

「プロメテウスの火」の後始末

ー高レベル放射性廃棄物処分の4W1H

目次(お伝えしたいこと)

WHAT? それはなに?

WHICH? どんなもの?

WHERE, NOW? いまどこに?

WHO? 誰が出しているの?

HOW? どうするの?

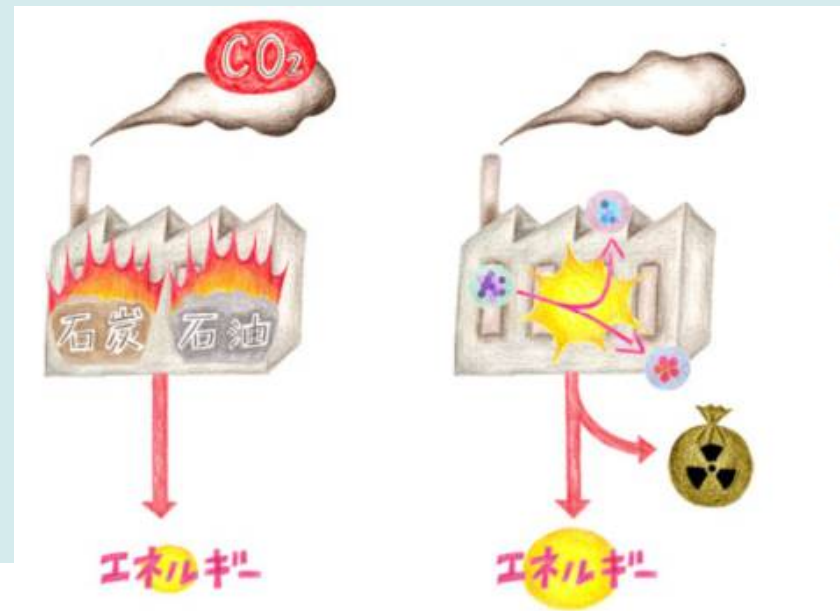
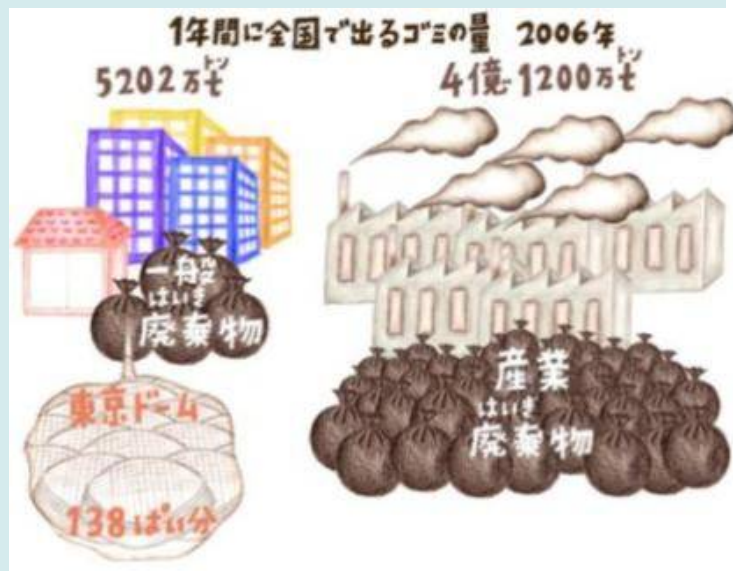


プロメテウス(人間に火を与えた神)



日本原子力学会シニアネットワーク連絡会会長
元動燃事業団(現原子力機構)理事
坪谷隆夫

ごみ(廃棄物)の処分技術



kidsnet

どのような技術でも社会に定着するためには人々に信頼される仕組み(制度)＋社会の支持(需要)が不可欠です

坪谷隆夫プロフィール



- ① 動燃事業団(現・日本原子力研究開発機構) 元理事・環境技術開発推進本部長。原環センター元理事・技術統括
- ② 1985年(昭和60年)頃より東海村における地層処分技術開発、瑞浪市および幌延町における深地層研究施設計画、また、動燃事業団本社および原環センターで地層処分を中心とする最終処分に関する技術統括および最終処分法制定など国の政策支援などに従事
- ③ 2000年の最終処分法制定時、衆議院および参議院審議で参考人として日本の地層処分技術を説明
- ④ 最近10数年は市民・学生などと放射性廃棄物を中心とした対話活動に積極的に取り組むほか、環境省の除染事業で市民との対話活動を支援

近著

- 1. 「オーラル・ヒストリー～地層処分研究開発～」(自費出版(2020年))
(<http://www.aesj.or.jp/~snw/img/ChisouShobun-oral-history1.pdf>)
- 2. 「地域発展の起爆剤－高レベル放射性廃棄物の最終処分場」(原子力国民会議(2019年))
(<http://www.kokumin.org/地域発展の起爆剤>)

WHAT? それはなに?

使うところではごみは出ません



WHAT? それはなに?

