

# 「包括的技術報告：安全な地層処分の実現」の概要

---

## 地層処分技術コミュニケーション

－包括的技術報告書と地層処分の安全性に関する対話のあり方－

2019年 4月20日

原子力発電環境整備機構 (NUMO)

技術部



## 地層処分の安全確保の基本

- ① 入念な処分地（サイト）の調査により、放射性廃棄物を長期間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ぶ**
- ② その地質環境の特徴に応じて、**安全性に十分な余裕を持たせた処分場を設計**し、信頼性の高い技術を用いて処分施設の建設や廃棄物の埋設（操業）を行う
- ③ 処分場を閉鎖するまで（放射性廃棄物の埋設作業が完了するまで）の間、および、処分場の閉鎖以降、将来数万年以上の長期間にわたって、**放射性物質が人間に及ぼすと考えられるリスクは十分小さく許容できる範囲に抑えることができることを解析によって確認**する（安全評価）



**①～③をすべて満足することによってはじめて、処分場の安全を確保できることの説明が可能**



## 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



# 包括的技術報告書とは

---

- 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



# 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  
SAFIR 2  
2001

スイスNagra  
2002

許認可申請

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

IAEA  
2012

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)



## 包括的技術報告書の位置づけ

- 今後、特定のサイトが現われ、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、各段階におけるセーフティケースを作成
  - 将来的には規制機関に提出する事業認可申請書
- 包括的技術報告書はその出発点となる、サイト調査に入る前の段階におけるわが国のセーフティケース

包括的技術報告書のタイトル

**「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－」（レビュー版）**



# 包括的技術報告書の構成

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

- **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**



# 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





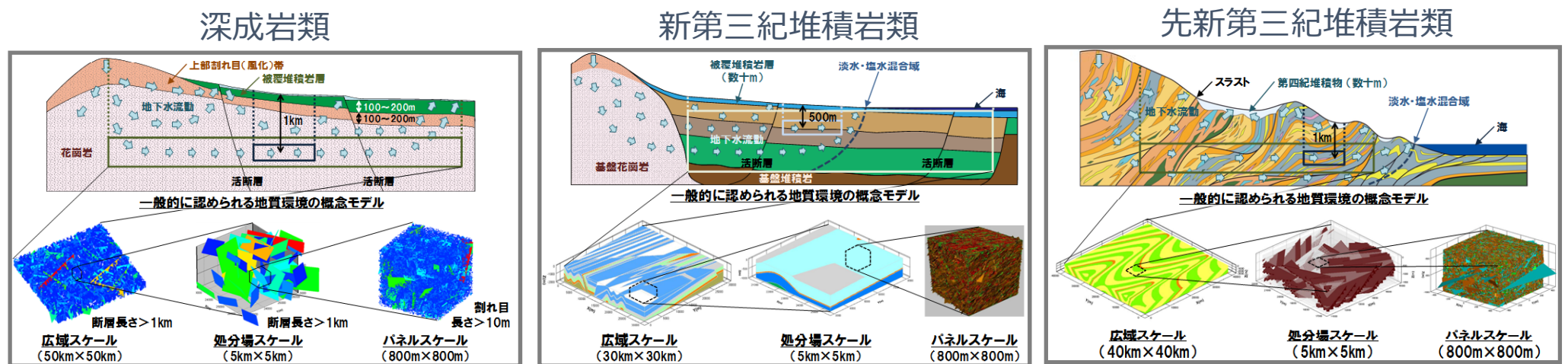
# 地層処分に適した地質環境の選定およびモデル化

## ■ 適切な地質環境を選定するための調査・評価技術の提示

- 地質環境を調査・評価するための方法や最新技術を整理
- 調査・評価技術の適用性検証事例（地下研究所の利用）の蓄積 など

## ■ わが国の地質環境の特徴を反映した地質環境モデルの提示

- 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について、その特徴を表現したモデル（地質環境モデル）を作成
- 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・割れ目の特性など）に関する最新の知見を利用



