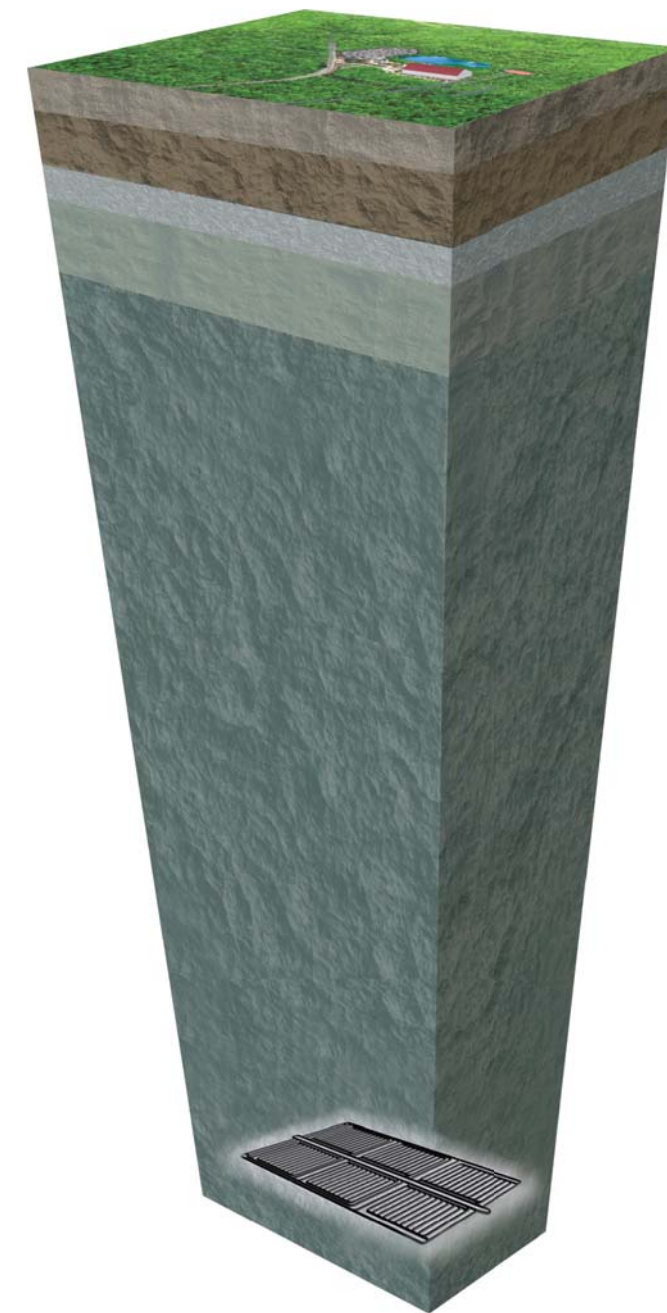


地層処分

安全確保の考え方



原子力発電環境整備機構

原子力発電環境整備機構

NUMO (ニューモ: Nuclear Waste Management Organization of Japan)

〒108-0014 東京都港区芝4-1-23 三田Nビル2F

地域交流部 電話 03-6371-4003 (平日10:00~17:00)

FAX 03-6371-4101

ホームページ <https://www.numo.or.jp/>



都営三田線、都営浅草線「三田」駅A9出口
JR線「田町」駅 徒歩5分

はじめに

原子力発電にともなって発生する高レベル放射性廃棄物や地層処分相当低レベル放射性廃棄物(注1)などは、その安全管理を将来の人間に委ねずに済むように、安定した地下深部の岩盤中に埋設し、長期間にわたり人間の生活環境から隔離します。これを「地層処分」といいます。

地層処分を実現していくためには、地層処分の仕組みや、日本の地質環境などについて、一人でも多くの方に関心を持っていただき、理解をいただくことが必要であると考えています。

この取組みの一環として、2017年7月に科学的特性マップが国から提示されました。これは、地層処分の場所を選ぶ際、考慮する必要のある科学的特性が日本全国にどのように分布しているかを示すものです。

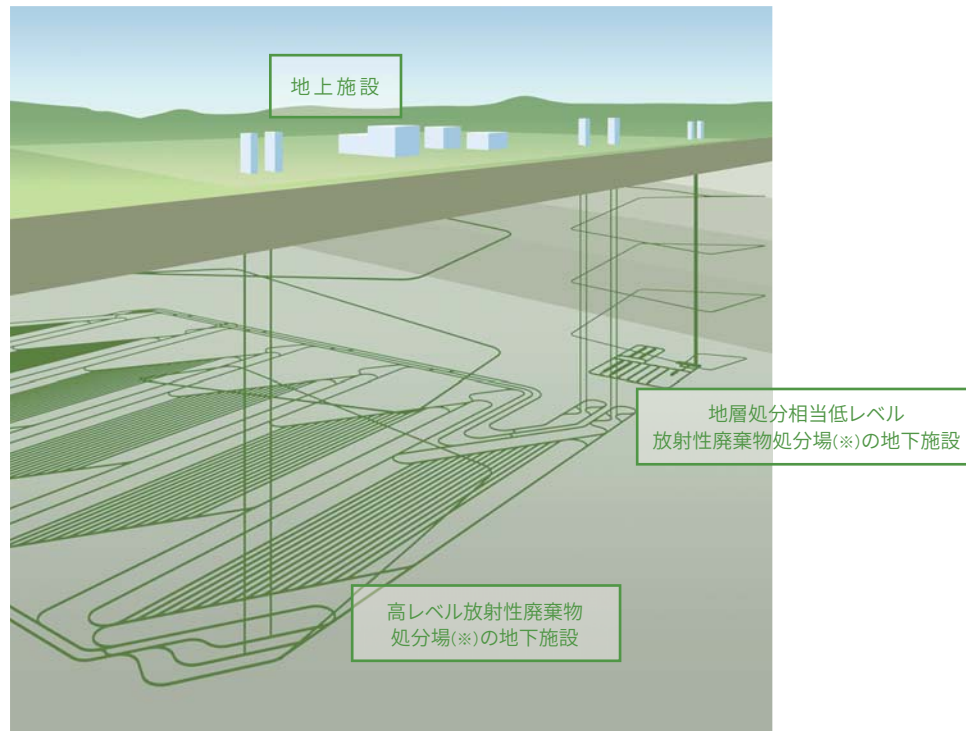
このマップの作成に用いられた要件・基準は、高レベル放射性廃棄物などを埋設した後の長期間の安全性に、建設・操業時および輸送時の安全性などの観点も加え、経済産業省の審議会(注2)において専門家によって検討が行われてきました。

本資料は、このような背景を踏まえ、地層処分の安全確保の考え方をまとめたものです。具体的には、地下深部の岩盤中に廃棄体(注3)を埋設した後の、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ています。

本資料が、みなさまに地層処分事業についてご理解いただくための一助となれば幸いです。

なお、本資料の内容につきましては、今後も、最新の科学技術の知見と技術開発の成果を反映して、適宜更新していく予定です。

地層処分施設のイメージ ▶



(高レベル放射性廃棄物と地層処分相当低レベル放射性廃棄物を併置した場合)

※処分場
地層処分に必要な人工バリアを含む一群の施設(最終処分施設)と天然の岩盤(天然バリア)によって構成され、閉鎖後長期間にわたって廃棄体を人間環境から安全に隔離するための機能をもつシステムを「処分場」といいます。

1

地層処分対象となる放射性廃棄物と地層処分の基本

- P.3 地層処分の対象となる放射性廃棄物は、非常に長期間、高い放射能を持ち続けるものです。
- P.6 安定した地下深部に埋設し、人間の生活環境から隔離し、閉じ込めます。
- P.7 隔離・閉じ込め機能をもつ地下深部の岩盤中(天然バリア中)に、安全性を高めるための人工バリアを施した廃棄体を埋設することにより、多重バリアを構成します。



2

リスク要因の抽出と対応の方針

- P.9 リスク要因を抽出し、要因に応じた対策を講じます。さらに、その対策の効果を確認します。
- P.11 段階的に処分地選定を進めます。各段階で、「立地による対応」、「設計による対応」、「安全性の確認」を繰り返します。

3

リスク要因への具体的な対応

1 埋設後、数万年以上の長期間 にわたって考慮すべきリスク要因へ対応

- P.17 **立地による対応**
火山などの影響が著しい場所は避けます。
- P.19 **立地による対応**
断層のずれの影響が著しい場所は避けます。
- P.21 **立地による対応**
隆起・侵食の影響が著しい場所は避けます。
- P.22 **立地による対応**
鉱物資源の採掘などにより、放射性廃棄物と人間とが接近するおそれがある場所は避けます。
- P.23 **立地・設計による対応**
段階的に地下深部の様子を把握し、より好ましい範囲を選ぶとともに、地下施設の配置や人工バリアの仕様などを検討します。
- P.27 **安全性の確認**
リスク要因を抽出し、それによる人間の生活環境に与える影響(リスク)が、立地や設計での対応によって十分小さくなるかどうかを評価します。

2 建設・操業時と輸送時 に考慮すべきリスク要因へ対応

- P.29 **立地・設計による対応**
地下施設の設置場所の選定や地下深部の特性に応じた設計・施工を行います。
- P.30 **立地・設計による対応**
地上施設に対する地震・津波などの影響を考慮した対策を講じます。
- P.31 **立地による対応**
近隣のみなさまや作業員に、廃棄体からの放射線の影響がないようにします。
- P.35 **立地・設計による対応**
基準に適合した輸送容器に入れ、適切な経路を専用船や専用車両などを用いて輸送します。
- P.36 **安全性の確認**
リスク要因に対応した立地や設計によって、安全が確保されることを解析やモニタリングにより確認します。

- P.38 **おわりに**

(注1)地層処分相当低レベル放射性廃棄物:半減期の長い核種が一定量以上含まれる低レベル放射性廃棄物のことです(詳しくはP.5参照)。
(注2)経済産業省の審議会: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 放射性廃棄物WGと地層処分技術WGのことです。
(注3)廃棄体:容器に封入し、または容器に固形化した高レベル放射性廃棄物および地層処分相当低レベル放射性廃棄物のことです。

1 地層処分対象となる放射性廃棄物と地層処分の基本



地層処分の対象となる放射性廃棄物は、非常に長期間、高い放射能を持ち続けるものです。

- 地層処分の対象となる放射性廃棄物は、①非常に長期間、高い放射能を持ち続ける「高レベル放射性廃棄物」と、②低レベル放射性廃棄物のうち半減期（放射能が半分になるまでの時間）の長い核種が一定量以上含まれるために放射能の減衰が遅い「地層処分相当低レベル放射性廃棄物」です。

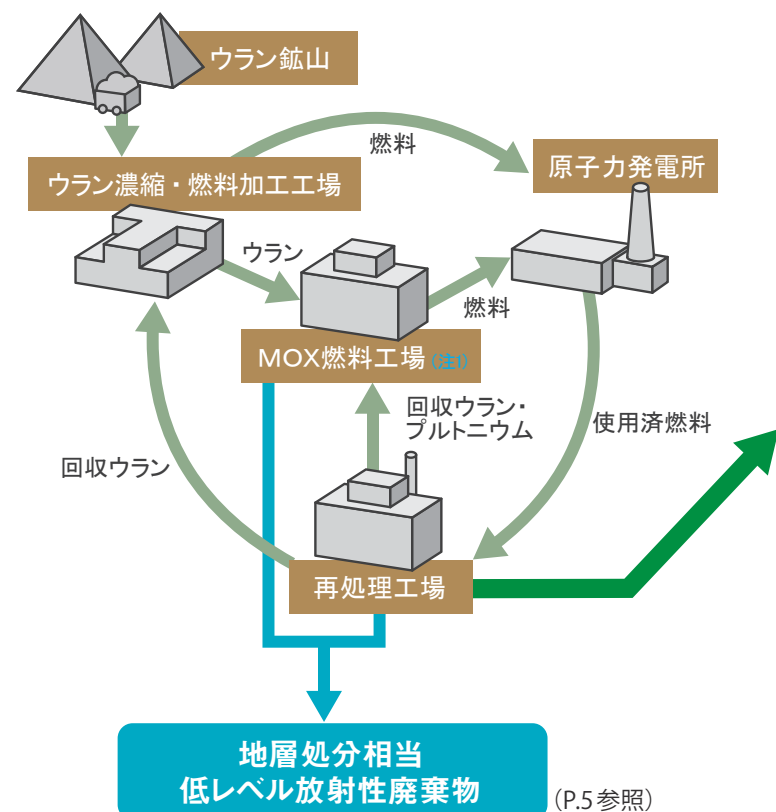
高レベル放射性廃棄物

- 高レベル放射性廃棄物は、使用済燃料の再処理過程で分離される際に残る、放射能の高い廃液をガラス原料に混ぜ合わせ、高温で融かしてステンレス容器に入れて冷やし固めたもの（ガラス固化体）です。

エネルギー資源に乏しい日本では、原子力発電で使用した燃料を再処理してウランやプルトニウムを取り出し、再び燃料として利用する「原子燃料サイクル」を進めています。

使用済燃料の再処理では、放射能の高い廃液が分離され残ります。その廃液を取り扱いやすく安定した形態にするため、ガラス原料に混ぜ合わせ、高温で融かしてステンレス容器（キャニスタ）に入れて固めたものが「高レベル放射性廃棄物（ガラス固化体）」です。

原子燃料サイクルと地層処分対象の放射性廃棄物



高レベル放射性廃棄物

ガラス固化体

高さ：約130cm
直径：約40cm
重さ：約500kg※
体積：約150ℓ

※キャニスタの重さ約100kg(文献1)を含む

ガラス固化体の安全性／危険性

製造直後のガラス固化体は非常に高い放射能を有していますが、爆発性や揮発性のある物質は含まれていないため、爆発してそれが飛び散るようなことはありません。

- ガラス固化体は既に存在し、冷却のために貯蔵管理されています。

製造直後のガラス固化体は放射能が高く発熱をともなうため、処分場に定置するのに適した温度に下がるまでの30～50年程度、冷却のために貯蔵管理します。ガラス固化体は、現在、日本原燃高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター（青森県六ヶ所村）などで貯蔵管理されています。

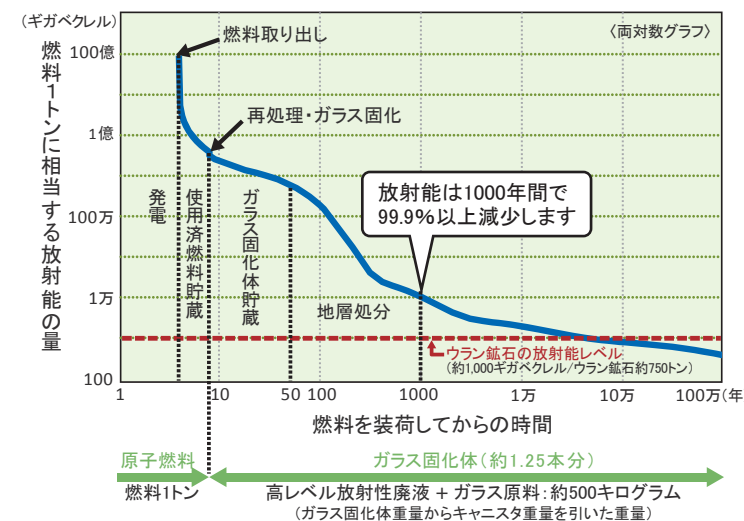
放射能は時間とともに減衰する性質があり、ガラス固化

体の放射能は50年冷却すると製造直後の約5分の1、1000年後には約3千分の1になります。10万年後には約3万分の1になります。(下図参照)

なお、燃料1トンからガラス固化体約1.25本が生成されます。数万年後にはこのガラス固化体の放射能は、天然ウラン鉱石と同程度にまで減衰します。

このようなガラス固化体を、4万本以上埋設できる規模の処分場を計画しています。

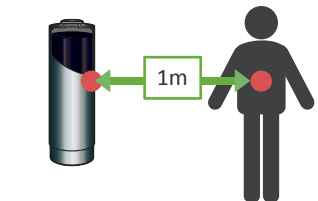
ガラス固化体の放射能の経時変化 (文献2に基づき作成)



▲高レベル放射性廃棄物貯蔵施設の貯蔵ピット (写真提供：日本原燃株式会社)

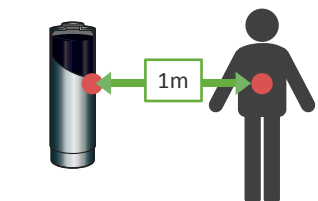
ガラス固化体製造直後

表面線量 1,500,000 (mSv/時)
1m位置 110,000 (mSv/時)



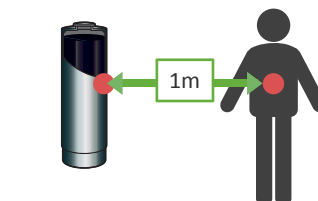
50年後

表面線量 160,000 (mSv/時)
1m位置 11,000 (mSv/時)



1000年後

表面線量 19 (mSv/時)
1m位置 1.4 (mSv/時)



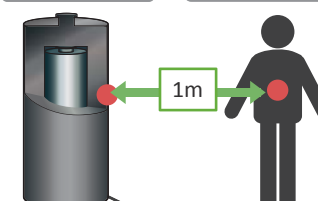
ガラス固化体からの放射線

製造後50年冷却したガラス固化体を、厚さ20cmの鉄製オーバーバック (P.7参照) に封入すると、オーバーバック表面から1m離れた場所での放射線量は1時間あたり0.37mSv(注2)です。

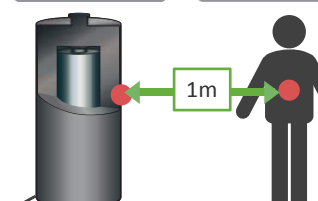
〈参考〉(文献3)
胸のX線集団検査: 0.06mSv
東京・ニューヨーク飛行機往復: 0.08~0.11mSv
CTスキャン1回: 2.4~12.9mSv

オーバーバックに封入した場合

表面線量 2.7 (mSv/時)
1m位置 0.37 (mSv/時)



表面線量 0.15 (mSv/時)
1m位置 0.02 (mSv/時)



(文献2)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

(文献3)日本原子力文化財団:原子力・エネルギー図面集(6-2-1)。

(注1)MOX燃料工場:再処理によって回収されたプルトニウムとウランを混合して作られる酸化物燃料(MOX燃料: Mixed Oxide燃料の略)の成型加工工場のことです。
(注2)Sv(シーベルト):放射線の人間への影響の大きさを表す単位です。
(文献1)原子力学会(2010):地層処分対象放射性廃棄物の品質マネジメント。