炭酸ガス

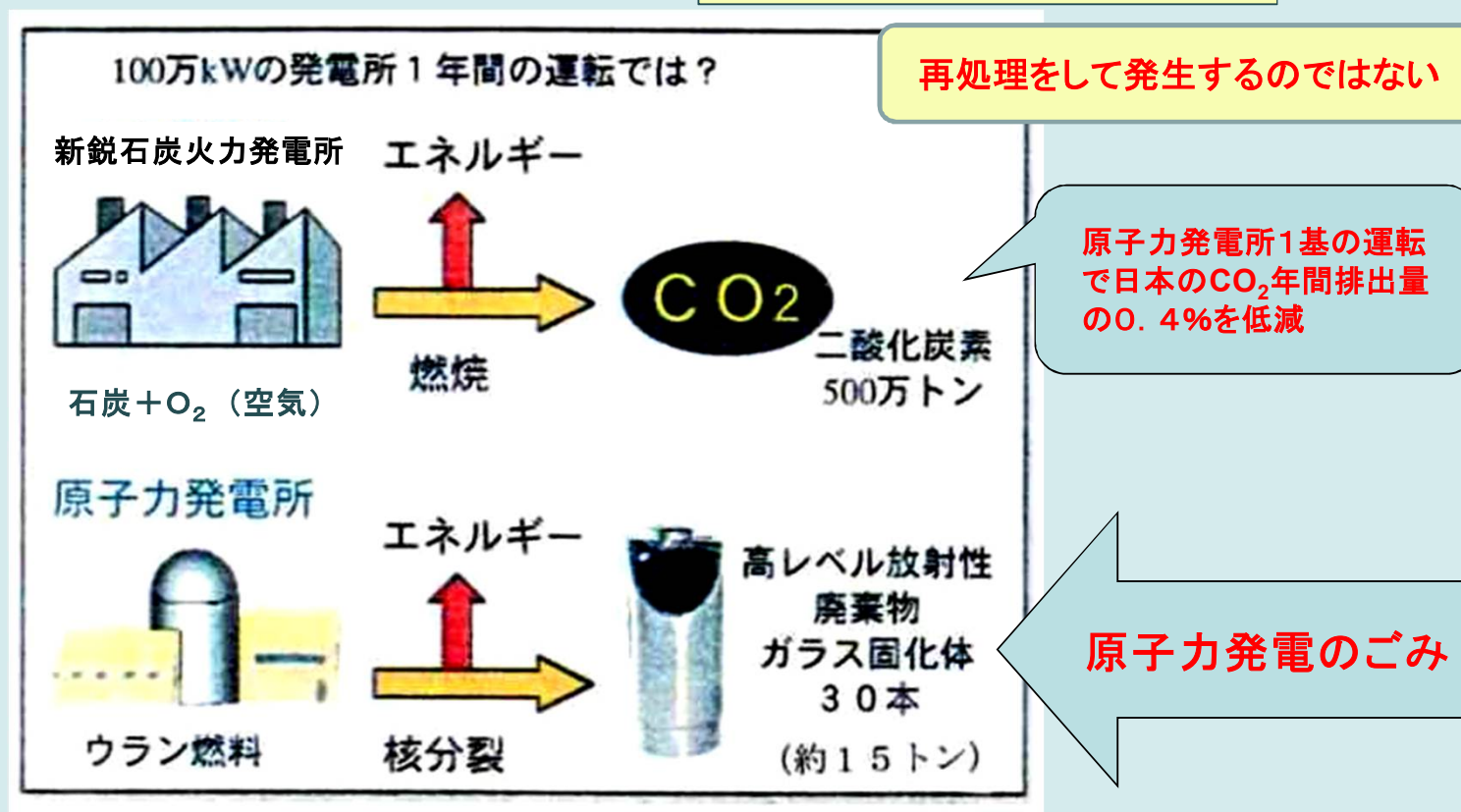
○火力発電に伴い必ず発生

○発生量は膨大

高レベル放射性廃棄物

○原子力発電に伴い必ず発生

○発生量が僅少



WHAT? それはなに?

■ 日本人1人あたりの年間廃棄物発生量

廃棄物の種類	廃棄物発生量 (kg / 年・人)	備考
①一般廃棄物	主に家庭から出る生ゴミ、粗大ゴミやオフィスから出る紙くずなど 623	平成17年度（2005年度）実績
②産業廃棄物	事業活動に伴って出る廃棄物のうち、廃油、廃プラスチック、廃酸、廃アルカリなどの19種類 3,276	平成16年度（2004年度）実績
③放射性廃棄物	原子力施設の運転、保守などによっても出る放射能のある廃棄物	③-1 高レベル 平成12年（2000年）～平成18年（2006年）実績の平均
		③-2 低レベル 0.18 平成18年度（2006年度）実績

出典：①環境省廃棄物・リサイクル対策部「日本の廃棄物処理」平成17年度版、②環境省廃棄物・リサイクル対策部「産業廃棄物排出・処理状況調査報告書」平成16年度 実績、③-1 総合資源エネルギー調査会電気事業分科会原子力部会放射性廃棄物小委員会（平成19年12月18日）参考資料、③-2 経済産業省原子力安全・保安院「平成18年度 原子力施設における放射性廃棄物の管理状況及び放射線業務従事者の線量管理状況について」、文部科学省科学技術・学術政策局「文部科学省所管原子力施設における放射線業務従事者の被ばく管理状況及び放射性廃棄物管理状況について（平成18年度）」

