

シンボ社会研究会  
ご説明資料

# NUMO包括的技術報告書（セーフティケース）について

「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－」（レビュー版）

2019年11月13日、京都市 応用科学研究所内

原子力発電環境整備機構（NUMO）

山田 基幸

# 地層処分の歴史的背景

地層処分は国内外で長い年月をかけて検討が積み重ねられてきた

日本

海外

1962年：原子力委員会報告書「高レベル放射性廃棄物の処分方針について」検討開始

1976年：原子力委員会決定「放射性廃棄物対策について」地層処分研究スタート

1992年：動燃事業団（現JAEA）技術報告書（第1次取りまとめ）にて地層処分の技術的可能性を示す

1999年：核燃料サイクル開発機構（現JAEA）研究開発成果（第2次取りまとめ）にて日本において地層処分は技術的に実現可能であることを確認

2000年：「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」制定・NUMO設立

2015年：国が基本方針を改訂、科学的により適性の高いと考えられる地域を提示するなど、国が前面に立って取り組むことを明記

2017年：科学的特性マップの公表

2018年：包括的技術報告書（レビュー版）の公表

1950

1960

1970

1980

1990

2000

2010

2015

2018

1957年：米国科学アカデミー会議  
地層処分の概念が初めて提示

1977年：OECD/NEA報告書  
様々な処分方法のうち、「安定な地層中へ閉じ込めることが、最も進歩した解決方法である」との結論

1995年：OECD/NEA報告書  
「現世代の責任で地層処分を実施することは最も好ましい」との結論

2011年：スウェーデンが処分地の建設許可を国に申請

2015年：フィンランドが処分施設の建設許可を発給

# 経緯トピックス (1/3)

- 1992年「高レベル放射性廃棄物地層処分研究開発の技術報告書」(通称：第1次取りまとめ)
  - ✓ 動燃事業団(現JAEA)が30年以上にわたる研究開発成果を取りまとめ、地層処分の技術的可能性を提示
- 1999年「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
- 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)
  - ✓ **原子力発電環境整備機構(NUMO)設立** ⇒ 高レベル放射性廃棄物を地層処分する認可法人として事業開始
- 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
  - ✓ 全国の市町村対象に「最終処分施設の設置可能性を調査する区域」の公募開始

# 経緯トピックス (2/3)

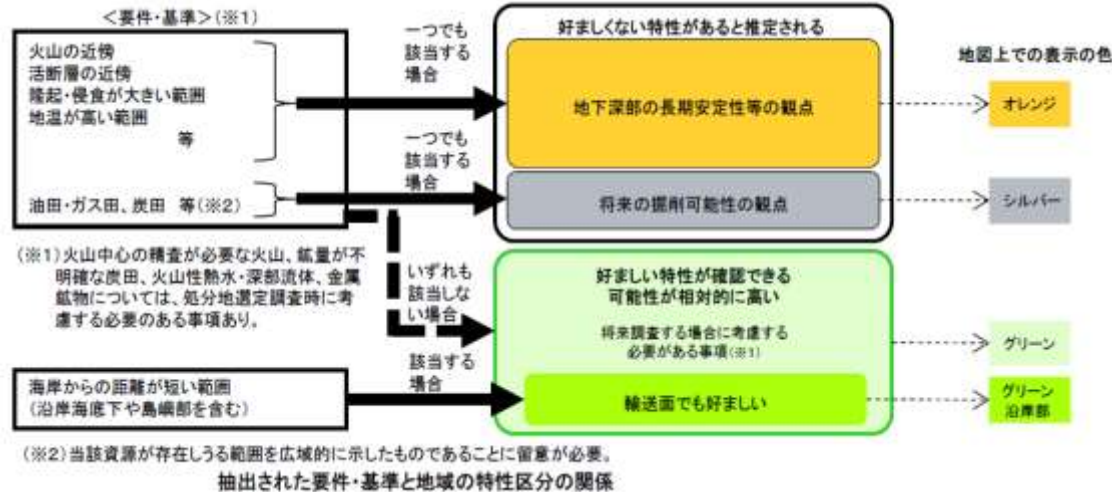
- **2005年 「TRU 廃棄物処分技術検討書 – 第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ」**
  - ✓ 電事連・核燃料サイクル開発機構（現JAEA）がTRU等廃棄物処分の技術的成立性や安全性の見通しなどについて、2000年「TRU廃棄物処分概念検討書」（第1次TRUレポート）以降の成果を反映し、取りまとめた「第2次TRUレポート」
- **2007年 地層処分対象にTRU等廃棄物追加**
  - ✓ 「第2次TRUレポート」を踏まえて最終処分法が改正。TRU等廃棄物（地層処分相当低レベル放射性廃棄物）の処分がNUMOの事業に追加
- **2011年 東京電力福島第一原子力発電所事故発生**
  - ✓ 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）※1、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）※2などの指摘あり
    - ※1：「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
    - ※2：「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
- **2013年 「包括的技術報告書」作成に着手**
  - ✓ 最新の科学技術的知見に基づき、安全な地層処分の実現性を示すため

# 経緯トピックス (3/3)

- **2013年 原子力小委員会に「放射性廃棄物WG」「地層処分技術WG」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を再確認
  - ✓ 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を再確認
- **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）の改定。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盛り込む
- **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
- **2018年 「包括的技術報告書」公表**

# 参考／科学的特性マップ<sup>①</sup>（2017年7月 資源エネルギー庁）

## 科学的特性マップ



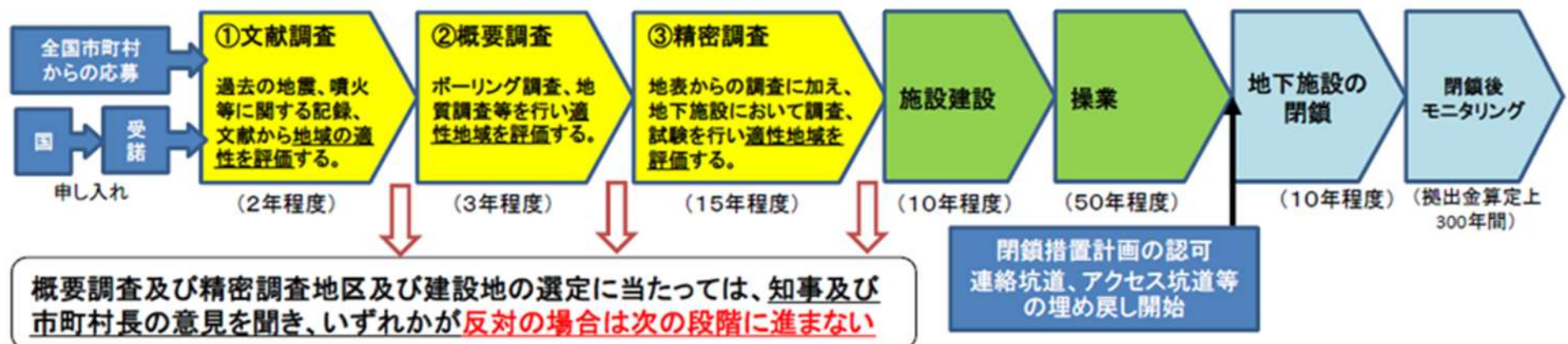
- ◆「科学的特性マップ」は、地層処分を行う場所を選ぶ際に考慮する科学的特性と、その特性の日本全国における分布を大まかに示したものであり、地域の科学的な特性を確定的に示すものではない
- ◆ 処分場所の適性の確認のためには、最終処分法に基づく三段階の処分地選定調査をNUMOが行い、詳しく調べて評価することが必要

出典：「科学的特性マップ」、経済産業省、2017.7

# 事業の段階的な展開



出典：「地層処分に関する地域の科学的な特性の提示に係る要件・基準の検討結果」（総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG とりまとめ、2017.4）



出典：総合資源エネルギー調査会 電力・ガス事業分科会 原子力小委員会 地層処分技術WG とりまとめ (2014)

# 包括的技術報告書作成の目的

## 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として「包括的技術報告書」を作成

## 位置づけ

- 今後、文献調査・概要調査・精密調査と事業の段階が進むのに応じて、調査結果や最新の知見などを反映した最新の検討状況を公表していく予定 ⇒国際的な「セーフティケース」の考え方に合致
  - ✓ 将来的には、規制機関に提出する「事業認可申請書」へ
- 包括的技術報告書はサイト調査に入る前段階のわが国のセーフティケースとして作成



# 地層処分の安全性を説明するための考え方

- 地層処分は、将来数万年以上にわたる安全性を確保しなければならない、人類にとって初めてのプロジェクトであり、事業期間だけでも約100年
- 地層処分の安全性を確保し事業に対する信頼を確かなものとしていくためには、**事業の各段階**（サイトの調査前、調査中、許認可、建設・操業中、閉鎖時など）において、**事業者はその時点の最新の科学技術的知見に基づいて「なぜ安全な処分場を構築できるといえるか」を説明し、**
  - ステークホルダーが「次の段階に進んでよいか？」を判断するための材料を提供
  - 処分場の安全性に関する説明性を段階的に向上
- 事業者はこの説明を、根拠とともに報告書として取りまとめて社会に提示（この報告書は「**セーフティケース（safety case ※）**」と呼ばれる）
- セーフティケースは、**ステークホルダーとの対話の土台**

※ case : 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）。元々は裁判で使われる証拠を意味

# 各国におけるセーフティケースの例

ジェネリック (サイトが不特定)

ジェネリック

NUMO包括的技術報告書  
2018

英国RWM  
2016

ジェネリックまたは岩種  
スペシフィック

ベルギー-ONDRAF/NIRAS  
2001

許認可申請

スイスNagra  
2002

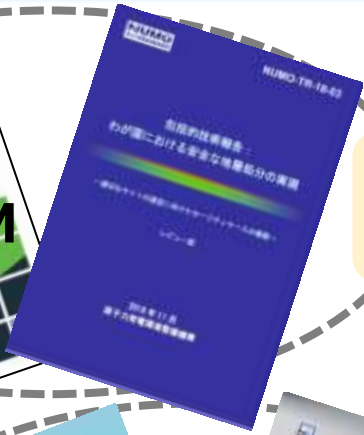
米国USDOE  
2008

スウェーデン  
SKB 2011

フィンランド  
Posiva  
2012



OECD/NEA  
2004/2012



国際的指針

フランス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)

# 包括的技術報告書が示したいこと

- 現段階において、NUMOがどのように安全な地層処分を実現しようとしているのかを説明したもの（セーフティケース）
- 地層処分の安全確保に必要な技術的な内容を詳細に説明
  - ① どのようにして適切な地質環境を選ぶのか
  - ② どのようにして安全性に余裕を持たせた処分場を設計し、どのような技術を用いて処分施設の建設や廃棄物の埋設を行うのか
  - ③ どのようにして処分場を閉鎖するまでの建設・操業中、および処分場を閉鎖した以降の数万年以上の将来に対する安全性（放射性物質が人間に有意な影響を及ぼすリスクは十分小さいこと）を確認するのか
  - ④ 技術的検討の品質管理、次世代への知識継承、人材育成・確保、技術開発の継続などの事業のマネジメントをどのように実施するのか

