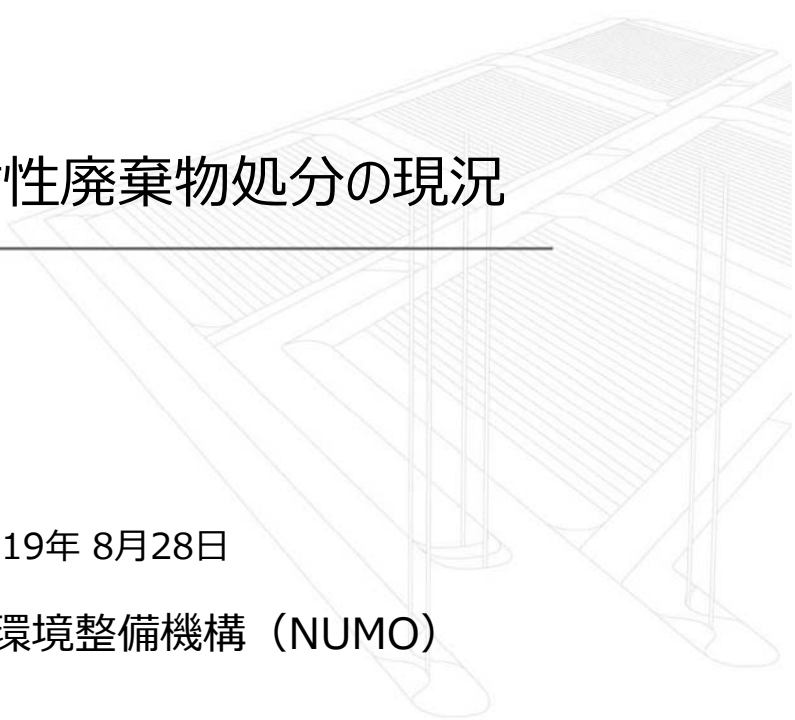




高レベル放射性廃棄物処分の現況

2019年 8月28日

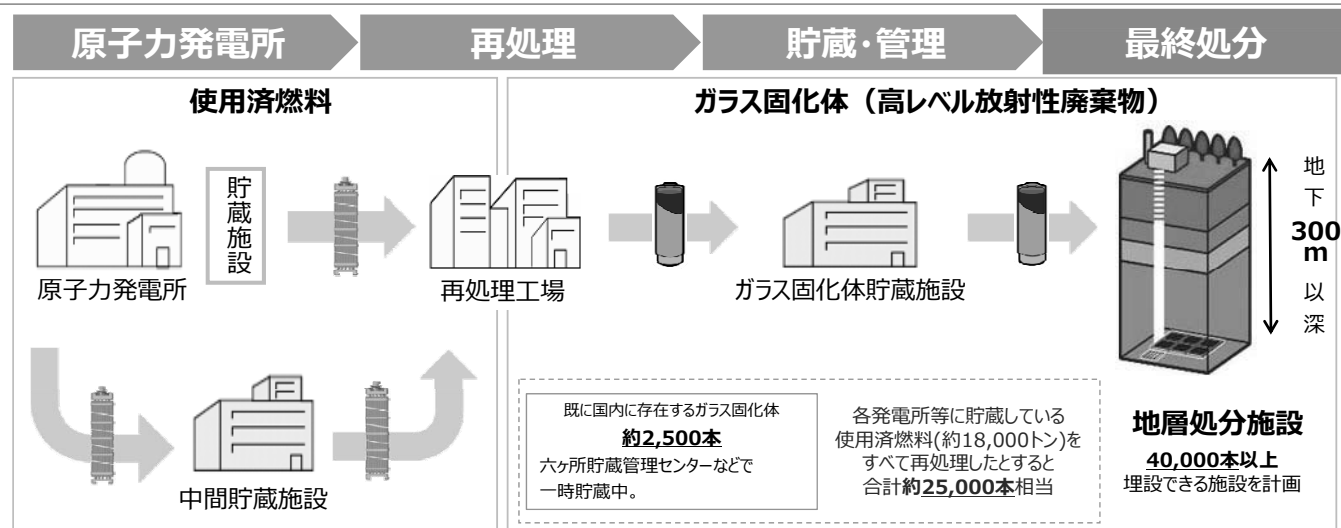
原子力発電環境整備機構（NUMO）



1. 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の最終処分までの流れ

- 原子力発電により発生した使用済燃料は、資源として利用できるウランとプルトニウムを回収し（**再処理**）、残った長半減期の放射性物質を含む廃液はガラス原料と高温で溶かし合わせて固化します（**ガラス固化体**）。
- 放射能が高く発熱を伴うガラス固化体は30～50年程度、冷却のために貯蔵・管理した後で最終処分します。具体的には、**地下深部の安定した岩盤に埋設します（地層処分）**。



※日本原子力研究開発機構（JAEA）の研究施設から発生したガラス固化体、及び上記の再処理の際に発生するTRU廃棄物のうち放射能レベルが一定以上のもの（地層処分対象TRU廃棄物）も、同様に地層処分の対象となります。

※六ヶ所再処理工場は2021年度上期竣工予定（実用化に向けた試験は実施済み、現在、原子力規制委員会の審査中）。

NUMO

P. 2

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	廃棄体グループ	1	2	3	4	
					低発熱性L	発熱性H
 【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）	概要	廃銀吸着材 放射性のヨウ素を除去する吸着材料	エンドピース ハル 細断・圧縮	濃縮廃液など 硝酸系廃液 モルタルなど 乾燥・ペレット化	難燃性廃棄物 ゴム手袋（焼却・圧縮） 不燃性廃棄物 工具 金属配管	
	主な廃棄体の形態	 200Lドラム缶	 キャニスタ	 200Lドラム缶	 角型容器	 200Lドラム缶 その他（ハル缶、インナーバレル）
	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 [m³]	5,792 [m³]	5,228 [m³]	5,436 [m³]	1,309 [m³]
	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]