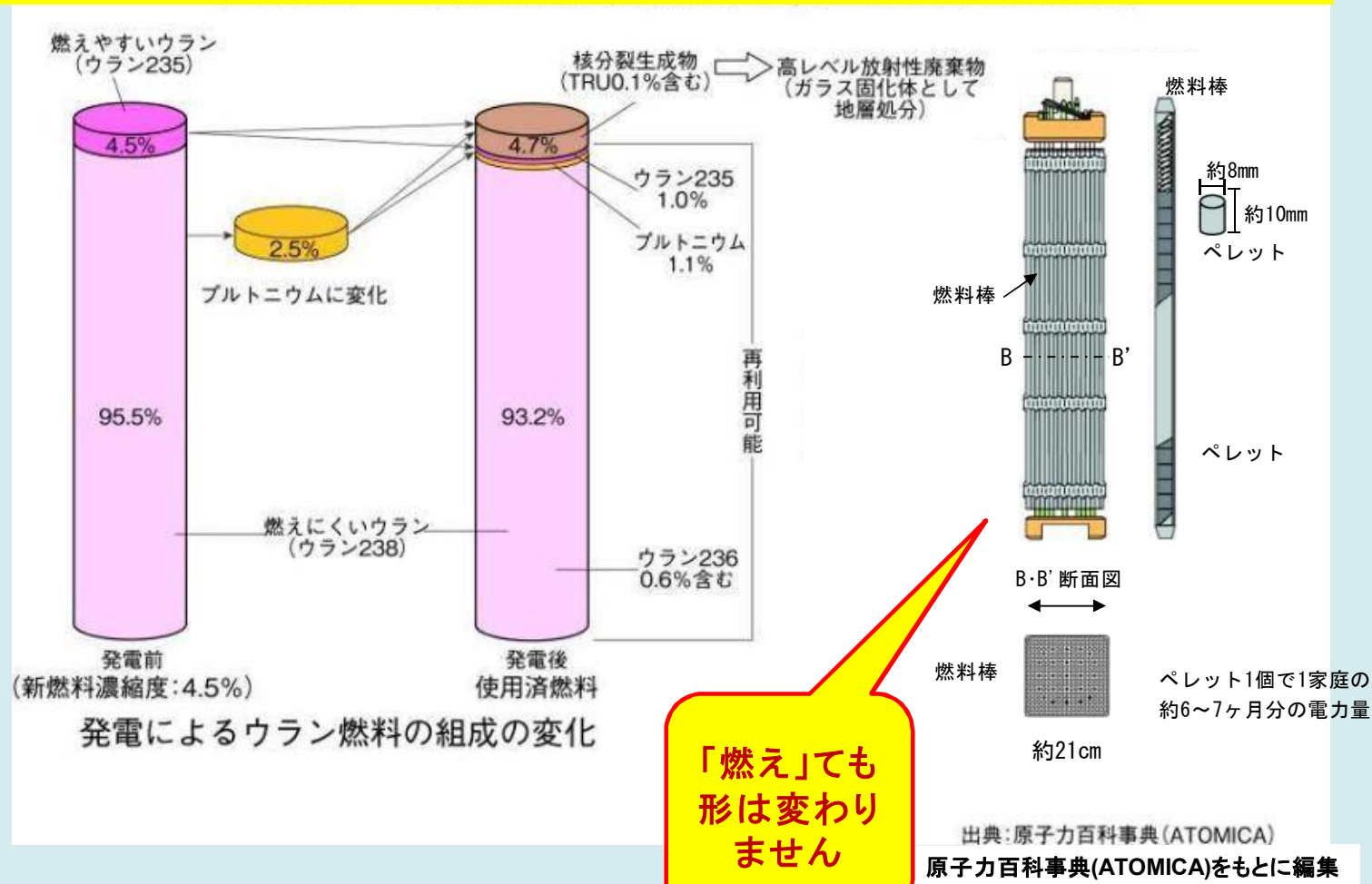
発生量は僅少

総合資源エネルギー調査会ベストミックス小委員会（2015年4月）のデータに基づいて筆者が算定

WHAT? それはなに?

WHICH? どんなもの?

使用済み燃料と高レベル放射性廃棄物は原子力発電に伴って発生します



WHICH? どんなもの?

○高レベル放射性廃棄物はガラスをステンレス鋼の容器に封じ込めたもの(ガラス固化体)

○セラミックスの1種であるガラスは

- ①多様な元素や物質を取り込む性質
- ②長い期間にわたって安定である性質
- ③成分が地下水に溶けにくい性質

ガラスです



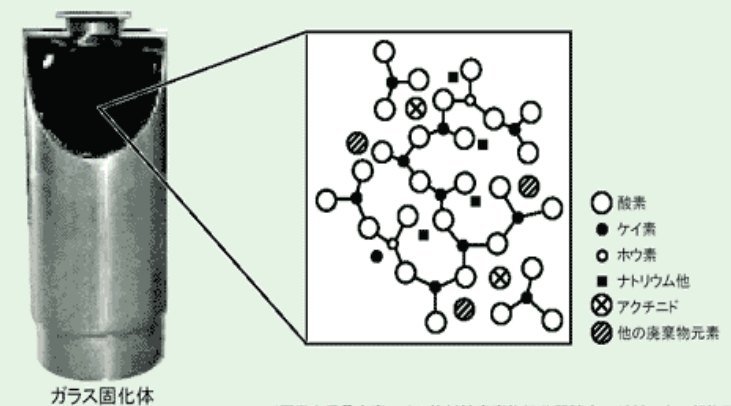
ハワイ・キラウエア火山

(https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/3/3f/Lave_touriste_hawaii.jpg)



黒曜石(霧ヶ峰自然保護センター)

分子構造レベルでみたガラス網目構造中の廃棄物元素の存在状態

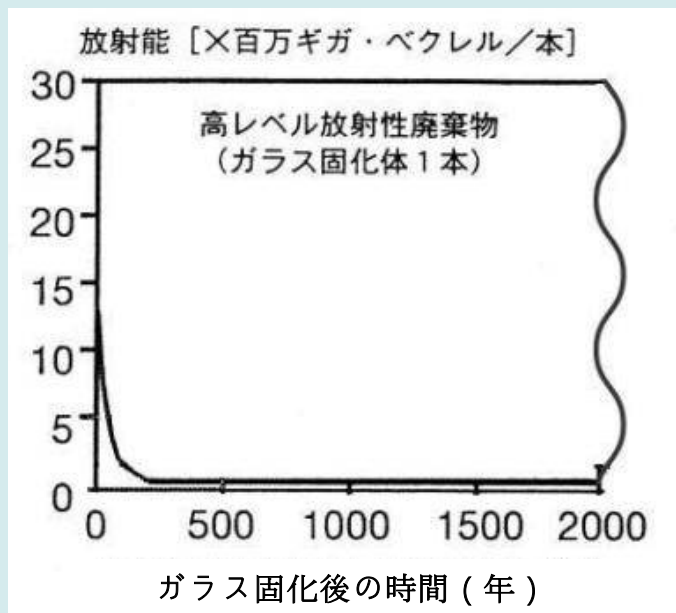


WHICH? どんなもの?

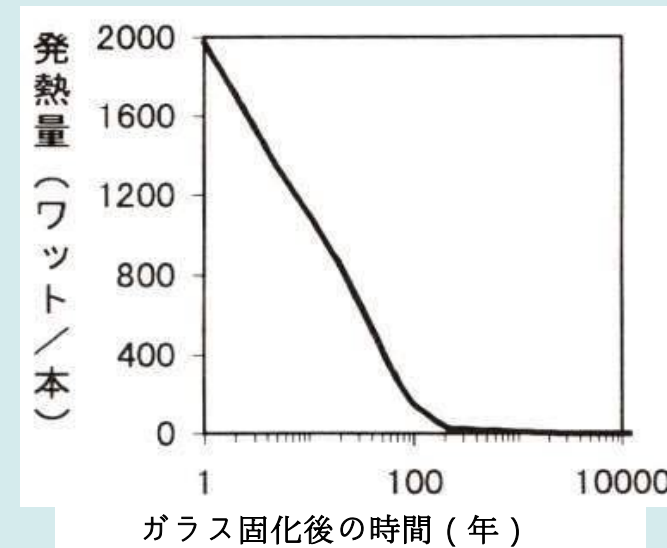
大きな性質 放射能は自然に減ります

○寿命の短い放射性物質がもたらす放射能は当初非常に高いが、数百年間で急激に減少

○寿命の長い放射性物質がもたらす放射能は 長い時間をかけて徐々に減少



(1) 放射性物質の量の経時変化



(2) 発熱量の経時変化

WHERE, NOW ? いまどこに？



柏崎刈羽原子力発電所(東京電力)