# 包括的技術報告書の構成

- **第1章：報告書作成の背景と目的**
- **第2章：安全確保の基本的な考え方**
  - 地層処分事業の概要
  - 安全確保のための基本方針
- **第3章：適切な地質環境の選定技術、わが国の地質環境のモデル化**
  - 適切な地質環境を選ぶための方法、調査・評価技術の提示
  - 全国規模の情報に基づくわが国の代表的な岩種に対する地質環境モデルの作成
- **第4章：処分場（人工バリア、地上・地下施設）の設計と工学技術の提示**
  - 処分場の設計技術の提示
  - 地質環境モデルに対する処分場の設計の実施
  - 設計した処分場を建設・操業・閉鎖する工学技術の提示
- **第5章、第6章：処分場が安全に機能することの確認（安全評価）**
  - 処分場の閉鎖前および閉鎖後の安全性を評価する技術の提示
  - 設計した処分場に対する安全評価の実施
- **第7章：技術的な信頼性に関する議論と今後の取り組み**
  - 技術的信頼性の確認と今後の取り組み
- **第8章：まとめ**

地層処分の安全性を説明するために必要な技術的項目を網羅

# 地層処分の対象となる放射性廃棄物

## 高レベル放射性廃棄物

## TRU等廃棄物（地層処分相当低レベル放射性廃棄物）

### 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）

廃棄体グループ	1			2		3		4	
	低発熱性L			発熱性H					
概要	<b>廃銀吸着材</b>  放射性的ヨウ素を除去する吸着材料			<b>エンドピース ハル</b>  細断・圧縮		<b>濃縮廃液など</b> 硝酸系廃液 モルタルなど 乾燥・ペレット化 		<b>難燃性廃棄物</b>  ゴム手袋（焼却・圧縮） <b>不燃性廃棄物</b>  工具 金属配管	
主な廃棄体の形態	(単位: mm)  200Lドラム缶			(単位: mm)  キャニスタ		(単位: mm)  200Lドラム缶		(単位: mm)  角型容器 200Lドラム缶 その他（ハル缶、インナーパレル）	
特徴	・放射性ヨウ素 (I-129)を含む ・セメント固化体			・発熱量が比較的大 ・放射性炭素 (C-14)を含む		・硝酸塩を含む ・モルタル、アスファルトによる固化体など		・焼却灰、不燃物 ・セメント固化体など	
見込み発生量	319 [m <sup>3</sup> ]			5,792 [m <sup>3</sup> ]		5,228 [m <sup>3</sup> ]		5,436 [m <sup>3</sup> ]	1,309 [m <sup>3</sup> ]
最大発熱量（発生時点）	1 [W/本]未滿			90 [W/本]未滿		1 [W/本]		16 [W/本]	210 [W/本]

※貯蔵総本数2,485本  
 （2018年9月現在）

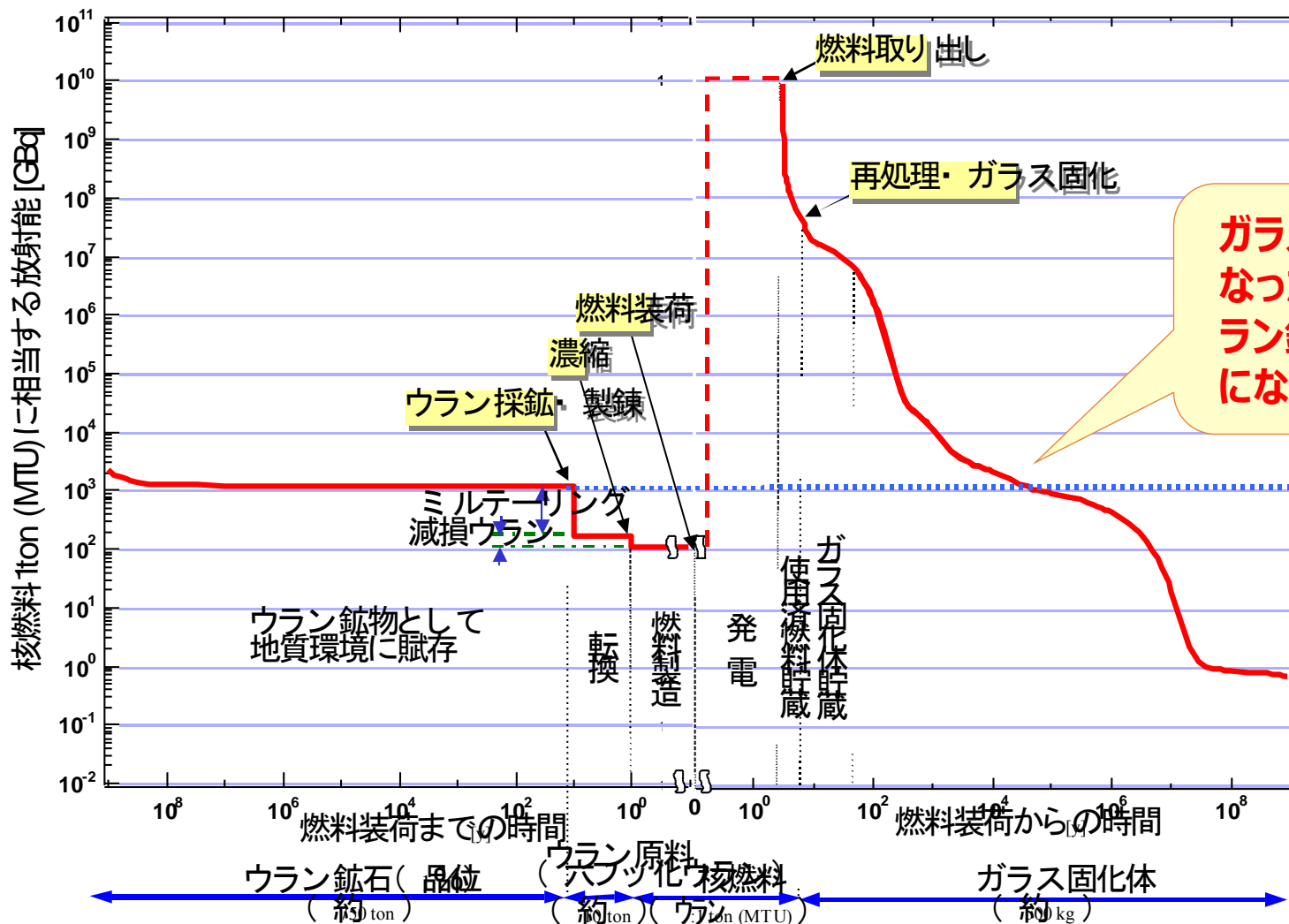
可溶性、非収着性、  
 長寿命核種

緩衝材や母岩の収着性を  
 低下させる

発熱量大

# 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



ガラス固化体 1 本の元になった燃料製造に必要なウラン鉱石と同等の放射能量になるまで数万年を要する

核燃料サイクル開発機構 (1999) : 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 - より引用

# 包括的技術報告書における放射性廃棄物の検討条件

- 国の最終処分計画（2008）に基づき、以下を処分できる処分場を想定
  - 高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）：4万本（年間1,000本）
  - TRU等廃棄物：19,000m<sup>3</sup>
- 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
- ガラス固化体の仕様は、実際の処分時に最も多くの数量を占める日本原燃の仕様を標準として設定
- 廃棄体製造から処分施設受入れまでの貯蔵期間を以下のように設定し、発熱量と放射能インベントリを算出（製造品質や貯蔵期間の不均一性は考慮しない）
  - 高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）：30年および50年と設定
  - TRU等廃棄物：25年と設定

# 地層処分の基本概念

## ○ 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
- 酸素が消費されているため腐食や溶解といった物質の変化が起こりにくい など

- ➡
- 地下深部は、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、長期間にわたって放射性物質を岩盤中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場所を除けば、上記の地下深部の一般的な特徴はわが国でも観測される事実

例えば、総合資源エネルギー調査会（2014）：「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－」、地層処分技術WG

## ○ 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

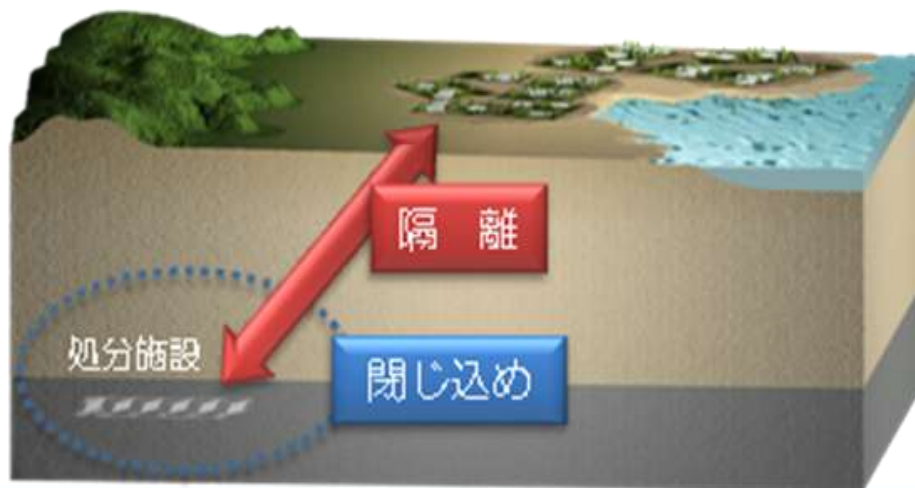
## ○ 一般労働安全に関する安全機能

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

## ○ 処分場周辺の環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 <b>廃棄物が地表に接近あるいは露出しないように防護</b> 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、 <b>廃棄物への偶発的な接近を困難</b> 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、 <b>地下水への放出率を低下</b> 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、 <b>放射性物質の移行率を低下</b> させること



放射性物質を処分場  
周辺にとどめておく

# 安全確保のための基本方針

- 三段階の調査（文献調査、概要調査、精密調査）により、処分場に重大な影響を与える可能性のある自然現象（活断層や火山活動など）が及ぶ範囲を避けて、好ましい地質環境を有するサイトを選定
- 選定されたサイトの将来の地質環境の変化も考慮して、十分に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
  - 処分場の設計は、サイトの条件の具体化に応じて段階的に詳細化
- さまざまな不確実性を考慮した安全評価によって算出される影響が、許容できる範囲（※規制機関が示す安全基準）に収まる場合は安全と判断、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実施
  - 処分場閉鎖前：多重の安全対策が機能しないという異常時を想定した解析によって影響を評価
  - 処分場閉鎖後：将来長期間にわたり、処分場の安全性を損なう可能性のあるさまざまな事象が起こることを想定し、処分場から放射性物質が地表に到達した場合は人間にもたらされる放射線影響を解析によって評価

