

エネルギー—環境教育 教職員セミナー

2013年12月8日



課題解決に必要な知識とは？

1. 電気のゴミ（高レベル放射性廃棄物）はどれくらいあるの？
2. 電気のゴミをどのように処分するの？
3. 地層処分を考える
4. 地層処分事業の概要
5. 核変換技術について

電気のごみ（高レベル放射性廃棄物） の地層処分

…何をイメージされますか？

「地震」 「地質」 「材料」 「遠隔操作」
「土木」 「集団の意思決定」 など・・・

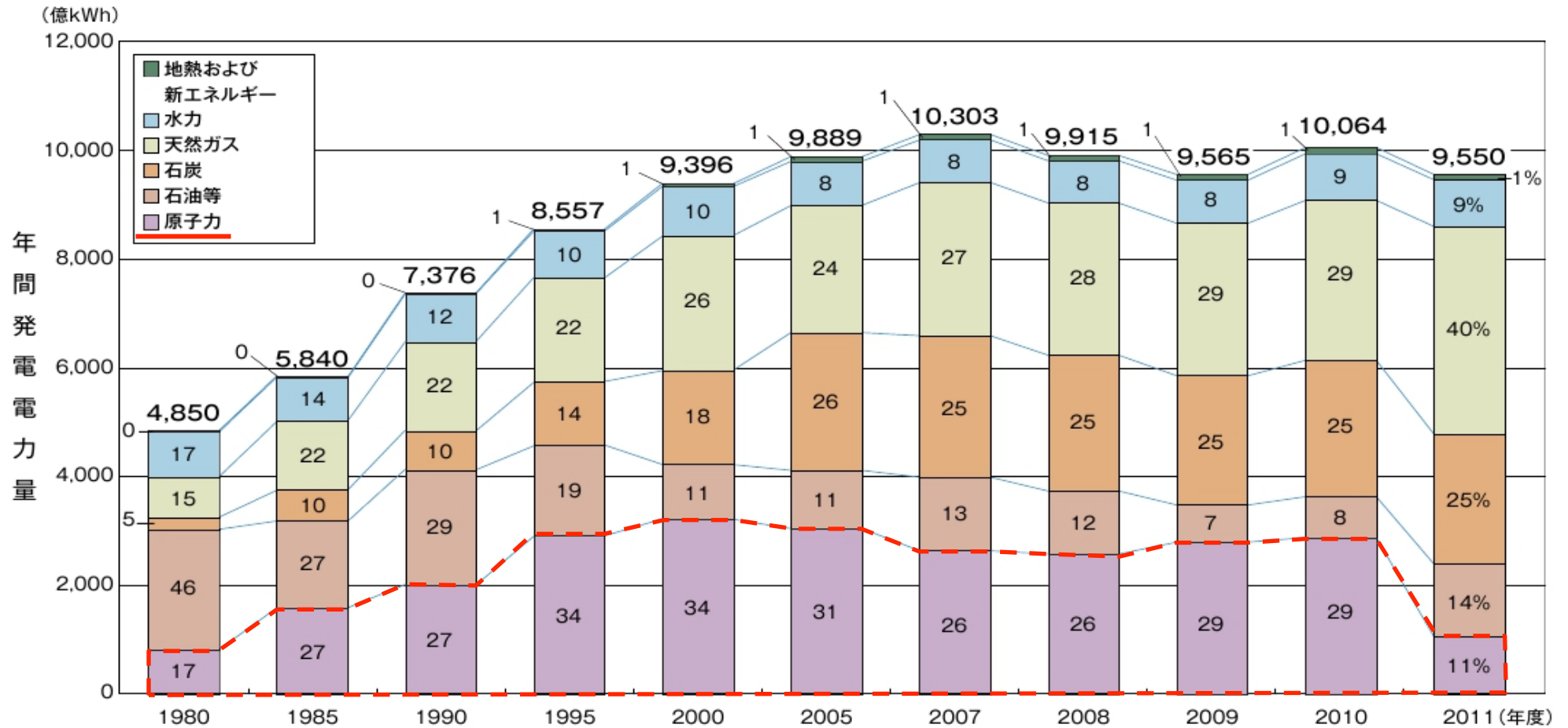


エネルギー環境教育 教職員セミナー

1. 「電気のごみ」はどれくらいあるの？

日本のエネルギー事情

電源別発電電力量の実績



(注) 石油等にはLPG、その他ガスおよび瀝青質混合物を含む
 四捨五入の関係で合計値が合わない場合がある
 発電電力量は10電力会社の合計値(受電を含む)
 グラフ内の数値は構成比(%)

【出展】原子力・エネルギー図面集2012

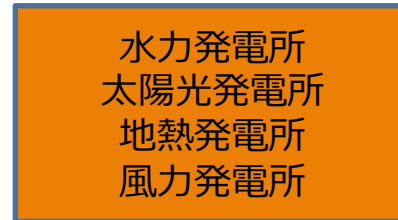
発電所から出る電気のゴミ

水力発電所、地熱発電所および新エネルギー

電気のもと



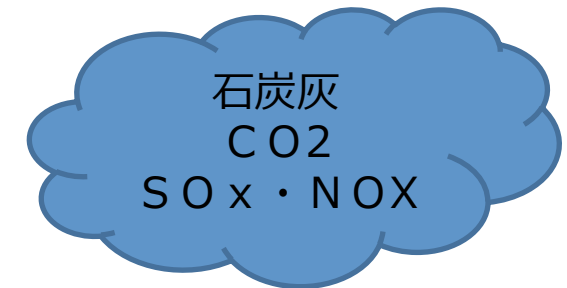
発電所



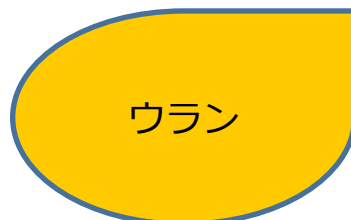
ゴミ



火力発電所



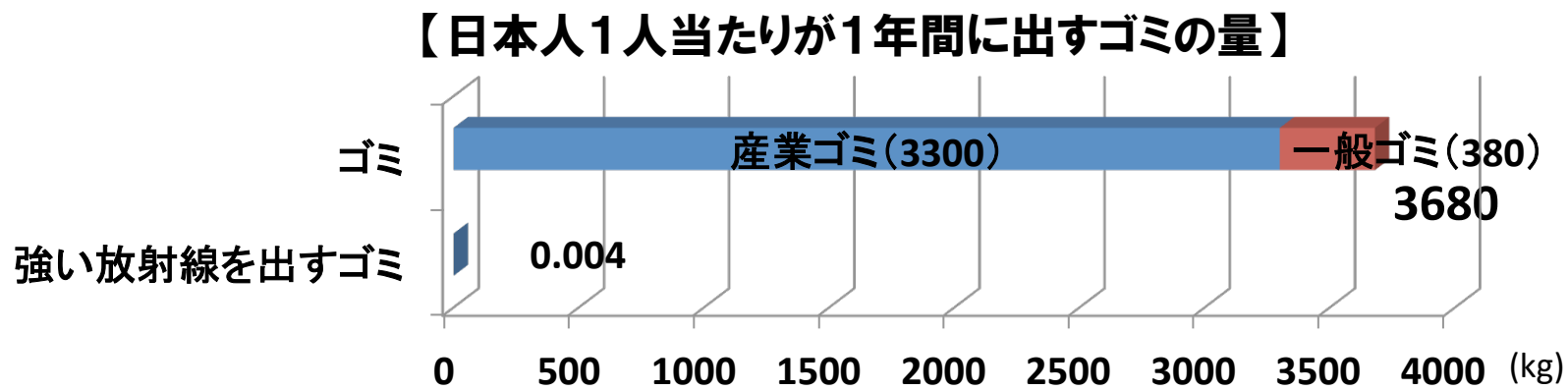
原子力発電所



廃棄物の排出量



➡ **火力発電所からの石炭灰は1日に 約2.2万トン**
高レベル放射性廃棄物は1日に 1.4トン

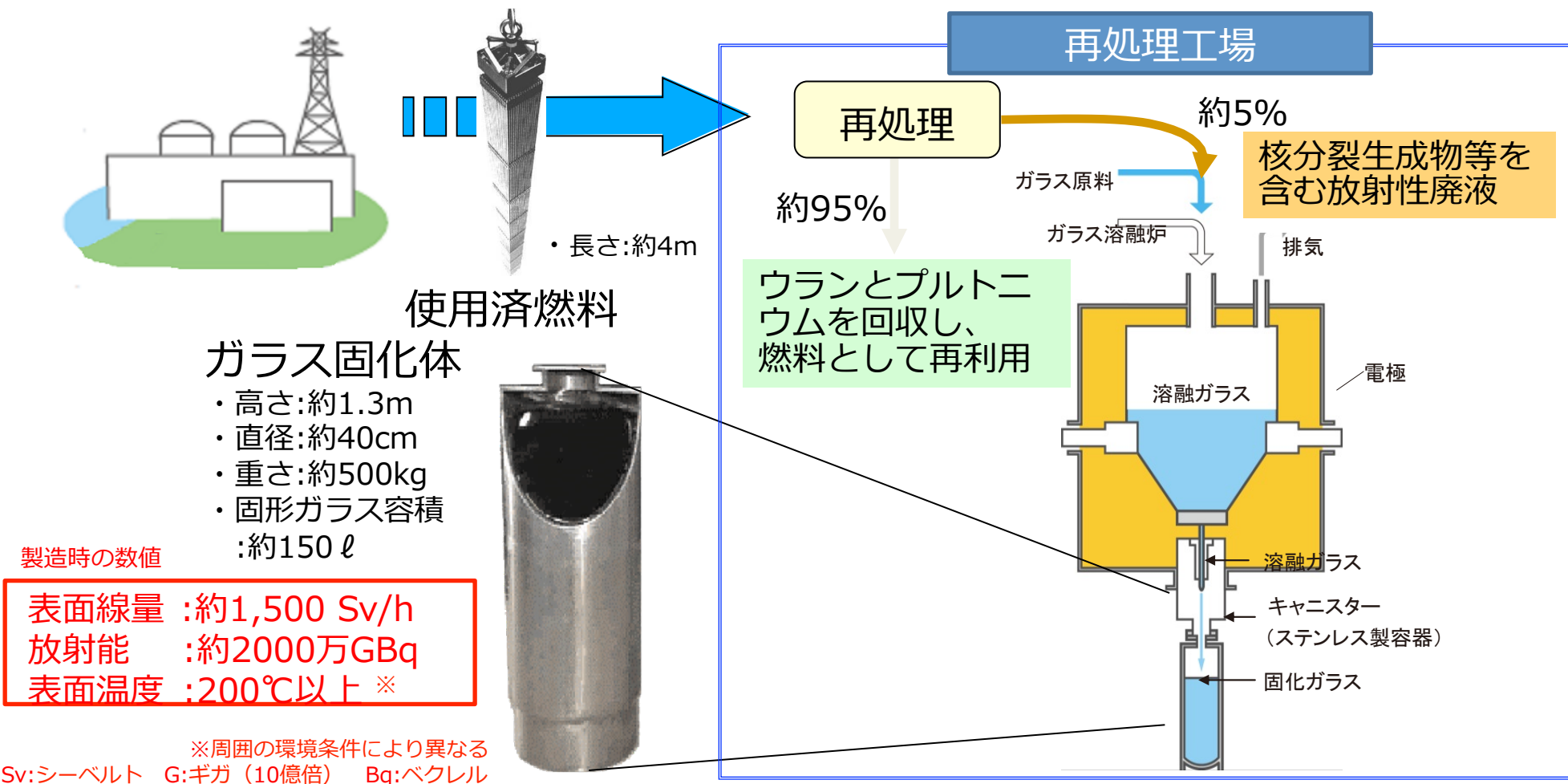


一生 (80年) で
ゴルフボール 3 個分

出典：『原子力エネルギー図面集 2012』より作成 (石炭灰排出量は電事連調べ)
経済産業省 資源エネルギー庁 「我が国の原子力発電の現状と原子力政策」

高レベル放射性廃棄物とその特徴

- ・ 高レベル放射性廃棄物は、原子力発電所から出る使用済み燃料を再処理工場で再処理してウランとプルトニウムを取り出した後、残った核分裂生成物などを含む廃液をガラスと融かし合わせ固化体にしたもの
- ・ 放射線量が高く、発熱量が大きい