使ったあとの燃料(使用済み燃料)は原子力発電所で
安全に保管 (まだ、廃棄物ではありません)



使用済み燃料保管(北海道電力HP)

WHERE, NOW ? いまどこに？

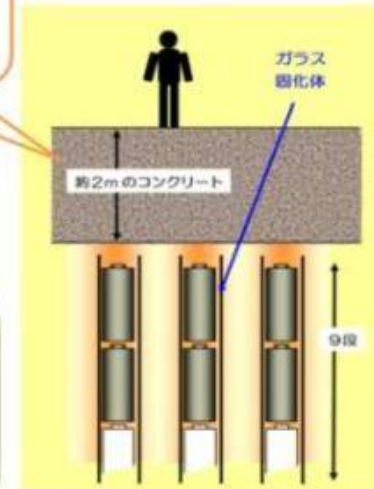
安全に処分できる発熱量に下がるまで、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター等に保管しています。



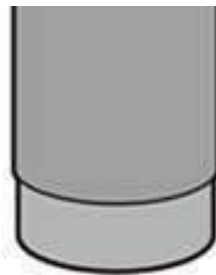
日本原燃㈱ 高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター（青森県六ヶ所村）
※写真は2014年12月24日（水）週刊誌の取材で訪問した舞の海氏（掲載誌「週刊新潮」）

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遮蔽できます。

このセンターで30～50年貯蔵します。この間に放射線量は1/10、発熱量は1/3～1/5程度まで減少します。



※構造を簡略化した図です。



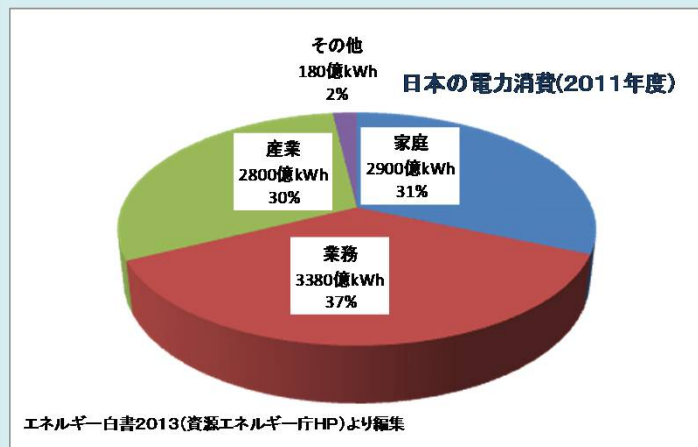
日本国内で貯蔵中
2530本
(2023年3月末)

将来発生
見込みの合計
約40,000本※
(平成33年頃)

NUMO HPより

地層処分意見交換会(2016, NUMO))

WHO? 誰が出しているの?



デジタル革命で増大するデータセンター需要

世界のサーバー用の電力需要: 3,600万kW, 3,000億kWh
(科学技術振興機構(2019))



千葉ニュータウン中央駅周辺で建設されているデータセンター向けとみられる建物

(撮影: 日経クロステック)