※貯蔵総本数2,485本（2018年9月現在）

可溶性、非吸着性、長寿命核種

緩衝材や母岩の吸着性を低下させる

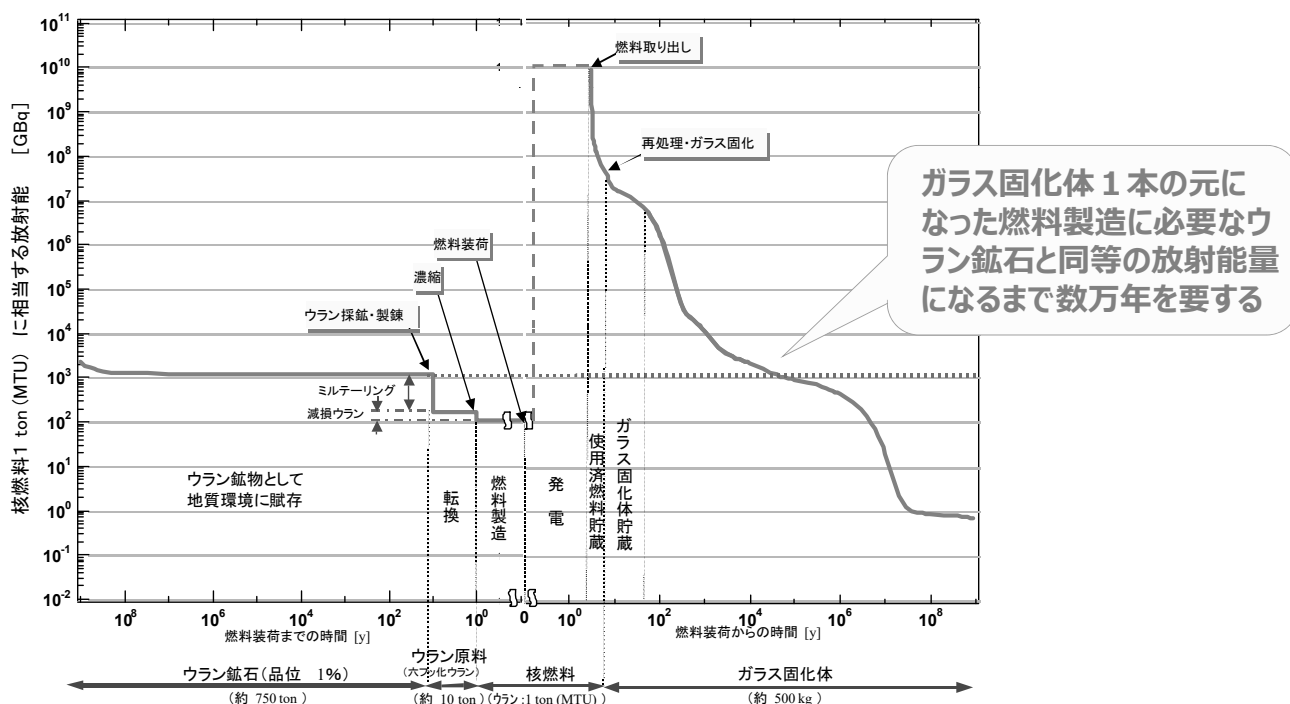
発熱量大

NUMO

P. 3

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

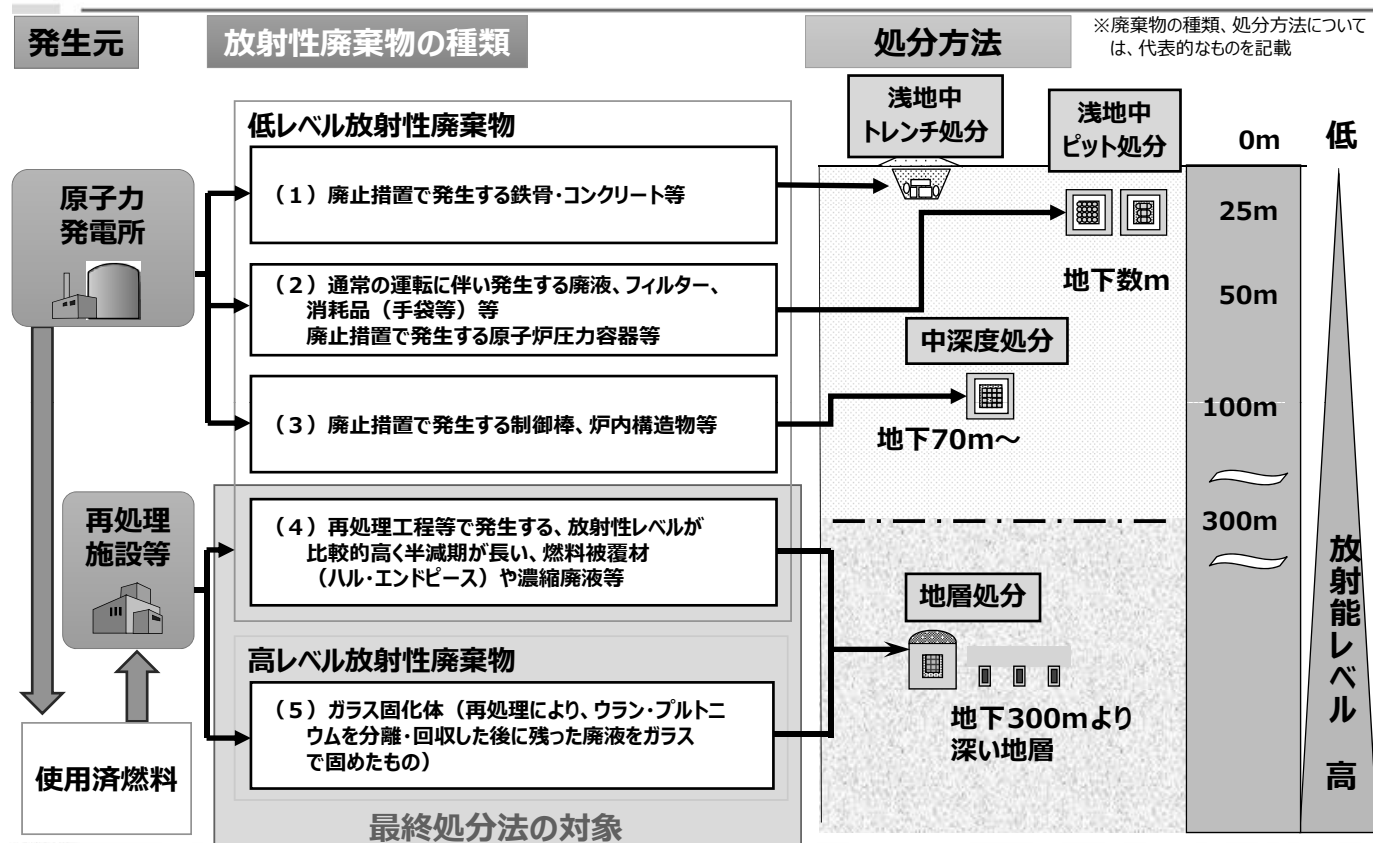


核燃料サイクル開発機構 (1999) : わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 - 地層処分研究開発第 2 次取りまとめ - より引用

NUMO

P. 4

放射性廃棄物の種類と処分方法



NUMO

P. 5

2. 地層処分事業について

地層処分とは

- 原子力発電に伴って発生する「高レベル放射性廃棄物」を、地下深くの安定した岩盤に閉じ込め、人間の生活環境や地上の自然環境から隔離して処分する方法を「地層処分」と言います。

地下深部の特徴

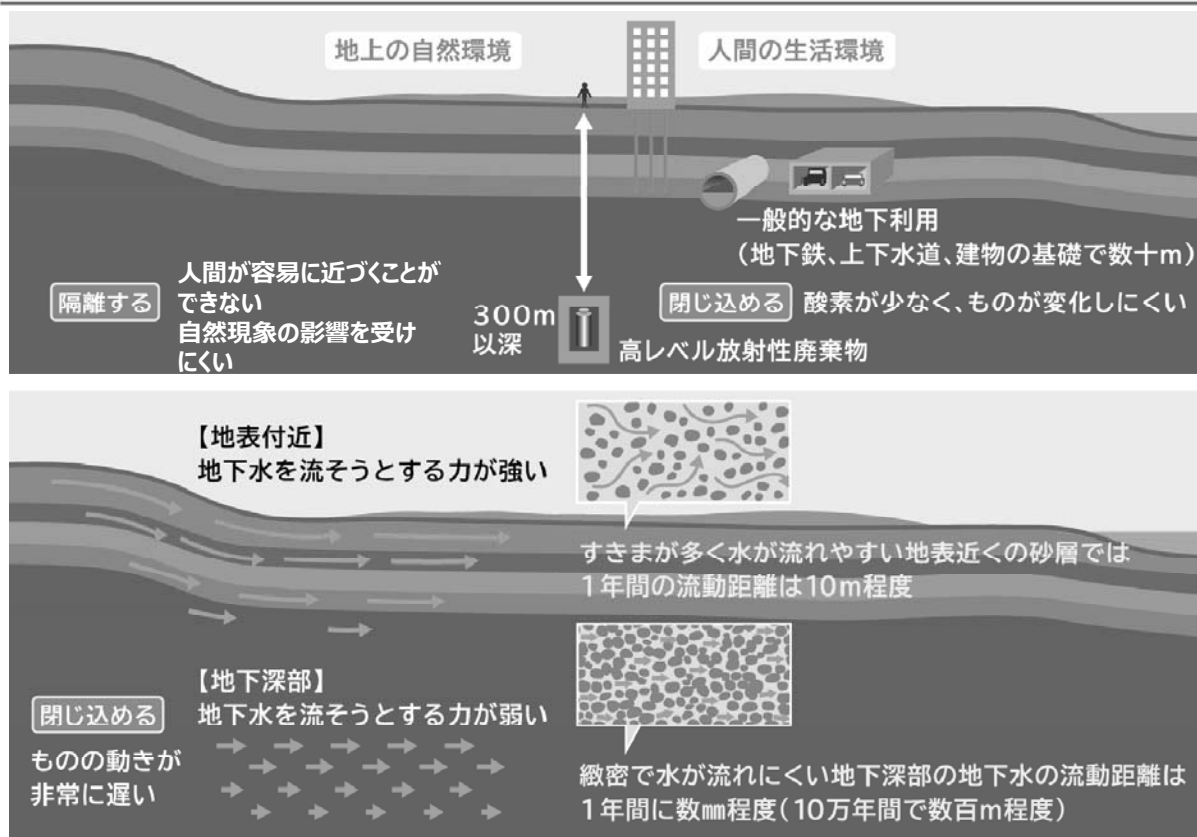
- ① 酸素が少ないため、錆びるなどの化学反応が発生しにくく、ものが変化しにくいので、埋設物がそのままの状態であり続ける
- ② 地下水の流れが遅いので、ものの動きが非常に遅い
- ③ 人間の生活環境や地上の自然環境の影響を受けにくい

閉じ込め機能

隔離機能



地下深部の特徴



NUMO

P. 8

地層処分の基本的な考え方

- 長い期間にわたって地上で保管する場合、自然災害などのリスクが増大し、また、管理に必要な技術や人材の維持など、将来世代へ負担を負わせ続けることになります。
- 地下深くに適切に埋設することで、放射能が減衰するまでの間、人間が管理することなく、将来にわたる高レベル放射性廃棄物によるリスクを十分に小さく維持し続けることができます。

現在

数十年

数百年

数千年

数万年

管理における安全上のリスクは大きくなる

長期間、地上で保管を
続ける場合

- 地上は地下よりも、地震、火山噴火、台風、津波、戦争、テロなどの影響を受けやすい
- 地上は地下よりも、ものが腐食しやすい

➡ <地下深くに適切に埋設することで>
安全上のリスクを小さくできる

人間の管理の必要性が継続し、管理の実行可能性に不確実性が増す

- 数万年以上も人間社会が管理し続けられるか？
- 管理に必要な技術や人材を維持し続けられるか？
- 将来世代が管理を行うために必要なコストを負担できるか？

➡ <地下深くに適切に埋設することで>
人間による管理を必要とせず将来世代
の負担を小さくできる

NUMO

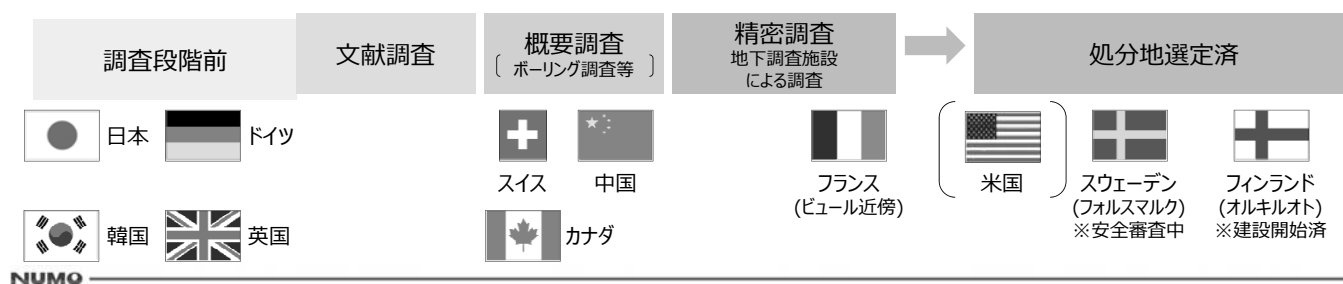
P. 9

最終処分方法に対する国際的な評価

- 国際的にさまざまな処分方法（宇宙処分、海洋底処分、氷床処分など）が検討された結果、地層処分が最も適切であるというのが各国共通した考え方となっています。
- また、国際条約において「**放射性廃棄物は発生した国において処分されるべき**」とされており、諸外国も自国内での地層処分の実現に向けて最大限の努力をしています。