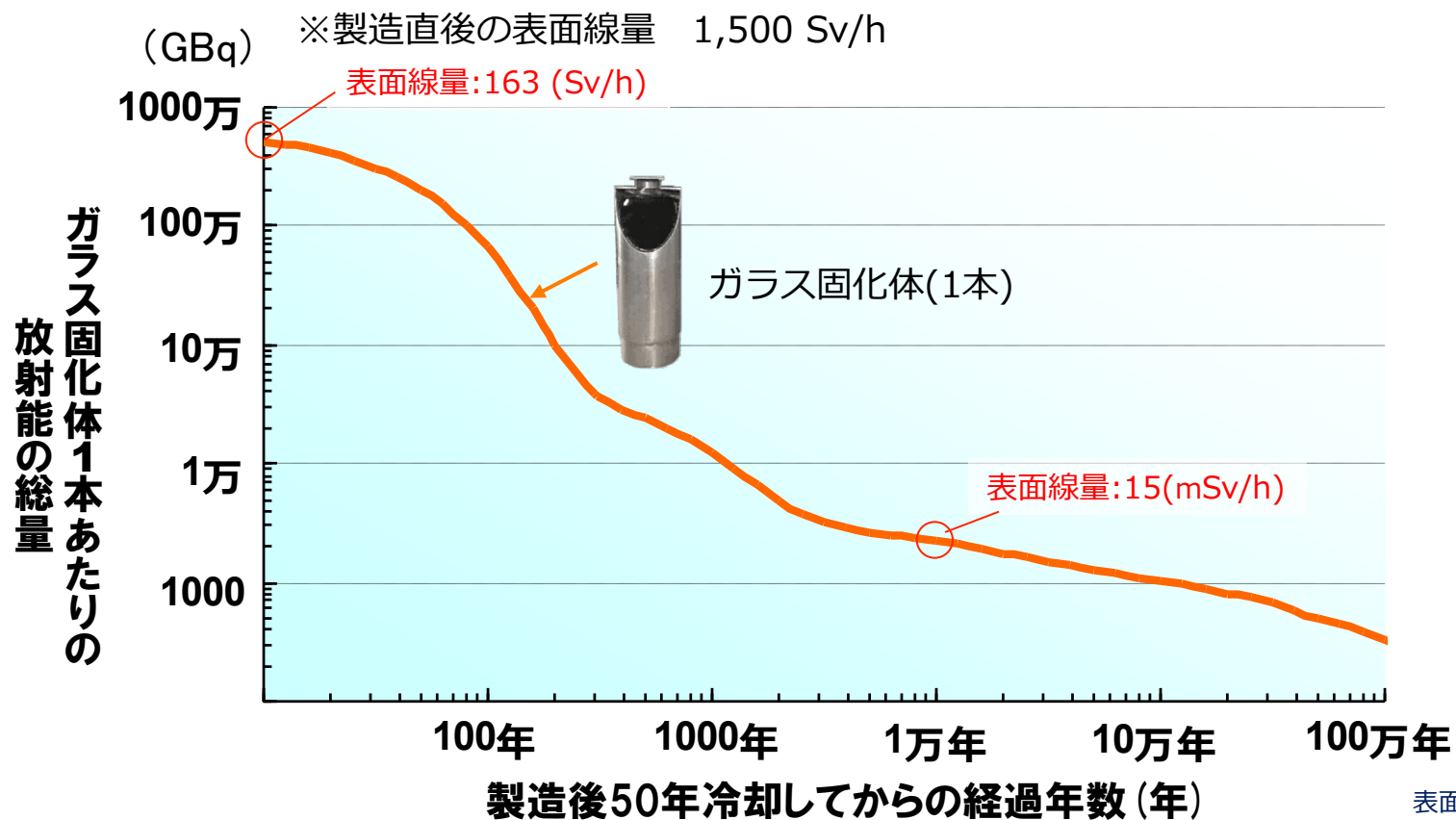


ガラス固化体の放射線量が、
約10万分の1(15mSv/h)に減衰するまでに

およそ **10,000** 年の期間がかかる

ガラス固化体の放射能量の推移

- ・ガラス固化体の放射能は製造時には非常に高いが、時間とともに減っていく
 - ・しかし、それには長い時間を要し、放射能は非常に長期間残る
- ⇒ その間の人間社会の変化を予測することは困難なので、人間による管理が失われても問題とならない処分方法が必要



表面線量の計算結果は、核燃料サイクル開発機構（現 日本原子力研究開発機構）研究報告（2003）、JNC TN8400 2003-022を参照した。

高レベル放射性廃棄物は、
ガラス固化体として、

約**1,930**本保管されています。
(2012年12月末)



高レベル放射性廃棄物の発生量と貯蔵管理状況

高レベル放射性廃棄物の発生量

貯蔵管理中

約 **1,930 本**
(平成24年12月末)

既に

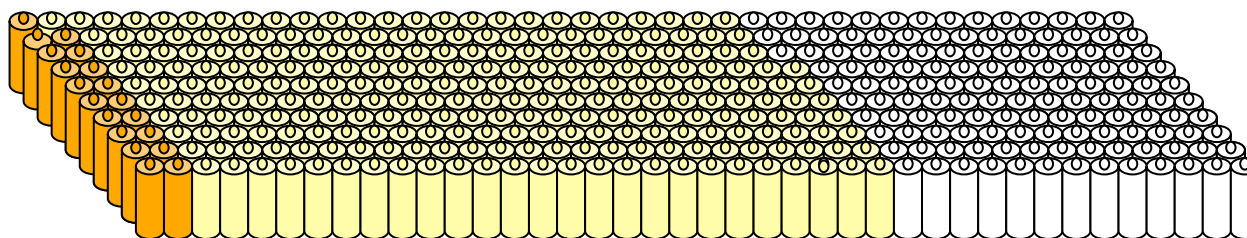
約 **24,800 本相当**
(平成24年12月末)

発電所の稼働状況に
応じて増加

将来発生累計

約 **40,000 本**
(現行計画では平成33年頃)

 = ガラス固化体
100本



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)



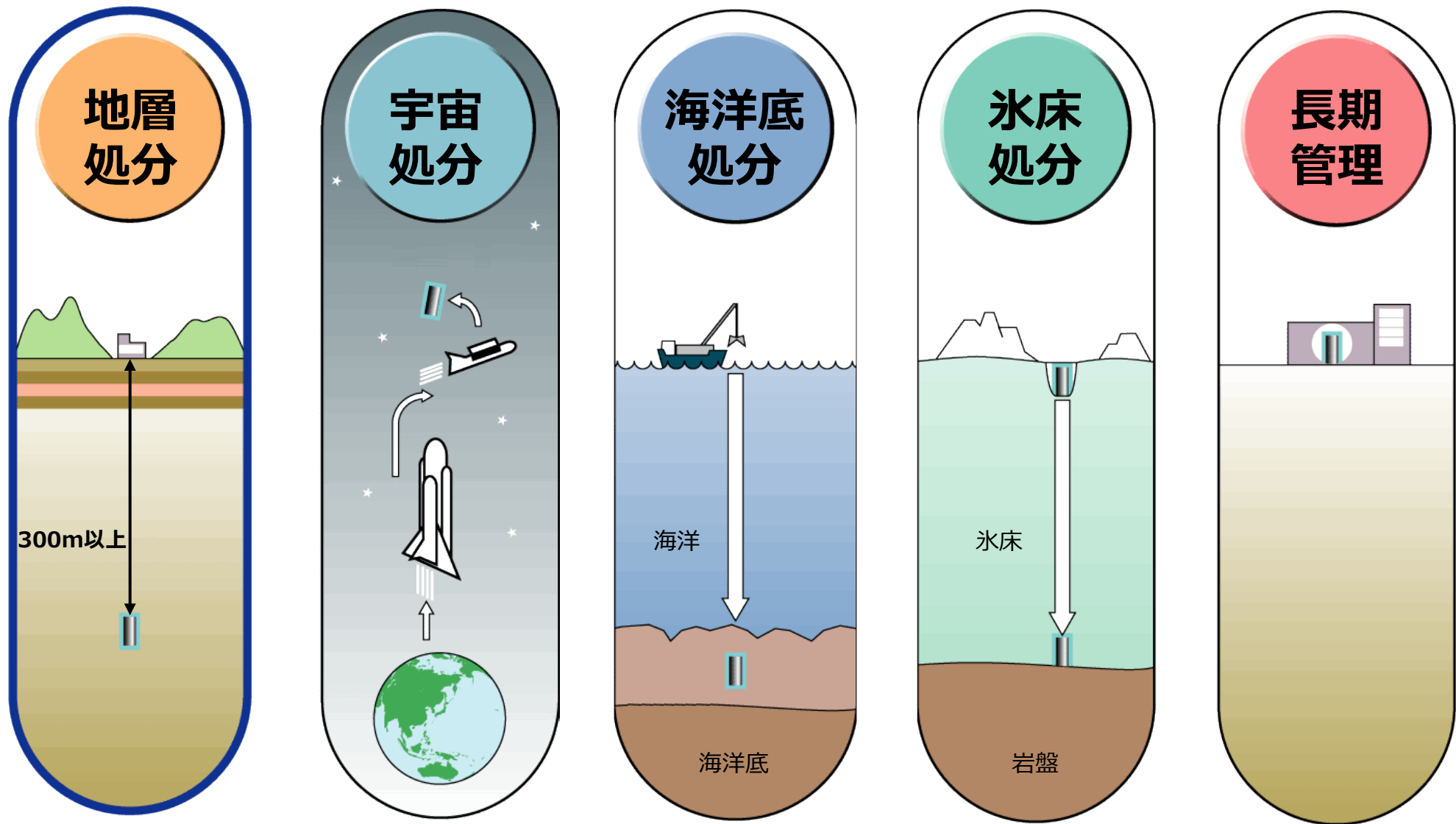
日本原燃(株) 使用済燃料貯蔵プール



**エネルギー環境教育
教職員セミナー**

2. 「電気のゴミ」をどのように処分するの？

人間の管理が不要な処分方法



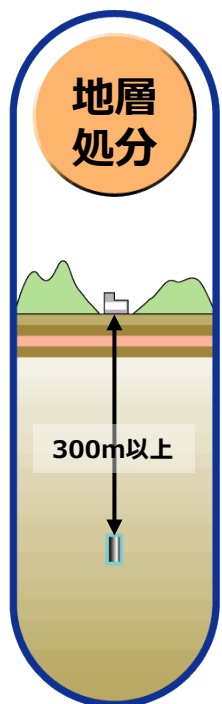
それぞれの処分方法の

- ・ 良いところ / 優れているところ
- ・ 悪いところ / 危険なところ

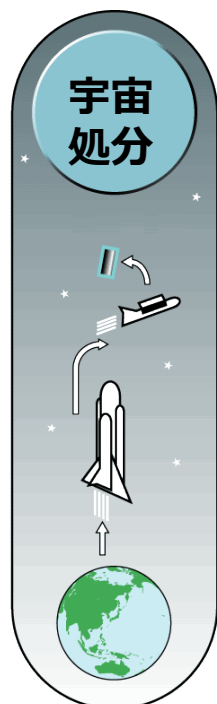
は、どういうところが、
考えてみてください。

人間の管理が不要な処分方法

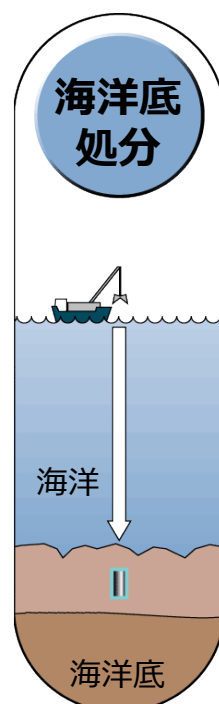
- 地層中への処分は、地下資源などが長期間保存されてきた多数の実例があり、実現可能性が高い
- 宇宙空間への処分は、発射技術等の信頼性に問題がある
- 海洋底の下への処分は、海洋投棄を規制しているロンドン条約により禁止されている
- 極地の氷床への処分は、南極条約により禁止されている。
また、氷床の特性解明が不十分である



