体系的な研究を行うため、核燃料サイクル開発機構(現JAEA)により2001年 幌延深地層研究センター、2002年 瑞浪超深地層研究所が開所。国の基盤研究として堆積岩および結晶質岩に対する深地層研究がスタート。

● 2002年 公募開始

- ✓ NUMOは公募関係資料を整備し、全国の市町村を対象に「最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募を開始。

わが国における地層処分事業に係わるこれまでの経緯(2/3)

● 2005年 「第2次TRULレポート」※2公表

- ✓ 電事連・核燃料サイクル開発機構(現JAEA)がTRU等廃棄物処分の技術的成立性や安全性の見通しなどについて取りまとめた「第2次TRULレポート」を公表。

※2:「TRU 廃棄物処分技術検討書 ー第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめー」, 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構, 2005.

● 2007年 地層処分対象にTRU等廃棄物追加

- ✓ 「第2次TRULレポート」を踏まえて最終処分法が改正。TRU等廃棄物(地層処分相当低レベル放射性廃棄物)の処分がNUMOの事業に追加。

● 2011年 東京電力福島第一原子力発電所事故発生

- ✓ 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が発生。これを踏まえて, 科学技術の限界の自覚(日本学術会議)※3, 最新の知見を反映した定期的な地層処分の実施可能性の調査研究とその成果の国民との共有の必要性(原子力委員会)※4などの指摘あり。

※3:「回答 高レベル放射性廃棄物の処分について」, 日本学術会議, 2012

※4:「今後の高レベル放射性廃棄物地層処分に係る取組について(見解)」, 原子力委員会, 2012

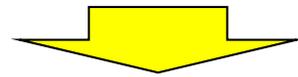
わが国における地層処分事業に係わるこれまでの経緯(3/3)

- 2013年 原子力小委員会の下に、専門の作業部会(放射性廃棄物WG, 地層処分技術WG)を設置
 - ✓ 地層処分技術WGにおいて、最新の科学的知見を踏まえてもわが国に好ましい地質環境が存在し選定できる見通しがあることが再確認された。
 - ✓ 放射性廃棄物WGにおいて、地層処分を進めることは有力な対処方策であること、地層処分の技術的信頼性について定期的かつ継続的に評価・反映することの必要性などが再確認された。
- 2015年 最終処分基本方針の改定
 - ✓ 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する基本方針」(最終処分基本方針)が改定。可逆性・回収可能性の担保, 国が科学的有望地を提示することなどが盛り込まれた。
- 2017年 「科学的特性マップ」公表
 - ✓ 地層処分についての国民の関心や理解を深めていくため、全国的なデータに基づき、地層処分を行う場所を選ぶ際にどのような科学的特性を考慮する必要があるのか、それらは日本全国にどのように分布しているかといったことを大まかに俯瞰して示した「科学的特性マップ」を国が提示。

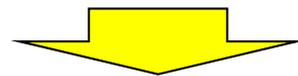
包括的技術報告書作成の目的

- 「第2次取りまとめ」(1999年)から19年が経過し、地層処分にかかわる科学的知見や、関係研究機関(JAEAなど)およびNUMOによる技術開発成果が蓄積。
- 国が提示した「科学的特性マップ」に基づき、NUMOがサイトの選定活動を推進していくにあたっては、NUMO自らがどのようにして安全な地層処分を実現していくのかを社会に示し、地層処分事業に対する国民の皆様からの信任を得ていくことが、これまでに増して重要と認識。

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て、**地層処分の実施主体として、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として取りまとめる。**



安全な地層処分の実現に向けた技術やそれを支える科学的知見を包括的に示した報告書(包括的技術報告書)を作成。

包括的技術報告書において示す内容

① どのようにして適切な地質環境を選ぶのか

- わが国の多様な地質環境の中から、放射性廃棄物を長期にわたって人間の生活環境に有意な影響を与えないよう隔離し、閉じ込めるために必要な条件を備えた**適切な地質環境を選定するための調査・評価技術を示す。**

② どのように安全性を確保した処分場をつくるのか

- わが国における**地下深部の地質環境の特徴を反映した地質環境モデルを提示する。**また、この地質環境モデルに対して**所要の安全機能を有する処分場の設計を行う。**また、処分場を建設・操業・閉鎖するための技術を示す。

③ 処分場が安全であることをどのように確認するのか

- この処分場を対象として、**処分場の閉鎖前および閉鎖後の長期間にわたる安全性について、解析によって評価する。**

④ 地層処分の信頼性をさらに向上させるために今後何をしていくべきか

- 以上のような地質環境の調査・評価、処分場の設計、安全評価にかかわる最新の技術を適用した一連の作業を通じて、**さらなる信頼性向上に向けた技術課題の抽出とこれらに対する今後の取り組みについて示す。**

セーフティケースとしての包括的技術報告書の作成

- 地層処分を進める諸外国では、「なぜ安全な処分場を構築できるといえるのか」を説明する技術的な論拠・根拠を総合的に取りまとめた「セーフティケース」を事業の実施主体が作成し、社会に提示することが主流になってきている。
- NUMOは、サイト調査が進み、その場所の地質環境情報などが具体化することなどに応じてセーフティケースを更新していく計画。
- 包括的技術報告書は、その「ひな形」とすべく、国際的なスタンダードに倣って安全な地層処分を実現するための方法が説明できるよう、国際機関（OECD/NEAなど）が示すセーフティケース作成の考え方^{※6}を参照して作成。

※6: 例えば, OECD/NEA(2013): The nature and purpose of the post-closure safety cases for geological repositories, NEA/RWM/R などのレポートに示されている。

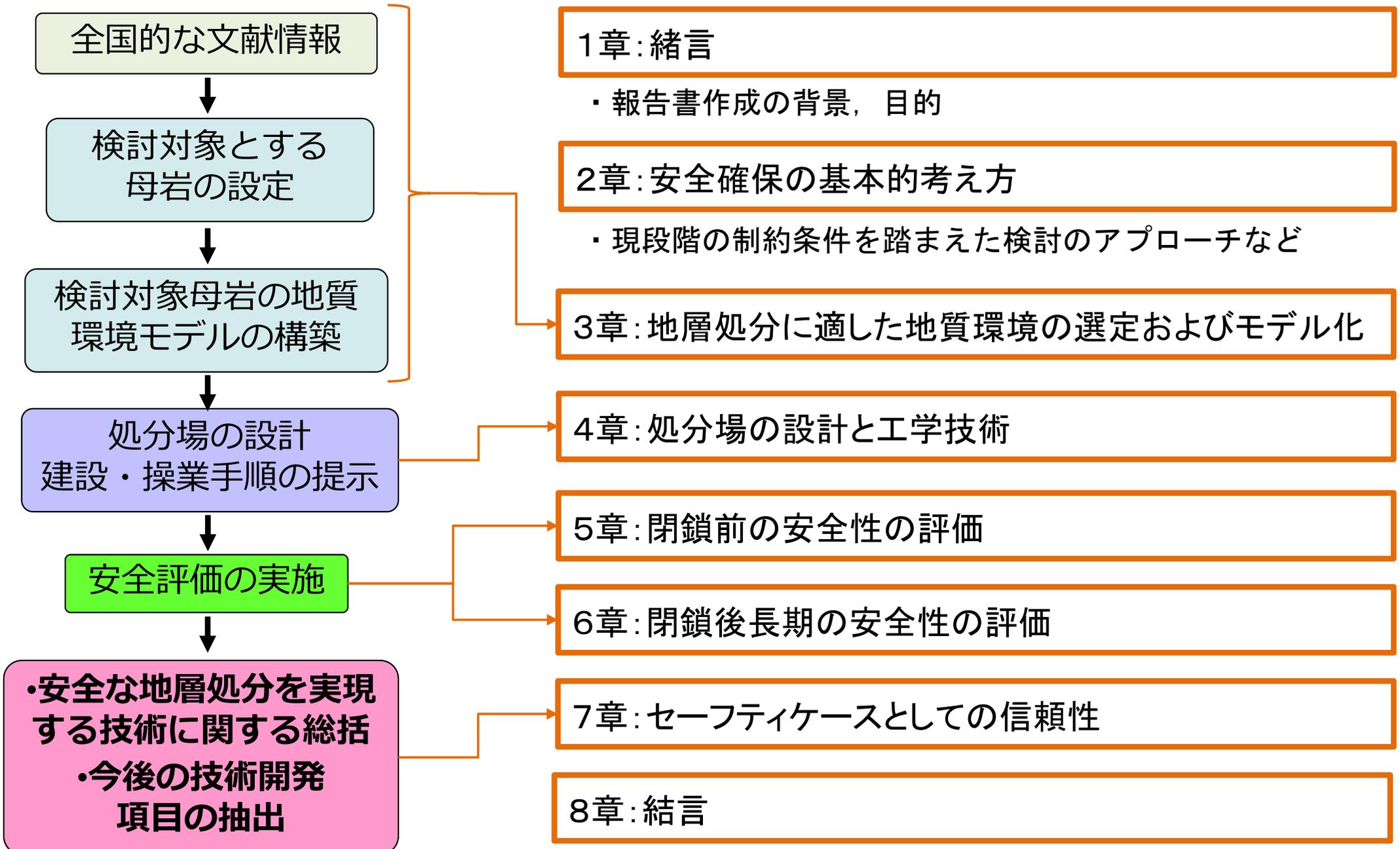
包括的技術報告書タイトル:

「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 —」

【参考】セーフティケース(Safety case)とは

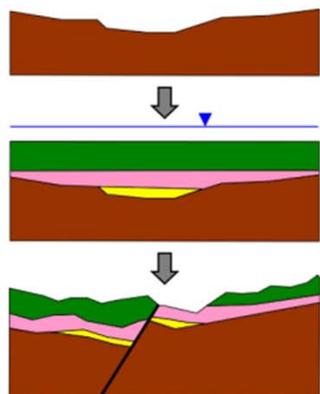
- 「ある施設または活動の安全を裏付ける論拠および証拠を収集したもの」(IAEA用語集)。地層処分をどうして安全に実施できると言えるのかについて、技術的な論拠や根拠に基づき事業の実施主体が論を尽くして説明する。
- 地層処分の長期安全性に対する信頼を確かなものとしていくため、事業の各段階において、その時点の最新の科学的知見を反映して繰り返し更新する。段階的な意思決定において、ステークホルダー(規制機関, 国, 国民など)が「次の段階に進んでよいか？」を判断する材料となる。
- セーフティケース(Safety case)という用語の発祥は英国。地層処分の分野のみならず、システムの安全性を説明する概念として、他の産業分野においても国際的に用いられている。
- “case”の意味は「討論や論争あるいは訴訟事件の一方の当事者を支援する一連の事実や論拠」(Oxford辞典)とされており、元々は裁判で使われる証拠を意味する。
- 単に安全性を評価した解析結果を示すだけでなく、安全性を確保するために施設にどのような機能が必要と考えているのか、安全性をどのように確保しようとしているのか、安全評価の結果は信頼性があるとどうしていえるのか、などを体系的に示すことが必要とされる。

検討の流れと報告書の章構成

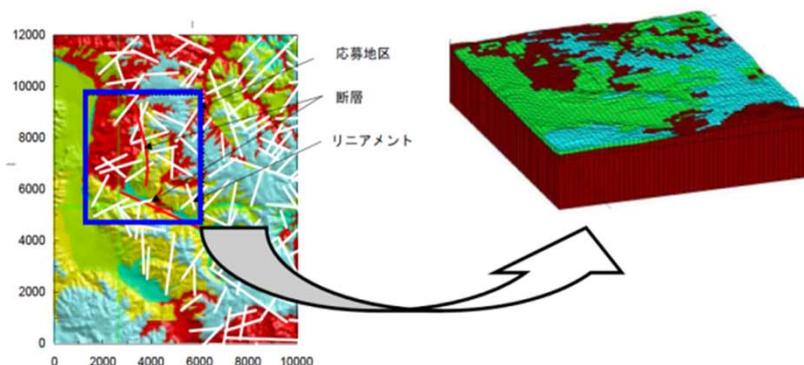


地質環境モデル (Site Descriptive Model) とは

地質構造の概念モデル
(地質構造発達史)

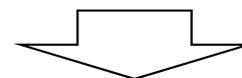


地質構造モデル

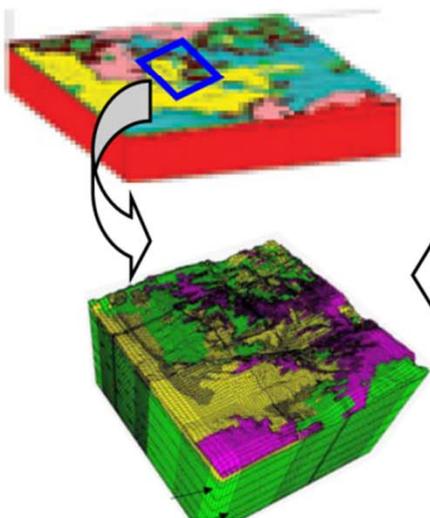


「地質環境モデル」:

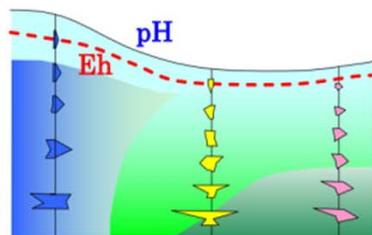
調査で得られた地質環境の情報・データに基づいて、サイトの地質構造や熱・力学・水理・化学的な特性の空間的な分布や時間的な変化を表現したもの



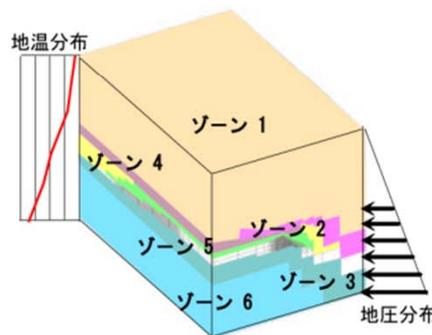
水理地質構造モデル



地下水化学モデル



岩盤特性モデル

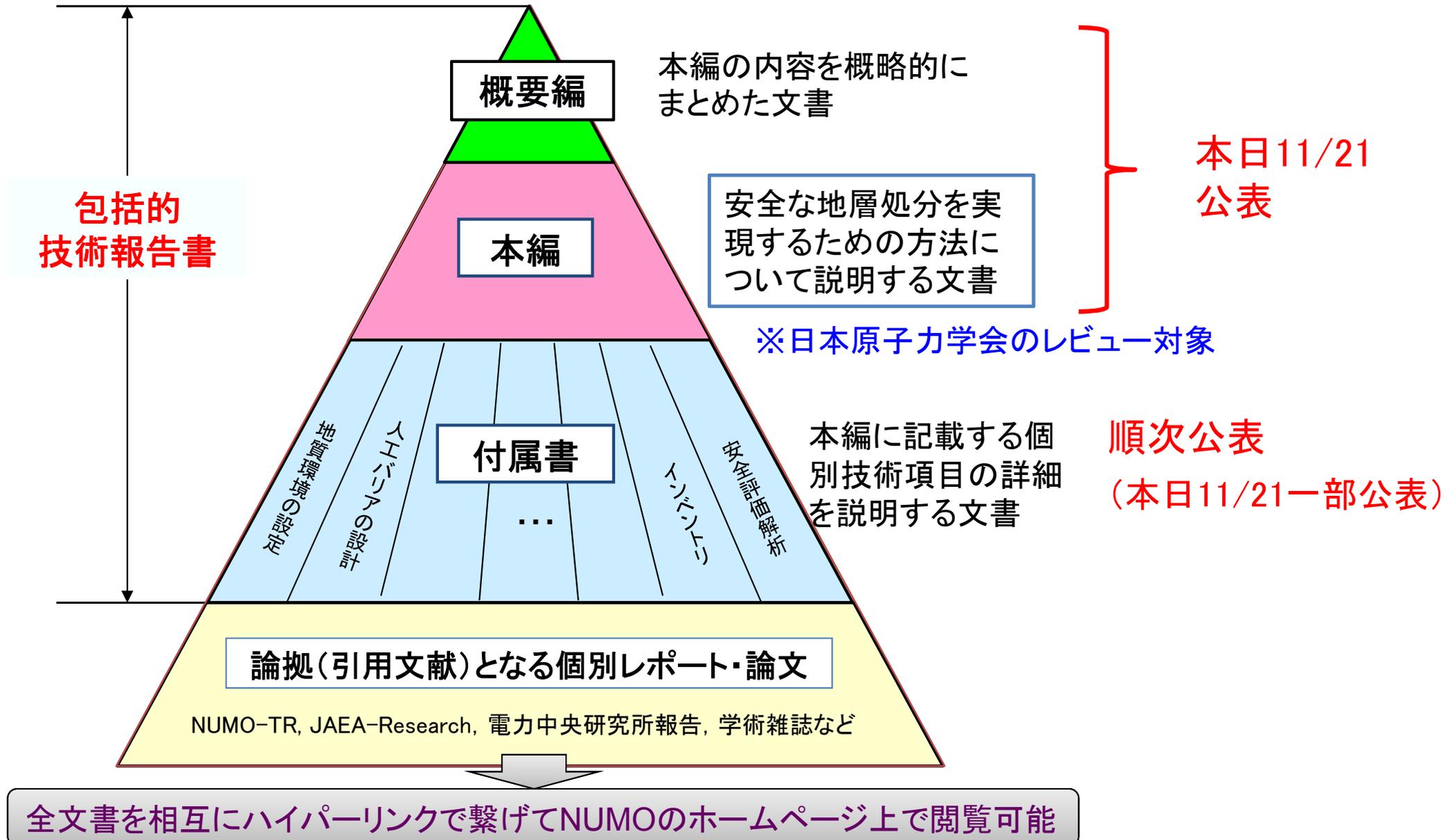


処分場の設計および安全評価を行うための「場」となる

現段階ではサイトがないため、包括的技術報告書ではJAEA 幌延・瑞浪を含む全国で得られている最新の地質環境情報をもとに、わが国の代表的な3種類の岩種に対する地質環境モデルを作成

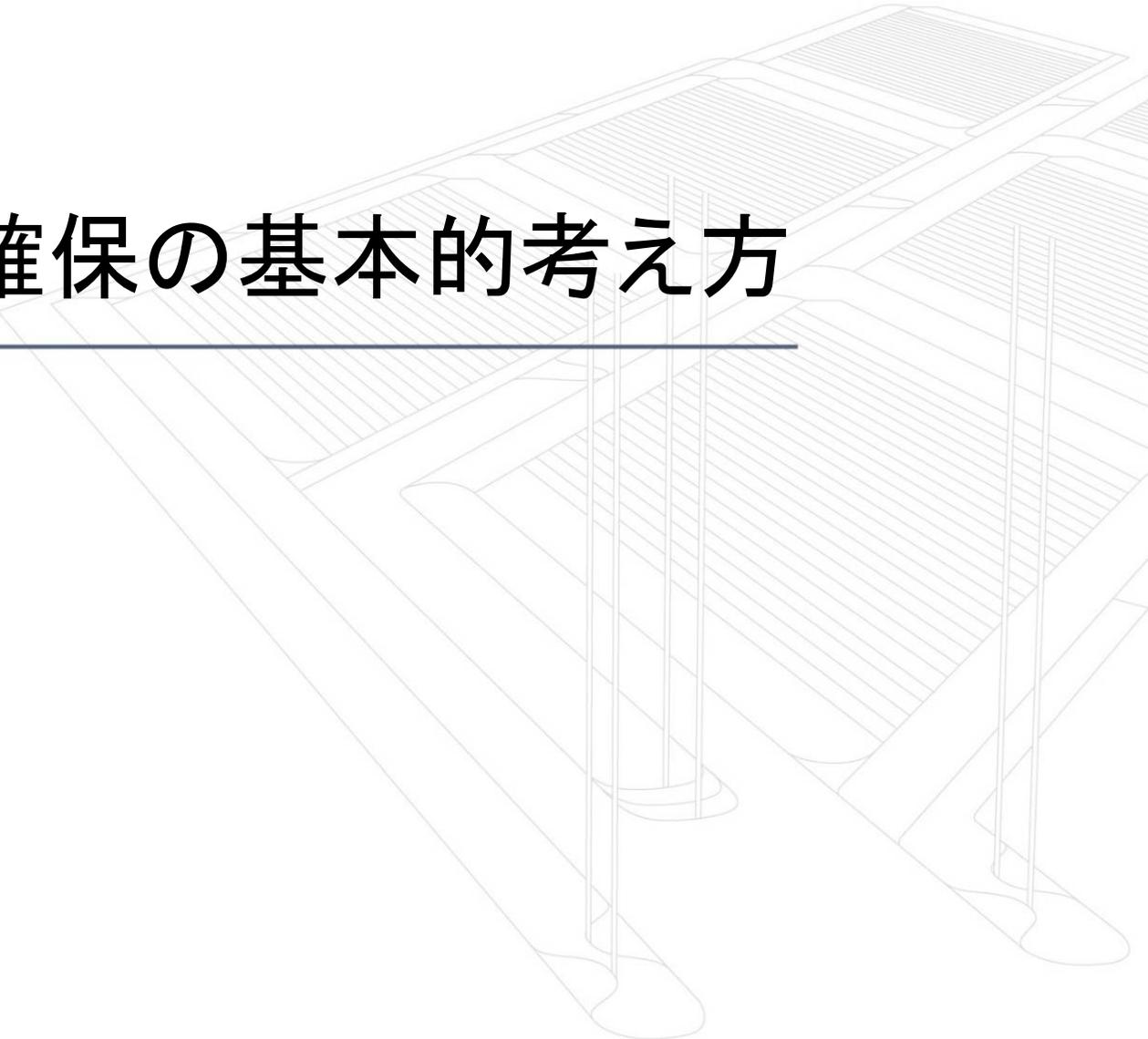
報告書の文書構成

※対象読者は地層処分の専門家





第2章 安全確保の基本的考え方



地層処分事業を規定するさまざまな要件を考慮して、地層処分の安全確保に向けた基本的な考え方を提示。

① わが国の地層処分において考慮すべき要件の整理

1. 対象とする放射性廃棄物はどのようなものか
2. どのような安全機能を有する処分場をつくらうとしているのか
3. いつまでの時間スケール、どの程度の空間スケールを対象として安全性を確保するのか
4. 事業を進めるうえで法令等により規定されている事項は何か(最終処分法, 原子炉規制法, 環境関連の法令など)