三種類の岩種に対する地質環境モデル



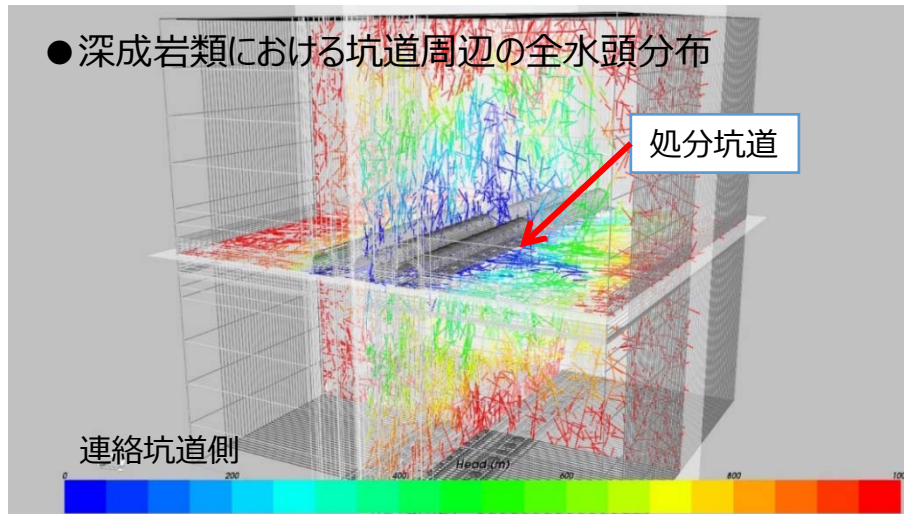
# 処分場の設計と工学技術 (1/2)

## ■ 処分場の設計手法と地質環境モデルに対する設計結果の提示

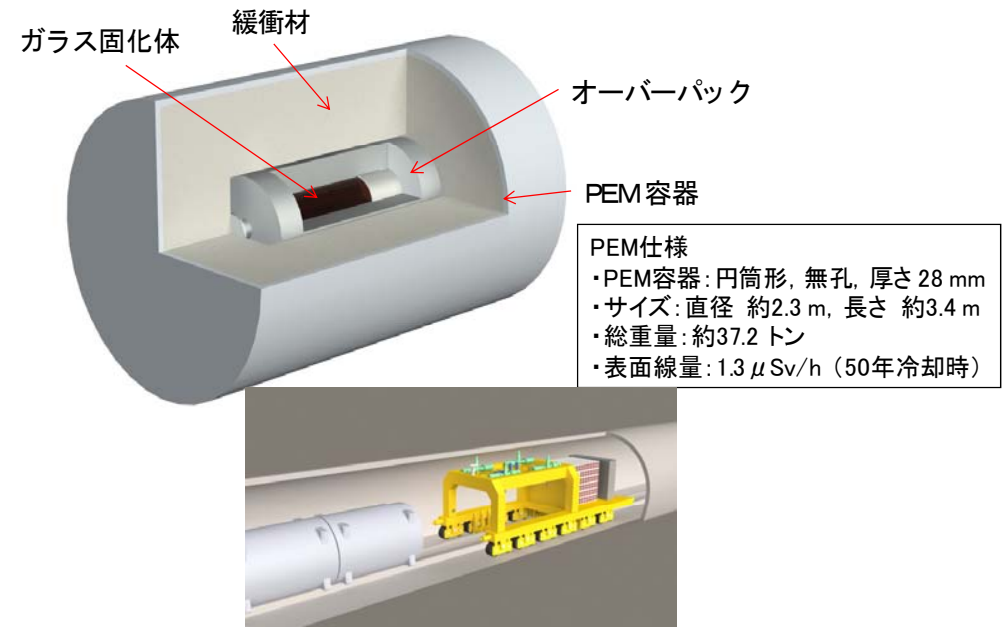
- 地質環境モデルの特徴に対応した設計上の対策の具体化と設計結果の提示
- 地上施設の安全対策や操業方法の具体化 など

## ■ 人工バリアの設計オプションの検討

- 品質管理の容易さや操業性に優れる人工バリアの定置方法 (PEM) の導入 など



岩盤割れ目からの湧水量に応じて、廃棄体の定置可否を判断する解析評価の例



地上施設でガラス固化体とオーバーパック、緩衝材を人工バリアとして一体的に組み立てた状態で地下に搬送・定置するPEM概念



# 処分場の設計と工学技術 (2/2)

## ■ 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

### 遠隔操作による廃棄体定置試験

(スウェーデンSKB社ホームページ)