地層処分相当低レベル放射性廃棄物

- ▶ 地層処分相当低レベル放射性廃棄物も、長期間にわたり隔離が必要なため地層処分します。

「原子燃料サイクル」の過程では、再処理工場など(注1)の作業中や解体時に、高レベル放射性廃棄物に加えて、それと比較して放射能が低く発熱量が小さいさまざまな放射性廃棄物が発生します。これを「TRU廃棄物(注2)」といいます。

TRU廃棄物の一部は、半減期の長い核種が一定量以上含まれるため、放射能が十分に低くなるまでには長い時間が必要なことから、人間の生活環境から長期間

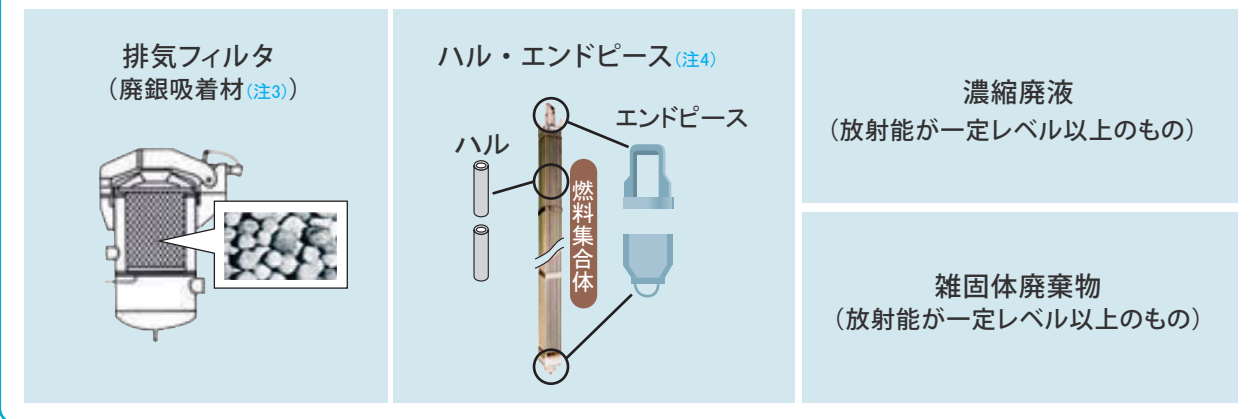
にわたって隔離する必要があります。そうした廃棄物も高レベル放射性廃棄物と同様に、地下深部の岩盤中へ処分することになっています。このような廃棄物を本資料では、「地層処分相当低レベル放射性廃棄物」といいます。

このような廃棄物は、キャニスタやドラム缶などに入れられ、廃棄体として加工されたうえで地層処分施設へ搬入されます。

このような地層処分相当低レベル放射性廃棄物を19,000m³以上埋設できる規模の処分場を計画しています。

▼地層処分相当低レベル放射性廃棄物について

地層処分相当低レベル放射性廃棄物の例



処理(廃棄体化)

固体のものは圧縮、液体のものは濃縮などで減容した後、キャニスタ、ドラム缶、角型容器に収納します。セメント系材料などにより固化充填するものもあります。このように、処分に適した廃棄体に加工されます。

検討されている廃棄体の例(文献1)



(注1) 日本原燃株式会社および日本原子力研究開発機構の再処理工場やMOX燃料工場などがあります。
 (注2) TRU廃棄物: 再処理工場やMOX燃料工場の作業および解体にともなって発生する、ウランより原子番号が大きい放射性核種(TRU核種: TRans-Uranium)を含む廃棄物のことです。
 (注3) 廃銀吸着材: 使用済の銀吸着材のことです。銀吸着材は銀の化学吸着性を利用したフィルタで、再処理工程において使用済燃料のせん断・溶解にともないガスとして発生する放射性のヨウ素を吸着除去するために使用されるものです。
 (注4) ハル・エンドピース: 使用済燃料棒を束のまま数cmの長さに細断し、内側の燃料を硝酸に溶解した後に溶け残った被覆管の断片をハル、使用済燃料集合体をせん断するときに取り除かれる燃料集合体の末端部をエンドピースといいます。
 (注5) 最終処分法: 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」の略称です。
 (文献1) 電気事業連合会・核燃料サイクル開発機構(2005): 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—

安定した地下深部に埋設し、人間の生活環境から隔離し、閉じ込めます。

地層処分の選択

- 高レベル放射性廃棄物と地層処分相当低レベル放射性廃棄物を長期間にわたり人間の生活環境から安全に隔離できる最適な方法として、安定した地下深部に埋設する「地層処分」が選択されました。

世界各国で人間の生活環境から隔離するさまざまな方法が検討されました。その結果、深い地層が持つ物質を閉じ込めるという性質を利用する「地層処分」が最も良い方法であるというのが、国際的に共通した考え方になっています。

- わが国では、こうした廃棄物を300m以深に埋設することが最終処分法(注5)で定められています。

地下深部の特徴

- ▶ 地下深部は、人間の生活環境から隔離されています。(隔離機能)

一般的な地下利用の深さは、地下鉄などせいぜい数十m程度であり、地層処分を行おうとする300m以深の地下深部には人間が容易に近づくことはできません。

地下深部は地表に比べて、地震、台風などの自然現象や、火災、事故などの人間の活動の影響を受けにくい場所です。

- ▶ 地下深部は、以下のような特徴があるため、物質を閉じ込めることができます。(閉じ込め機能)

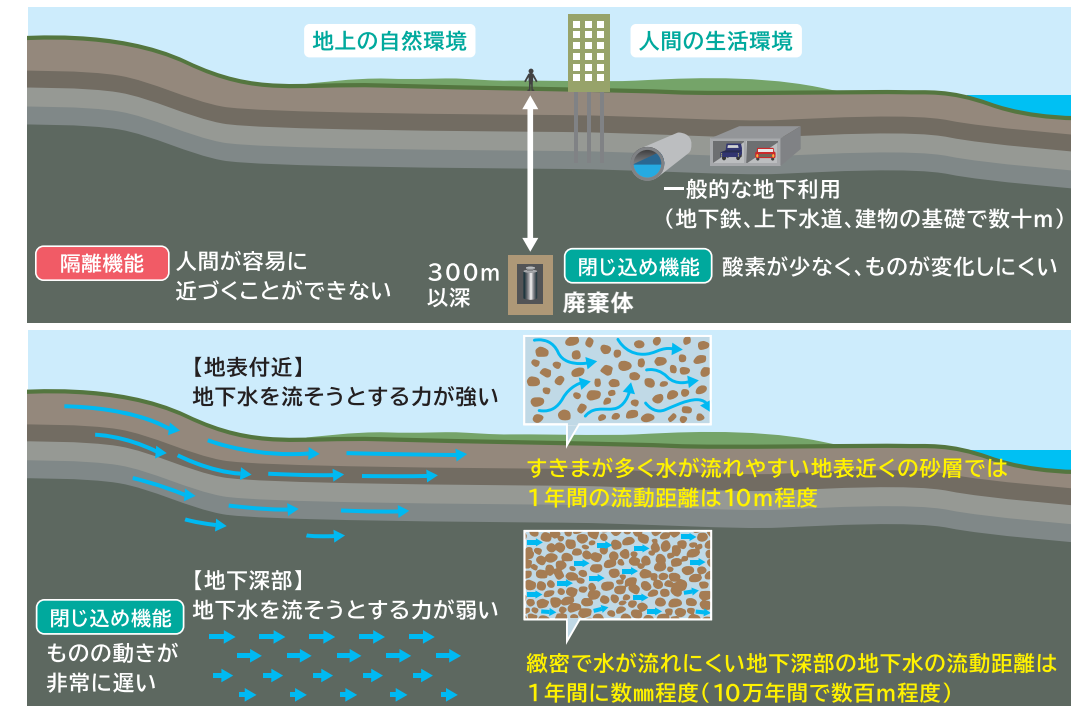
①ものが変化しにくい

地下水は、一般的に降水が地下にしみこんだものです。海の近くでは海水起源の地下水もあります。このような地下水は、地下にしみこみ、長期間地下にとどまっているうちに、岩盤中の鉱物、有機物と相互に反応して酸素を失います。そのため、地下深部の地下水はほとんど酸素を含んでいません。

②ものの動きが非常に遅い

地下では、地下水の流れによってものが動きます。地下深部の地下水の流れは、一般的に地表付近と比べて非常に遅くなります。また、多くの物質は岩盤に吸着されやすいという性質があるため、地下水によって運ばれる物質の動きは地下水の流れよりもさらに遅くなります。

このような地下水は、還元性で金属を腐食させにくく、ものを溶かしにくいという特徴があります。



▲ 地下深部の特徴(隔離機能と閉じ込め機能)

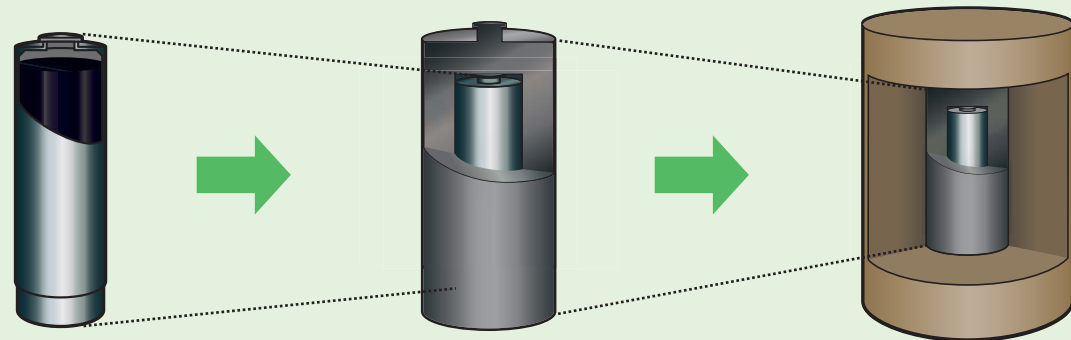
隔離・閉じ込め機能をもつ地下深部の岩盤中(天然バリア中)に、安全性を高めるための人工バリアを施した廃棄体を埋設することにより、多重バリアを構成します。

- 天然バリアと人工バリアを組み合わせた多重バリアを構成して処分することが適切であるという考え方が、国際的に共有されています。
- 地下深部の岩盤は、放射性物質を隔離し閉じ込めるための天然バリアとして機能します。
- 高レベル放射性廃棄物の人工バリアは、安定な形態を持つガラス固化体や、長期間地下水とガラス固化体の接触を防ぐ鉄製容器(オーバーパック)、地下に埋設する際にオーバーパックと岩盤の間に充填される粘土(緩衝材)から構成されます。

地下深部の岩盤

地下深部の岩盤は、ものが変化しにくく、ものの動きが非常に遅いという特徴があり(P.6 参照)、放射性物質の移動を遅らせることが期待できます。また、地上の人間の生活環境から隔離されているため、人間と放射性廃棄物が接近する可能性が小さくなります。

高レベル放射性廃棄物の人工バリア



ガラス固化体

放射性物質をガラスの分子の網目構造に取り込み、さらにステンレス容器に密封しています。ガラス自体が水に非常に溶けにくいので、地下水と接触しても放射性物質が溶けるには、非常に長い時間がかかります。

仕様例

材質：放射性物質とガラス原料(ホウケイ酸ガラス)とを均一化して固化したもの
寸法：高さ約130cm
直径約40cm
重量：約500kg

オーバーパック

現在、鉄(炭素鋼)製容器を考えています。周囲の地下水が酸素をほとんど含まない還元性の環境であるため、腐食の進行が遅く、少なくともガラス固化体の放射能が高く、発熱量が大きい初期の間、地下水とガラス固化体の接触を防ぎ、放射性物質を閉じ込めます。

仕様例

材質：鉄(炭素鋼)
寸法：高さ約170cm
直径約80cm
厚さ約20cm
重量：約6t

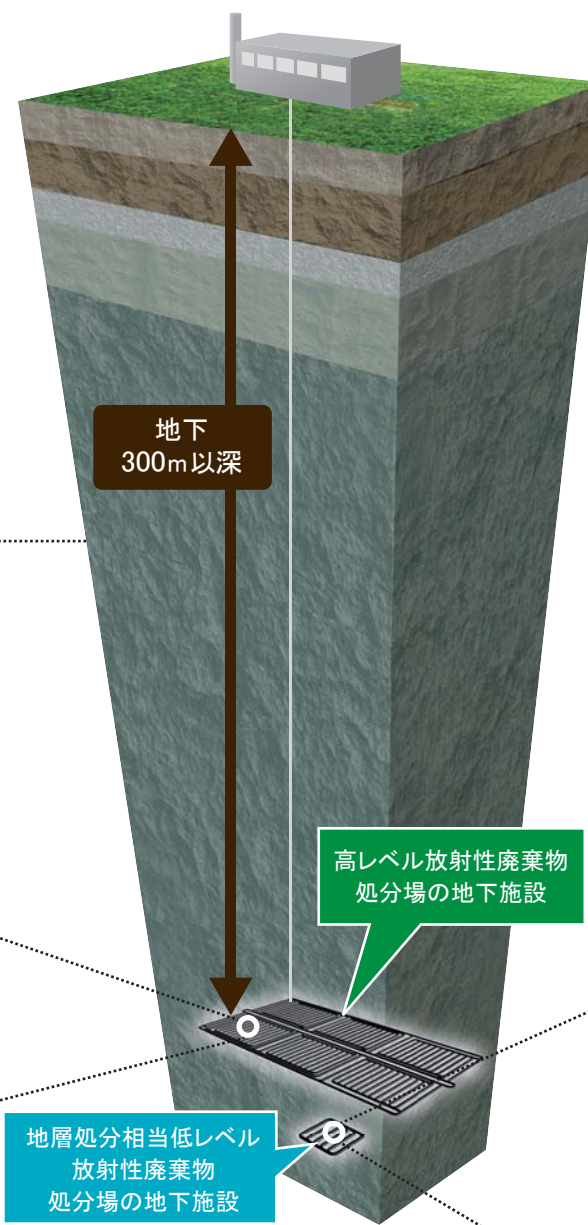
緩衝材

ベントナイトという天然の粘土を用います。ベントナイトは水を吸うと膨らんで粒子の隙間などを埋め、水を通しにくい性質を持ちます。また、ベントナイトは物質を吸着する性質があります。したがって地下水がガラス固化体に接触するのを遅らせ、放射性物質が地下水に溶け出しても、その移動を遅らせることができます。

仕様例

材質：ベントナイト70%、ケイ砂30%
寸法：高さ約310cm
外径約220cm
内径約80cm
厚さ約70cm
重量：約17.5t

天然バリア(岩盤)



- 地層処分相当低レベル放射性廃棄物の人工バリアは、充填材や緩衝材などから構成されます。

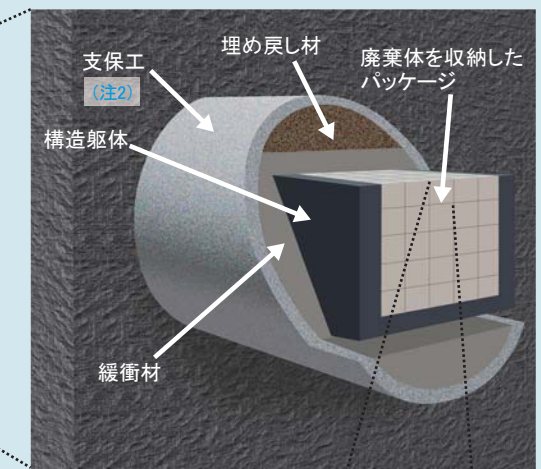
地層処分相当低レベル放射性廃棄物は、高レベル放射性廃棄物と比べて放射能が低く、発熱量が小さいことから、高レベル放射性廃棄物のように1本ずつオーバーパックのような容器には収納しません。地下施設における搬送および定置作業を効率化するため、廃棄体パッケージ容器にまとめて収納します。

地層処分相当低レベル放射性廃棄物の人工バリア

発熱量が小さい地層処分相当低レベル放射性廃棄物は、廃棄物を封入したドラム缶やキャニスタを、金属製などの廃棄体パッケージ容器にまとめて収納します。また、隙間を充填材で埋めることによって、廃棄体パッケージとして一体化します。

なお、角型容器に廃棄物が収納されている場合には廃棄体パッケージ容器に収納することはせず、そのまま埋設することも考えられます。

また、廃棄体パッケージに収納されている放射性物質の性質に応じて、パッケージの外側は緩衝材で囲む場合もあります。これら充填材や緩衝材などが、地層処分相当低レベル放射性廃棄物の人工バリアを構成しています。

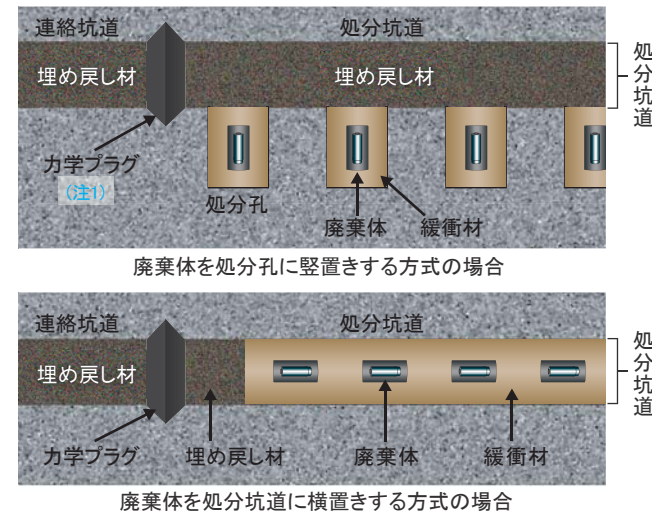


※廃棄体定置のための構造躯体や処分のための坑道を構成する支保工なども示しています。

地層処分相当低レベル放射性廃棄物処分場の地下施設

(高レベル放射性廃棄物と地層処分相当低レベル放射性廃棄物を併置した場合)

高レベル放射性廃棄物の廃棄体・人工バリアを埋設する処分坑道や処分孔の例



(注1) 力学プラグ：埋め戻し材が膨潤した際に、埋め戻していない空間側に埋め戻し材が溢れ出すことを防ぐために設置する壁のことで。

(注2) 支保工：坑道周辺の岩盤の変形を抑制して安定を確保するための手段や構造物のことで。吹付けコンクリート、ロックボルトなどがあります。吹付けコンクリートは、坑道掘削後ただちに、掘削した岩盤にコンクリートを吹付けて面的に密着させて設置する支保工のことで。