② これらの要件を踏まえて、安全確保の基本的な考え方 (Safety strategy[※])を提示

1. サイト選定の基本的考え方
2. 処分場の設計の基本的考え方
3. 安全評価の基本的考え方
4. 事業のマネジメントの基本的考え方(品質管理, 知識・情報マネジメント, 人材確保・育成, 技術開発など)

※事業の段階ごとに、事業者がどのような方策をもって安全な地層処分を達成しようとしているのかを示す事業の方針

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

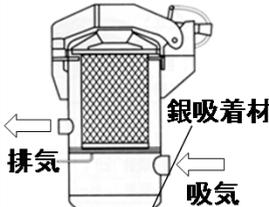
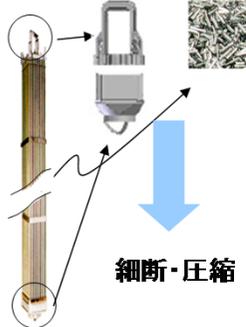
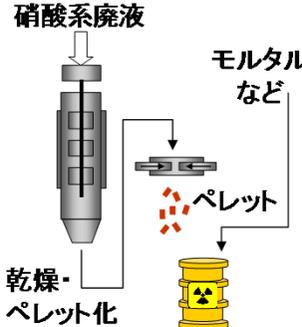
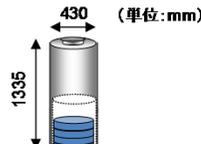
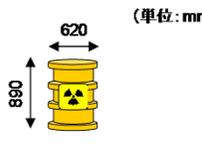
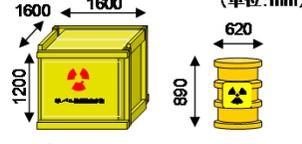
◆ 高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体): 4万本以上(年間1,000本)

◆ TRU等廃棄物(地層処分相当低レベル放射性廃棄物): 19,000m³以上

ガラス固化体

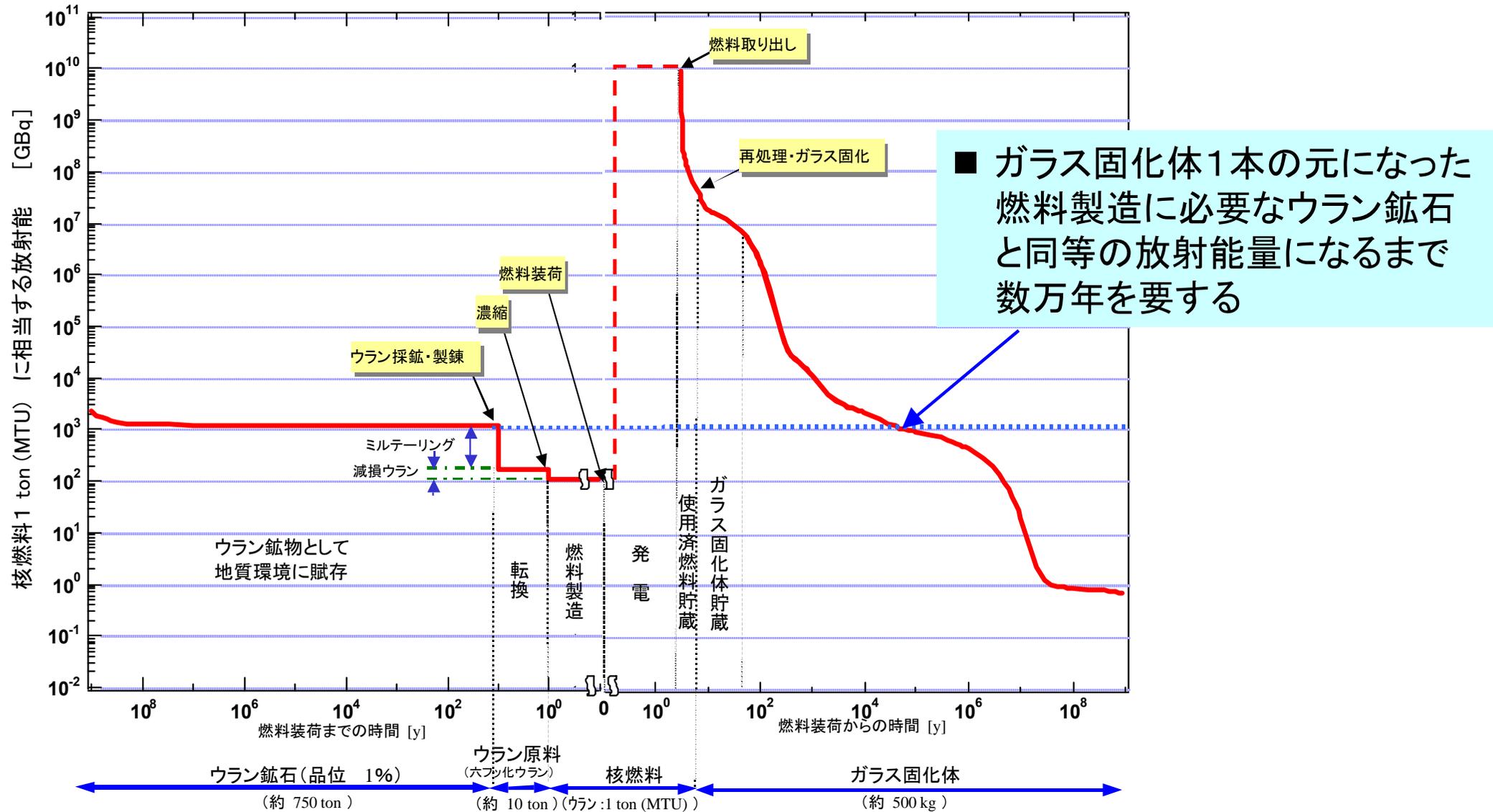


【日本原燃製造の仕様】
 発熱量: 350 W(製造後50年)
 重量: 約 500 kg
 高さ: 1340mm
 直径: 430 mm
 ステンレス製容器厚さ: 6 mm
 表面線量: 約160 Sv/時間
 (製造後50年)

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) 200Lドラム缶</p>	 <p>(単位:mm) キャニスタ</p>	 <p>(単位:mm) 200Lドラム缶</p>	 <p>(単位:mm) 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]

ガラス固化体が有する放射能の時間的変化

時間の経過に伴い放射能は減衰するが、長期間にわたり残存する

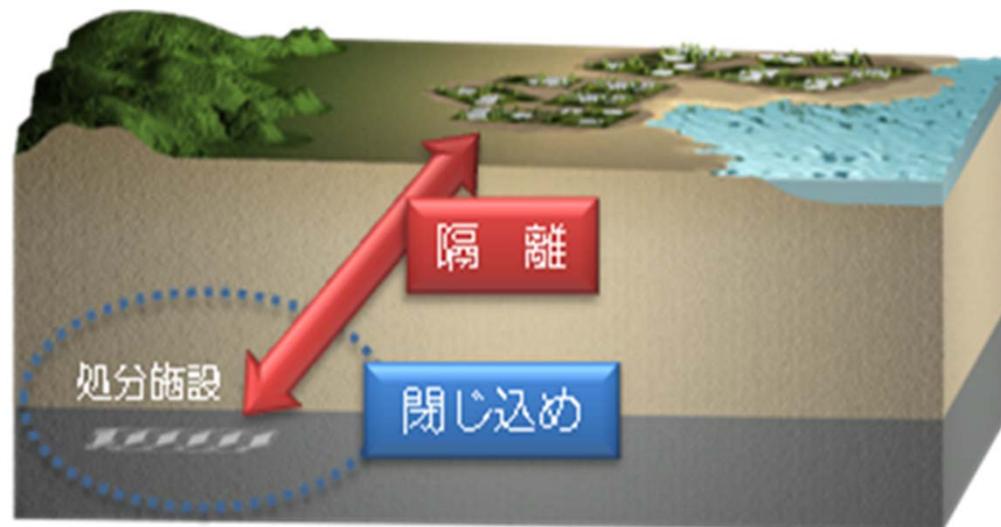


「第2次取りまとめ」(1999)より引用

地層処分の基本原理(放射性物質の隔離と閉じ込め)

地下深部の一般的な特徴

- 人間の活動や地上でのさまざまな自然現象の影響を受けにくい
- 地下水の流れが極めて遅く、物質の移動速度が小さい
- 酸素がないため腐食や溶解といった物質の変化が起こりにくい



- ➡
- 本来的に放射性廃棄物を人間の生活環境から物理的に隔離する機能、廃棄物から地下水中への放射性物質の溶解や移行を抑制し、地下深部に閉じ込める機能を有する。
 - 地震・断層活動や火山活動が活発なわが国でも一般的に観測される事実

地層処分の基本原理

- 地下深部の地質環境が有する天然のバリア機能に人工的なバリアを組み合わせた多重バリアを構築し、長期間にわたって放射性物質を処分場周辺に閉じ込める。
- これにより、放射性物質が地表に到達するとしても非常に長い時間がかかり、その間に放射能が減衰し、将来の人間が放射線の影響を受けるリスクは十分に低くなる。

処分場に求められる安全機能(①処分場の閉鎖前)

○放射線防護に関する安全機能

基本概念	安全機能	説明
作業時 閉じ込め	廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止	作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こと
	施設外への放射性物質の放出の防止	作業期間中において放射性物質取り扱い施設からの放射性物質の放出を防止すること
放射線 遮へい	放射線の遮へい	廃棄体からの外部放射線による空間線量率を遮蔽により低減すること

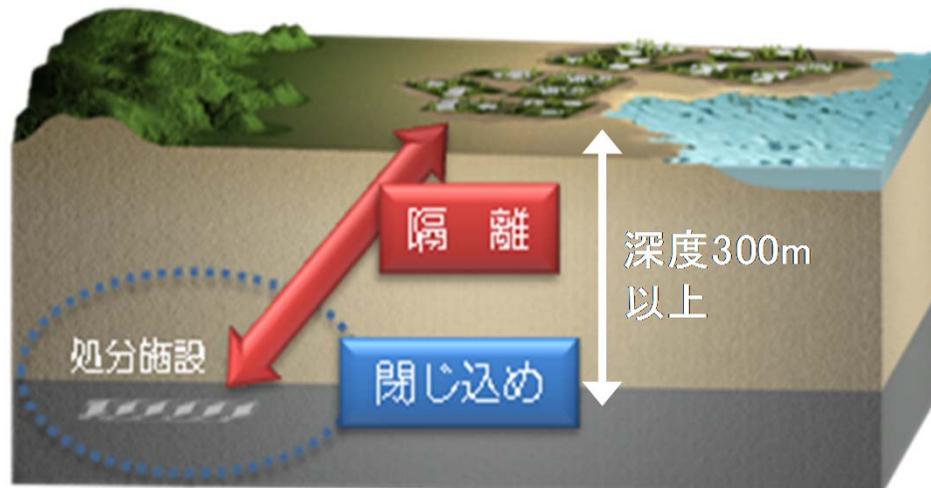
○一般労働安全に関する安全機能

基本概念	安全機能	説明
労働災害 防止	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 維持	作業環境の維持	労働に適する環境を維持すること

○処分場周辺的环境保全に関する機能（水質汚染防止，騒音振動防止，生態系保全など）

処分場に求められる安全機能(②処分場の閉鎖後長期)

基本概念	安全機能	説明
隔離	自然現象の著しい影響からの防護	自然現象の著しい影響により廃棄物が地表に接近あるいは露出しないように防護すること
	人の接近の抑制	人が特殊な技術を用いることなしに、廃棄物への偶発的な接近を困難にすること
閉じ込め	放射性物質の溶出抑制	廃棄体からの放射性物質の溶出を抑制することで、地下水への放出率を低下させること
	放射性物質の移行抑制	溶出した放射性物質の移行を抑制することにより、放射性物質の移行率を低下させること



処分場の概念

本報告書では、わが国でこれまで技術開発と知見の蓄積が進められてきた「第2次取りまとめ」、「第2次TRUレポート」で提示された処分場概念を出発点として検討する。

高レベル放射性廃棄物処分場の人工バリアと期待する安全機能

TRU等廃棄物処分場の人工バリアと期待する安全機能

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)

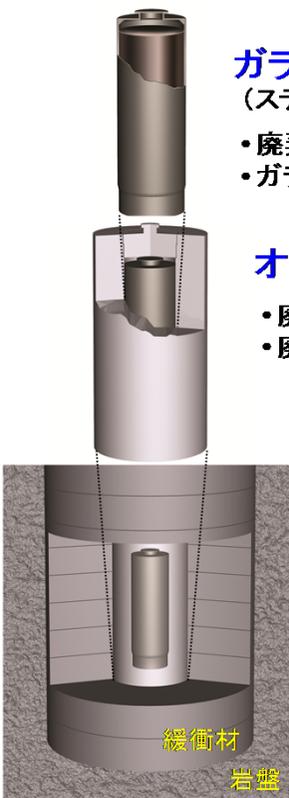
- ・廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止
- ・ガラスマトリクスによる溶出の抑制

オーバーパック (金属製の容器)

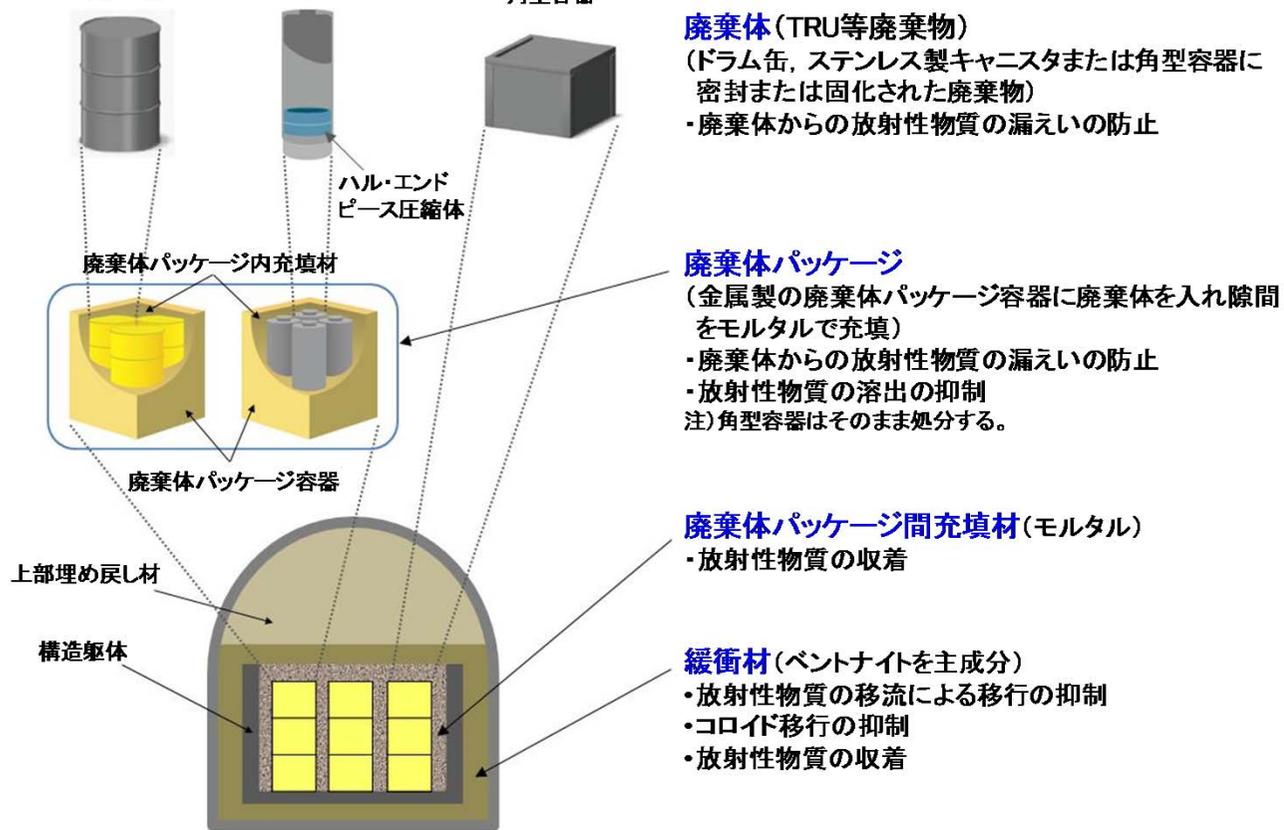
- ・廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止
- ・廃棄体と地下水の接触の防止

緩衝材 (ベントナイトを主成分)

- ・放射性物質の移流による移行の抑制
- ・コロイド移行の抑制
- ・放射性物質の収着



ドラム缶 ステンレス製キャニスタ 角型容器



廃棄体 (TRU等廃棄物)

(ドラム缶、ステンレス製キャニスタまたは角型容器に密封または固化された廃棄物)

- ・廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止

廃棄体パッケージ

(金属製の廃棄体パッケージ容器に廃棄体を入れ隙間をモルタルで充填)

- ・廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止
- ・放射性物質の溶出の抑制

注) 角型容器はそのまま処分する。

廃棄体パッケージ間充填材 (モルタル)

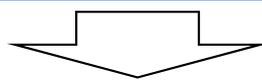
- ・放射性物質の収着

緩衝材 (ベントナイトを主成分)

- ・放射性物質の移流による移行の抑制
- ・コロイド移行の抑制
- ・放射性物質の収着

安全確保の基本的な考え方

- 処分場に重大な影響を与えるおそれのある自然事象(活断層や火山活動など)が及ぶ範囲を避けて、**バリア機能が期待できる好ましい地質環境を有するサイトを慎重に選定する。**
- そのような地質環境に対して、**将来の変化も考慮して、十分な安全裕度を持たせて処分場(人工バリアや地下施設など)を設計する。**例えば、
 - オーバーパックの腐食試験データのうち、腐食速度が大きいデータをあえて用いて将来の腐食量を評価し、それでも余裕のあるオーバーパックの厚さを設定する。
 - 緩衝材が将来、変質して透水性が上昇することを見越し、変質が見込まれる厚さより十分大きな緩衝材の厚さを設定する。
 - 将来の地層の隆起・侵食によって処分施設と地表までの距離が短くなることを見越し、それでも地表まで十分な距離が確保できる深度に地下施設を設置する …など



- **それでも将来の予測には不確実性を伴うため、処分場の安全性を損なうような事象が、その発生可能性に応じて将来起こることを想定し、処分場からの放射性物質が将来地表に到達するとした場合の人間にもたらす放射線影響を解析によって評価する。**



- **その影響が許容できる程度(通常は規制機関から安全基準として示される)に収まる場合は安全と判断し、収まらない場合は、処分場の設計の見直しやサイトの変更などを行う。**