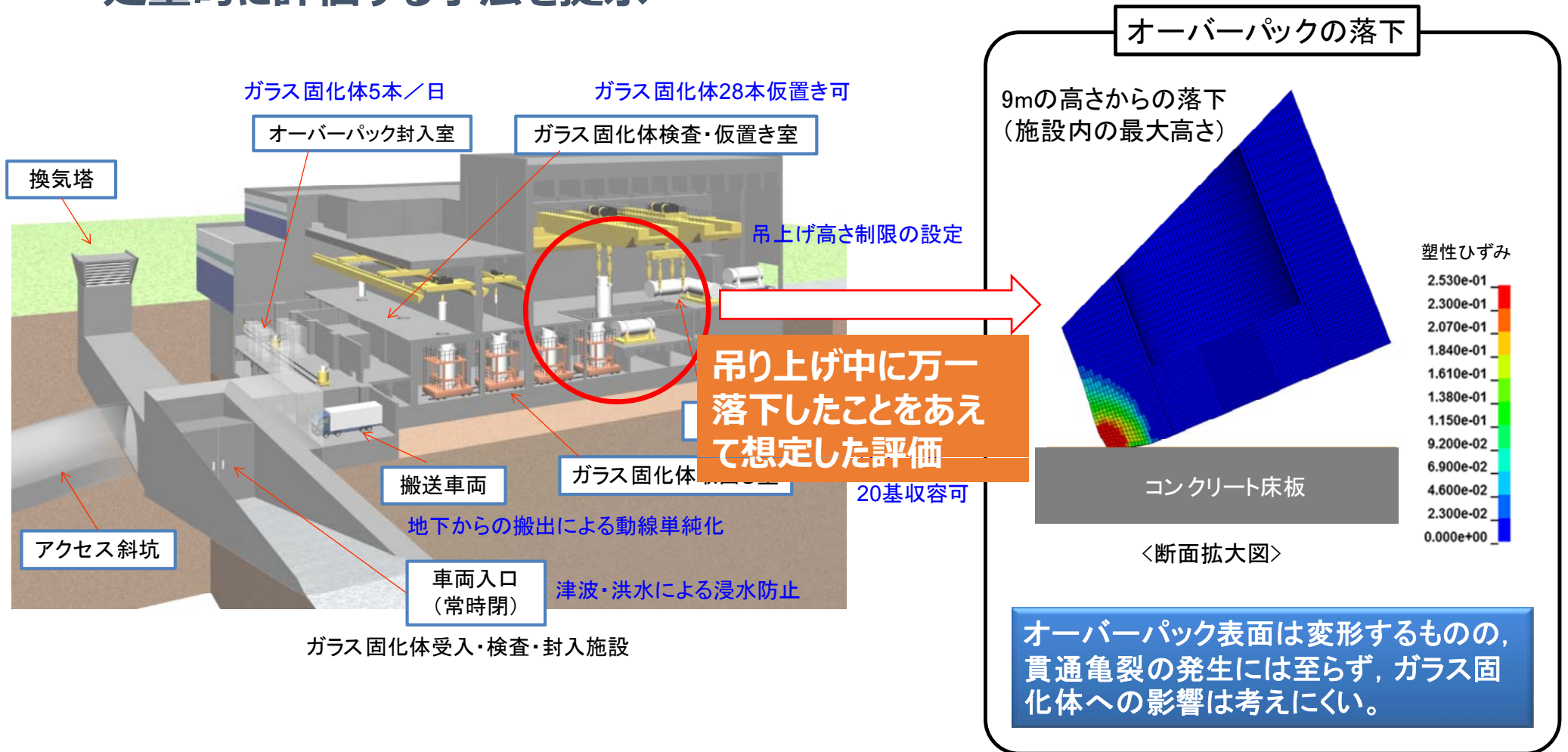
<http://www.skb.se/nyheter/temakvall-om-maskinutveckling/>