各国共通の考え方

- ・高レベル放射性廃棄物は、放射能の低減に極めて長い期間を要するので、人間が管理し続けることは困難である。
- ・将来の世代に管理負担を残さないよう、現世代の責任で解決の道筋をつけるべきである。
- ・そのためには、これを人間の生活環境から長い期間にわたって適切に隔離する必要がある。
- ・隔離の方法としては、地下深くの安定した岩盤に埋設する「地層処分」が最適であり、他の有効な方法は現時点で見当たらない。



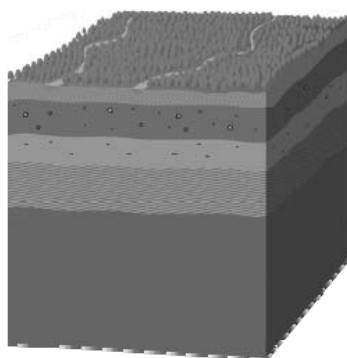
P. 10

地下環境の安定性

- 地上は自然環境や人間の開発などにより刻々と変化しますが、地下深部には過去数10万年から100万年にわたって大きく変化せず安定しているところが広く存在します。
- 地層処分は安定した地下深部に廃棄物を埋設します。

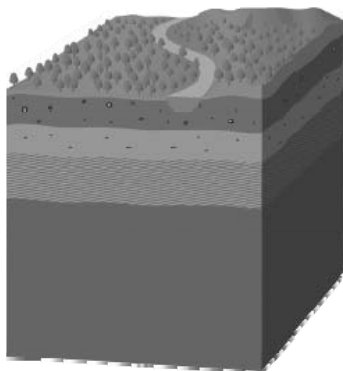
約100万年前

- ・現在と同様な地殻変動の傾向が始まる頃



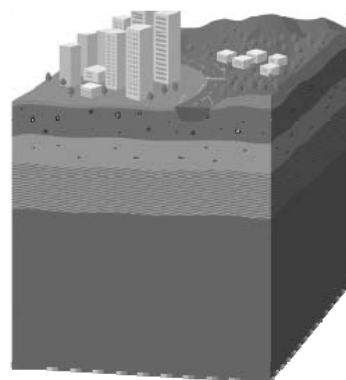
約25万年前

- ・現生人類（ホモ・サピエンス）が出現
- ・地上は森や川などの状態変化
- ・地下深部は大きな変化なし



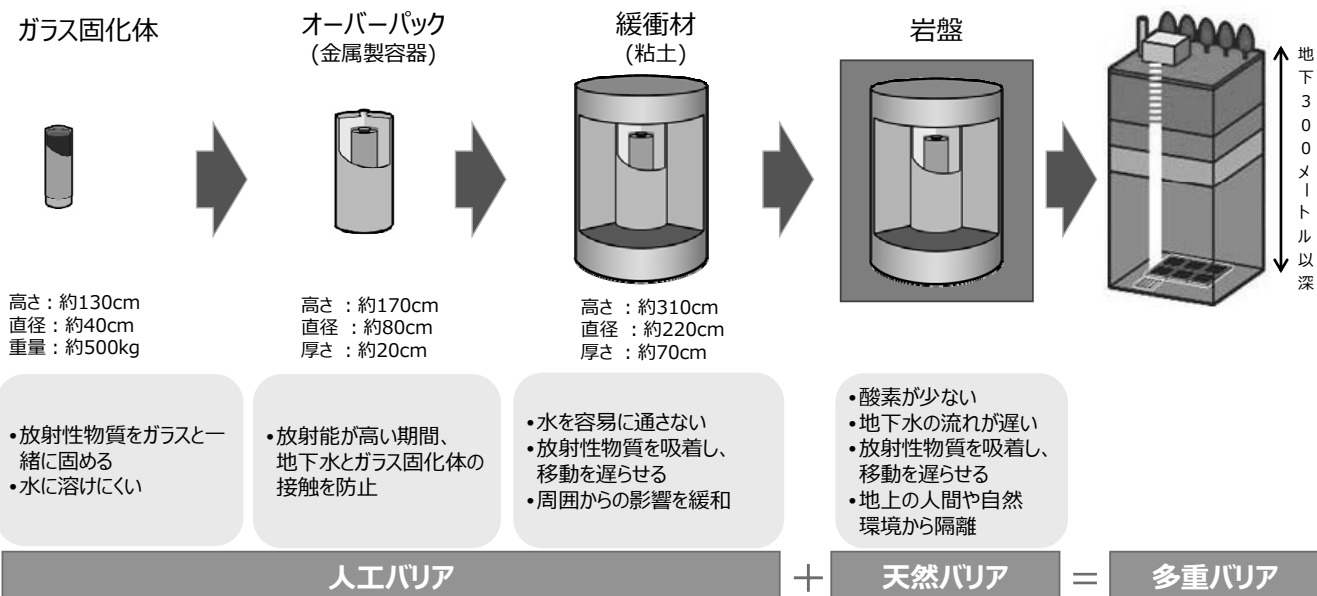
現在

- ・地上は人間により開発
- ・地下深部は大きな変化なし



地層処分の仕組み（多重バリアシステムの構築）

- 高レベル放射性廃棄物を**地下300mより深い安定した岩盤に埋設**します。**[天然バリア]**
- 放射性物質を取り込んだガラス固化体を**オーバーパック（厚い金属製容器）に格納**し、さらに**緩衝材（粘土）で包みます**。**[人工バリア]**



様々な対策を組み合わせた多重バリアシステムにより、人間の生活環境への影響がないように隔離・閉じ込めを行います。

P. 12

地層処分手業の概要

- ガラス固化体を40,000本以上埋設できる施設を**全国で1か所**つくることを計画しています。
- 地上施設は1～2 km²、地下施設は6～10 km²程度を想定しています。
- 事業の費用は、**約3.8兆円**（※）と試算しています。その費用は、原子力発電所の運転実績に応じた金額を電力会社等が毎年NUMOに拠出しています。

