# 第７回神恵内対話の場

## 次　第

１．日　時：2022年4月２７日（水）18：30～

２．場　所：漁村センター

３．議　題：

（１）運営委員会の結果報告

（２）前回の振り返り

（３）地層処分のリスクと安全対策について

- NUMO からの説明
- テーブル毎に質疑応答

以　上

資料１

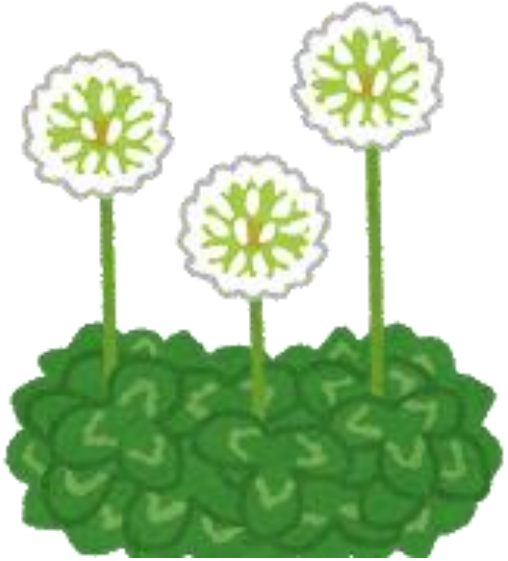
# 第７回　対話の場を始めましょう

今日もご参加いただき
ありがとうございます

# 本日のメンバーのご紹介

# 今日の流れ

- ファシリテーターの立ち位置の確認
- 運営委員会の報告
- 前回の振り返り
- 地層処分のリスクと安全対策について
  説明、質疑応答
- まとめ



# ファシリテーターの
# 立ち位置の確認

# NPO法人
# 市民と科学技術の仲介者たち
## モットー

- 私たちは、市民が科学技術を良く知り、正しく恐れる活動に関わります。
- 私たちは、科学技術問題を扱う場の仲介者として、企画と進行をお世話します。
- 私たちは、予め答えが決まっている場には関わりません。
- 私たちは、何らかの答えを誘導するような行為には関わりません。

# 私たちは誰のためにここにいるのか？

私たちは、

対話の場に参加してくださっている皆さん
神恵内村に心を寄せてくださっている皆さん
将来世代の皆さん

のために、この場にいます。

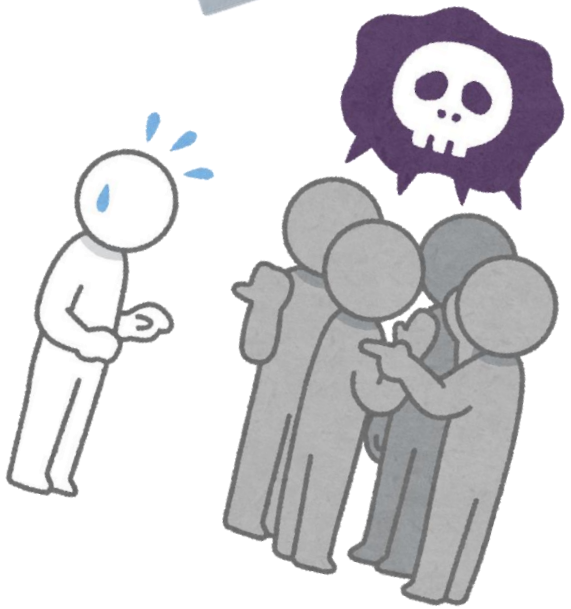
# 対話の場の約束

みなさんには、「対話」をしていただこうと思って、お集まりをいただきました。色々な立場の方の、それぞれの声を、大事にする場を作りたいと思います。

言い争いや分断は避けたいと思います。みなさんが安心して話ができるように、ご協力をお願いします。

# 対話の場の約束

- お互いの意見に耳を傾けましょう。
- みなさんの声を聞きたいので、1人の人が長く(5分くらい)話していたら、ファシリテーターが止めることがあります。
- 人の話を否定するのはやめましょう。
- ここで話された内容を、ここ以外の場所で話すときには、個人を特定できないようにご注意ください。



# この進め方でよろしいですか？

ご要望があれば修正します。

資料２

# 専門家によるシンポジウムの開催について

対話の場でのご意見、村民アンケートのご意見を踏まえ、専門家のご意見を伺う機会を作り、村の皆さんの「伺いたい」に答えることを目的として、対話の場主催でシンポジウムを開催します。

## １．日　時

2022 年 5 月 29 日（日）15：00～17：30

## ２．場　所

漁村センター

## ３．対　象

神恵内村民

## ４．専門家

伴　英幸 氏　NPO 法人原子力資料情報室　共同代表

吉田　英一 氏　名古屋大学博物館教授　館長

## ５．進　行

「対話の場」ファシリテーター大浦宏照さん、佐野浩子さん

## ６．その他

- シンポジウムの模様は、参加される皆さまのプライバシーに配慮するよう要請したうえで、報道機関に公開する予定です。また、事務局でもプライバシーに配慮して撮影し、後日、NUMO のホームページに掲載する予定です。
- 親子で参加できるように、お子様連れの方向けの別室をご用意する予定です。別室では、会場の様子を映像と音声でご覧いただけます。

以　上

資料３

# 地層処分の
# リスクと安全対策 について

2022年4月27日

原子力発電環境整備機構（NUMO）
ニューモ

# 目次

１．地層処分の対象となる廃棄物
２．地層処分が選ばれた理由
３．地層処分において考慮すべきリスク要因と安全対策
４．それぞれのリスク要因とその対応

# 目次

1. 地層処分の対象となる廃棄物
   - 高レベル放射性廃棄物
   - TRU廃棄物
2. 地層処分が選ばれた理由
3. 地層処分において考慮すべきリスク要因と安全対策
4. それぞれのリスク要因とそれへの対応

# 高レベル放射性廃棄物

●原子力発電所は、ウランを燃料にして電気を作っています。

●使い終わった燃料（**使用済燃料**）の中には、まだ使える燃料が残っているので、これをリサイクル（**再処理**）して再び燃料として利用します。

●リサイクルの後に残る**廃液を熱で融かしたガラスといっしょに固めます**。

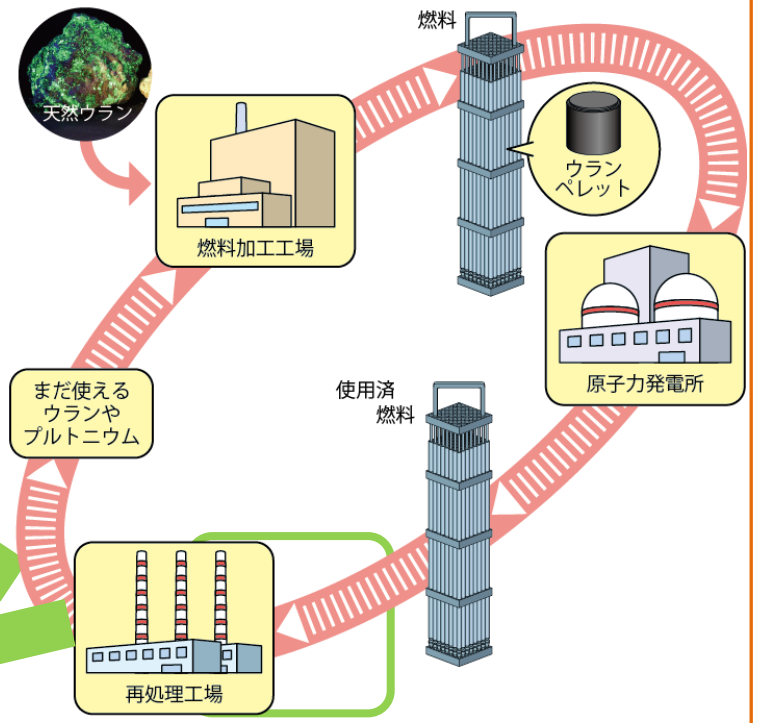
これを**「高レベル放射性廃棄物」**といいます。

＝

熱で融かしたガラスといっしょに固めたものなので、

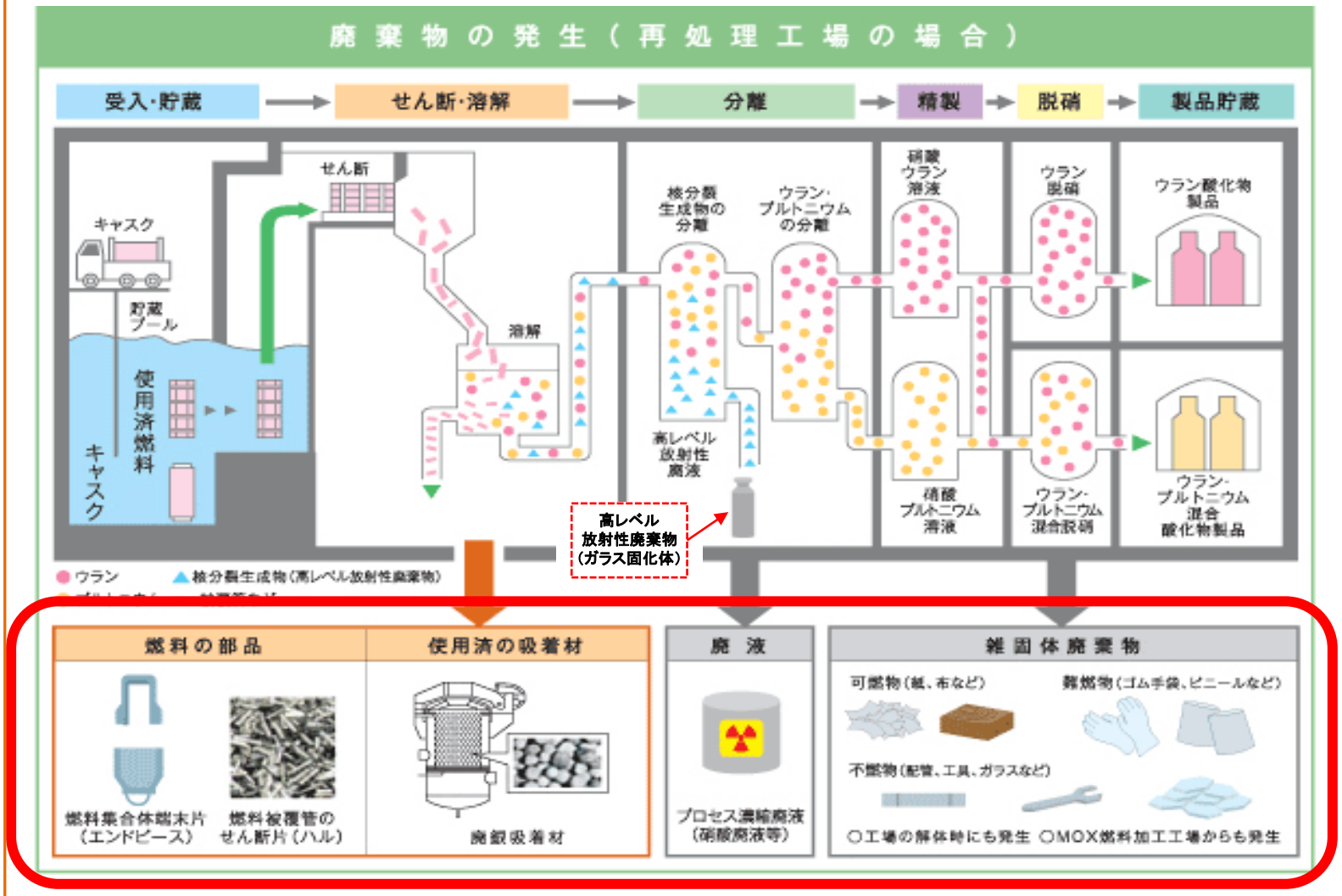
**「ガラス固化体」**

ともいいます。




●再処理工場の稼働等に伴い、**「TRU廃棄物」**も発生します。

# TRU廃棄物




TRU廃棄物

- ウランより原子番号が大きい放射性核種（TRU核種：Trans-uranium）を含み、発熱量が小さく長寿命の放射性廃棄物のことを、TRU廃棄物と呼びます。
- 再処理工場から発生するTRU廃棄物、およびMOX燃料加工工場から発生する雑固体状のTRU廃棄物のうち、放射能レベルが一定以上のものも**地層処分の対象**となります。