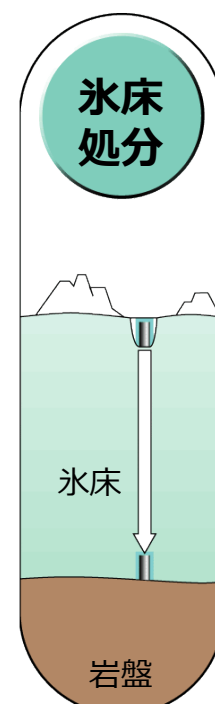
地層が本来もっている物質を閉じ込める性質を利用



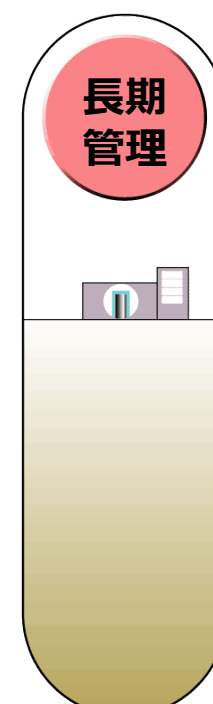
発射技術等の信頼性に問題がある



海洋投棄を規制しているロンドン条約により禁止



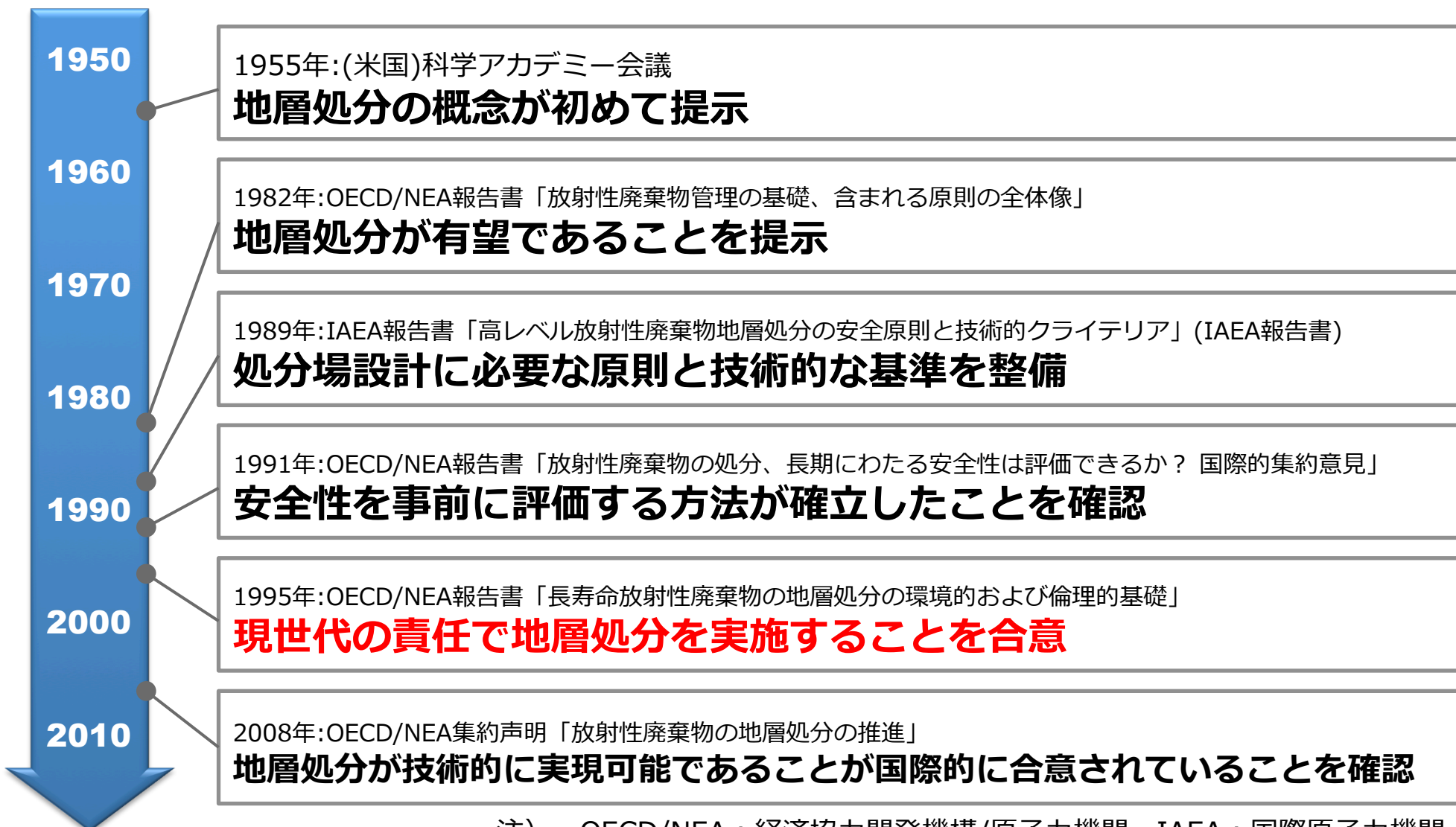
南極条約により禁止
氷床の特性等の解明が不十分



人間による恒久的な管理は困難
将来の世代にまで監視の負担を負わせる

世界における地層処分の検討経緯

地層処分は、国際的に合意が得られた処分方法である



注) OECD/NEA : 経済協力開発機構/原子力機関 IAEA : 国際原子力機関

日本における地層処分の取り組み

世界で検討が進む中、日本においても地層処分の研究が進められてきました。

2011/9 技術報告書「地層処分事業の安全確保(2010年度版)」取りまとめ

最終処分施設の設置可能性を調査する区域の公募開始

2002

原子力発電環境整備機構「NUMO」設立

10月

基本方針および最終処分計画を閣議決定

9月

「特定放射性廃棄物の
最終処分に関する法律」成立

5月

3月

原子力委員会決定「特定放射性廃棄物の
最終処分に関する法律の制定について」

2000

1999

核燃料サイクル開発機構研究開発成果第2次取りまとめ

1998

高レベル放射性廃棄物処分に向けての基本的考え方について
(原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会)

1995

経済協力開発機構の原子力機関(OECD/NEA)で、
「現世代の責任で地層処分を実施すること」を合意

1976

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



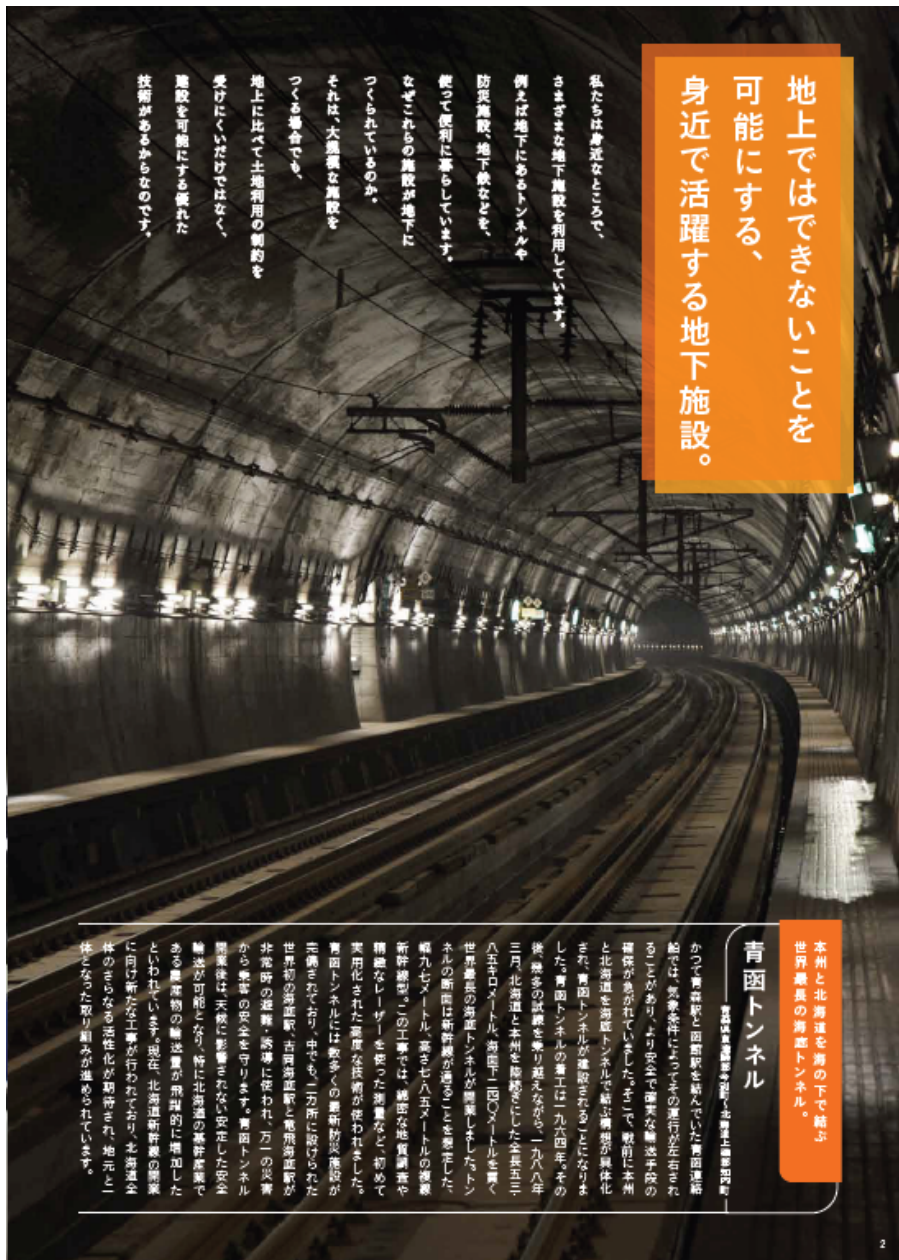
エネルギー環境教育 教職員セミナー

3.地層処分を考える

**日本の地中には、
どんなものが埋められているのでしょうか？**

**水道管、電線、地下鉄、地下街、貯水施設
高層ビルの基礎、トンネル**

日本の地下にあるもの



青函トンネル (1988年開業)

海面下 **240** m



貯める、つくる。
地下が大きな役割を果たす
エネルギー関連施設。

エネルギー資源のほとんどを海外からの輸入に頼っている日本、エネルギー資源の安定確保がとてつもない課題となっています。万一海外からの輸入が止まっても一定期間、安定して供給できるように備蓄システムが整備されています。また、電力の安定供給のため、水力・火力・原子力といった多様なエネルギー源の発電所が建設されています。これら備蓄システムや発電所の中には地下を有効に活用したものがあつたのです。

地下五〇メートル以上の岩盤内にLPGを封じ込めて貯蔵。

波方国家石油ガス備蓄基地

約五〇年を輸入する石油（LPG）は、国内では五に満たない。二〇〇方トン（約五〇日分）を貯蔵し、万一の事態に備えておく必要がある。波方国家石油ガス備蓄基地は、水封力の地下岩盤貯蔵方式を採用した世界最大規模の地下LPG備蓄基地。地下五〇メートル以上の岩盤内にLPGを封じ込めて貯蔵する。波方国家石油ガス備蓄基地は、水封力の地下岩盤貯蔵方式を採用した世界最大規模の地下LPG備蓄基地。地下五〇メートル以上の岩盤内にLPGを封じ込めて貯蔵する。波方国家石油ガス備蓄基地は、水封力の地下岩盤貯蔵方式を採用した世界最大規模の地下LPG備蓄基地。地下五〇メートル以上の岩盤内にLPGを封じ込めて貯蔵する。