2 リスク要因の抽出と対応の方針



リスク要因を抽出し、要因に応じた対策を講じます。
さらに、その対策の効果を確認します。

➤ 将来や現在の近隣のみならず、作業員に対して、影響を与えるかもしれないさまざまな現象など(リスク要因)を網羅的に抽出し、どのように対応するかを検討します。

➤ 処分地選定段階(詳細はP.11参照)においては、『「立地による対応」と「設計による対応」の2つの対応策によって、安全が確保できるかどうかを確認する(「安全性の確認」)』という作業を、何度も繰り返し行います。

● 立地による対応

処分地選定のための調査と評価の結果に基づき、自然現象の著しい影響がある範囲を避け、好ましい範囲を絞り込みます。

● 設計による対応

人工バリアや施設の設計などの対策を講じます。

● 安全性の確認

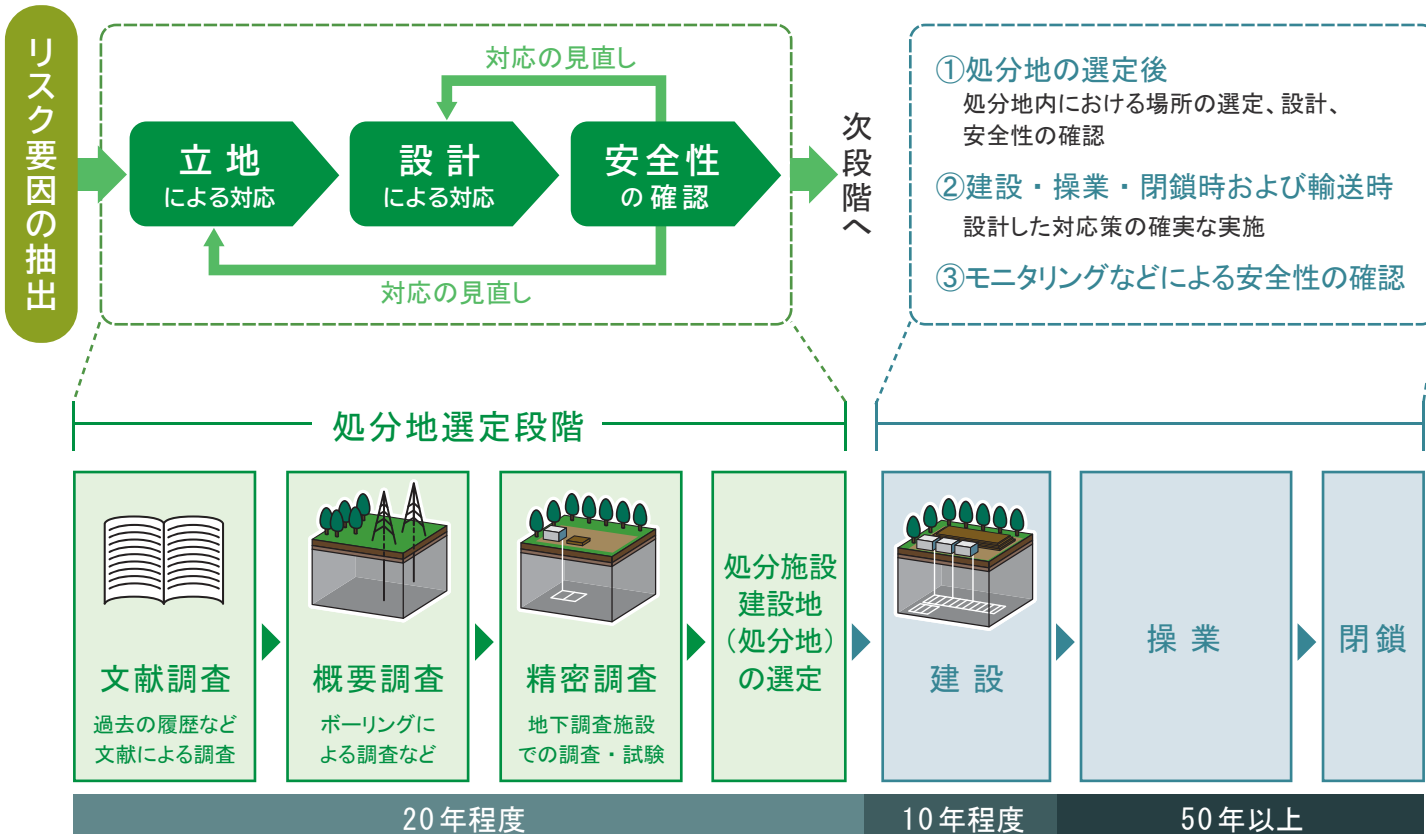
立地による対応や設計による対応の結果、安全が確保できるかどうかを確認します。

安全性が確認できれば次段階に進みます。一方、安全性が確認できなければ「立地による対応」あるいは「設計による対応」を見直します。それでも安全が確保できなければ、その場所は地層処分には不適と判断します。

➤ 処分地の選定後は、処分地内における、より好ましい範囲の選定や、設計、安全性の確認を行います。

➤ 建設・操業・閉鎖時および輸送時には、設計した対応策を確実に実施します。また、モニタリングなどにより安全性を確認します。

▼ リスク要因への対応の全体的な考え方



埋設後、数万年以上の長期間にわたって考慮すべきリスク要因

対応・安全性の確認については ▶ 3-①

人間の生活環境からの隔離機能に関して

リスク要因	参照先	
● マグマの処分場への貫入	マグマが処分場へ貫入すると、地下施設が破壊され、放射性物質が地上に押し上げられて、隔離機能が喪失するおそれがあります。	P.17
● 著しい隆起・侵食速度	隆起・侵食が著しく大きい場所では、地下深部に設置した地下施設が岩盤と一緒に隆起したり、地表面が侵食されたりすることによって徐々に人間の生活環境と放射性廃棄物の距離が接近し、隔離機能が喪失するおそれがあります。	P.21
● 鉱物資源の存在	鉱物資源の探査・採掘などにより、誤って放射性廃棄物と人間とが接近し、隔離機能が喪失するおそれがあります(注1)。	P.22

放射性物質の閉じ込め機能に関して

リスク要因	参照先	
● 高い地温 ● 熱水や酸性の地下水の処分場への流入	火山などの影響により、地温が高い場合や、熱水や酸性の地下水が処分場へ流入する場合には、人工バリアが変質するなどして、閉じ込め機能が喪失するおそれがあります。	P.17
● 断層のずれ	地下施設内に存在する断層がずれると、人工バリアの一部が破壊されるなど、閉じ込め機能が喪失するおそれがあります。	P.19
● 天然バリアや人工バリアの機能低下をもたらす地質環境特性	地下水の流れが緩やかでないなど、好ましい地質環境特性でない場合は、天然バリアや人工バリアが十分な閉じ込め機能を発揮できなくなるおそれがあります。	P.23

建設・操業時に考慮すべきリスク要因

対応・安全性の確認については ▶ 3-②

リスク要因	参照先	
● 好ましくない岩盤の性質など	地下施設に関して、岩盤強度が十分でない場合や大量の湧水が発生する場合は、坑道が崩落したり、作業環境が悪化するなどし、作業員の安全性に悪影響を及ぼすおそれがあります。	P.29
● 地震、津波、火山などの自然現象 ● 近隣工場などの火災などの人的な現象	地上施設に関して、地震、津波、火山などといった自然現象の著しい影響や、近隣工場の火災といった人的な現象により、施設が損傷し、安全性が損なわれるおそれがあります。	P.30
● 廃棄体からの放射線	廃棄体の管理が適切に行われない場合や、停電、火災、水没などの事故によって設備の機能が低下する場合において、近隣のみならず作業員に放射線による悪影響を及ぼすおそれがあります。	P.31

輸送時に考慮すべきリスク要因

対応・安全性の確認については ▶ 3-②

リスク要因	参照先	
● 廃棄体からの放射線	廃棄体が処分場まで輸送される際に、廃棄体の管理が適切に行われないと、近隣のみならず作業員に放射線による悪影響を及ぼすおそれがあります。	P.35
● 自然現象による輸送車両などの損傷	地震、津波、火山の影響などによって輸送設備の安全機能に悪影響を及ぼすおそれがあります。	

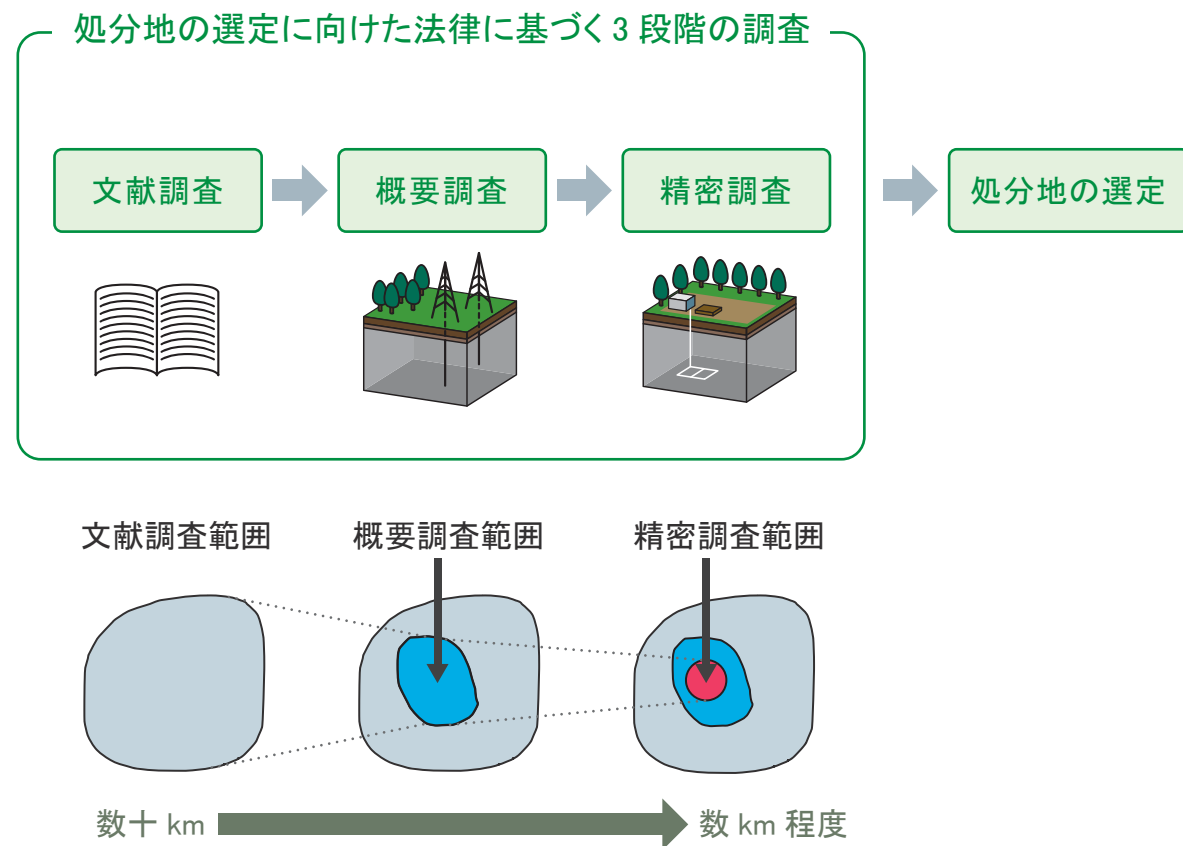
(注1)2017年の原子炉等規制法の改正により、埋設地の掘削などの行為が制限されました。廃棄物埋設施設の敷地及びその周辺の区域並びにこれらの地下について一定の範囲を定めた立体的な区域(指定廃棄物埋設区域)を原子力規制委員会が指定すること、この区域内では原子力規制委員会の許可を受けなければ掘削できないことなどが規定されています(51条の27～34)。

段階的に処分地選定を進めます。 各段階で、「立地による対応」、「設計による対応」、 「安全性の確認」を繰り返します。

段階的な進め方

- 最終処分法に基づき、NUMOが文献調査、概要調査、精密調査の3段階の調査を実施した上で、処分地を選定します。処分地の段階的な調査・選定は国際的に共通した考え方です。
- 調査の段階が進むのにもない、地下の状況などを調査する範囲を絞り、より詳細な調査を行います。
- このようにして段階的に得られる情報を基に、その都度その地域で安全な地層処分が可能かどうかを評価します。
- 調査の各段階で結果を公表し、次の段階の調査の計画をお示しし、知事や市町村長のご意見を伺い、反対される場合には次の段階には進みません。

▼ 段階的な調査と調査スケールの関係



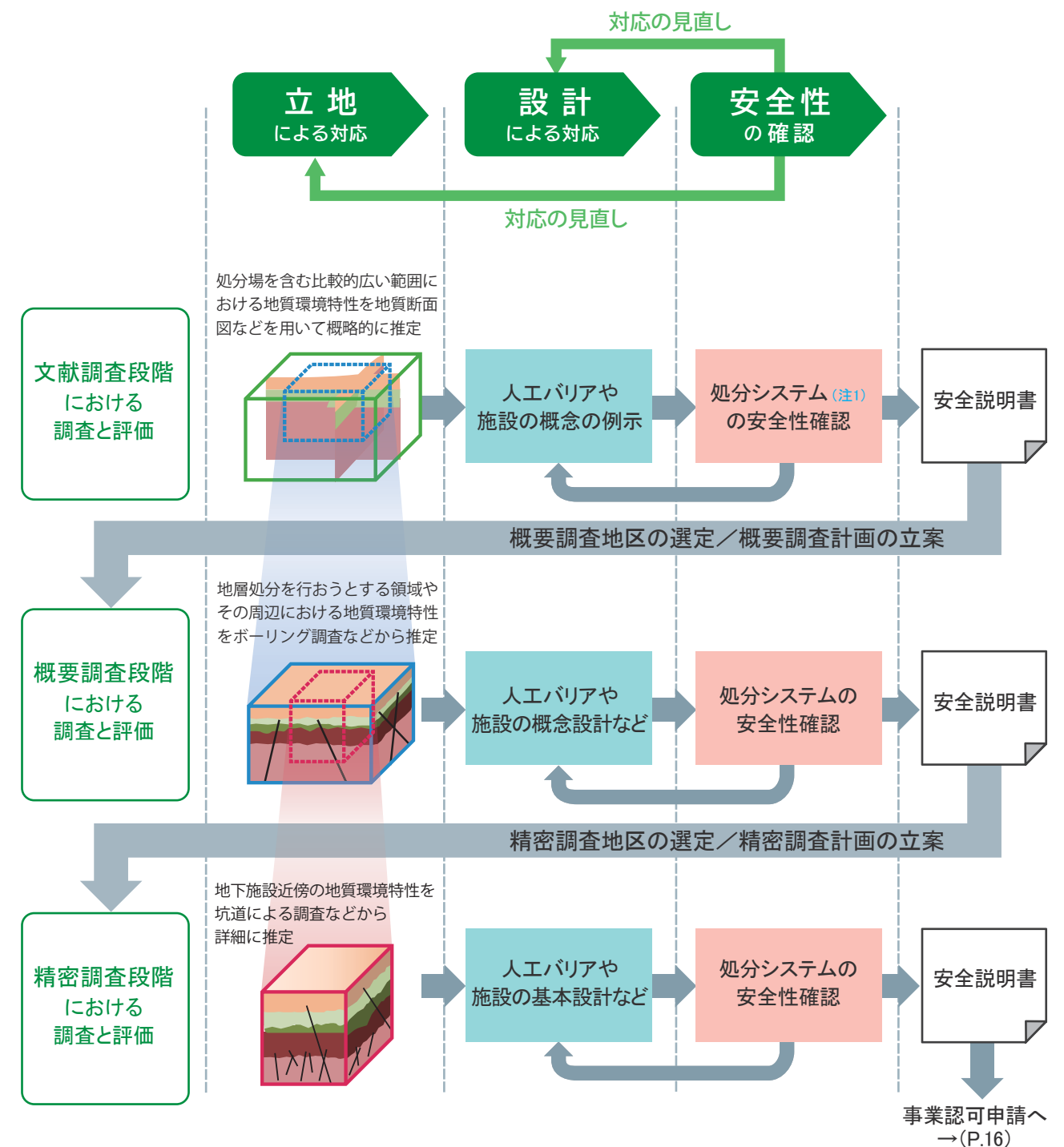
(文献1) 原子力発電環境整備機構(作成中): わが国における安全な地層処分の実現性 ~サイト選定に向けた準備としてのセーフティケースの構築(仮)~。
(注1) 処分システム: 適切な地質環境の下に多重バリアを構築することによって、長期間にわたり人間の生活環境から放射性廃棄物を安全に隔離する仕組みのことです。

各段階における「立地による対応」、「設計による対応」、「安全性の確認」

- 各段階で、「立地による対応」→「設計による対応」→「安全性の確認」を繰り返します。
- 地上施設についての検討も段階的に進めていきます。地下だけでなく、地上についても地震などの自然現象や土地利用状況などの社会的条件を調査・評価し、施設や輸送の安全性について段階的に検討していきます。

安全説明書は最終的に、事業許可申請書としてまとめます。なお、現時点では候補地がないため、「場所を特定しない」安全説明書(文献1)を取りまとめています。

▼ 段階的な処分地選定のための調査・評価



処分地選定のための調査

- 最終処分法により、文献調査段階、概要調査段階、精密調査段階の各段階で実施すべき調査と、次の段階へ進むために満足すべき要件が定められています。

文献調査

火山や活断層などを避けます。

調査対象区域に関する、公開されている地質図などの文献を調査して、火山、活断層、隆起・侵食などの「地層の著しい変動」(注1)を避けます。また、将来の人間侵入の動機となる可能性がある鉱物資源や地下施設建設が困難となる未固結堆積物(注2)も避けます。