# （参考）放射性廃棄物の種類と処分方法

**発生元**

**放射性廃棄物の種類**

＊ 最終処分法の対象

**処分方法**

**原子力発電所**

**再処理施設等**

**使用済燃料**

## 低レベル放射性廃棄物

（１）廃止措置で発生する鉄骨・コンクリート等

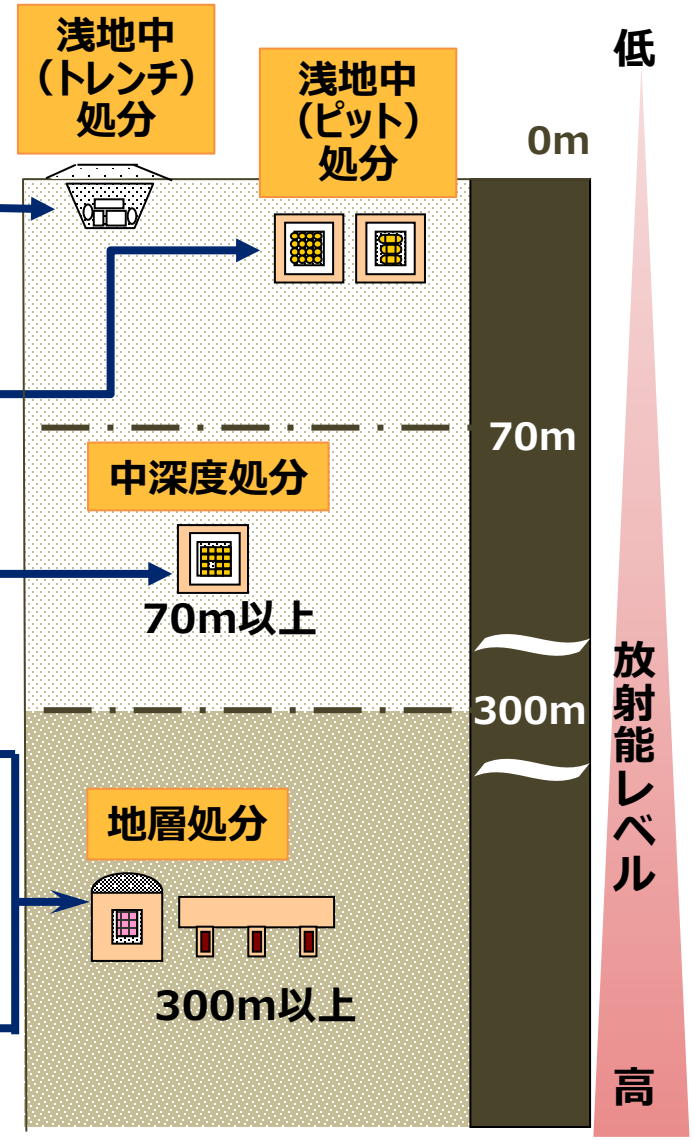
（２）通常の運転に伴い発生する廃液・フィルター・消耗品（手袋等）等
廃止措置で発生する原子炉圧力容器等

（３）廃止措置で発生する制御棒、炉内構造物等

（４）再処理工程等で発生する、放射性レベルが比較的高く半減期が長い、燃料被覆材(ﾊﾙ・ｴﾝﾄﾞﾋﾟｰｽ)や濃縮廃液等＊

## 高レベル放射性廃棄物

（５）ガラス固化体（再処理により、ウラン・プルトニウムを分離・回収した後に残った廃液をガラスで固めたもの）＊



# 目次

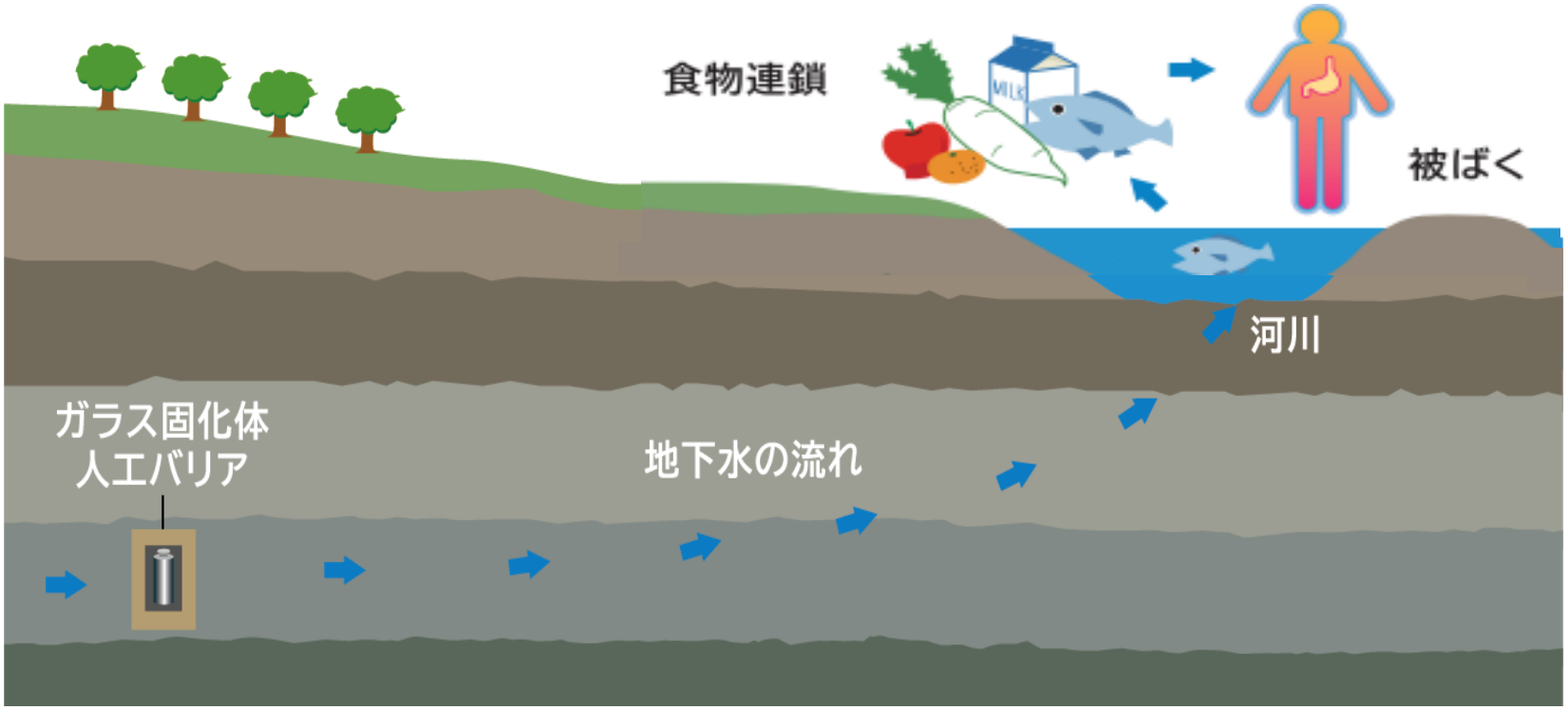
1. 地層処分の対象となる廃棄物
2. 地層処分が選ばれた理由
- 放射性廃棄物処分の考え方
- ガラス固化体の放射線の量と時間変化
- 地上におけるガラス固化体の保管
- 長期間の安全を確保するために考慮すべき事項
- さまざまな処分方法の検討
- 諸外国の状況

3. 地層処分において考慮すべきリスク要因と安全対策
4. それぞれのリスク要因とその対応

# 放射性廃棄物処分の考え方

- **放射性物質の処分にあたっては、「人間の生活環境に影響を与えないこと」が最も重要です。**

- **この後、地層処分が選ばれた理由、考慮すべきリスク要因とその対応について説明いたします。**

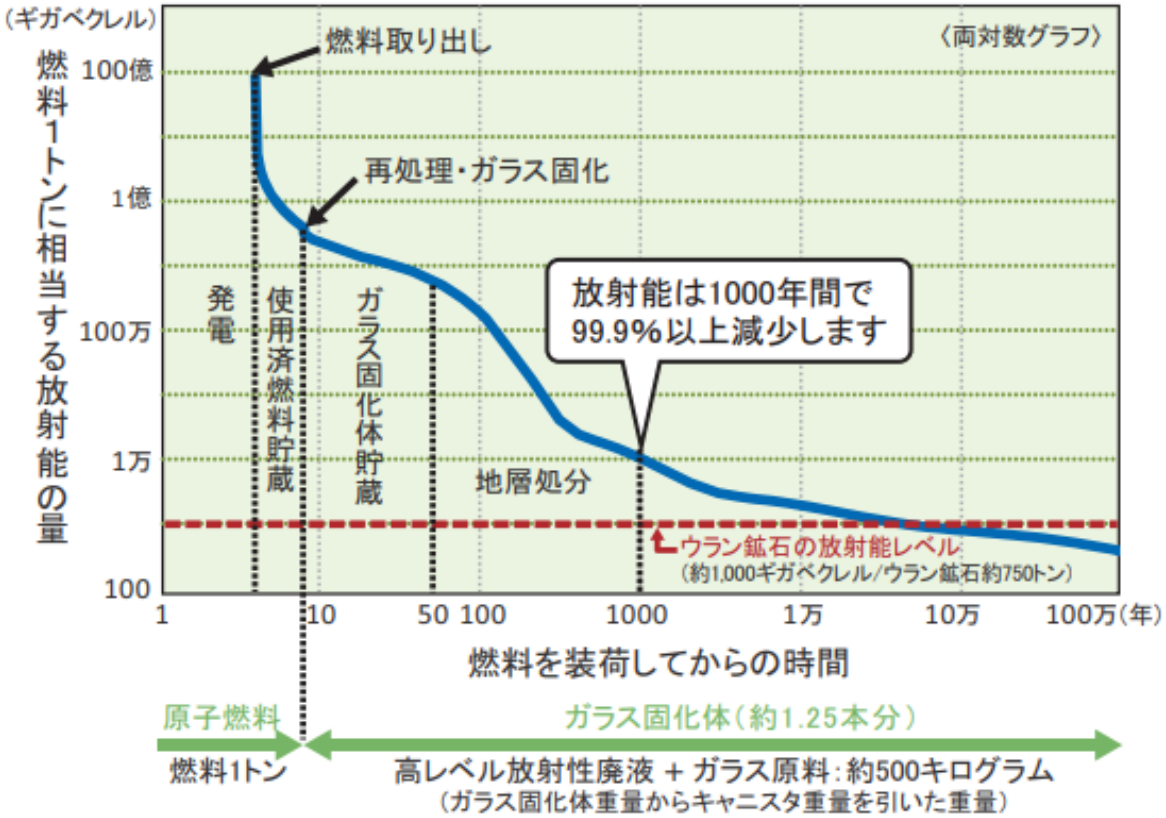


# ガラス固化体の放射線の量と時間変化

●ガラス固化体は、初めのうちはたいへん強い放射線を出しますが、放射能（放射線を出す能力）は、最初の1000年間で急激に弱くなり、99.9パーセント以上失われます。

●その後はゆっくりと減っていき、ウラン鉱石の放射能レベルになるまでに数万年かかります。

▼ガラス固化体の放射能の経時変化

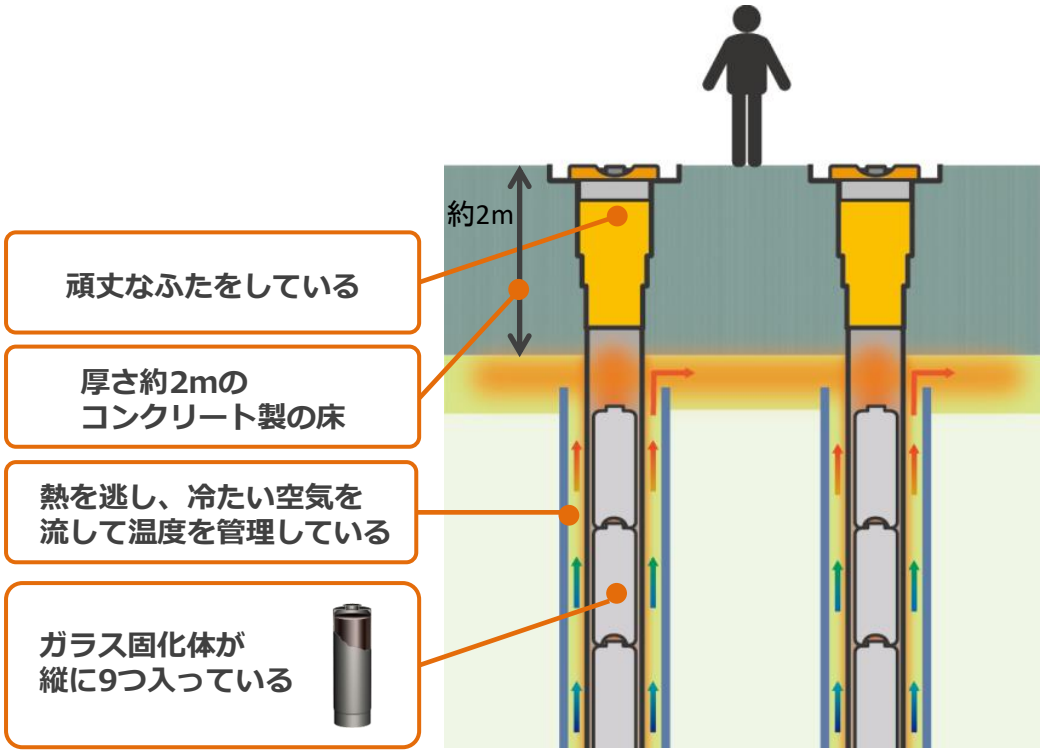


# 地上におけるガラス固化体の保管

- ガラス固化体は、青森県六ヶ所村の貯蔵管理センターなどに、約2，500本が保管されています。
- 作ったばかりのガラス固化体は、強い放射線を出しています。
- 強い放射線は、人間にとって危険なものですが、厚さ2mくらいのコンクリートがあればさえぎることができます。