## ※ 地層処分に対するわが国の規制基準は今後整備

- ➡ 包括的技術報告書では、国際機関（ICRPなど）が提唱する安全基準を参考に、安全性の「めやす」を設定

# 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、それぞれの特性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

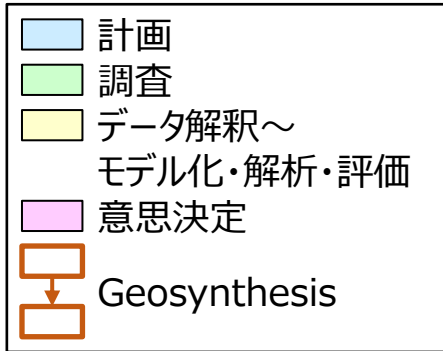
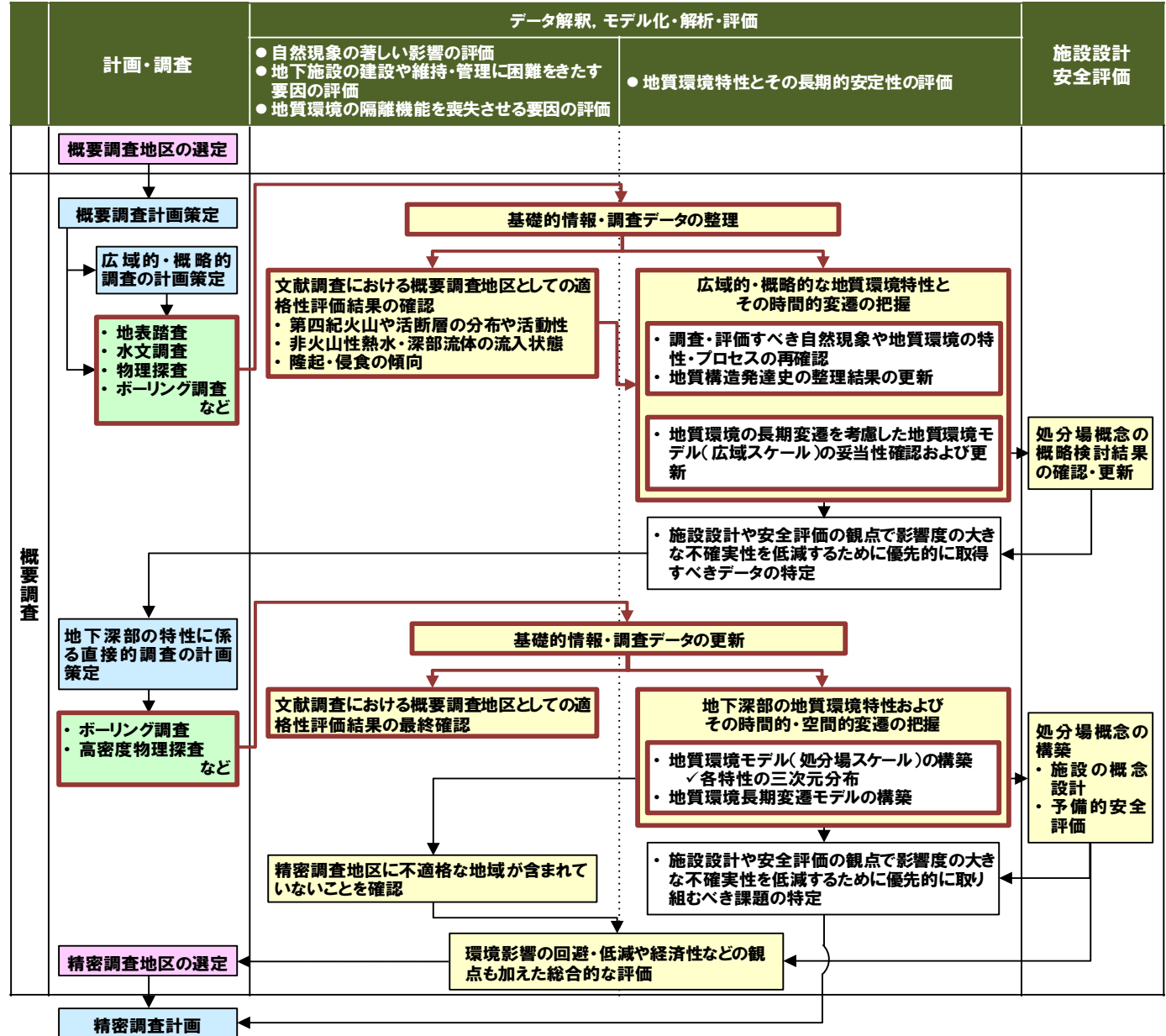
➡ 火山活動、断層活動などの自然現象の著しい影響が将来にわたって回避されることが見込まれるとともに、将来の地下深部の水理場や化学場などの変化が処分場の安全機能を損なわない程度の範囲に収まる地質環境を選定する

## ○ 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

## 調査フローの例 (概要調査)

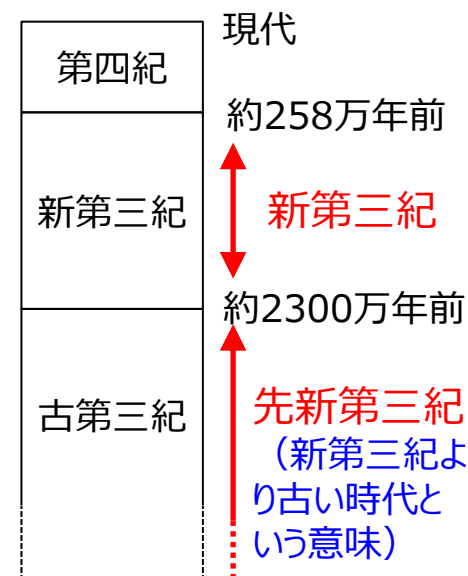


# 検討対象とする母岩の設定

- 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

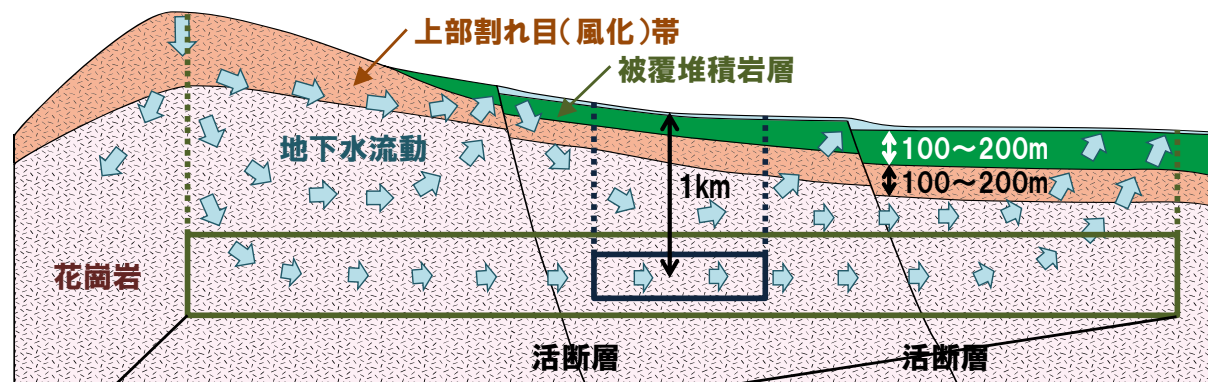
時代	新第三紀	先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	新第三紀・先新第三紀	
岩種	堆積岩類	堆積岩類	火山岩類	深成岩類	変成岩類
地表分布比(%)	11	33	10	16	7
深度500m分布面積比(%)	15	35	15	20	5
深度1000m分布面積比(%)	10	45	10	25	10
水みちの構造	粒子間隙 割れ目	割れ目 層理面 粒子間隙	割れ目 粒子間隙	割れ目 岩脈	割れ目 片理面
透水係数の代表値(m/s)	$3 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-7}$	$2 \times 10^{-7}$	$5 \times 10^{-8}$	$9 \times 10^{-7}$
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



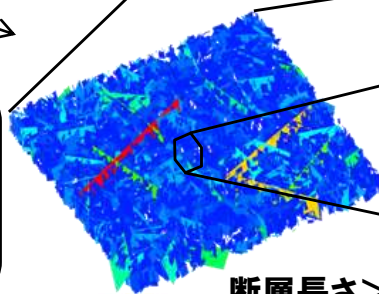
# 深成岩類の地質環境モデル

断層・割れ目の長さ、分布密度、方向性、透水性などに関する深成岩類の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



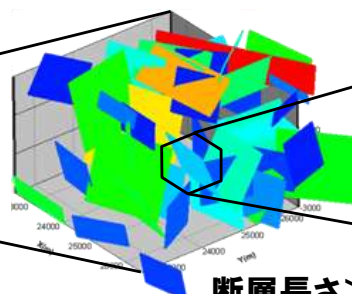
一般的に認められる地質環境の概念モデル

現時点で得られている公開情報の範囲のなかで各岩種の“平均的な姿”を表現



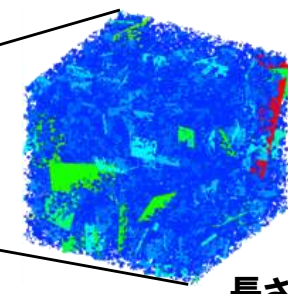
断層長さ > 1km

広域スケール  
(50km×50km)



断層長さ > 1km

処分場スケール  
(5km×5km)



割れ目長さ > 10m

パネルスケール  
(800m×800m)