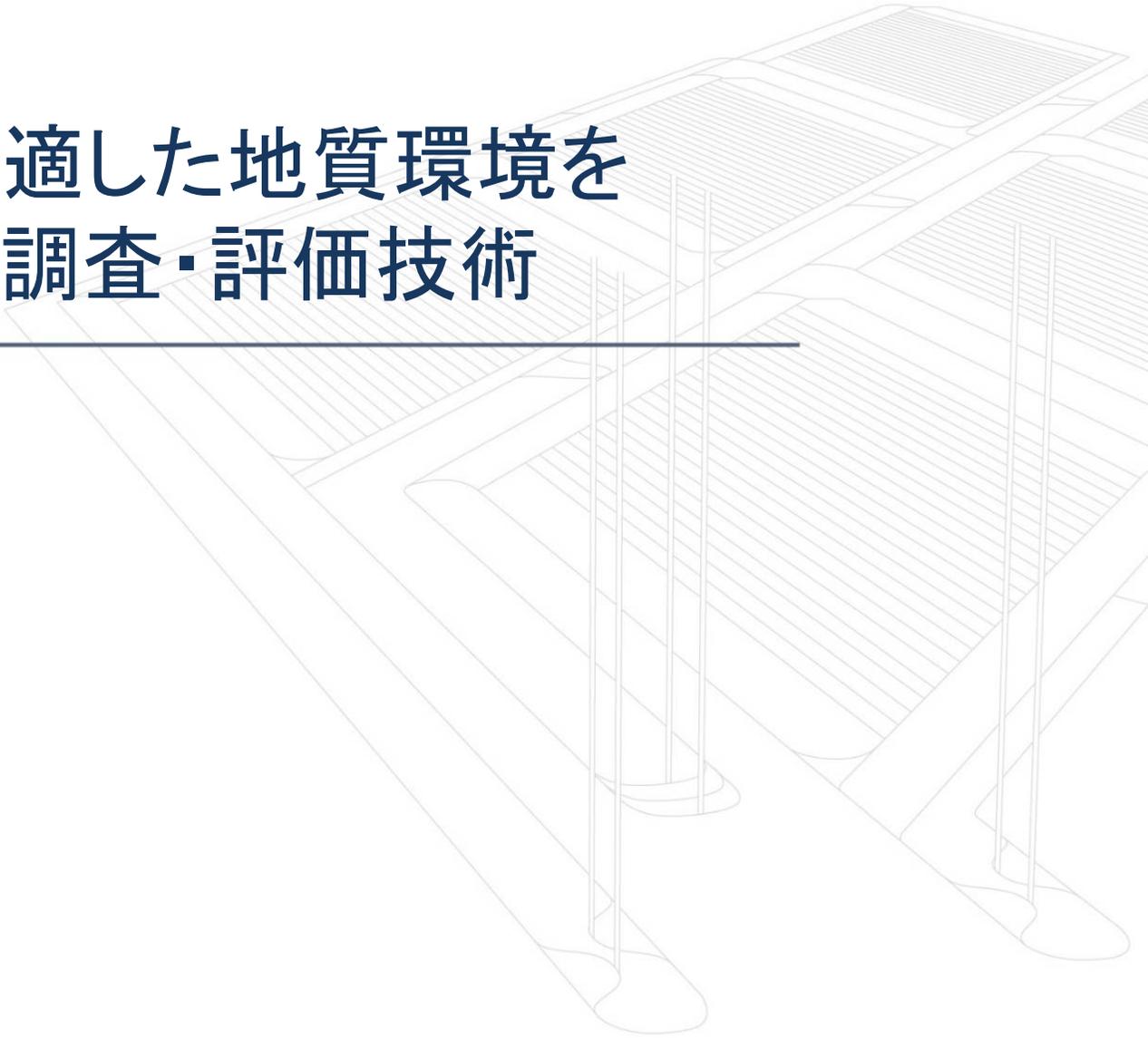
第3章 地層処分に適した地質環境の 選定およびモデル化

内容

- 地層処分に適した地質環境を選定するための調査・評価技術について説明。
- わが国の地質環境に関する最新の科学的知見に基づいて、今後のサイト選定で調査対象となる可能性がある母岩を設定し、それぞれの特徴を反映した地質環境モデルを作成。この地質環境モデルは、第4章の処分場の設計および第6章の安全評価の対象となる。



地層処分に適した地質環境を 選定する調査・評価技術



地層処分に適した地質環境を選定する調査・評価技術

○ 地質環境の調査・評価の基本；

過去から現在までの地質学的な現象を正しく観察することにより、現在生じている現象の理解を深め、将来の現象を推測する。

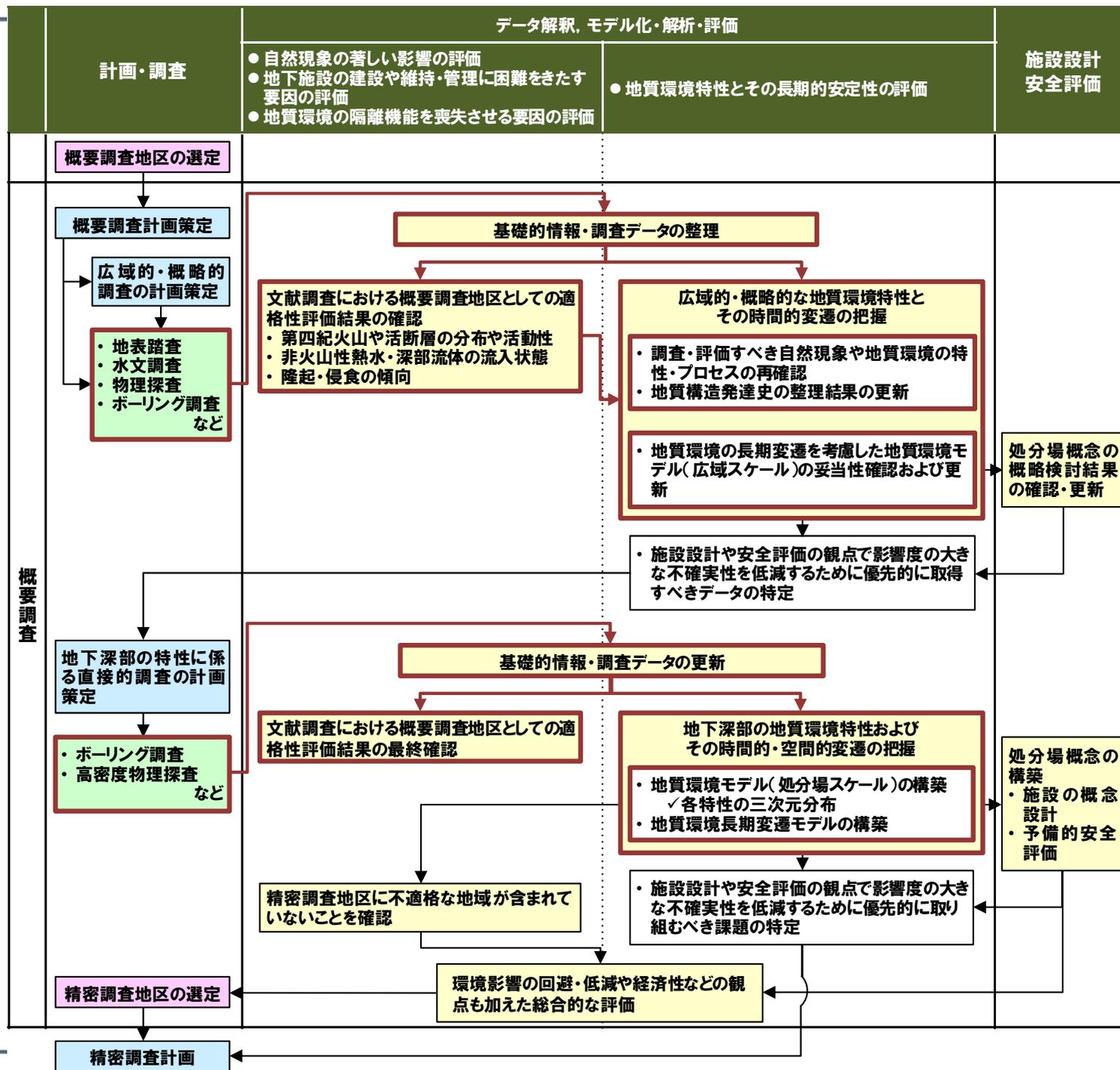
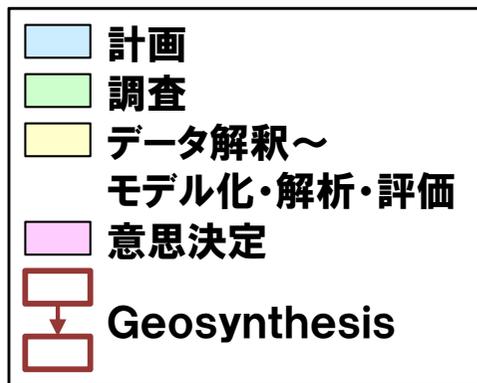
➡ 火山活動、断層活動などの自然現象の著しい影響が将来にわたって回避されることが見込まれるとともに、将来の地下深部の水理場や化学場などの変化が処分場の安全機能を損なわない程度の範囲に収まる地質環境を選定する。

○ 処分場に適した地質環境を選定する調査・評価技術の状況；

- 地層処分にとって好ましい条件・特性が長期にわたり維持される **安定な地質環境を選定する技術を整備**している。
 - サイト調査の基本的な考え方や、わが国の地質環境に幅広く適用可能な方法論および調査・評価技術を体系的に整備
(調査フローによる体系化, 調査計画立案マニュアル, 品質管理手引書の整備, 自然事象の確率論的な評価手法の開発など)
 - サイト調査に必要な技術の適用性が実証されており、実践的な経験や知見が蓄積
(全国地質情報データベースの整備, 幌延・瑞浪における調査の繰り返しによる不確実性の低減と情報の統合化の実証, 横須賀による実証)

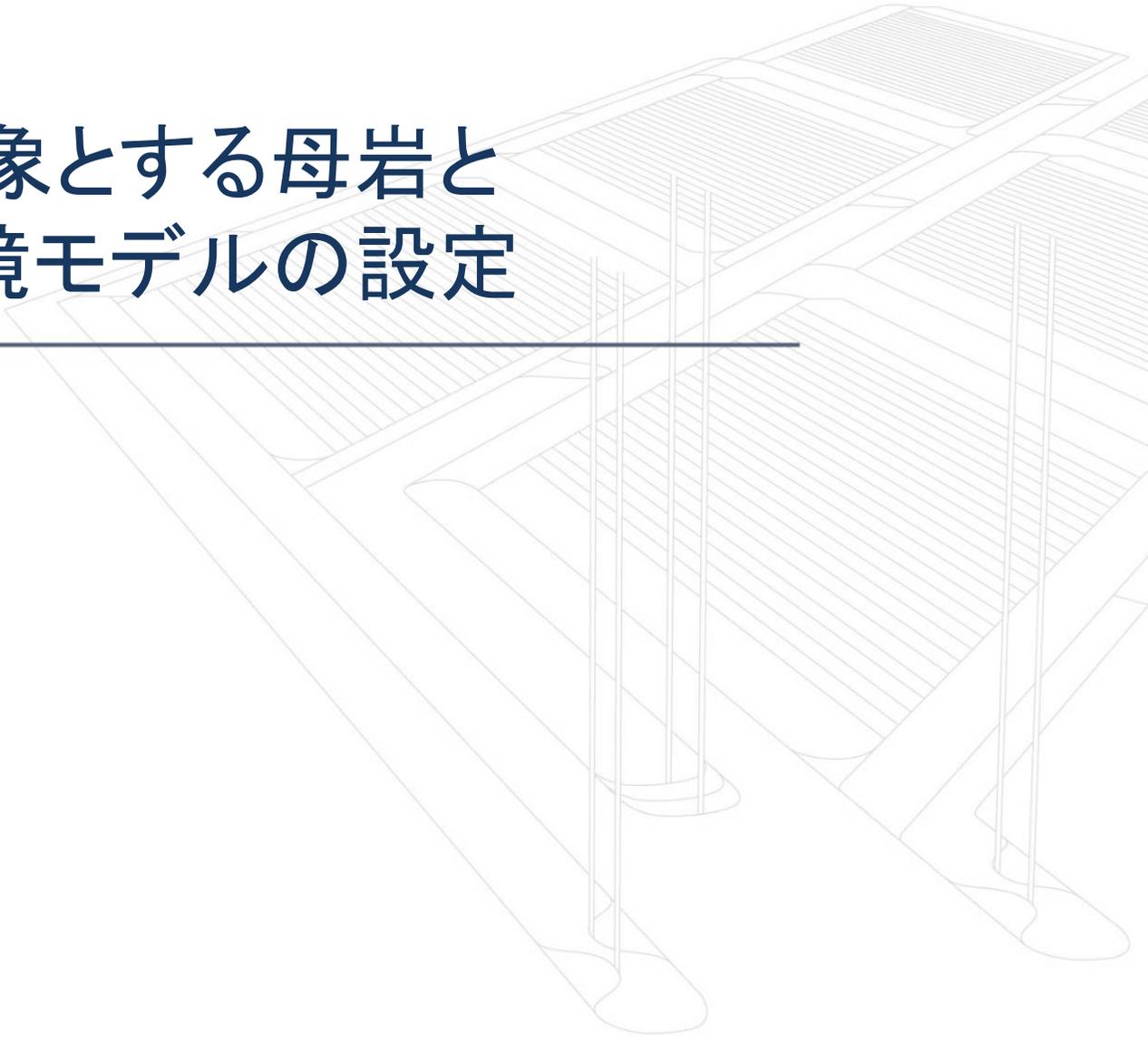
調査方法の体系的な整備の例

調査フローの例 (概要調査)





検討対象とする母岩と 地質環境モデルの設定



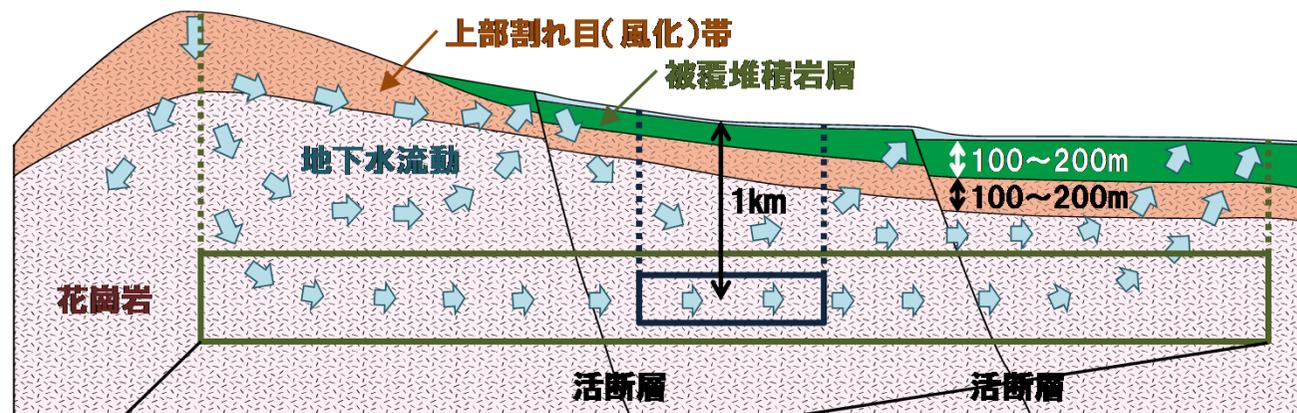
検討対象とする母岩の設定

- 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**全国的な地質環境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		

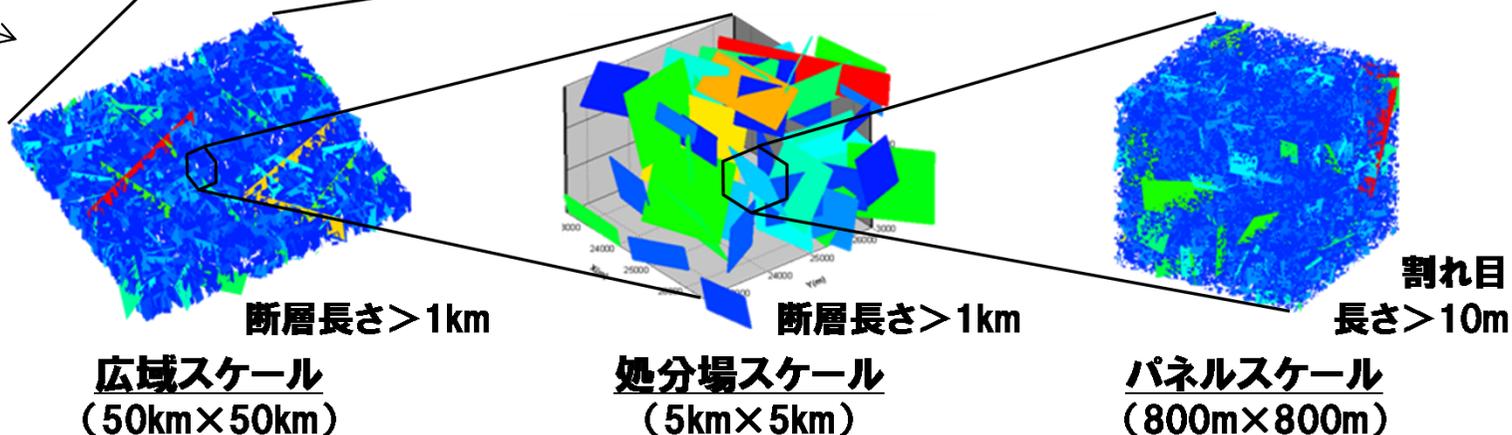
深成岩類の地質環境モデル

断層・割れ目の長さ, 分布密度, 方向性, 透水性などに関する実際のデータに基づき, コンピュータ上で断層・割れ目の状態を発生させてモデル化



一般的に認められる地質環境の概念モデル

※「地質環境モデル」: 実際の地質環境の情報・データに基づいて, 地質構造や熱・力学・水理・化学的な特性の空間的な分布や時間的な変化を表現したもの



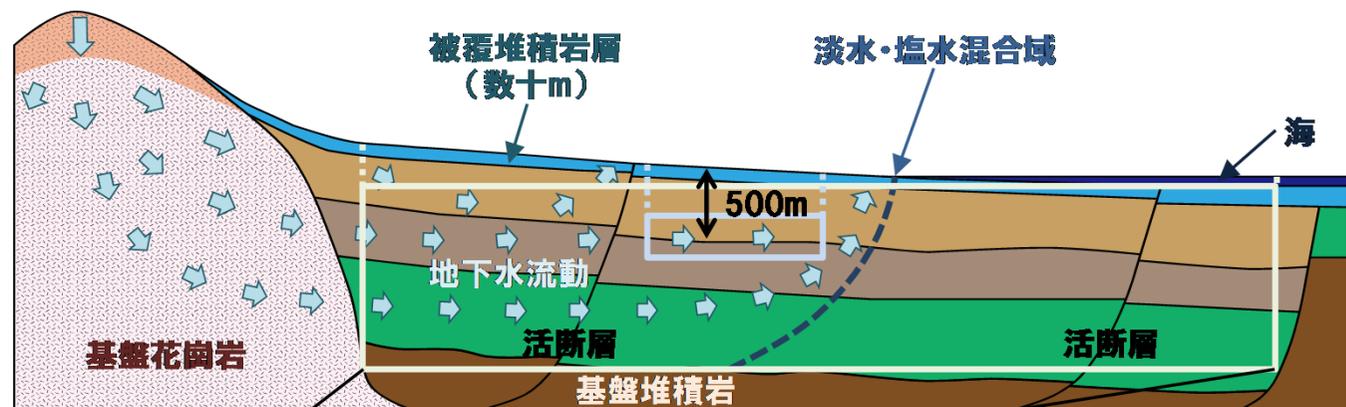
【活用したデータ】

- 瑞浪超深地層研究所を含む全国規模で取得された地質環境情報

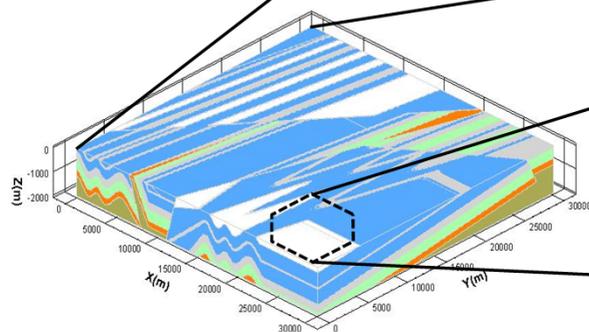
【地層処分の観点からみた特徴】

- 断層・割れ目が地下水流動を支配, 力学強度は大

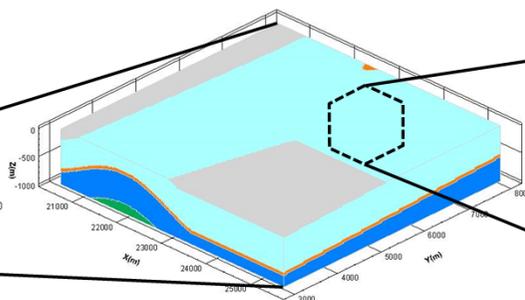
新第三紀堆積岩類の地質環境モデル



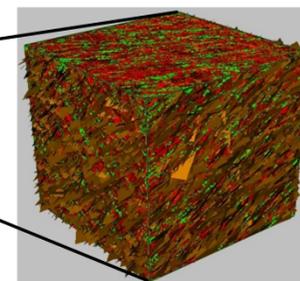
一般的に認められる地質環境の概念モデル



広域スケール
(30km×30km)



処分場スケール
(5km×5km)



パネルスケール
(800m×800m)

