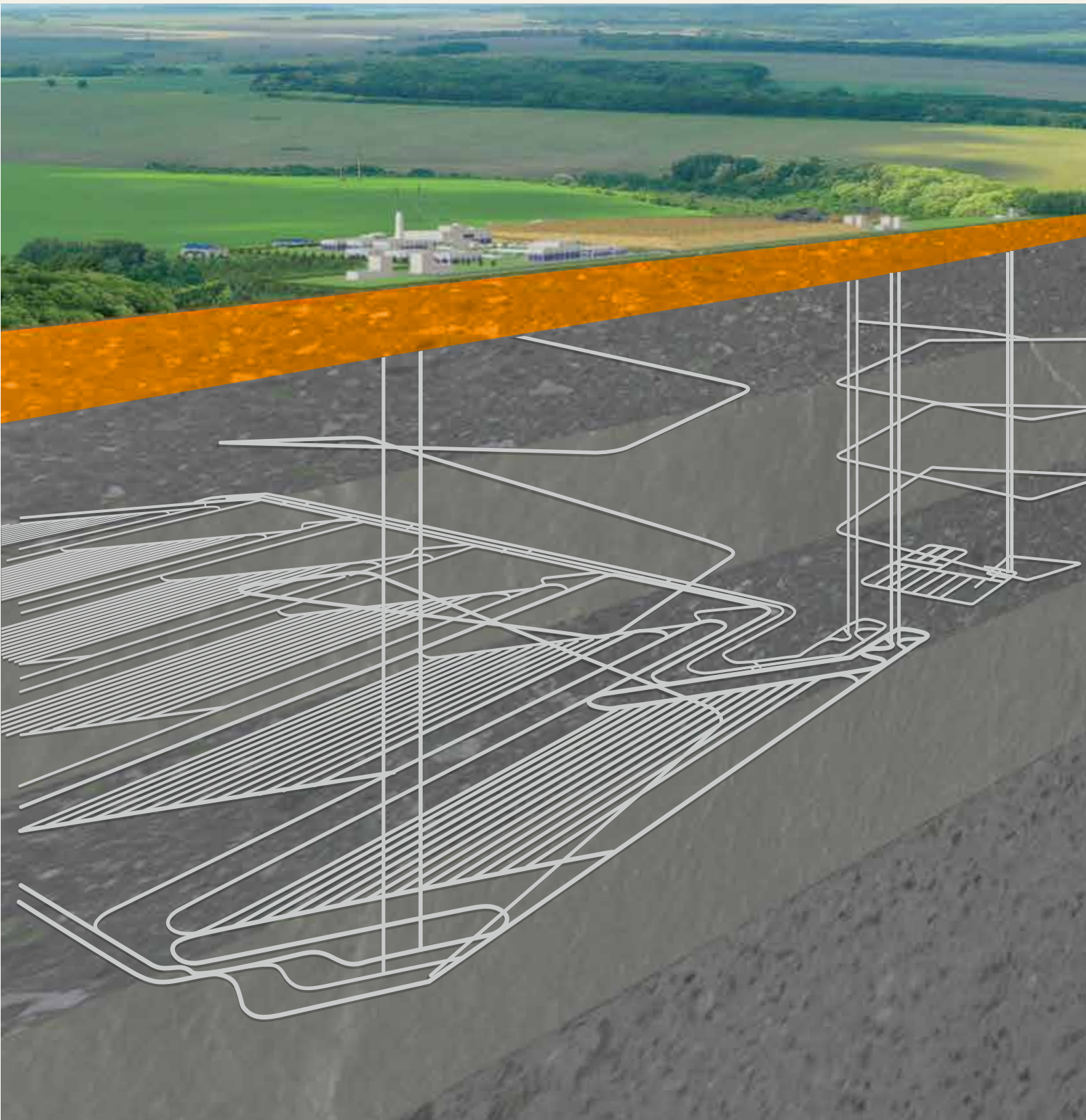


知ることの大切さ

地層処分



はじめに

原子力発電環境整備機構(NUMO)は、特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律(平成12年法律第117号)により設立されました。経営理念に掲げた「基本方針」、「行動指針」に基づき、「地域社会と共生する安全な放射性廃棄物の地層処分を実現する」という使命を全うするため、努力を続けてまいります。

経営理念

— 使命 —

地域社会と共生する安全な放射性廃棄物の地層処分を実現する

— 基本方針 —

私たちは、すべてにおいて安全を最優先します

私たちは、地域との共生を大切にします

私たちは、社会から信頼される組織を目指します

— 行動指針 —

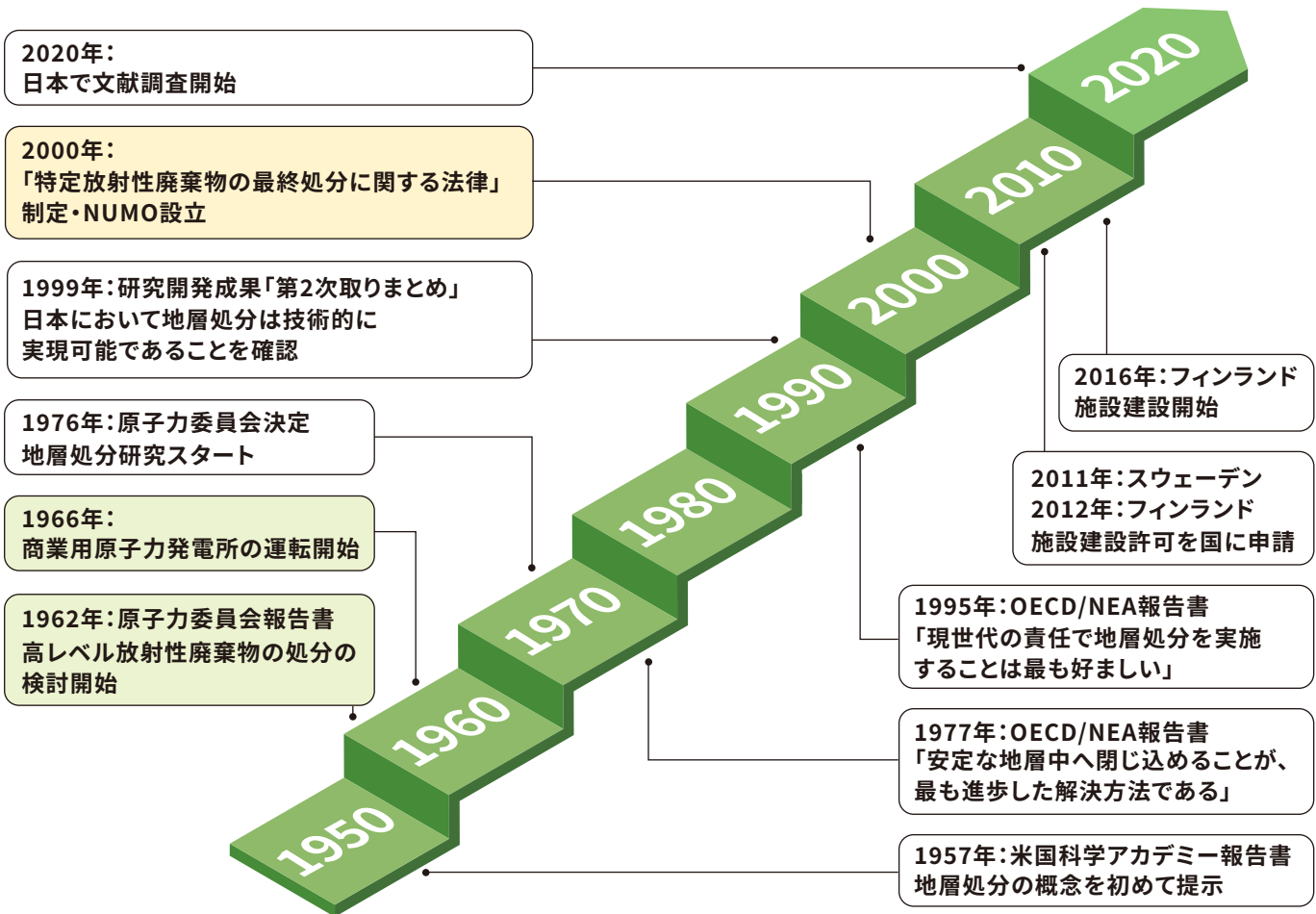
1. 確かな安全の実現を目指して基盤となる技術力を磨くとともに、事業品質の継続的向上に努めます
2. 国内外の取組みに積極的に参加して最高水準の知識を修得し先進的な思考を培うことにより、技術の絶えざる高度化を図ります
3. 事業に関する情報を積極的に公開し、分かりやすく説明するとともに、丁寧な対話を通じて皆様の声を真摯に受け止めて事業を進めます
4. 地域社会の持続的発展に向けて地域の皆様と共に考え、真に望まれるまちづくりに貢献します
5. 法規範、倫理規範等を遵守し、公正かつ誠実に行動します
6. リスク管理を徹底するとともに、効果的かつ効率的な事業運営に努めます