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）

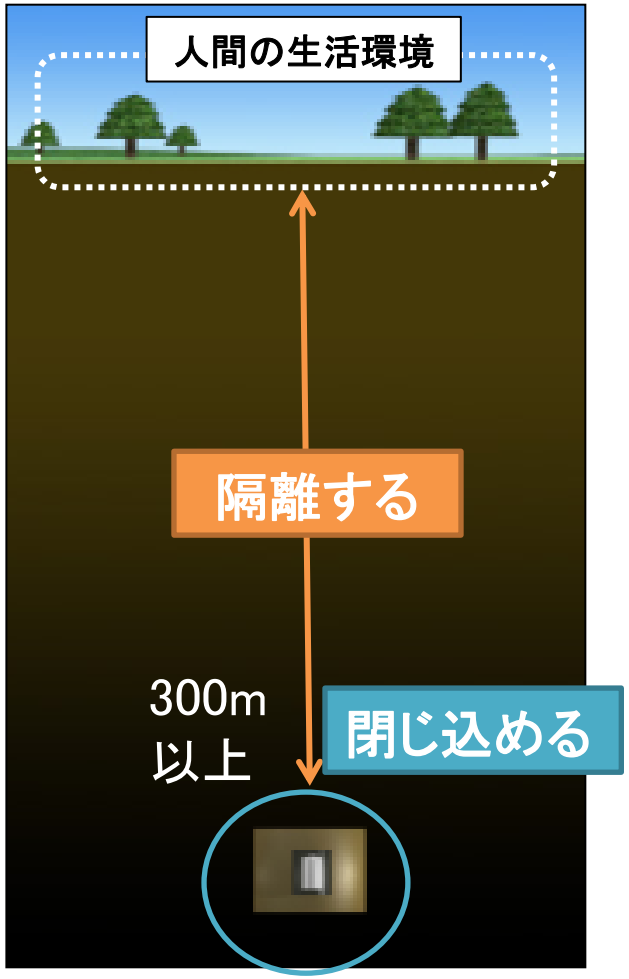
**日本にどのくらいあるの？**
ガラス固化体としては約2,500本、
ガラス固化体になる前の使用済燃料を含めれば
約26,000本相当が国内にあります。



# 長期間の安全を確保するために考慮すべき事項

●数万年もの長期間にわたりガラス固化体を地上で管理し続けることは、将来世代に重い負担を残すことになるため、避けなければなりません。

●人が管理しなくても長期間の安全を確保するために、放射性物質が人間の生活環境に出てこないように、「閉じ込め」で「隔離」することが必要です。

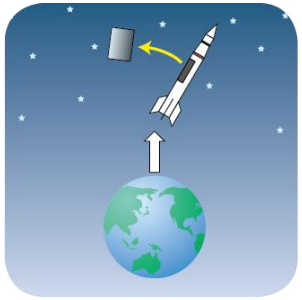


# さまざまな処分方法の検討

- 人間が管理しなくても長期間の安全を確保するために、人間の生活環境から「隔離」して「閉じ込め」るさまざまな処分方法が検討されてきました。

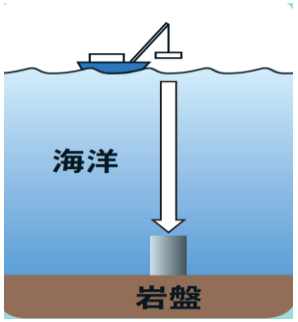
- 日本や世界では、さまざまな方法を検討した結果、地下深く安定した地層（日本では地下300m以上深く）に埋めることにしています。

宇宙に持っていく



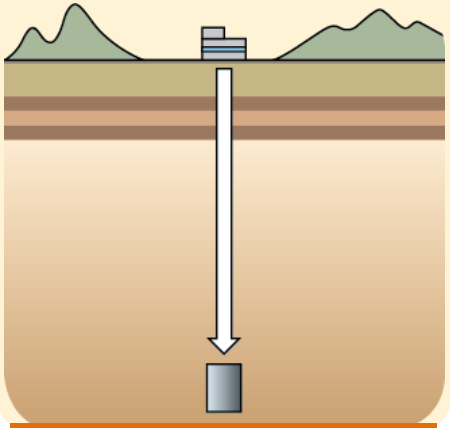
失敗した時の
被害が大きい

海に棄てる




国際条約で禁止

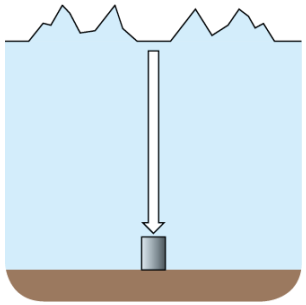
地下深くに埋める



地層処分

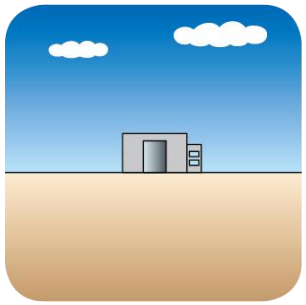
地層の性質を利用する

南極の氷の下に埋める



国際条約で禁止

地上施設で
管理し続ける



長い間、人の管理が続く

自然災害に弱い

# 諸外国の状況

- 日本以外の国々も、高レベル放射性廃棄物の地層処分を進めるために、取り組んでいます。
- スウェーデンやフィンランドでは、すでに地層処分する場所が決まっています。フィンランドでは建設中です。

| 調査段階前 | 文献調査 | 概要調査（ボーリング調査） | 精密調査（地下施設での調査） | → | 処分地選定済 |
|---|---|---|---|---|---|
| ベルギー | 日本 | スイス | フランス | | フィンランド ※建設中 |
| 韓国 | ドイツ | カナダ | 中国 | | スウェーデン ※事業許可済 |
| スペイン | | 英国 | | | （米国 ※審査中断中） |

※前々回（10月15日）資料に中国・英国・ドイツの進捗を反映

# 目次

1. 地層処分の対象となる廃棄物
2. 地層処分が選ばれた理由
3. 地層処分において考慮すべきリスク要因と安全対策
- 「閉じ込め」て「隔離」する仕組み
- 「閉じ込め」と「隔離」のために考慮すべき地質環境
- 安全確保の基本的考え方
- 数万年以上を見据えたリスクへの対応
- 建設・操業時のリスクへの対応
4. それぞれのリスク要因とその対応

# 「閉じ込め」て「隔離」する仕組み

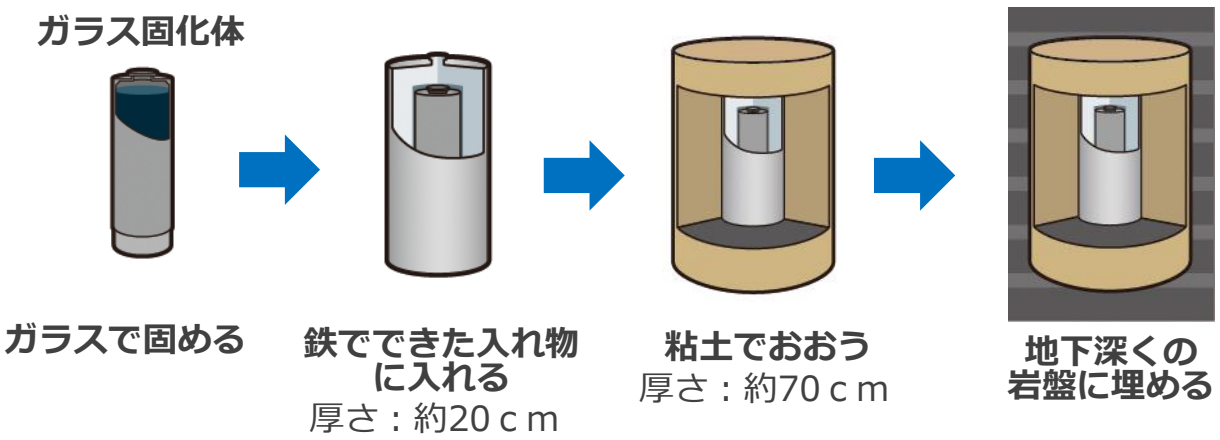
放射性物質をしっかりとおおう

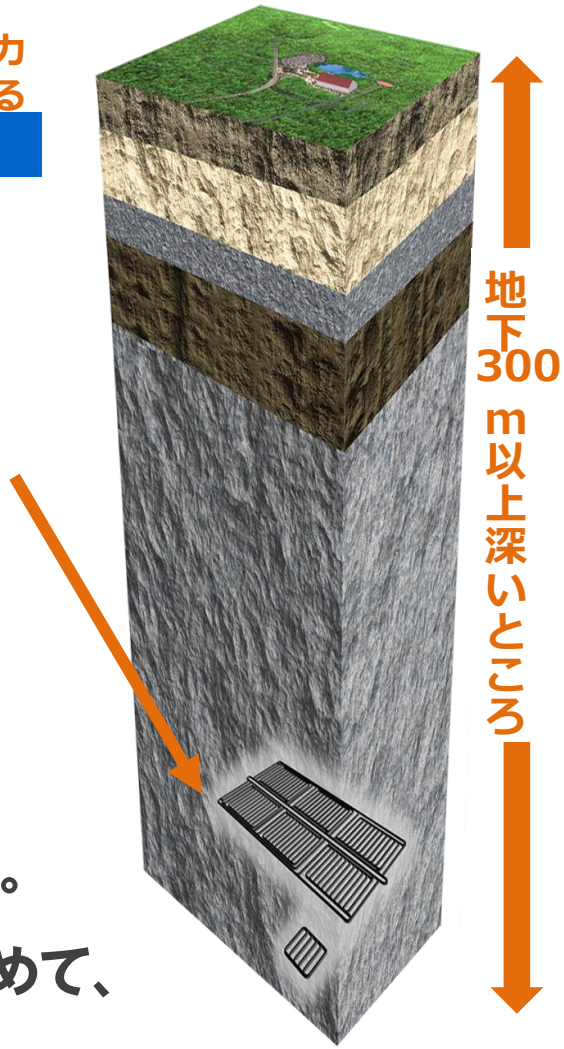
**人工バリア**

＋

ものを閉じ込める力を持つ地下に埋める

**天然バリア**



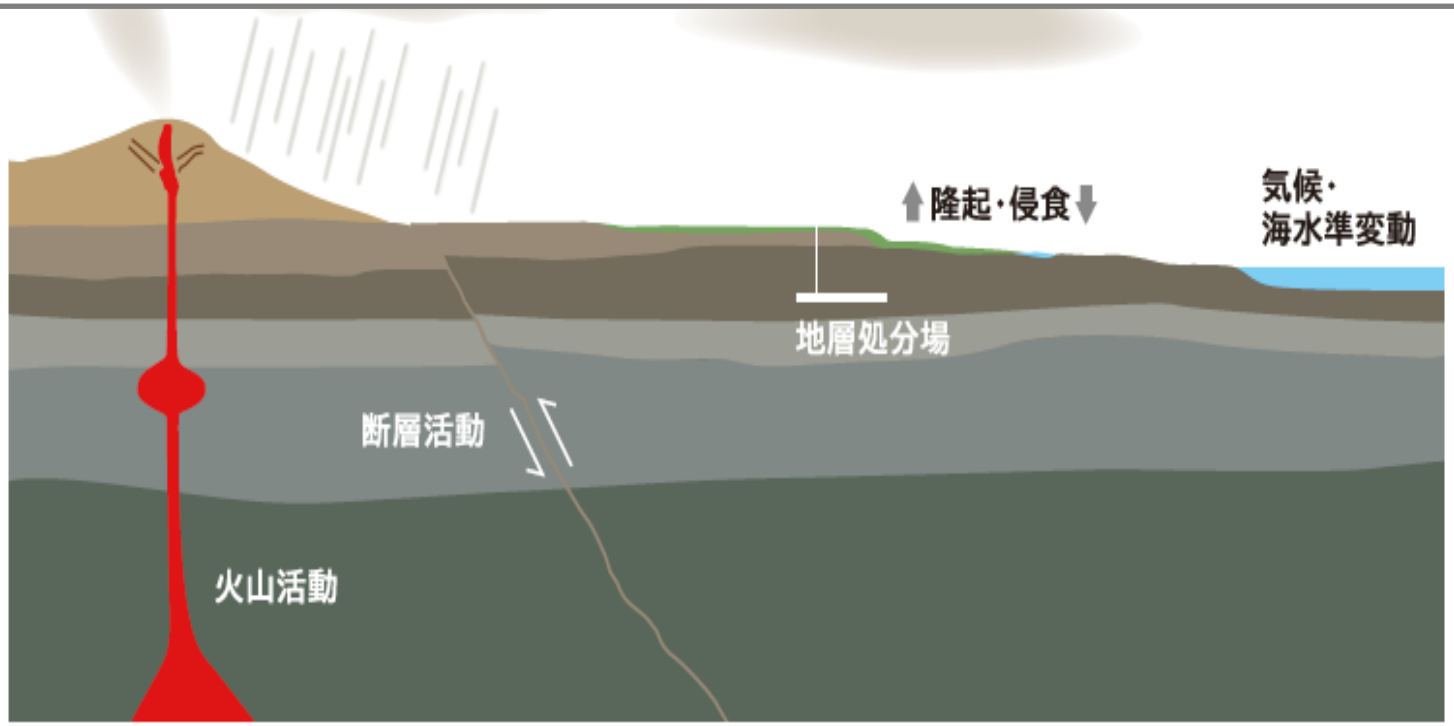




- ガラス固化体自体も人工バリアです。
- ガラス固化体を、鉄の入れ物と粘土でおおいます。
- 地下300m以上深くの、安定した岩盤の中に埋めて、私たちの生活環境から遠ざけます。

# 「閉じ込め」と「隔離」のために考慮すべき地質環境①

- **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、**火山や活断層等**を避けることが必要です。