# 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



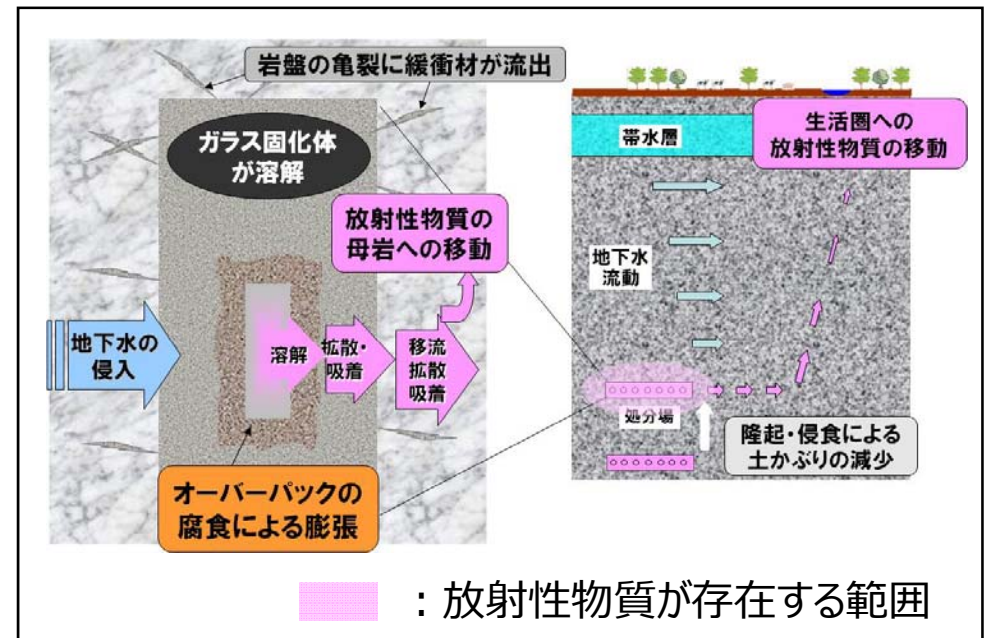
# 閉鎖後長期の安全性の評価 (1/2)

## ■ 閉鎖後長期の安全評価を行う手法・技術の提示

- 事象の発生可能性を考慮した安全評価シナリオの作成方法の構築
- 国内外の最新のデータベースに基づいた放射性物質の移行パラメータの設定
- 人工バリアや地下施設の構造的な特徴、地下施設周辺における地質環境モデルの特徴などをできるだけ詳細に反映し、三次元的な放射性物質の移行現象を解析する技術の導入 など

## ■ 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結果に対する安全評価を実施
- 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