※ガラス固化体（40,000本）、地層処分対象TRU廃棄物（19,000m³）を埋設する規模で算定。

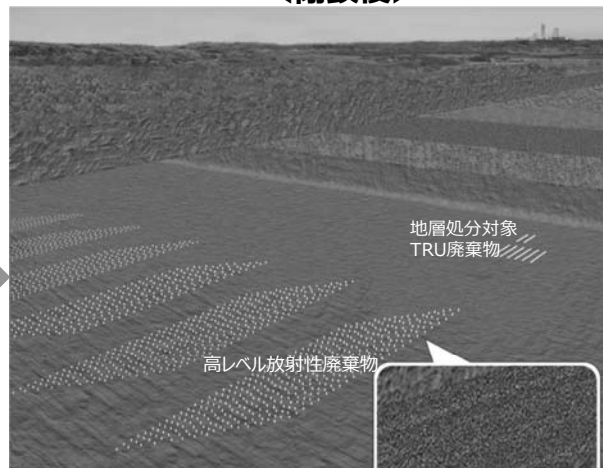
<操業中>

地上施設の規模：1～2 km²程度



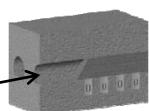
操業終了後、坑道を埋戻し、
地上施設は撤去

<閉鎖後>

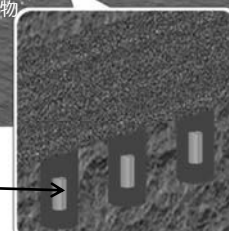


NUMO

処分坑道



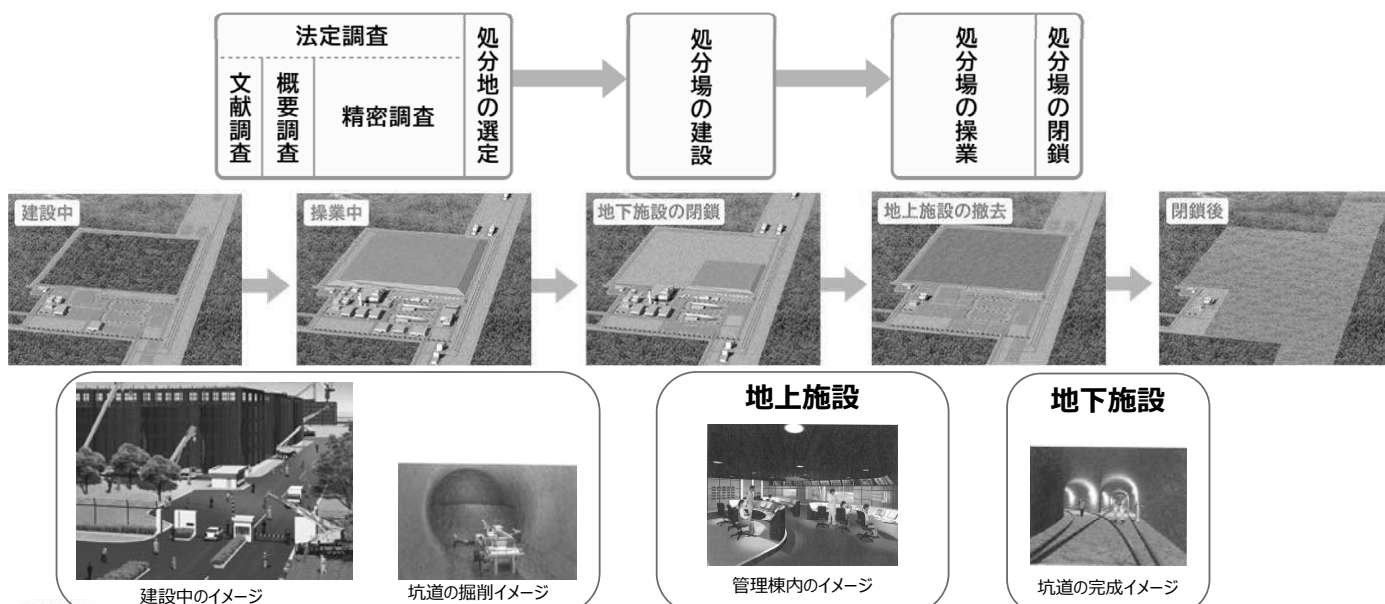
ガラス固化体



13

地層処分事業の期間

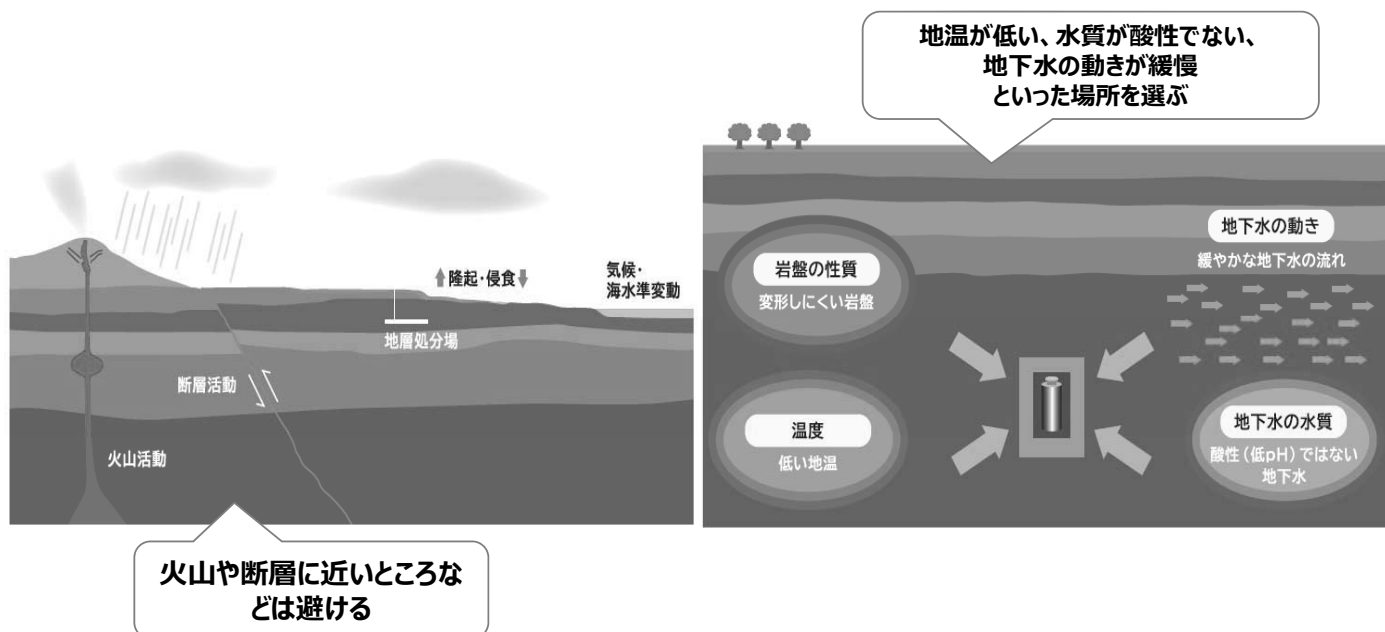
- 処分場の立地地点を選定するまでに、法律に定められた3段階の調査を行います。処分場の建設と操業は並行して進められます。閉鎖までの期間を含めると、地層処分事業は長期にわたります。
- 処分場の建設や操業中は多くの作業員が従事します。
- 操業終了後は、地下施設を埋め戻し、地上施設を撤去し、最終的に更地に戻します。



P. 14

地層処分を行う上で考慮すべき地質環境

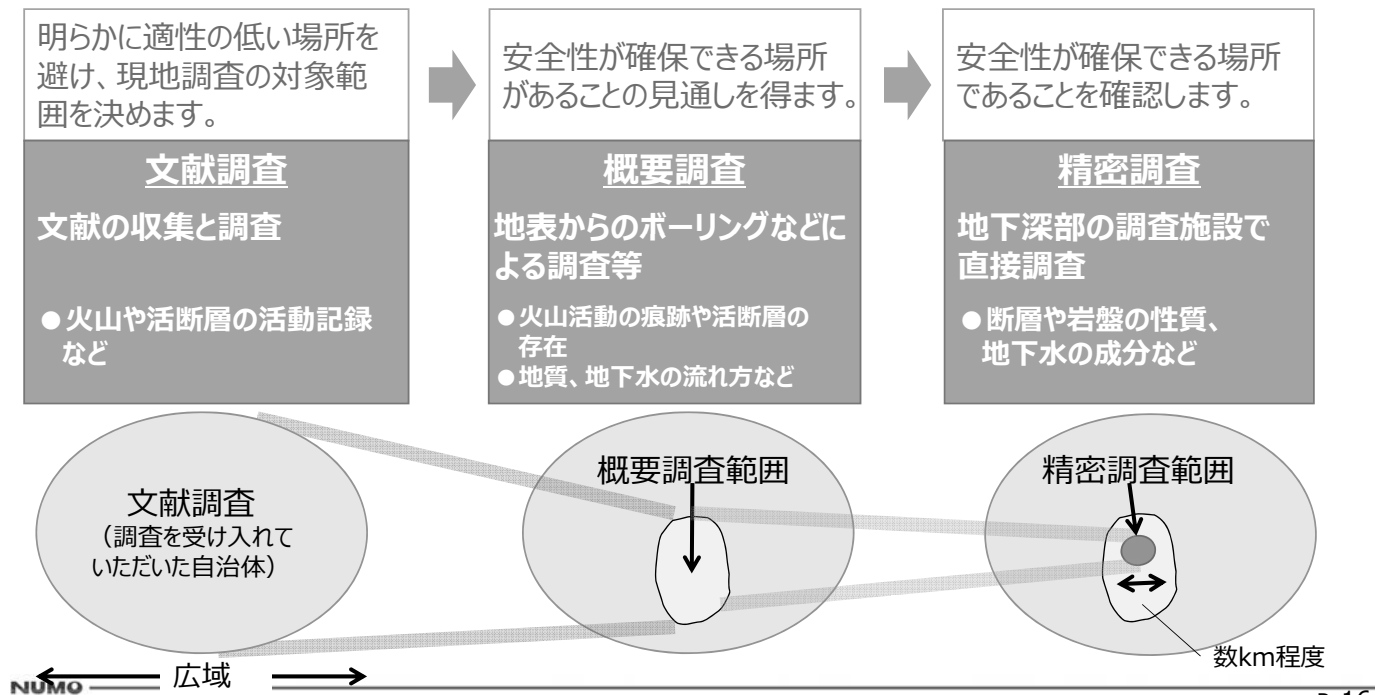
- **地下深部は一般的に安定した環境**ですが、安全に地層処分を行うためには、個別地点において詳細に調査し、**火山や活断層を避け、地温や地下水**などの地質環境特性が好ましい場所を選び、設計などと合わせて総合的に評価することが必要です。



P. 15

法律に基づく3段階の処分地選定調査①

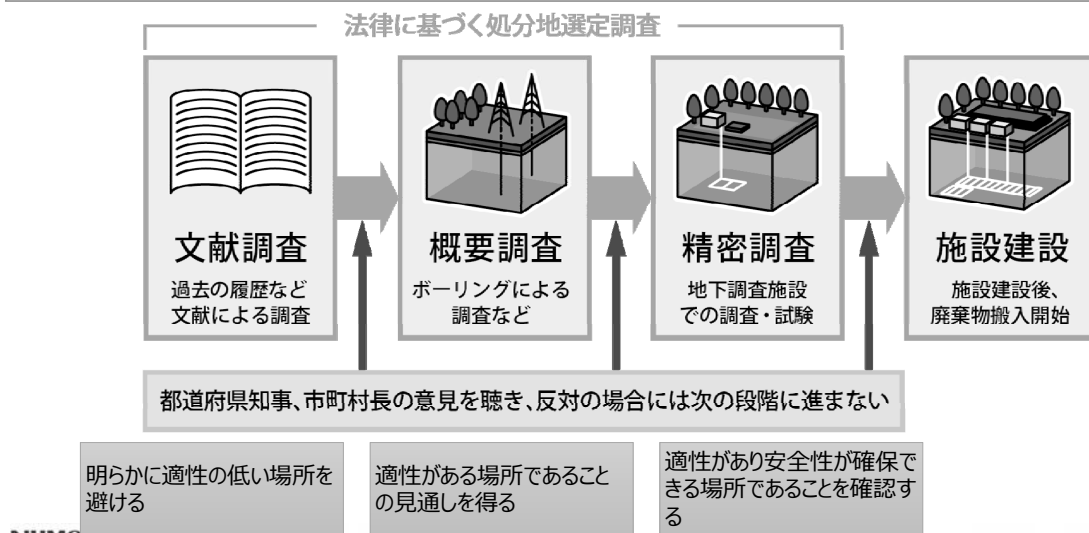
- 法律（特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律）では、「文献調査」に始まる3段階の調査をNUMOが実施しなければならないと定められています。調査範囲を絞り、詳細度を高めながら地下環境特性などを把握し、安全な地層処分が可能かどうかを評価するために実施します。



P. 16

法律に基づく3段階の処分地選定調査②

- 各段階では、安全を第一にしっかりと技術的検討を行うのみならず、地域経済社会への効果、影響などについても調査を行い、市町村に処分場受け入れの可否を総合的に判断していただけるよう情報提供し、進めてまいります。
- 調査の各段階で結果を公表し、次の段階の調査地区をお示しし、知事や市町村長のご意見を伺います。反対される場合には次の段階には進みません。
- 施設の安全性については、国の原子力規制委員会による審査※が別途行われます。
（※核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律に基づく審査）