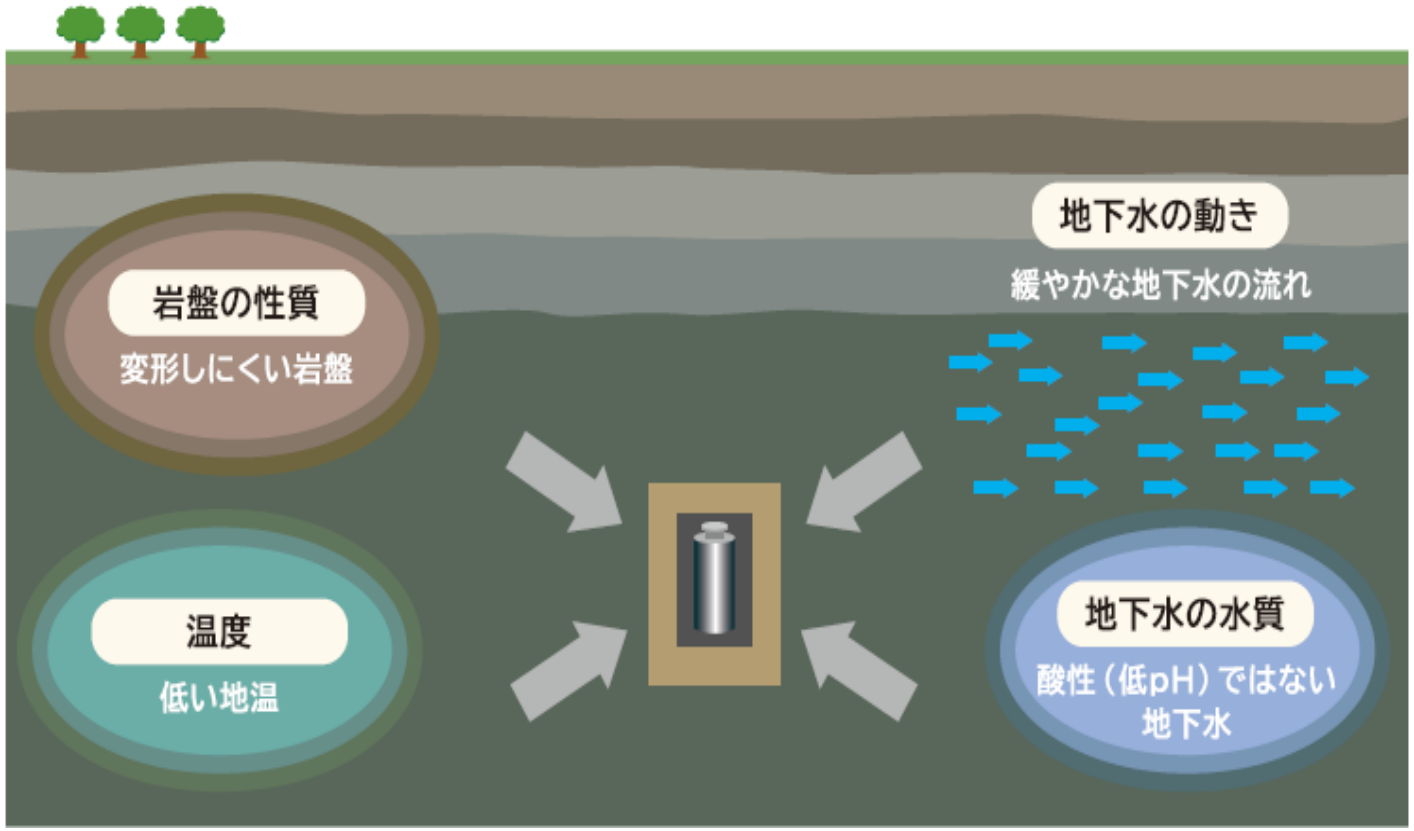
**火山活動によりマグマが処分場を直撃すると、放射性物質がマグマの上昇や噴出に伴って地表に現れてしまいます。**
**また、活断層が処分場を直撃すると、「閉じ込め」機能が失われ、放射性物質が地下水の流れにのって地表に現れてしまいます。**



# 「閉じ込め」と「隔離」のために考慮すべき地質環境②

- また、**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、総合的に評価する事が必要です。

**水質が酸性だと、ガラス固化体から放射性物質が溶け出しやすくなります。**
**また、地下水の動きが速いと放射性物質の移動が速くなります。**



# 安全確保の基本的考え方

リスク要因の抽出 ⇨ 立地による対応 → 設計による対応 → 安全性の確認 ⇨ 次段階へ

**数万年以上を見据えたリスク**

- 火山
- 活断層
- 地下水
- 鉱物資源 など

- **数万年以上にわたる期間の「閉じ込め」と「隔離」機能に対するリスク要因**を抽出して、その**リスクを小さくできる対応策**を実施し、**安全性を確認**します。
- **リスク要因を場所的に避ける「立地による対応」**と**設計上の工夫でリスクを小さくする「設計による対応」**を実施し、その結果を**シミュレーションによって評価して「安全性の確認」**を行います。

**建設・操業・輸送時リスク**

- 地下水
- 地震
- 津波
- 事故　など

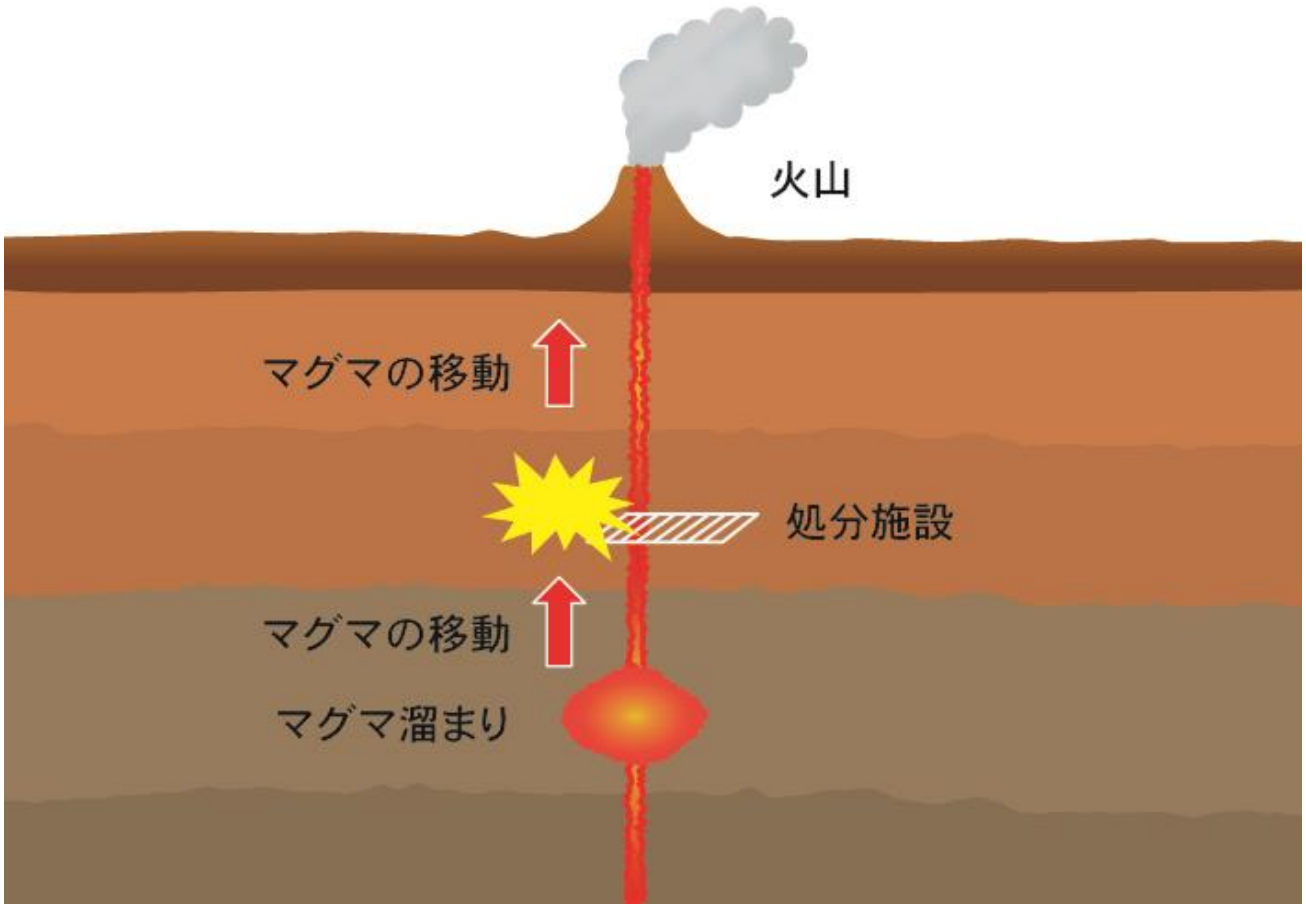
- **建設・操業・輸送時のリスク**に対しても、同様に「立地による対応」と「設計による対応」によってリスクを小さくし、その結果を**シミュレーションによって評価して「安全性の確認」**を行います。

# 目次

1. 地層処分の対象となる廃棄物
2. 高レベル放射性廃棄物処分のリスクと考慮すべき事項
3. 地層処分において考慮すべきリスク要因と安全対策
4. それぞれのリスク要因とそれへの対応
   - 数万年以上を見据えたリスク（火山・活断層・地下水）と対応
   - 数万年以上の長期間にわたる安全性の確認
   - 建設・操業中のリスク（地下水（湧水）・地震・津波・輸送時の事故・施設内での事故）と対応

# 数万年以上を見据えたリスク：火山

- 火山活動によってマグマが処分場を直撃すると、**<u>マグマの上昇や噴出に伴って放射性物質が地表に現れる可能性</u>**があります。

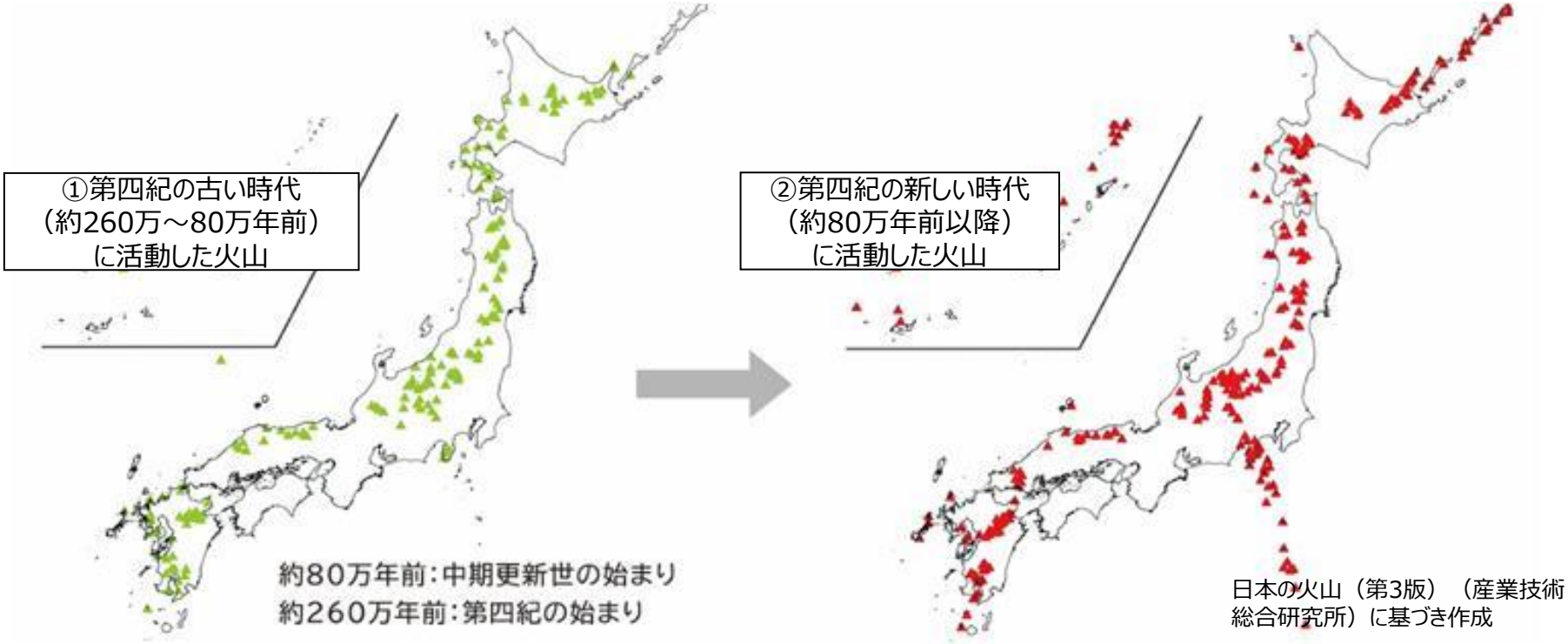


# 数万年以上を見据えたリスク：火山への対応

- **火山活動が起きる地域は特定の地域に偏っており**、その傾向は**数百万年の間ほとんど変化しておらず**、将来もほとんど変化しないと考えられます。
- このような場所は**避けて立地**します。