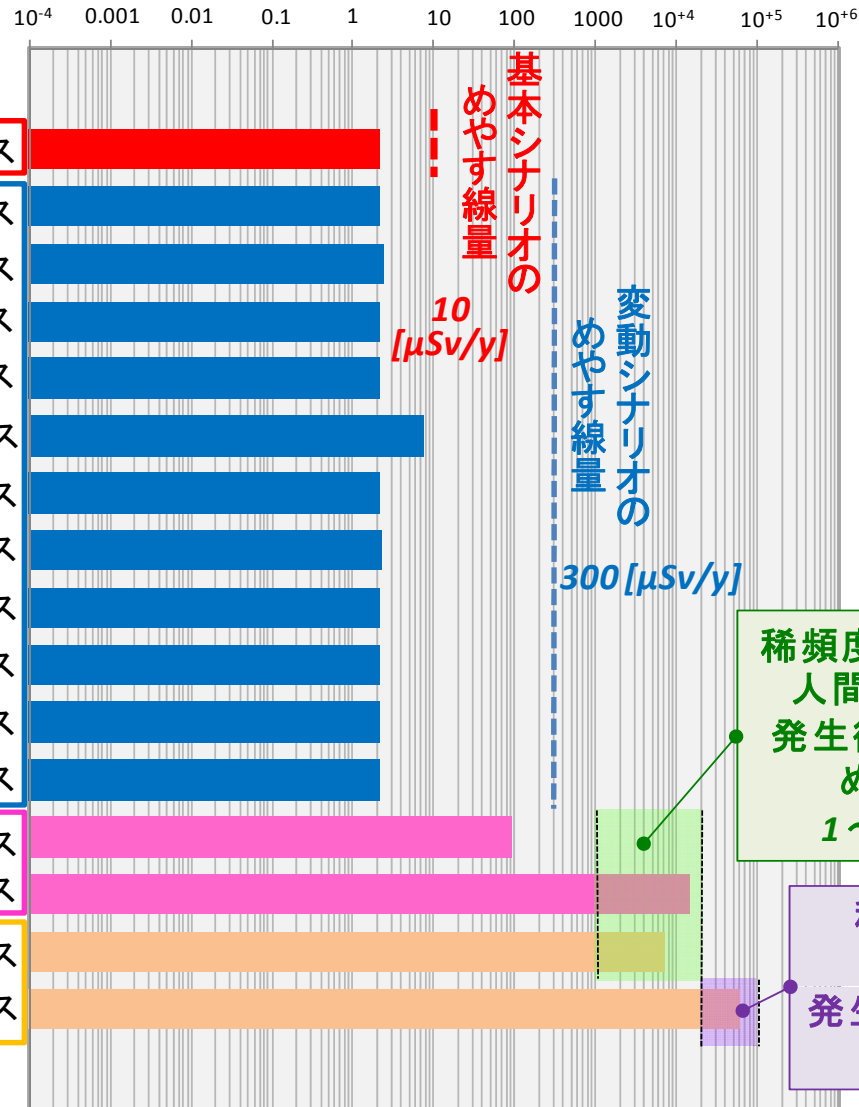
廃棄体から地表まで放射性物質が移行するシナリオの概念図



# 閉鎖後長期の安全性の評価 (2/2)

将来の不確実性を考慮したさまざまな解析ケースを設定し、処分場閉鎖後長期の線量を評価

### 将来の人間が受ける最大線量 [ $\mu\text{Sv/y}$ ]



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

稀頻度事象シナリオ・人間侵入シナリオ発生後2年目以降のめやす線量 1~20 [mSv/y]

稀頻度事象シナリオ・人間侵入シナリオ発生後1年後のめやす線量 20~100 [mSv/y]



## 技術的な信頼性に関する議論と今後の取り組み

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**

- 大学や関係研究機関の専門家による技術的内容の確認や最新知見の反映
- 線量以外の指標（処分場の放射能の閉じ込め性能、天然ウランの放射能による毒性との比較など）による安全性に関する多面的な考察
- 今後の信頼性向上に向けた技術開発課題と取り組み方針の明確化
  - 地下坑道などで遭遇する断層の活動性を推定するための技術開発
  - 沿岸海底下における塩水の影響を把握するための技術開発
  - 処分場閉鎖後にボーリング孔や坑道が水みちになることを防止する技術開発
  - 人工バリア設計オプションの開発
  - 廃棄体の回収可能性を確保する技術開発
  - 放射性核種の移行解析技術の高度化 など