目次

P3	高レベル放射性廃棄物の処分方法の検討
P4-5	地層処分とその考え方
P6-7	地層処分を行う放射性廃棄物
P8-9	地層処分の多重バリアシステム
P10-11	地層処分事業の概要
P12-13	地層処分の安全確保の考え方
P13	安全確保にむけた技術的取組み
P14-15	自然現象(火山・活断層)の影響と対応
P16	建設・操業時の安全確保
P17	科学的特性マップ
P18	段階的な調査
P19	地域との共生に向けた取組み
P19	海外における地層処分の状況



高レベル放射性廃棄物の処分方法の検討



高レベル放射性廃棄物の処分方法については、日本で初めて商業用原子力発電所が運転を開始した1966年より前、1962年に検討が開始されました。

そして、1999年には、日本でも信頼性ある技術基盤が整備されたことが示され、地層処分を事業化の段階に進めるための準備が整ったことが確認されました。

その翌年の2000年に「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」が国会で制定され、高レベル放射性廃棄物の最終処分方法を地層処分とすること、原子力発電環境整備機構が地層処分の実施を担うことが法律で定められました。





地層処分とその考え方

地層処分とは、地下深くの岩盤が持っている「物質を閉じ込める性質」と「物質を隔離する性質」を利用した処分方法です。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ます。

高レベル放射性廃棄物を地層処分することが最適であるということは、国際的に共通した考え方です。

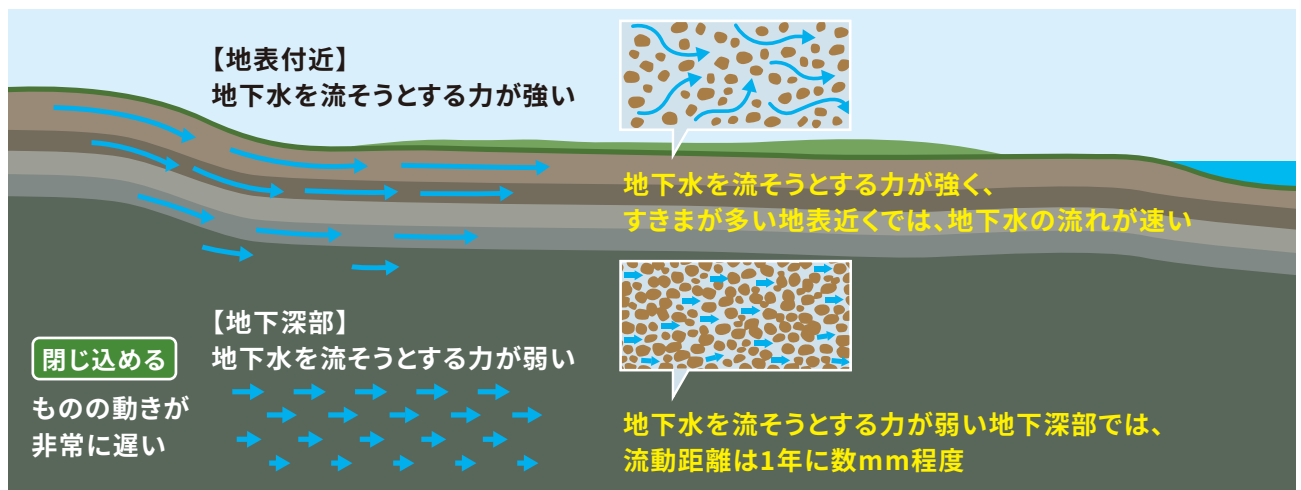
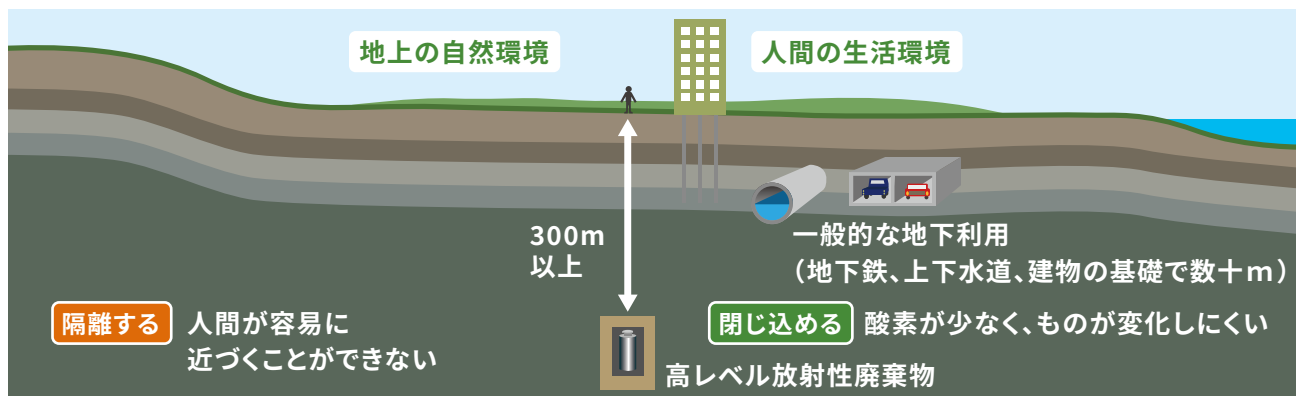
▶ 地下深部の特徴