火山活動が起きる地域は**過去数百万年の間ほとんど変化していません**。

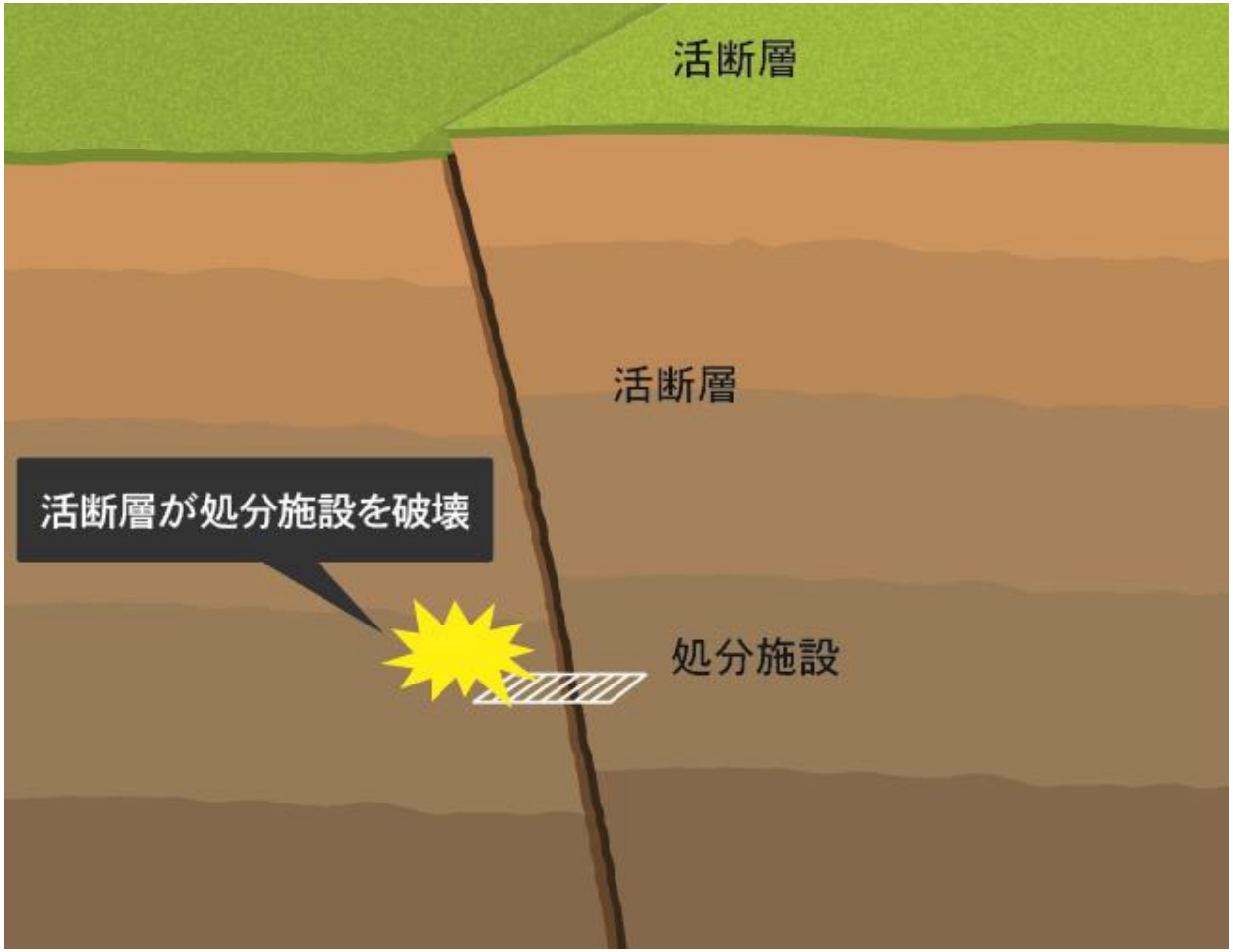
（注）ここでは一例として、**現在を含む地質学的な時代である第四紀**をその中の時代区分で**概ね二分**（①約260万～80万年前と②約80万年前以降 ）




日本の火山（第3版）（産業技術総合研究所）に基づき作成

# 数万年以上を見据えたリスク：活断層

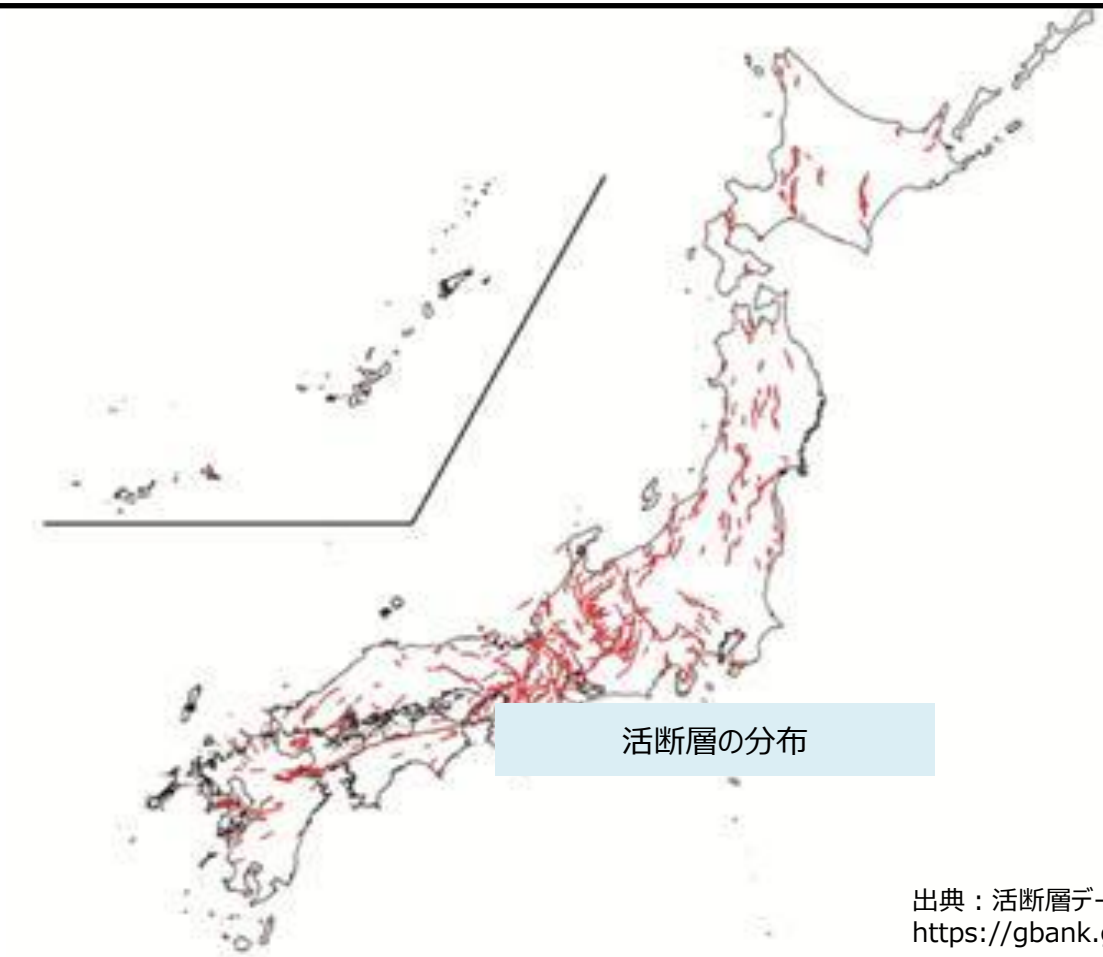
- 断層活動で処分場が破壊されると、**ガラス固化体が直接地下水に触れて放射性物質が溶け出しやすくなったり、断層面に沿って放射性物質を含んだ地下水が地表に現れる速度が速くなったりします。**



# 数万年以上を見据えたリスク：活断層への対応①

- **<u>断層活動は特定の地域に偏り、数十万年にわたり、ほぼ同じ場所で繰り返し起きており</u>**、将来も同様と考えられます。

断層活動は過去**<u>数十万年にわたりほぼ同じ場所で繰り返し起きています</u>**。




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/

# 数万年以上を見据えたリスク：活断層への対応②

- これまで断層活動が繰り返し起きている場所を**<u>避けて立地</u>**します。
  （隠れた活断層は概要調査以降で確認）

## 活断層の調査

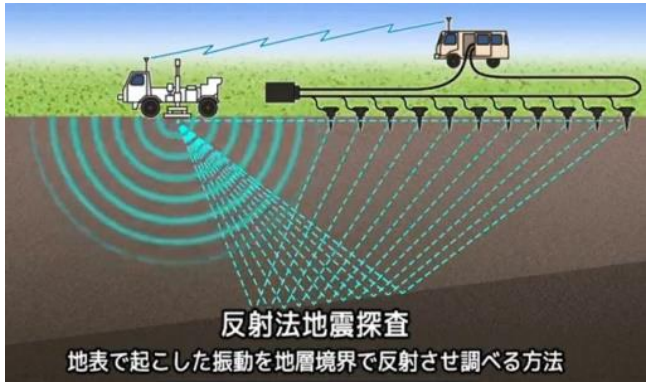
①物理探査

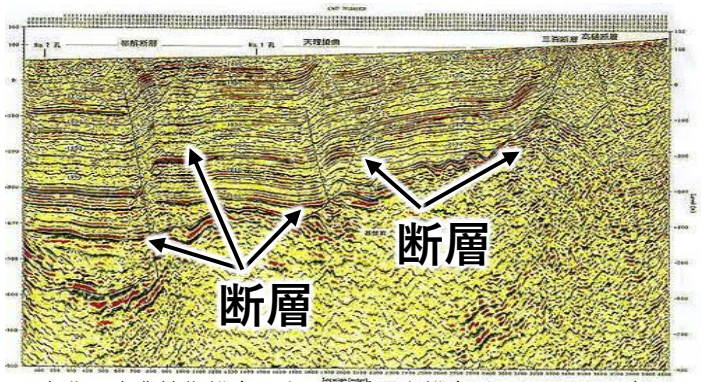
写真提供：地球科学総合研究所ＨＰ

②ボーリング調査

③トレンチ調査

（遠田ほか,2009）

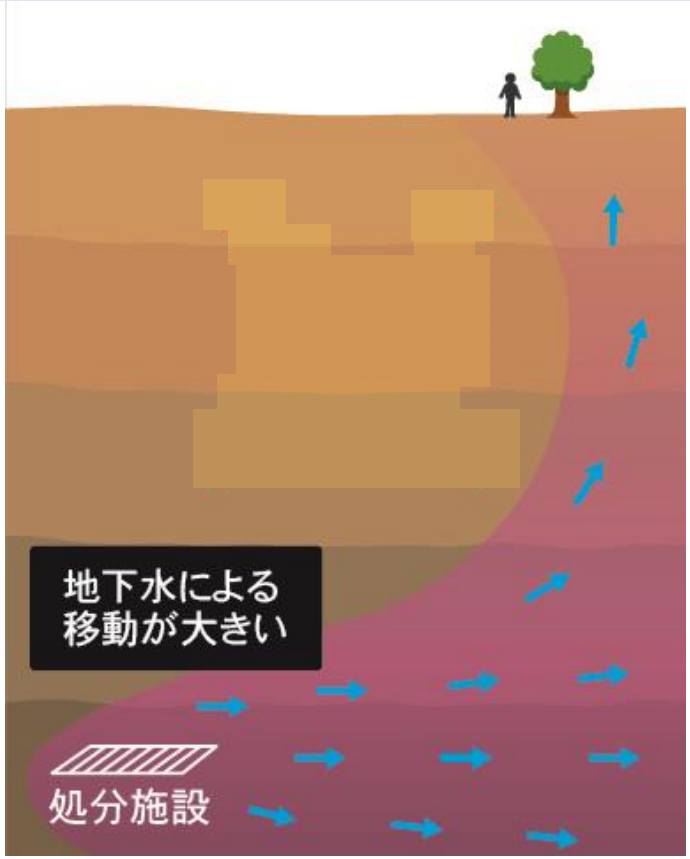



出典：産業技術総合研究所地質調査総合センターウェブサイト
https://www.gsj.jp/publications/actfault-eq/h8seika.html#nara

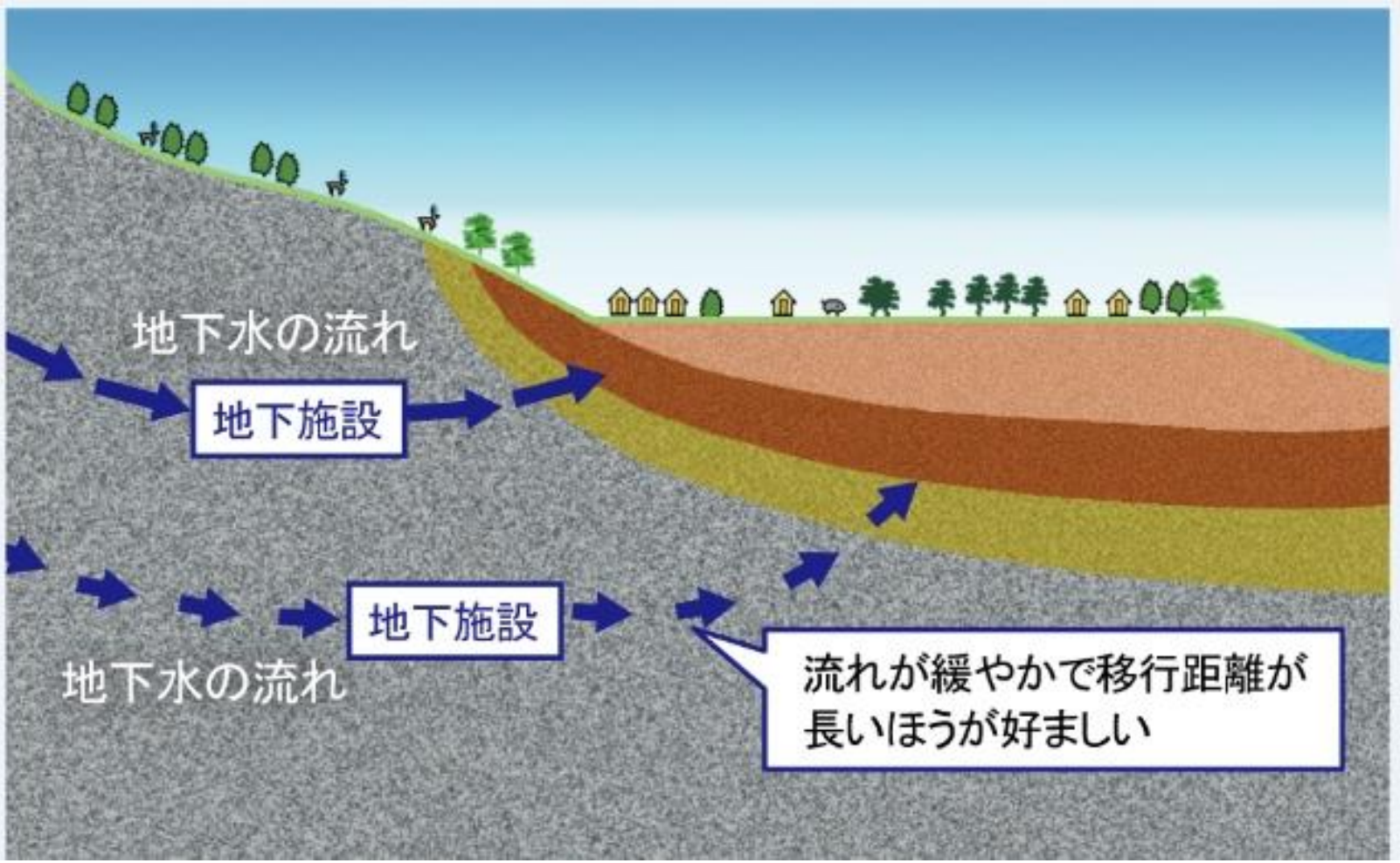
# 数万年以上を見据えたリスク：地下水

- 地下水の流れが速いと、**地下水の流れに乗って放射性物質が移動する速度が速くなります。**
- 地下水の水質が酸性の場合には**ガラス固化体から放射性物質が溶け出しやすくなる**ため、このような性質についても調べてより好ましい場所を選びます。