葛野川揚水発電所 (1999年)

地下 **500** m

高レベル放射性廃棄物を容器に入れ、
地中深くに埋めます。
考えられるリスク（危険性）は
どんなことが考えられますか？

- ・ 地面の近くまで隆起
- ・ 容器が腐食して地下水に漏れる
- ・ 地震で容器が壊れる
- ・ 掘り起こされる



日本の地質環境を考慮した対策

- ・日本は火山や地震が多く、地下水が豊富といった特徴がある
- ・これらに対処するために適切な処分施設建設地を選定し、工学的な対策を講じることで対応可能

火山・地震・断層が多い

日本の地質環境

地下水が豊富

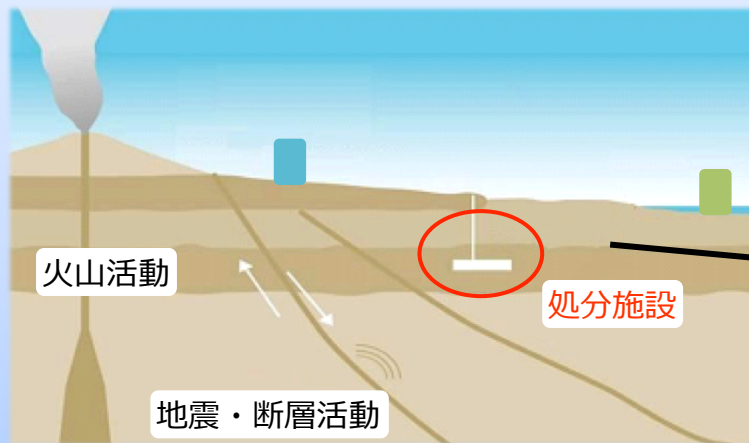
処分施設の破壊

安全性への影響

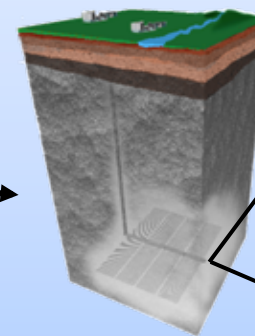
地下水による放射性物質の移動

対策

火山や断層等を避けることで、
地層処分にとって安定な場所を選定

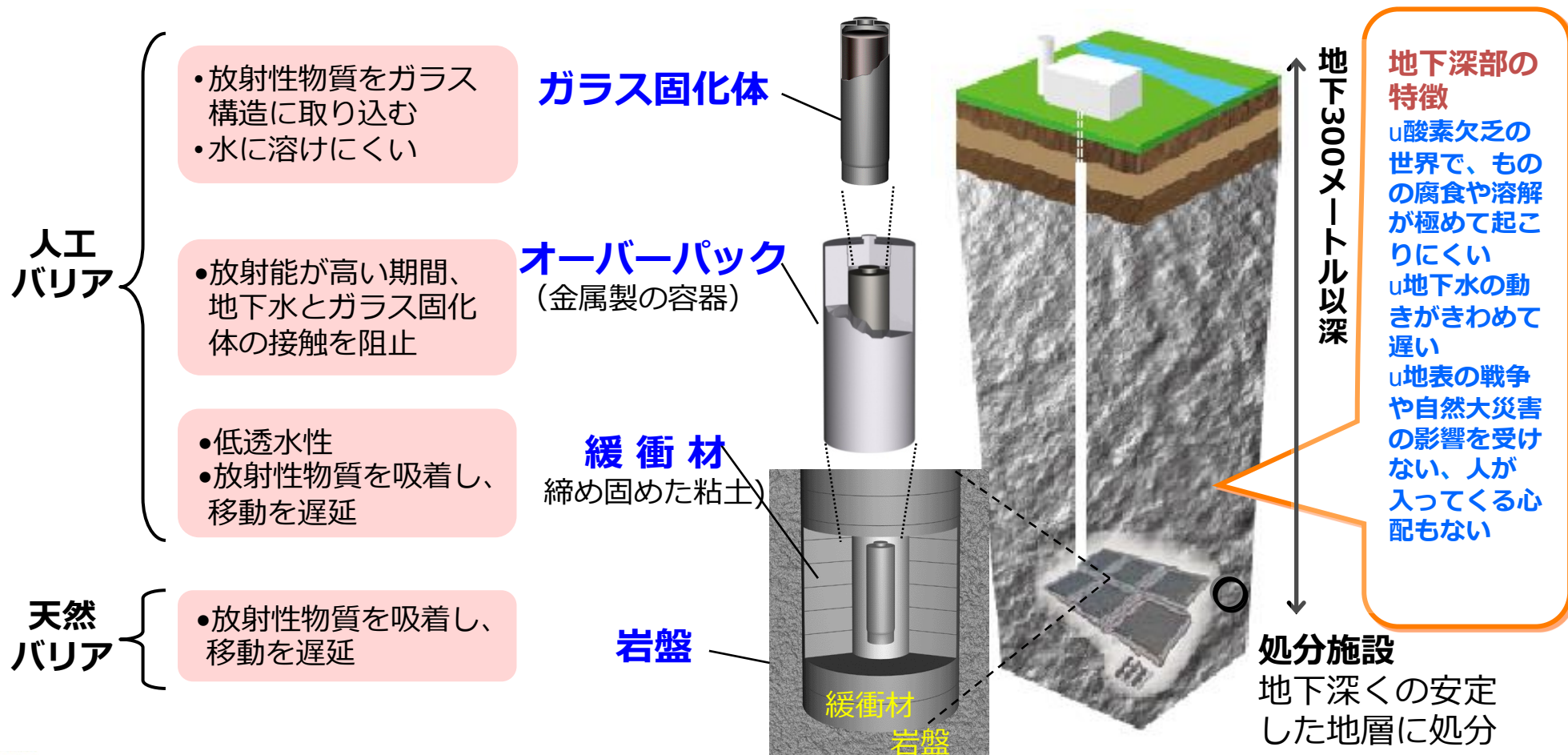


適切な多重バリアシステムを構築
(工学的な対策)



放射性物質を閉じ込める多重のバリア～ 地層処分の仕組み～

- 放射能が人間に影響を及ぼさないレベルに下がるまで放射性物質を長期間閉じ込めるために、多重のバリアを施す。
- 多重バリアは、ガラス固化体、オーバーパック(金属製容器)、緩衝材(締め固めた粘土)からなる人工バリアと、厚い岩盤による天然バリアから構成。



①ガラス固化体の役割(人工バリア)

- ◆ガラス固化体は、放射性物質を閉じ込める役割を持つ
 - ・ガラスは分子構造の中に放射性物質を閉じ込めることが可能で、割れても放射性物質が漏れ出すことはない
 - ・ガラスは水に溶けにくい（ガラス固化体が全て溶けるのに約7万年と評価 ※）

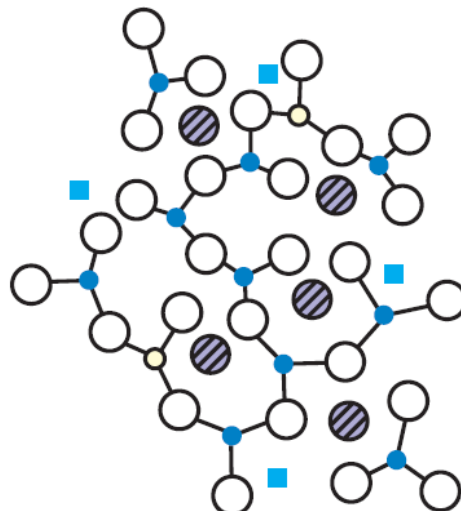
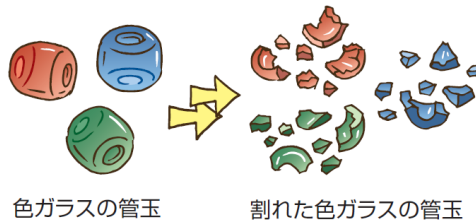
ガラス固化体



【ガラス固化体の仕様例】
材質：ガラス
寸法：高さ 約1.3m
直径 約40cm
重量：約500kg
ガラス容積：約150 ℓ

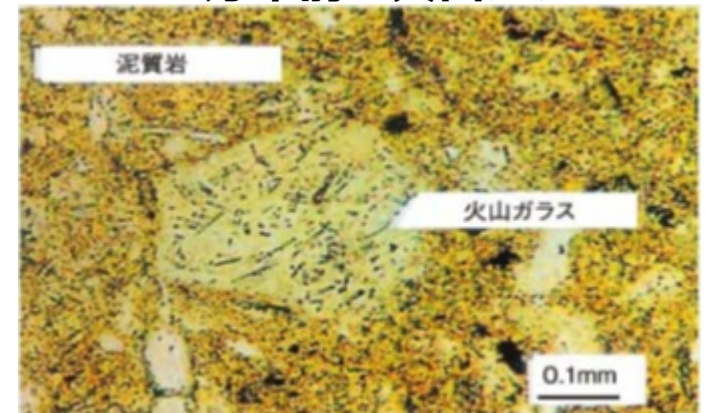
※ガラスの溶け出しに対する評価
＜評価条件＞
・ガラスの溶ける速度
長期間模擬地下水などに浸した試験結果をもとに設定
・ガラス固化体の状態
ガラス固化体の表面積が10倍になったものが地下水に接触していると仮定

ガラス固化体 1本が溶解する時間は約7万年



ガラス固化体は網目構造の中に放射性物質を取り込み長期間安定な状態を保つ

100万年前の火山ガラス



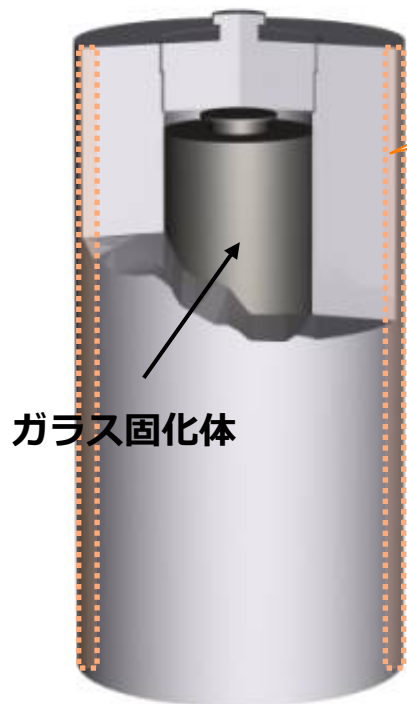
およそ100万年前に堆積した泥質層の中に埋まった「火山ガラス」からは、ガラスの成分の溶けだしがほとんどないことが確認されている（千葉県にて産出）

（核燃料サイクル開発機構
（現 日本原子力研究開発機構）
パンフレット
「地層のことを考える」）

②オーバーパックの役割(人工バリア)

- ◆オーバーパックは、ガラス固化体と地下水の接触を、放射能が大きく減る1000年間遮断する役割を持つ
- ・地下の深部では酸素が少ないため、金属の腐食は極めてゆっくりとしか進まない
(長期腐食実験の結果、1000年間におけるオーバーパックの腐食量は、地下深部の環境条件の不確実性などを考慮して大きめに評価しても約3cm程度)