【活用したデータ】

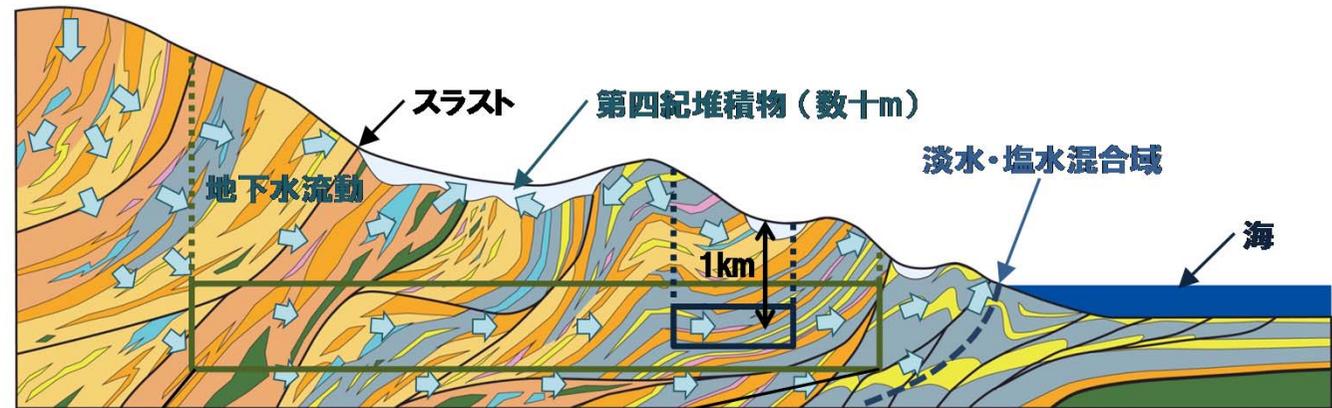
- ・ 幌延深地層研究センターを含む全国規模で取得された地質環境情報

【地層処分の観点からみた特徴】

- ・ 水平構造や緩やかな褶曲構造などを呈する地層として分布
- ・ 多孔質な基質部と断層・割れ目の両方で地下水が流動, 力学的な強度は比較的小

先新第三紀堆積岩類の地質環境モデル

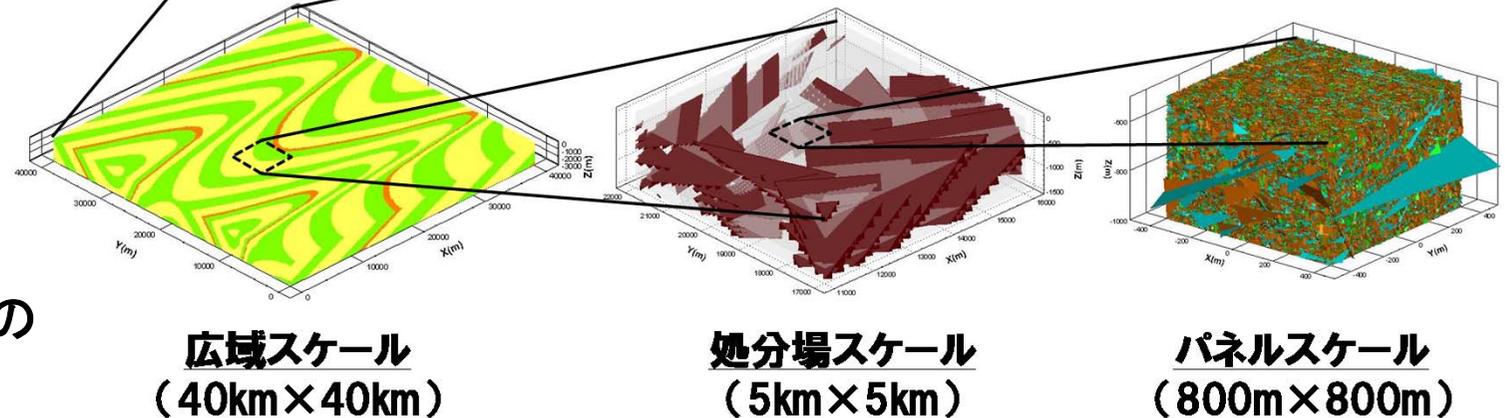
- ✓ わが国の地下深部に最も広く分布
- ✓ 第2次取りまとめでは地質環境モデルを作成していない岩種



一般的に認められる地質環境の概念モデル

【活用したデータ】

- 地下発電所工事などの文献情報



【地層処分の観点からみた特徴】

- 付加体に代表される、**褶曲や断層で分断されたブロックの集合体から構成される複雑な構造。複数の岩相が混在**
- 断層・割れ目の発達度や力学強度などは深成岩類と概ね同程度
- **透水性の低い岩盤が存在。断層・割れ目が地下水流動を支配**

第2次取りまとめからの主要な進展(地質環境調査・評価)

【地層処分に適した地質環境を選定する調査・評価技術】

- 安定な地質環境の存在を示すデータの蓄積(例えば、幌延や横須賀地区の地下深部で取得された200万年以上前の地下水年代データ)。
- 技術開発により個別の調査・評価技術の精度が向上。
- 地層処分に必要な地質環境特性を取得する調査・評価技術の適用性に対する実証事例が蓄積。

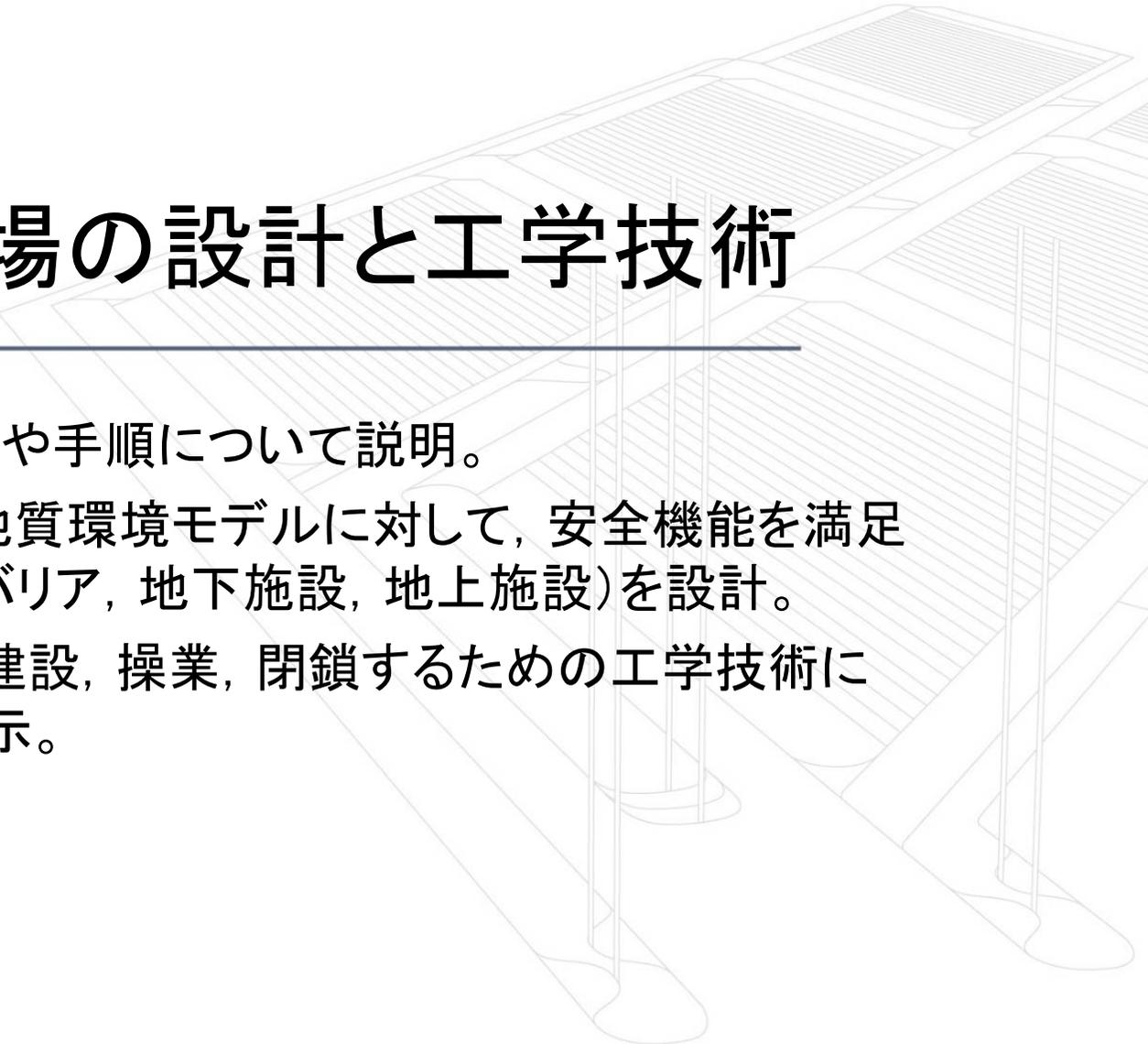
【検討対象とする母岩と地質環境モデルの設定】

- 幌延、瑞浪で体系的に取得された地下深部の詳細かつ品質が管理された地質環境の情報も加味した検討を行うことで、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深成岩類と新第三紀堆積岩類の地質環境モデルを構築。
- わが国の地下深部に最も分布割合が大きい先新第三紀堆積岩類を新第三紀堆積岩類と分けて取り扱い、地質環境モデルを構築し、処分場の設計と安全評価の検討を実施。これにより、特徴が異なる多様な地質環境に対する処分場の構築技術の適用性という観点で信頼性がより向上。



第4章 処分場の設計と工学技術

内容

- 処分場の設計方法や手順について説明。
 - 第3章で設定した地質環境モデルに対して、安全機能を満足する処分場(人工バリア, 地下施設, 地上施設)を設計。
 - 設計した処分場を建設, 操業, 閉鎖するための工学技術について適用性を提示。
- 

処分場の設計の基本的な進め方

- 設計で考慮すべき多面的な要求事項を満たすよう、人工バリア(オーバーパック, 緩衝材など), 地下施設, 地上施設の設計要件を詳細に設定する。

設計因子	要求事項
閉鎖前の安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄体からの放射性物質の漏えいの防止 ・ 施設外への放射性物質の放出の防止 ・ 放射線の遮蔽 ・ 作業環境の維持 ・ 災害の発生・拡大の防止 ・ 災害時の避難経路の確保
閉鎖後長期の安全性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 自然現象の著しい影響からの防護 ・ 人間の接近の抑制 ・ 放射性物質の溶出抑制 ・ 放射性物質の移行抑制
回収可能性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 回収可能性の維持 ・ 回収可能性の維持による安全性への影響の防止・低減
工学的成立性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 実現可能な建設・操業・閉鎖の作業工程・方法 ・ 実証された技術の適用
経済的合理性	<ul style="list-style-type: none"> ・ 処分場の建設・操業・閉鎖の合理性 ・ 調達性
環境保全	
...	

- 設計要件(例:オーバーパックは少なくとも1,000年間は地下水とガラス固化体の接触を防止できる耐食性, 構造健全性, …を有する)を十分な余裕をもって満たす仕様(例:オーバーパックの厚さ, 材料など)を決定する

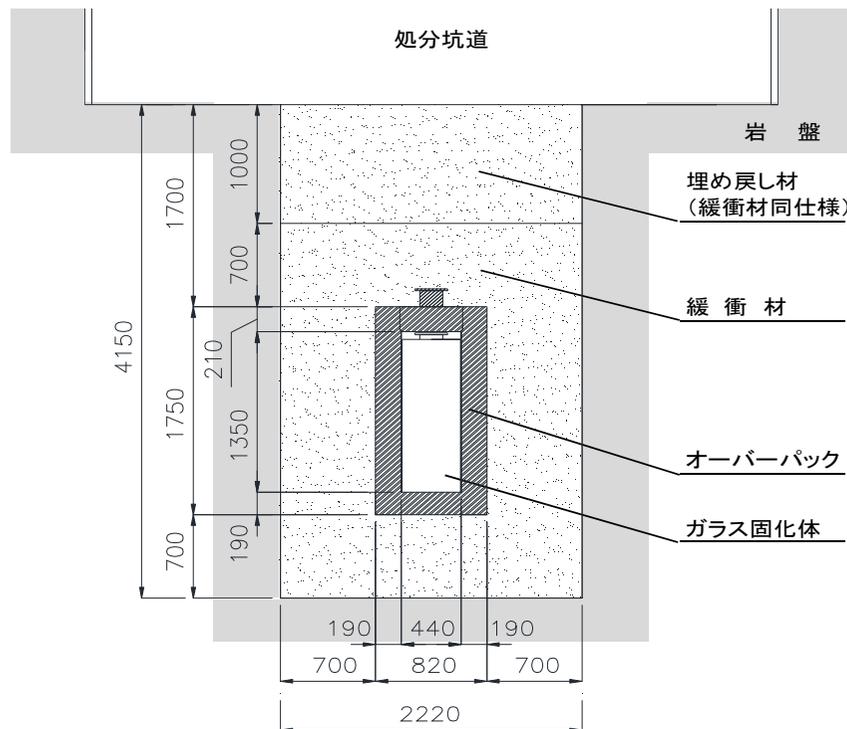
高レベル放射性廃棄物の人工バリア

- オーバーパック: 炭素鋼製, 厚さ 190mm (第2次取りまとめと同様)

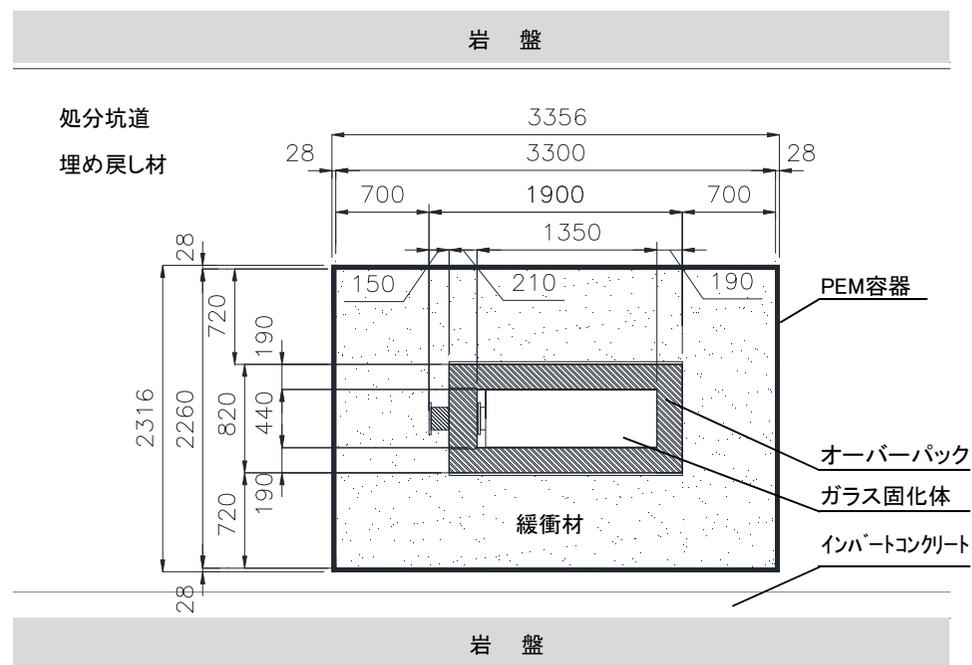
最新知見に基づくと, 閉じ込め期間1,000年に対する必要最大厚さは121mm。厚さ190mmでは約17,000年の閉じ込めを確保できる可能性があり, 十分な安全裕度を有することを確認。

- 緩衝材: ベントナイト70%・砂 30%, 膨潤後密度1.6 Mg/m³, 厚さ 700mm (第2次取りまとめと同様)

塩水条件を含めた幅広い地下水条件に対して, 低透水性, 自己修復性, 製作施工性などの設計要件を満たすことを確認



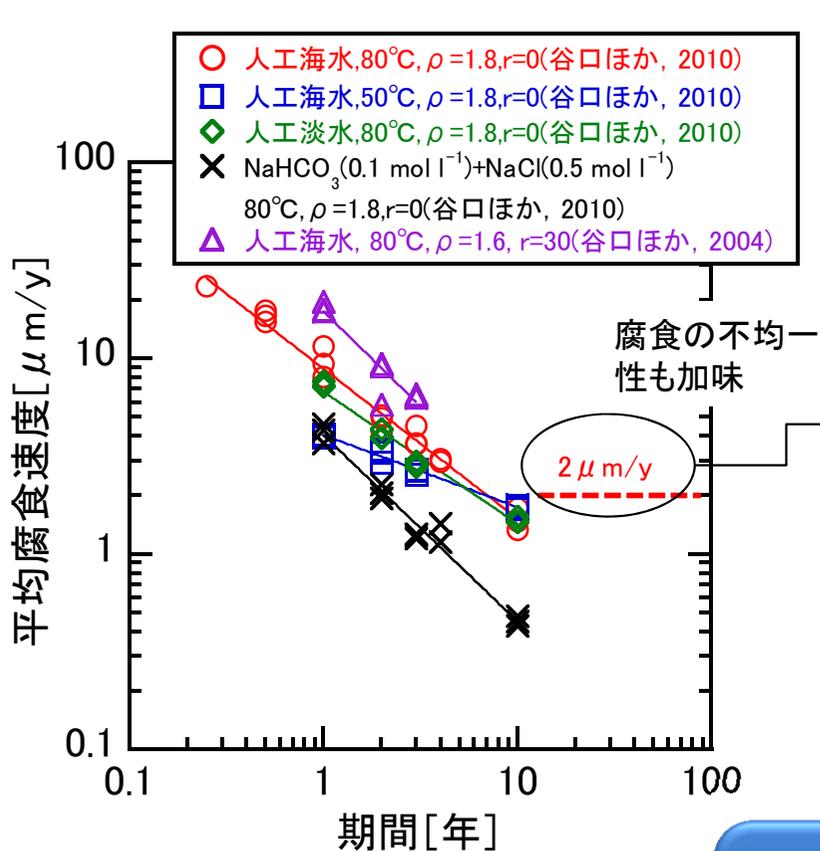
(縦置き・ブロック方式)



(横置き・PEM方式)

最新知見に基づくオーバーパックスの厚さの検討

- 短半減期核種の放射能が大きく減衰するまでの少なくとも1,000年間は、オーバーパックスによりガラス固化体と地下水の接触を防止し、地下水への放射性物質の溶出を防ぐ。
- 最新の長期腐食試験データや放射線による腐食に関する知見などに基づくと、設定した地質環境モデルに対しては121mmの厚さで良いことを確認



還元性環境における平均腐食速度の経時変化データ

(単位: mm)

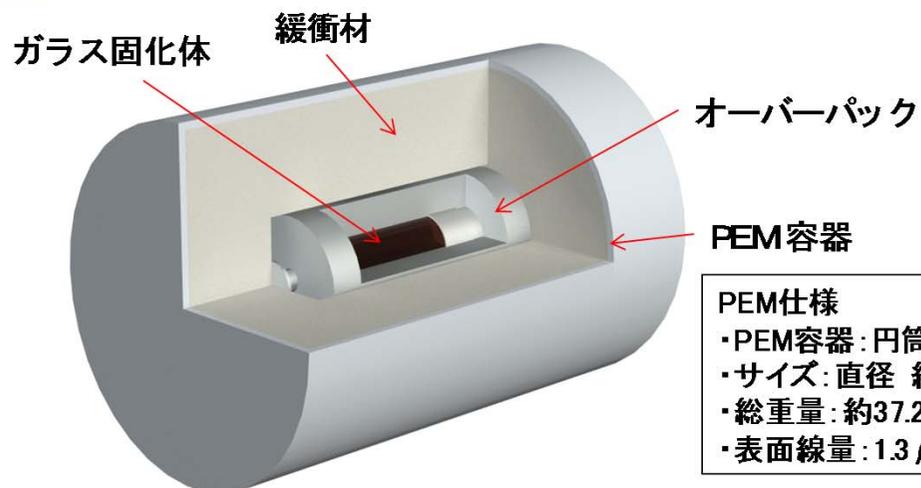
	深成岩類 (深度1,000m)		新第三紀堆積岩類 (深度500m)	
	蓋部	胴部	蓋部	胴部
①酸化性環境における腐食代	≥11		≥12	
②還元性環境1000年間における腐食代	≥6			
③静水圧等への耐圧代	≥104	≥44	≥78	≥25
④放射線による腐食促進防止に対する遮蔽代	≥80 (※第2次取りまとめは150mm)			
オーバーパックスの必要厚さ (①+Max(②+③,④))	≥121	≥91	≥96	≥92

69mmの余裕が還元性腐食などにより失うまでに約17,000年
→ 十分な安全裕度を有する

現状の設定値: 190 mm

人工バリアの品質確保と操業性に優れたPEM方式の導入

Prefabricated Engineered barrier system Module



- PEM仕様
- ・PEM容器: 円筒形, 無孔, 厚さ 28 mm
 - ・サイズ: 直径 約2.3 m, 長さ 約3.4 m
 - ・総重量: 約37.2 トン
 - ・表面線量: 1.3 μ Sv/h (50年冷却時)



鋼殻リング法によるPEM組立実証 (RWMC, 2011)