# 数万年以上を見据えたリスク：地下水への対応①

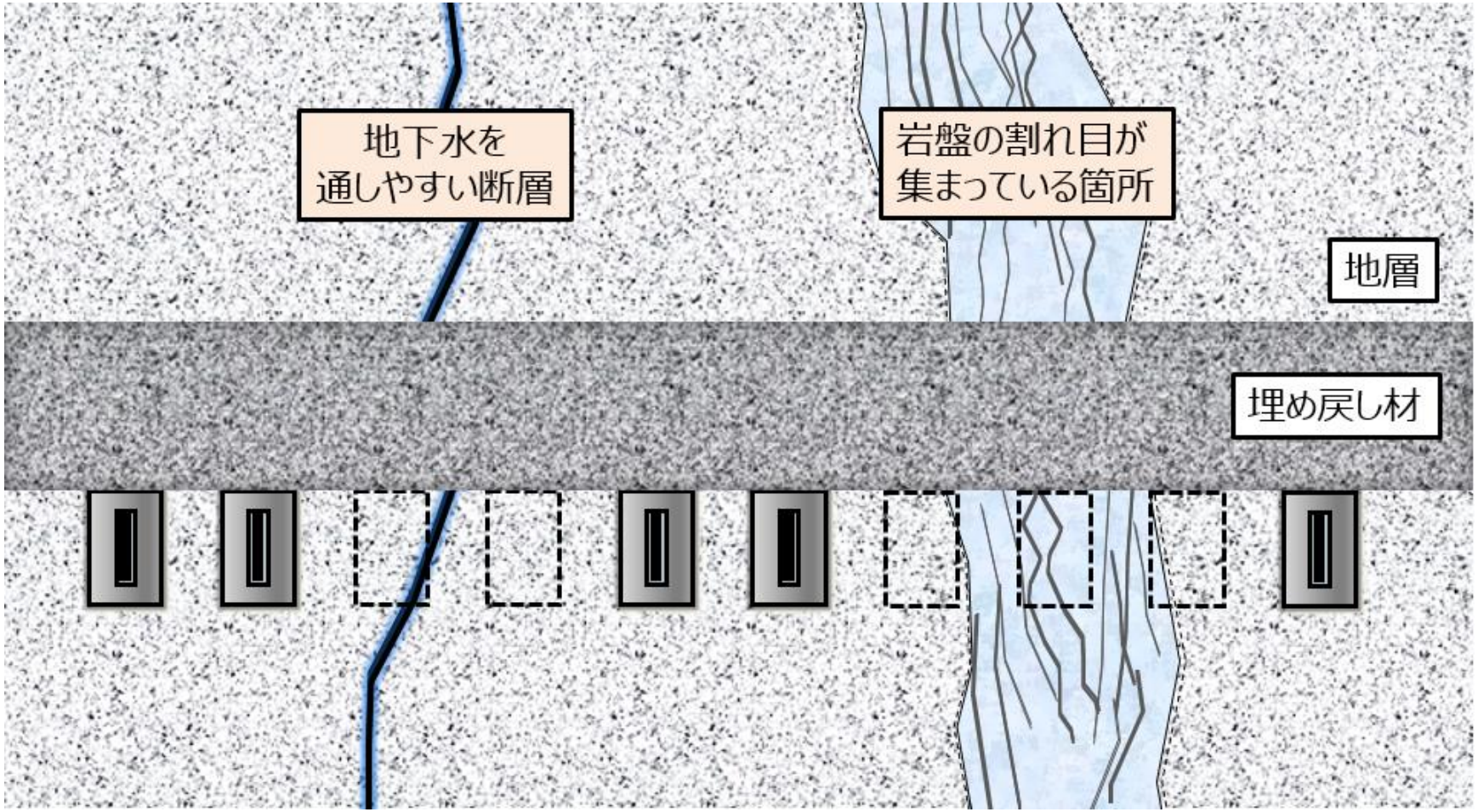
- 地下水の流れが緩やかである場所を選びます。




地下水の流れを考慮した地下施設配置のイメージ

# 数万年以上を見据えたリスク：地下水への対応②

- 地下水を通しやすい断層などを避けてガラス固化体を埋設します。




断層などを避けたガラス固化体の埋設のイメージ

# 数万年以上を見据えたリスク（地下水）への対応③

- 地下水によるリスクに対しては、更に、複数のバリア機能によって**物質の移動を遅らせて**、放射性物質を長い期間にわたって地下深部に閉じ込めます。

**＜人工バリア＞**　　**＜天然バリア＞**

## ①ガラス固化体

物質を閉じ込める性質を有するガラスに放射能の高い廃液を溶かし合わせ固化したもの

↓

安定して放射性物質を閉じ込める

↓

ガラス固化体が地下水に触れて放射性物質がガラスとともに溶け出すとしても、

**全てのガラスが溶けるには数万年以上の長い時間が必要**

## ②オーバーパック

放射能レベルが高い間、地下水との接触を防ぐ

（少なくとも1000年以上）

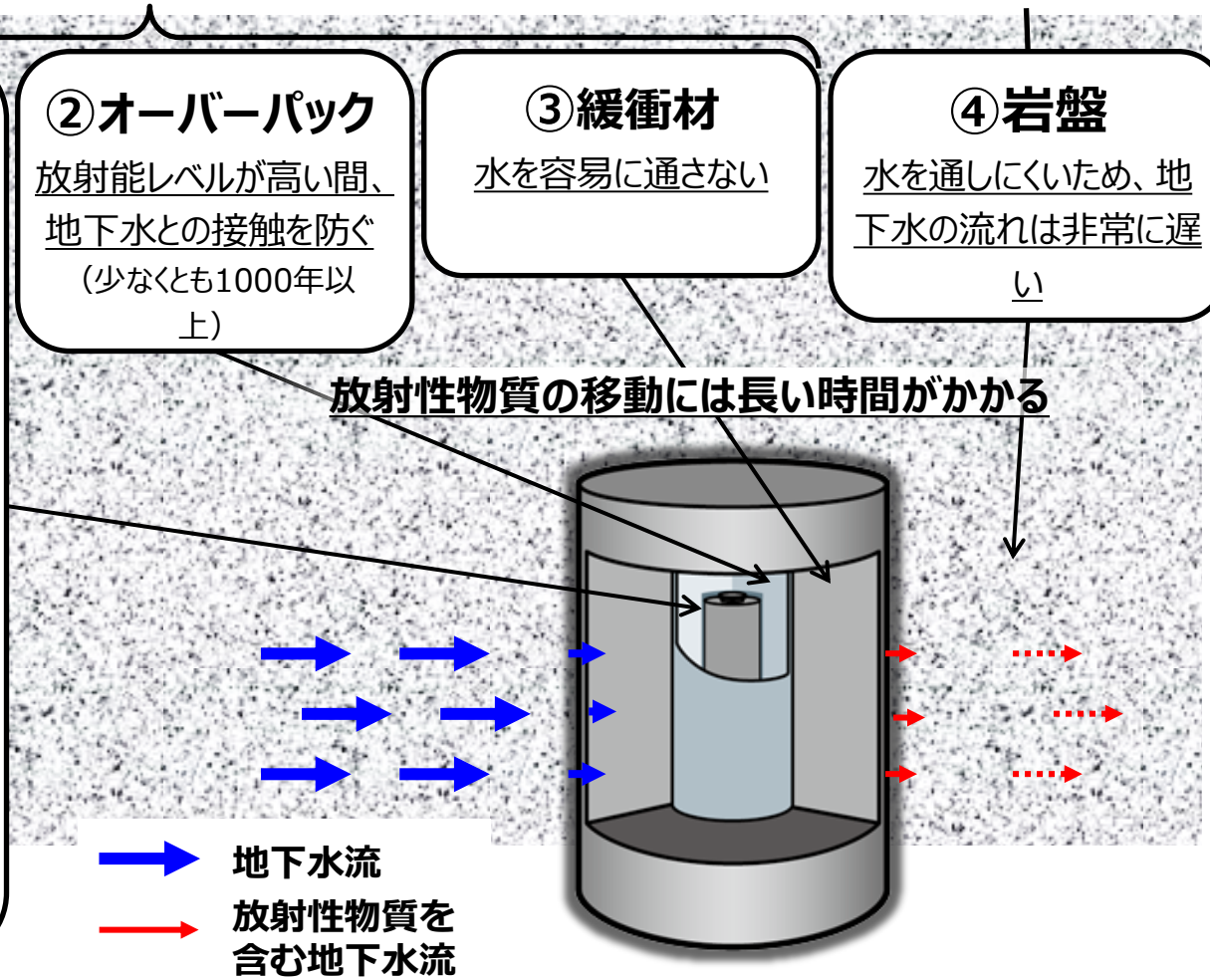
## ③緩衝材

水を容易に通さない

## ④岩盤

水を通しにくいため、地下水の流れは非常に遅い

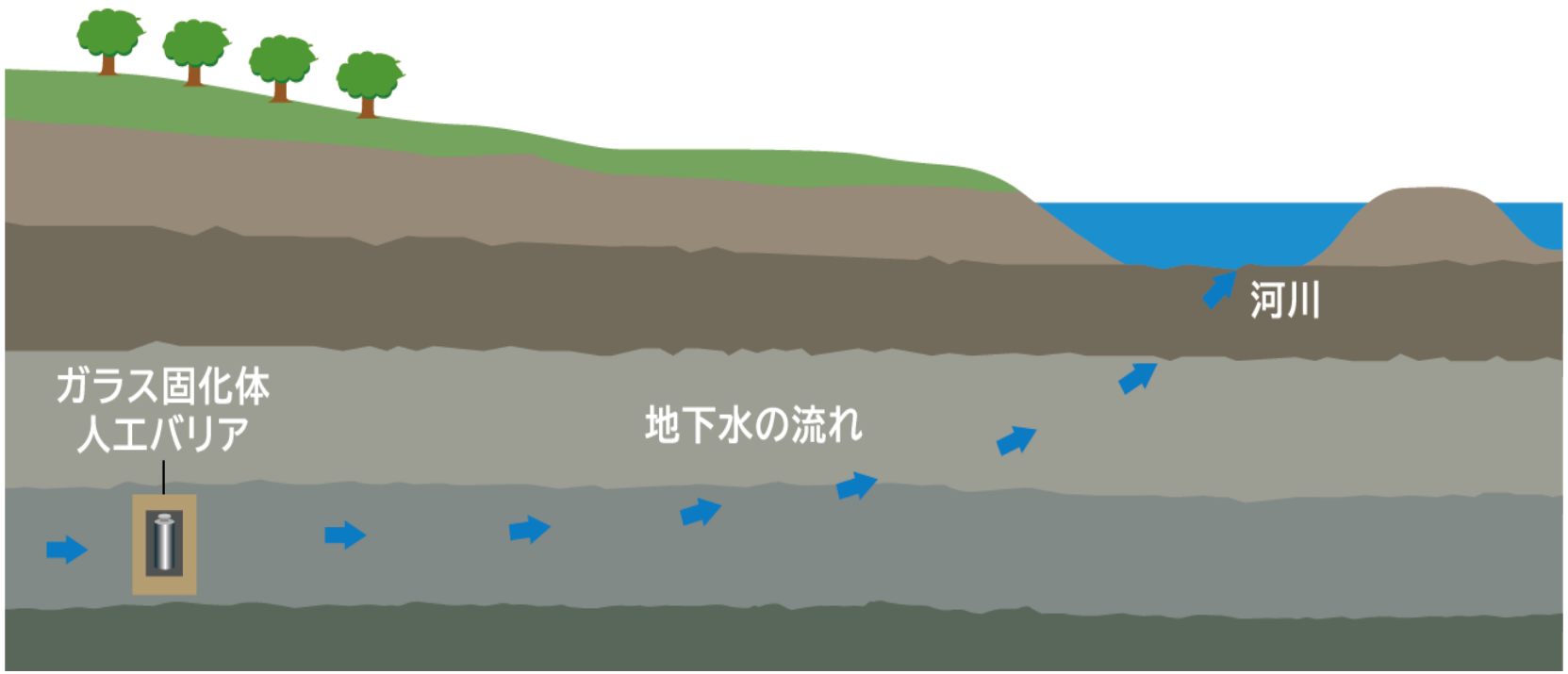
**放射性物質の移動には長い時間がかかる**



# 数万年以上の長期間にわたる安全性の確認①

- 長期の安全性は、その期間の長さから、**実験などによって直接確認することは困難**であることから、立地、設計により対応した結果については、地下における物質移動の**シミュレーションによって安全性を確認**します。