→ わが国全体の5カ年の技術開発計画の策定に反映



## 【参考】第2次取りまとめおよび第2次TRUL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





## 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



## 地層処分の安全性に関する対話の土台としての活用

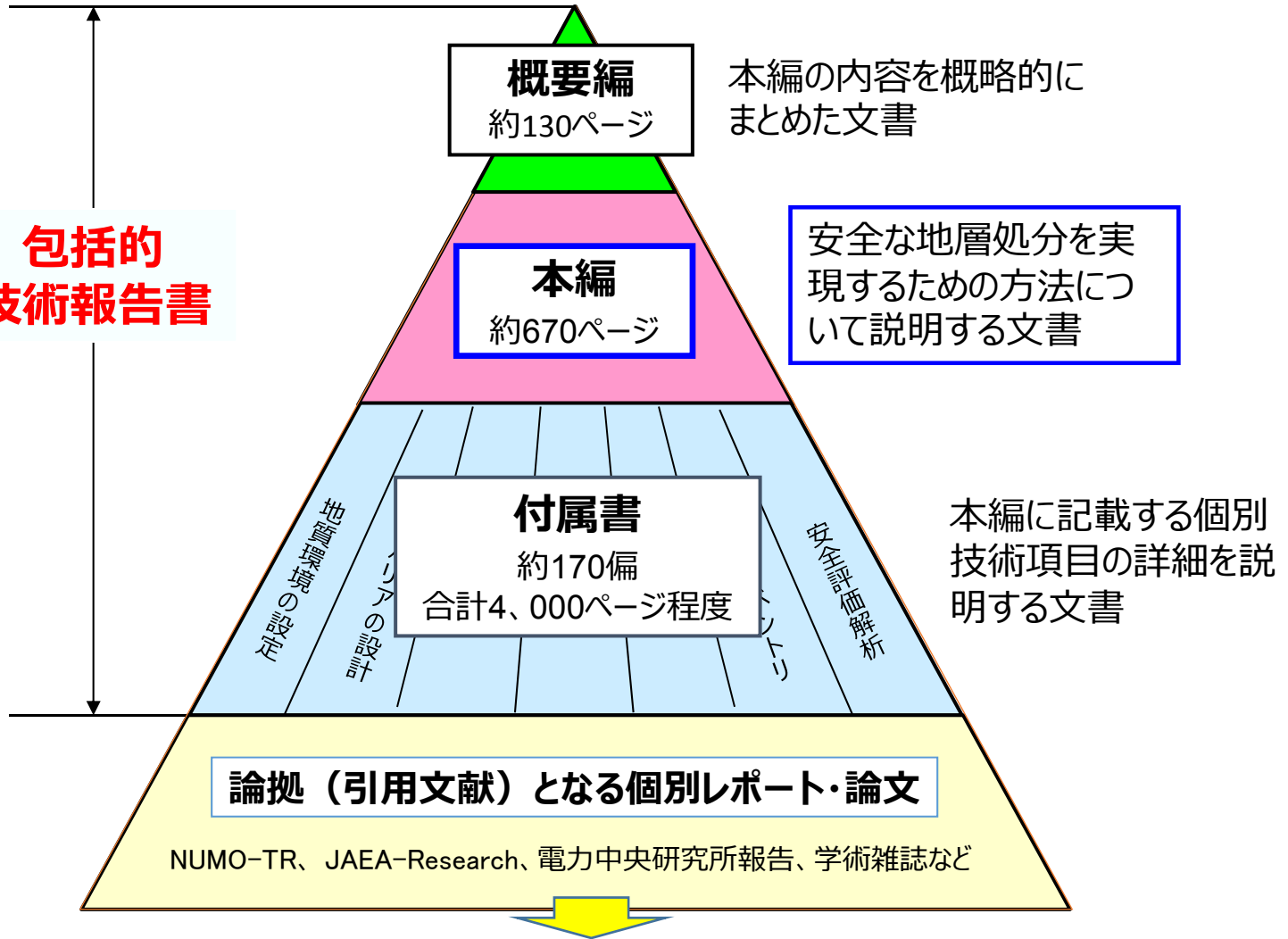
- 包括的技術報告書が、地層処分の安全性や技術についてさまざまなステークホルダーと対話を行うための土台となるためには、**その技術的妥当性が確認されていることが基本**
- さまざまな分野（地質、土木、原子力、…）の**専門家による包括的技術報告書の技術的な妥当性の確認**を今後実施
  - **外部レビューによる包括的技術報告書の技術的信頼性の確認**
    - 日本原子力学会によるレビュー（2018年12月～2019年9月を予定）
    - 国際機関（OECD/NEA）によるレビュー（2020年冬～夏頃を予定）
  - **多様な技術分野の専門家とのコミュニケーション**
    - **専門家を対象とした包括的技術報告書説明会の開催**  
（2019年5月22日（大阪会場）、5月24日（東京会場））
    - 各学会などでの発表、学会誌における解説文の掲載 など
- **包括的技術報告書を基盤として、地層処分の安全性について社会に伝えるための取り組みが必要**