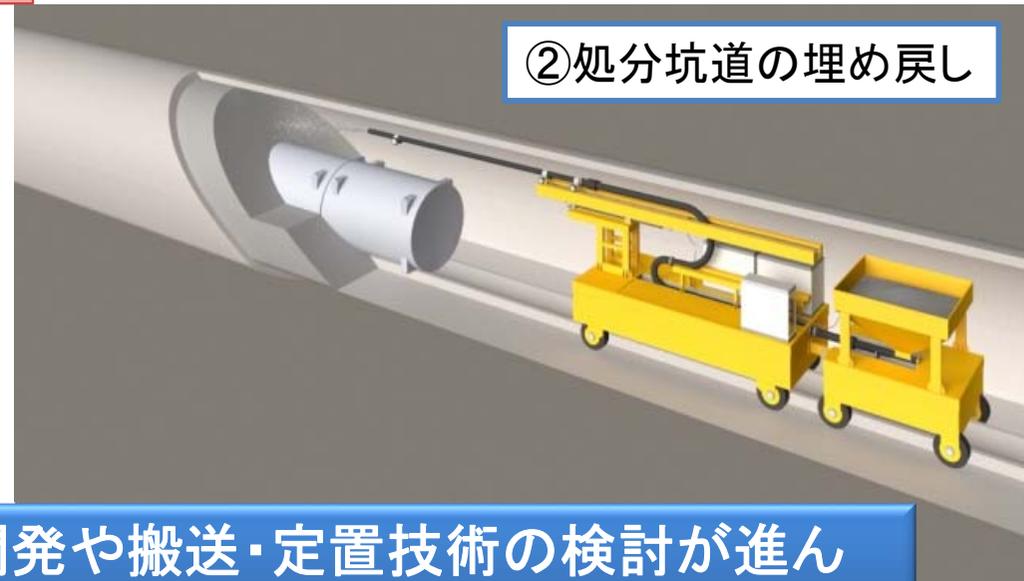
PEM方式の利点

- ・地上施設で組立のため人工バリアの品質管理が容易
- ・湧水・滴水・高湿度などの環境下でも操業が容易

① 処分坑道へのPEMの定置



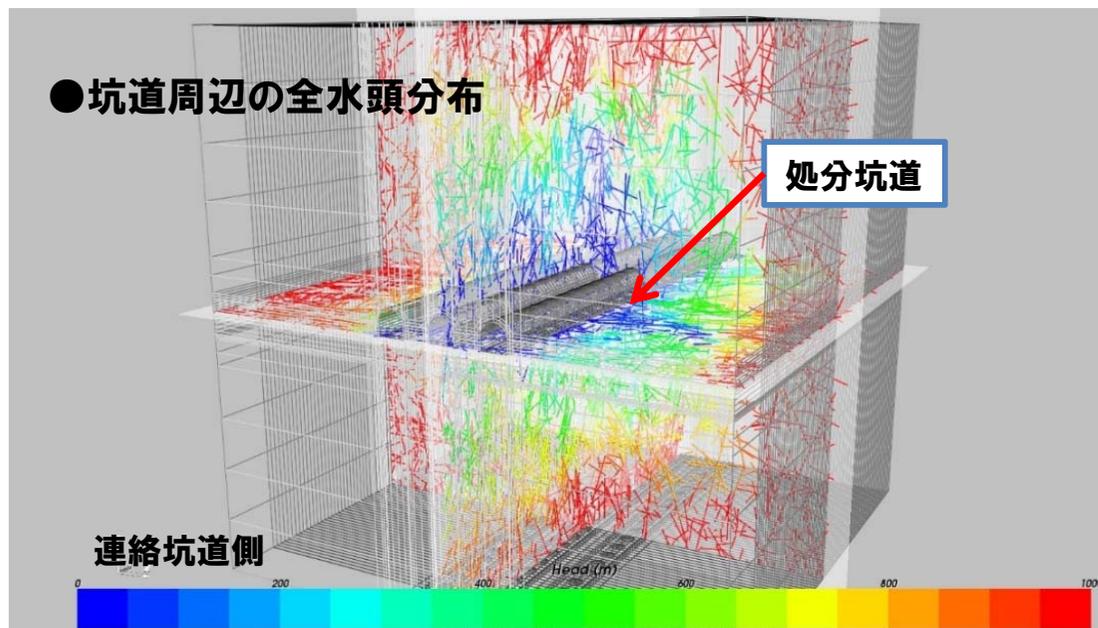
② 処分坑道の埋め戻し



実規模大でPEMの製作技術の開発や搬送・定置技術の検討が進んでおり、人工バリアの施工技術の実用性が向上している

小規模な断層や岩盤割れ目への対応策の導入

- 処分区画(パネル)の範囲には、坑道掘削に支障を伴うおそれがある長さ1km以上の断層を避けてレイアウトする。それより小さな断層や小規模な岩盤の割れ目については、断層・割れ目からの地下水の湧水量が多い場合に緩衝材の流出が懸念される。
- 断層・割れ目からの湧水によって、緩衝材の流出が生じるおそれがある処分孔はどの程度かを解析的に評価する検討を実施。



処分坑における湧水量を地下水流動解析により評価

割れ目が卓越する深成岩の場合は、処分孔の21%は許容湧水量を上回る(処分孔全体の79%しか廃棄体を定置できない)と評価された。

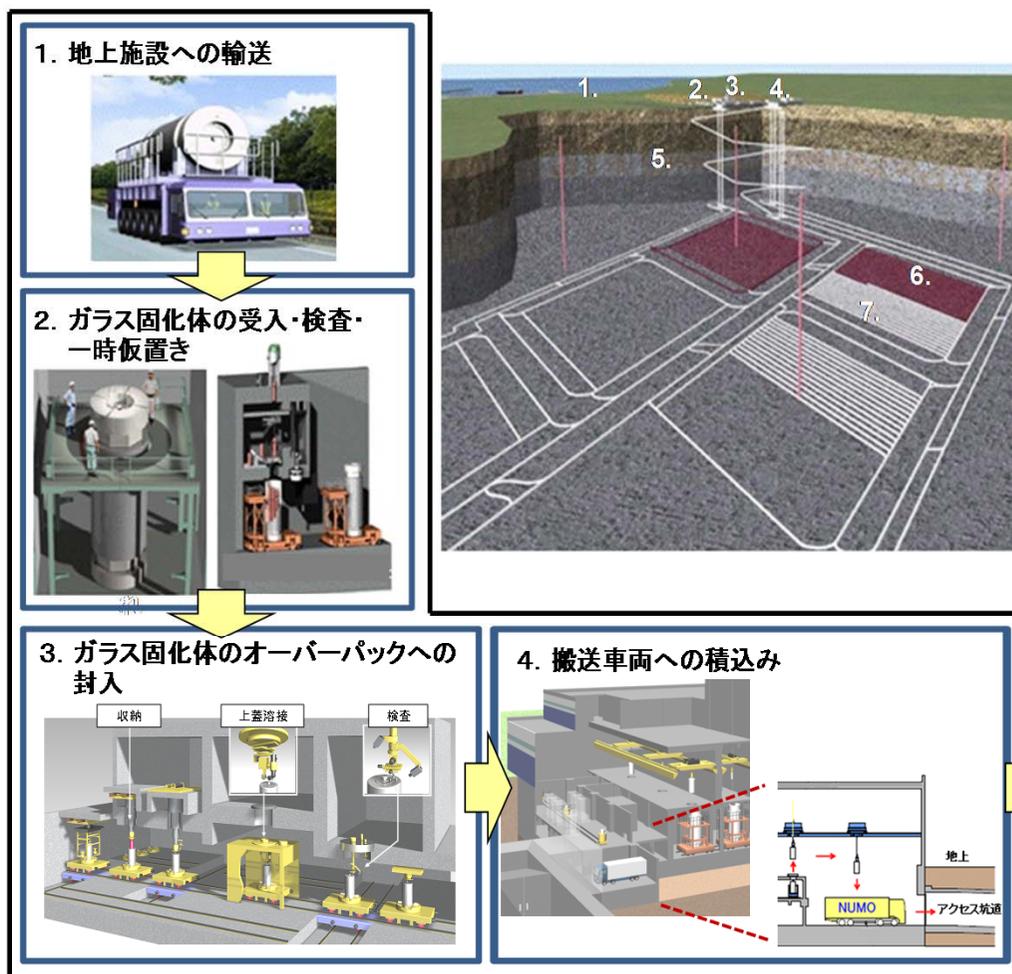
→ 地質調査の結果から、どの程度の処分孔が利用できるかをあらかじめ評価しておくことで、処分区画を広めに確保した地下施設のレイアウトの工夫などで対応可能

実際の地下深部で遭遇し得る地質環境を想定した、より実用的な設計の考え方を示した。

放射性廃棄物を取り扱う作業の工程と安全対策

- 地上での輸送車両，地下施設での搬送車両・定置装置は，放射線遮蔽機能などを設計。
- ガラス固化体のオーバーパックへの封入といった廃棄物を取り扱う地上施設は，放射線の遮蔽性能を有する壁厚，万一の放射性物質の漏えいに備えた室内の負圧管理や換気設備におけるフィルター設置など，さまざまな安全対策を施設設計において考慮。

地上施設における工程



地下施設における工程



第2次取りまとめからの主要な進展（設計と工学技術）

- 事業者の観点から設計手法の具体化や詳細化を進めた。
 - 断層・割れ目への対処について、処分場から活断層を避けるという従来の考え方に加え、断層・割れ目の規模に応じて、処分区画のレイアウトによって避けるもの、廃棄体や緩衝材の定置可否を判断するものといった設計上の対応方針を明確化。
 - 換気・排水設備や物流の効率などの安全性と操業性を考慮した地下施設の設計，安全対策を含む地上施設の仕様の具体化
 - 品質管理の容易さや操業性に優れるPEMの導入
 - オーバーパック厚さ，地下施設レイアウトなどに関する合理化の方向性の提示
 - 万一の廃棄体落下など操業時安全性を高め，閉鎖後300年程度の閉じ込め機能が期待できるTRU等廃棄物の廃棄体パッケージ容器の導入
 - 廃棄体回収技術の具体化 など
- 工学技術の実現性については，実規模大の実証試験が国内外で数多く実施されていることによって，その技術的な信頼性が一段と向上

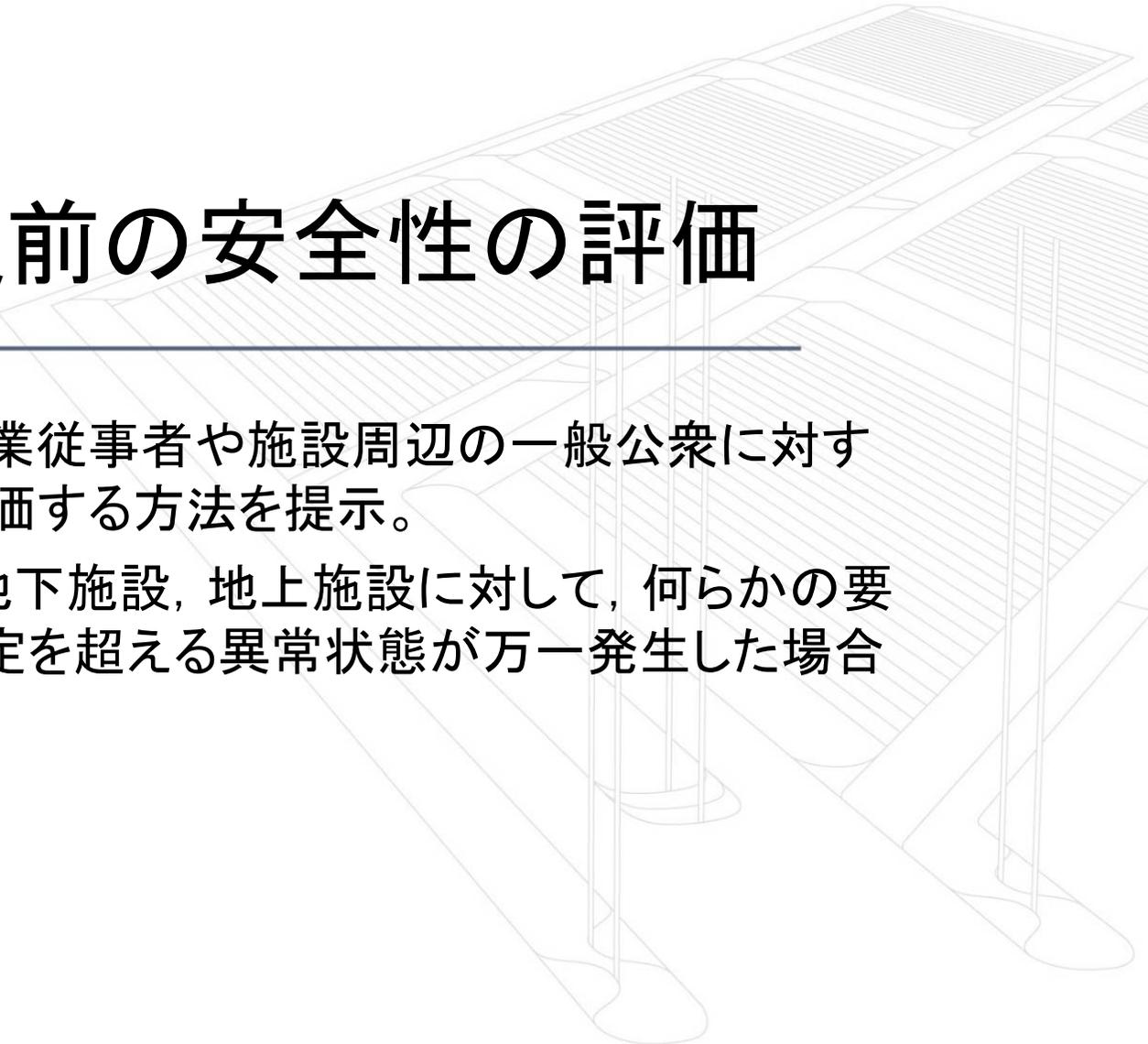
【今後の主な課題】

- 人工バリア設計オプションの整備 など



第5章 閉鎖前の安全性の評価

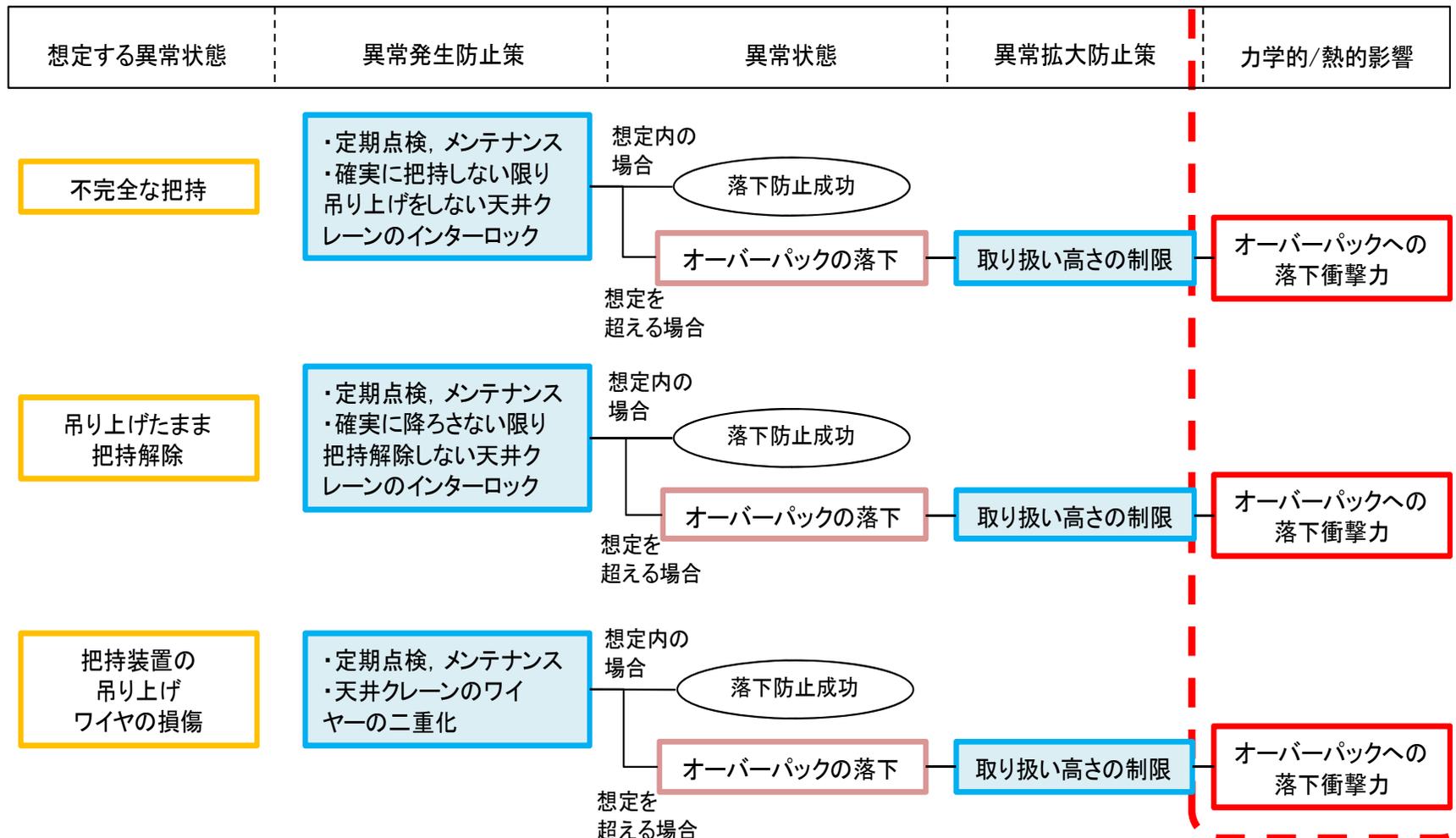
内容

- 作業時における作業従事者や施設周辺の一般公衆に対する放射線影響を評価する方法を提示。
 - 第4章で設計した地下施設, 地上施設に対して, 何らかの要因により設計の想定を超える異常状態が万一発生した場合の影響を評価
- 

閉鎖前安全性に対する異常事象の評価シナリオの設定

- 何らかの要因により施設内に異常事象が発生したことを想定し、設計で想定した**多重の安全対策**が次々と無効化するシナリオを設定
- これによって廃棄体に衝撃や熱などの影響が生じた場合の影響を解析的に評価

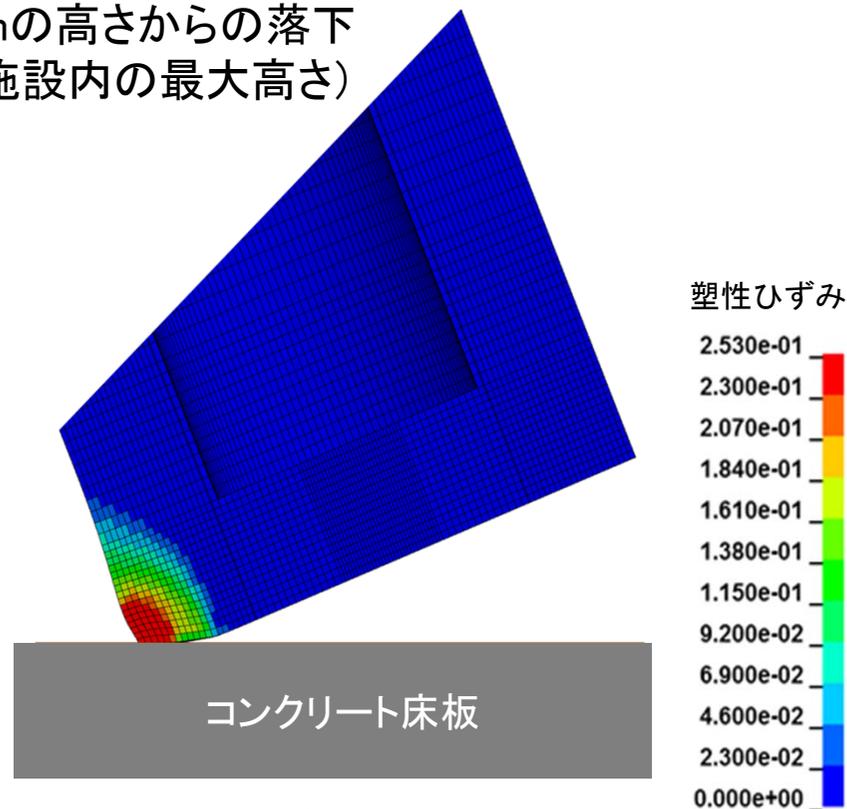
オーバーパックの落下事象のイベントツリーの例



異常状態の評価事例－高レベル放射性廃棄物

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)