## 【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

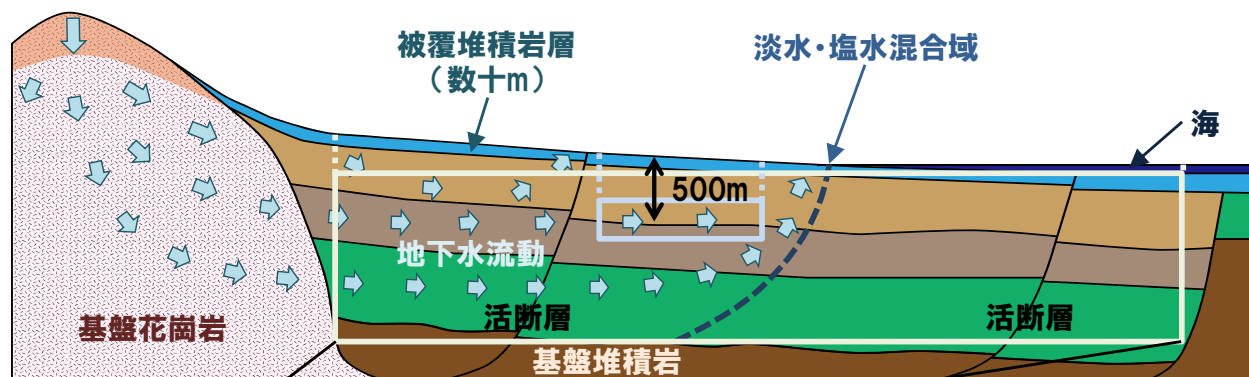
## 【地層処分の観点からみた特徴】

- 断層・割れ目が地下水流動を支配、力学強度は大

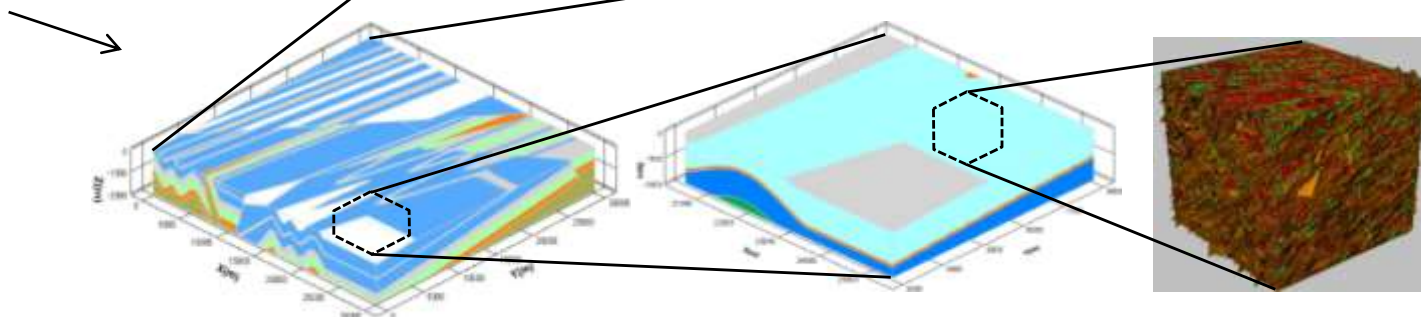


# 新第三紀堆積岩類の地質環境モデル

断層・割れ目の長さ、分布密度、方向性、透水性や褶曲構造などに関する新第三紀堆積岩類の実際のデータに基づきモデル化



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】

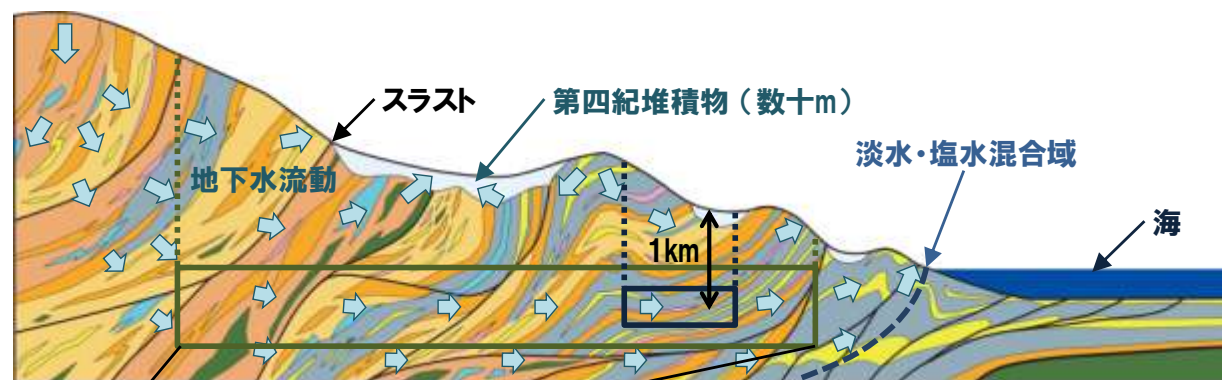
- ・ 幌延深地層研究センターを含む全国規模で取得された地質環境情報

## 【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

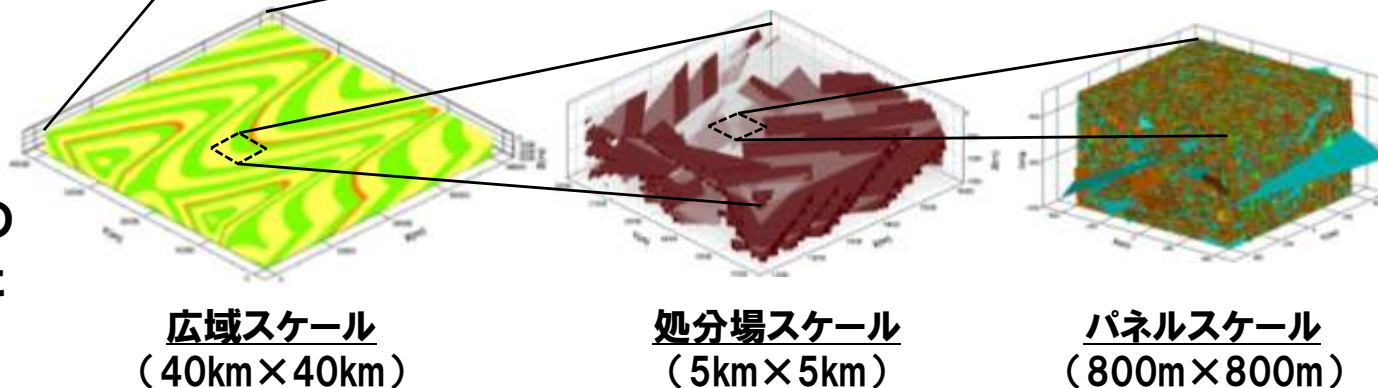
- ✓ わが国の地下深部に最も広く分布
- ✓ 第2次取りまとめでは地質環境モデルを作成していない岩種



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】

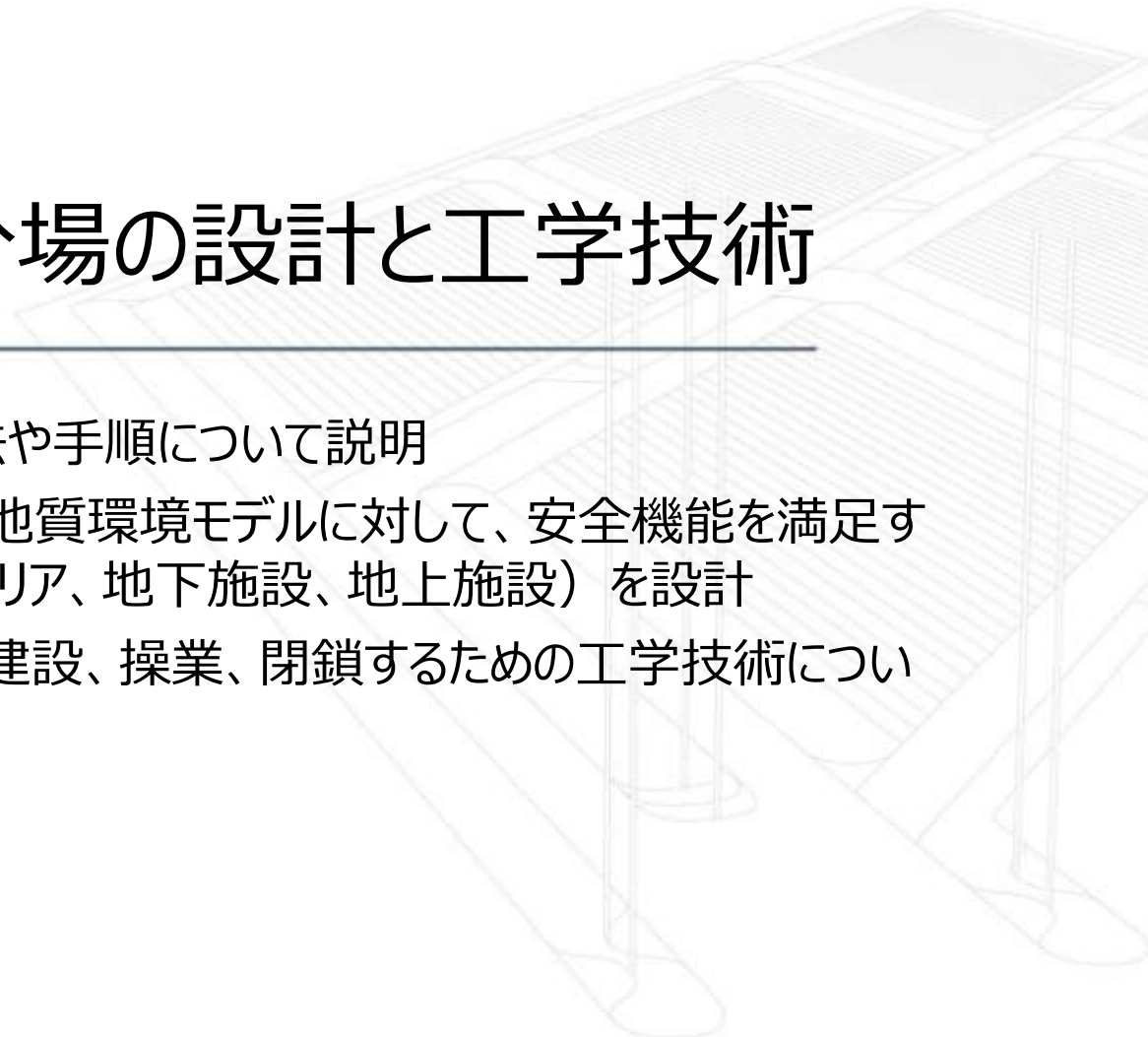
- 付加体に代表される、**褶曲や断層で分断されたブロックの集合体から構成される複雑な構造。複数の岩相が混在**
- 断層・割れ目の発達度や力学強度などは深成岩類と概ね同程度
- **透水性の低い岩盤が存在。断層・割れ目が地下水流動を支配**



## 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

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

- 設計要件（例：オーバーパックは少なくとも1000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

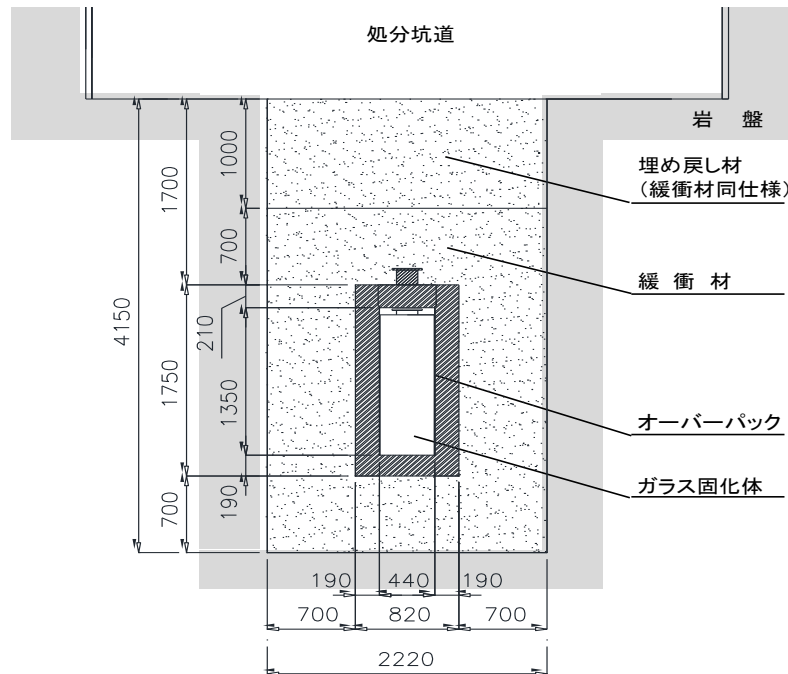
# 人工バリアの設計結果の例（高レベル放射性廃棄物）

- 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）

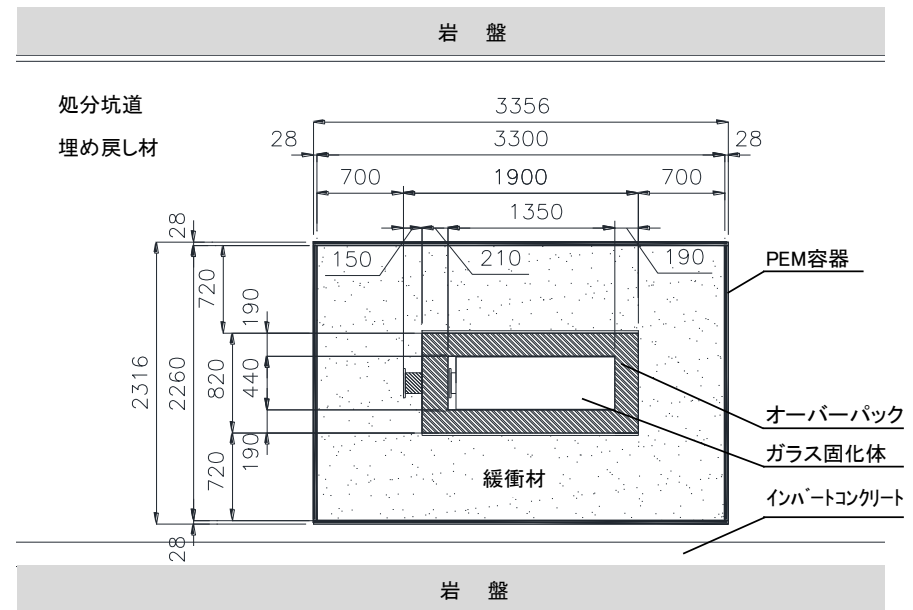
最新知見に基づく、閉じ込め期間1,000年に対する必要最大厚さは121mm。厚さ190mmでは約17,000年の閉じ込めを確保できる可能性があり、十分な安全裕度を有することを確認