オーバーパック



長期腐食実験などを踏まえて、1000年間の腐食量は大きめに約3cmと想定

【オーバーパックの仕様例】

材質：炭素鋼
寸法：高さ 約1.7m
 外径 約80cm
 内径 約40cm
 厚さ 約20cm (※)
重量：約6トン

※外からの圧力に対する安全性や、オーバーパックを透過する放射線による影響の低減などを考慮して、必要な厚さを約20cmと設定した

鉄は酸素がない環境ではほとんど腐食しない



- Ⅰ 出雲大社境内遺跡から出土した鉄斧 (730~750年前)
- Ⅰ 粘土で覆われた状態で発見され、その表面が薄い錆で覆われていたが、完全な形を残していた

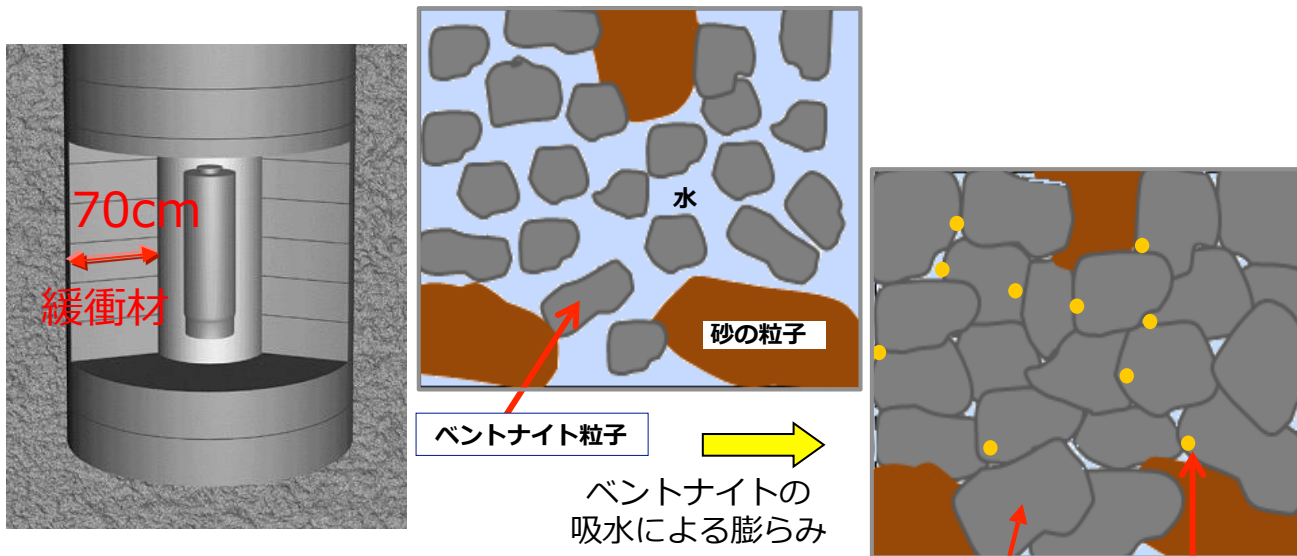
※図中の①~⑥は錆の厚さを内部X線CT調査した断面位置

写真提供：核燃料サイクル開発機構 (現 日本原子力研究開発機構)

これまで考古学で出土した鉄製品の長期腐食事例からは、1000年間の鉄製品の腐食深さは0.1~1.4cm

③緩衝材の役割(人工バリア)

- ◆緩衝材は、オーバーパックへの地下水の浸透や、放射性物質の移動を遅らせたり、放射性物質を吸着する役割などを持つ
 - ・緩衝材は、天然の粘土（ベントナイト）が主成分
 - ・ベントナイトは吸水すると膨らみ、粒子間の隙間を埋めることで水を通しにくくする性質を持つ



- | 堺市下田遺跡から発掘された銅鐸
- | 粘土の中で、1800年間腐食がほとんどなく、金属光沢が保たれていた



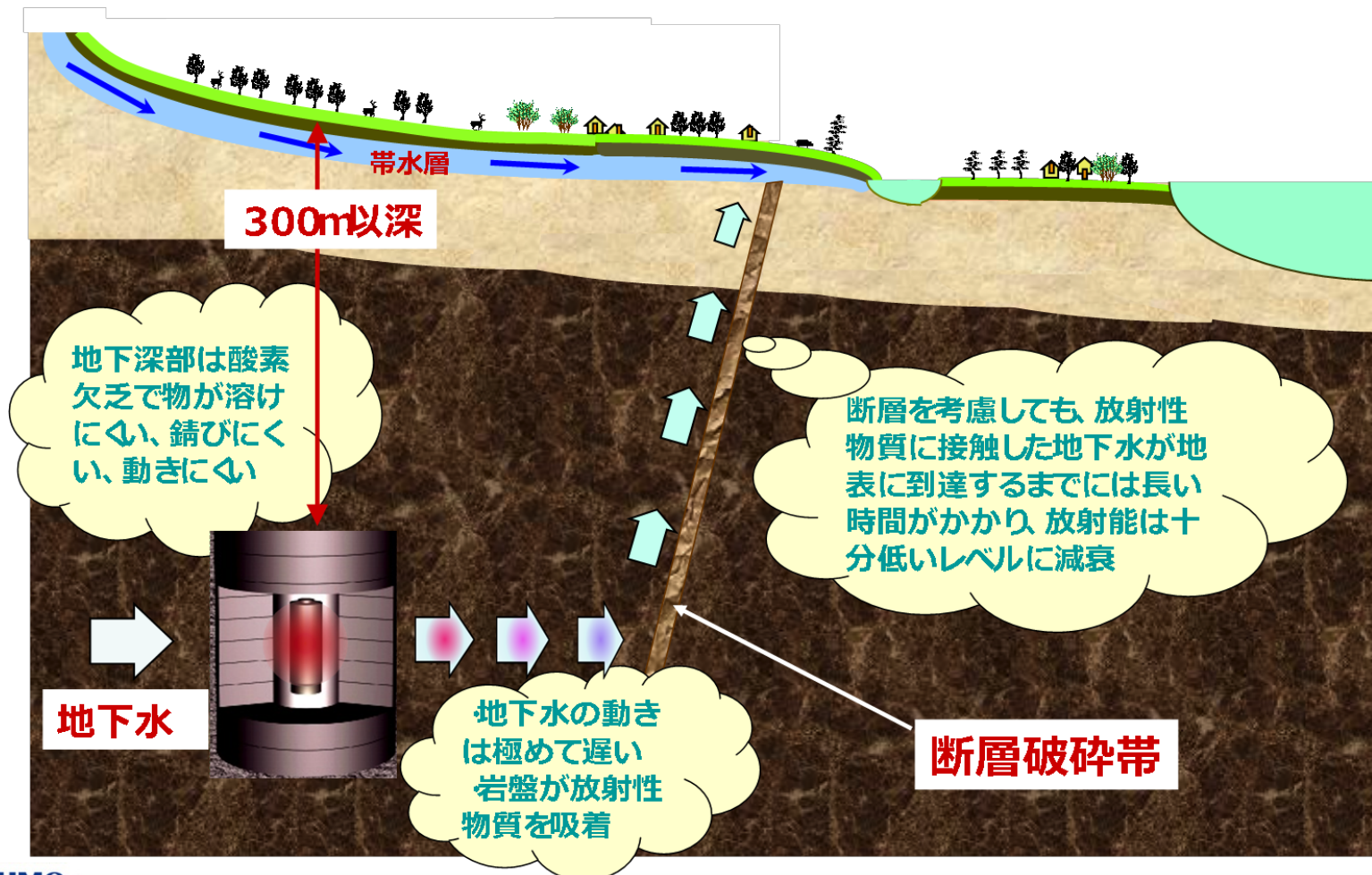
写真提供 (財) 大阪府文化財センター

【緩衝材の仕様例】

材質：ベントナイト70%、ケイ砂30%
寸法：高さ 3.1m、外径 約2.2m、内径 約80cm
厚さ 約70cm

④ 岩盤の役割(天然バリア)

- ◆岩盤は、人工バリアから漏れ出した放射性物質の移動を遅らせる役割を持つ
 - ・地下深部の岩盤では地下水の流れは遅く、かつ岩盤は放射性物質を吸着する
 - ・ガラス固化体から長時間かけてすこしずつ溶け出した放射性物質は、数万年～数十万年後に地表に達すると考えられる



※断層破碎帯

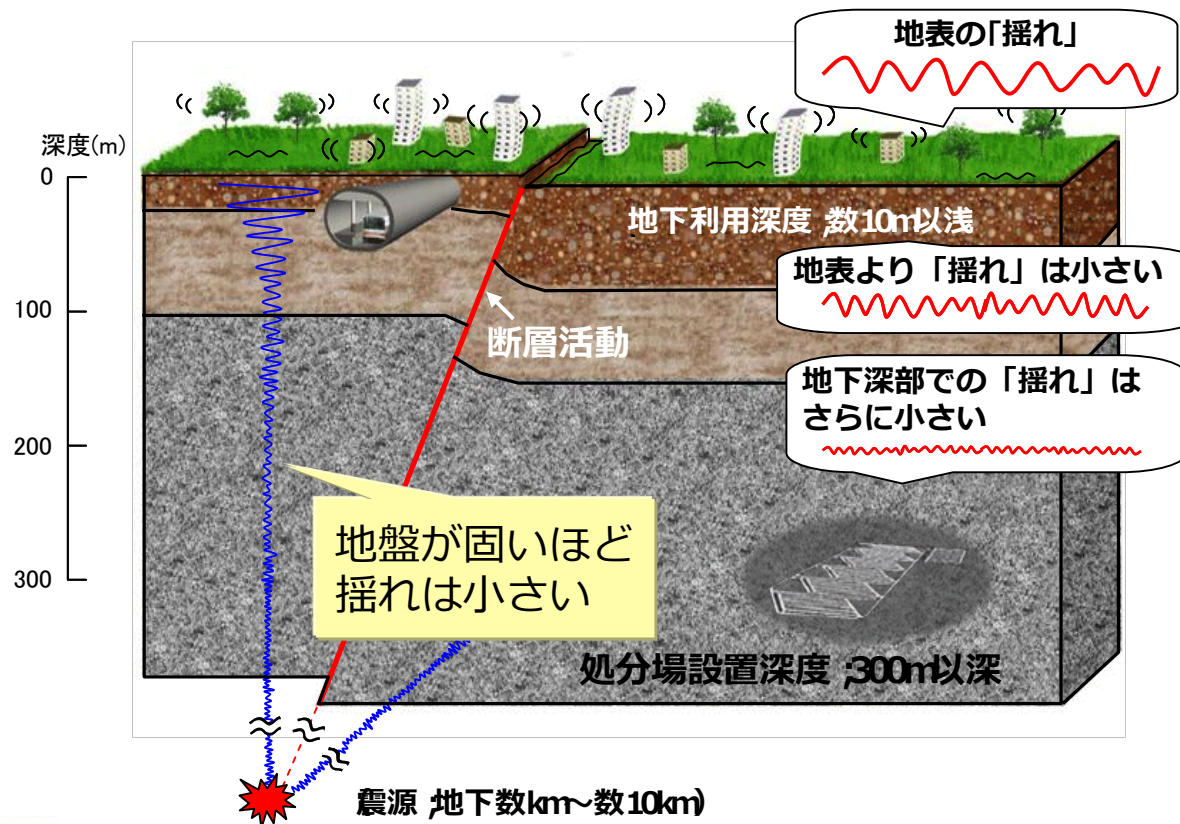
断層の動き

(岩盤のズレ)によって、岩石が押しつぶされて出来た帯状の部分。角張った岩石くずになっていることが多く、一般に水を通しやすい。

地震が及ぼす地層処分施設への影響

- 一般に地表部は地盤が軟らかく、地震によるゆれが大きい。
逆に、地下深くなると地盤が硬いため、地表に比べ地震の揺れが小さい
- 埋設されたガラス固化体は周囲の岩盤と一体になって揺れる
⇒ 埋設されたガラス固化体が地震により破壊される可能性は非常に小さい

東日本大震災の教訓を踏まえ、地震の影響については最新の知見を取り入れて検討する



震度7直下型地震における被害事例



地表の被害

地表の壊滅的な被害に対し、トンネルの空洞が保たれている



トンネル内の被害

新潟県山古志村の木沢トンネル (2004年10月中越地震)

(土木学会 (第1次) ・地盤工学会合同調査団 調査速報より)