- ① 酸素が少ないため、腐食や地下水への溶解といった化学反応が発生しにくく、埋設物の変化しにくい
- ② 地下水の流れが遅いので、ものの動きが非常に遅い

閉じ込め機能

- ③ 人間の活動や地上の自然環境の影響を受けにくい

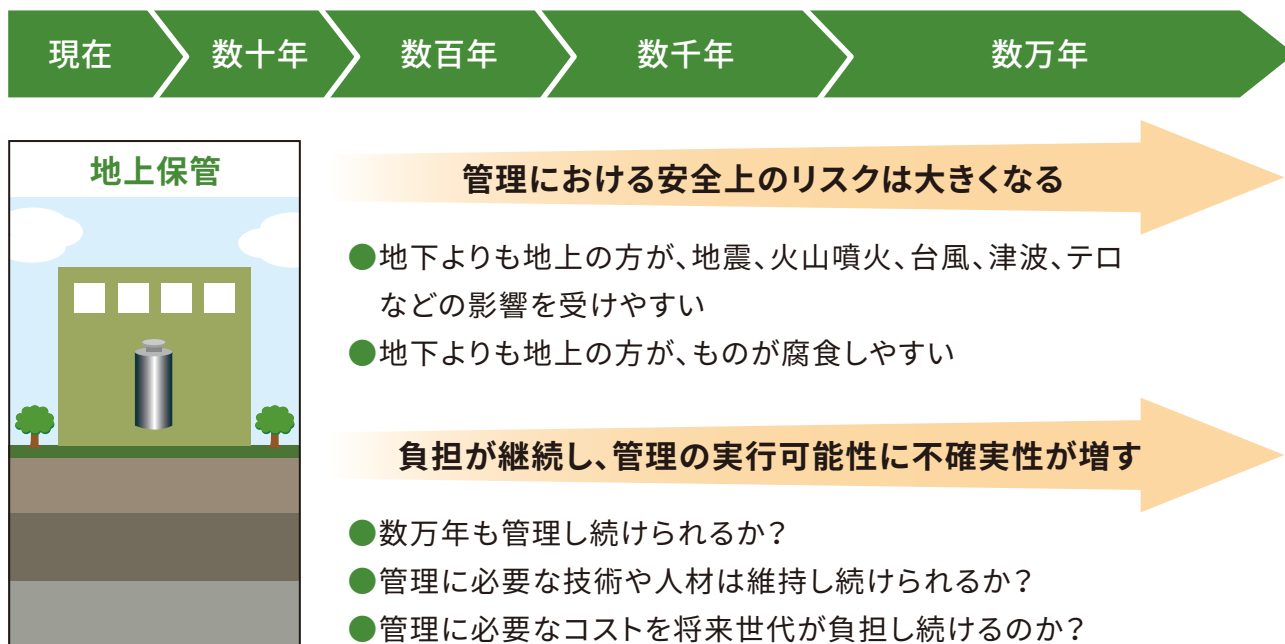
隔離機能



▶ 地層処分の基本的な考え方

- 高レベル放射性廃棄物は、放射線の影響を考慮し、長期にわたって人間の生活環境から適切に隔離する必要があります。
- 地上で保管を続けるよりも、地下深くに適切に埋設する方が、安全上のリスクを小さくし、かつ、将来世代の負担を小さくすることができます。

▶ 地上保管のリスク：地上保管ではリスクが次第に増大します

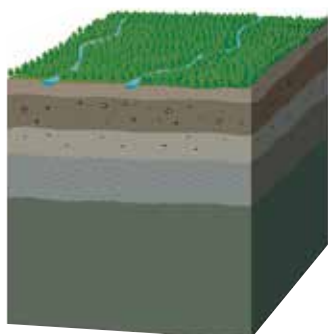


▶ 地下環境の安定性：地層処分を行う地下深部は安定しています

- 地上は自然現象や人間の開発などにより刻々と変化します。一方、地下深部は過去数十万年から100年以上にわたって、大きく変化せずに安定している地層が広く存在します。

約100万年前

- 現在と同様の地殻変動が始まる



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が変化
- 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

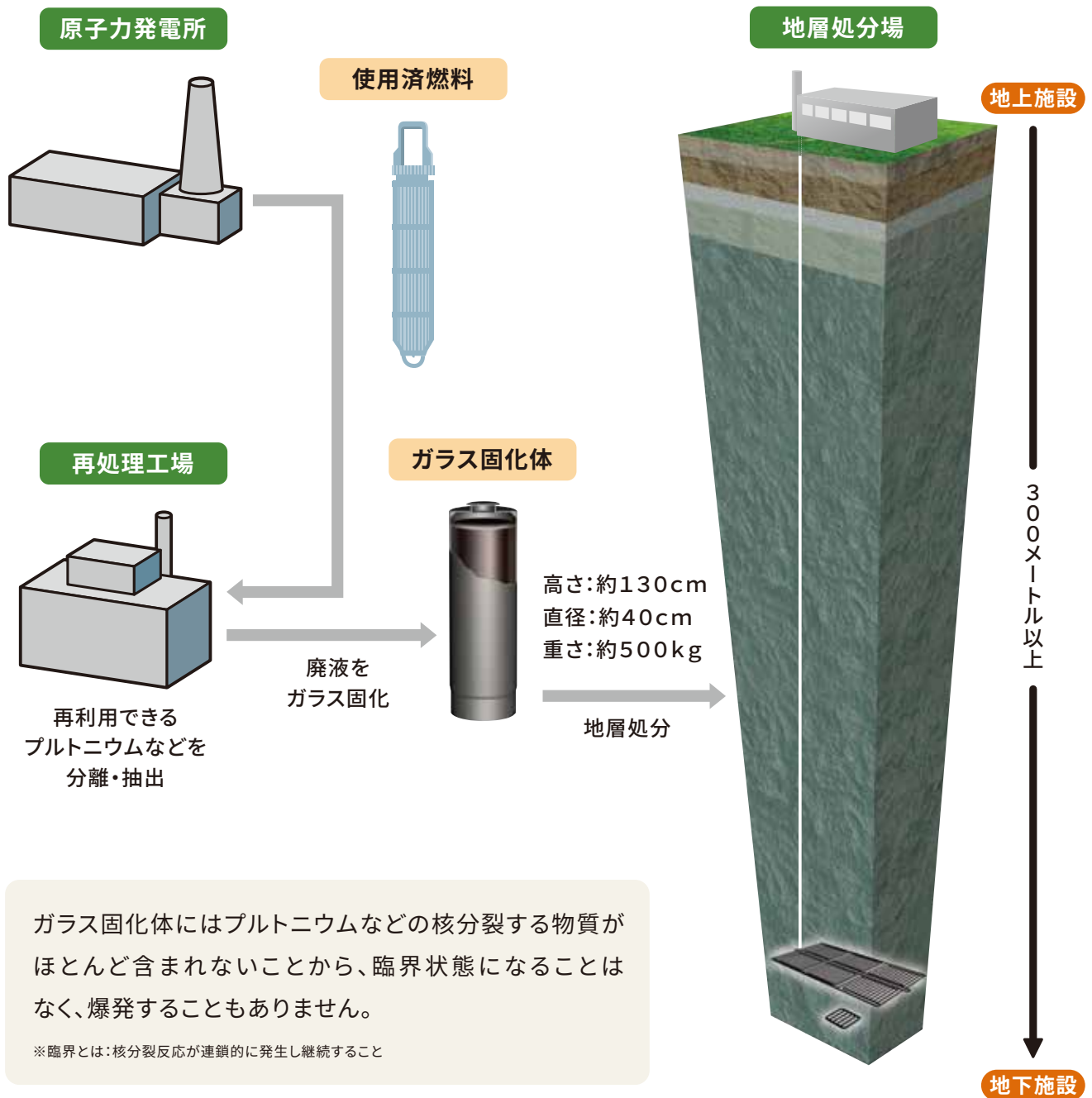




地層処分を行う放射性廃棄物

原子力発電所で使い終えた燃料には、再利用できるプルトニウムなどが含まれているので、再処理工場でそれらを取り出します。

このプルトニウムなどを取り出す過程で残る放射能の高い廃液を高温のガラスと融かし合わせ、ステンレス製容器に流し込んで固めたものをガラス固化体(高レベル放射性廃棄物)といいます。これを地表から300m以上深い安定した岩盤に地層処分します。



ガラス固化体にはプルトニウムなどの核分裂する物質がほとんど含まれないことから、臨界状態になることはなく、爆発することはありません。

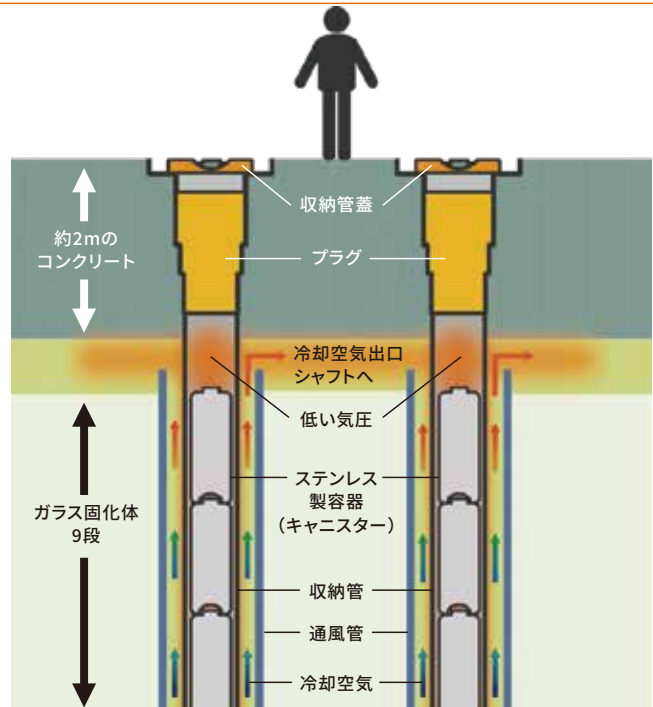
※臨界とは:核分裂反応が連鎖的に発生し継続すること

▶ ガラス固化体の管理について

- ガラス固化体は、安全に地層処分できる発熱量に下がるまで、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センターなどで30～50年間保管します。
- ガラス固化体からは強い放射線が出ますが、約2mのコンクリートで十分さえぎることができます。