概要調査

火山や活断層などを避けるとともに、岩盤中の破碎帯や掘削に支障がある場所などを避けます。

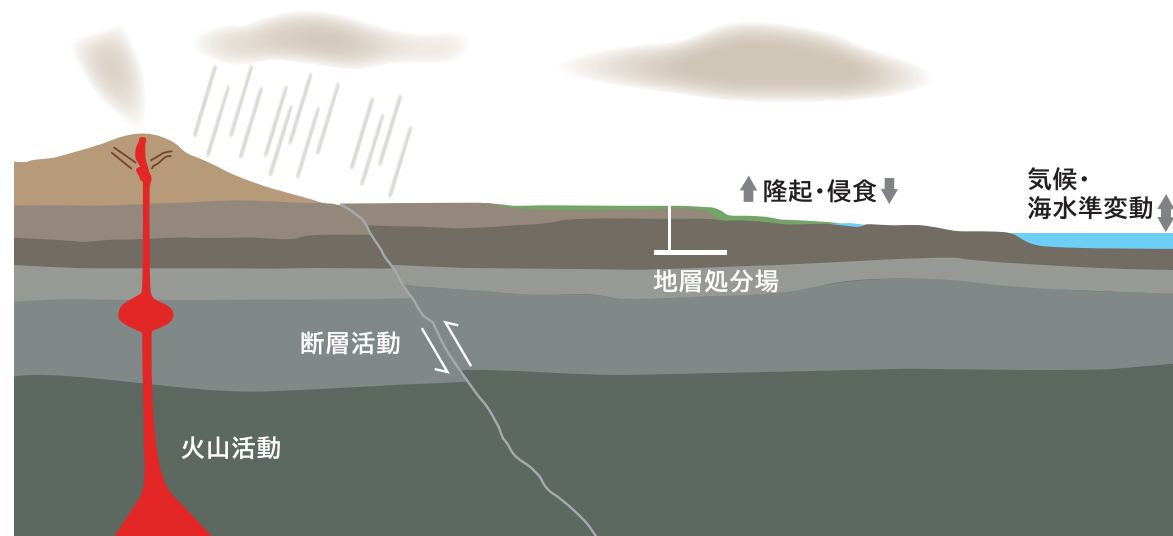
地上からの物理探査やボーリング調査など(P.14参照)により、火山や活断層などに加えて、坑道の掘削に支障がある場所や、岩盤中の破碎帯や地下水の流れが地下施設に著しい悪影響を及ぼすおそれが高い場所を避けます。

精密調査

物理的、化学的性質などが地層処分に適している場所を選択します。

地下に建設する調査坑道を使って物理的性質(岩石の強度など)や化学的性質(アルカリ性、酸性など)などを調べ、地下水の性質や岩盤の特性が地層処分に適している場所を選びます。

▼ 火山や活断層などの調査



- 文献調査段階から概要調査段階にかけては、広い範囲を調べて、火山や活断層などを避けます。
- 現在の状況や、過去から現在までの活動の傾向を調べて将来の様子を推測し、地下深部の長期的な安定性を評価します。

- 概要調査段階以降では、現地調査(物理探査、トレンチ調査、ボーリング孔内での試験、地下に掘削した調査坑道での観察・試験)や、ボーリングや調査坑道から採取した試料を用いた室内試験などにより、地下の状況を詳しく把握します。

物理探査

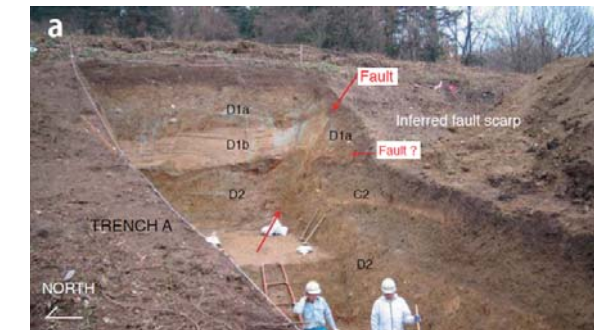
物理探査は、岩盤の電気や地震波の伝わりやすさといった物性の違いを測定して地下の様子を調査します。写真は地下に震動を送る大型バイブレータ震源です。



(写真提供：株式会社地球科学総合研究所)

トレンチ調査 (文献1)

トレンチ調査では、実際に溝を掘り、その壁面にみられる地層を綿密に観察して、断層の活動性などを調べます。



ボーリング調査

ボーリング調査により岩石や地下水の試料を採取し、それを観察したり、室内試験によりさまざまな特性を得たりします。また、ボーリング孔内部から岩盤を押し広げて岩盤の力学特性を調べたり、ボーリング孔内の水圧を変化させることにより、岩盤中の地下水を人為的に流動させて地下水の通しやすさを調べます。



◀ ボーリング調査現場

室内試験

岩石試料に荷重をかけて、変形の度合い、強度などを調べます。



ボーリングにより採取した岩石試料



◀ 調査坑道

地下に設けた調査坑道では、壁面を観察して亀裂などの分布を把握したり、坑道内で岩盤の力学的な試験や地下水に関する試験などを行います。

(写真提供：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)

(文献1) 遠田晋次, 小俣雅志, 郡谷順英(2009): 糸魚川-静岡構造線活断層系松本盆地東縁断層群中央部の古地震調査, 活断層・古地震研究報告, No.9, pp.261-277.

(注1)「地層の著しい変動」:最終処分法における表現です
(注2)未固結堆積物:礫、砂、泥などが固結していない状態にあるものです。

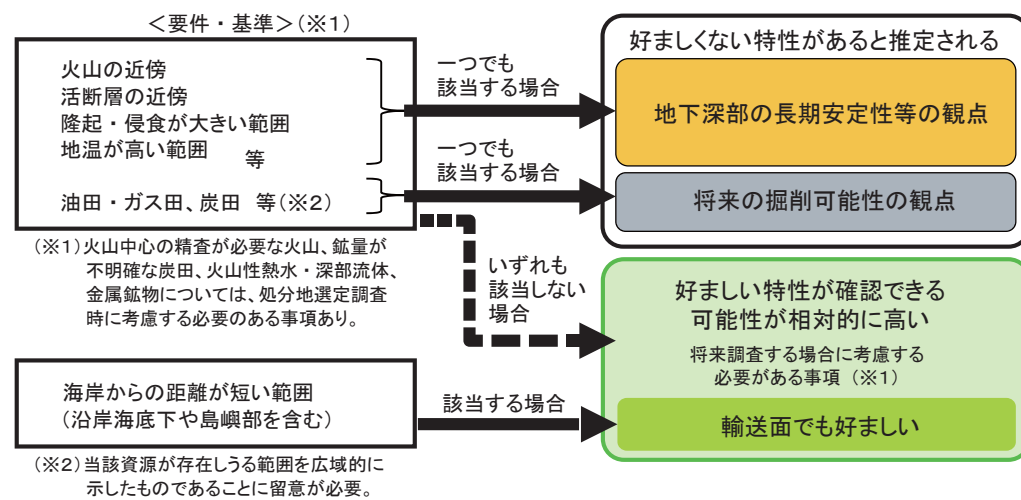
科学的特性マップについて

- 国により提示された科学的特性マップ(※)は、法律に基づく処分地選定調査の前段階において、全国各地の地下深部などの科学的な特性を客観的な情報として提供するものです。
- 科学的特性マップは、地層処分に関する地域が処分地として相応しい科学的特性を有するかどうかを確定的に示すものではありません。処分地を選定するまでには、科学的特性マップには含まれていない要素も含めて、法律に基づき段階的に調査・評価していく必要があります。
- 「好ましい特性が確認できる可能性が相対的に高い」地域は、将来的に段階的な調査の対象になる可能性がある整理されています。(文献1)

※ 公表サイト

経済産業省 資源エネルギー庁
http://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/
 原子力発電環境整備機構 (NUMO)
https://www.numo.or.jp/kagakutekitokusei_map/

科学的特性マップの要件・基準と地域特性区分の関係 (文献1)



科学的特性マップの要件・基準 (文献1)

【好ましくない範囲の要件・基準】

	要件	基準
火山・火成活動	マグマの処分場への貫入と地表への噴出により、物理的隔離機能が喪失されないこと	第四紀火山の中心から15km以内 第四紀の火山活動範囲が15kmを超えるカルデラの範囲
断層活動	断層活動による処分場の破壊、断層のずれに伴う透水性の増加等により閉じ込め機能が喪失されないこと	活断層に、破砕帯として断層長さ(活動セグメント長さ)の1/100程度(断層の両側合計)の幅を持たせた範囲 活断層に、破砕帯として断層長さ(起震断層長さ)の1/100程度(断層の両側合計)の幅を持たせた範囲
隆起・侵食	著しい隆起・侵食に伴う処分場の地表への著しい接近により、物理的隔離機能が喪失されないこと	全国規模で体系的に整備された文献・データにおいて、将来10万年間で隆起と海水準低下による侵食量が300mを超える可能性が高いと考えられる地域(具体的には、海水準低下による最大150mの侵食量が考えられる沿岸部のうち、隆起速度最大区分(90m以上/10万年)のエリア)
地熱活動	処分システムに著しい熱的影響を及ぼす地熱活動により、閉じ込め機能が喪失されないこと	処分深度において緩衝材の温度が100°C未満を確保できない地温勾配の範囲 ※「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」における検討を参照すると、約15°C/100mより大きな地温勾配の範囲
火山性熱水・深部流体	処分システムに著しい化学的影響を及ぼす火山性熱水や深部流体の流入により、閉じ込め機能が喪失されないこと	地下水の特性として、pH4.8未満あるいは炭酸化学種濃度0.5mol/dm ³ (mol/L)以上を示す範囲
未固結堆積物	処分場の地層が未固結堆積物でないこと	深度300m以深まで更新世中期以降(約78万年前以降)の地層が分布する範囲
火砕流等	操業時に火砕物密度流等による影響が発生することにより施設の安全性が損なわれないこと	完新世(約1万年前以降)の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑の分布範囲
鉱物資源	現在認められている経済的価値の高い鉱物資源が存在することにより、意図的でない人間侵入等により地層処分システムが有する物理的隔離機能や閉じ込め機能が喪失されないこと	鉱業法で定められる鉱物のうち、全国規模で整備された文献データにおいて、技術的に探掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲(ただし、当該地域内においては、鉱物の存在が確認されていない範囲もあり、調査をすればそうした範囲が確認できうることに留意する必要がある。)

【好ましい範囲の要件・基準】

	要件	基準
輸送	海岸からの距離が短いこと	沿岸から20km程度を目安とした範囲 ※標高1,500m以上の場所は除く

原子炉等規制法に基づく、事業と規制の流れ

処分地選定後は、原子炉等規制法(注1)に基づき、各段階で原子力規制委員会の審査、検査を受けます。ここでも同様に、処分地内における場所の選定や、設計、安全性の確認を繰り返します。

- ①処分地選定段階における段階的な検討を踏まえ、場所の評価、人工バリアや施設の基本設計および処分システムの安全性の確認にかかわる結果を取りまとめて、事業許可を申請し、審査を受けます。
- ②事業許可後は、建設にあたって詳しい設計や工事の方法の認可など、操業中は安全な操業のための規定の認可や遵守状況の確認、最新の知見を踏まえた定期的な評価などがあります。
- ③地下施設を埋め戻して閉鎖する前に、処分システムの安全性の再確認と埋め戻し計画の審査があります。
- ④最後に事業廃止の認可・確認を受けます。
- ⑤審査や検査の具体的な内容や基準は今後整備されていきます。

事業許可以降の安全規制

処分事業の流れ	安全規制	規制の主な目的
基本設計	事業許可	施設の位置、構造および設備が核燃料物質などによる災害の防止上支障がないものとして原子力規制委員会規則で定める基準に適合することなどを審査(法51条の3等)
	設計及び工事の方法の認可	政令で定める施設の設計および工事の方法が、事業許可内容、原子力規制委員会規則で定める技術上の基準に適合することなどを審査(法51条の7等)
建設	使用前検査	政令で定める施設の工事が認可された設計および工事の方法に従い、性能が原子力規制委員会規則で定める基準に適合することを検査(法51条の8等)
	埋設施設確認	施設およびこれに関する保安のための措置が原子力規制委員会規則で定める技術上の基準に適合することを確認(法51条の6等)
	廃棄物確認	核燃料物質などによって汚染された物およびこれに関する保安のための措置が原子力規制委員会規則で定める基準に適合することを確認(法51条の6等)
操業	保安規定	核燃料物質などによる災害の防止のために必要な保安規定を定め、事業開始前に原子力規制委員会が認可し、その遵守状況を定期的に検査(法51条の18等)
	核物質防護規定	核物質防護規定を定め、特定の核燃料物質の取り扱い開始前に原子力規制委員会が認可し、その遵守状況を定期的に検査(法51条の23等)
坑道埋戻し	定期的な評価	許可後20年を超えない期間ごとに、最新の技術的知見を踏まえて、放射線の被ばく管理に関する評価およびそれを踏まえた必要な措置(法51条の16、規則58条等)
	閉鎖措置計画認可・確認	坑道の埋戻しおよび坑口の閉塞などの措置について、核燃料物質などによる災害の防止上適切なものであることなどを確認して計画を認可。工程ごとに確認(法51条の24の2等)
事業廃止	廃止措置計画認可・確認	解体、汚染除去、汚染された物の廃棄などの措置について、核燃料物質などによる災害の防止上適切なものであることなどを確認して計画を認可。終了の確認(法51条の25等)

法：核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律
 規則：核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第一種廃棄物埋設の事業に関する規則

(文献1) 経済産業省資源エネルギー庁(2017)：「科学的特性マップ」の説明資料

(注1) 原子炉等規制法：「核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律」の略称です。

3 リスク要因への具体的な対応

1 埋設後、数万年以上の長期間にわたって考慮すべきリスク要因へ対応



立地による対応

火山などの影響が著しい場所は避けます。

考慮すべきリスク要因

◆ マグマの処分場への貫入による隔離機能の喪失

地下のマグマ溜りから火道を通じてマグマが上昇し、地表の火山が形成されます。マグマが上昇するときに、枝分かれして複数の火道が生じます。このようなマグマの活動による処分場へのマグマの貫入などが発生すると、処分場が破壊されるといった重大な影響を及ぼし、隔離機能が喪失するおそれがあります。

◆ 高い地温や、熱水や酸性地下水などの影響による閉じ込め機能の喪失

マグマの活動による著しく高い地温や熱水対流(注1)が存在することや、強酸性地下水や熱水が処分場やその周辺へ流入することにより、人工バリアや天然バリアの閉じ込め機能が喪失するおそれがあります。

◆ 深部流体の流入などにもなる熱水や酸性地下水などの影響による閉じ込め機能の喪失

火山とは直接関係ないものの、地下水が熱せられ熱水となった非火山性熱水や、地殻(注2)よりも深い位置を起源とする流体が断層や亀裂などを通じて地表付近に上昇し、pHが低く、炭酸化学種(注3)濃度が高い深部流体があります。これらが処分場やその周辺に流入すると、人工バリアや天然バリアの閉じ込め機能が喪失するおそれがあります。

高温の影響について

高温の影響を受けやすいのは緩衝材です。地温と廃棄体の発熱量によって緩衝材の温度が100℃を超えないように、廃棄体同士の間隔を離すといった対策をとります。

化学的な影響について

火山などの現象により、pHが低い酸性の地下水が処分場に流入すると、ものが溶けやすくなったり、ものの移動を抑制する緩衝材や岩盤の機能が低下したりするなど、多重バリアに著しい影響を与えるため、このような場所は適性が低いと考えられます。

火山活動の偏在性

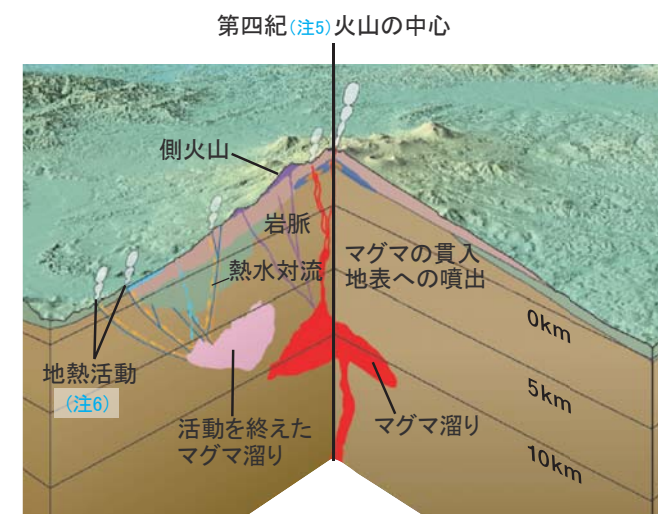
日本の火山活動は特定の地域に偏って分布し、その傾向が過去数百万年程度大きく変わっていません。火山活動の要因と考えられるプレートシステムの継続性(過去数百万年、現在のプレートシステムが継続しており、その転換には百万年以上の期間を要します)から、将来も同様の地域での活動が考えられます。

(注1)熱水対流: 地下に存在する熱源から放出される熱によって、地下水の対流が引き起こされる現象のことです。
 (注2)地殻: 地球の表面近くにある固体状の部分。厚さは一律ではなく、大陸地域で厚く(数十km程度)、海洋地域で薄く(5~10km程度)なっています。地球は、この地殻と中心部の核、その間のマントルから構成されています。
 (注3)炭酸化学種: 炭酸(H₂CO₃またはCO₂水溶液)、炭酸水素イオン(HCO₃⁻)および炭酸イオン(CO₃²⁻)のことです。
 (注4)複成火山: 休止期間をはさんで噴火活動を何度も繰り返した火山のことです。
 (注5)第四紀: 一般に約260万年前以降をいいます。
 (注6)地熱活動: 地下に存在する熱源から放出される熱によって、地温が高くなることです。
 (注7)側火山: 火山の頂上の火口から離れた山腹に火口ができ、ここにできる小型の火山のことです。
 (注8)地温勾配: 深度の増分に対する地温の増分の比のことです。
 (文献1) 草野友宏, 浅森浩一, 黒澤英樹, 谷川晋一, ニノ宮淳, 根本健之, 花室孝広, 安江健一, 山田国見, 石丸恒存, 梅田浩司(2010): 地質環境の長期安定性に関する研究 年度報告書(平成20年度), JAEA-Research 2009-072.
 (文献2) 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—分冊2 地層処分の工学技術, JNC TN1400 99-022.
 (利用可能な文献・データ1) 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2013): 日本の火山(第3版).
 (利用可能な文献・データ2) 第四紀火山カタログ委員会(1999): 日本の第四紀火山カタログ.
 (利用可能な文献・データ3) 産業技術総合研究所地質調査総合センター(2009): 全国地熱ポテンシャルマップ.