例えば、長期の安全性を確認するため、放射性物質が処分場から**地下水を通じて河川に流出し**、**長い時間をかけて**人間の生活環境に近づく経路を考える。



# 数万年以上の長期間にわたる安全性の確認②

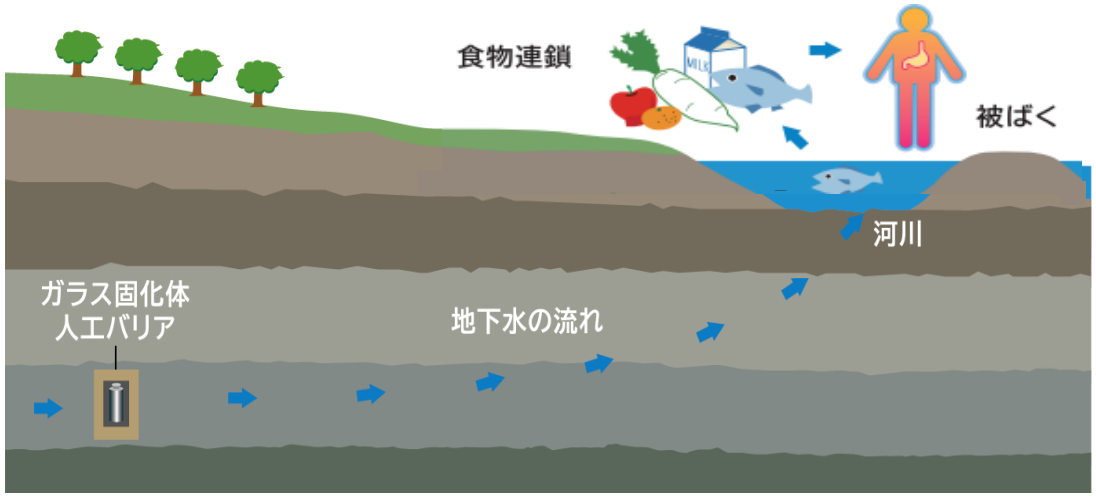
- 放射性物質が移動しやすくなるような厳しいケースも想定して、人工バリア（ガラス固化体、オーバーパック及び緩衝材）や天然バリア（岩盤）の閉じ込め機能により、人間の生活環境に影響を与えないことをシミュレーションで確認します。

【安全性の確認例（被ばく線量の計算）】

**4万本のガラス固化体を封入したオーバーパック（金属製容器）の<u>全てが1000年後に同時に閉じ込め性を失い</u>、**放射性物質がガラス固化体から出ていくと想定したケース

| 人間が受ける年間線量の最大値（NUMOの評価結果） | | 廃棄物処分の閉鎖後長期に確保する国際基準（国際機関が勧告している値） |
|---|---|---|
| **2** [μSv/年] | < | **300** [μSv/年] |

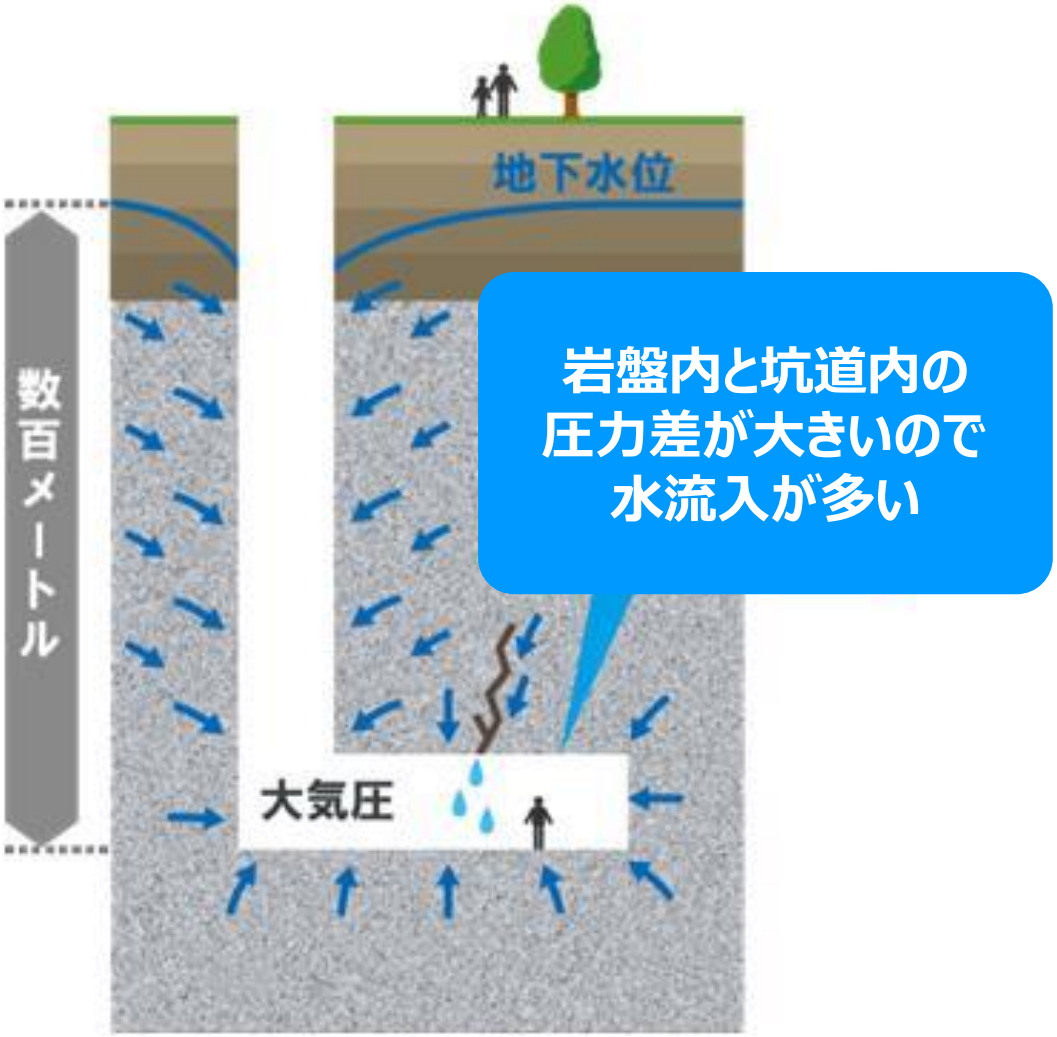
出典：包括的技術報告書 https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html



# 建設・操業中のリスク：地下水（湧水）

- 坑道を掘ると、**周囲の岩盤と圧力差が生じる**ことで、**地下水（湧水）が流入**するのは一般的な現象ですが、その**量が多いと建設・操業中の作業安全を損なう可能性**が生じます。

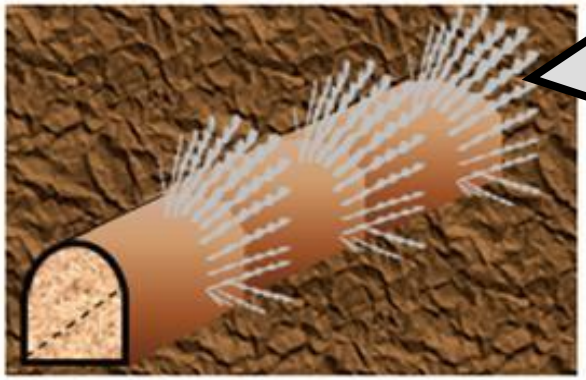
坑道開放時の
地下水の流れ



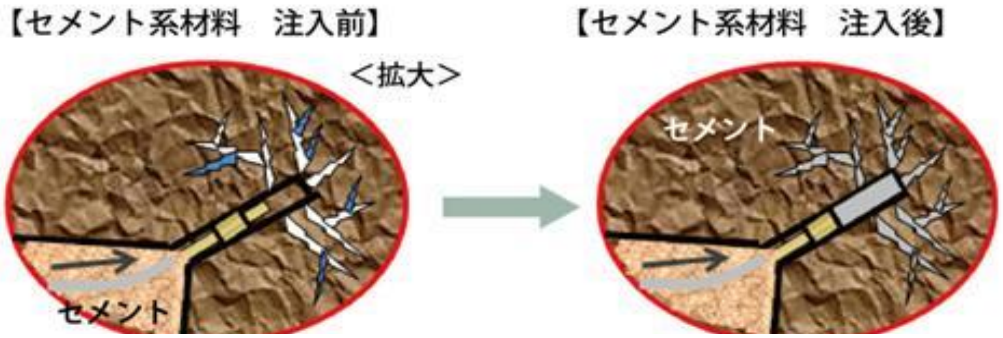
# 建設・操業中のリスク：地下水（湧水）への対応

- 操業などに支障がないよう、**排水や止水対策（グラウチングなど）を施す**ことで、操業中などの湧水に対応します。
- 埋設後、排水をやめて坑道を完全に埋め戻すと、 坑道内の地下水が再び満たされて周囲の岩盤との圧力差はほとんどなくなるため、 再び地下水の流れは非常にゆっくりとした状態に戻ります。

止水対策として事前に行う
グラウチングの全体イメージ

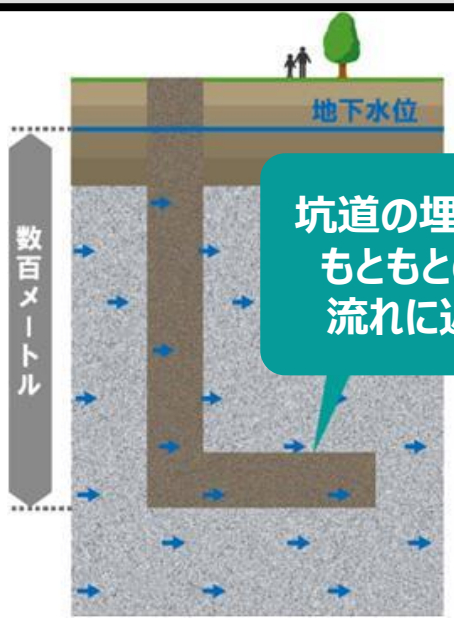


グラウチングにより、**地下水量を１/100程度まで減らせることを実証済**。岐阜県瑞浪市の地下研究所における研究では、1,380m³/日の湧水が想定されていた箇所をグラウチングすることで15m³/日まで低減。




湧水亀裂の想定箇所にドリルでグラウチング用の穴をあけます。

セメント系材料を岩盤内に注入し、隙間をふさぎます。

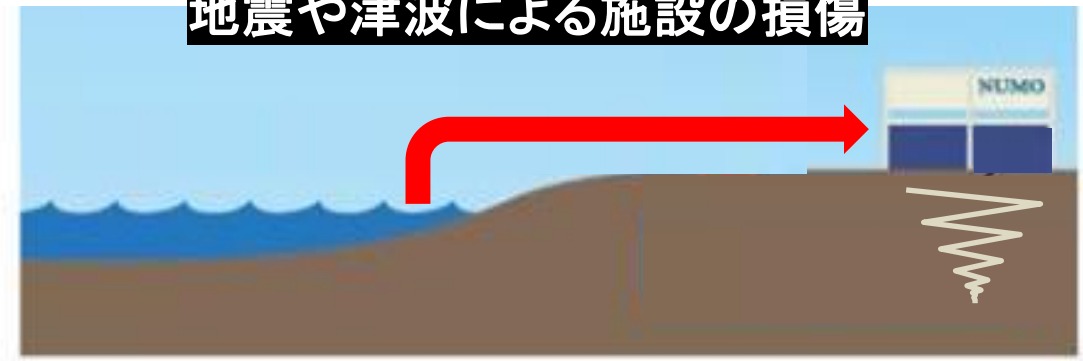



**坑道の埋め戻し後は、もともとの地下水の流れに近づいてゆく**

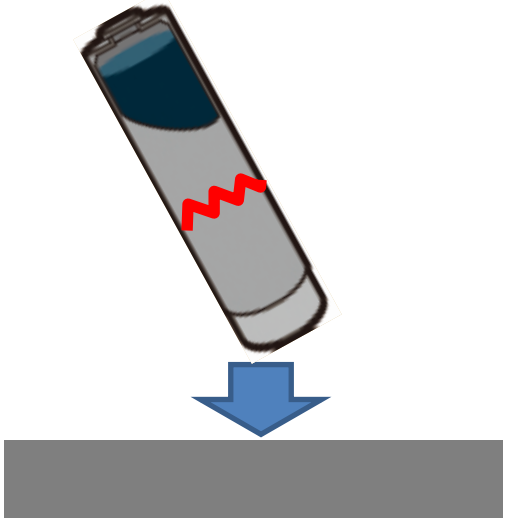
# 建設・操業中のリスク：地震、津波、輸送、施設内事故

- 建設・操業中に地震や津波によって施設が損傷すると、**放射性物質や放射線が外部に漏れたり、作業安全を損なう可能性**が生じます。
- また、輸送時の衝突や火災、施設内での事故によっても、放射性物質や放射線が外部に漏れる可能性が生じます。