日本原燃(株) 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)
写真提供: 日本原燃(株)



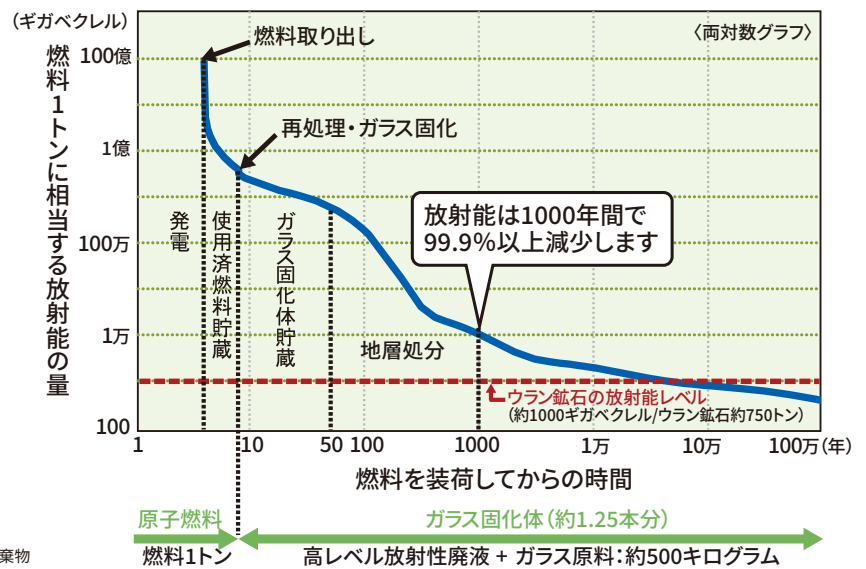
※構造を簡略化した図です。

▶ ガラス固化体の放射能の減少

製造直後のガラス固化体はさまざまな放射性物質を含んでおり、強い放射線を出していますが、その放射能は50年程度で80%程度、1000年程度の間で99.9%以上低減します。その後も放射能はゆっくりと減衰しますが、放射能が十分に低減するまでには非常に長い時間がかかるため、ガラス固化体は長期にわたって人間の生活環境から適切に隔離する必要があります。

※「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」に基づき作成

▼ ガラス固化体の放射能の経時変化※



▶ 「地層処分相当低レベル放射性廃棄物」について

再処理工場やMOX燃料工場の操業及び解体にともなって発生する低レベル放射性廃棄物 (TRU 廃棄物) のうち、半減期 (放射能が半分になるまでの時間) の長い核種を一定量以上含む廃棄物は、放射能が十分に低くなるまでに長い時間が必要です。そのため、長期間にわたって隔離する地層処分の対象とします。

※MOX燃料とは: 再処理によって回収されたプルトニウムなどを混合して作られる酸化物燃料 (MOX燃料: Mixed Oxide燃料の略)

※TRU廃棄物とは: 再処理工場やMOX燃料工場の操業及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



地層処分の多重バリアシステム

ガラス固化体はそのままの状態ではなく、**オーバーパック**という厚い**金属製容器**に格納し、さらに**緩衝材**となる**粘土**で包んだ状態で埋設します。

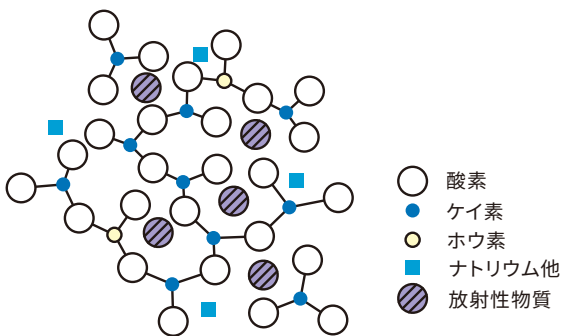
地下深部の岩盤という「**天然バリア**」と、**オーバーパック**や**緩衝材**などの「**人工バリア**」を組み合わせた**多重バリアシステム**により、**長期間にわたり放射性廃棄物を人間の生活環境から隔離して閉じ込めます。**

このような**多重バリアシステム**の考え方は、**国際的に認められ、諸外国でも採用されています。**

多重バリアシステム

人工バリア

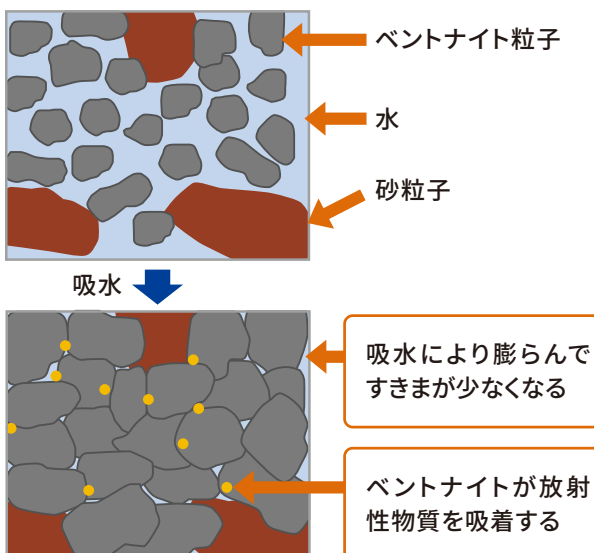
ガラスの分子の網目構造



ガラス固化体

放射性物質は**ガラスの分子の網目構造**に取り込まれます。ガラス自体が水に溶けにくいので、地下水と接触しても放射性物質は非常にゆっくりとしか溶け出しません。

ベントナイトの役割



オーバーパック (約20cm厚の金属製容器)

金属製の容器にガラス固化体を完全に封入します。周囲の地下水が酸素をほとんど含まない状態(還元性)のため、腐食の進行は非常に遅くなります。少なくともガラス固化体の放射能が高い初期の期間(約1000年)、地下水とガラス固化体が接触しないよう守ることができます。

緩衝材 (約70cm厚の粘土)

ベントナイトという天然の粘土を uses。ベントナイトは水を吸うと膨らんで粒子のすきまが少なくなることから、水を通しにくいという性質を持ちます。また、ベントナイトは物質を吸着する性質も持っています。これらの性質により、地下水がガラス固化体に接触するのを遅らせるとともに、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。

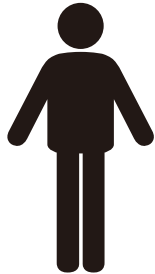
全体の大きさ

高さ約3.1m 横幅約2.2m

※本展示の高さは約2.8m
(実際は上部にもう1段のベントナイトブロックを設置)

※人とのサイズ比較イメージ

約170cm



ガラス固化体(模造)

ステンレス製容器
直径約40cm
高さ約130cm

オーバーパック(金属製容器)