- 緩衝材：ベントナイト70%・砂 30%、膨潤後密度1.6 Mg/m<sup>3</sup>、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



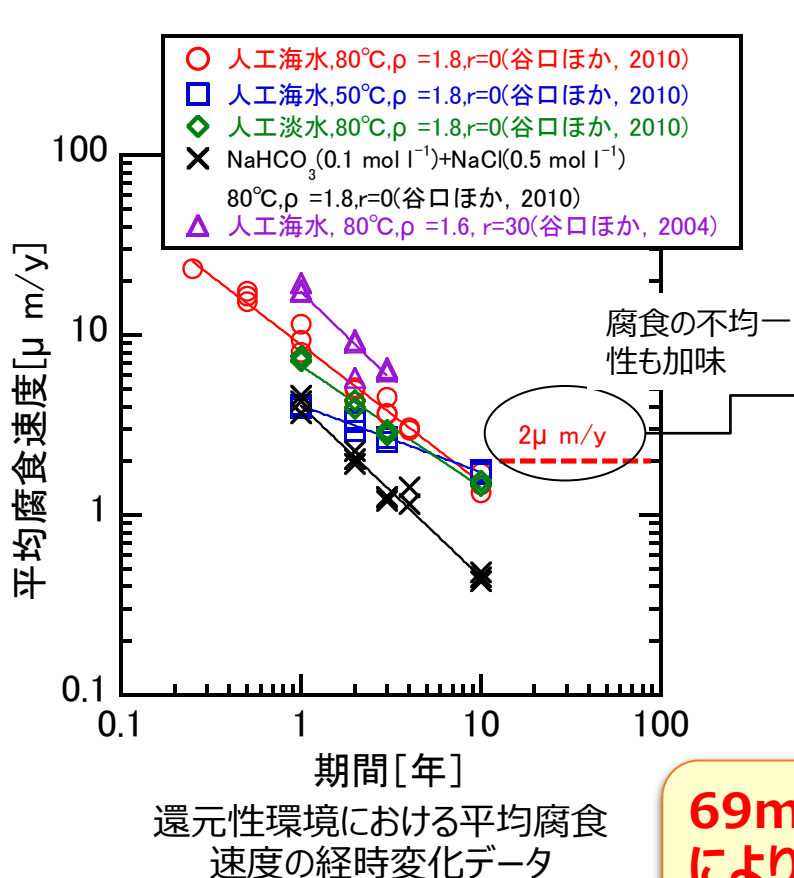
（縦置き・ブロック方式）



（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促進に関する最新知見に基づくと、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



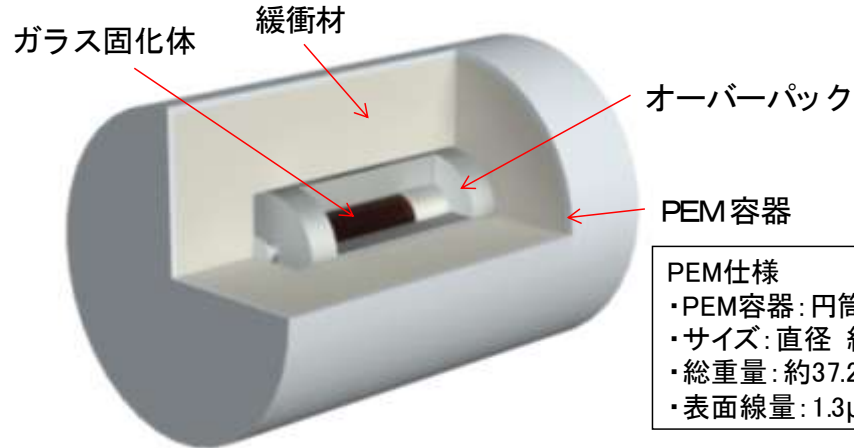
(単位 : mm)

	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静水圧などへの耐圧代	≥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



## 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 $\mu$  Sv/h (50年冷却時)

## Prefabricated Engineered barrier system Module



## PEM方式の利点

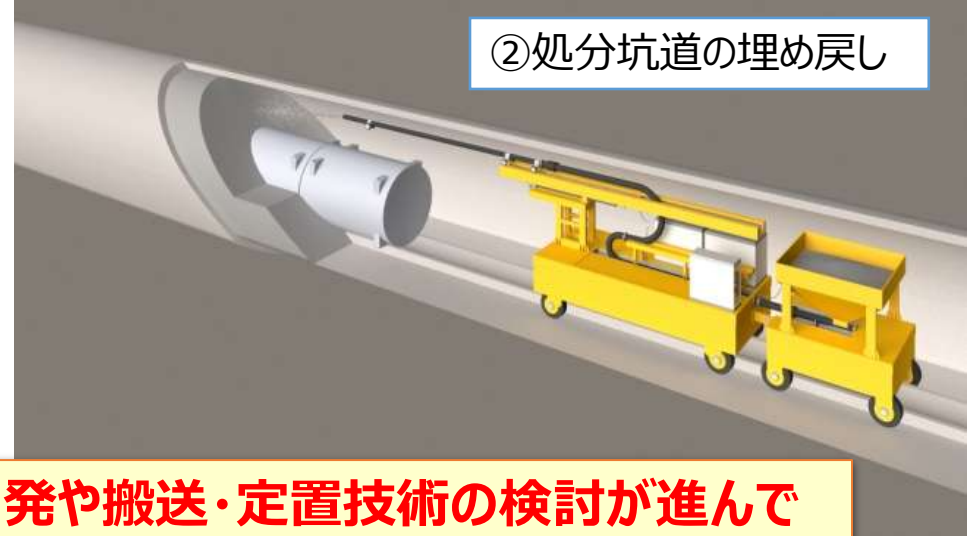
- ・地上施設で組立のため人工バリアの品質管理が容易
- ・湧水・滴水・高湿度などの環境下でも操業が容易

鋼殻リング法によるPEM組立実証 (RWMC、2011)

## ① 処分坑道へのPEMの定置



## ② 処分坑道の埋め戻し



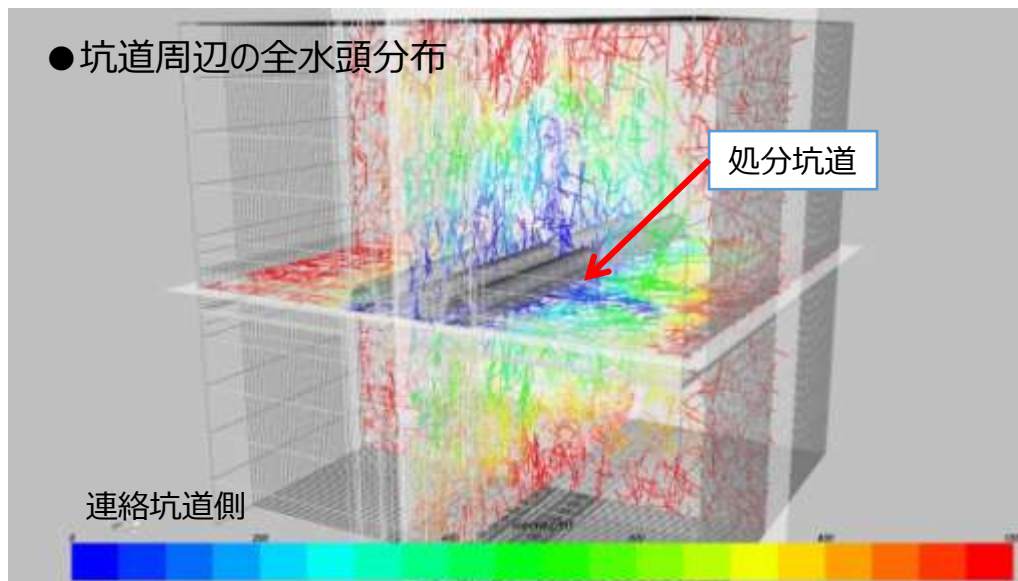
実規模大でPEMの製作技術の開発や搬送・定置技術の検討が進んでおり、人工バリアの施工技術の実用性が向上している





# 小規模な断層や岩盤割れ目に対する対応策の検討

- 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（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

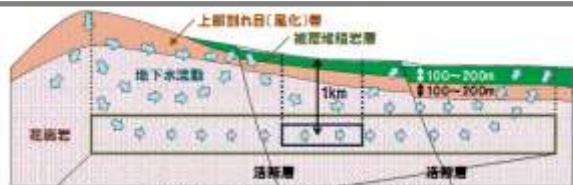
実際の地下深部で遭遇し得る地質環境を想定した、より実用的な設計の考え方を示した

# 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)

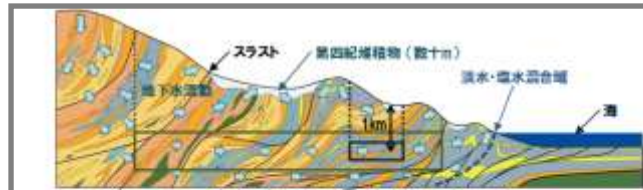
先新第三紀堆積岩類 (モデル水質: 2種類)



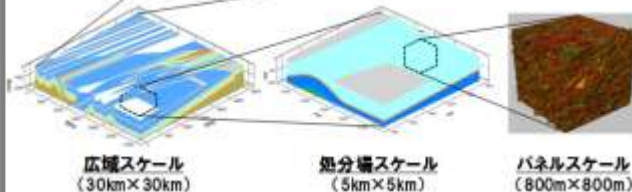
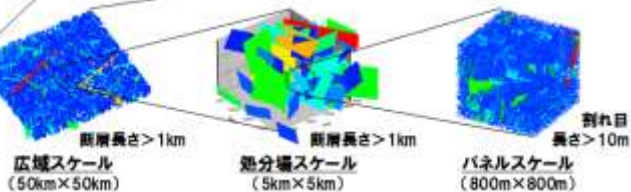
一般的に認められる地質環境の概念モデル