リスク要因への対応

- ▶ 地表踏査や、地下調査を行います。影響が著しい場所や将来の影響範囲を避けます。

▼ 火山の中心と側火山等の関係の例(複成火山(注4)の場合)と主な調査項目



地表踏査

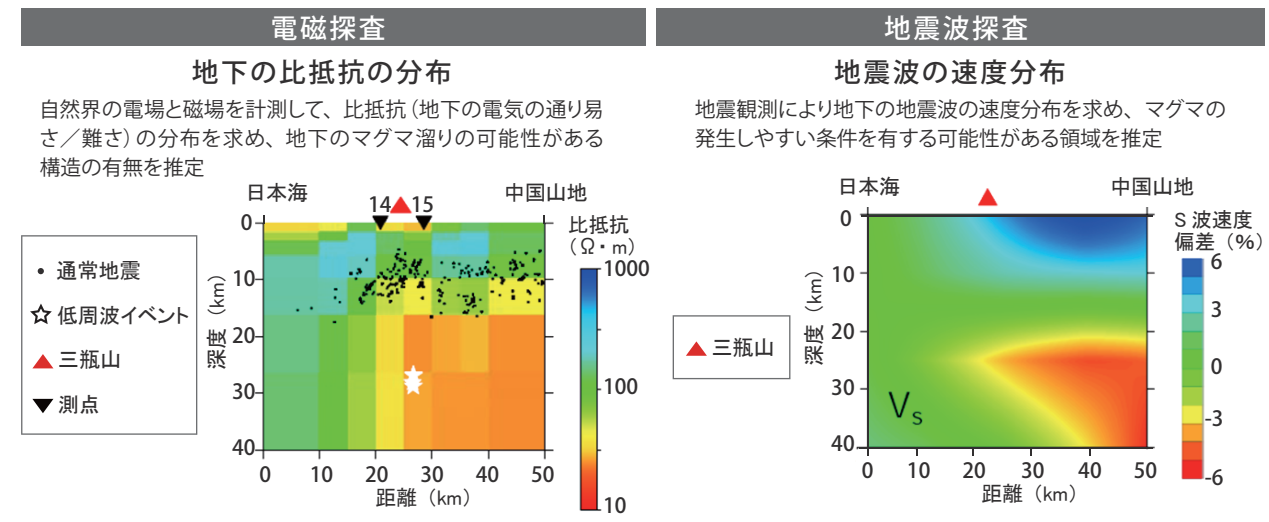
- ・火山噴出物の分布や年代などを調べ、過去の火山活動の規模や時期などを把握します。
- ・火山周りの側火山(注7)、岩脈などの分布範囲から過去・現在のマグマ活動の範囲が概略的に把握できます。

地下調査

- ・電磁探査(下左図)や地震波探査(下右図)により、岩盤など硬さや電気抵抗の違いを利用して、マグマの分布などを調べます。
- ・ボーリング調査により地下の温度を測ったり、採取した火山岩の年代測定などを行います。
- ・地下水に含まれるガスの成分により、マグマの存在の可能性を調べます。

▼ 地下の比抵抗と地震波速度の分布(中国地方の例)(文献1を編集)

左図の低比抵抗領域および右図の低速度域においてマグマの存在が示唆されている。



- ▶ 深部流体についても、地下水の化学成分の調査や、物理探査、ボーリング調査などの地下の状況の調査を通じて、その分布を把握し、著しい影響が考えられる範囲を避けるようにします。



科学的特性マップにおける「好ましくない範囲」の基準 (P.15 参照)

- マグマの貫入や地表への噴出 (利用可能な文献・データ1、2)
 - ・第四紀火山の中心から15km以内
 - ・第四紀の火山活動範囲が15kmを超えるカルデラの範囲

● 高温の影響 (利用可能な文献・データ3)

処分深度において緩衝材の温度が100℃未満を確保できない地温勾配(注8)の範囲(「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(文献2)」における検討を参照すると、約15℃/100mより大きな地温勾配の範囲)

● 化学的な影響 (利用可能な文献・データ3)

地下水の特性として、pH4.8未満あるいは炭酸化学種濃度0.5mol/dm³ (mol/L) 以上を示す範囲

立地による対応

断層のずれの影響が著しい場所は避けます。

考慮すべきリスク要因

◆断層のずれによる閉じ込め機能の喪失

地震にかかわる事象として、以下が考えられます。

- ① 地層の変位・変形を起こす断層活動(断層のずれ)
- ② 地震による「ゆれ」
- ③ 地震にともなう岩盤の亀裂の発生、地下水の動きや化学的性質の変化などの地質環境の変化

このうち①については、人工バリアを構成するオーバーパックなどの破壊、断層とその周辺における地下水の通しやすさの増加などにより閉じ込め機能の喪失につながるおそれがあります。

具体的には、次のような場所は断層活動により閉じ込め機能を喪失するおそれがあります。

繰り返し活動し変位の規模が大きい活断層

- ・数万年以上の将来の影響を考慮し、地質学的に最近の時代に繰り返し活動し、今後も活動すると考えられるいわゆる活断層

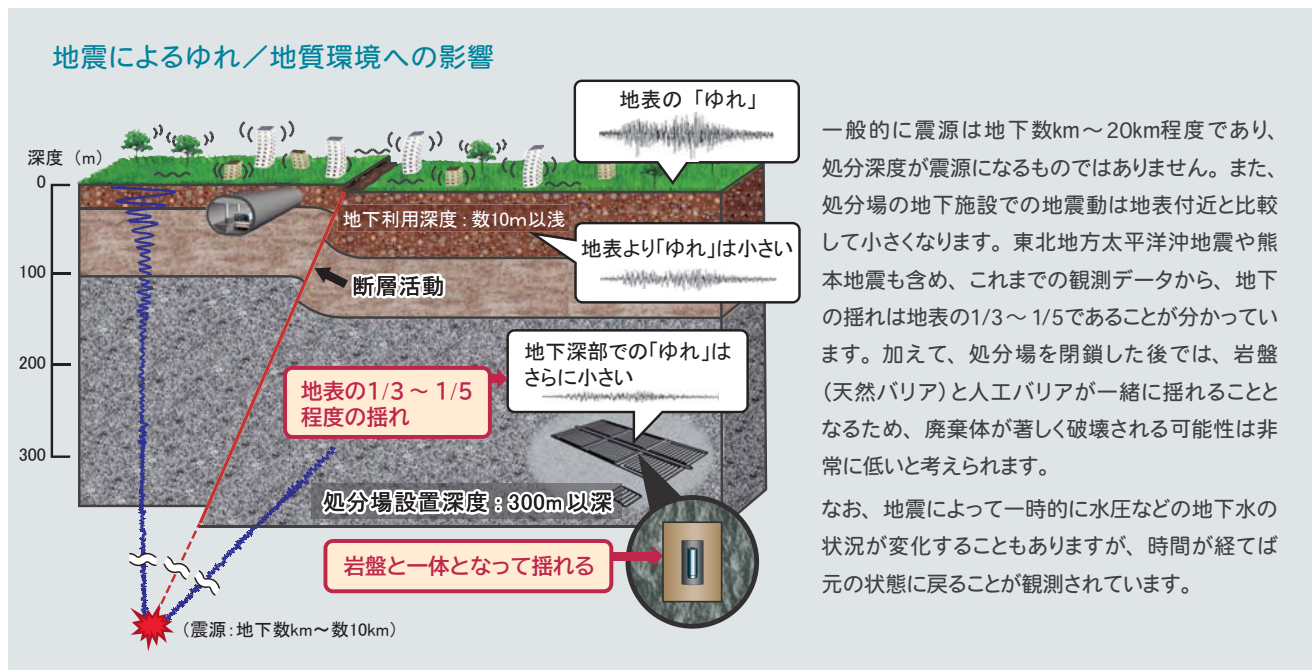
ずれている断層の周辺

- ・断層近傍の破碎帯やその外側の変形帯(注1)のうち、影響が大きいと考えられる場所
- ・断層としてずれてはいないが、活褶曲(注2)、活撓曲(注3)として変形が大きいと考えられる場所
- ・将来断層が伸展したり、分岐したりするような場所

地下水が通りやすく地表へ連続している大規模な断層

- ・地下水の水流が地下施設に悪影響を及ぼすことが考えられる断層(断層面周りの破碎帯などが発達して地下水を通しやすく、地下水の流れが地表へと短絡するような断層)

②③については、地質環境の特性などに著しい影響を及ぼすものではないと考えられます。



リスク要因への対応

- ①については、次のような調査・評価を実施し、断層活動(断層のずれ)の影響が著しい場所を避けます。

以下を目的として、地表では地表踏査やトレンチ調査を行い、地下に対しては物理探査やボーリング調査を行います。

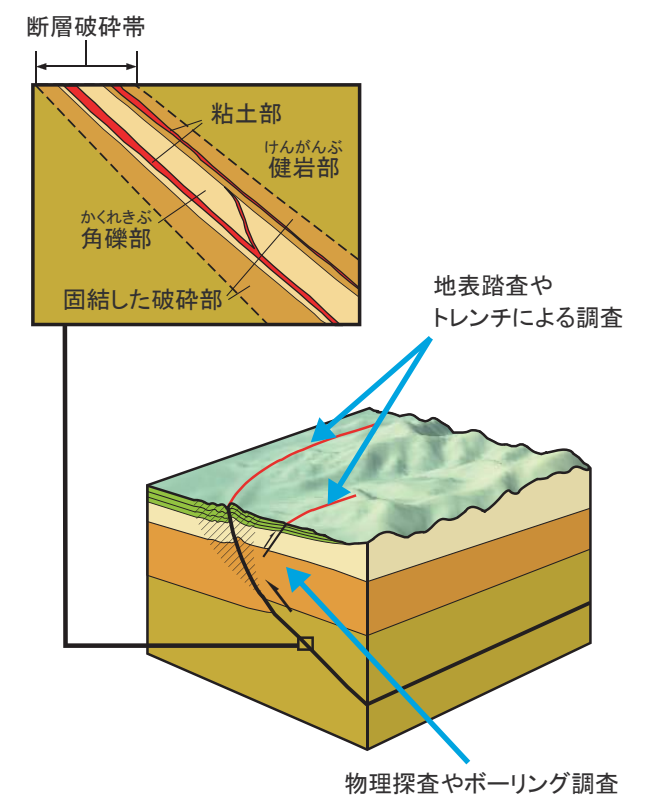
調査の目的

- ・断層の位置の把握
- ・破碎帯などの性状を観察により把握
- ・断層によりずれた、あるいはずれていない地層の年代、断層面の物質の性状などから、断層の過去の活動時期を推定

過去の活動の傾向を把握し、将来、断層が伸展したり、分岐するような場所を推定します。

ボーリング孔を用いた現地調査や、採取した岩石試料を用いた室内試験などにより、断層面やその周りの破碎帯などの地下水の通しやすさなどを把握します。

- ②③については、地質環境の特性としてとらえ、設計による対応を検討します(P.23参照)。



断層活動の偏在性

日本の断層活動は特定の地域に偏って分布し、その傾向が過去数十万年程度大きく変わっていません。断層活動の要因と考えられるプレート運動や地殻変動が過去数十万年から百万年の時間規模で継続していることなどから、将来も同じ断層とその周辺が繰り返し活動することが考えられます。



科学的特性マップにおける「好ましくない範囲」の基準 (P.15 参照)

- 活断層に、破碎帯として断層長さ(活動セグメント(注4)長さ)の1/100程度(断層の両側合計)の幅を持たせた範囲(利用可能な文献・データ1)
- 活断層に、破碎帯として断層長さ(起震断層(注5)長さ)の1/100程度(断層の両側合計)の幅を持たせた範囲(利用可能な文献・データ1)

(注1) 変形帯: 断層活動にともなう地層の変形が生じている領域で、活断層の破碎帯周辺に認められるものです。

(注2) 活褶曲(かつしゅうきょく): 層状の地層に水平方向の圧力が作用することなどにより、波状に変形する運動で、現在あるいは最近まで活動し、将来も活動する可能性のあるものです。

(注3) 活撓曲(かつとうきょく): 地層が厚く堆積しているような地域で、深部の基盤が断層運動などにより上下に変位することにより、地表付近では断層が生じず、地層が連続したまま屈曲しているもので、現在あるいは最近まで活動し、将来も活動する可能性のあるものです。

(注4) 活動セグメント: 活断層を、過去の活動時期、平均変位速度、平均活動間隔、変位の向きなどに基づいて区分した断層区間のことです。固有地震を繰り返す活断層の最小単位です。

(注5) 起震断層: 活断層は、条件により単独で活動したりいくつかの断層が同時に活動したりすることが知られています。松田(1990)*は断層線の位置関係により、まとまってひとつの地震を発生させる可能性が高い断層のグループを定義し、これを起震断層と呼んでいます。

*松田時彦(1990): 最大地震規模による日本列島の地震分帯図, 地震研究所彙報, 65, pp.289-319.

(利用可能な文献・データ1) 産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト(2017年7月1日時点のデータ): 活断層データベース。

立地 による対応

隆起・侵食の影響が著しい場所は避けます。

考慮すべきリスク要因

◆ 著しい隆起・侵食にともなう隔離機能の喪失

隆起・侵食が著しい場所では、地下深くに設置した地下施設が岩盤と一緒に隆起したり、地表面が侵食されることによって徐々に人間の生活環境と放射性廃棄物との距離が接近し、隔離機能が喪失するおそれがあります。

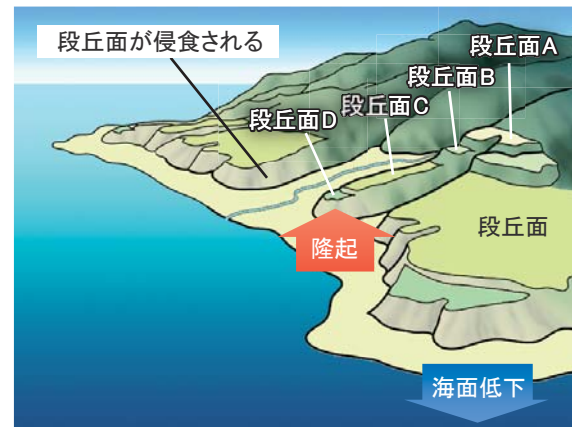
- ・将来10万年間で隆起量が300mを超えるような内陸の隆起性山地、隆起と海面低下にともなう侵食量が将来10万年間で300mを超えると考えられる隆起の顕著な沿岸部は、著しい侵食の可能性があります。
- ・侵食にはいろいろな形態がありますが、河川による侵食が最も大きいものです。この侵食は隆起や、河川が注ぎ込む海面などの低下などによって激しくなります。
- ・長い年月をかけて著しい隆起が生じるような地域では、隆起量とほぼ同じ量の侵食が生じる可能性があります。
- ・海面の高さは、約十万年周期で緩やかに上昇・下降を繰り返しており、世界的には現在よりも最大150mほど低かったことが知られています。海岸付近を中心に、この海面の低下に応じた侵食が生じる可能性があります。

リスク要因への対応

▶ 次のような調査・評価を実施し、影響が著しい場所を避けます。

海面下で堆積した地層が、沿岸の隆起にともない陸化し平らな地形面(段丘)を形成します。過去数十万年の間に右図の段丘面A～Dのような地形面が形成されている場合があります。段丘の地層中に堆積した過去の火山灰などにより段丘の形成時期を調べ、段丘の標高と合わせて、過去の隆起の速さを推定します。

海岸付近では海面の高さの変動にともない侵食と堆積が繰り返されています。侵食については、例えば、最近もっとも海面が低下した時の侵食の深さを、その時期から堆積した沖積層の基底の深度から推定することが考えられます。



▲ 海岸付近における隆起・侵食の概念図

隆起・侵食の傾向の継続性

日本では、同じような地殻変動が少なくとも過去数十万年から百万年の期間において継続していること、海面の高さの変動は約十万年の周期で繰り返していることから、将来も同じような傾向が続く可能性が高いと考えられます。



科学的特性マップにおける「好ましくない範囲」の基準 (P.15 参照)

- 全国規模で体系的に整備された文献・データにおいて、将来10万年間で隆起と海水準低下による侵食量が300mを超える可能性が高いと考えられる地域(具体的には、海水準低下による最大150mの侵食量が考えられる沿岸部のうち、隆起速度最大区分(90 m以上/10万年)のエリア) (利用可能な文献・データ1)

立地 による対応

鉱物資源の採掘などにより、放射性廃棄物と人間とが接近するおそれがある場所は避けます。

考慮すべきリスク要因

◆ 鉱物資源の探査・採掘などにともなう放射性廃棄物と人間との接近による隔離機能の喪失

地下に鉱物資源が存在する場合、将来の世代が探査や採掘を行い、その結果、誤って放射性廃棄物と人間とが接近するおそれがあります。

リスク要因への対応

▶ 次のような調査・評価を実施し、経済的に価値の高い鉱物資源が存在する場所を避けます。

文献調査では、「地層処分を行おうとする地層において、その採掘が経済的に価値が高い鉱物資源の存在に関する記録がないこと」を確認して概要調査地区を選定することが、最終処分法により定められています。

「採掘が経済的に価値が高い」ことについては、将来、

鉱物資源の経済価値と掘採のコストとの比較により判断されると考えられますが、現時点でこのような将来の価値を判断することは難しいことです。

したがって、まず文献調査では、鉱業法第3条第1項の鉱物を検討対象とします。さらに、採掘権の設定の有無、品位、可採量などを調べて判断します。

鉱業法第3条第1項の鉱物

金鉱、銀鉱、銅鉱、鉛鉱、そう鉛鉱、すず鉱、アンチモニー鉱、水銀鉱、亜鉛鉱、鉄鉱、硫化鉄鉱、クローム鉄鉱、マンガン鉱、タングステン鉱、モリブデン鉱、ひび、ニッケル鉱、コバルト鉱、ウラン鉱、トリウム鉱、リン鉱、黒鉛、石炭、亜炭、石油、アスファルト、可燃性天然ガス、硫黄、石こう、重晶石、明ばん石、ほたる石、石綿、石灰石、ドロマイト、けい石、長石、ろう石、滑石、耐火粘土(ゼーゲルコーン番号31以上の耐火度を有するものに限る。)及び砂鉱(砂金、砂鉄、砂すずその他ちゆう積鉱床をなす金属鉱をいう。)



科学的特性マップにおける「好ましくない範囲」の基準 (P.15 参照)

- 鉱業法で定められる鉱物のうち、全国規模で整備された文献データにおいて、技術的に採掘が可能な鉱量の大きな鉱物資源の存在が示されている範囲(ただし、当該地域内においては、鉱物の存在が確認されていない範囲もあり、調査をすればそうした範囲が確認できうることに留意する必要がある。)

(利用可能な文献・データ2～4)

(利用可能な文献・データ1) 日本地質学会地質環境の長期安定性研究委員会編(2011):日本列島と地質環境の長期安定性 付図5 最近約10万年間の隆起速度の分布。