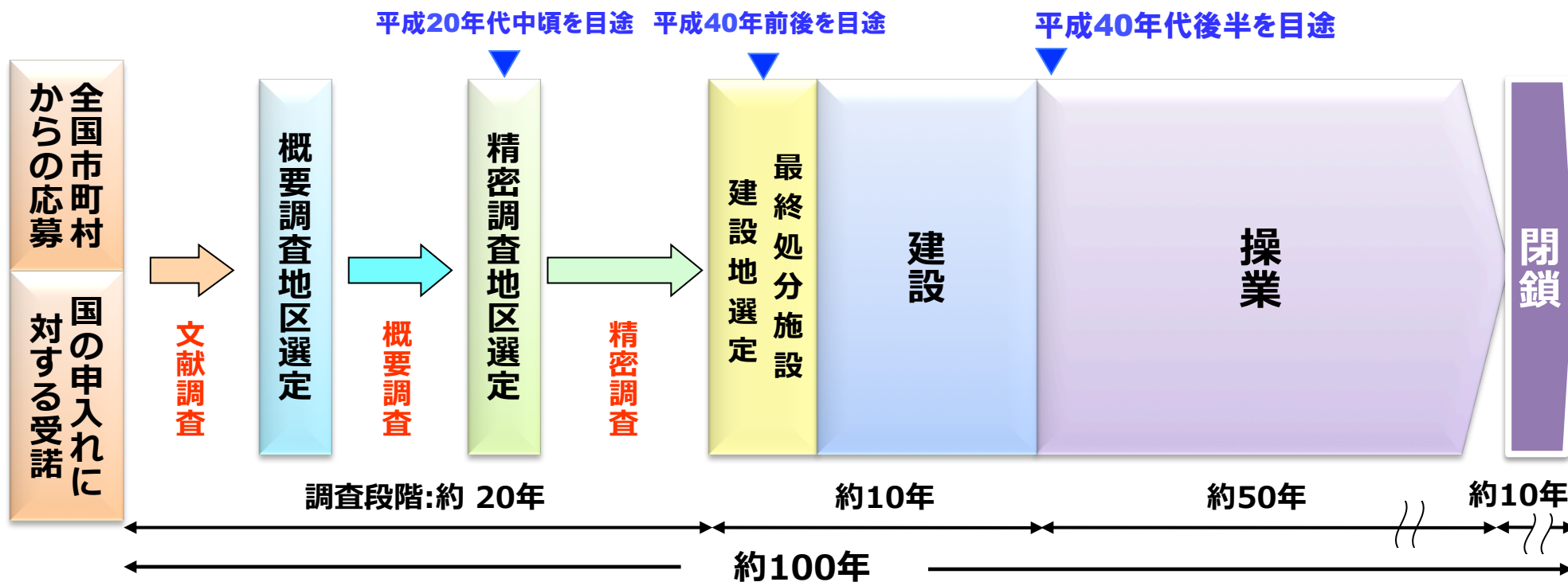


エネルギー環境教育 教職員セミナー

4.地層処分事業の概要

事業スケジュール

- ・ 処分事業は、建設地選定に向けた3段階の調査から、施設建設、操業、閉鎖・閉鎖後の管理まで、約100年に及ぶプロジェクトです。
→NUMOは自ら事業を中止することはありません。また、万一、NUMOが事業を継続できない場合は、経済産業大臣（国）が事業を行います。
- ・ 閉鎖後の管理は技術的には不要ですが、跡地の利用やモニタリングの方法等について地域の方々と相談のうえ決定します。

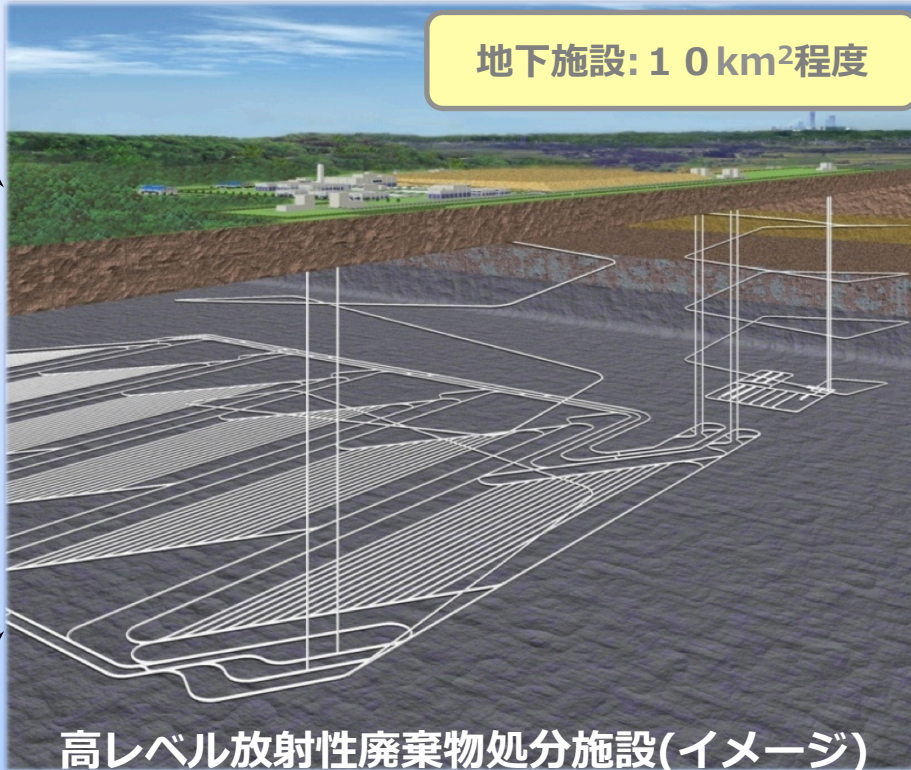


地層処分事業の概要

事業の詳細は地質の状況等に応じて決定されます。



地上施設: 1 ~ 2 km²程度
1 km²=ディズニーリゾート
(ディズニーランド&シー)



地下施設: 10 km²程度

地下300メートルより深い
(東京タワー 333m)

高レベル放射性廃棄物処分施設(イメージ)

p 処分場の規模

○高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体)
を **4万本以上** 処分できる規模

p 処分費用 約3兆円

○電力会社等から拠出金として徴収
ü法律で定められている
ü単価は毎年見直し

○拠出金は皆さんに負担いただいています。
ü一家庭あたり毎月20円程度

○拠出金は全額外部機関に積立
ü国の承認のもと、必要額を取り戻して
使用します。

ワークショップへのご参加ありがとうございました。



高レベル放射性廃棄物やNUMOの地層処分に関する取り組みなど、より詳しい内容は、NUMOホームページでご覧いただけます。

NUMOホームページアドレス

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

または

「ニューモ」で検索

ニューモ

検索



エネルギー環境教育 教職員セミナー

【参考資料】

■ 群分離・核変換技術の研究開発

【経緯】

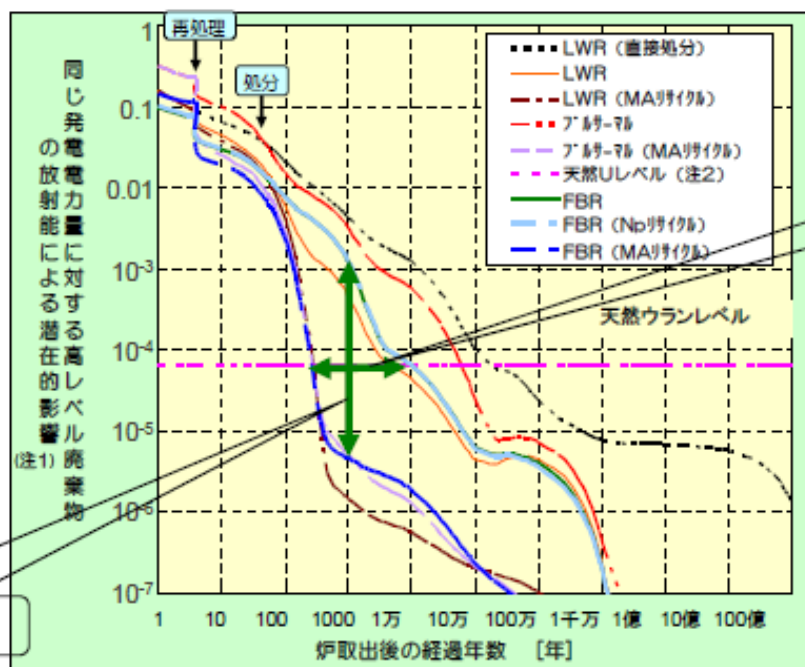
- ∅ 1984年オメガ（OMEGA）計画（原子力委員会決定）の一部として群分離・核変換技術の研究開発を本格的に開始
- ∅ 2000年にオメガ計画チェックアンドレビューが実施され、今後も着実に研究開発を進めることを確認、現在は日本原子力研究開発機構と電力中央研究所が研究開発を実施中

【留意点】

- ∅ 現在研究が行われている群分離・核変換技術は、使用済み燃料の再処理過程の一環として一部の核種を変換する技術であり、ガラス固化体は対象としていない
- ∅ 核種変換の対象としている核種は、マイナーアクチノイドといわれるネプツニウム（Np）、アメリシウム（Am）、キュリウム（Cu）等であり、長期安全性に影響を及ぼすストロンチウム（Sr）やセシウム（Cs）は対象外

群分離・核変換の利点

- 潜在的有害度を約2桁低減させることができる（下図）
- 天然ウランレベルまでの低減に要する期間を1万年から数百年に短縮することができる（下図）
- 廃棄体の発生量を10%程度低減できる
- 処分場面積を80%程度に小さくできる



天然ウランレベルまでの減衰に要する期間を1万年から数百年に短縮

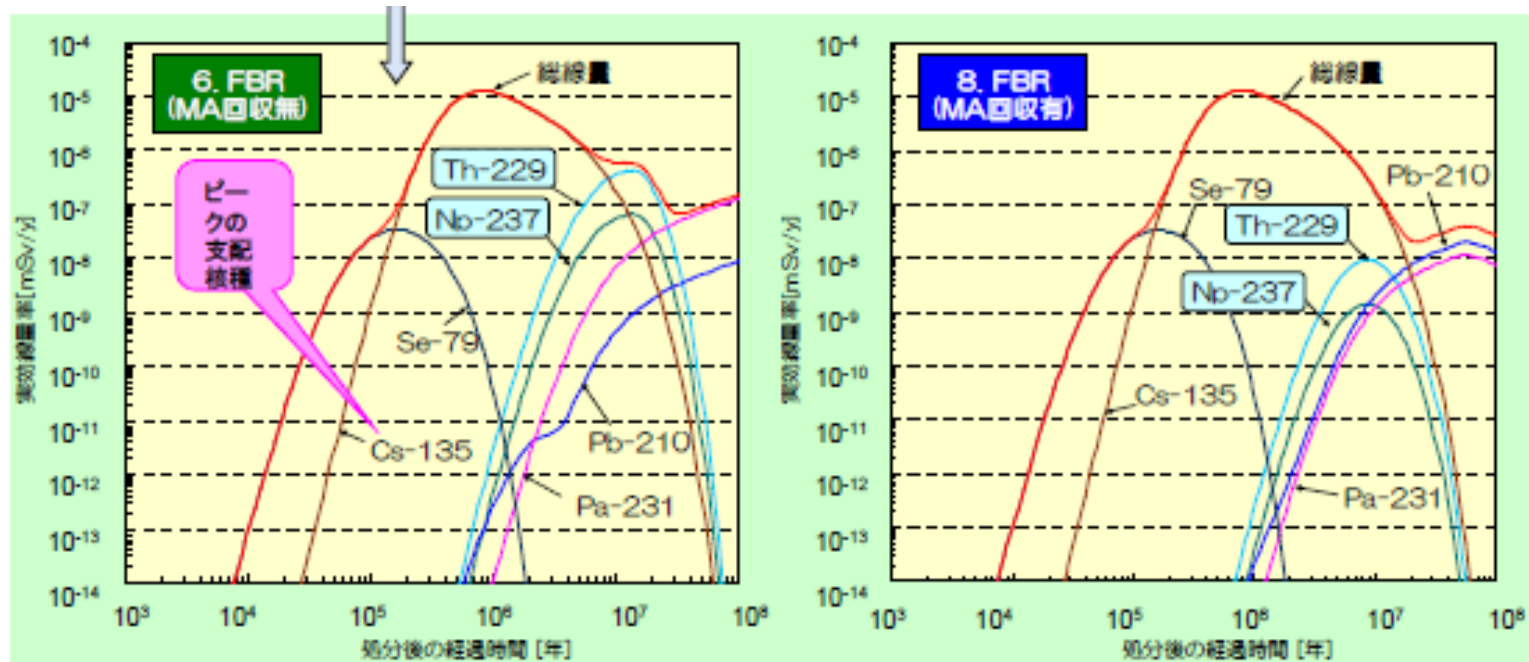
出典：文部科学省 原子力科学技術委員会 群分離・核変換技術評価作業部会（第2回） H25.9.9 の資料 1