P. 17

3. 地層処分に関するこれまでの経緯

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

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

海 外

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

NUMO

P. 20

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
- 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

※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

NUMO

P. 21

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

NUMO

P. 22

科学的特性マップとは？

1. 地層処分についての国民理解促進が目的

- 「処分場所を選ぶ際にはどのような科学的特性を考慮する必要がある？」
「火山国、地震国の日本でも地層処分は可能？火山や活断層は全国にどのように分布？」
⇒こうした国民の関心に応え、地層処分の仕組みや日本の地質環境等についての理解を深めてもらうことが目的。

2. 科学的・客観的に関連データを整理

- 地層処分に関係する地域の科学的特性（火山の影響範囲、活断層の影響範囲など）を、既存の全国データに基づき、一定の要件基準に従って客観的に整理し、全国地図の形で示したもの。
- 「土地確保が容易か？」といった社会的要素は含まず。

3. 国の新方針の下、専門家の検討を重ねて要件基準を確定

- 福島原発の事故後、従来の取り組みを抜本的に見直し、「国が前面に立って、地域の科学的な適性を示す」との新方針を決定（2015年5月）。
- 各分野の専門家が集まり、2年越しで精力的に審議。国際機関等のレビューも経て丁寧に精緻化。

4. 長い道のりの最初の一步

- マップ提示を契機に、全国各地できめ細かな対話活動を実施予定。幅広い国民理解を得た上で、将来的にいくつかの地域で調査を受け入れていただくことを目指す。処分地の選定はさらにその先。

NUMO

P. 23

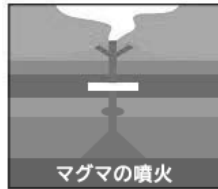
考慮すべきさまざまな科学的特性

- 安全に地層処分を行うために考慮すべき要素について、さまざまな観点から検討がなされました。

地下深部の科学的特性が長期にわたって安定的か？

✕ 火山に近い

将来にわたって火山の活動が処分場を破壊したりすることのない場所を選びます。



✕ 活断層に近い

大きな断層のずれが処分場を破壊したりすることのない場所を選びます。



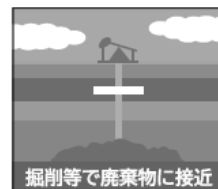
✕ その他、地下の科学的特性が地層処分に適さないところ

地盤の隆起の速度が大き過ぎないか、地下の温度が高過ぎないか、地盤の強度が不十分でないか、といったことも考慮します。

将来の人間が気づかずに近づいてしまわないか？

✕ 地下に鉱物資源がある

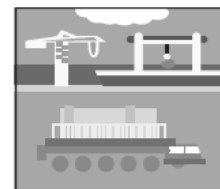
地下に鉱物資源があると、施設管理終了後の遠い将来に、人間が掘削してしまうかもしれません。



輸送時の安全性が確保されるか？

○ 陸上輸送距離が短い（海岸から近い）

陸上輸送にかかる時間や距離は、短い方が安全好ましいです。

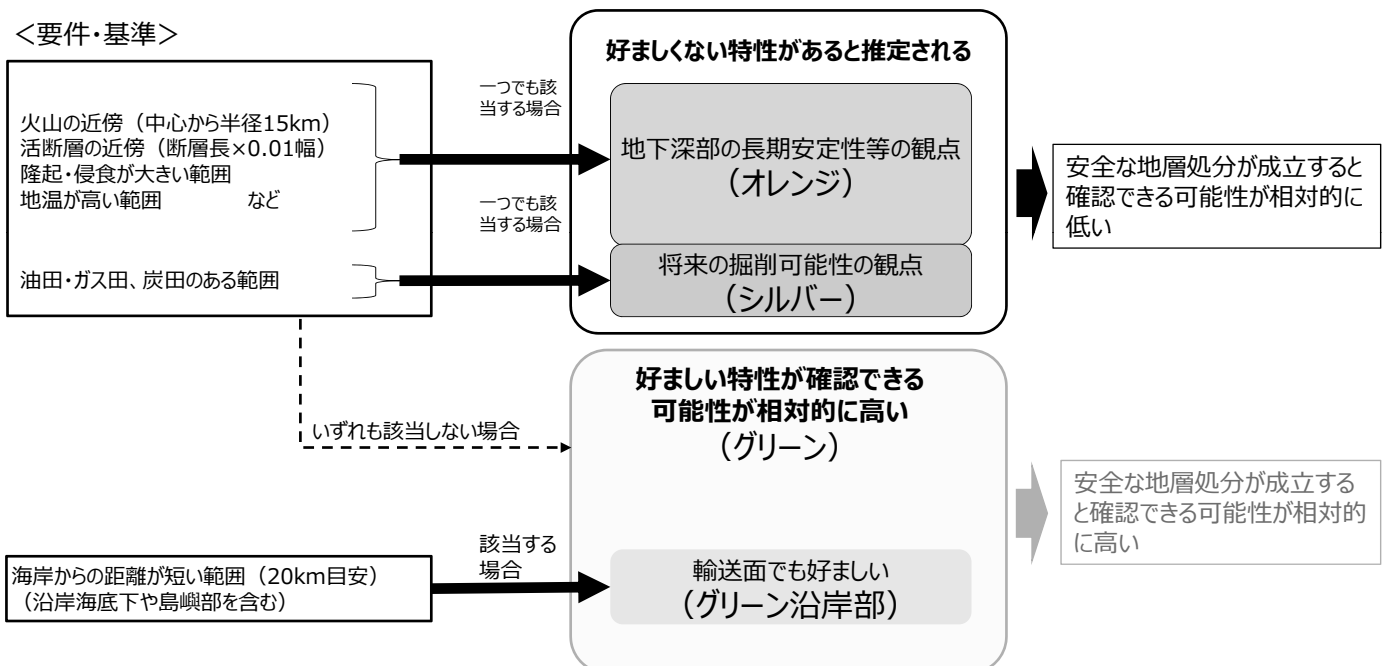


「科学的特性マップ」の概要

- 地球科学的・技術的観点から、一律・客観的な要件・基準に基づき、日本全国の地域特性を4区分（色）で示す。

※社会科学的観点（土地確保の容易性など）は要件・基準に含めない。

＜要件・基準＞



マップ作成に用いた要件・基準の一覧

好ましくない範囲の要件・基準

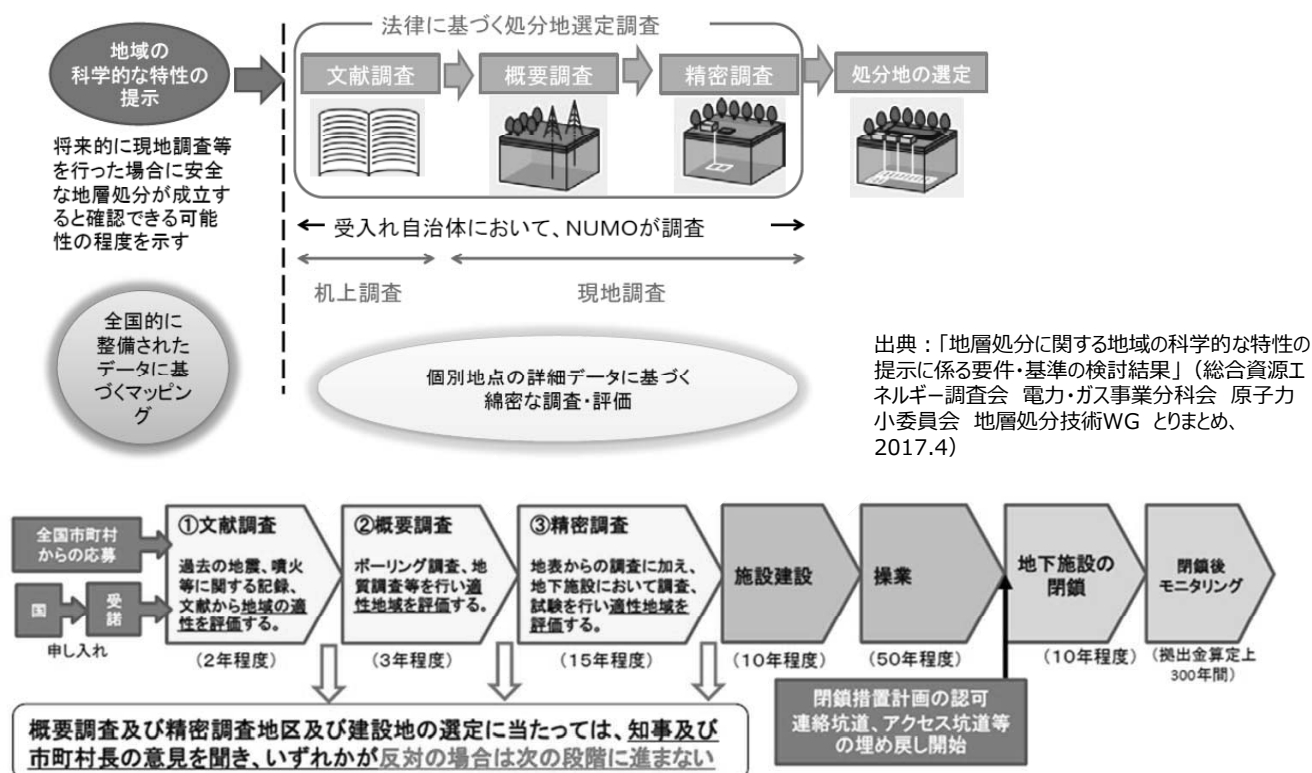
	要件	基準
火山・火成活動	火山の周囲(マグマが処分場を貫くことを防止)	火山の中心から半径15km以内等
断層活動	活断層の影響が大きいところ (断層のずれによる処分場の破壊等を防止)	主な活断層(断層長10km以上)の両側一定距離(断層長×0.01)以内
隆起・侵食	隆起と海水面の低下により将来大きな侵食量が想定されるところ (処分場が著しく地表に接近することを防止)	10万年間に300mを超える隆起の可能性がある、過去の隆起量が大きな沿岸部
地熱活動	地熱の大きいところ(人工バリアの機能低下を防止)	15°C/100mより大きな地温勾配
火山性熱水・深部流体	高い酸性の地下水等があるところ(人工バリアの機能低下を防止)	pH4. 8未満等
軟弱な地盤	処分場の地層が軟弱なところ (建設・操業時の地下施設の崩落事故を防止)	約78万年前以降の地層が300m以深に分布
火砕流等の影響	火砕流などが及びうところ (建設・操業時の地上施設の破壊を防止)	約1万年前以降の火砕流等が分布
鉱物資源	鉱物資源が分布するところ(資源の採掘に伴う人間侵入を防止)	石炭・石油・天然ガス・金属鉱物が賦存