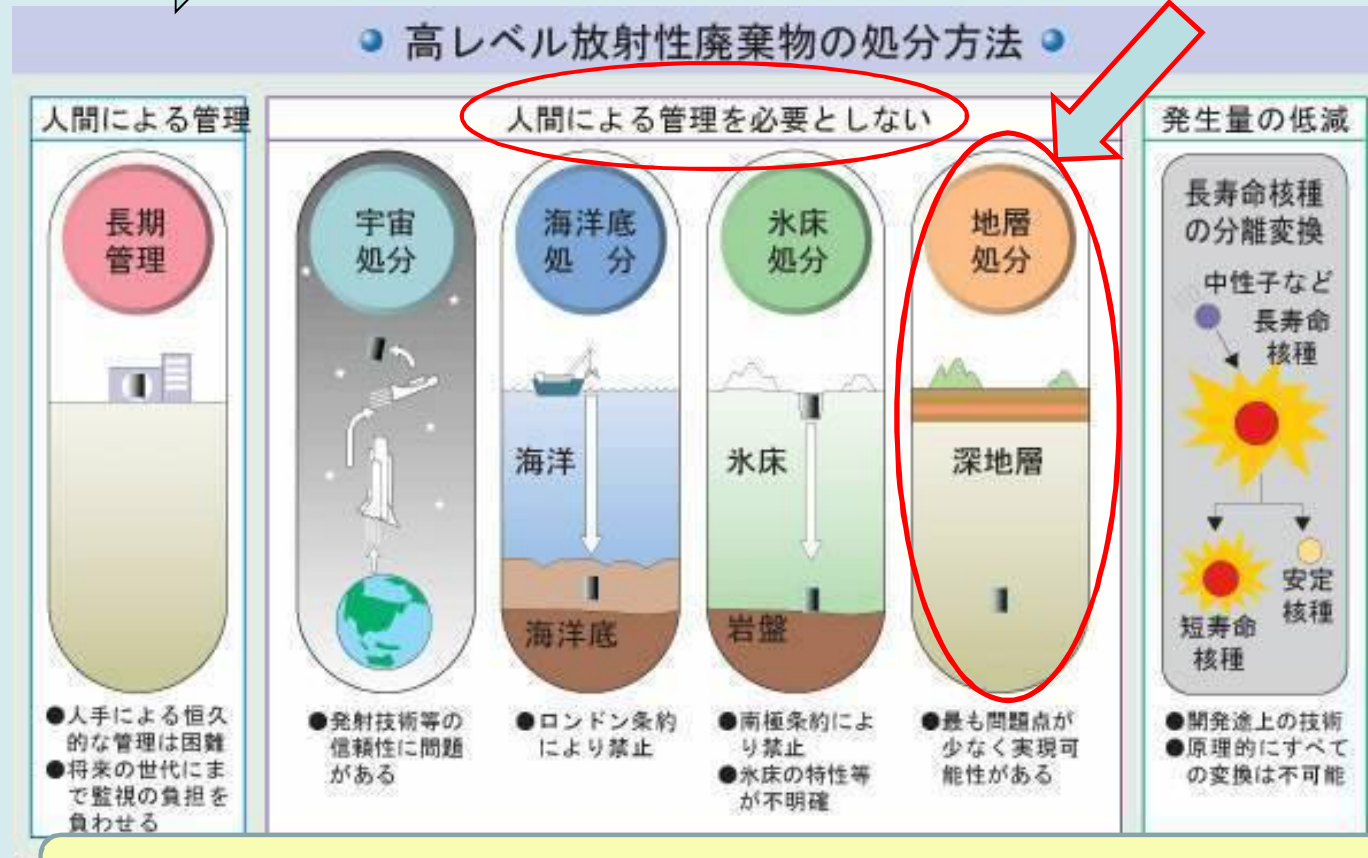
Google サーバー例

<https://imgur.com/a/xQPKq> 12

HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

安定な地下深部を利用 地層処分方式の選択



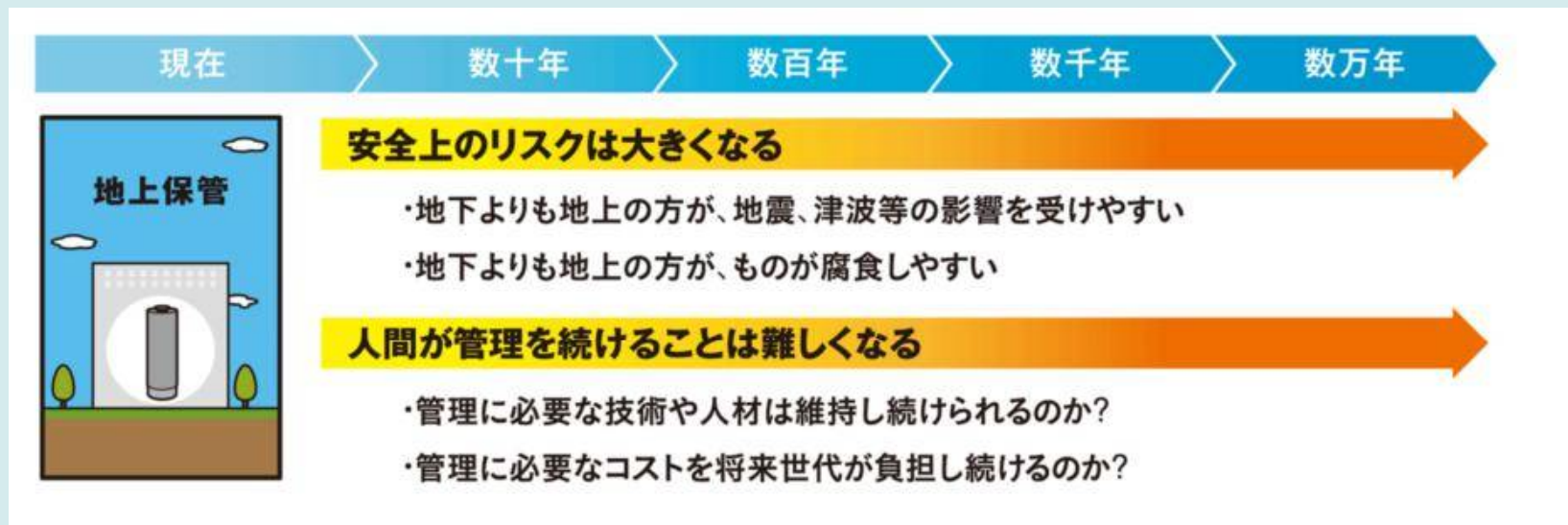
世代を超えて長い間放射能を持ち続けるので人の手を借りて保管し続けることは望ましくない

HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

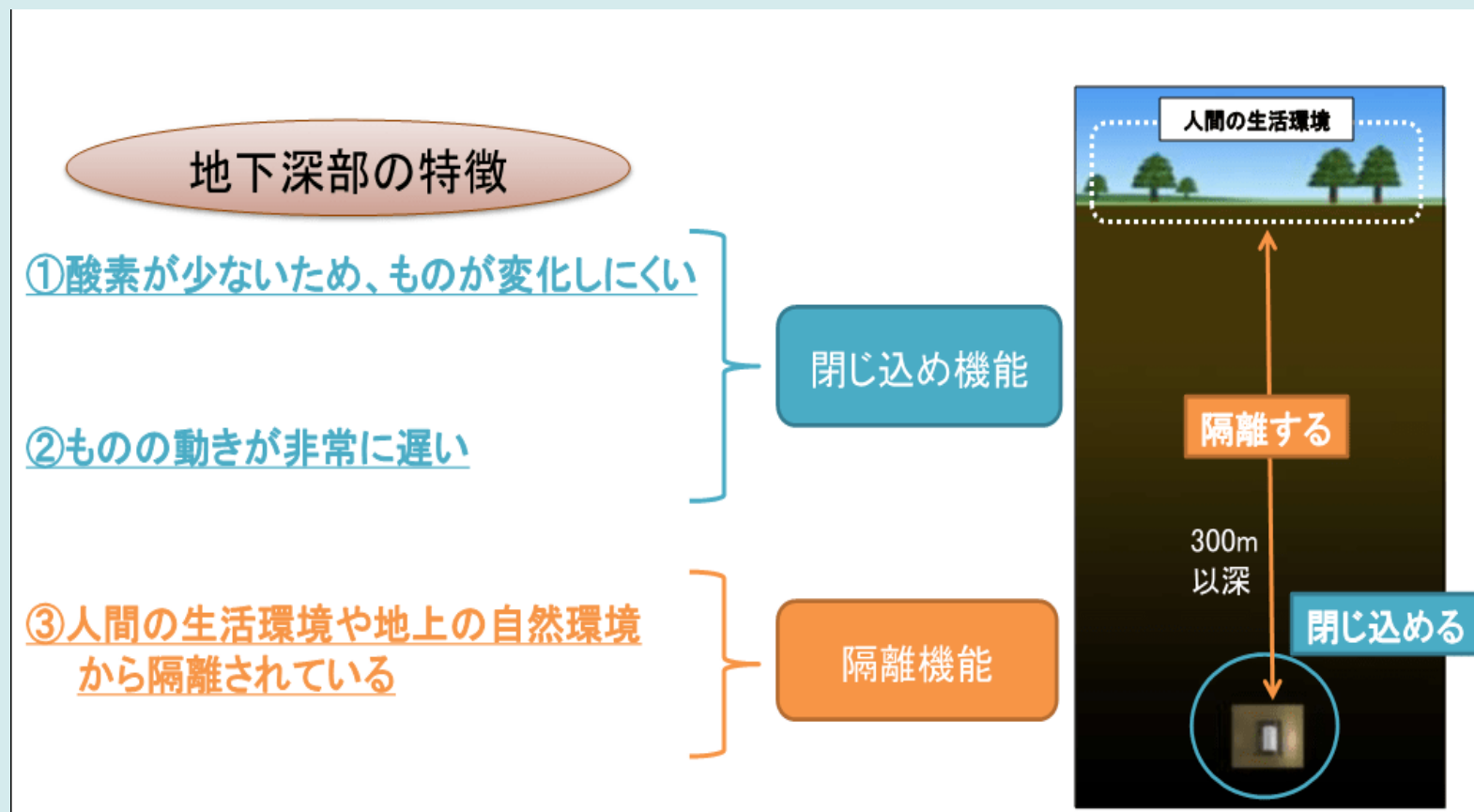


安定な地下深部を利用 地層処分方式の選択



資源エネルギー庁HP(2017年8月)

HOW? どのような？



地層処分全国シンポジウム(資源エネルギー庁(2017))

HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 人工バリアの設置で考慮する地質環境

第四紀学

プレートの動きの方向や速さは数百万年前からほとんど変化が無く、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、プレートの大きさに比べて処分施設は十分小さいため(6~10km²)、極めてゆっくりと動くプレートと一体になって、その構造や形状を変えずに動いていきます。

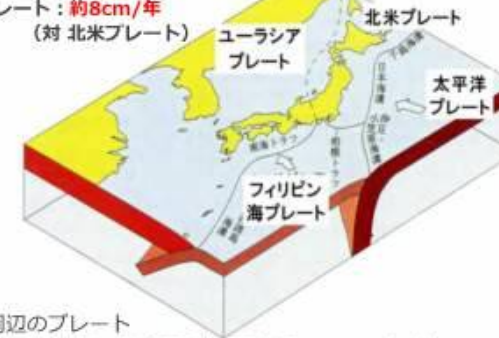
【現在の相対的なプレートの動き】

フィリピン海プレート: 約5cm/年

(対 ユーラシアプレート)

太平洋プレート: 約8cm/年

(対 北米プレート)



日本列島周辺のプレート

(地震調査研究推進本部地震調査委員会編、1997に加筆)

200万年前の日本列島



100万年前の日本列島



現在の日本列島



HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

第四紀学

今までの知識 人工バリアの設置で考慮する地質環境

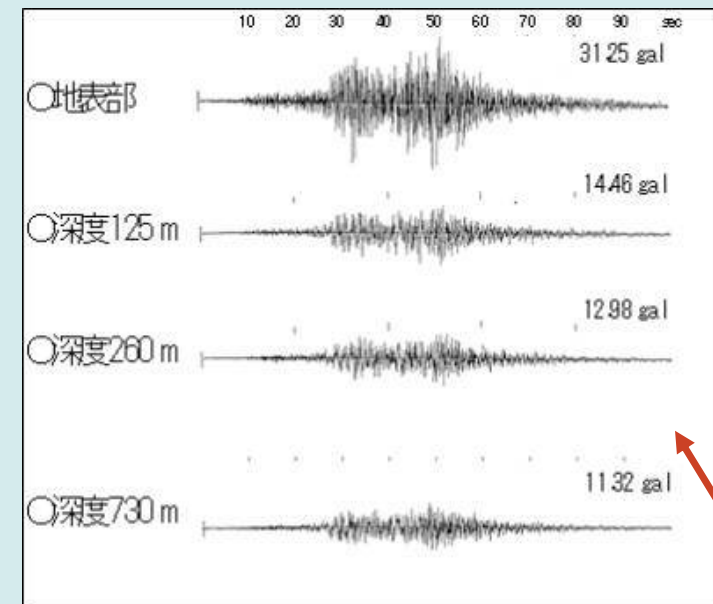
(1) 地質環境の長期安定性

火山・断層のような急激な天然現象による影響や著しい隆起・侵食は特定の地域に限定できる

未固結堆積層や鉱物資源のある地域は避ける



地震による地下深部の振動



三陸はるか沖地震/釜石鉱山坑道内において観測)