(利用可能な文献・データ2) 地質調査所(1976):日本油田・ガス田分布図(第2版)。

(利用可能な文献・データ3) 地質調査所(1973):日本炭田図(第2版)。

(利用可能な文献・データ4) 内藤一樹(2017):国内の鉱床・鉱微地に関する位置データ集(第2版),地質調査総合センター速報, No.73。

立地・設計 による対応

段階的に地下深部の様子を把握し、より好ましい範囲
を選ぶとともに、地下施設の配置や人工バリアの仕様
などを検討します。

考慮すべきリスク要因

- ◆ 好ましい地質環境特性でない場合による、天然バリアや人工バリアの閉じ込め機能の低下

リスク要因への対応

- ① 地下深部の地質や、地下水の流れにくさ、水質、岩盤の変形しにくさ、地温などを調査し、閉じ込め機能の観点から好ましい範囲を選びます。

- 天然バリアや人工バリアが閉じ込め機能を発揮できる環境であるかどうかを調査し、好ましい範囲を選びます。

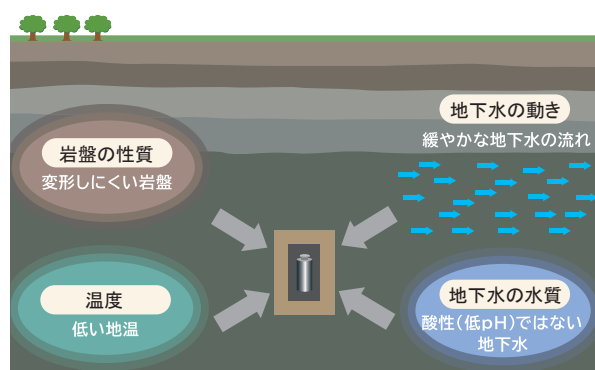
天然バリアや人工バリアが閉じ込め機能を十分に発揮できる環境であるためには、地下水の流れが緩やかであることや、ものを溶かしにくい水質であること、地温が高くないこと、岩盤が熱を伝えやすいことなどが望まれます。

天然バリアや人工バリアが閉じ込め機能を発揮できる環境であるかどうかを確認するために、以下の地質環境の特性にかかわる情報を調査によって取得します。

- 地層や岩体、断層、破碎帯などの分布や形状など
- 地下水の流れ方や、岩盤の地下水の通しにくさ
- 地下水の水質などの化学的な性質
- 岩盤中の地温や岩盤の熱の伝えやすさ
- 岩盤中の圧力(地圧)や岩盤の変形しにくさなど

- 好ましい地質環境の特性が、数万年以上の長期間にわたって安定するとの見通しが得られることも確認します。

現在の状況や、数十万年前、数百万年前といった過去の状況を調べて、将来的な安定性を推定します。非常に古い地下水の存在なども有用な情報となります。



▲ 好ましい地下深部の地質環境

- ② 調査した地下深部の特性を踏まえ、断層や亀裂から離すなどの対策を講じて地下施設の配置を考えます。

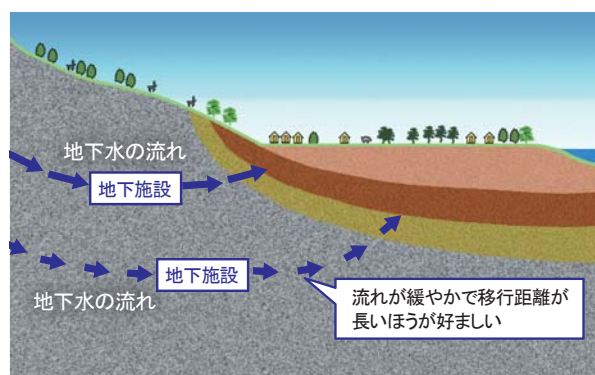
- 地質構造、地質の分布を把握して、まとまった岩盤の塊(岩体)に配置することを考えます。必要な規模の岩体を得られない場合は、施設を多層にすることによる対応可能性などを考えます。

地下施設は高さが10m程度、平面的広がりが数km四方程度です。地下水を通しにくく、岩盤が変形しにくいなどの特性があり、地下施設全体を収容できるような、まとまった岩体を探します。

- 地下水の流れを把握し、流れが緩やかで移行距離が長くなるような場所を選びます。

一般に深度が大きい場所ほど地下水を通しにくくなります。また、地表までの移行経路が長くなります。

したがって、地下水の流れの観点では深度が大きい場所が有利となります。



▲ 地下水の流れを考慮した地下施設配置のイメージ

- 処分地の一部に著しく地下水を通しやすい断層破碎帯などがある場合は、以下を考慮します。

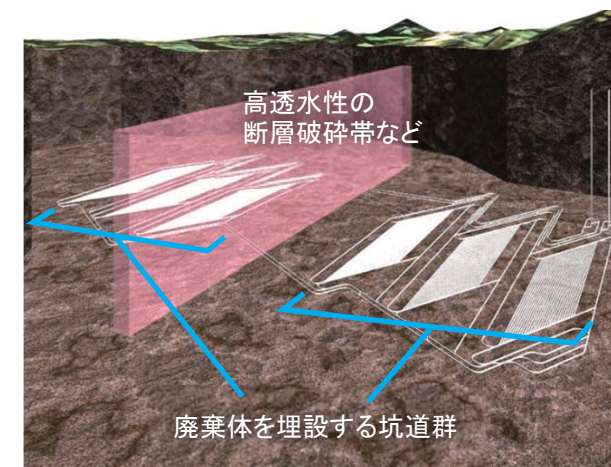
活断層や、活断層でなくとも著しく地下水を通しやすい断層のうち、規模が大きく影響が著しいものがある場合は、処分地として選定しません。

一方、規模が小さく影響が小さいと考えられるものは、処分地の中の地下施設の配置により避けることを考えます。

- 概要調査などで断層破碎帯の位置を把握し、それから離して施設を配置します。

処分地の一部に分布する断層破碎帯などの位置を概要調査などで把握します。地下施設は廃棄体を埋設するいくつかの坑道群により構成されますが、著しく地下水を通しやすい断層破碎帯から離して、坑道群を分けて配置することを考えます。

- 断層破碎帯からの離隔距離は、破碎帯や周辺岩盤の地下水を通しやすさ、地下水の流動の状況などを考慮して設定します。

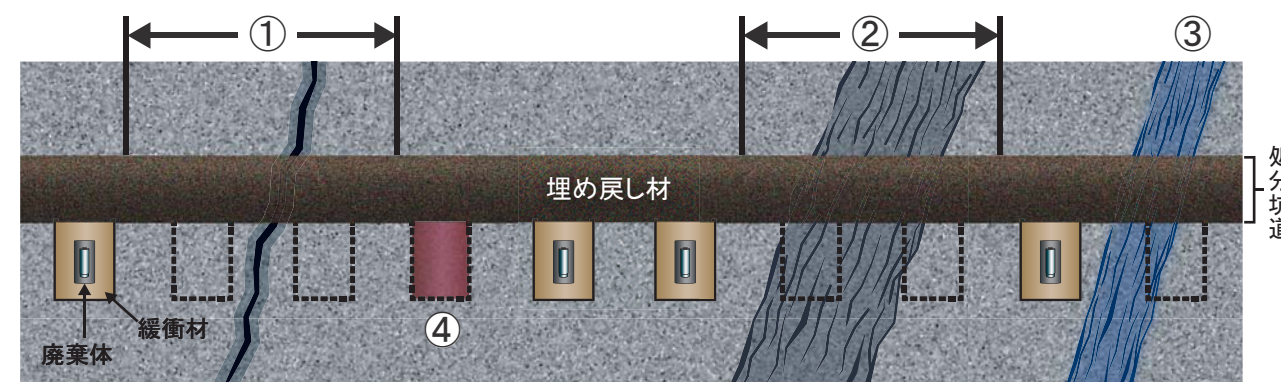


▲ 著しく地下水を通しやすい断層破碎帯が存在する場合の坑道群配置例

- 局所的に好ましくない亀裂の密集地などがある場合、廃棄体を埋設する場所として選択せず、埋設するための処分孔を設けないことを考えます。

著しく地下水を通しやすい断層破碎帯ほどではなくとも、局所的に、廃棄体を埋設するには好ましくない領域が存在する場合も考えられます。精密調査段階の調査坑道による調査や処分坑道の建設中に把握される場合が考えられます。廃棄体を埋設する場所として、このような領域は選択しません。

▼ 高レベル放射性廃棄物の廃棄体を埋設することが好ましくない場所のイメージ



- ① 小規模な地下水を通しやすい断層
- ② 割れ目帯など
- ③ 割れ目帯などからの顕著な湧水箇所
- ④ 掘削不良(過大な凹凸、孔壁崩壊など)の処分孔

③ 調査した地下深部の特性を踏まえ、人工バリアの仕様などを検討します。

人工バリアについて、それぞれの役割に応じて、必要な機能を発揮できるように、地下深部の特性を踏まえて材料・寸法・形状などを検討します。

- 緩衝材は高温になり過ぎると性能が低下します。設計の工夫により廃棄体の発熱と地温による緩衝材の温度上昇を抑制します。

緩衝材は長期間100℃以上の状態が続くと性能が低下する可能性があります。緩衝材の温度は周辺の地温と廃棄体の発熱の影響を受けます。廃棄体については、ガラス固化体製造後の初期では、発熱が大きく高温の状態が続きます。

地温と廃棄体の発熱により緩衝材の温度が100℃を超えるような場合は、廃棄体同士の間隔、すなわち処分坑道や処分孔同士の距離を拡大して、岩盤への放熱により温度を抑制する工夫をします。地温は一般に深度が大きいくほど高いため、埋設する深度を調整し地温を低減することも考えられます。

- 地下水の塩分濃度が高いと緩衝材の閉じ込め性能が低下します。設計の工夫により性能の低下を抑制します。

地下水の塩分濃度が高いと、淡水の場合と比べて緩衝材の膨潤性が低下し、地下水を通しやすくなり、性能が低下します。緩衝材中の粘土の密度を高くすることにより性能を確保できる見通しが得られています。

- 一般に地下深くなると地下水の水圧が大きくなり、地圧も大きくなります。

地下水の水圧や地圧は深度が大きいくほど大きくなります。また、新第三紀堆積岩類は、深成岩類と比べ

て岩盤の強度が小さく、長期的に廃棄体や人工バリアへの地圧が大きくなります。このように岩盤の強度などに応じて、緩衝材、オーバーパックなどの厚さや強度を設定します。

処分場の地下施設の位置、深度、廃棄体間の距離などは、さまざまな観点から総合的に検討して判断します。

緩衝材の性能にかかわる地温の観点や、人工バリアの力学的な安定性にかかわる地圧の観点では、浅い場所に地下施設を設置した方が有利です。一方、地下水の流れがより緩やかであり、地下水移行経路が長いといった確保の観点や、隆起・侵食による地表への放射性廃棄物の接近を抑制するといった観点では、一般的に深い場所の方が有利です。

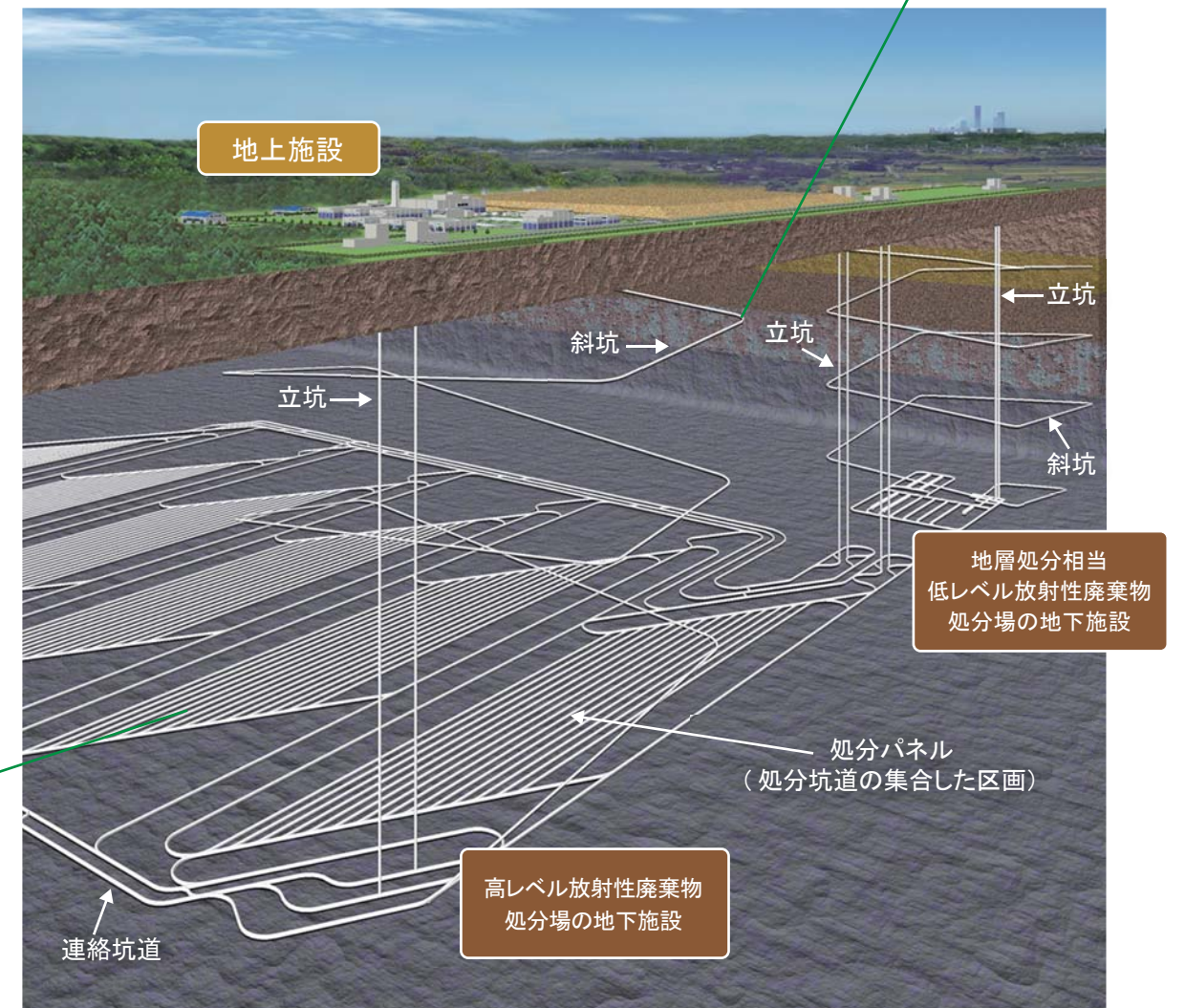
したがって、地下施設の位置や、深度、廃棄体間の距離、人工バリアの仕様などは、さまざまな観点を踏まえて、総合的に判断していきます。

地下施設は廃棄体を安全に埋設するための200kmを超えるトンネル群から構成されます。

4万本以上のガラス固化体と、19,000m³以上の地層処分相当低レベル放射性廃棄物を、人工バリアとともに埋設できる規模を計画しており、大きさが6～10km²程度、坑道の総延長は200～300km程度と見込んでいます。

廃棄体の搬送や定置のための坑道や処分孔などを配置します。

廃棄体埋設後の安全確保の観点に加えて、廃棄体などの搬送や定置作業の観点から、処分坑道、アクセス坑道（立坑や斜坑）、連絡坑道などを配置します。地下施設のレイアウトは、地質環境の特徴に応じて、柔軟に設計します。



▲ 地下施設のイメージ

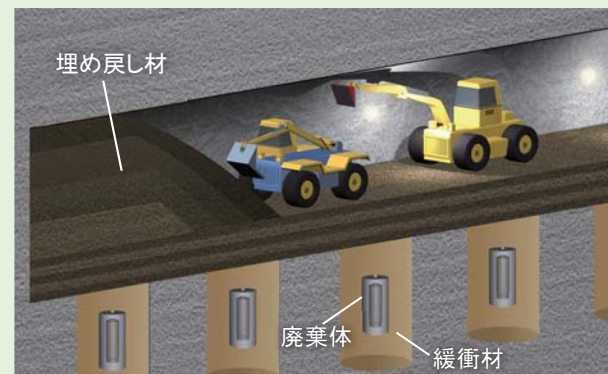
(高レベル放射性廃棄物と地層処分相当低レベル放射性廃棄物を併置した場合)

廃棄体埋設後の埋戻し作業

廃棄体を埋設後、処分坑道を埋め戻します。また、処分場の閉鎖にあたっては、連絡坑道やアクセス坑道（立坑、斜坑）を埋め戻します。

埋め戻し作業は、すでに実績のある土木技術を応用して行うことができます。

埋め戻し材には水を通しにくいものが適しており、地下の掘削により発生した岩や土砂（掘削土）を再利用し、これに粘土（ベントナイト）を混ぜて使用します。ベントナイトは水を吸うと膨らんで粒子の間隙などを埋め、また水を通しにくい性質があります。

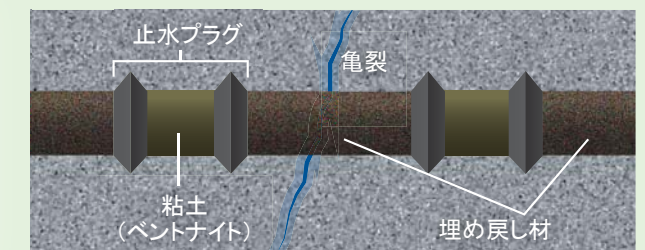


▲ 処分坑道の埋め戻し作業の例(縦置きに埋設する方式)

処分坑道や立坑の形状などに合わせ、適切な方法を用いて隙間なくしっかりと締め固めながら埋め戻します。また、埋め戻し材に地下水がしみこんで膨らみ、まだ埋め戻していない空間側へ膨れ出すことを防ぐための「力学プラグ」を処分坑道の端部に設置します。また、地下水を通しやすい亀裂を隔離するための「止水プラグ」を設置します。