好ましい範囲の要件・基準

	要件	基準
輸送	海岸からの陸上輸送が容易な場所	海岸からの距離が20km以内目安

P. 26

事業の段階的な展開



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）

NUMO

P. 27

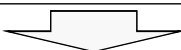
4. 包括的技術報告書※の取りまとめ

※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

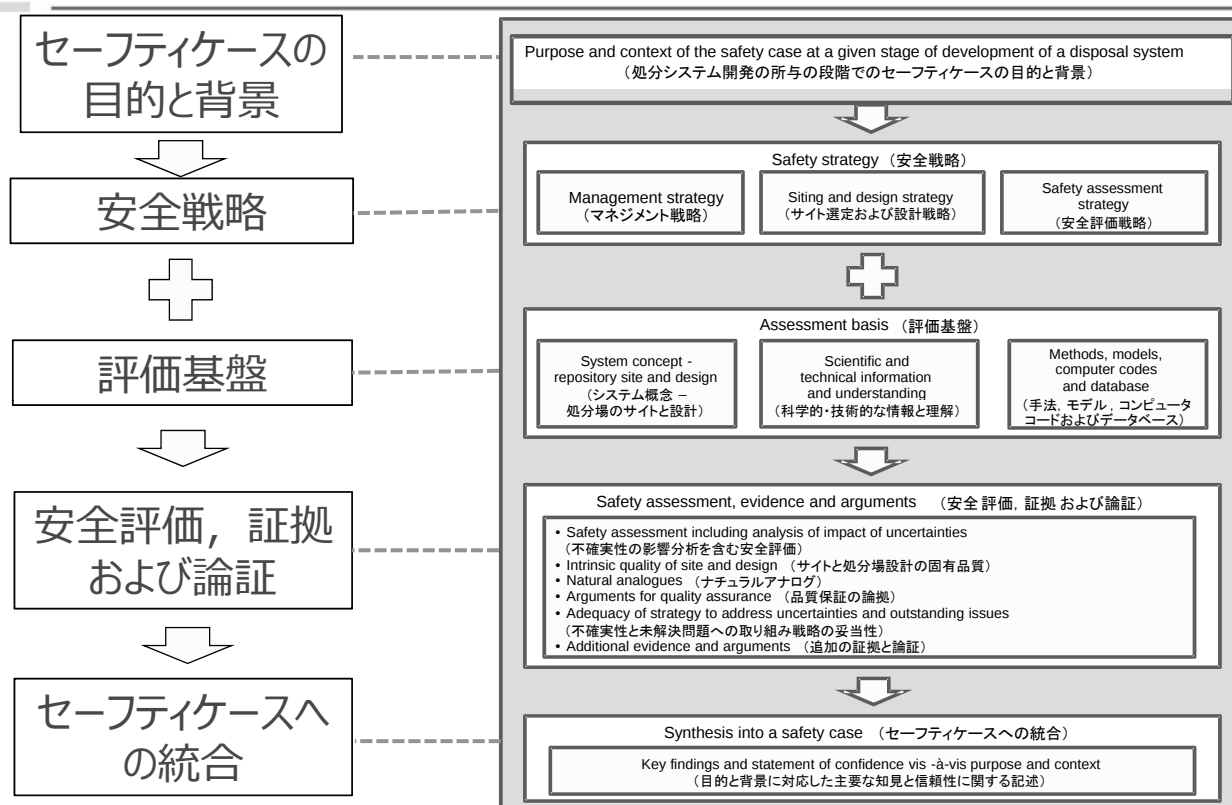
- 地層処分は、将来数万年以上にわたる安全性を確保しなければならない、人類にとって初めてのプロジェクトであり、事業期間だけでも約100年
- 地層処分の安全性を確保し事業に対する信頼を確かなものとしていくためには、事業の各段階（サイトの調査前、調査中、許認可、建設・操業中、閉鎖時など）において、事業者はその時点の最新の科学技術的知見に基づいて「なぜ安全な処分場を構築できるといえるか」を説明し、
 - ステークホルダーが「次の段階に進んでよいか？」を判断するための材料を提供
 - 処分場の安全性に関する説明性を段階的に向上
- 事業者はこの説明を、根拠とともに報告書として取りまとめて社会に提示（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

NUMO

P. 30

セーフティケースの構造（OECD/NEA）



出典：OECD/NEA（2013）：The nature and purpose of the post-closure safety cases for geological repositories, NEA/RWM/R(2013)1.

NUMO

P. 31

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

各国におけるセーフティケースの例



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

- 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

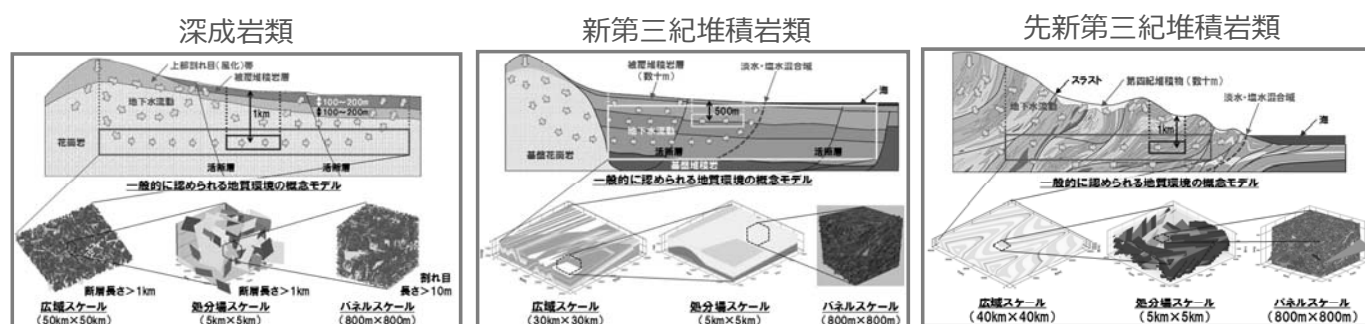
地層処分に適した地質環境の選定およびモデル化

■ 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

NUMO

P. 36

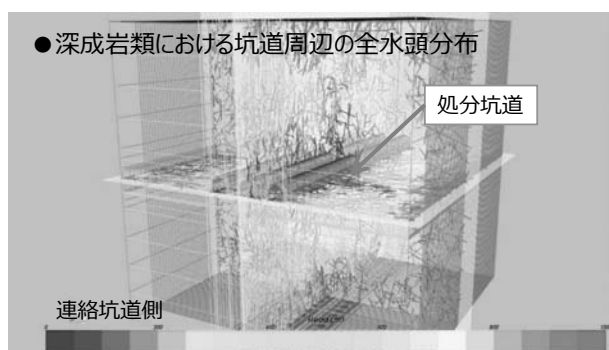
処分場の設計と工学技術（1/2）

■ 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

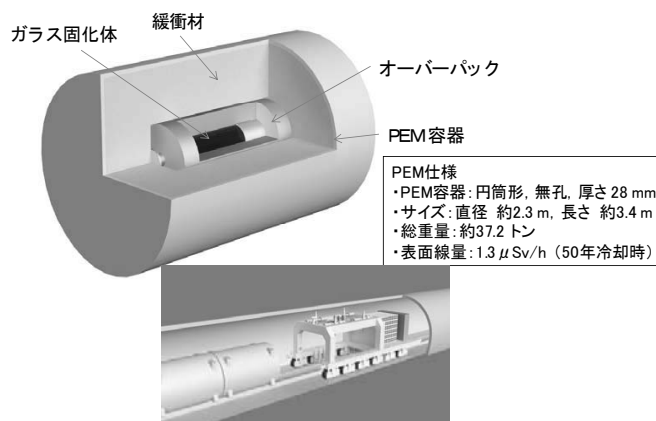
- 地質環境モデルの特徴に対応した設計上の対策の具体化と設計結果の提示
- 地上施設の安全対策や操業方法の具体化 など