潜在的有害度を約2桁低減

(注1) 高レベル放射性廃棄物と人間との間の障壁は考慮されておらず、高レベル放射性廃棄物の実際の危険性ではなく、潜在的な有害度（経口摂取による年摂取限度で規格化）を示している。使用済燃料取り出し直後の潜在的影響を1とした相対値。
 (注2) 天然ウランレベルの線は、LWR(直接処分)のケースで燃料の原料として必要な天然ウラン(190トン強)とその娘核種 による潜在的な有害度の経時変化における最大値を示している。

群分離・核変換の問題点

- 核変換によって、安全評価の地下水シナリオでは1,000万年後の被ばく線量は ある程度低減されるが、ピーク被ばく線量の低減効果はほとんどない（下図）。
- 群分離技術も核変換技術もまだ研究段階にあり、実用レベルには達していない。
- 群分離・核変換施設から大量の低レベル放射性廃棄物が発生する。



- 地下水シナリオでは、ピークの実効線量率はCs-135で支配され、MA核変換の効果は限定的
- 1000万年頃のNp-237/Th-229による実効線量率は、MAリサイクルによって変化

出典：文部科学省 原子力科学技術委員会 群分離・核変換技術評価作業部会（第2回）H25.9.9 の資料1

放射性廃棄物の例



★高レベル放射性廃棄物

原子力発電で使い終えた燃料をリサイクルする過程で残る廃液をガラスで固化したもの

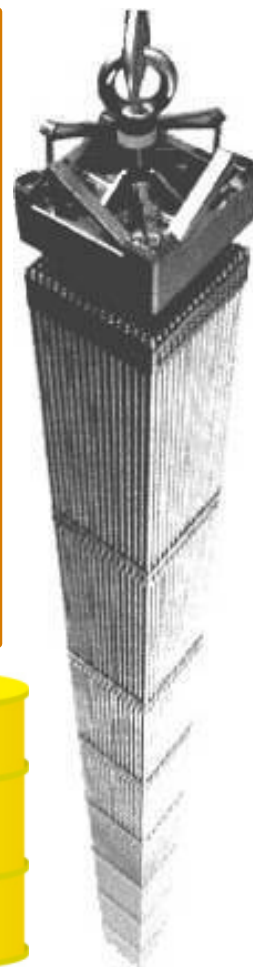
→日本では「**ガラス固化体**」のことを指す。

処分実施主体

: **NUMO**

処分方法・処分場所

: **地層処分 / 未定**



★使用済燃料の直接処分

使い終えた燃料を再処理することなく、**燃料の形態のまま**最終処分すること。諸外国には直接処分を行う所はあるが、**日本国内で可能なのか、実施主体などについては、今後、研究や議論が行われる。**

【燃料(集合体)】

大きさ

約20～30cm×約20～30cm

長さ

約420～450cm

★低レベル放射性廃棄物

原子力発電所から発生する作業着やポリシートなどは焼却しドラム管に詰めた後、六ヶ所村に埋設処分している



★災害廃棄物:

原発事故により放射性物質に汚染された廃棄物

処分実施主体:**国(各省)、都道府県、市町村**

(対象、区域や放射能レベルに応じて)

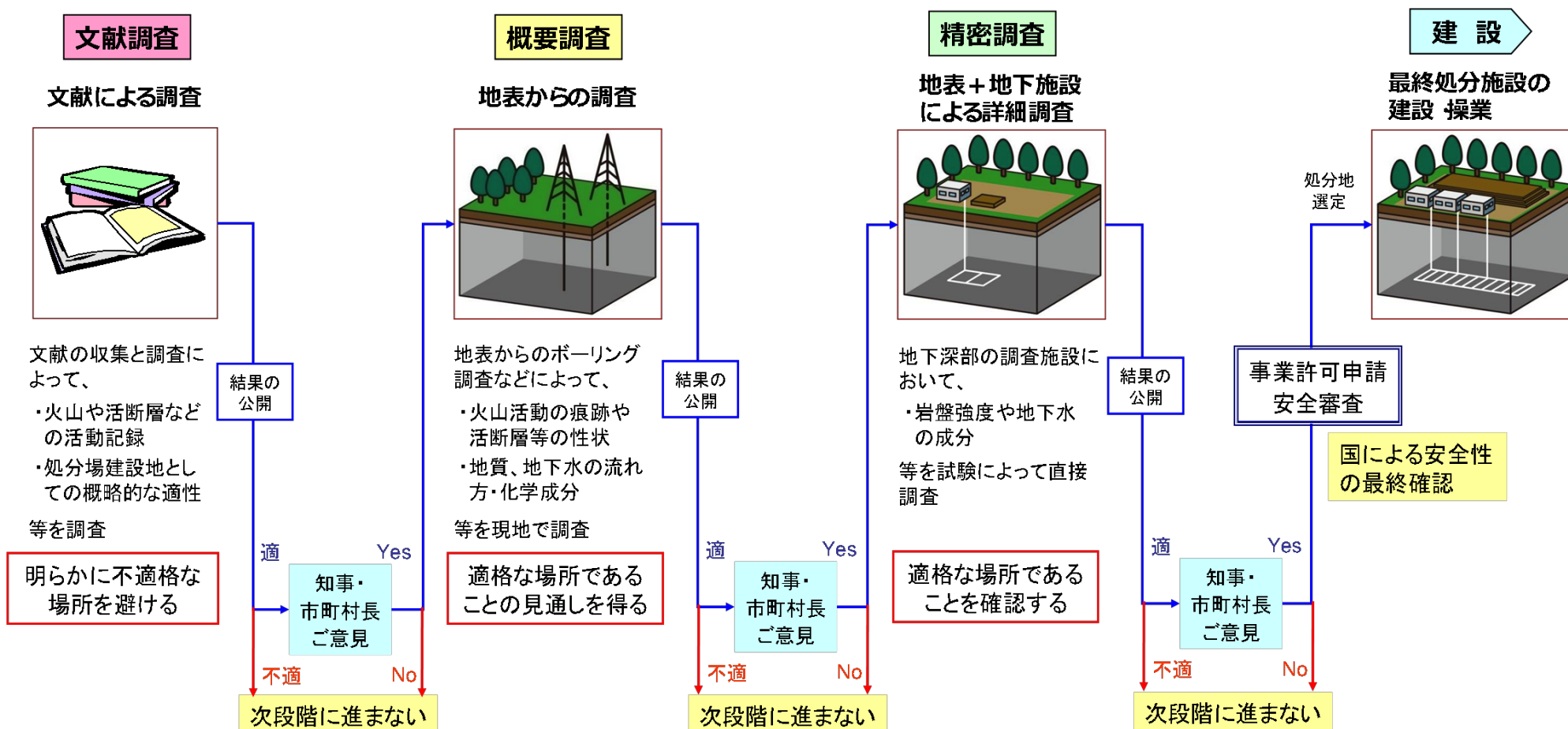
★処分方法・処分場所:

栃木、茨城、群馬、千葉各県－新設
岩手、新潟、東京－既存施設で
最終処分する予定。

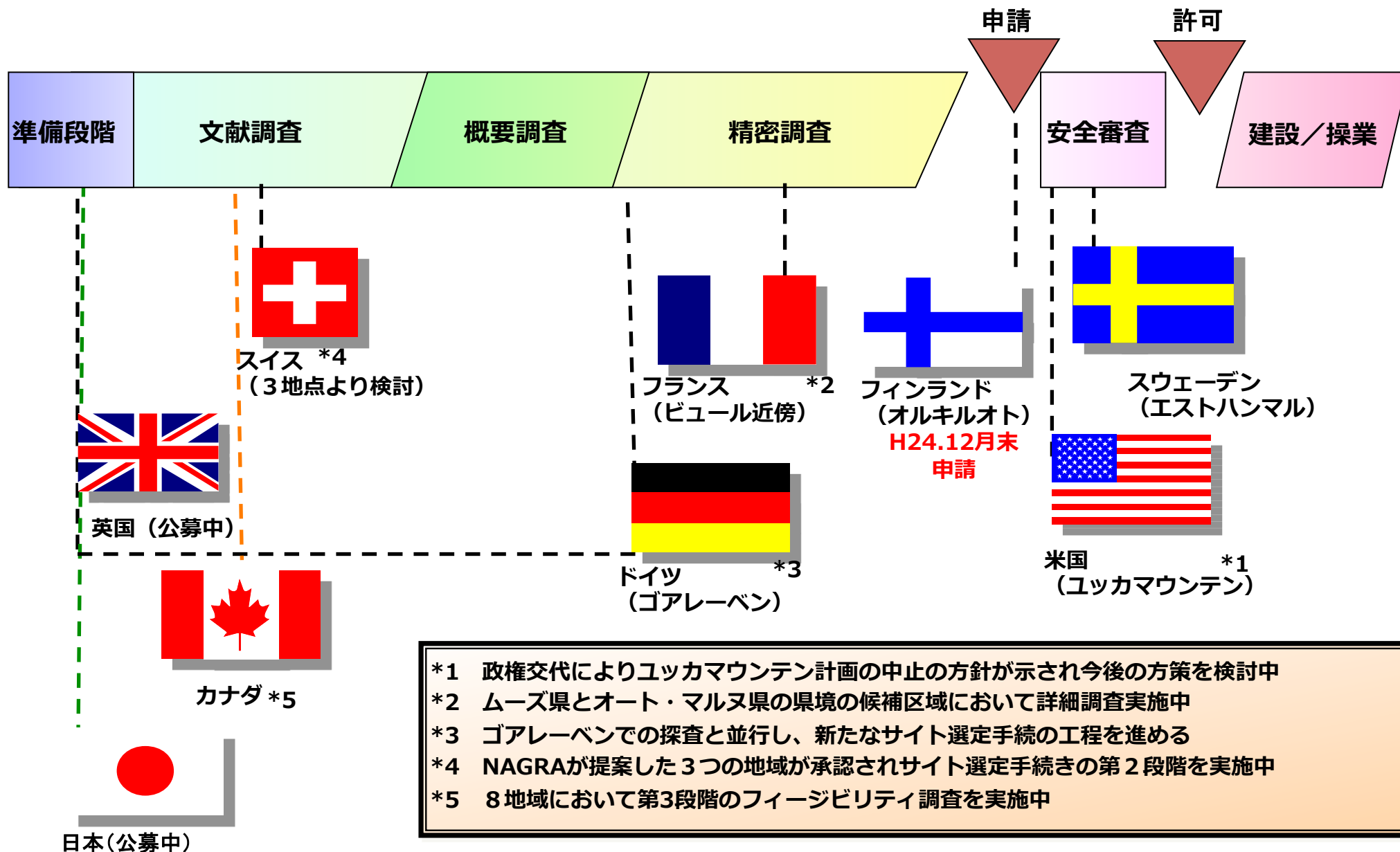
福島県の処分先(福島県外)は未定。

三段階の調査により処分施設に適した地点を選定


- ・ 処分施設建設地の選定において、約20年をかけて三段階の技術的な調査を慎重に行う
- ・ 火山、断層、地下水のほか、隆起・侵食の傾向や岩盤強度など、様々な地質の特徴について広範囲かつ地下深くまでの詳細な調査を行い、処分施設の建設に適した地点を選定する
- ・ 各調査段階の結果を公表し、処分施設として適していない、あるいは同意を得られない場合は次の段階へ進むことはありません。