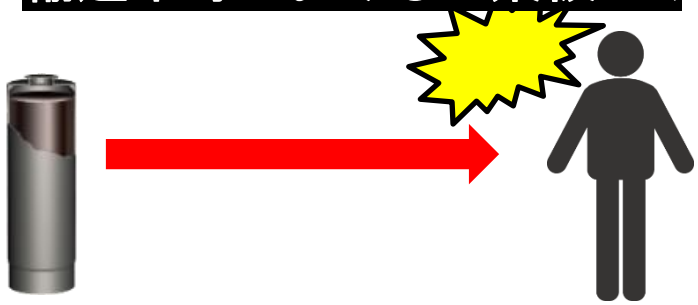
**地震や津波による施設の損傷**




**落下等による廃棄体の損傷**



**輸送中等における公衆被ばく**

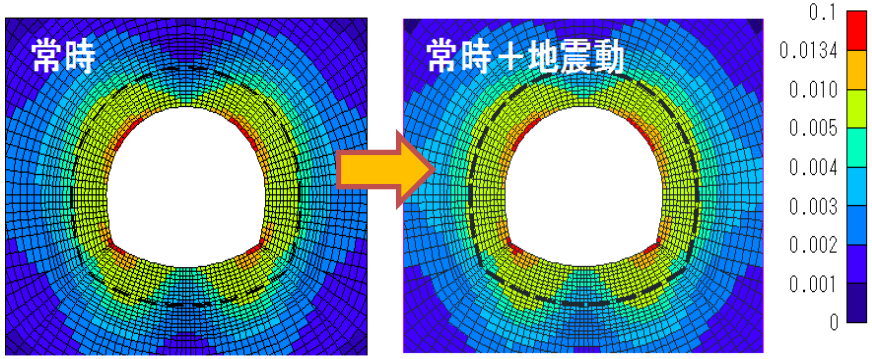


# 建設・操業中のリスク：地震への対応

- 過去の地震などを踏まえた**最大級の地震を想定**し、**設計**します。
- 地下の坑道は、地層の重さによる高い圧力に耐えられるように余裕をもって設計し、地震の揺れが加わっても十分な強度が発揮されます。
- 坑道を埋め戻した後は、ガラス固化体と周りの岩盤は一緒に動くため、揺れの影響は少なくなります。

**＜ 東日本大震災時の揺れを再現した坑道のひずみの数値解析結果 ＞**

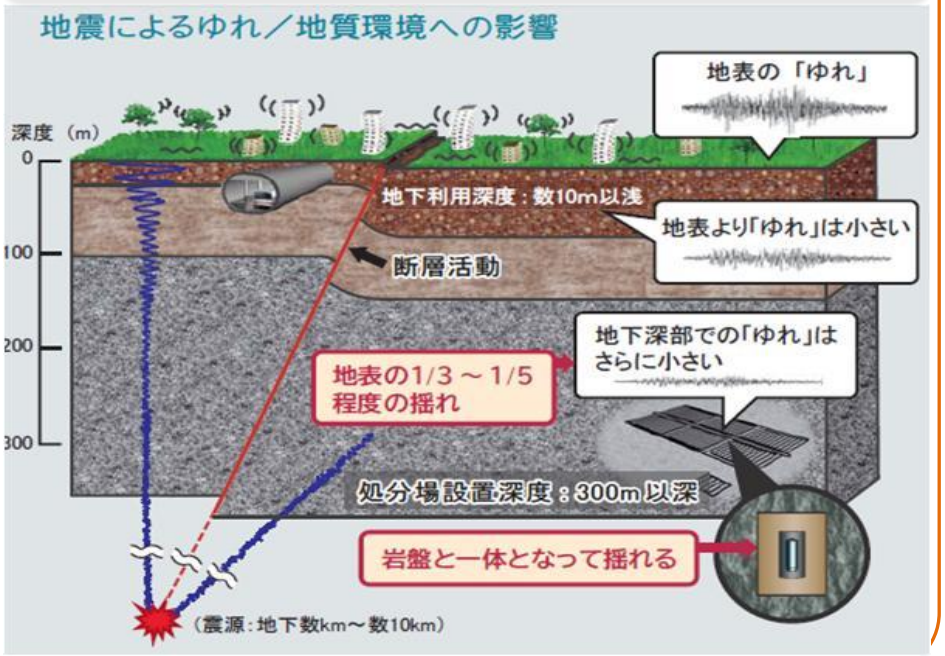
坑道にかかる圧力、地震力によるひずみを示した断面図




赤いほど坑道のひずみが大きい（変位量[%]）

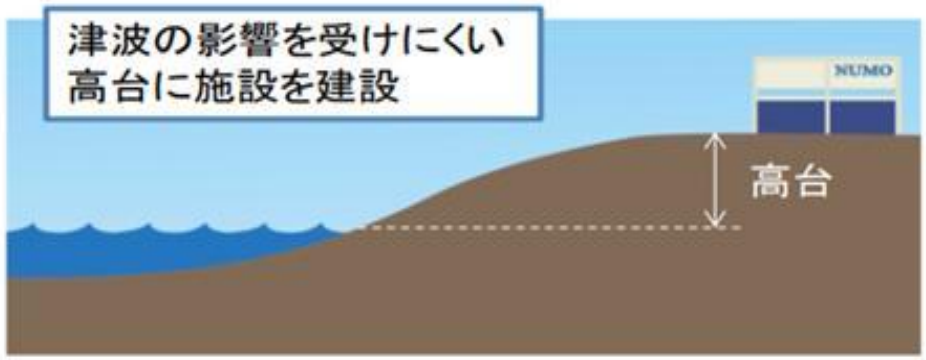
計算の結果、**地震の揺れによる坑道のひずみはほとんどない**（最大でも0.06%程度）

これまでの研究から、**地下深くは地震の揺れの影響が少ない**ことが分かっています（一般的に**地下深部の揺れは地表の1/3から1/5程度**）

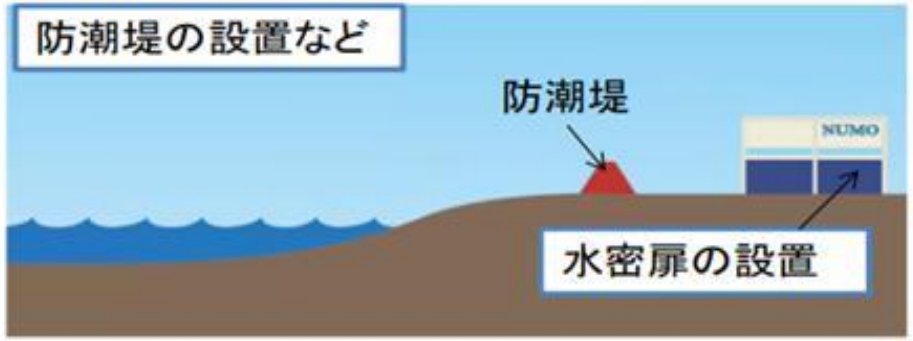


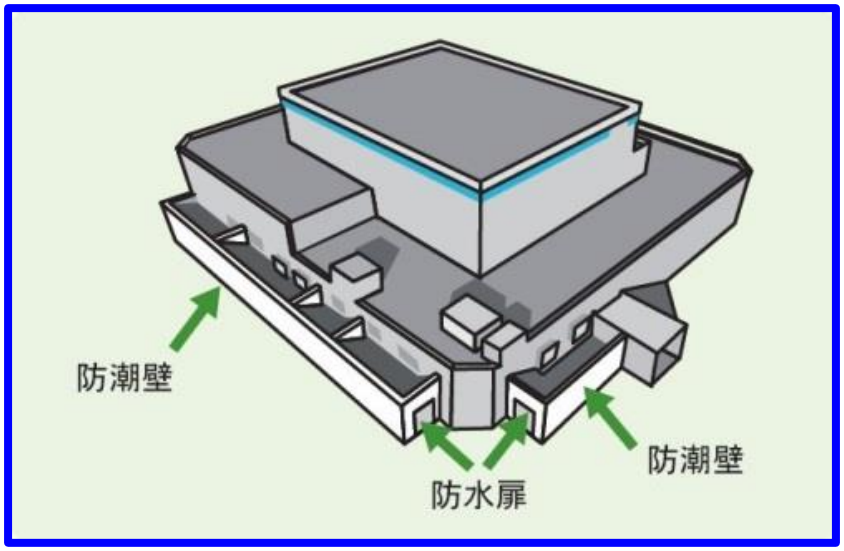
# 建設・操業中のリスク：津波への対応

- 津波の影響を受けないよう、過去の津波などを踏まえ、**場所に応じた最大級の津波を想定**し、**施設の高台への設置**、**防潮堤や水密扉の設置**などの対策を施します。
- 坑道を埋め戻した後は、坑道が完全に塞がれますので、地下の処分場には津波の影響は及ばないと考えられます。




高台に立地できない場合






津波時の地上施設への浸水防止策

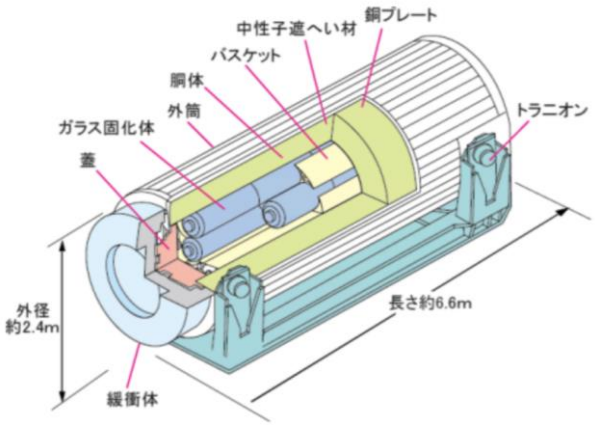
出典：包括的技術報告書　https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html

# 建設・操業中のリスク：輸送時の事故への対応

- **事故時でも放射性物質や放射線が漏れ出ないような**、国際原子力機関（IAEA）や国が定めた基準を満たした**専用容器に入れて輸送**します。
- 海上輸送する船舶は、耐衝突性などの安全対策を施した専用船を使用します。また、陸上輸送では、セキュリティの対応も踏まえ、港から地上施設までの輸送経路を確保します。（例えば、専用道路など）

## 専用の輸送容器の例

専用容器によって放射線を遮へい




出典：原子力・エネルギー図面集(8-3-2)

## 専用の輸送船の例

英国から青森県六ケ所村に廃棄体を運搬した輸送船
（英仏併せ船での輸送実績は18回※）

出典：PNTLhttp://www.pntl.co.uk/wpcontent/uploads/2012/09/PNTL_Grebe_01.pdf

## 専用の輸送車両の例

これまでにこの車両で75回※運搬

出典：原燃輸送株式会社HP

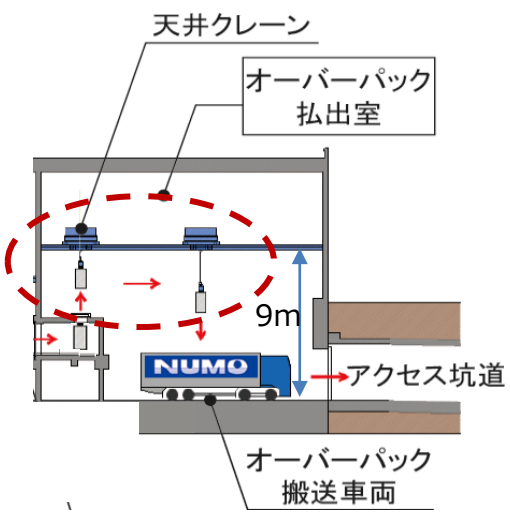
＊日本原燃HP（https://www.jnfl.co.jp/ja/business/about/hlw/survey/glass_no18.html）より集計

# 建設・操業中のリスク：施設内での事故への対応

- 事故が起きないための対策として、ガラス固化体を吊り上げるワイヤの二重化（一本のワイヤが切れても落ちない）などを行います。
- 操業・輸送時の事故などによって、放射線や放射性物質が外部に漏れないよう、**遮へいや容器への封入**などの十分な対策を行います。
- 異常事態を想定したシミュレーションなどにより対策の効果を確認します。

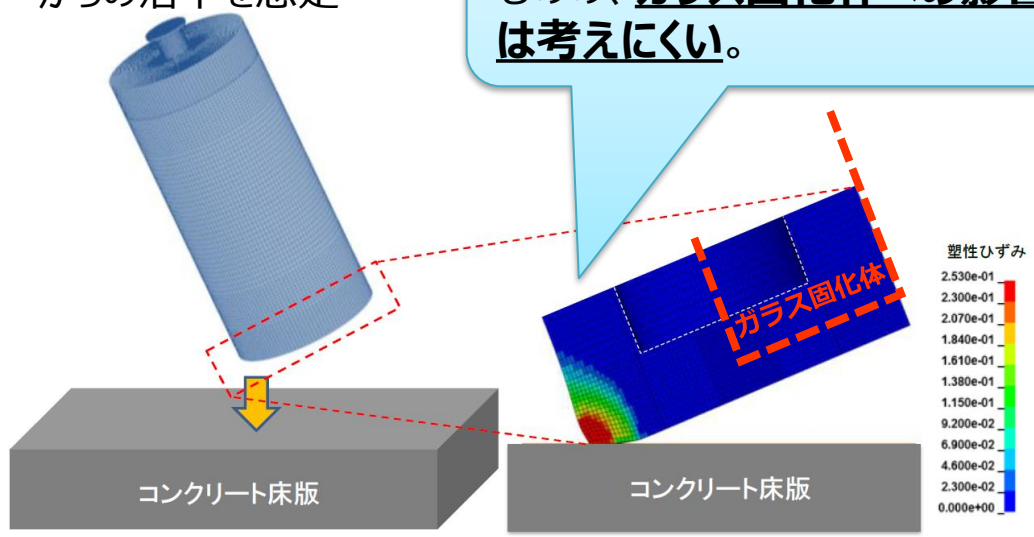
**＜通常起こるとは考えにくい、オーバーパックの落下をあえて想定したシミュレーション＞**

オーバーパックを地上施設から払い出し、地下施設への搬送車両に積み込む作業




吊り上げの最大高さ（9m）からの落下を想定

**金属製容器の一部は変形**するものの、**ガラス固化体への影響は考えにくい**。




＜断面拡大図＞

出典：包括的技術報告書
https://www.numo.or.jp/technology/technical_report/tr180203.html

ご清聴ありがとうございました。