■ 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

NUMO

P. 37

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/>

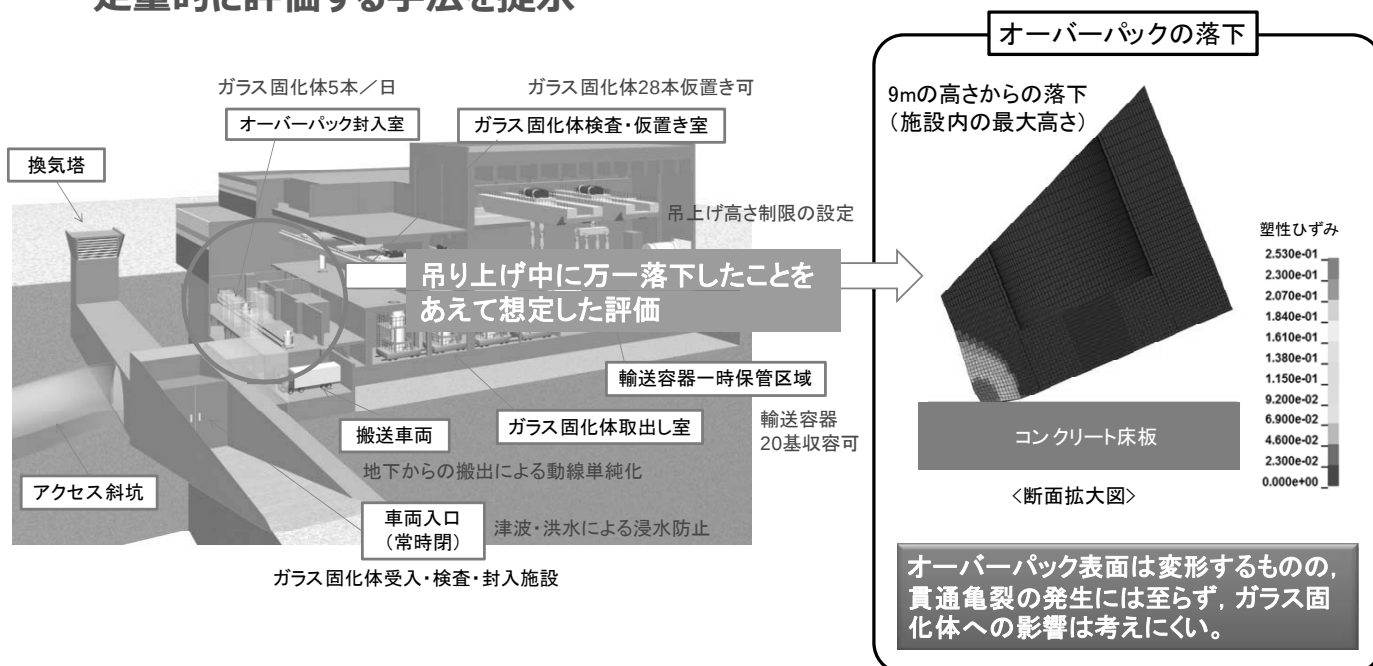


NUMO

P. 38

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

NUMO

P. 39

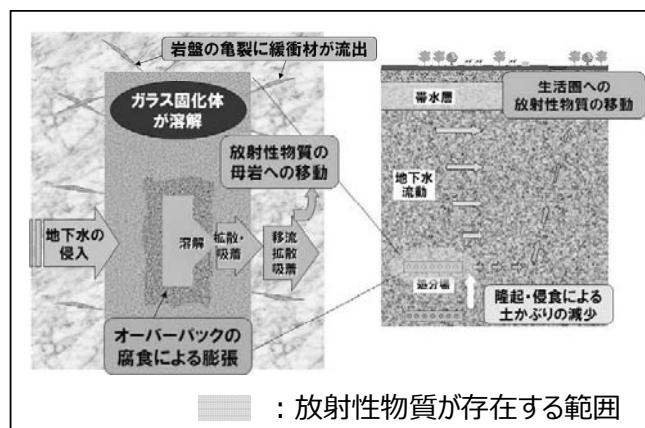
閉鎖後長期の安全性の評価（1/2）

■ 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

NUMO

P. 40

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	● 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 → 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	安全性確保の水準： $300\mu\text{Sv/y}$ -> ICRPの推奨値と同水準
	変動シナリオ	● 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	基本シナリオに対する事業者としての努力目標： $10\mu\text{Sv/y}$ -> 諸外国の規制基準の最小値（スウェーデン）と同水準
	稀頻度事象シナリオ	● 発生可能性が極めて小さく、現実社会で生じることとは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	著しい影響の水準： $20\sim 100\text{mSv(1年目)}$ $1\sim 20\text{mSv/y(2年目以降)}$ -> 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		● 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	著しい影響の水準： $20\sim 100\text{mSv(1年目)}$ $1\sim 20\text{mSv/y(2年目以降)}$ -> ICRPが推奨する緊急時被ばくの参考値などと同水準

P. 41

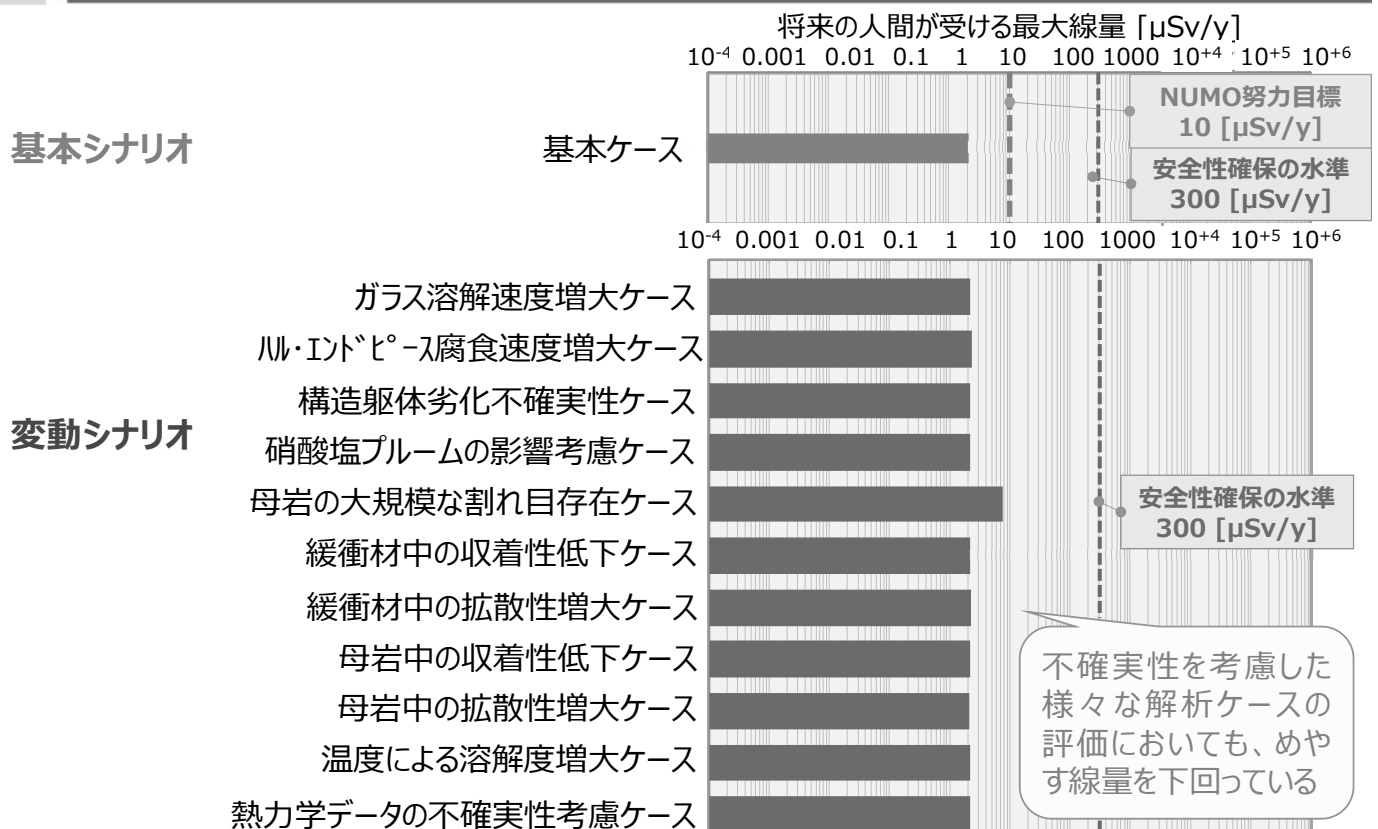
閉鎖後長期の安全評価に対する解析ケース

	No.	解析ケース
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
	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
変動シナリオの解析	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

NUMO

P. 42

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）



NUMO

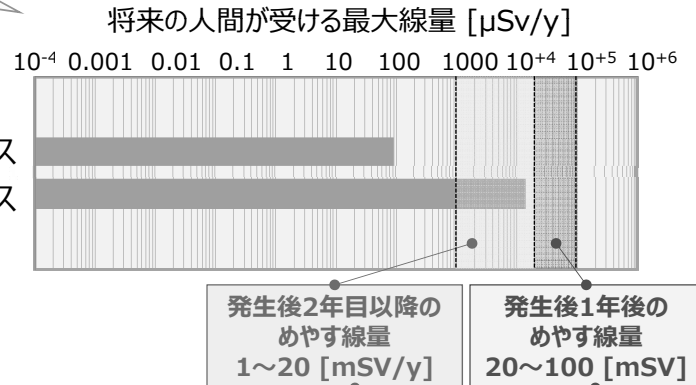
P. 43

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

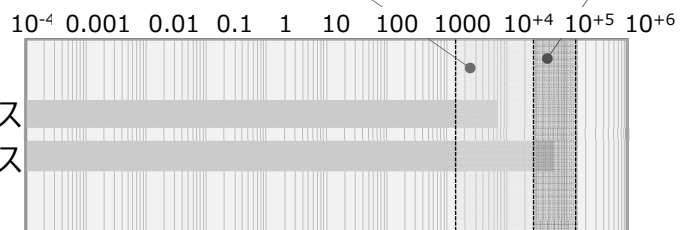
稀頻度事象シナリオ

新規火山発生ケース
断層進展ケース



人間侵入シナリオ

ボアリング孔短絡経路ケース
作業者によるボアリングコア観察ケース



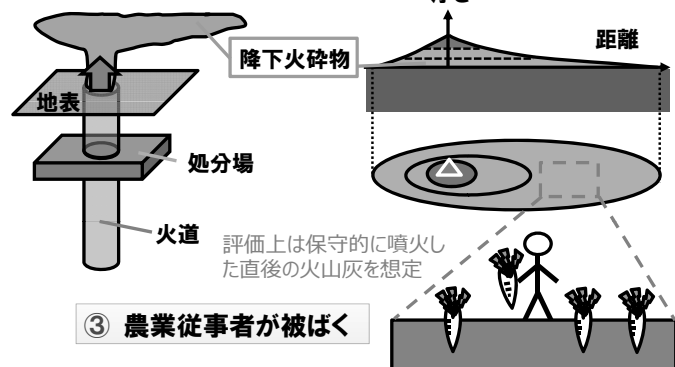
稀頻度事象シナリオの評価：新規火山発生ケースの例

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入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