▲ 力学プラグの例



▲ 止水プラグの例

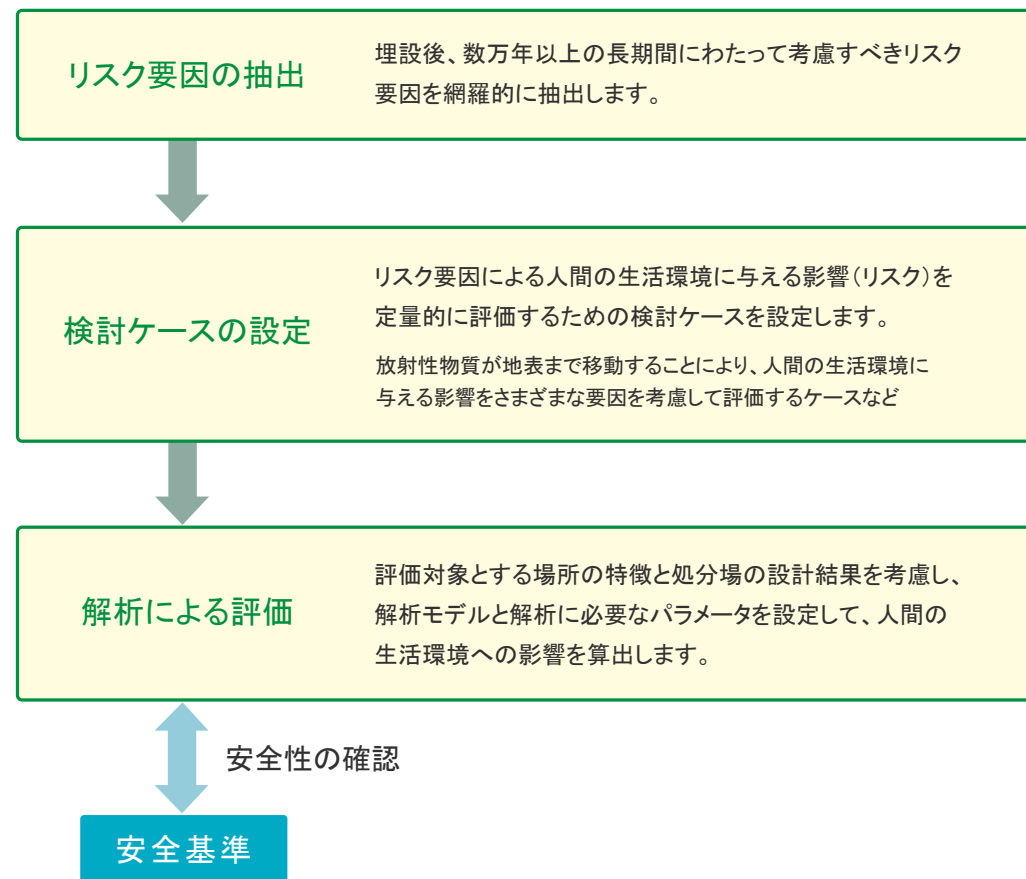
安全性の確認

リスク要因を抽出し、それによる人間の生活環境に与える影響(リスク)が、立地や設計での対応によって十分小さくなるかどうかを評価します。

評価の手順

- 次のような手順で処分システムの性能を把握し、その安全性を確認します。
埋設後長期の安全性は、数万年以上という非常に長期間と、不均質で大きな広がりを持つ岩盤を対象とすることから、実験などによって安全性を直接確認することができません。そこで、下図のような手順で安全性を確認します。これは国際的に共通した考え方です。
- このような解析により安全性に及ぼす影響が大きい項目を抽出し、地下施設の配置などの設計に反映します。その結果を安全基準と比較することで、安全性を確認します。この手順を繰り返すことで、リスクをできる限り小さくしていきます。
- 安全性を確認した結果、安全基準を満たさなければ、その場所は地層処分に不適と判断します。

▼ 安全性の確認の手順

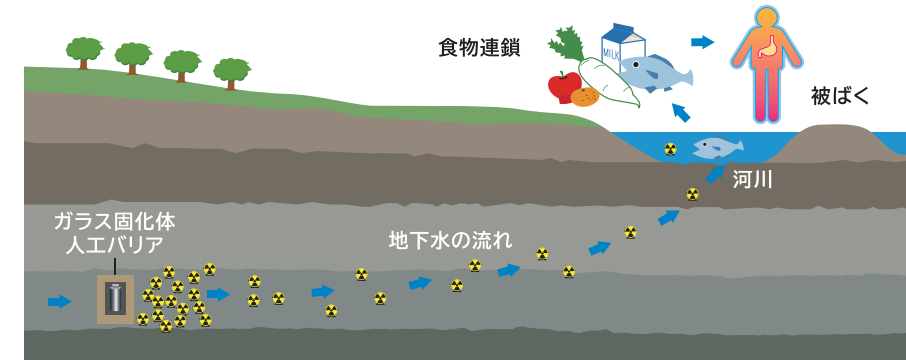


解析・評価の例

- 現象の経過を考察し、評価対象の地点の特徴を踏まえて、解析モデルやパラメータを設定します。解析により人間の生活環境への影響を算出します。
- 合理的な範囲で、現象を変動させた場合も解析・評価します。
下記の①～⑤のモデルやパラメータを合理的な範囲で変動させた解析を行います。また、①～⑤とは異なり、隆起・侵食により地下施設が地表に接近するといったことも考えます。

地下水により放射性物質が地表まで運ばれるケースの例

- オーバーパックが腐食により破損し、地下水がガラス固化体に接触する。破損する時期は保守的(注1)に1000年後と設定する。
移動したりすることにより、放射性物質自体の移動が地下水の流れと比べて遅くなる。
岩盤中の放射性物質の移動経路、距離、亀裂の性状などは、評価対象の地点の特徴、地下水の流れ方を踏まえて設定する。
- ガラス固化体が地下水に溶けることによって、放射性物質が地下水に溶け出す。ガラス固化体全体が溶ける時間を保守的に約7万年と設定する。
- 溶け出した放射性物質は緩衝材中に広がり、岩盤との境界へ達する。
- 河川などに放射性物質が流れ出た後、地表の環境中を移動し、食物連鎖などを経て人間が被ばくする。地下浅部や地表における放射性物質の移動経路などは、評価対象とする地点の特徴を踏まえて設定する。
- 岩盤に達した放射性物質は、岩盤中の地下水の流れが比較的速い亀裂などの中を、地下水の流れによって移動する。その移動中、亀裂の表面へ放射性物質が吸着したり、亀裂から岩盤中へ放射性物質が



▲ 地下水により放射性物質が地表まで運ばれる安全評価用のモデルのイメージ

その他の対応

- モニタリングを行います。
処分地選定段階や、建設・操業・閉鎖時に行う地上環境や地下環境のモニタリングによって、解析・評価の妥当性を適宜確認します。
また、閉鎖後の具体的なモニタリングのあり方などについては、地域のみなさまに安心して生活していただくために、今後の国による安全規制も踏まえ、地域のみなさまと相談しながら対応を図っていきます。
- 記録を保存します。
処分場と人間との予測不能な接触の可能性をより小さくすることを目的として、地層処分に係る情報の記録を保存することになっています。現在、永久保存する方法について検討されています。

(注1) 保守的: 地層処分システムの安全性を評価を行う際、安全性に対する判断をより厳しく行うように、解析の前提条件や使用するデータをより安全側(結果が厳しくなる側)に見積もること、あるいは、そのように見積もることにより、安全性に関する判断を厳しく行えるような性格に保つことをいいます。

立地・設計による対応 地下施設の設置場所の選定や地下深部の特性に応じた設計・施工を行います。

考慮すべきリスク要因

- ◆ 坑道崩落や作業環境の悪化などによる作業員の安全性への影響
未固結堆積物や、地熱・温泉、膨張性地山(注1)、山はね(注2)、泥火山(注3)や、湧水、有害ガスがある場所は、掘削した坑道が崩落するおそれや作業員の作業環境を悪化させる可能性があります。

リスク要因への対応

- ① 地下施設を設置しようとする深度に未固結堆積物が存在する場所を避けます。
最終処分法では、以下が定められています。
 - 文献調査段階では、「地層処分を行おうとする地層が、第四紀の未固結堆積物であるとの記録がないこと」を確認して概要調査地区を選定します。
 - 概要調査段階では「坑道の掘削に支障のないこと」を確認して精密調査地区を選定します。
- ② 建設前と建設中に十分に調査し、事象に応じた対策を講じます。影響の程度が大きい場合は、そこから離して坑道を設置します。
まず、建設前の地上からの調査、地下調査施設における調査、さらに建設中にも掘削中の坑道内からの水平ボーリング調査などにより、事前に状況を把握します。
影響の程度が大きいと考えられる場合には、そこから離れた位置に坑道を掘削します。対策が可能と考えられる場合は、事象に応じて次のような実績のある対策を講じます。
 - 地熱、ガスなどに対して：換気、冷房など
 - 湧水などに対して：排水工法(注4)、グラウトによる止水工法など
 - 脆弱な岩盤：ロックボルト(注5)、支保工など
- ③ 地下深部の地圧に対して、岩盤の強度と設計の工夫により、坑道を安定させます。
トンネルの建設などに用いられている技術を応用します。過去の大規模空洞建設やTBM(トンネル掘削機)の実績を参考にします。
地下深部の地圧は、概ねそれより上方にある岩盤の重さに比例します(岩盤の単位体積の重さ×深度)ので、深度が大きいほど地圧は大きくなります。岩盤内に廃棄体を埋設するための坑道や処分孔を掘削して設けますが、これらの空洞の内側に向かって地圧がかかります。
岩盤自体の強度と、必要に応じて設置する支保工と呼ばれるコンクリートなどによる補強によって、地圧に対応します。また、処分坑道や処分孔同士の距離を拡大して、掘削されずに残る岩盤部分を増やしたり、坑道を設置する深度を浅くすることで地圧を小さくすることも考えられます。支保工については、地下水の流れなどへの長期的な影響も考慮します。

科学的特性マップにおける「好ましくない範囲」の基準 (P.15 参照)

- 深度300m以深まで更新世中期以降(約78万年前以降)の地層が分布する範囲 (利用可能な文献・データ1)

(注1) 膨張性地山: 坑道の掘削などの際に、坑道周辺の岩盤が徐々に坑道の内側へ膨らみ出してくるような現象を引き起こす岩体のことです。坑道の崩壊、坑道内への押し出しにより、工事が難航する可能性があります。
(注2) 山はね: 一般に、地下深部の非常に硬い岩盤を掘削した際に起きる現象で、坑道周壁の岩盤が、振動と大音響をともなう岩片状となり、坑道内に飛び散る現象のことです。
(注3) 泥火山: 周辺より著しく高い間隙水圧やメタンなどのガス圧が原因で、地下からの急激な流体噴出やガス噴出が生じる事象です。泥火山は火山や地熱活動によるものと、そうでないものがあります。
(注4) 排水工法: 湧水量が多く坑道の掘削に支障を来す場合に、掘削に先行あるいは並行して地下水を抜く方法のことです。ボーリング孔、集水管などによる方法があります。
(注5) ロックボルト: 坑道壁面から岩盤内部へ向かって数m程度の鋼棒などを一定の間隔で設置するものです。岩盤を補強したり、鋼棒の端部と板材などで一体化した吹付けコンクリートを支持する効果などがあります。

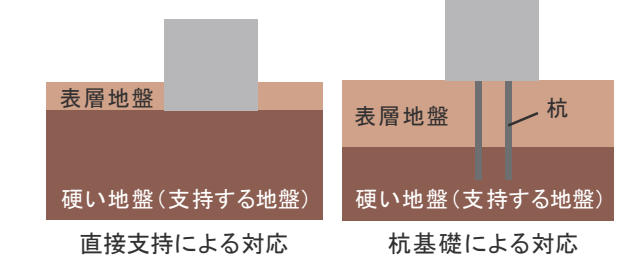
立地・設計による対応 地上施設に対する地震・津波などの影響を考慮した対策を講じます。

考慮すべきリスク要因

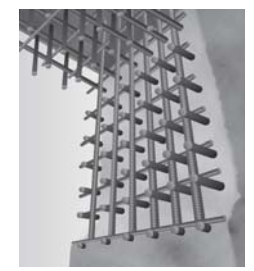
- ◆ 地震、津波、火山などの自然現象や、近隣工場の火災などの人的な現象による施設の損傷

リスク要因への対応

- ① 既往の実績を参照します。
既存の原子力施設に対しては規制基準が定められており、例えば日本原燃 高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター(青森県六ヶ所村)での実績などを参照して対応を検討します。具体的には以下のとおりです。
 - 放射性廃棄物を受入れて取り扱う施設など、放射性物質を扱う重要な施設は、堅固な地盤に支持させます。表層地盤が厚い場合は、杭基礎などの対策も検討します。
 - 津波に対しては、処分地で考えられる最大級の規模のものを設定し、それに耐えることができる施設を設計します。
設計に用いる津波は、過去の津波やプレート境界で起こる地震などを考慮して設定します。また、処分地付近の海岸地形なども考慮します。この津波に対して、地上施設を高台に設置したり、防潮堤を設置します。地上や地下の施設に浸水しないように、防水扉などの対策を講じます。

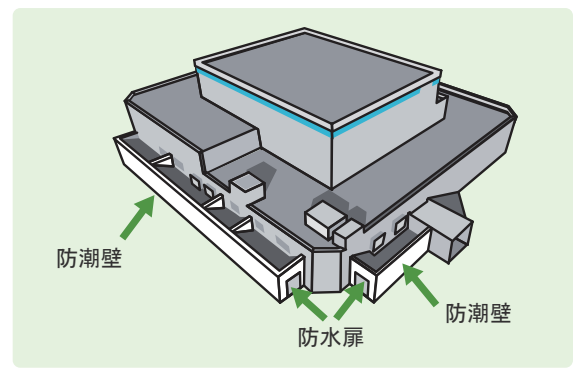


- 地震に対しては、処分地で考えられる最大級の地震動を設定し、それに耐えることができる施設を設計します。
設計に用いる地震動は、過去の地震や周辺の活断層などを考慮して設定します。また、処分地の地盤の条件も考慮します。この地震動に耐えることができるように、施設に鉄筋を補強するなどの設計を行います。支持する地盤についても、地震動に対して大きな変形や損傷がないことを確認します。



耐震性を高めるための鉄筋コンクリート壁

▼ 津波時の地上施設への浸水防止策 (文獻1に加筆)



- 地震、津波以外にも施設の設計や配置などにより対応できない影響がある場所は避け、対応できる場合はその対策を考えます。
地震・津波以外にも、火山などの自然現象による影響や、近隣工場の火災などの人的な現象による影響などを考慮します。施設の設計や配置などにより対応できない場所は避け、対応できる場合はその対策を講じます。

科学的特性マップにおける「好ましくない範囲」の基準 (P.15 参照)

- 完新世(約1万年前以降)の火砕流堆積物・火山岩・火山岩屑(注6)の分布範囲 (利用可能な文献・データ2)

(注6) 岩屑(がんせつ): 風化分解して生じた岩石の破片のことです。
(文獻1) 日本原子力文化財団: 原子力・エネルギー図面集(10-3-2)。
(利用可能な文献・データ1) 越谷賢、丸井敦尚(2012): 日本列島における地下水賦存量の試算に用いた堆積物の地層境界面と層厚の三次元モデル(第一版), 地質調査総合センター研究資料集 no.564。
(利用可能な文献・データ2) 産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト(2017年7月1日時点のデータ): 20万分の1シームレス地質図。

設計 による対応

近隣のみならず作業員に、
廃棄体からの放射線の影響がないようにします。

考慮すべきリスク要因

- ◆ 廃棄体からの放射線が適切に管理されないことによる、近隣のみならず作業員への放射線の影響や、停電などの事故による設備の機能低下

リスク要因への対応

- ▶ 既往の実績を参照します。

既存の原子力施設に対しては規制基準が定められており、例えば日本原燃 高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター（青森県六ヶ所村）での実績などを参照して以下の対応を検討します。

周辺環境の放射線安全を確保します。

施設の壁を、放射線の減衰に十分な厚さを持たせるなど、必要な遮へい(注1)対策を講じます。

また、万が一に備え、施設内の気圧を外部より低くすることにより、周辺環境への放射性物質の漏えいを防止します。

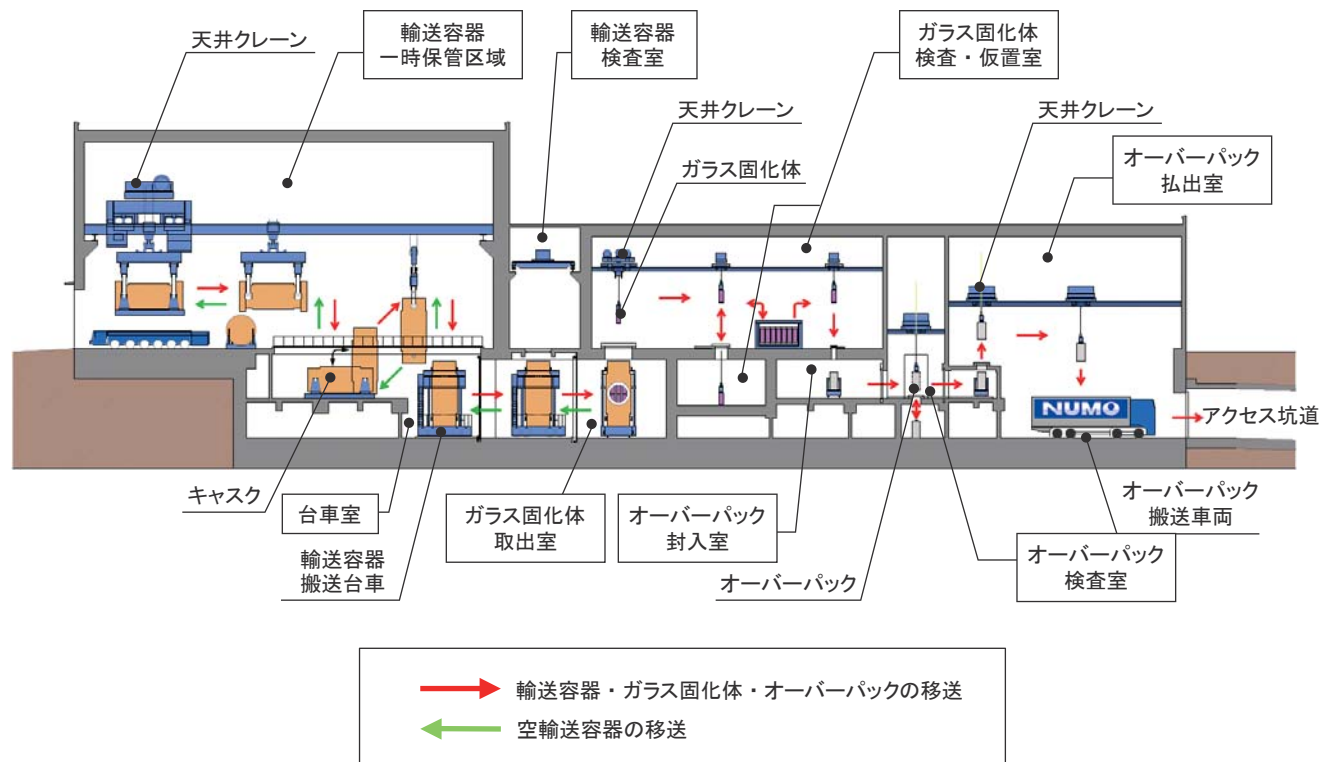
作業員の放射線安全を確保します。

ガラス固化体の検査や、オーバーパックの封入などの作業は、十分な遮へいを施した区域内で、遠隔操作により行います。

万一の事故も考慮した対策を講じます。

施設には廃棄体の転倒・落下や地震、火災、停電など、万一の事故が発生した場合にも十分な安全性を維持できるように、多重性(注2)、フェイルセーフ(注3)などの考え方により対策します。