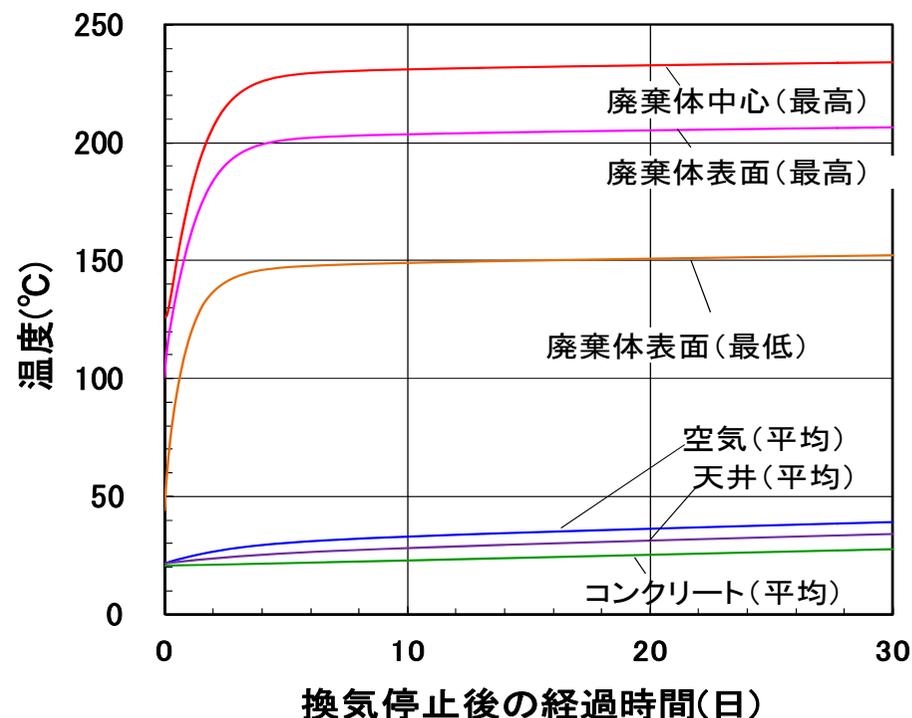


<断面拡大図>

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。

換気設備停止によるガラス固化体の温度上昇

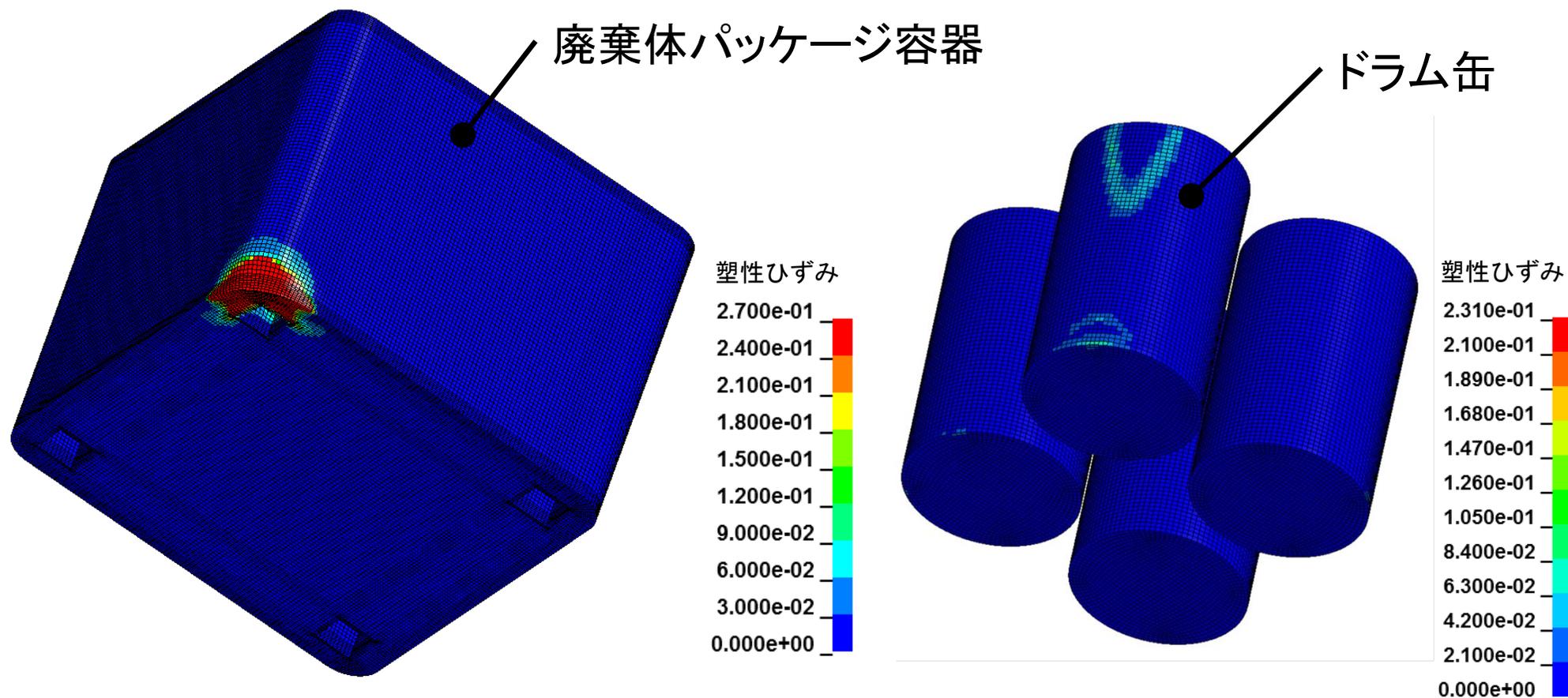
- ガラス固化体28本を仮置きしている検査室の換気設備が外部電源喪失により停止したことを想定。
- ガラス固化体の温度上昇を評価



ガラス固化体の温度はガラス固化体の健全性を失うほどの高温にはならない。

異常状態の評価事例－TRU等廃棄物

TRU廃棄体パッケージの落下



- 廃棄体パッケージ容器が開口する可能性は小さく、廃棄体(ドラム缶)の塑性ひずみは限界値よりも十分に小さい。
- 万一落下の異常状態が生じて、放射性物質が外部に放出することは考えにくい。

第2次取りまとめからの主要な進展(閉鎖前の安全性の評価)

- 万一の異常状態の発生までを考慮した安全性の評価について、定量的かつ詳細な検討を実施。
- 閉鎖前安全性の評価に対する方法を構築し、閉鎖前の安全性に関する信頼性の向上を図った。

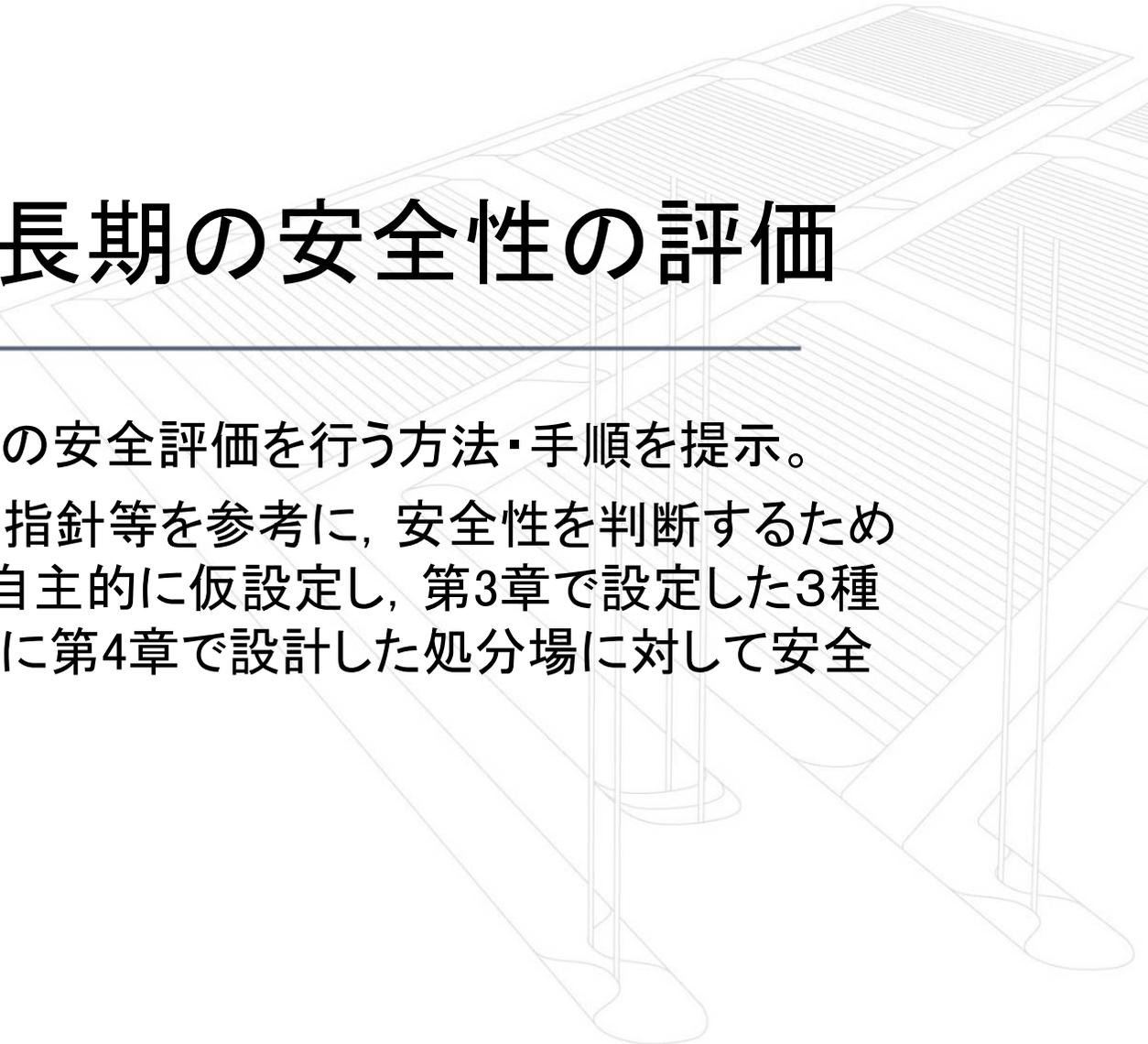
【今後の主な課題】

- 作業時ハザードデータベースの整備
- 廃棄体への衝撃や火災などの影響評価技術に関する信頼性向上 など



第6章 閉鎖後長期の安全性の評価

内容

- 処分場閉鎖後長期の安全評価を行う方法・手順を提示。
 - ICRP等の国際的な指針等を参考に、安全性を判断するための線量基準などを自主的に仮設定し、第3章で設定した3種類の検討対象母岩に第4章で設計した処分場に対して安全評価を実施。
- 

安全評価の基本的な進め方

現時点の科学的知見を根拠に、3岩種の地質環境モデルに対して設計した処分場の状態がそれぞれ時間的にどのように変化し、これにともなって廃棄体から放射性物質がどのように移動していくか、考え得る「処分場のふるまい」を推定する。



推定した「処分場のふるまい」をもとに、科学的に考えられる発生の可能性に応じて、「将来、もしも処分場がこうなったら…」という放射性物質が人間の生活環境まで至ることを想定したさまざまな「シナリオ」を設定する。

- 発生する可能性が高いと想定されるもの(基本シナリオ)(※)
- 基本シナリオに対して不確実性を考慮したもの(変動シナリオ)
- 発生する可能性は極めて小さいが、著しい放射線の影響がないことを念のために確認するもの(稀頻度事象シナリオ, 人間侵入シナリオ)



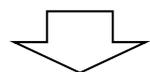
設定したシナリオに応じて、放射性物質が地表まで至る様子や将来の人間への影響を解析できるように「解析ケース」として数学的な「モデル」と「データ」を設定し、被ばく線量を評価する。この際、科学的な知見が少なく不確実性が大きい場合には、基本シナリオについても、あえて変動シナリオと同様に安全上厳しい結果になるようにモデルやデータを設定する(※)。



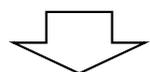
線量が許容できるレベル以下であるか否かを確認し、処分場の安全性について評価する。

安全評価の手順

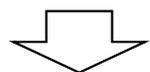
三岩種の地質環境モデルと設計した処分場の仕様



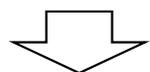
安全評価シナリオの構築



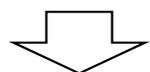
解析ケースの設定(性能評価モデルやデータの設定)



放射性核種の移行量の計算



生活圏での被ばく線量計算



安全性の考察

- ◆ 事象の発生可能性を考慮したシナリオの区分(基本シナリオ, 変動シナリオ, 稀頻度事象シナリオ, 人間侵入シナリオ)
- ◆ 火山活動, 断層活動などのわが国の特徴的な自然現象を考慮

- ◆ 地質環境の不均質性や人工バリアの三次元的な配置・形状などを反映可能な**最新の解析モデルの適用**
- ◆ **最新のデータベースを利用してパラメータを設定**

- ◆ 国際的な動向を参照

仮の線量基準

地層処分の規制基準は今後整備されるため, 本報告書では自主的に仮設定した

シナリオ区分とめやすの設定

区分	考え方	仮のめやす
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)

基本シナリオに対する解析ケース上の取り扱い(1/3)

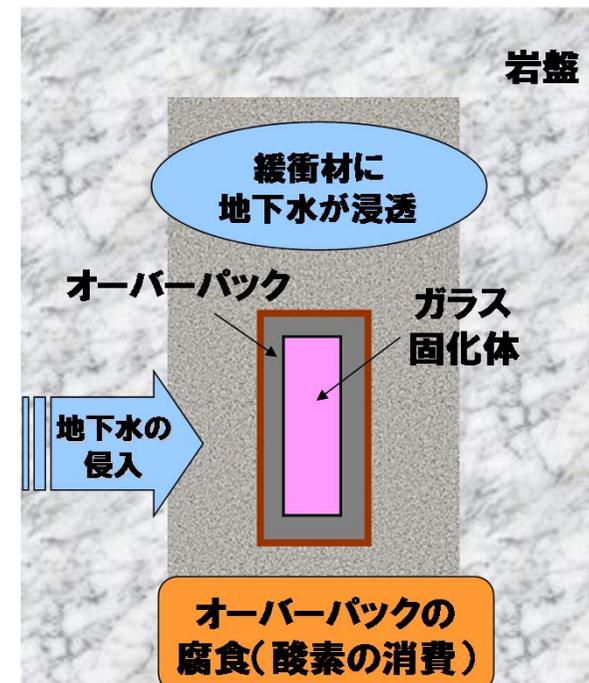
【基本シナリオの記述】 閉鎖後数百年～数千年程度

- 埋め戻し後、緩衝材に地下水が浸透し、100年程度で緩衝材が水で満たされる（飽和）。
- 緩衝材のベントナイトが吸水・膨潤することで、緩衝材の透水性は非常に小さくなる。
- **オーバーパック**は、坑道内に残存する酸素により表面から12 mm程度腐食し、その後の還元環境下では腐食速度が低下して1,000年までに6 mm程度進行する。**最新の知見に基づけば、現在の厚さ190 mmの仕様では17,000年程度、閉じ込め機能を維持する可能性が示唆されている。**
- ガラス固化体と地下水の接触はなく、放射性核種はガラス固化体の中に保たれている。この期間に多くの短半減期の核種が消滅。

【基本シナリオに対する解析ケース上の設定】

- オーバーパックが閉じ込め機能を維持する期間は17,000年程度と考えられるが、地質環境の不均一性や製造時品質などに応じた予測に関する不確実性を考慮して、**解析上は、4万本のオーバーパックが設計上の保証期間1,000年時点でいっせいに閉じ込め機能を失うとの保守的な仮定をあえて設ける。**

基本シナリオも解析上の設定ではあえて起こり得ない保守的な設定を行う場合がある



：放射性物質が存在する範囲

基本シナリオに対する解析ケース上の取り扱い(2/3)

【基本シナリオの記述】 閉鎖後数千年～数万年程度

- 腐食したオーバーパックに亀裂が生じ、ガラス固化体と地下水が接触。
- 地下水に接触した放射性核種は、**ガラスの溶解とともにゆっくりと地下水に溶解。地下水はほとんど動かないため**、放射性核種の溶解は溶解度を上限として抑制される。
- 放射性核種は、緩衝材に吸着し、遅延されながらゆっくりと周囲の岩盤まで移行。
- 緩衝材は、覆工コンクリートなどのセメント系材料との反応により一部が変質するが、緩衝材との境界面に二次鉱物が沈殿して閉塞することにより、セメントによる高アルカリ成分の供給が制限され**変質の範囲は限定的**。緩衝材は拡散場を維持。

【基本シナリオに対する解析ケース上の設定】

- 閉鎖1,000年後からガラス固化体は一定速度で溶解し、約7万年で全量が溶解する溶解速度に設定
- 広域地下水流動解析結果などを踏まえて、地下水の動水勾配は0.05～0.06に設定
- 緩衝材とセメント系材料の相互作用による緩衝材の変質は限定的との知見があるものの、**緩衝材の透水係数は変質後を想定した高い値をあえて設定**
- 緩衝材中の核種移行パラメータは緩衝材中の間隙水水質を踏まえて設定



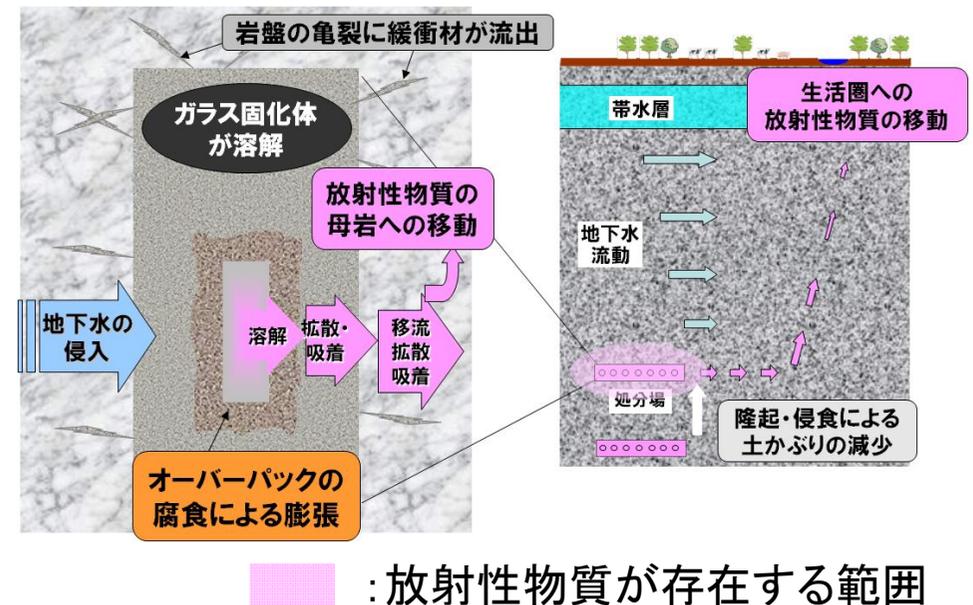
基本シナリオに対する解析ケース上の取り扱い(3/3)

【基本シナリオの記述】 閉鎖後数万年～数十万年程度

- 放射性物質は、岩盤の亀裂ネットワーク中の移流・拡散によって処分場の周囲に移行。ただし地表まで連結する亀裂はごく一部であり、地表に向けた上向きの地下水流れも稀であるため、大部分の放射性核種は処分場の周りにとどまる。一部は長い時間をかけて、岩盤に吸着されながら、三次元的に分散・希釈しながら、地表にまで到達。この間に、放射性核種の濃度は薄まるとともに、放射能は大きく減衰。
- 地表付近に到達した放射性核種は、河川や湖沼、海などに流入。将来の人間が飲料水、農作物、魚類等を通して放射性核種を摂取すると想定。
- 隆起・侵食により処分場から地表までの土かぶりが減少するが、十分に深い安定な地質環境を選定した場合、処分場周辺の地質環境に大きな変化はない。

【基本シナリオに対する解析ケース上の設定】

- 地下施設から地表までの岩盤の核種移行の遅延効果と三次元的な放射性核種の分散・希釈は保守的に考慮せず、解析上は、1箇所の地表環境の出口にすべての放射性核種が到達するとあえて設定
- 安定な地質環境を選定したとの前提で、地質環境特性は評価期間中は一定に設定



基本ケースの解析結果(高レベル放射性廃棄物)

3種類の岩種と2種類の地下水タイプで、高レベル放射性廃棄物からの基本ケースの最大線量の評価結果は、「めやす」として仮設定した目標値年当たり10 μ Svを下回る。