一般的に認められる地質環境の概念モデル



一般的に認められる地質環境の概念モデル

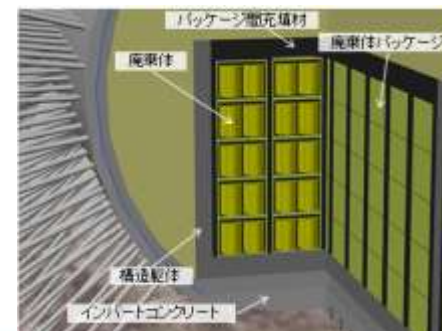
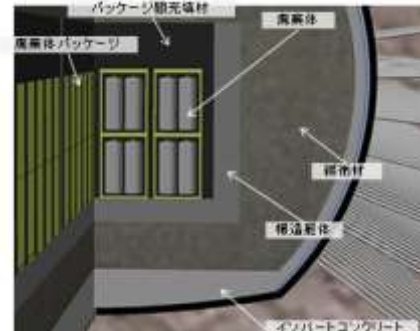
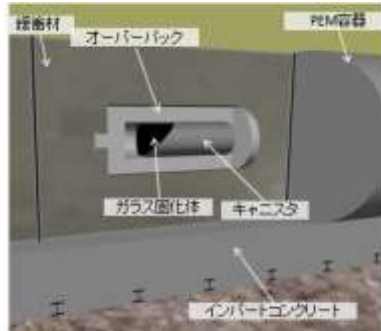
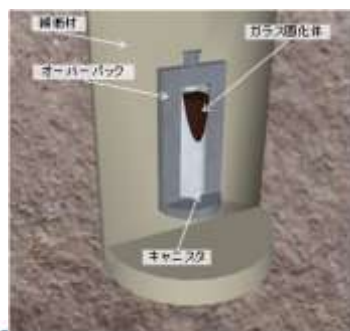
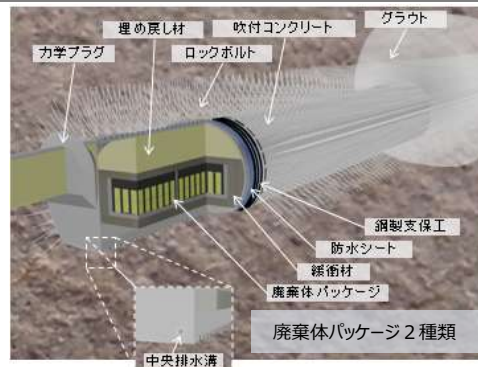
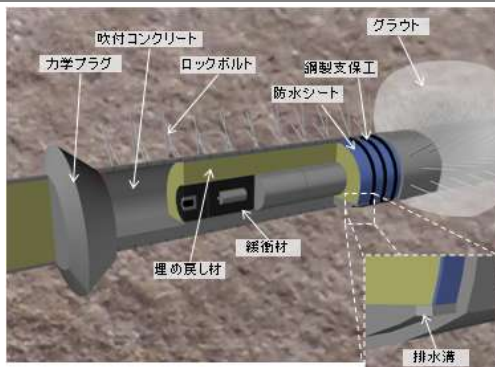
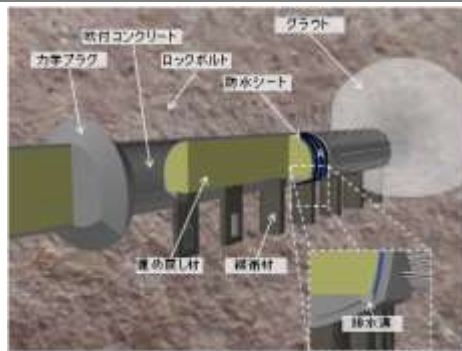


HLW 縦置き・ブロック方式

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)



# 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

地上施設における工程



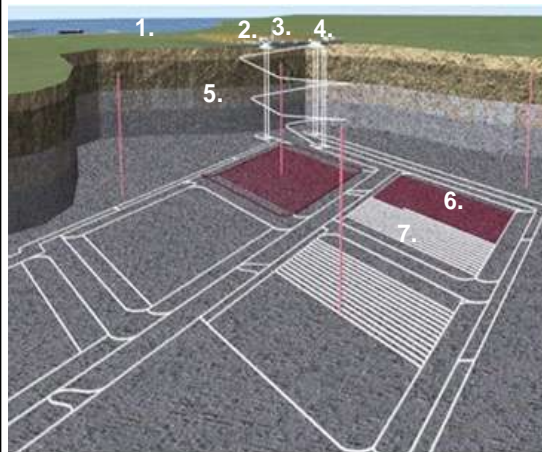
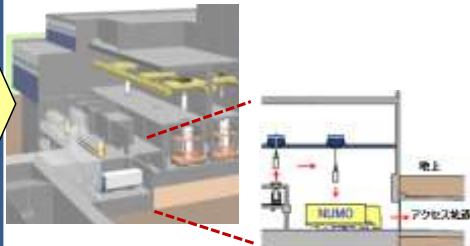
2. ガラス固化体の受入・検査・一時仮置き



3. ガラス固化体のオーバーパックへの封入



4. 搬送車両への積み込み

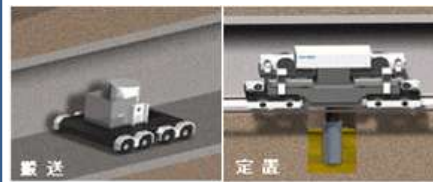


地下施設における工程

7. 処分坑道の埋め戻し



6. 処分坑道での搬送と定置



5. アクセス坑道での搬送



## ■ 処分場の建設・操業・閉鎖に用いる工学的な技術の提示

- 国内外における**実規模スケールの実証試験の蓄積**と工学技術の信頼性向上



### オーバーパック製造試験

(原環センター地層処分実規模試験施設ホームページ)

<https://fullscaledemo.rwmc.or.jp/movie/>



### PEMの組立実証試験

(出典) 原環センター (2011) :  
平成22年度地層処分技術調査等  
委託費高レベル放射性廃棄物処分  
関連 処分システム工学要素技術高  
度化開発報告書

### 自動運転による廃棄体定置試験


(スウェーデンSKB社ホームページ)

<http://www.skb.se/nyheter/temakvall-om-maskinutveckling/>



模擬廃棄体

処分孔



## 第5章 閉鎖前の安全性の評価

---

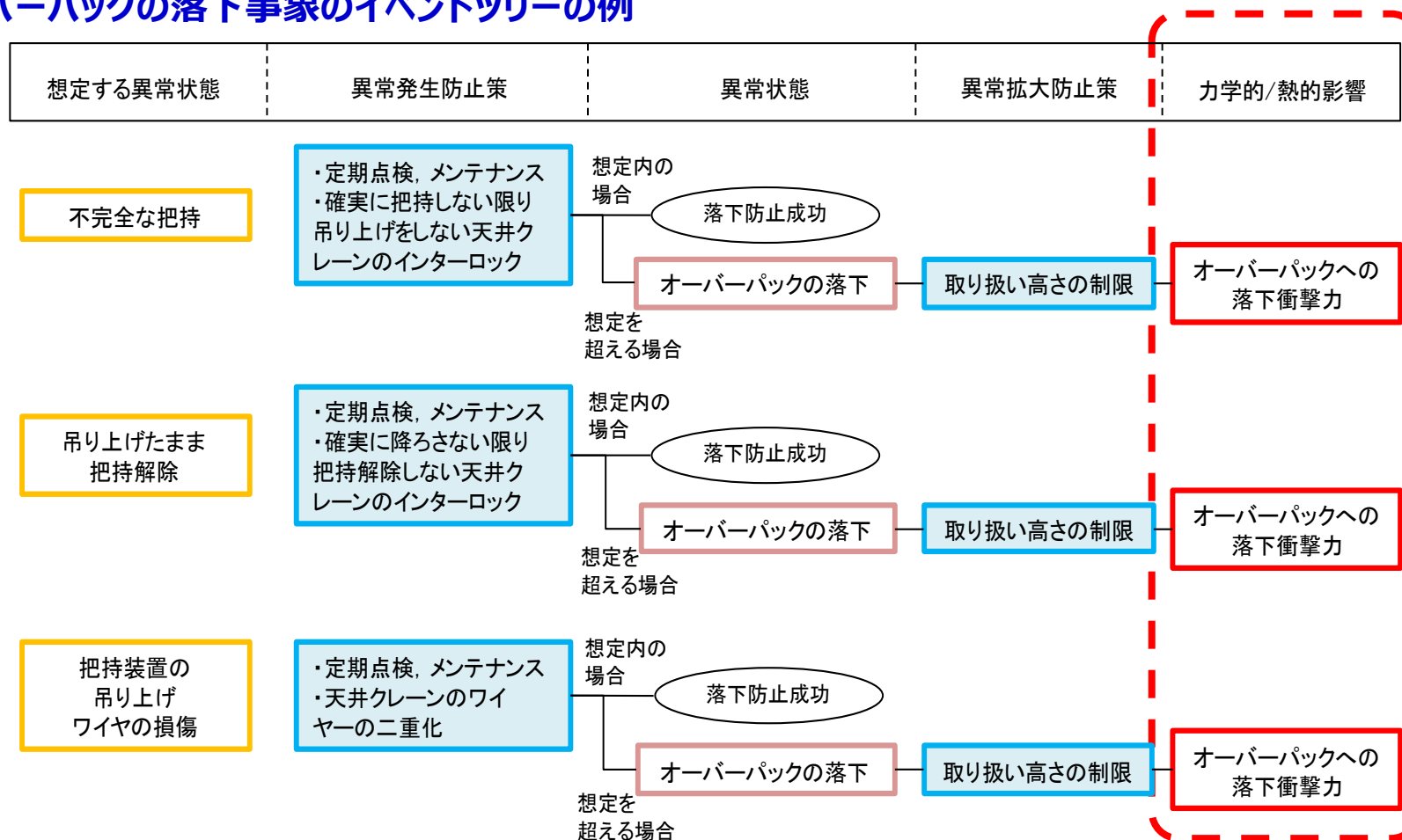
### 内容

- 操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

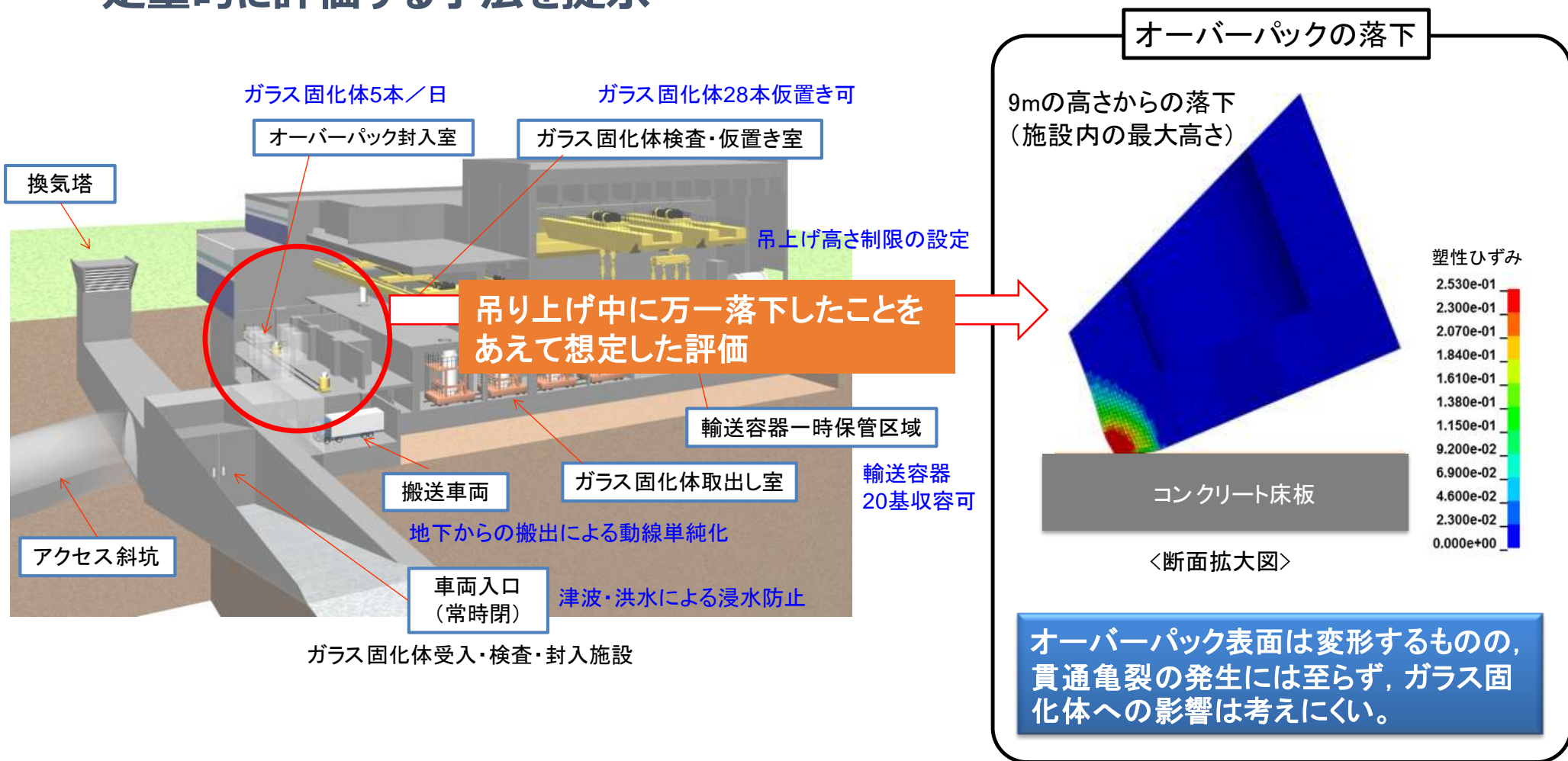
- 施設内に異常事象が発生し、設計した多重の安全対策が無効化することを想定したシナリオの抽出
- 事象が発生したことを想定した影響を解析的に評価