▼ 廃棄体受入・封入・検査施設における作業の流れ(高レベル放射性廃棄物の例)



- ▶ さまざまなリスク要因に応じた立地による対応と設計による対応の検討結果を踏まえて、また、その場所の特徴に応じて地上施設のレイアウトを設定します。

地上施設の規模は、大きさが1~2km²程度と見込んでいます。多くの面積を地下施設の坑道掘削の残土置き場が占めます。状況に合わせて地上の施設の一部を地中化することもできます。

- ▶ 地上施設は、輸送されてくる高レベル放射性廃棄物を受け入れる施設などから構成されます。

高レベル放射性廃棄物受入・封入・検査施設では、受け入れたガラス固化体に異常がないことを検査し、オーバーパックに封入します。

ベントナイトとケイ砂を混合して緩衝材を製作する施設や、地下施設の換気・排水処理のための施設も配置します。

▼ 地上施設のイメージ



正門から見たイメージ



管理棟内のイメージ

(注1)遮へい:放射線源から放出される放射線を減衰させること、または減衰させるために用いるものをいいます。

(注2)多重性:同じ機能の機器が2つ以上あることです。

(注3)フェイルセーフ:誤動作、誤操作があった場合には、必ず安全な方向に向かうことを指します。転倒すると自動的に消火する石油ストーブの仕組みなどがあります。

- 十分な安全対策のなか、廃棄物を地下へ搬送し処分坑道に埋設します。

高レベル放射性廃棄物の廃棄体の埋設方法はいくつか検討しています。大きくは、処分坑道底面に設けた処分孔に豎置きに埋設する方式、処分坑道に直接横置きに埋設する方式に分かれます。緩衝材については、ブロック定置方式や現場締め方式などを検討しています。さらに、横置きの場合は、予め地上で緩衝材を廃棄体と組み合わせておく方式(PEM方式:P.34上図参照)があります。

一方、地層処分相当低レベル放射性廃棄物は、クレーンやフォークリフトを用いて廃棄体を構造躯体内に積んでいきます。

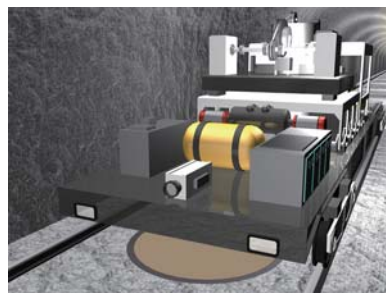
廃棄体の搬送や定置などの作業は、厳格な放射線管理のもと、放射線管理区域を定めて、ほかの建設・埋め戻しなどの作業エリアと分離させて実施するとともに、必要に応じて遠隔操作で行います。

高レベル放射性廃棄物の廃棄体定置イメージ

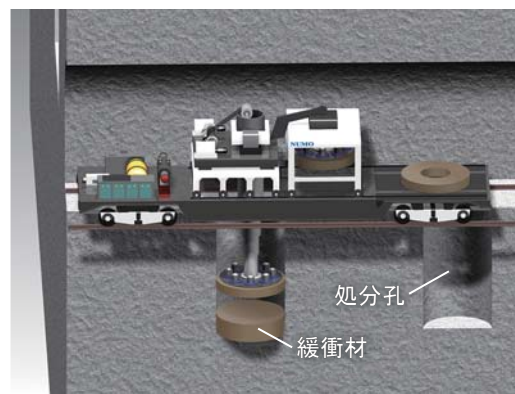
処分孔に豎置きに埋設する方式

緩衝材の定置

まず、処分孔に緩衝材を定置します。



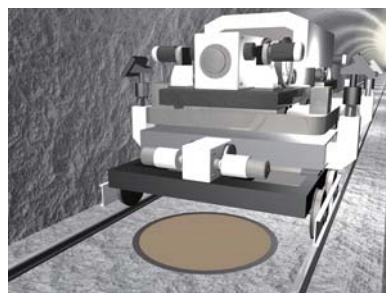
緩衝材定置設備



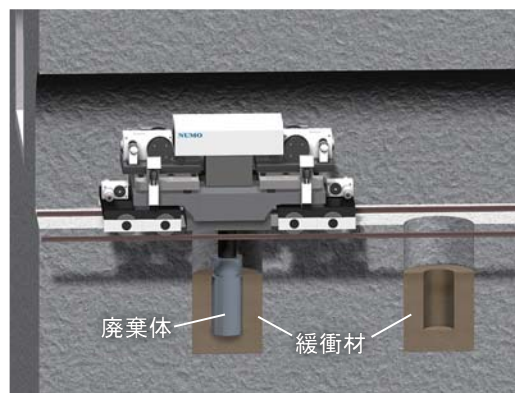
処分孔
緩衝材

ガラス固化体の定置

緩衝材のなかに、オーバーパックに封入したガラス固化体を定置します。



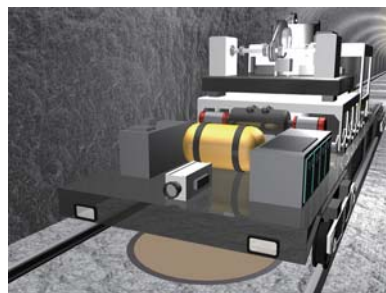
ガラス固化体定置設備



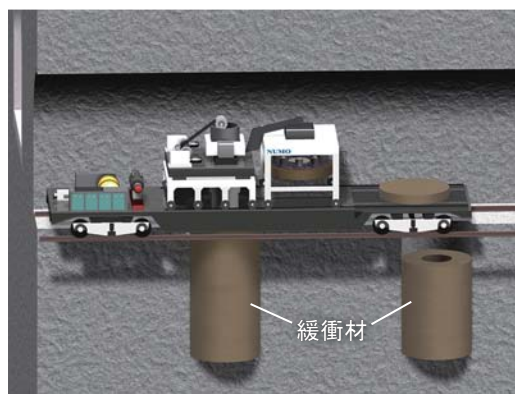
廃棄体
緩衝材

上部緩衝材の定置

オーバーパックの上に緩衝材を定置して終了。



緩衝材定置設備

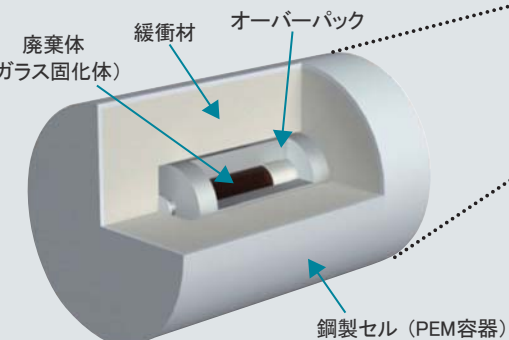


緩衝材

処分坑道に直接横置きに埋設する方式(PEM方式の場合)

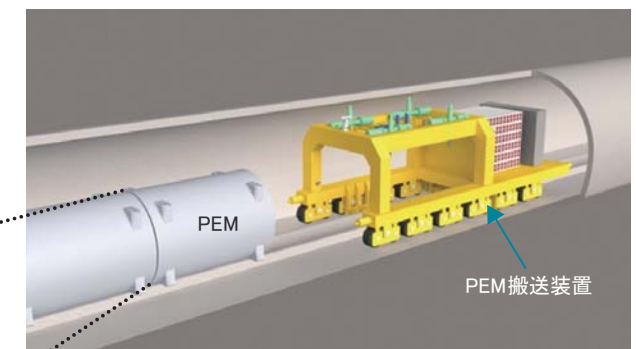
予め地上で緩衝材を廃棄体と組み合わせておく方式の例

PEM (Prefabricated Engineered Barrier Module) 方式と呼ばれます。人工バリアの品質管理が容易であること、湧水・滴水・高湿度などの環境下でも操作が容易であるといった利点があります。処分坑道に横置きします。



PEM仕様例

容器：円筒形、直径約230cm、長さ約340cm、厚さ約3cm
総重量：約37t



PEM搬送装置

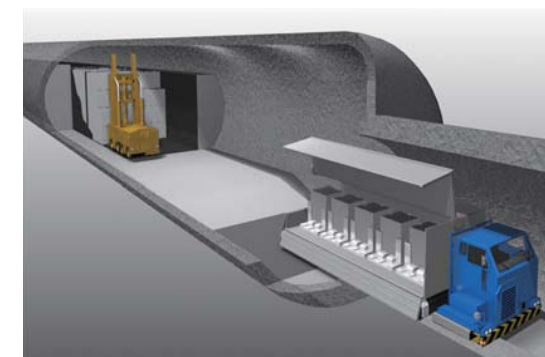
▲ 遠隔操作によって PEM を処分坑道に横置きに定置する際のイメージ

地層処分相当低レベル放射性廃棄物の廃棄体定置イメージ

フォークリフトの他、クレーンなどによる定置を検討しています。



廃棄体定置イメージ



廃棄体定置イメージ拡大図

廃棄体の回収可能性

処分場の建設や操作は50年以上にわたる事業ですので、途中で技術的に不都合な点が発見されたり、地層処分に代わる技術が開発される可能性があります。その際に、事業を進めることを一旦止めて再検討し、埋設した廃棄体を回収することも考えられます。それに必要となる回収の技術の検討を進めています。

回収に必要な埋め戻し材を除去する技術には一般の建設技術が、廃棄体の取り出しには定置作業の装置や技術が活用できると考えられます。緩衝材を除去する際に、オーバーパックを傷つけないように注意する必要があります。塩水を緩衝材に噴射し、スラリー(注1)化して除去する技術が開発されています。

(注1)スラリー：液体中に土などの粒子が混ざったもの。どろどろした流動体のことです。

立地・設計 による対応

基準に適合した輸送容器に入れ、適切な経路を専用船や専用車両などを用いて輸送します。

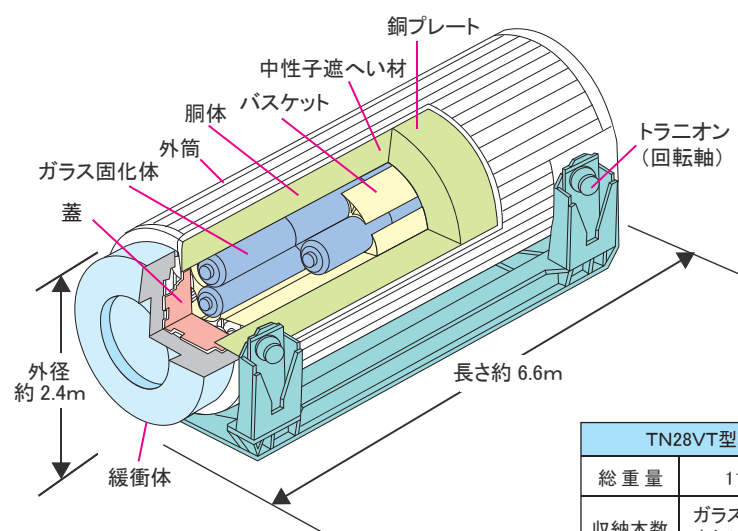
考慮すべきリスク要因

- ◆ 廃棄体からの放射線が適切に管理されないことや、自然現象による輸送車両などの損傷による、近隣のみならず作業員への放射線の影響

リスク要因への対応

- 廃棄体は輸送容器に収納されて輸送します。
輸送容器は、放射性物質の閉じ込めや放射線の遮へいが行われるよう、車両の衝突などの万一の事故なども考慮した厳しい基準に基づき設計・製作されます。
- 輸送船、輸送車両は専用の仕様です。
輸送船は、万一の衝突などを考慮して、船体は二重構造、衝突防止システムや防火設備などが装備されます。輸送車両は、輸送容器の転落防止のための設計や、ブレーキの二重化など十分な安全対策を講じます。
これまで海外での再処理にともなって製造されたガラス固化体の輸送船・輸送車両による輸送が安全に実施されており、その技術を適用することができます。
- 輸送中の自然災害などについても対策を講じます。
輸送の時期や経路を検討します。港湾や道路などについては、設置場所に応じて地震や津波を適切に考慮し、必要な対策を講じます。輸送容器や輸送車両も同様です。輸送容器については、上述のように万一の事故なども考慮しており、仮に地震や津波の影響を受けても、直ちに放射性物質が漏れ出ることはありません。
- 長距離を輸送する場合は、海上輸送が適切と考えられます。
ガラス固化体は、貯蔵されている青森県の六ヶ所村などから処分場まで輸送する必要があります。このように、輸送は長距離に及ぶ可能性があり、これを考慮すると安全性や核セキュリティなどの観点から、輸送船を用いて処分場近傍の港に海上輸送することが適切と考えられます。これまで、ガラス固化体はフランスやイギリスから日本への海上輸送が実施されており、十分な実績があります。

▼ ガラス固化体の輸送容器 (文献1を編集)



TN28VT型輸送容器	
総重量	113.5トン以下
収納本数	ガラス固化体 28 本以下 または 20 本以下

輸送容器は、放射線を遮へいする能力に加え、輸送中に事故（衝突、火災、沈没等）が発生しても放射性物質が漏れ出ないよう国が定めた基準に基づいて造られています。したがって、仮に津波の影響を受けたとしても、直ちに放射性物質が漏れ出ることはありません。

- 港湾から処分場までの陸上輸送にも安全への配慮が必要です。

陸上輸送を行う際には、運搬重量などの制約条件や一般交通への影響を考慮して、専用道路などを設けることが望ましいと考えられます。

▼ ガラス固化体の専用輸送船・車両



科学的特性マップにおける「好ましい範囲」の基準 (P.15 参照)

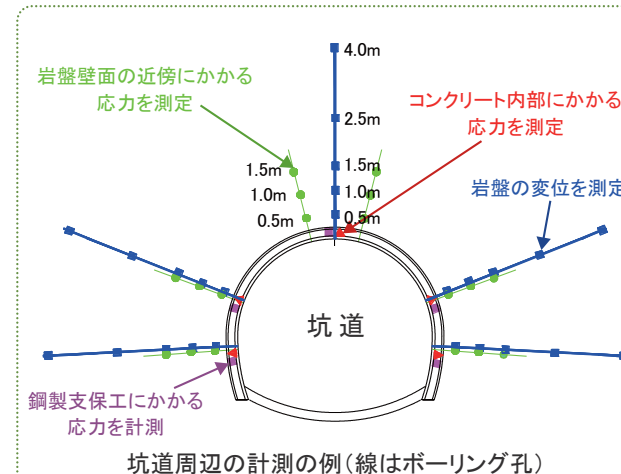
- 沿岸から20km程度を目安とした範囲（標高1,500m以上の場所は除く）

安全性 の確認

リスク要因に対応した立地や設計によって、安全が確保されることを解析やモニタリングにより確認します。

- 解析やシミュレーションにより安全性を確認します。
設計した地下施設や地上施設に対する地圧、地震動、津波などの影響を考慮した解析やシミュレーションによって、施設が十分に安全性が確保できることを確認します。
また、放射線が施設の壁で十分に遮へいされていることなども解析により確認します。

- 計測やモニタリングにより安全性を確認します。
地下坑道の壁面の変位を計測し、設計で考慮した値より小さいことを確認します。また、温度、湿度、湧水量などの作業環境をモニタリングします。
地上施設やその周辺の放射線量を常時モニタリングし、設計で考慮した値や、安全基準値以下であることを確認します。また、環境中の放射能をモニタリングするとともに、放射線管理が必要な施設からの排水、排気の放射能などもモニタリングします。



坑道周辺の計測の例（線はボーリング孔）



変位計設置の様子

▲ 岩盤の変位計測の例

(写真提供：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)



◀ 放射線モニタリングポストの例

(写真提供：国立研究開発法人日本原子力研究開発機構)

(文献1) 日本原子力文化財団：原子力・エネルギー図面集(8-3-2)。

環境保全対策

放射線安全対策、作業安全対策に加えて、周辺環境への影響を事前に調査・評価し、環境保全対策を講じます。

処分場の建設工事の開始前に周辺環境の調査と環境への影響の予測評価を行います。騒音・振動、動植物、生態系、景観など、一般的な環境調査項目に加え、地層処分事業で特徴的と考えられる地下岩盤の掘削にともなう掘削残土の処理や、坑

道内の湧水の周辺河川などへの放流などの影響についても、調査と予測評価を行います。

影響を回避・低減できるよう適切な環境保全対策を講じるとともに、適切に対策を行って工事を進めます。

実施した対策が有効に働いていることをモニタリングによって確認していくことにより、環境保全を確実にいきます。



処分場の閉鎖後は、原状回復などを行います。

- 原状回復、環境修復のイメージ

「自然植生の再生」

自然生態系を大切に、自然植生を積極的に再生・保全し、自然公園などにもすることも可能です。



おわりに

地層処分の安全確保の考え方について説明させていただきましたが、最後に、以下の点を強調させていただきます。

- 地層処分対象となる放射性廃棄物は非常に長い期間、高い放射能を持続けます。また、この放射性廃棄物は既に存在し、冷却のために貯蔵管理されています。
- 地層処分対象となる放射性廃棄物を長期間にわたり人間の生活環境から安全に隔離できる最適な方法として、深い地層が持つ物質を閉じ込めるという性質を利用する「地層処分」が最も良い方法であるというのが、国際的に共通した考え方になっています。
- 処分地選定段階においては、『「立地による対応」と「設計による対応」の2つの対応策によって、安全が確保できるかどうかを確認する（「安全性の確認」）』という作業を何度も繰り返し行います。
- 処分地の選定後は、処分地内における場所の選定や、設計、安全性の確認を行います。
- 建設・操業・閉鎖時および輸送時には、設計した対応策を確実に実施します。
- モニタリングなどにより安全性を確認します。
- 処分場と人間との予測不能な接触の可能性をより小さくすることを目的として、地層処分に関する情報の記録を保存することになっています。現在、永久保存する方法について検討されています。

NUMOは、「放射性廃棄物の地層処分を実現する」という使命を果たす事業を進めるにあたって、あらゆる取組みにおいて安全の確保を最優先するとともに、国民のみなさまの声に注意深く耳を傾け、取組みに活かしてまいります。

(注1)ビオトープ:自然の状態で多様な動植物が生息する環境や空間のことです。