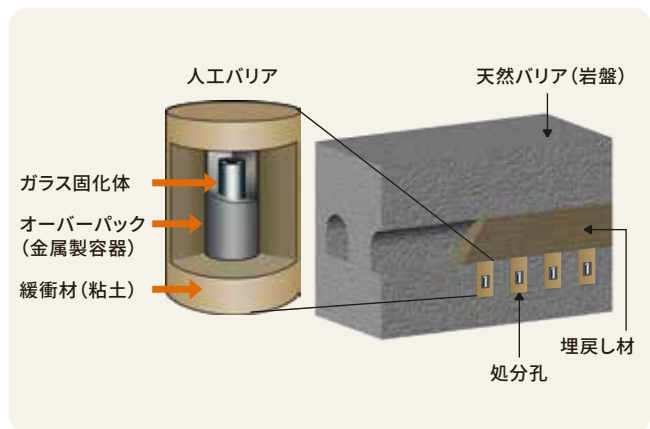
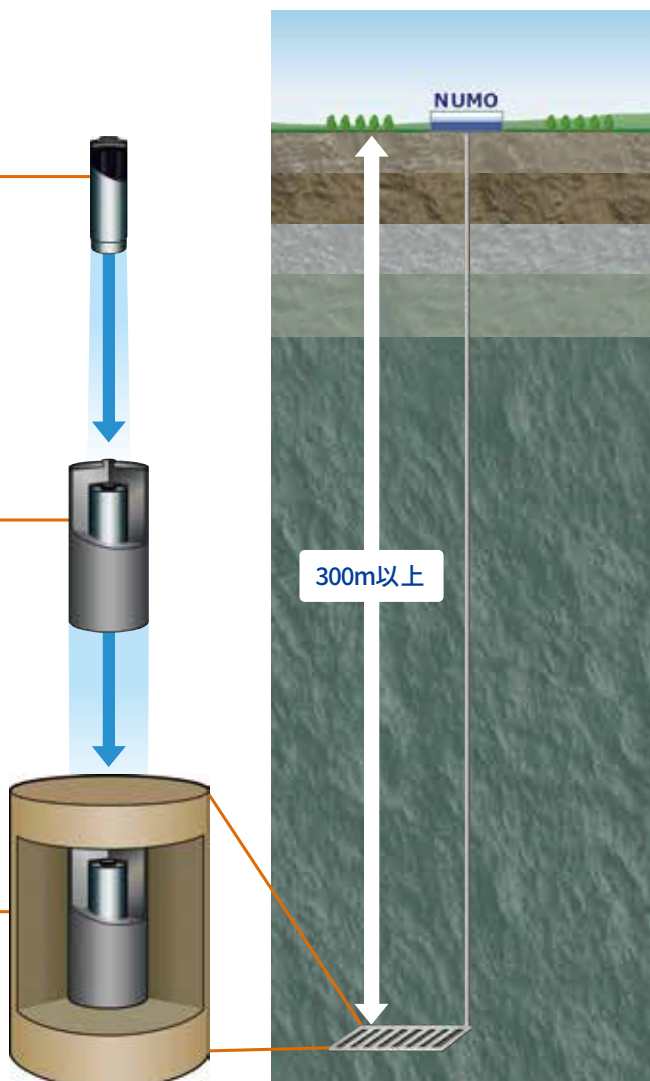
厚さ約20cm

緩衝材(ベントナイトと砂)

ブロック状に成形し配置
縦約35cm
厚さ約70cm

展示:地層処分実規模試験施設

天然バリア



地下深部では酸素が非常に少ないため、オーバーパック(金属製容器)の腐食が進みにくく、放射性物質が地下水に溶けにくい特徴があります。また、地下水の動きが極めて遅いうえに、放射性物質には岩盤に吸着されやすい性質があるため、放射性物質の移動は非常に遅くなります。



地層処分事業の概要

文献調査の実施を受け入れていただいた市町村で、「文献調査」(2年程度)、「概要調査」(4年程度)、「精密調査」(14年程度)を順次実施していきます。

これらの調査結果に基づき、原子力規制委員会に事業許可を申請します。

事業許可が下りた後には、処分施設の建設を進めながら、一部では操業(高レベル放射性廃棄物の搬入・設置・埋戻し)を並行して行い、最終的に全ての坑道を埋め戻して、処分場を閉鎖します。この間、放射線による周辺環境への影響を継続的にモニタリングします。また、閉鎖後も必要に応じてモニタリングの継続について検討します。

地層処分事業は調査に20年程度、処分場の建設、操業、閉鎖までの期間を含めると100年以上の長期にわたる事業です。

文献調査
2年程度

概要調査
4年程度

精密調査
14年程度

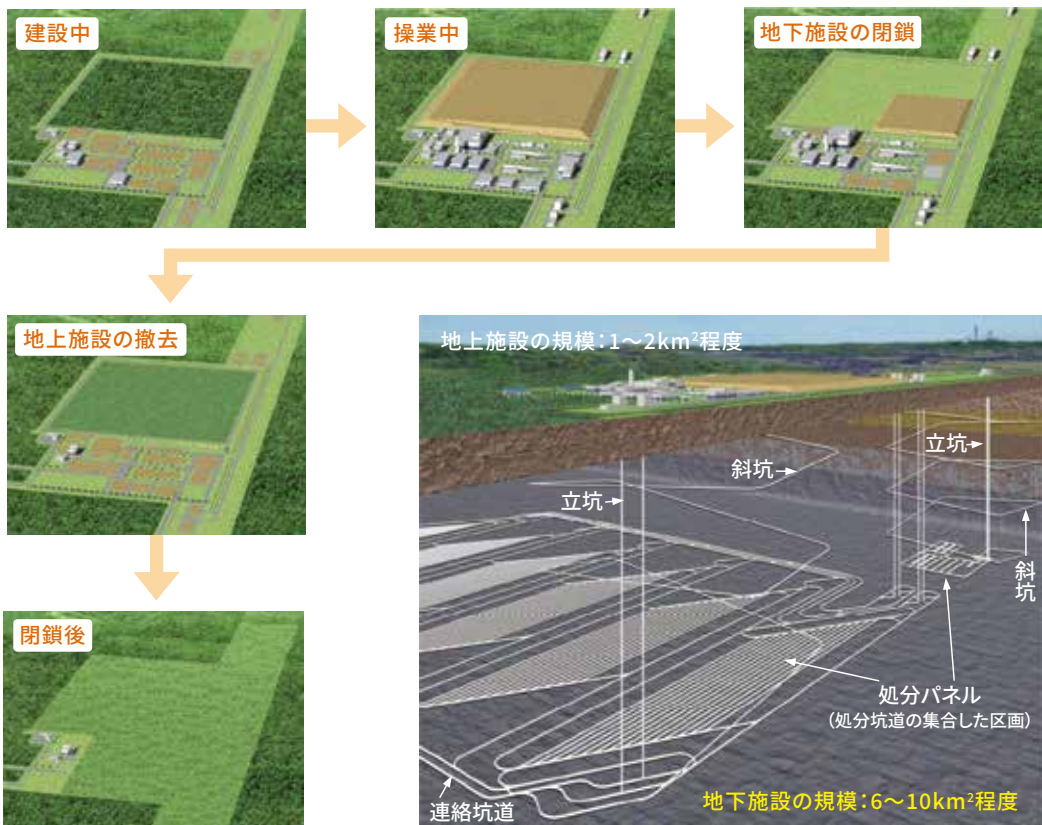
建設

操業

閉鎖

(高レベル放射性廃棄物の
搬入、設置、埋戻し)

施設の建設、操業から閉鎖・管理終了後までの流れ(イメージ)



ガラス固化体を4万本以上埋設できる施設を計画しています

▶ **作業中の各工程 (イメージ)** さまざまな技術を利用して、安全かつ効率的に行います

地上施設における工程 (イメージ)

1. 地上施設への輸送



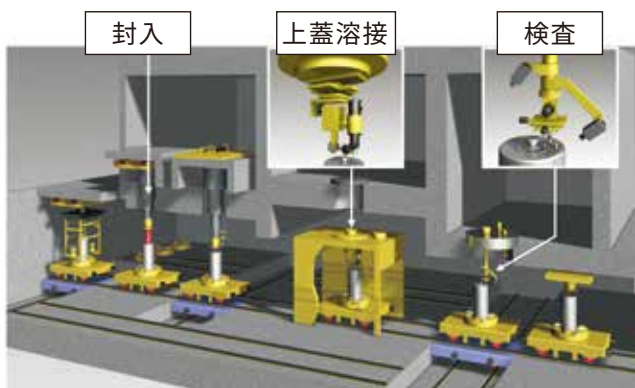
専用の輸送容器 (キャスク)、
専用道路での輸送。

**2. ガラス固化体の受入れ・
検査・一時仮置き**



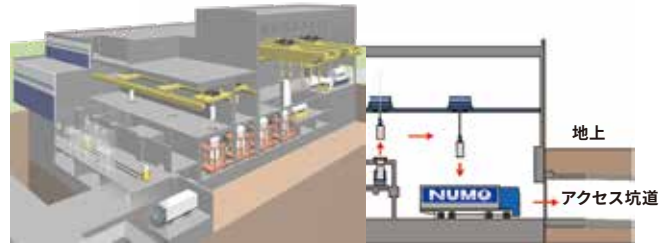
放射線量やガラス固化体の
状態を確認した後、受け入れます。

**3. ガラス固化体のオーバーパックへの
封入・溶接 (遠隔操作技術を使用)**



遠隔操作技術を用いてガラス固化体をオーバーパック
へ封入し、上蓋を溶接します。

4. 搬送車両への積み込み



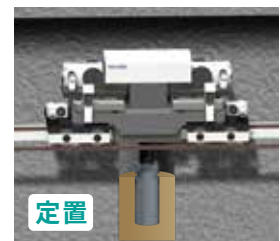
廃棄体を搬送車両に積み込みます。

地下施設における工程 (イメージ)