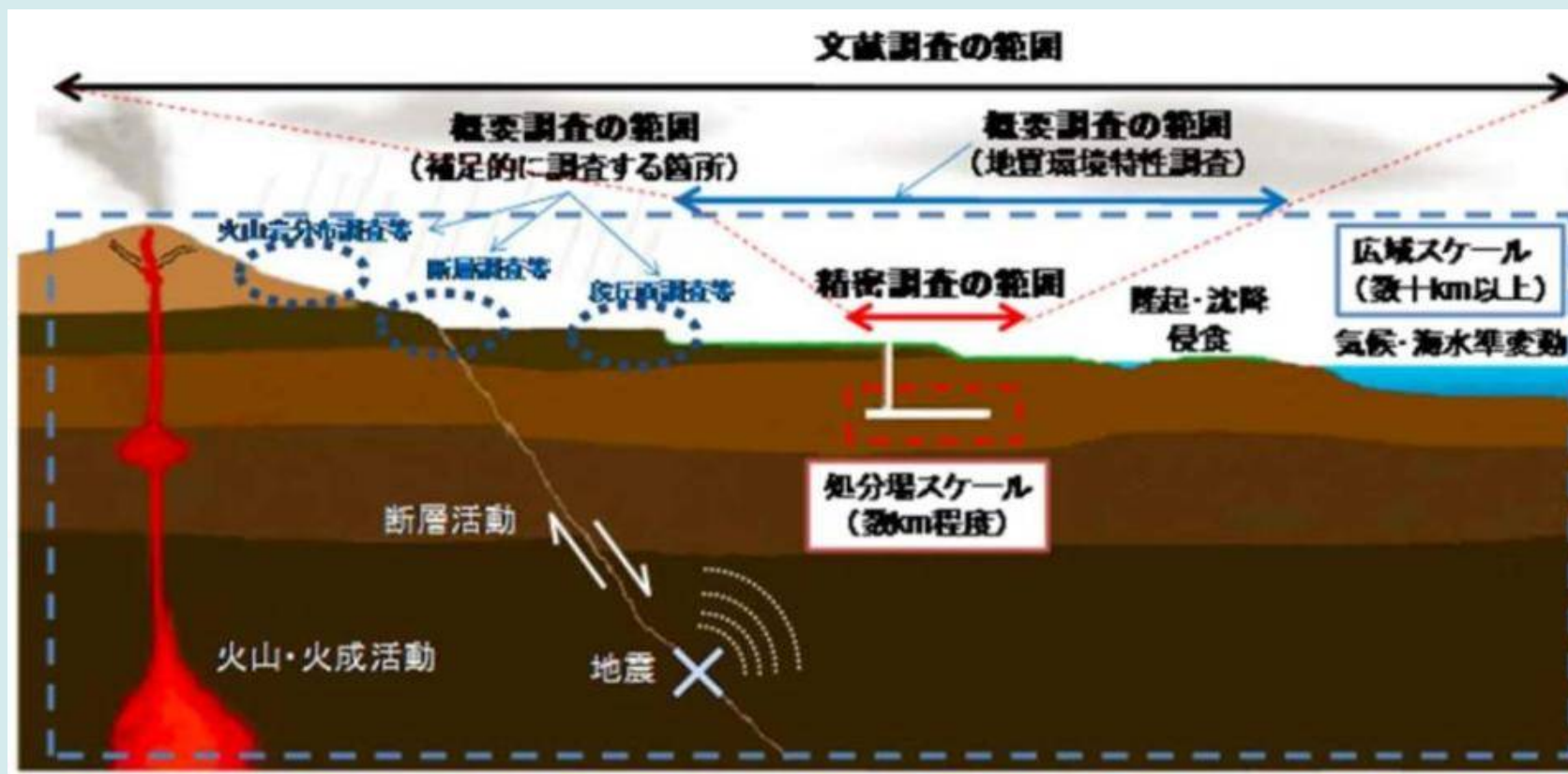
地上より地下の方が揺れは小さい

HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 人工バリアの設置で考慮する地質環境

第四紀学



総合資源エネルギー調査会・地層処分技術ワーキンググループとりまとめ(2014年5月)

HOW? どうするの?

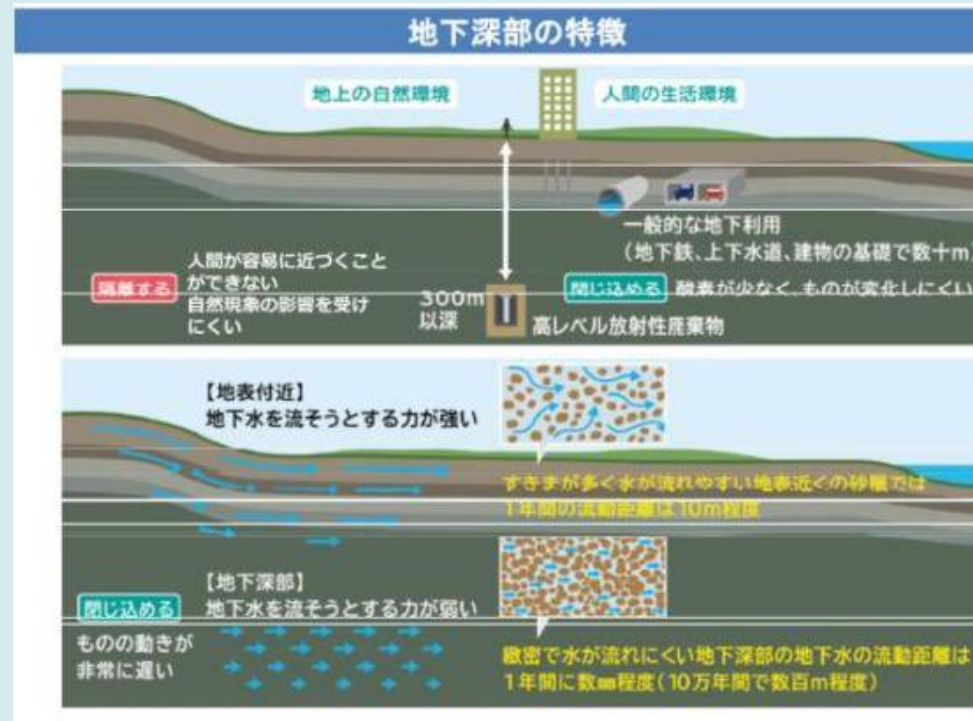
技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 人工バリアの設置で考慮する地質環境

岩石力学・水理学等

(2) 地質環境の性質—地下水の流れ

我々が知っているのは地上付近の地下水の流れ。地下深部の地下水は流れにくい



地層処分・対話型全国説明会(資源エネルギー庁・NUMO(2018))

HOW? どうするの?

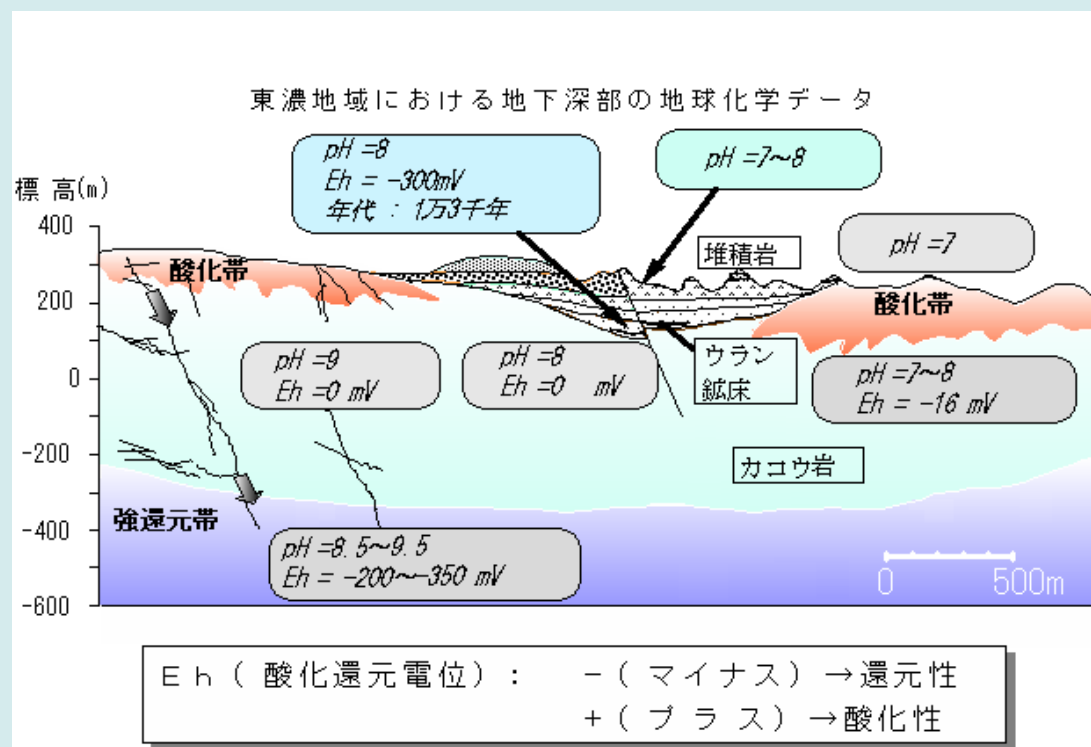
技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 人工バリアの設置で考慮する地質環境