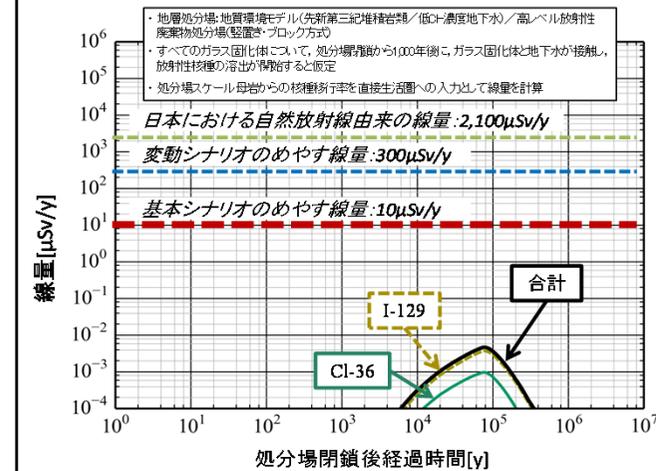
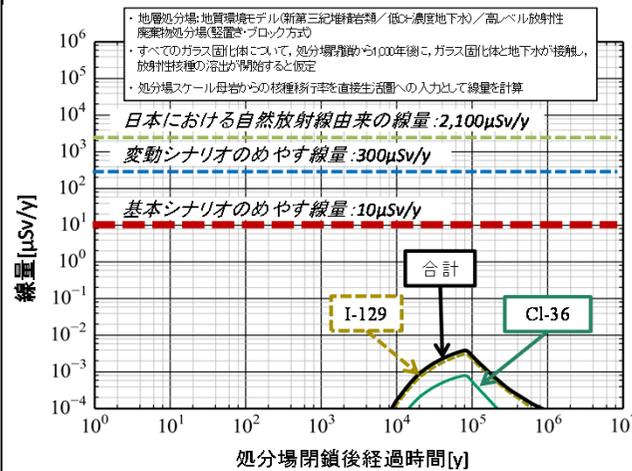
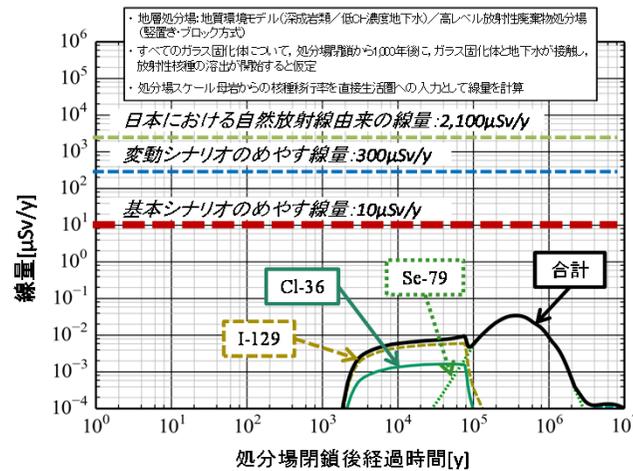
※年当たり10 μ Svは、測定器では放射能として検出できないレベル

深成岩類

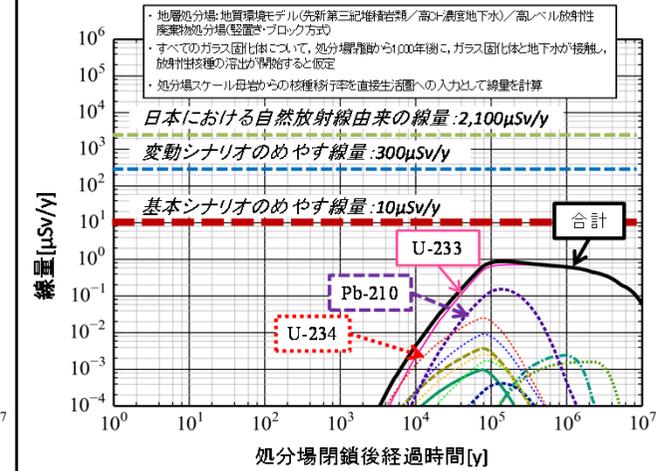
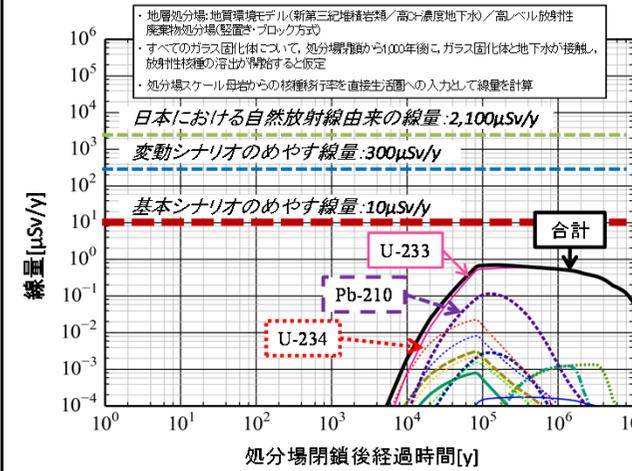
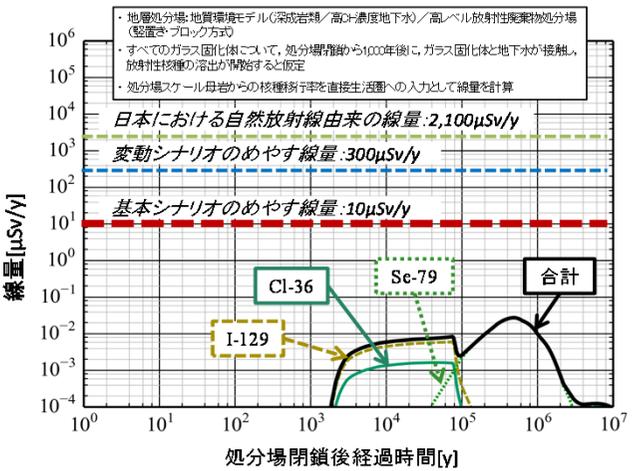
新第三紀堆積岩類

先新第三紀堆積岩類

低Cl濃度地下水モデル



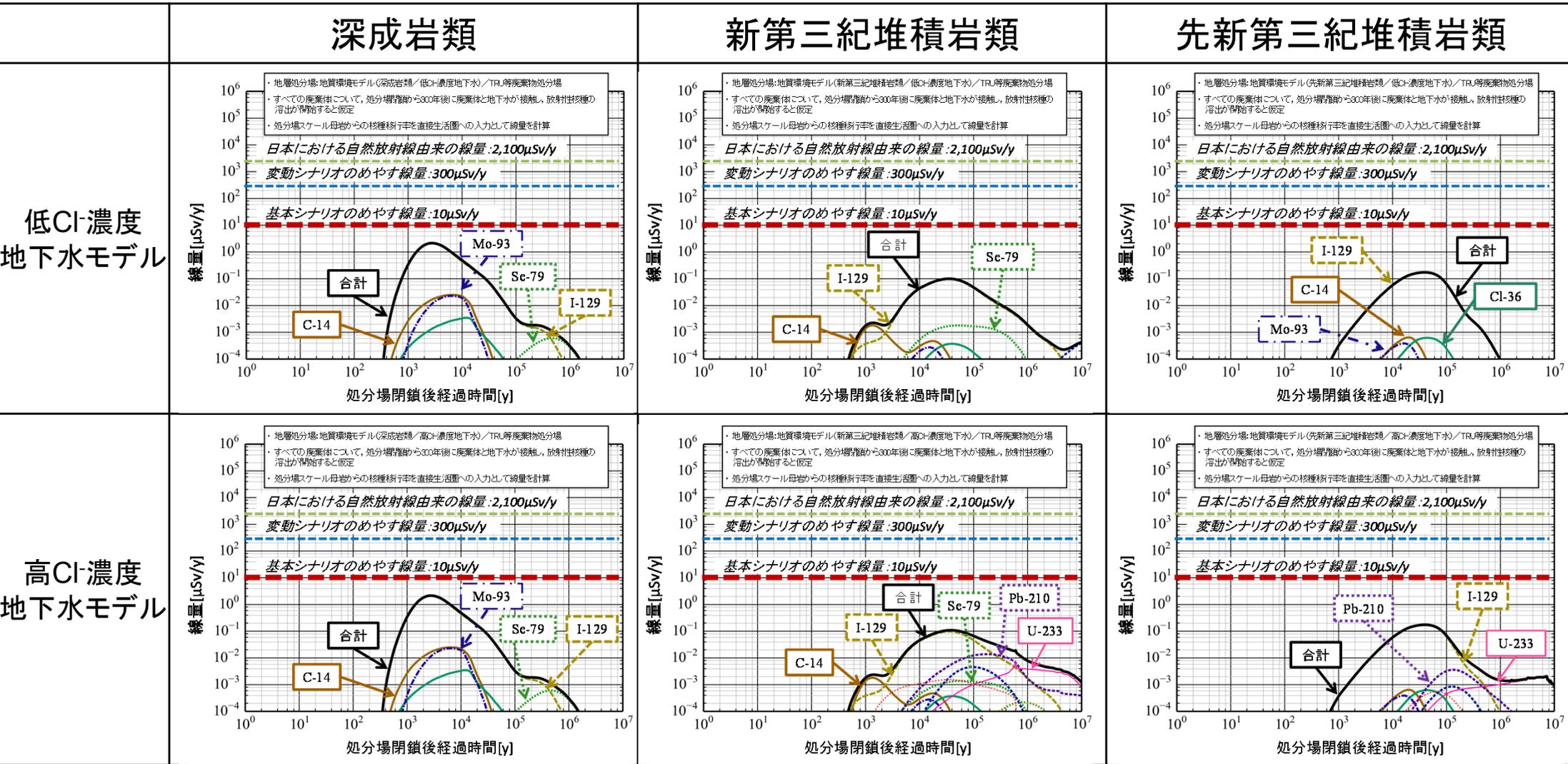
高Cl濃度地下水モデル



基本ケースの解析結果 (TRU等廃棄物)

3種類の岩種と2種類の地下水タイプで、TRU等廃棄物からの基本ケースの最大線量の評価結果は、「めやす」として仮設定した目標値年当たり10 μ Svを下回る。

※年当たり10 μ Svは、測定器では放射能として検出できないレベル



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)

高レベル放射性廃棄物とTRU廃棄物の併置処分でも、基本ケースの最大線量の評価結果は、「めやす」として仮設定した目標値年当たり10 μ Svを下回る。

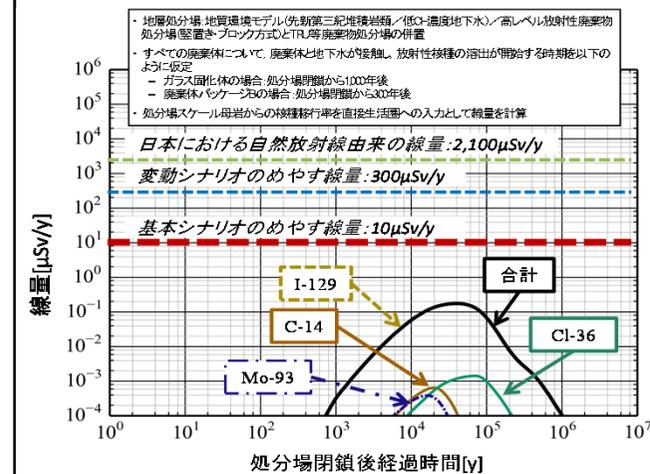
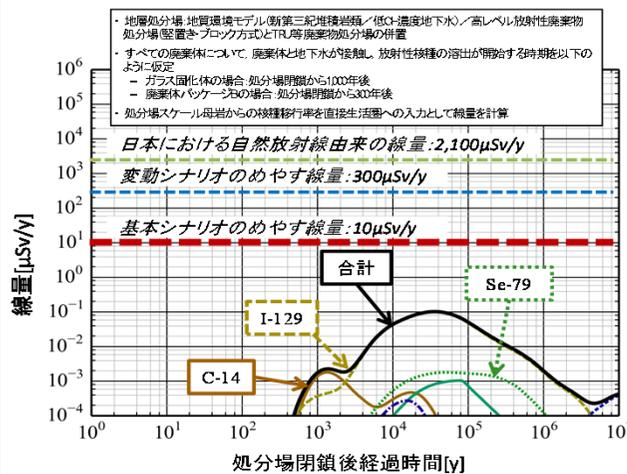
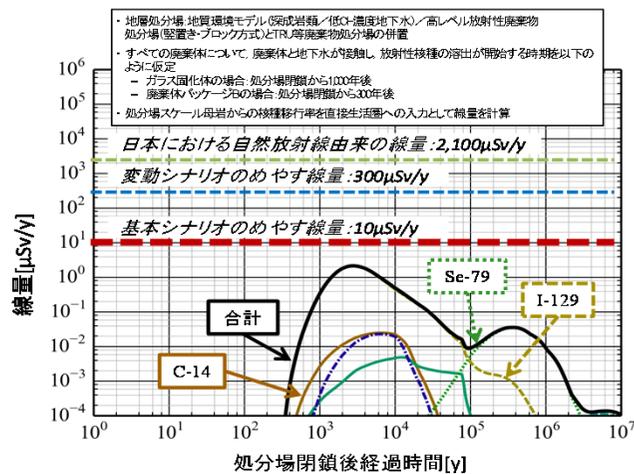
※年当たり10 μ Svは、測定器では放射能として検出できないレベル

深成岩類

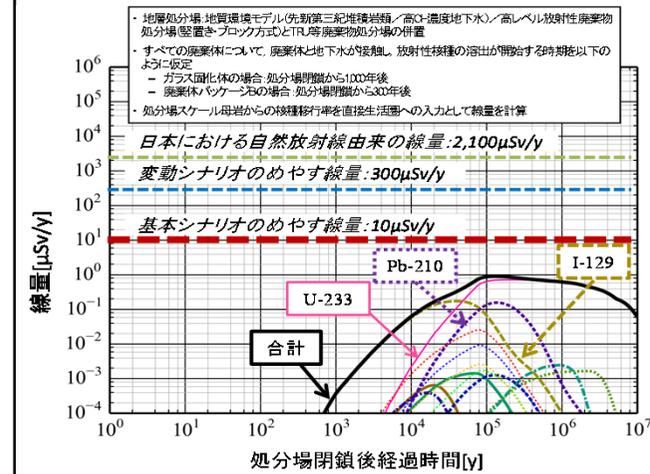
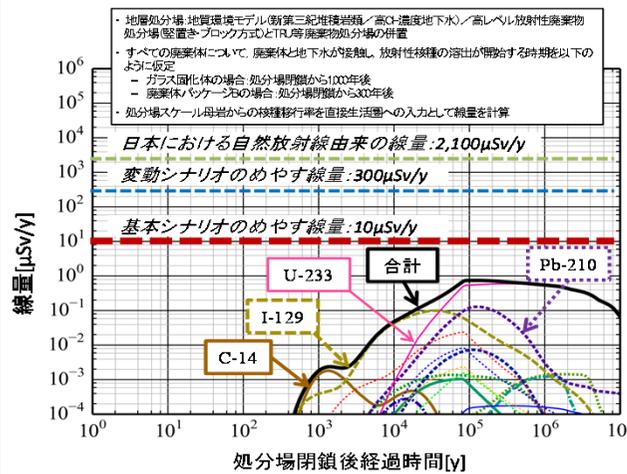
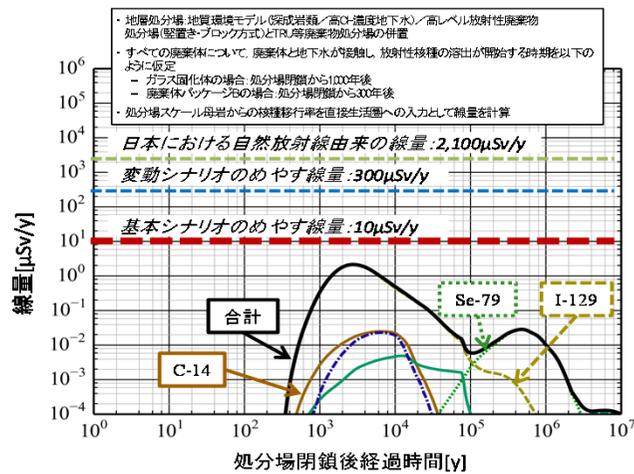
新第三紀堆積岩類

先新第三紀堆積岩類

低Cl濃度地下水モデル



高Cl濃度地下水モデル



閉鎖後長期の安全評価に対する解析ケース一覧

No.	Name
1	基本ケース
2	ガラス溶解速度の不確実性ケース
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
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
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

基本シナリオの解析

合計16解析ケース

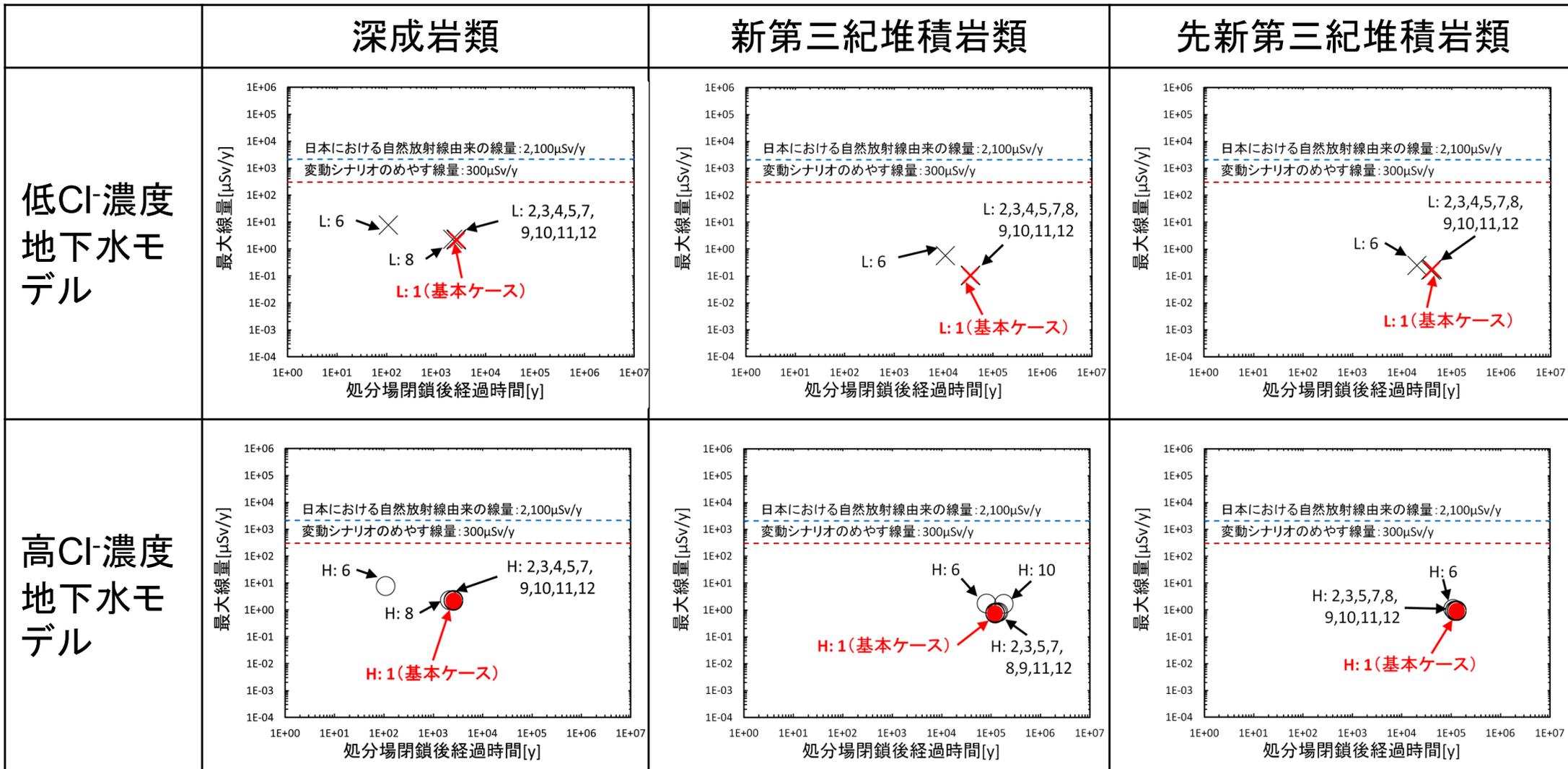
変動シナリオの解析

稀頻度事象シナリオの解析

人間侵入シナリオの解析

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)

併置処分においても変動ケースの最大線量の評価結果は、「めやす」として仮設定した年当たり300 μSv (ICRPが安全性の判断基準として勧告している線量)を下回る。