**5. アクセス
坑道での
搬送**



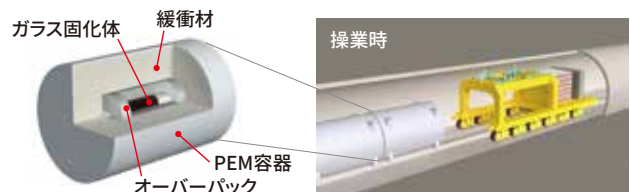
**6. 処分坑道での
定置**



**7. 処分坑道の
埋戻し**



※地上でガラス固化体、オーバーパック、緩衝材を
専用の容器 (PEM (Prefabricated Engineered
Barrier Module) 容器) に入れ、それを地下に
「横置き」に定置する方法も検討されています。





地層処分の安全確保の考え方

一般的に地下深部は地層処分に適した特性を持っていますが、安全に地層処分を行うために、候補地が好ましい地下環境であり、その特性が長期にわたって確保されるかどうかを詳細に確認します。そのうえで、十分な安全対策を施した処分場を建設します。

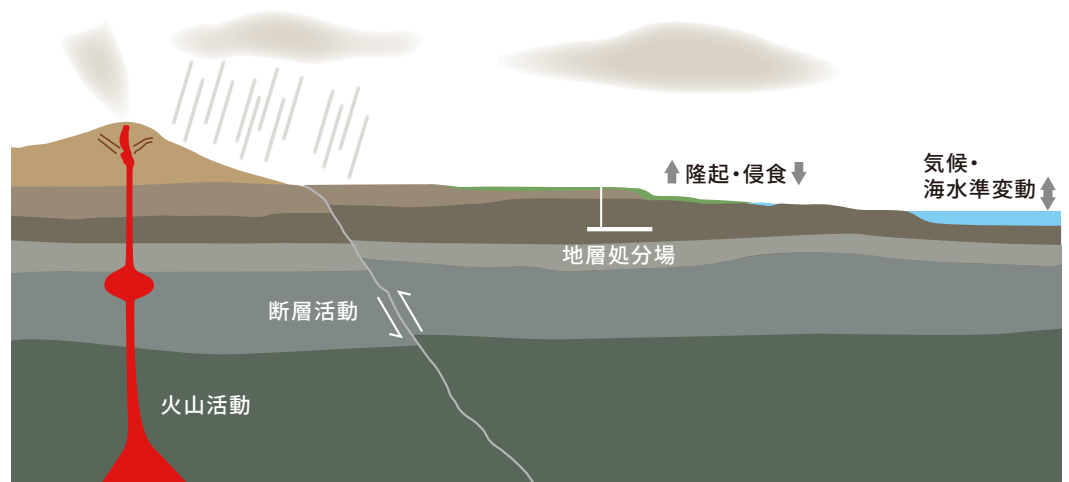
また、安全性に影響を与えるかもしれないさまざまな現象を想定し、地上に住む人間の生活環境への放射線の影響を評価します。安全評価の結果から、人間の生活環境に問題となるような放射線の影響はないことを確認します。

▶ 長期安定性の観点

火山や活断層、隆起・侵食の影響がどの程度生じるか、好ましい地下環境の特性が長期にわたり維持されるかなどの観点で調査を行います。

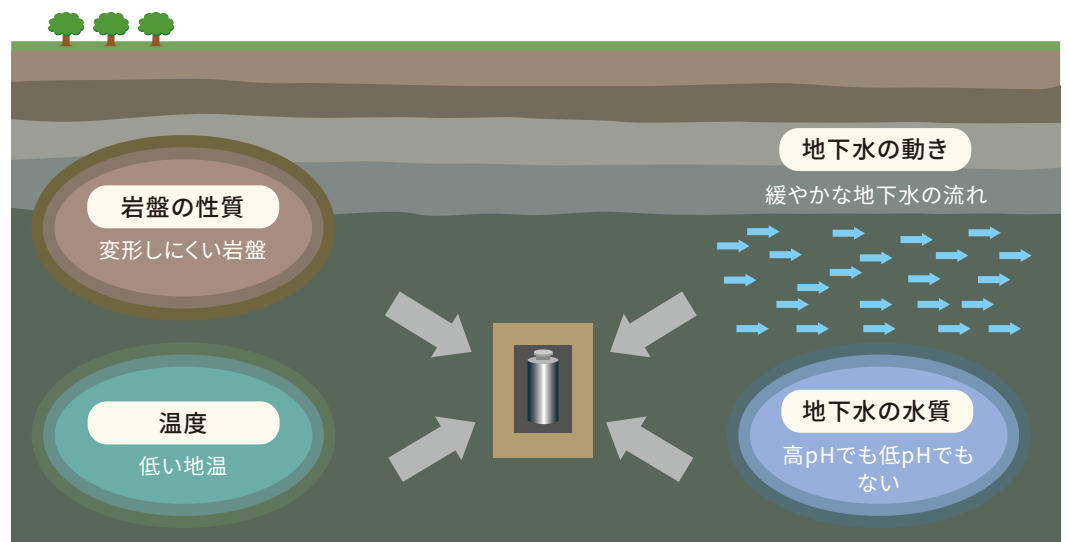
長期安定性の観点1

- 将来にわたって、火山活動や大きな断層のずれが、処分場を破壊するようなことがないか
- 隆起・侵食などにより、埋設した廃棄物が地上に近づくことがないか



長期安定性の観点2

- 好ましい地下環境の特性(地下の温度、地下水の動きや水質、岩盤の性質)が長期にわたって確保できるか

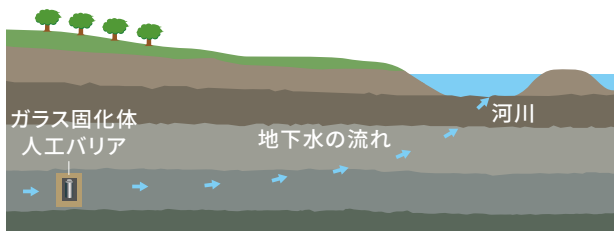


▶ 評価の例 放射性物質が地下水により地表まで運ばれると仮定した場合の評価のイメージ

地下水により放射性物質が地表まで運ばれると仮定して、その現象の経過を考察し、解析により人間の生活環境への影響の程度を算出します。

地下水により放射性物質が地表にまで運ばれる安全評価用のモデルのイメージ

処分場閉鎖から1000年後に、すべてのガラス固化体と地下水が接触し、放射性物質の溶出が開始すると仮定



可能性が極めて小さい事態も想定したモデルのイメージ

処分場を横切るような大規模な断層が発生すると仮定



地下水により放射性物質が地表まで運ばれるようなケースについては、岩盤、地下水の特性の違いや、人工バリア、天然バリアの性能が最もありえそうな想定より低い場合を設定するなどして、多数のケースを解析しています。

安全確保にむけた技術的取組み

地層処分事業を実現するためには、事業が社会に受け入れられることが重要です。地層処分の安全性をどのように確保するのか、技術的な根拠をもって説明することは、事業者であるNUMOの責務です。そのため、NUMOは「包括的技術報告書」を公表しました。

▶ 包括的技術報告書

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—



包括的技術報告書
特設ページ

▶ 地層処分 安全確保の考え方

安全確保の概要を40ページほどでまとめた冊子もあります



「地層処分 安全確保の考え方」
PDF



自然現象(火山・活断層)の影響と対応

放射性物質を長期にわたり地下深くに隔離する地層処分は、処分場の建設にあたり、**火山活動や断層活動の影響を考慮**する必要があります。

火山活動による影響として、例えば、マグマの貫入、地温の上昇、地下水の水質の変化などが考えられますが、それらの影響を避ける必要があります。また、断層活動による処分場の破壊などによって閉じ込め機能が低下することがないように、断層によるずれなどの影響を避ける必要があります。