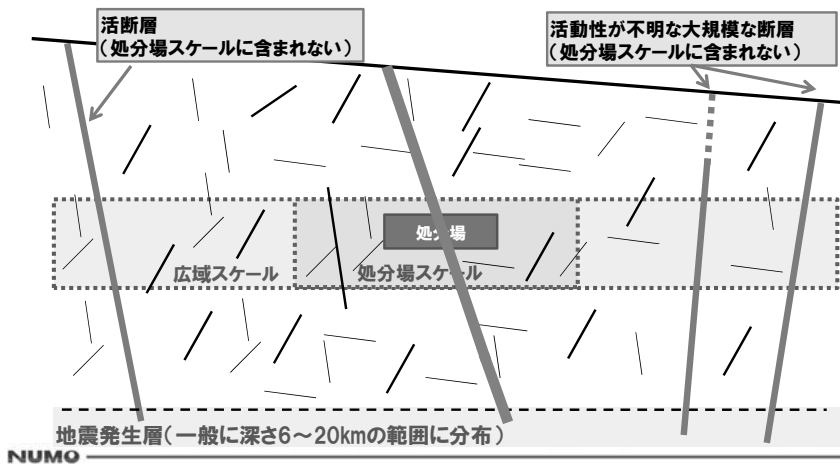


- 線量の評価結果 0.09 mSv/y ：稀頻度事象シナリオの「めやす」線量（1-20 mSv/y）より小さい
- リスクの試算 $1 \times 10^{-12}/\text{y}$ （※ここでのリスクとは、致死性の癌や重篤な遺伝的影響が発生する確率）
 - 処分場が新たな火山の直撃を受ける確率 $2.5 \times 10^{-7}/\text{y}$ （ITM-TOPAZ Projectで開発した手法を適用: NUMO-TR-12-05、2012）

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25km²）を偶然直撃する確率を保守的に試算すると 9.3×10^{-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 mSv/y
≡ 稀頻度事象シナリオの「めやす」線量（1-20 mSv/y）
- リスクの試算 7×10^{-14} /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）

NUMO

P. 46

【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

NUMO

P. 47

【参考】第2次取りまとめと包括的技術報告書

	第2次取りまとめ（JNC、1999）	包括的技術報告書（NUMO、2018）
地質環境の調査・評価	■ 地層処分の概念の成立に必要な条件を満たす地質環境がわが国に広く存在することを示し、特定の地質環境がそのような条件を備えているか否かを評価する方法を開発 （各論）岩盤や地下水の文献情報や事例研究から以下の結論 －地温が十分に低く、応力が均等な深部岩盤が国内に存在 －地下水は深部に行くほど還元され、動きは遅い －少なくとも将来十万年程度の期間、地質環境の長期安定性を論ずることが可能。	■ 地下研究所における調査技術の適用性検証や地下深部データなど、第2次取りまとめ後の最新の研究成果・地質情報を反映し、地層処分に適した地質環境を選定する実務的な調査・評価方法を整備するとともに、地下深部の状況を詳細に反映した地質環境モデルを構築 （例）地下研究所の地下水や岩盤の性状に関する実測データなどを含む全国規模の地質環境情報をもとに、わが国の地下に広く分布する3岩種（深成岩類、新第三紀堆積岩類、先新第三紀堆積岩類）を代表に地質環境モデルを構築 ※第2次取りまとめでは結晶質岩と堆積岩の二種類の推計データを活用
工学技術	■ 幅広い地質環境条件に対応し、人工バリアや処分施設を適切に設計・施工する技術を開発 （例）－人工バリア及び処分施設の設計・施工の評価手法を開発し、関連するデータベースを整備。 －人工バリアの仕様を提示。 －処分場の建設・操業の手順を検討し、処分場のレイアウトを提示。現行技術を軸に、その延長技術も活用し、実現可能性を明確化。	■ 処分場の形状や技術オプションなどの様々な選択肢を具体化し、地質環境に応じて柔軟に設計する手法を開発 （例）－断層や割れ目への対処の考え方を具体化（岩盤の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設計方法等） －PEM(横置型地上組立式人工バリア)の導入 ■ 操業時(閉鎖前)の設計想定を超える事象に対する安全性の評価方法を構築
安全評価	■ 数値解析により、地層処分の長期にわたる安全性を評価する方法を開発し、安全に実施できる見通しを確認。 （例）評価シナリオを提示し、線量を指標として地層処分システム全体の安全評価モデルを構築。	■ 実測データに基づく具体的な地質環境モデルとその特徴を反映した解析手法を用いて処分場が安全に構築できる見通しを確認。 （例）サイトの特性に応じた処分場の設計や線量評価に至る数値解析等の作業手順を体系化
総括	■ 地層処分を事業化の段階に進める、信頼できる技術基盤が整備されたことと総括	■ わが国の地質環境で安全な地層処分が実現できる見通しをあらためて確認し、サイト調査に向けた準備は十分と総括

NUMO

P. 48

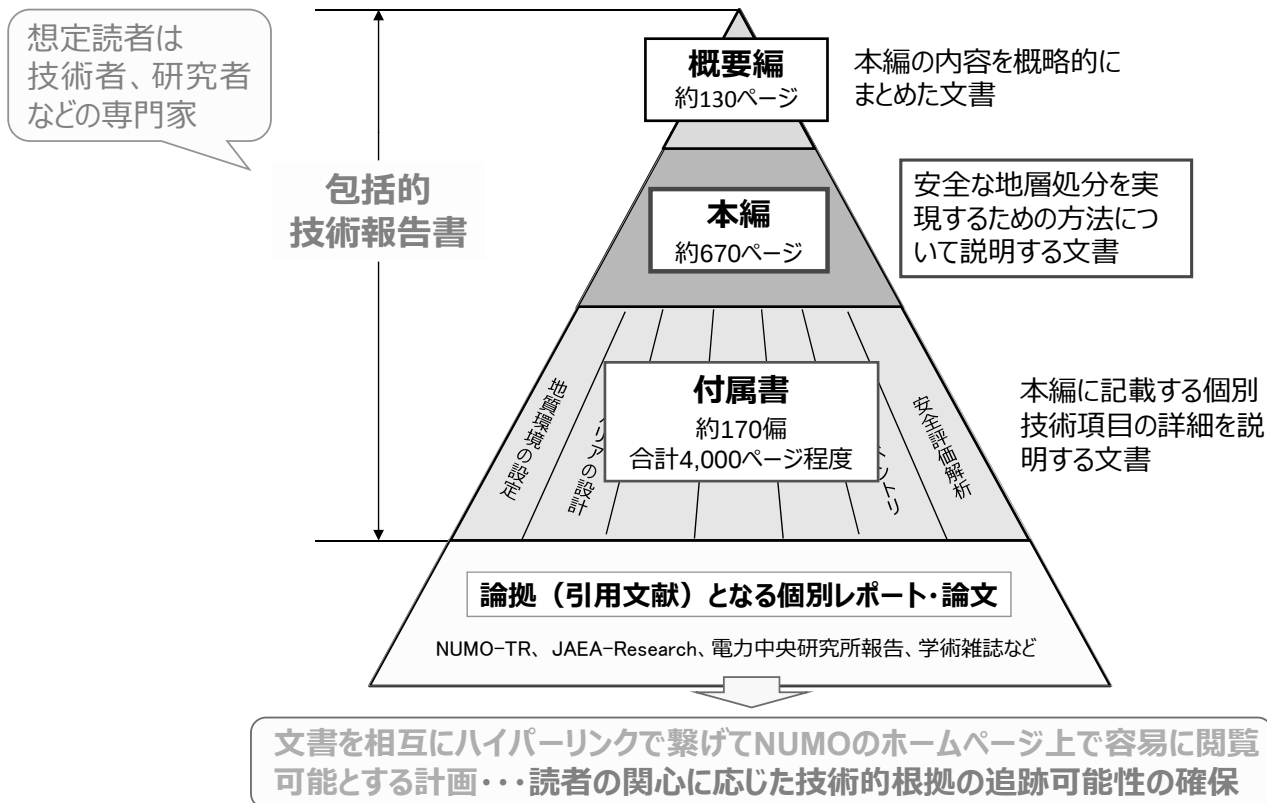
包括的技術報告書のまとめ

- 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となる地質環境の調査・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

NUMO

P. 49

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



NUMO

P. 50

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；梅本 博之；清水 和彦；高原 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の信頼性をもつ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根拠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、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 : JNC-TN1400-99-020.pdf: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

「特定放射性廃棄物の地層処分研究開発第2次取りまとめ」を受けて、「特定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」¹を指処分を行うこととなって

以下、NUMOという）が做調査、「概要調査」，

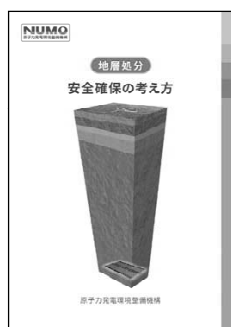
P. 51

今後の予定（案）

- ① 2019年9月以降：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

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]



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）
 - 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



ご清聴ありがとうございました