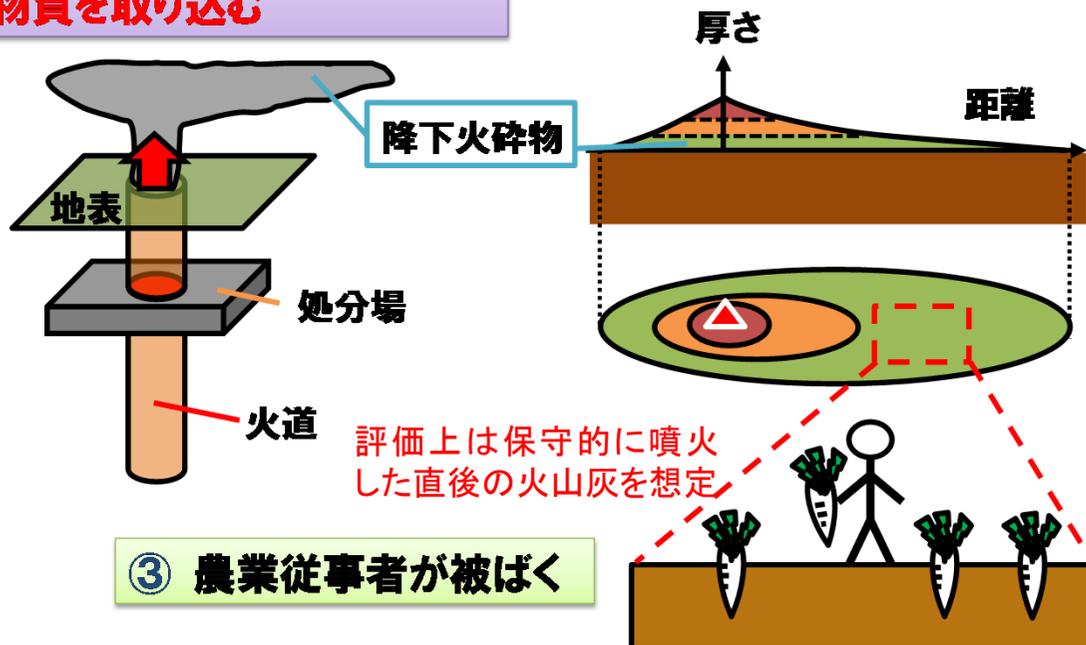
稀頻度事象シナリオの評価結果(新規火山発生ケースの例)

- 日本列島に沈み込むプレートの位置や運動方向・速度は過去約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ことから、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。
- ただし、処分場の閉鎖後10万年程度を超える長期間における火山・火成活動の発生を完全に否定することはできない。
- 処分場が新たな火山の直撃を受ける確率を試算すると 2.5×10^{-7} (/年)。極めて低い確率であるが、10万年後に火山が新規に発生し処分場を直撃することをあえて仮定した評価を実施。

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

稀頻度事象シナリオの「めやす」線量: 1-20 mSv/y



評価結果: 0.09 mSv/y

稀頻度事象シナリオの「めやす」線量として仮定した値を下回る

「閉鎖後長期の安全評価」のまとめ

閉鎖後長期の安全性を評価する方法を有しているとともに、国際的な動向を参考に仮設定した基準に対しては、閉鎖後長期の安全性を確保できるといえる。

- サイトの特性に応じて設計した処分場システムの特徴を反映可能な安全評価の方法を示した。
 - サイトの特性に応じて安全機能への影響事象を設定し、それらの発生可能性を考慮して、シナリオとしての取扱いを分析する方法を開発した。
 - 地質環境条件や処分場設計の特徴を反映可能な性能評価解析手法を整備し、これに基づくモデル構築からデータセットの設定、線量評価に至るまでの作業手順を体系化した。
- 深成岩類、新第三紀堆積岩、先新第三紀堆積岩類について、現実的な地質環境条件のもとで設計した処分場の安全評価を行った結果、いずれのシナリオについても、**全ての解析ケースで国際的な動向を参考に仮設定した「めやす」を下回る結果となった。これより、閉鎖後長期の安全性を確保できるといえる。**

第2次取りまとめからの主要な進展(閉鎖後長期の安全性の評価)

- 核種移行解析のパラメータを設定するために必要な放射性核種の熱力学データベースや収着分配係数, 拡散係数のデータベースの整備・拡充が国内外で進んでいる。
- 岩盤の割れ目分布や人工バリアの形状などを直接的に反映が可能な三次元物質移行解析技術や, 緩衝材と鉄材料やセメント系材料との化学的相互作用を反映した緩衝材の変質解析技術の開発など, 人工バリアと周辺岩盤で生起する複雑な挙動を考慮した解析技術が進展している。

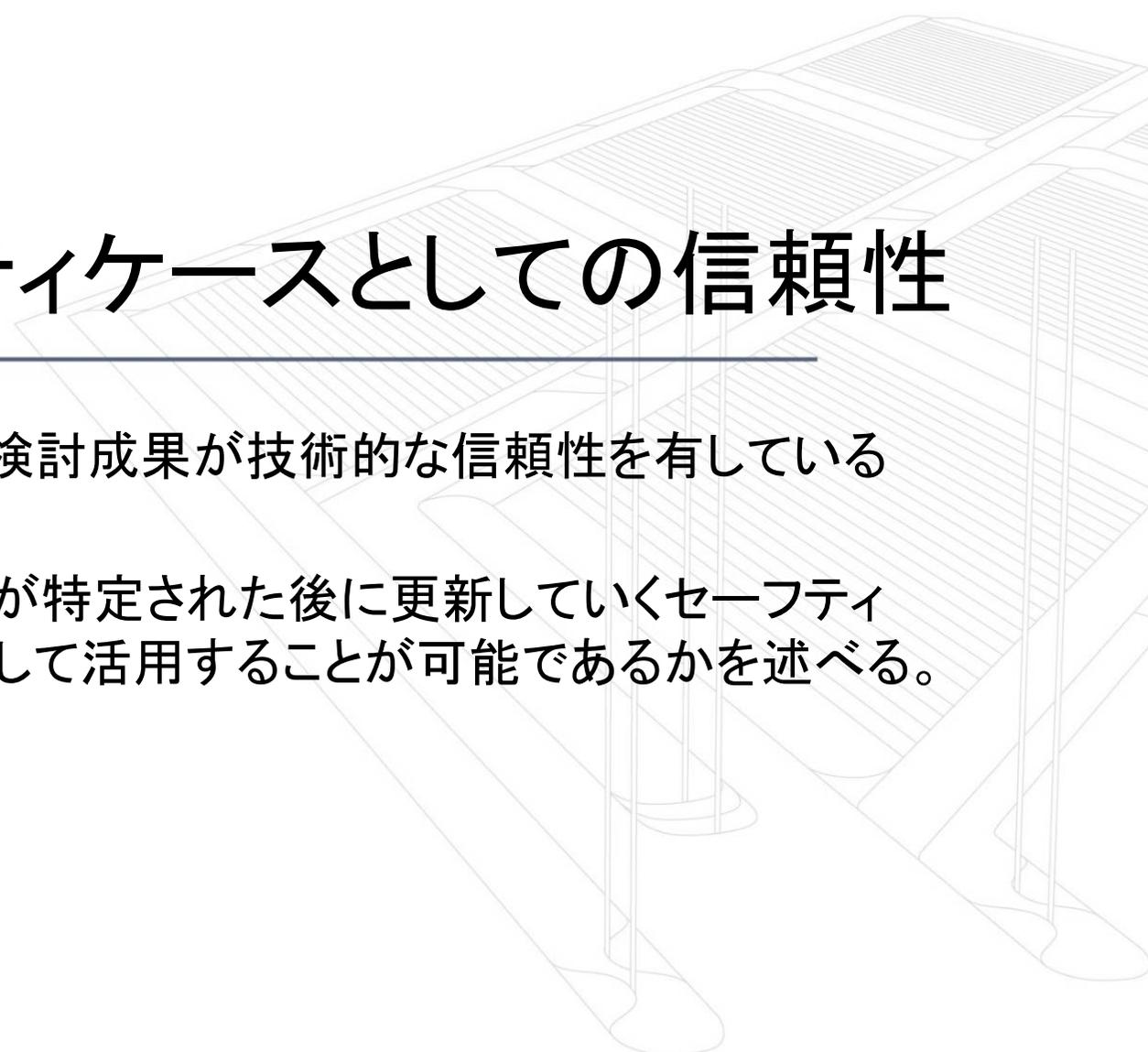
【今後の主な課題】

- 過度な保守性を排除した, 実際の現象をモデル化した核種移行解析技術の高度化 など



第7章 セーフティケースとしての信頼性

内容

- 第2章～第6章の検討成果が技術的な信頼性を有していることを述べる。
 - 本報告書がサイトが特定された後に更新していくセーフティケースの基本形として活用することが可能であるかを述べる。
- 

セーフティケースの信頼性確保の取り組み

- ① 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10万年後に天然のウラン鉱石と同等以下に減衰。さらに、基本シナリオの解析結果では、3種類の岩種とも10万年時点で98～99%の放射能が処分場内にとどまっていることを確認(閉じ込め機能が発揮されている)。
- ② 検討成果の品質確保
 - 地質環境モデルの構築には、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。
- ③ 不確実性への対処
 - 処分場の設計では、安全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。
 - 保守性に留意して解析のモデル化やパラメータの設定を実施。
- ④ ナチュラルアナログによる傍証
 - 100～200万年前の天然ガラスが地層中で発見されている事実、古代ローマ時代の鉄釘が1,000年以上にわたりほぼ腐食せずに地下に保存されていた事実は、報告書におけるガラス固化体の溶解速度、オーバーパック腐食速度の評価が保守的であることを支持するなど、人工バリアなどの長期評価を示唆する自然の観測事実が存在。

セーフティケースの信頼性確保の取り組み

⑤ 第2次取りまとめおよび第2次TRULレポートからの進展

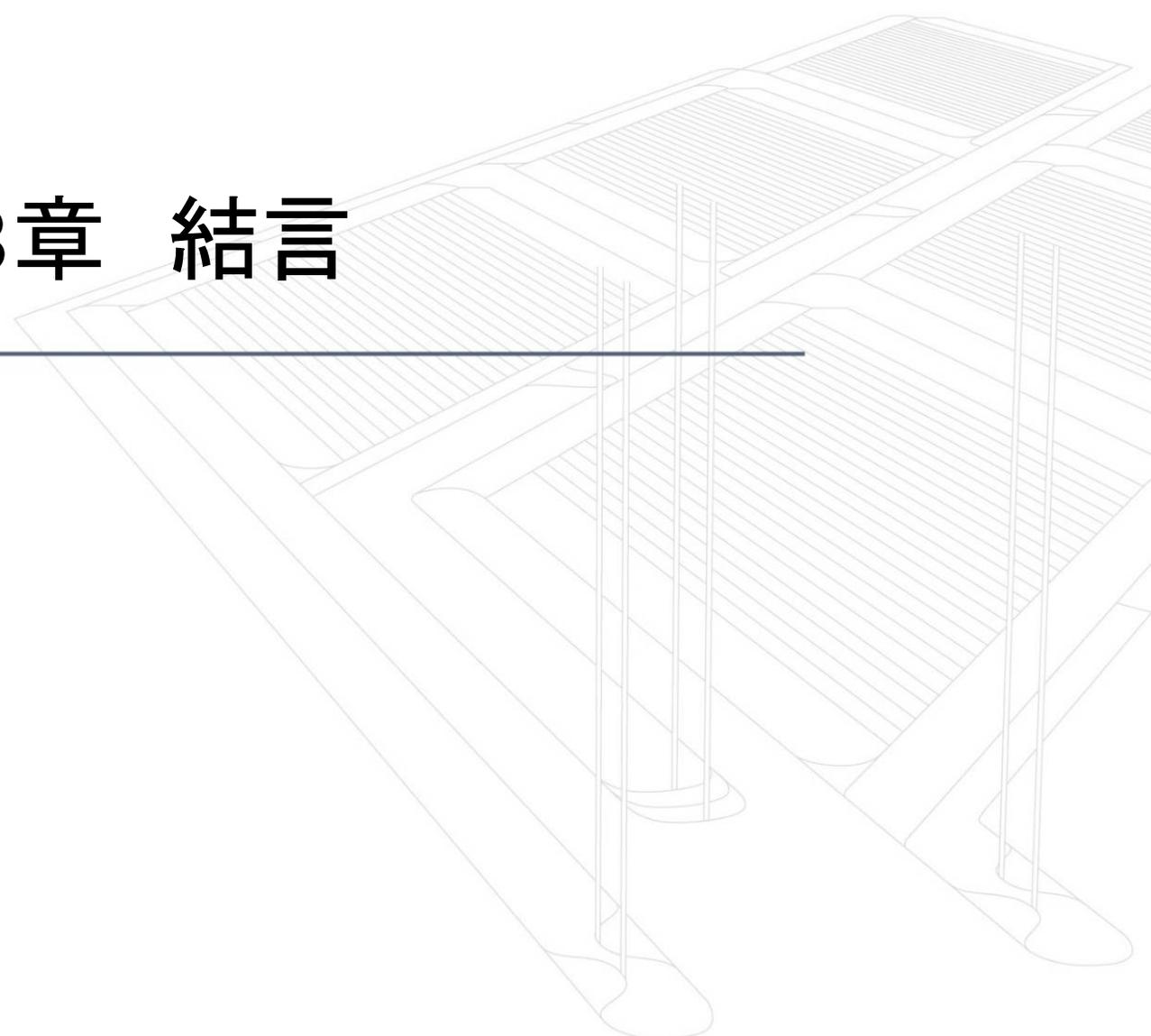
- 幌延・瑞浪を含む地下深部で実際に取得された情報に基づき、より実態に即した三種類の岩種の地質環境モデルを作成。これを対象とした処分場の設計と安全評価を実施したことで、わが国の多様な地質環境に対する地層処分技術の信頼性が向上。
- 処分場の設計技術を事業者の観点でより具体化・詳細化。国内外で実証試験が蓄積されて工学技術の実用化が進展。
- 閉鎖前の安全評価を具体的に実施。
- 閉鎖後長期の安全評価について、最新のデータベースに基づくパラメータ設定や三次元核種移行解析技術などを適用し、評価の信頼性が向上。

⑥ 今後の信頼性向上に向けた取り組みの明確化

- 地質環境調査・評価、処分場の設計、安全評価の各分野で、さらなる信頼性向上に向けた技術開発課題を抽出
- 国、NUMO、基盤研究機関で調整したわが国全体の技術開発計画の策定



第8章 結言



結言(1/2)

本報告書では、以下のことを示している。

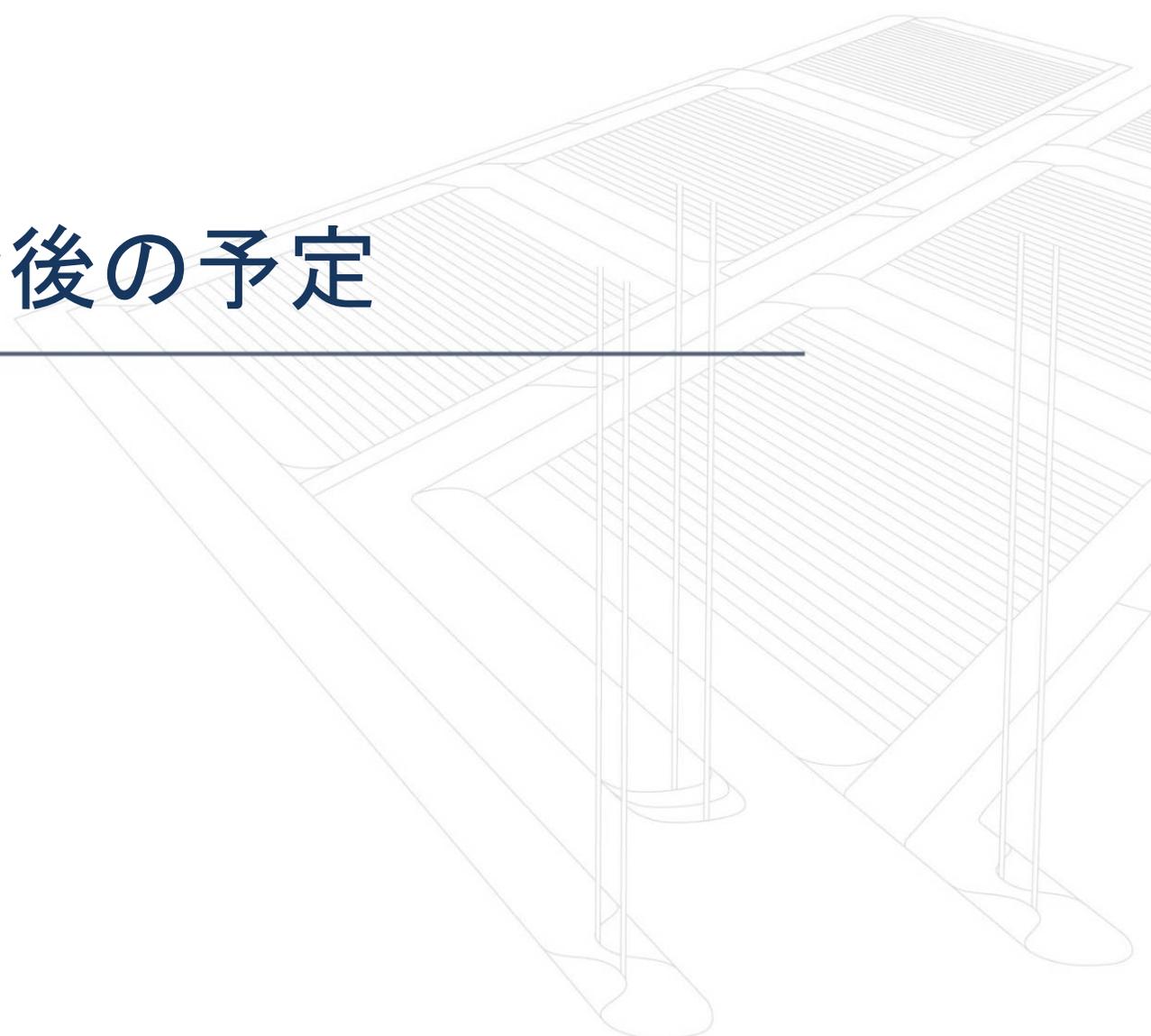
- ① 高レベル放射性廃棄物およびTRU等廃棄物を長期にわたって隔離し閉じ込めるための、処分場を設置する地質環境に必要な条件と好ましい条件を明確に示し、わが国の多様な地質環境の中からこれらの条件に応じた適切な地質環境を選定する方法論や調査・評価技術、および取得した地質環境情報を処分場の設計および安全評価の対象となる地質環境モデルとして解釈・統合する技術基盤を、サイト選定を進めるという観点からより実践的かつ具体的なものとして整備している。
- ② 国の科学的特性マップにおいて示された「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い地域」を広く対象として、わが国で地層処分の対象となり得る地質環境を代表的な三種類の母岩として分類し、地下深部で取得された全国的な情報やデータなどを用いて、断層の存在状況などの実際的な特徴を捉えた地質環境モデルを作成した。
- ③ これらの地質環境モデルに示された地質環境の特徴に応じて、安全性や工学的実現性などの要求事項を満たす処分場を設計する方法が整っており、これを用いて設計の仕様を具体的に示している。また、設計に基づいて処分場を建設し、操業・閉鎖するために必要な個別技術の実証が着実に進められていることから、既存あるいは今後の技術開発によって近い将来に実際の規模で実用化できる見通しを得ている。

結言(2/2)

- ④ 地質環境モデルやこれに適合させて設計した処分場の特徴を反映し、処分場の閉鎖前ならびに閉鎖後長期の安全評価を行うための一連の方法と解析技術の基盤を整備している。これらの技術に基づき、本報告書で示した地質環境モデルや設計した処分場の仕様に対して安全評価を行い、国際機関や諸外国の規制に示された、あるいは国内類似施設に関する安全基準の考え方などに照らして、人間の生活環境に有意な放射線影響を与えるものではないことを示している。
- ⑤ 地質環境の調査・評価技術、処分場の設計技術、安全評価技術の信頼性をさらに向上させ、わが国の地質環境に対する適用性を高めるために今後取り組むべき技術開発の課題を明らかにすることによって、長期に及ぶ事業の推進に向け、実施主体として継続して行うべき技術開発の方向性を示すとともに、それを支援するための品質や知識のマネジメント、人材育成に取り組むための基盤を整えつつある。
- ⑥ 本報告書で示したセーフティケースは、今後の技術開発成果や、サイトが明らかになった場合にはそのサイト固有の条件などを反映して、地層処分事業の安全性や実現性に関する信頼性を恒常的に高めていくために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することができる。

以上のことから、今後、文献調査などを受け入れていただいた地域において、その特性を踏まえて処分場の設置に適した場所を選び、安全な処分を実現するために、より信頼性の高い技術を整備しつつ、段階的に事業を進めていくための一連の準備が整えられているものと結論する。

今後の予定



今後の予定(案)

- ① 12月以降:本日公表した報告書(レビューの対象になるという意味でレビュー版と呼称)をもって,日本原子力学会によるレビュー開始
- ② 1月以降:一般向け成果報告会の開催
- ③ 2019年夏頃:日本原子力学会レビュー報告書受領(日本語・英語)
- ④ 2019年秋頃:原子力学会レビューコメントを踏まえた報告書の修正,報告書英語版(レビュー版)の作成
- ⑤ 2019年冬以降:国際機関によるレビュー開始(予定)
- ⑥ 2020年夏頃:国際機関によるレビュー終了(予定)
 - 各学会等での発表,多様な専門家を招いたワークショップの開催などを行い,地層処分技術の説明や他分野専門家とのコミュニケーションを図っていく。
 - 日本原子力学会,国際機関によるレビューの評価結果は公表し,報告書の技術的な信頼性の確認結果を発信する。