▶ 日本列島周辺のプレート配置の推移

日本列島周辺では、約1000万年前に現在とほぼ同じプレート配置ができあがりました。

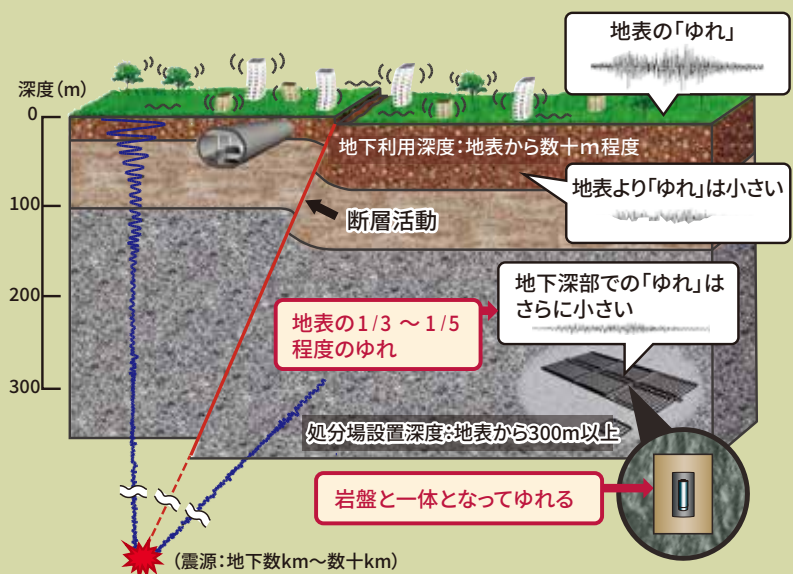
プレートの動きの方向や速さは数百万年前からあまり変化がなく、今後も10万年程度はほとんど変化しないと考えられています。

また、処分施設は、活断層などを避けて設置することで、極めてゆっくりと動くプレートと一体となって動き、構造や形状は長期にわたって変化しにくいと考えられます。

地震によるゆれ／地質環境への影響

これまでの観測データから、地下のゆれは地表の1/3～1/5であることが分かっています。加えて、処分場を閉鎖した後では、岩盤(天然バリア)と人工バリアと一緒にゆれることとなるため、廃棄体が著しく破壊される可能性は非常に低いと考えられます。

なお、地震によって一時的に水圧などの地下水の状況が変化することもあります。時間が経てば元の状態に戻ることが観測されています。



▶ 日本列島の火山活動の推移

プレート運動の傾向は、過去数百万年程度変わっておらず、火山の分布に大きな変化は見られません。現在知られている火山の分布とその影響範囲の把握に基づき、将来にわたる火山活動の可能性やその影響を検討することで、火山による影響は回避できると考えています。

約260万年前～約80万年前に活動した火山

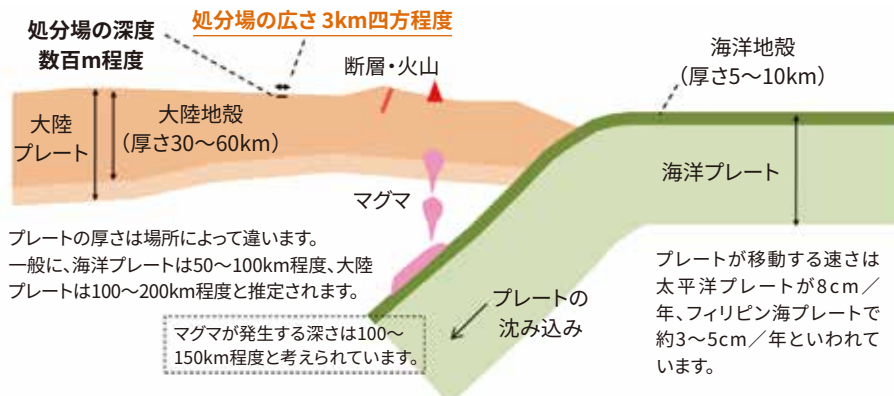


- ・中期更新世とは：第四紀の中の更新世(約260万年前から約1万年前)のうち、約80万年前から約13万年前までの期間
- ・第四紀とは：約260万年前以降の地質時代

約80万年前～現在に活動した火山



日本の火山(第3版)(産業技術総合研究所地質調査総合センター)に基づいて作成



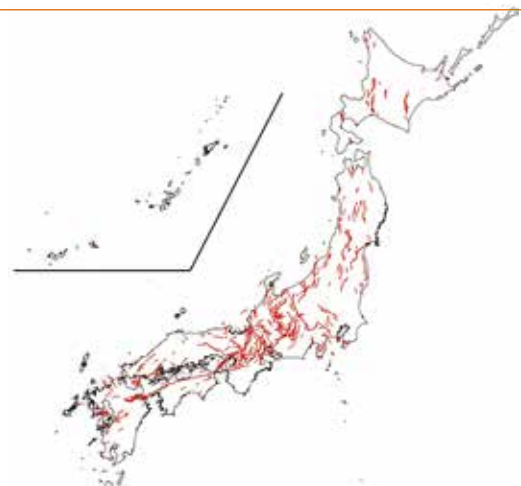
「地震がわかる!」(地震調査研究推進本部, 2017) (※) p.33を参考に作図。プレートの移動の速さ、地殻の厚さ及びマグマが発生する深さは、同資料のそれぞれp.25, 30, 33より。プレートの厚さは「プレート収束帯のテクトニクス学」(木村, 2002) p.12より。 (※) https://www.jishin.go.jp/main/pamphlet/wakaru_shiryo2/wakaru_shiryo2.pdf

▶ 陸域の活断層の分布

断層のうち過去数十万年にわたって繰り返し活動しているものは活断層と呼ばれています。

断層活動が同じ場所で繰り返されるのは、断層は一度形成されると周りの岩盤より強度が弱くなり、既存の断層に沿って破壊が発生する傾向があるためです。

既存の断層の分布と影響範囲を把握することで、将来の断層活動の可能性やその影響を検討し、断層によるずれなどの影響は回避できると考えています。



出典：活断層データベース
(産業技術総合研究所 https://gbank.gsj.jp/activefault/index_gmap.html)



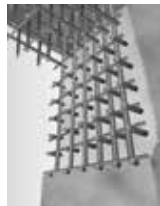
建設・操業時の安全確保

▶ 地上施設の耐震設計、津波対策

- 操業中は地震、津波などの自然災害により地上施設が破壊されないようにする必要があります。そこで処分地選定調査の段階で火砕流の影響範囲などを把握します。
- 調査結果を踏まえて、地上施設の耐震設計・津波対策（必要に応じて、施設設置位置の検討、防潮壁、浸水防止用の防水扉の設置）などの安全対策を施します。

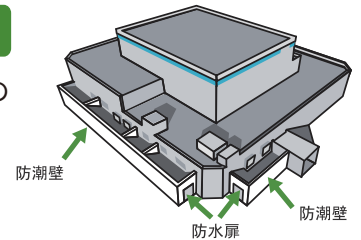
地震対策の例

耐震性を高めるための鉄筋コンクリート壁



津波対策の例

津波時の浸水防止のための防潮壁・防水扉
日本原子力文化財団：原子力・エネルギー図面集(10-3-2)をもとに加工



▶ 輸送時の安全確保

高レベル放射性廃棄物の一時貯蔵施設から処分場までの輸送については、専用の輸送船・輸送車両で海上・陸上輸送を行うことを想定しています。海上輸送、陸上輸送ともに国内外で多くの実績があります。また、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、専用道路の設置などを検討します。さらに輸送中の自然災害などを考慮し、道路や港湾施設を適切に設計する、輸送時期や経路を検討するなど、必要な対策を講じます。

専用輸送船のイメージ



専用輸送車両のイメージ



▶ 環境保全への対応

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・振動など一般的な環境調査項目に加え、地下岩盤の掘削にともなう掘削残土の処理や、坑道内の湧水を周辺の河川などに放流する際の影響などについても調査と予測評価を行い、必要な対策を講じます。