# 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



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）

リンクをクリックするとPDFが開き、必要に応じてより深い根拠をたどることが可能

包括的技術報告書レビュー版

1 第1章 緒言

2

3 1.1 地層処分事業の推移

4 原子力の利用に伴い、さまざまな形態の放射性廃棄物が発生している。現世代の責任として、こ

5 れらの放射性廃棄物の安全な処分の具体化に向けた検討を行い、着実に実施に移していく必要があ

6 る。

7 わが国では、1998年に原子力委員会によって示された方針「高レベル放射性廃棄物処分に向けて

8 の基本的考え方について」<sup>[1]</sup>、および1976年以来進められてきた地層処分の研究開発成果を核燃

9 料サイクル開発機構（現、日本原子力研究開発機構（以下、JAEAという））が1999年に取りまと

10 めた「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 一 地層処分研究開発第2次取

11 りまとめ」<sup>[2] [3] [4] [5] [6]</sup>（以下、第2次取りまとめという）を受けて、「特定放射性廃棄物の

12 最終処分に関する法律」（以下、最終処分法という）が2000年に制定された。「特定放射性廃棄物」

13 とは、原子力発電に伴い発生する使用済燃料を再処理した後に残る高レベル放射性廃棄物をガラス

14 固化したもの（以下、ガラス固化体という）、および再処理やMOX燃料製造に伴って生ずる半減

15 期の長い核種を一定量以上含む低レベル放射性廃棄物の一部（以下、TRU等廃棄物という）<sup>1</sup>を指

16 す。これらの特定放射性廃棄物は、地下300mより深い安定な岩盤に地層処分を行うこととなっ

17 ている<sup>2</sup>。

18 最終処分法に基づき、事業の実施主体として原子力発電環境整備機構（以下、NUMOという）が

19 2000年に設立された。同法では、最終処分施設建設地の選定について、「文献調査」、「概要調査」、



# 地層処分技術に関する平易な説明資料の例

- **NUMOホームページ「よくあるご質問」**（皆様から良くいただくご質問（100個程度）についてQ&A形式で平易に回答）
- **全国説明会などにおけるパワーポイント説明資料、パンフレット、DVD**（いずれもNUMOホームページからダウンロード可）。
- **小冊子「地層処分 その安全性」** など



**パンフレット「安全確保の考え方」**：  
数万年以上の長期間にわたって考慮すべきリスク要因や、建設・操業時および廃棄体の輸送時に考慮すべきリスク要因を整理し、それぞれの要因に応じた対策をまとめた小冊子（38ページ）[2018年6月発行]

**※本日、資料の一部として配付**



**小冊子「地層処分 その安全性」**：  
地層処分の安全性に関する内容について、Q&A形式で平易な解説文章と図を用いて説明（176ページ）[2009年10月改訂版発行]



**DVD「放射性廃棄物の地層処分における調査の進め方」**：  
地質環境調査の進め方をCG映像、ボーリング調査や物理探査などのイメージ映像、NUMO職員へのインタビューなどを用いてビジュアルに説明。（オリジナル版24分）[2016年3月製作]



## 読者の関心にあわせた階層的な資料整備の考え方

原子力委員会「理解の深化 ～根拠に基づく情報体系の整備について～（見解）」（平成28年12月）に示された考え方

- 一般の方々の関心に応えるためには、一般の方々が知りたいときに情報を自ら入手できる情報体系の整備が求められる。
- 根拠に基づく情報の階層例
  - ① 第1階層：一般向け情報（一般向けの分かりやすい解説、教材など）  
→ **NUMOホームページFAQ、パンフレット、DVDなど**
  - ② 第2階層：橋渡し情報（根拠を一般向けに解説したもの、政策情報など）  
→ **適切なものがない？**
  - ③ 第3階層：専門家向け情報（規制・基準作成の根拠報告書、解説書など）  
→ **包括的技術報告書、NUMO技術報告書など**
  - ④ 第4階層：根拠（研究成果、研究報告など）  
→ **各研究機関の学会発表論文など**

# 地層処分の安全性への関心喚起のための文書の作成

- ◆ 包括的技術報告書の要約ではなく、作成の意義と主要点を平易に伝えることを目的とした「導入編」（仮称：「なぜ、地層処分なのか」）を作成することを計画中
- ◆ 構成（案）⇒ 本日のディスカッションを踏まえて内容をさらに検討
  - ① **なぜ放射性廃棄物の処分が必要なのか**
    - ⇒ いつかは人間の手を離して処分することの必要性について問題提起
  - ② **なぜ地層処分が選択されたのか**
    - ⇒ 地層処分が最も有力な方法と国際的に認識された理由と経緯を丁寧に説明
  - ③ **数十万年もの長期の安全性をどのように確保するのか**
    - ⇒ 国際的な考え方に基づいて、包括的技術報告書のような「セーフティケース」を事業の段階に応じて繰り返し作成し安全性を示す論拠を集積することによって、信頼を構築していくことが重要であることを説明
  - ④ **わが国でも地層処分はできるのか**
    - ⇒ 包括的技術報告書における成果の主要点を概説
  - ⑤ **これからに向けて**
    - ⇒ 地層処分の安全性に関するコミュニケーションのためのあり方、方向性など



## ・・・この後のパネル討論に向けて

---

- 地層処分の専門家ではない方々と地層処分の安全性に関して対話をしていくためには、
  - 包括的技術報告書をどのように活用すれば良いか
  - パンフレットなどの既存資料を含めたこれまでの説明では、足りないものがあるか
- パネル討論や皆様のアンケートを通じて、様々なご意見をいただければ幸いです。





ご清聴ありがとうございました

---