## オーバーパックの落下事象のイベントツリーの例



# 処分場閉鎖前の安全性の評価

- 操業中における万一の異常状態の発生を考慮し、処分施設の安全性を定量的に評価する手法を提示



地上施設におけるガラス固化体の異常状態の評価事例

# 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

- ICRP (1999) : Radiation protection recommendations as applied to the disposal of long-lived solid radioactive waste, Publication 81, Annuals of the ICRP, Vol. 28, No. 4.
- ICRP (2007) : The 2007 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection, Annals of the ICRP, Publication 103, Vol. 37, Nos. 2-4.
- ICRP (2013) : Radiological protection in geological disposal of long-lived solid radioactive waste, ICRP Publication 122, Annuals of the ICRP, Vol.42, No.3.
- IAEA (2011) : Disposal of radioactive waste, Specific Safety Requirements, IAEA Safety Standard Series, No. SSR-5.





# 安全評価シナリオ区分とめやすの設定

- 国際機関（国際放射線防護委員会ICRP、国際原子力機関IAEA）の指針に基づき、発生可能性に応じてシナリオを区分し、区分ごとにめやす線量を設定

シナリオ区分		各シナリオの意味	めやす線量
自然事象	基本シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 地層処分システムに対して発生する可能性が最も高いと想定されるシナリオ</li> <li>→ 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、安全上厳しい結果になるように設定</li> </ul>	安全性確保の水準： 300 $\mu$ Sv/y ->ICRPの推奨値と同水準  基本シナリオに対する事業者としての努力目標：10 $\mu$ Sv/y ->諸外国の規制基準の最小値（スウェーデン）と同水準
	変動シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 基本シナリオに対して、不確実性を考慮して様々な解析ケースを設定するシナリオ</li> </ul>	
	稀頻度事象シナリオ	<ul style="list-style-type: none"> <li>● 発生可能性が極めて小さく、現実社会で生じることがほとんど想定されないが、あえて過酷な条件を想定して評価するシナリオ</li> </ul>	著しい影響の水準： 20～100mSv(1年目) 1～20mSv/y(2年目以降) ->ICRPが推奨する緊急時被ばくの参考値などと同水準
人間侵入シナリオ		<ul style="list-style-type: none"> <li>● 偶発的な人間侵入の発生可能性は極めて小さいが、あえて過酷な条件を想定して評価するシナリオ</li> </ul>	著しい影響の水準： 20～100mSv(1年目) 1～20mSv/y(2年目以降) ->ICRPが推奨する緊急時被ばくの参考値などと同水準

# 閉鎖後長期の安全評価に対する解析ケース

## 基本シナリオの解析

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伸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

## 変動シナリオの解析

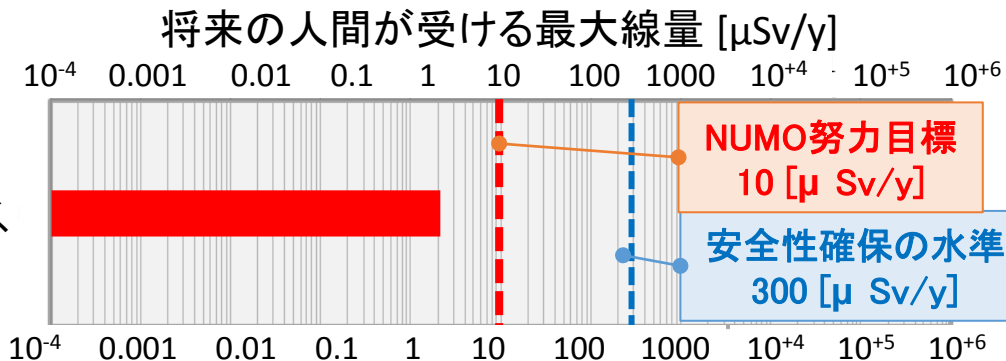
## 稀頻度事象シナリオの解析

## 人間侵入シナリオの解析

# 閉鎖後長期の安全評価結果例（基本シナリオ、変動シナリオ）

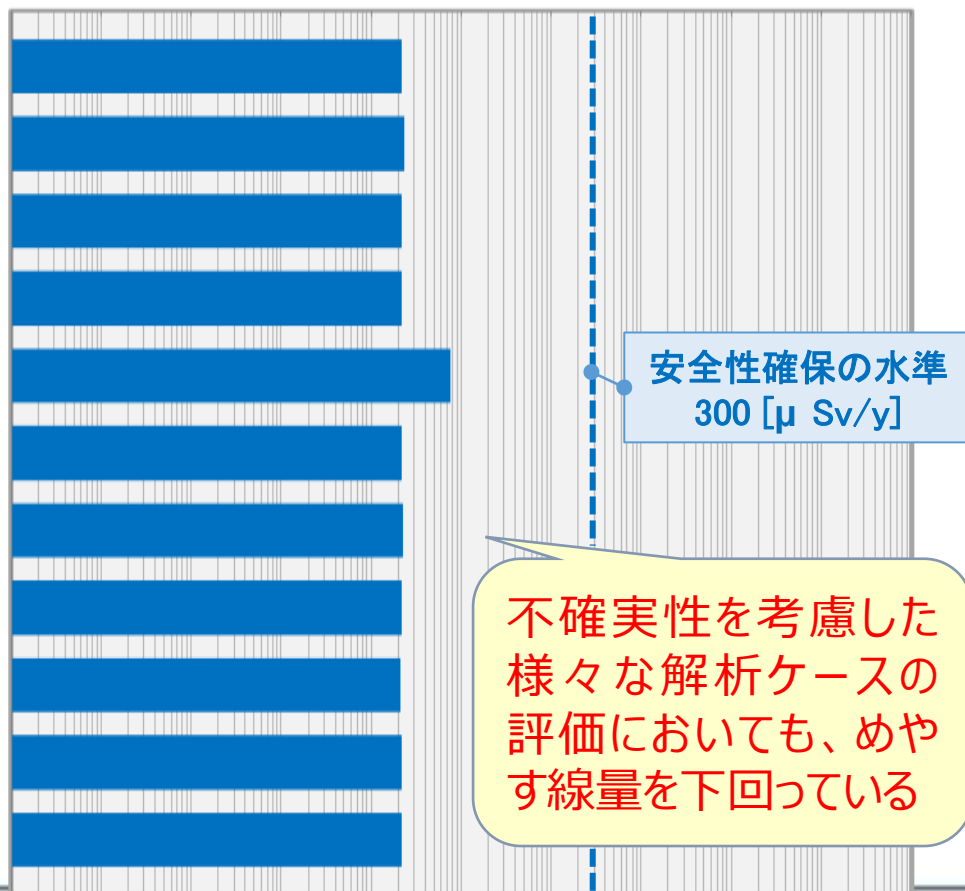
## 基本シナリオ

基本ケース



## 変動シナリオ

- ガラス溶解速度増大ケース
- ハル・エントピ-ス腐食速度増大ケース
- 構造躯体劣化不確実性ケース
- 硝酸塩プルームの影響考慮ケース
- 母岩の大規模な割れ目存在ケース
- 緩衝材中の収着性低下ケース
- 緩衝材中の拡散性増大ケース
- 母岩中の収着性低下ケース
- 母岩中の拡散性増大ケース
- 温度による溶解度増大ケース
- 熱力学データの不確実性考慮ケース