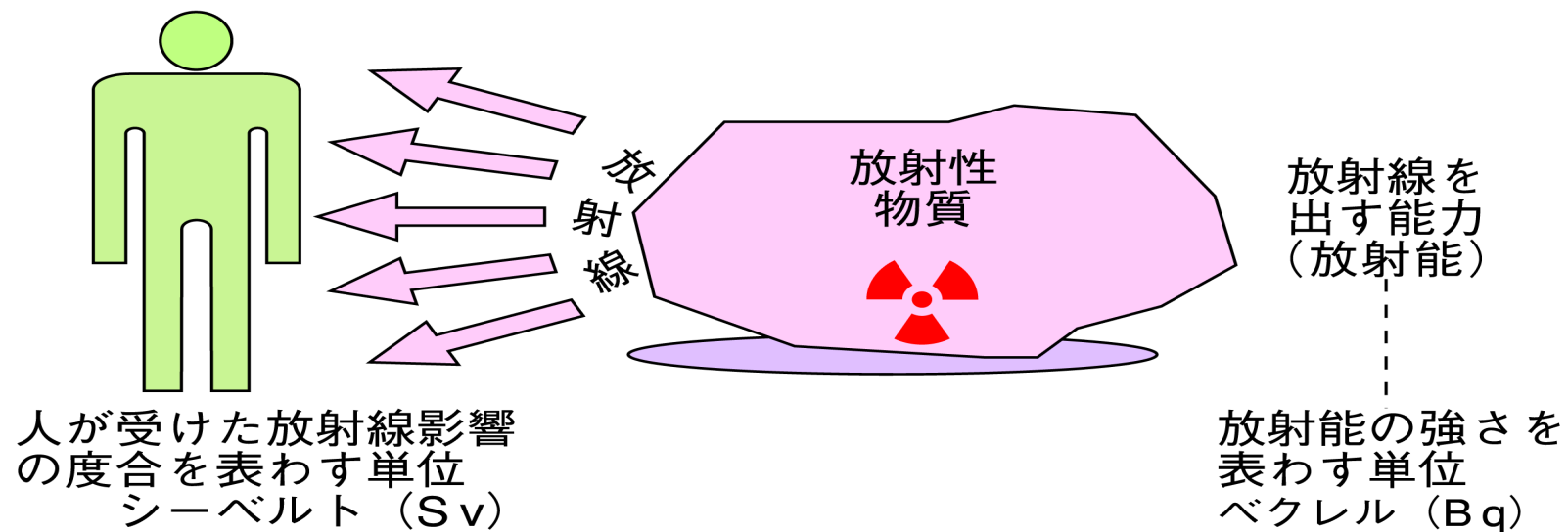
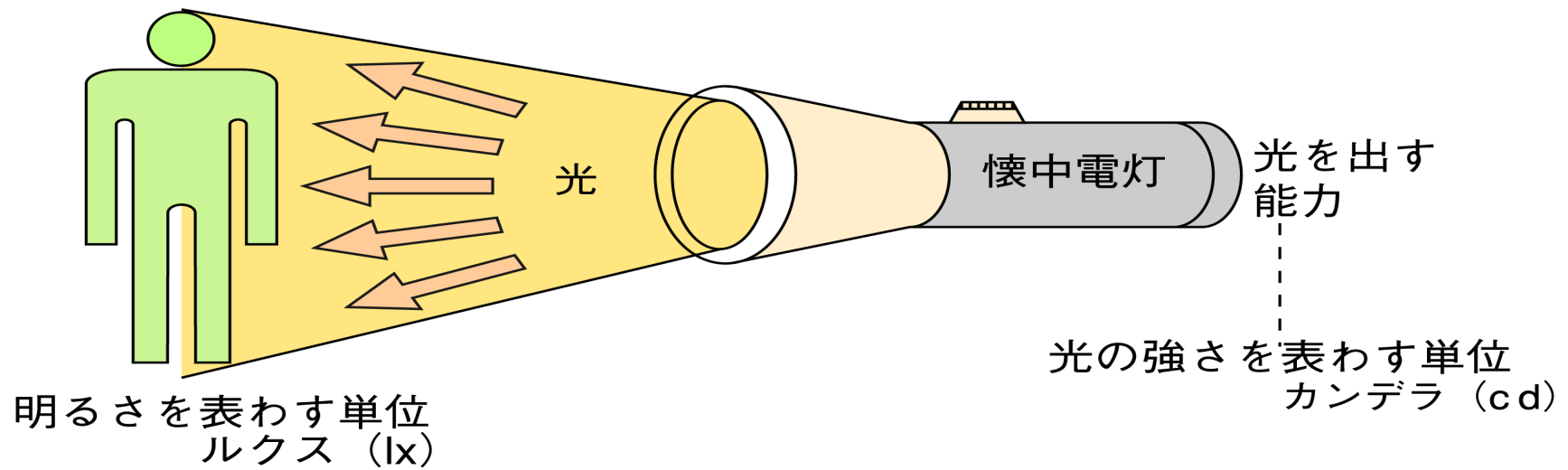
諸外国の地層処分の進捗状況



諸外国の地層処分の一覧表

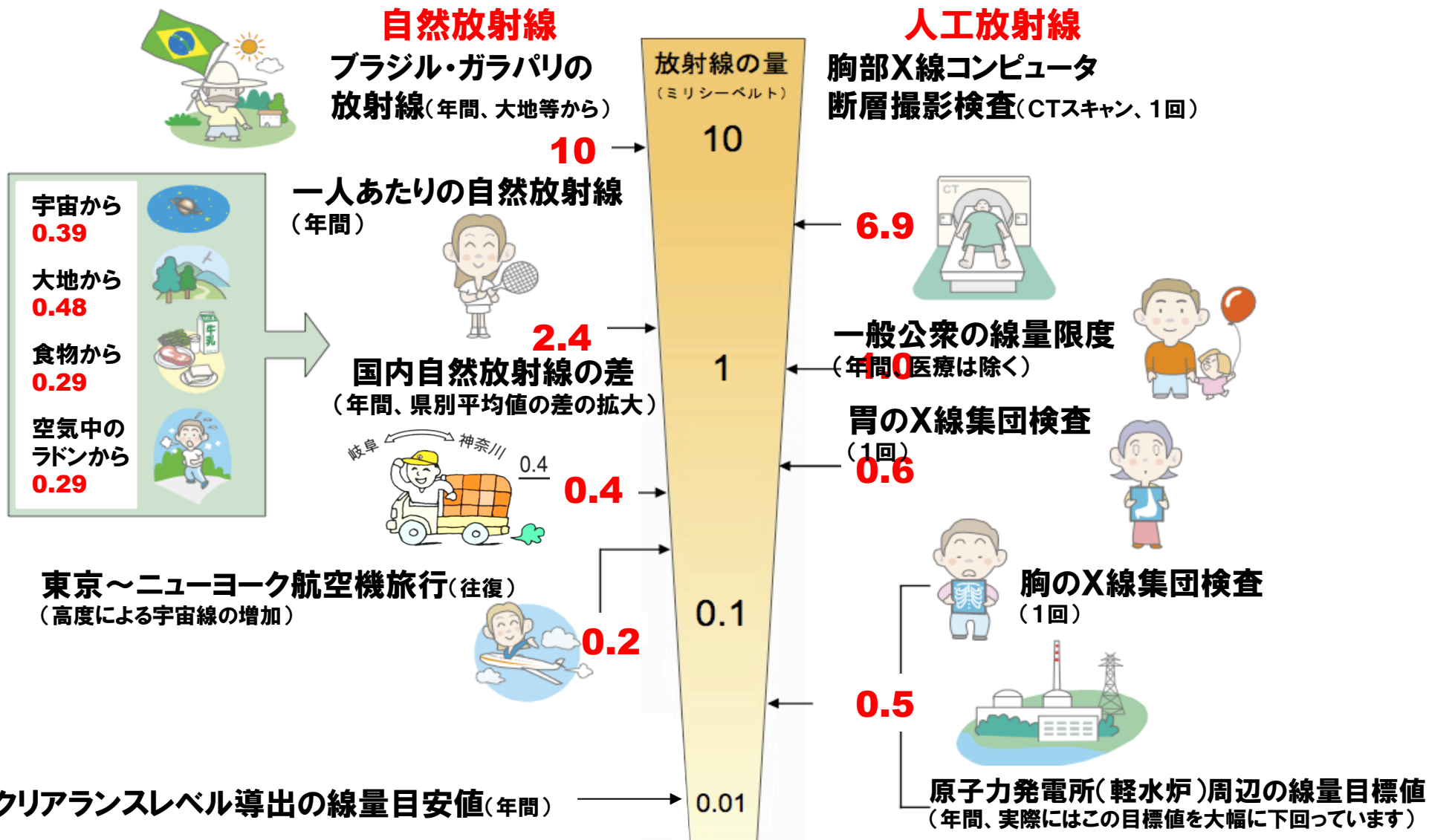
国名	廃棄物形態	実施主体(形態)	処分候補地	操業予定
 フィンランド	使用済燃料	ポシヴァ社(POSIVA) 1995年設立	オルキルオト	2020年頃
 スウェーデン	使用済燃料	核燃料・廃棄物管理会社(SKB) 1984年設立	エストハンマル自治体フォルスマルク	2029年頃
 フランス	ガラス固化体	放射性廃棄物管理機関(ANDRA) 1979年設立	未定 (ビュール地下研究所近傍から立地候補地を政府へ提案)	2025年頃
 ドイツ	ガラス固化体 使用済燃料	連邦放射線防護庁(BfS)	ゴアレーベン(中断中)	未定
 スイス	ガラス固化体 使用済燃料	放射性廃棄物管理共同組合(NAGRA) 1972年設立	未定 (NAGRAによって提案された3地域について今後検討が行われる)	2050年頃
 英国	ガラス固化体 使用済燃料	原子力廃止措置機関(NDA) 2005年設立	未定	未定
 カナダ	使用済燃料	核燃料廃棄物管理機関(NWMO) 2002年設立	未定	未定
 米国	ガラス固化体 使用済燃料	エネルギー省(DOE)	未定	未定

放射能と放射線



日常生活と放射線

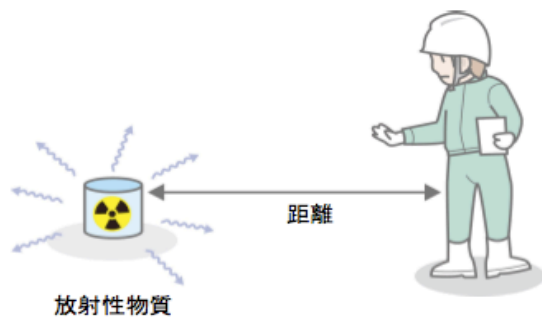
放射線は、わたしたちの身の回りに存在しています。



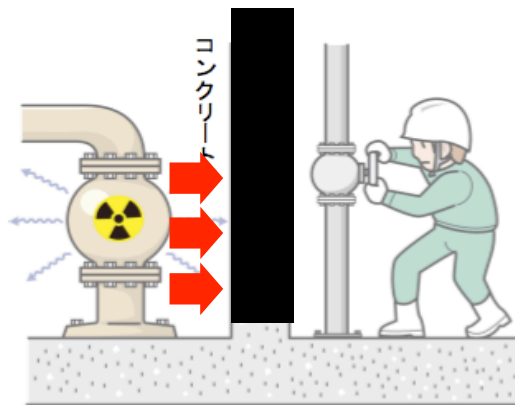
出典：資源エネルギー庁『原子力2009』他

放射線防護の基本

距離による防護



遮へいによる防護



時間による防護