▶ モニタリングによる確認

建設・操業・閉鎖までの間は、放射性物質の漏えいがないことを常時モニタリングして確認するとともに、万一異常が認められた場合は、原因を調査して対策を講じます。また、施設の閉鎖後の具体的なモニタリングについては、地域の皆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、十分な対応を図っていきます。

回収可能性の確保について ガラス固化体を回収できるようにしておきます

将来的に地層処分に代わる技術が開発される可能性などに備えて、一度地下施設に埋設された後でも、安全が確保される範囲内で、ガラス固化体を回収する（取り出す）ことができるようにしておくことが求められています。そのために必要となる回収技術の検討を進めています。



科学的特性マップ

国は、国民の皆さまに地層処分の仕組みや日本の地質環境などについて理解を深めていただくために、2017年7月、「科学的特性マップ」を公表しました。地層処分に関する地域の科学的特性を全国地図の形で示したものです。

また、NUMOは、広く全国で対話活動を展開しています。一人でも多くの皆さまに日本の地下環境の特性などに関心を持っていただき、地層処分の安全確保の考え方などについてご理解をいただくことに努めています。



科学的特性マップは、それぞれの地域が処分地としてふさわしい科学的特性があ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・評価していきます。

科学的特性マップ

https://www.enecho.meti.go.jp/category/electricity_and_gas/nuclear/rw/kagakutekitokuseimap/
よりダウンロード可能です。

※地域ブロック別の地図もあります。



段階的な調査

文献調査に始まる処分地選定調査は、調査範囲を絞り、詳細度を高めながら地下の状況などを把握し、安全な地層処分が可能かどうかを評価するために段階的に実施します。各段階では、安全を第一にしっかりと技術的検討を行います。また、地域経済社会への効果、影響などについても検討を行い、地域の皆さまに情報を提供してまいります。次の調査に進もうとする場合には、改めて都道府県知事と市町村長のご意見を聴き、これを十分尊重することとしており、**当該都道府県知事又は市町村長のご意見に反して先へ進むことはありません。**

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。

20年程度の調査期間中、放射性廃棄物は一切持ち込まない



▶ 文献調査の開始について

2020年10月、北海道寿都町及び神恵内村に文献調査受入れを判断いただきました。これを踏まえ、同年11月、NUMOの事業計画変更を国が認可し、文献調査を開始しました。2021年3月には、現地に職員が常駐するコミュニケーション拠点も開設しています。また、同年4月からは両町村で「対話の場」が開始されています。

引き続き、地域のご理解とご協力を得ながら、全国のできるだけ多くの地域に、地層処分事業に関心を持っていただき、文献調査を受け入れていただけるよう、取り組んでまいります。

文献調査や「対話の場」について詳しくはこちら →

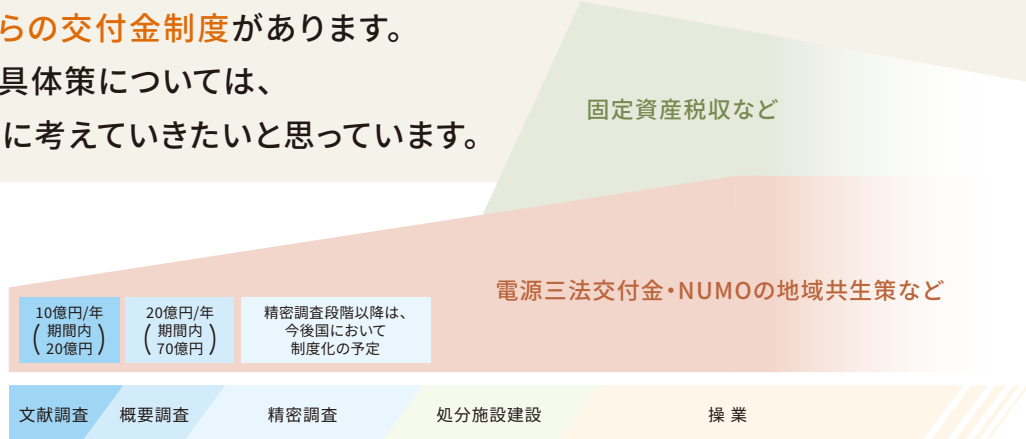




地域との共生に向けた取り組み

地層処分事業を受け入れていただいた地域において、事業の実施にともない長期にわたる雇用・税収・資機材調達などの**経済波及効果が見込まれる**ほか、そこに至るまでの調査段階において、**国からの交付金制度**があります。

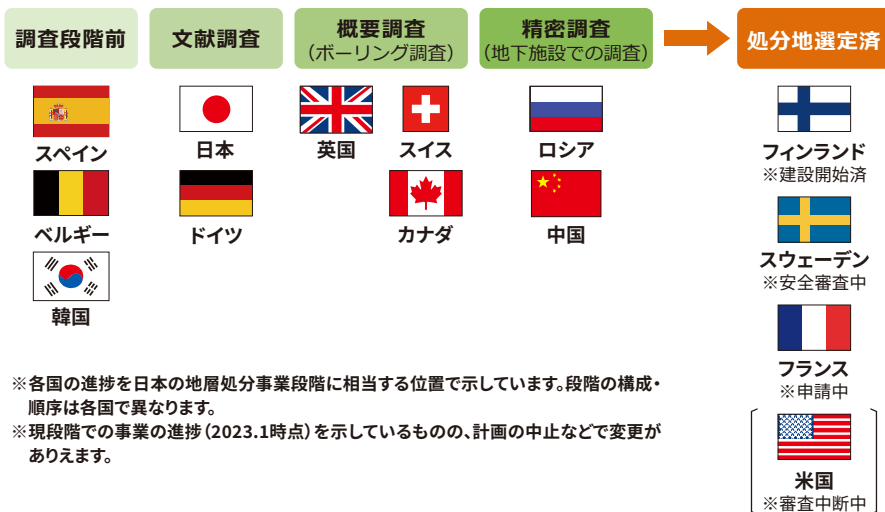
その他、地域共生の具体策については、地域の皆さまとともに考えていきたいと思っています。



海外における地層処分の状況

高レベル放射性廃棄物の最終処分は、日本だけでなく**原子力を利用してきた全ての国に共通する課題**です。地層処分は高レベル放射性廃棄物を処分する最も実現性の高い方法であると国際的に認知されており、フィンランドとスウェーデンではすでに処分地が決定しています。特に**フィンランドでは2016年12月から処分施設の建設が開始**されています。

▶ 世界各国の進捗状況



※各国の進捗を日本の地層処分事業段階に相当する位置で示しています。段階の構成・順序は各国で異なります。
※現段階での事業の進捗(2023.1時点)を示しているものの、計画の中止などで変更があります。

スウェーデン エストハンマル^(※)前市長
※スウェーデンの処分場建設予定地



- 地層処分場は「ごみ捨て場」ではなく「ハイテク技術が集まる工業地域」になる、との前向きなイメージが市民と共有できた。
- 処分施設への投資は地域の雇用や生活を向上させる。
- 優れた人材が集まり、研究者や見学者が世界中から訪れるだろう。

2016年国際シンポジウム(東京開催)にて

世界各国の進捗状況に関する
詳しい情報はこちら →



NUMOは、全国の皆さまに地層処分事業とNUMOについて 知っていただくため、 さまざまな取り組みを実施しています。

〈主な活動例〉

対話型全国説明会



地層処分について理解を深めていただけるよう、全国各地で説明会を実施しています。

学習支援事業



地層処分についての学習（勉強会や関連施設の見学会など）を希望される団体を対象に支援を行っています。

イベント開催



全国各地でさまざまなイベントを開催しています。地層処分展示車の出展やパネル展示、ベントナイトを使った実験などを行っています。

教育支援・出前授業



教育関係者の皆さまの地層処分に関する自発的な研究活動を支援しています。また、全国の学校で出前授業を実施しています。



ホームページ

<https://www.numo.or.jp/>



Facebook



Instagram



YouTube

お問い合わせ先

〒108-0014 東京都港区芝4-1-23 三田NNビル2F

原子力発電環境整備機構（NUMO）広報部

TEL : 03-6371-4003 FAX : 03-6371-4101