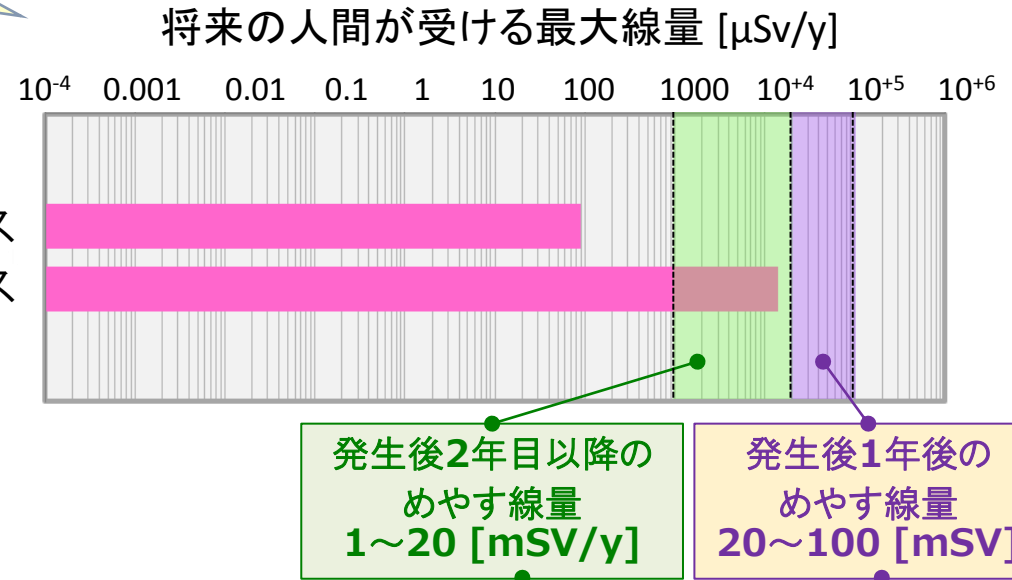
不確実性を考慮した様々な解析ケースの評価においても、めやす線量を下回っている

# 閉鎖後長期の安全評価結果例 (稀頻度事象シナリオ、人間侵入シナリオ)

あえて過酷な条件を想定した評価においても、めやす線量を下回っている

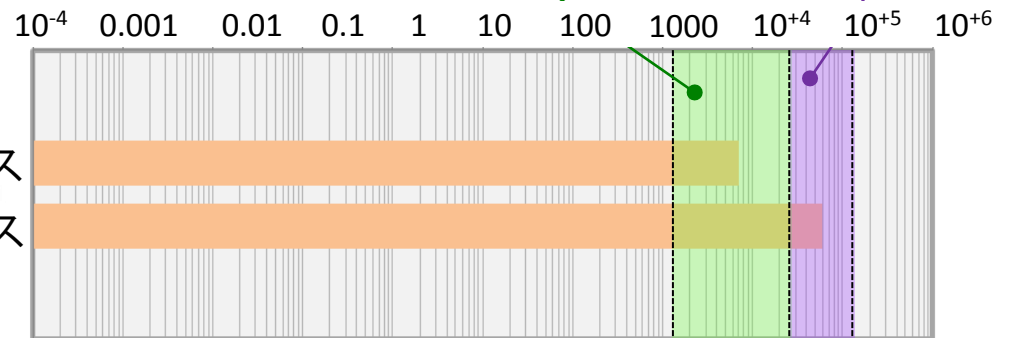
## 稀頻度事象シナリオ

新規火山発生ケース  
断層伸展ケース



## 人間侵入シナリオ

ボ-リング孔短絡経路ケース  
作業者によるボ-リングコア観察ケース

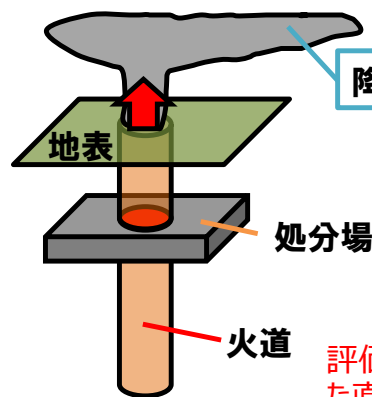


# 稀頻度事象シナリオの評価：新規火山発生ケースの例

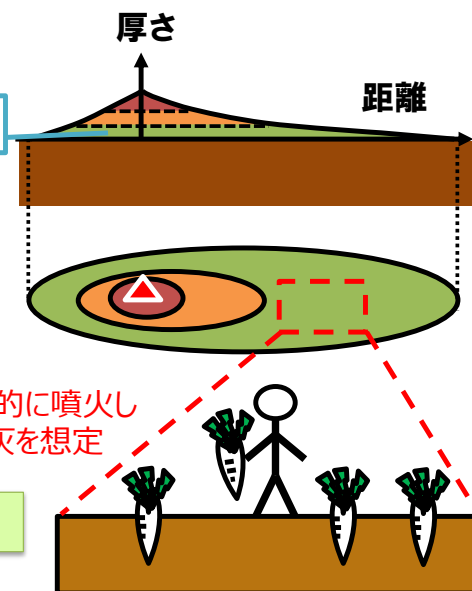
## シナリオの考え方

- 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



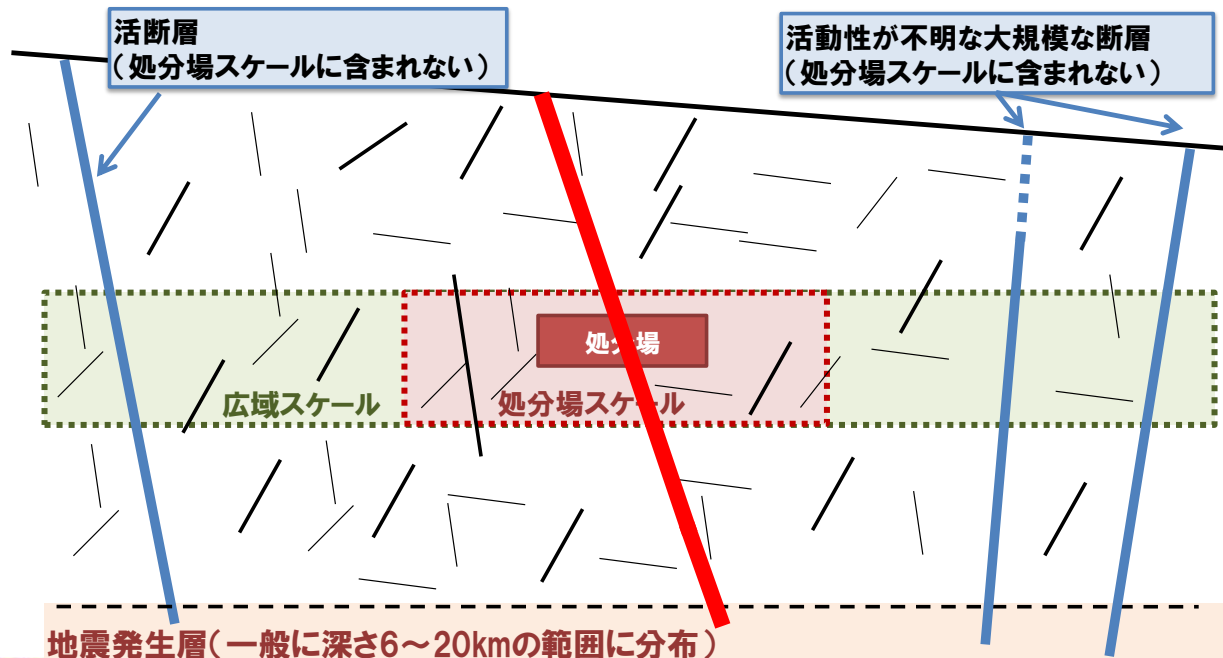
③ 農業従事者が被ばく

- 線量の評価結果  $0.09 \text{ mSv/y}$  : 稀頻度事象シナリオの「めやす」線量 ( $1-20 \text{ mSv/y}$ ) より小さい
- リスクの試算  $1 \times 10^{-12}/\text{y}$  (※ここでのリスクとは、致死性の癌や重篤な遺伝的影響が発生する確率)
  - 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)


# 稀頻度事象シナリオの評価：断層伸展ケースの例

## シナリオの考え方

- 活断層は基本的に同じ場所で繰り返し活動することから、活断層の影響が及ぶ範囲を避けてサイトを選定しておけば、将来もこの影響を受けることは考えにくい
- 地震発生層と呼ばれる深さ6～12kmの地下深部に存在する活断層や、今後成長する断層の全てを把握することは困難
- 地震発生層から伸展してきた断層が処分場（面積25km<sup>2</sup>）を偶然直撃する確率を保守的に試算すると $9.3 \times 10^{-11}$ （回/年）程度と極めて小さい確率であるが、調査における活断層の見落としなどの可能性も考慮して、1000年後にあえて起こることを仮定して評価を実施




- 線量の評価結果  $14 \text{ mSv/y}$   
⇨ 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  $7 \times 10^{-14}/\text{y}$   
(※ここでのリスクとは、致死性の癌や重篤な遺伝的影響が発生する確率)



## 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ことを述べる
- 



# セーフティケースの信頼性確保の取り組み

地層処分の安全性の説明が信頼のおけるものであるためには、その裏づけとなる**論拠が科学的に妥当であり不確実性に対し頑健であることが必要**

## ■ 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 $\mu$ 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 など

## ■ 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**）

## 【参考】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一段と向上
- 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や、三次元核種移行解析技術などの最新知見を適用することで、安全評価の信頼性が向上



# まとめと今後の予定

---



# 包括的技術報告書のまとめ

- 最新の科学技術的知見を反映し、地層処分の安全な実施に必要な地質環境の調査・評価、処分場の設計、安全評価に関する一連の技術とその信頼性を示す根拠、長期の事業を見据えた事業マネジメントの考え方を包括的に取りまとめ
- 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
- 包括的技術報告書は、今後の技術開発成果や、サイトが明らかになった場合にはそのサイト固有の条件などを反映して、継続的に作成・更新を行う「安全性を説明する技術報告書」（セーフティケース）の基本形として活用可能
- 以上から、NUMOは文献調査以降に進むための技術的な準備が整っていると結論

# 詳細度に応じて階層化した包括的技術報告書の文書体系

想定読者は  
技術者、研究者  
などの専門家

包括的  
技術報告書

概要編

約130ページ

本編の内容を概略的に  
まとめた文書

本編

約670ページ

安全な地層処分を  
実現するための方法につ  
いて説明する文書

付属書

約170編  
合計4,000ページ程度

本編に記載する個別  
技術項目の詳細を説  
明する文書

論拠（引用文献）となる個別レポート・論文

NUMO-TR、JAEA-Research、電力中央研究所報告、学術雑誌など

文書を相互にハイパーリンクで繋げてNUMOのホームページ上で容易に閲覧  
可能とする計画・・・読者の関心に応じた技術的根拠の追跡可能性の確保

# NUMOホームページ上での閲覧画面

マニュアル

包括的技術報告書レビュー版

- 概要編
- 表紙・まえがき・本編目次
- 本編（章ファイル）
- 第1章 緒言（節ファイル）
- 第2章 安全確保の基本的考え方（節ファイル）
- 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（節ファイル）
- 第4章 処分場の設計と工学技術（節ファイル）
- 第5章 閉鎖前の安全性の評価（節ファイル）
- 第6章 閉鎖後長期の安全性の評価（節ファイル）
- 第7章 セーフティケースとしての信頼性（節ファイル）
- 第8章 結言（節ファイル）
- 付属書
- 謝辞
- 用語集
- 修正対応表
- アーカイブ（過去のファイルはこちらから）

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, 総論レポート

None

増田 純男; 梅木 博之; 清水 和彦; 宮原 要; 内藤 守正; 長谷川 宏

not registered; not registered; Shimizu, Kazuhiko; Miyahara, Kaname; not registered; Hasegawa, Hiroshi

本報告書は、平成9年4月に公表された原子力委員会原子力バックエンド対策専門部会報告書「高レベル放射性廃棄物の地層処分研究開発等の今後の進め方について」(以下、「専門部会報告書」という)に示された第2次取りまとめに盛り込まれるべき技術的内容に対して、総合的に応えることを目標とした総論レポートであり、7つの章から構成されている。第1章では、高レベル放射性廃棄物の発生とその特徴を示し、地層処分の研究開発がどのように進められてきたかを述べた後、第11章において、わが国における地層処分の基本概念について論じている。第III章から第V章にかけては、わが国において地層処分概念が成立することを信頼性をもって示すうえで重要な3つの技術的要素(わが国の地質環境、地層処分の工学技術、地層処分システムの安全評価)について論じている。第VI章では、原子力委員会によって示された処分事業の段階的アプローチに対応し、処分予定地の選定および安全基準の策定に資するための技術的拠り所を示すという観点から、第V章までに論じられた技術的要素をまとめている。最後にまとめとして、わが国における地層処分の技術的信頼性について総括するとともに、今後の研究開発の展開の考え方について第VII章に示している。

None

使用言語	: Japanese
報告書番号	: JNC-TN1400 99-020
ページ数	: 634 Pages
発行年月	: 1999/11
PDF	: <a href="#">JNC-TN1400-99-020.pdf</a> :32.0MB

## JNC（核燃料サイクル開発機構）（1999）：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－総論レポート, JNC TN1400 99-020.

リンク先: <https://jopss.jaea.go.jp/search/servlet/search?4017177>

文献番号: REF000002

著者: JNC（核燃料サイクル開発機構）

発行日: 1999年

ル放射性廃棄物をガラス製造に伴って生ずる半減等廃棄物という<sup>1</sup>を指処分を行うこととなって

以下、NUMO という)が献調査」、「概要調査」、

## 今後の予定（案）

- ① 2019年12月頃：日本原子力学会レビュー報告書受領（日本語・英語）
  - ② 2020年春頃：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（国際レビュー版）の作成
  - ③ 2020年夏以降：国際機関によるレビュー開始（予定）
  - ④ 2021年：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**

ご清聴ありがとうございました

---