(2) 地質環境の性質—地下水の性質

地下水化学

鉄などは地下深部の地下水では錆びにくい

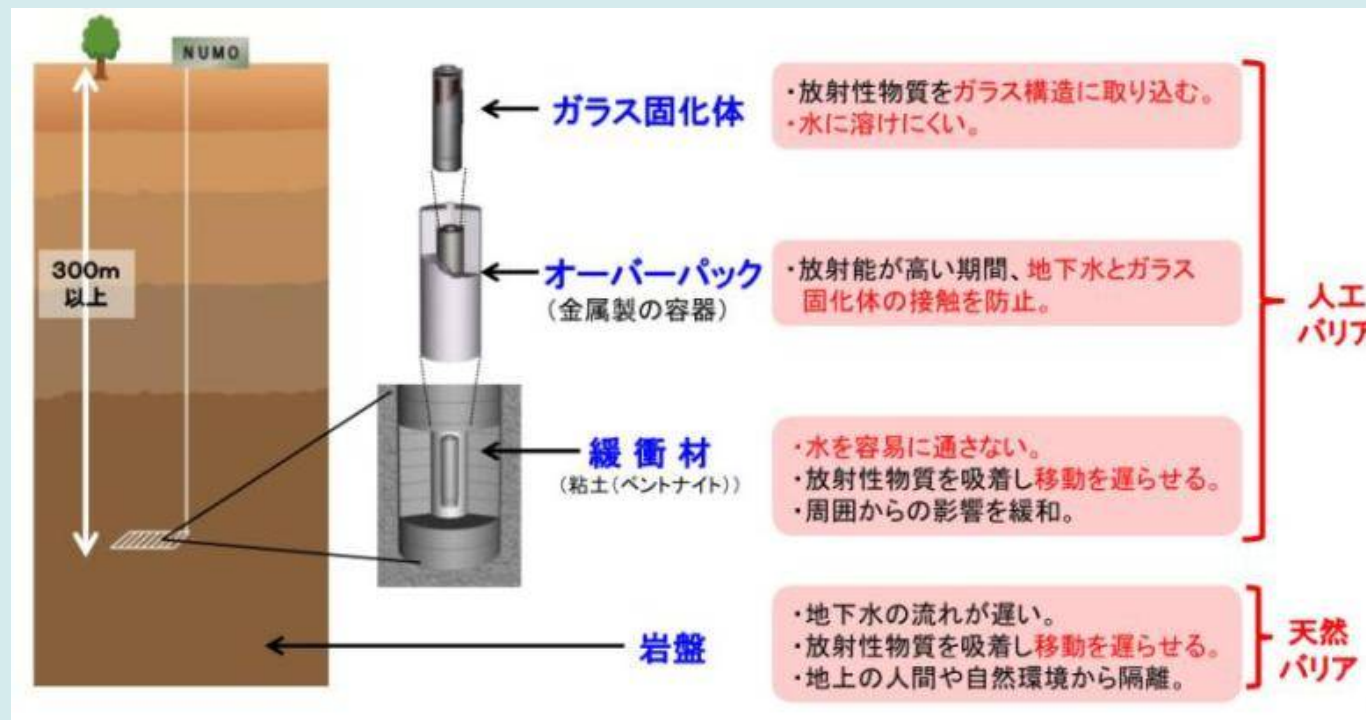


HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 深い岩盤のなかに工学的な対策(人工バリア)を施してガラス固化体を封じ込める

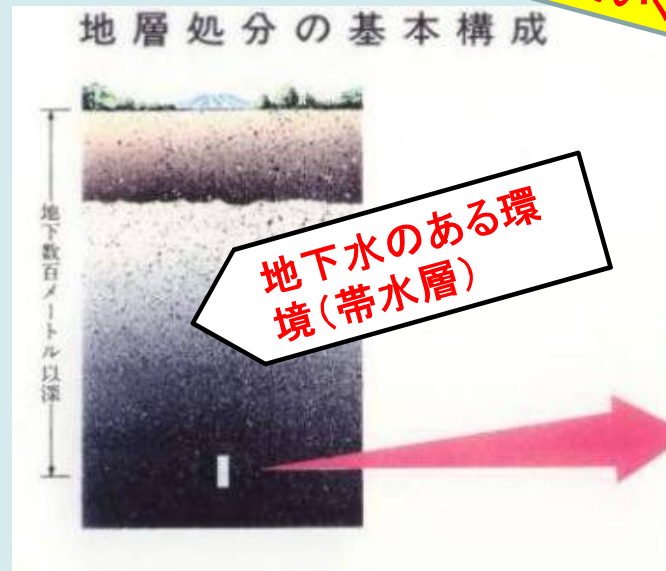
土木工学・岩石力学



地層処分意見交換会(2016, NUMO)

HOW? どうするの? 地層処分技術の開発

人工バリア周辺で放射能が
消滅していく



安全確保の三要件

地下水接触の抑制

- ・ 初期の高い放射能を確実に減衰させる

放射性核種の溶出・移動の抑制

- ・ 放射性核種を確実に人工バリア内にとどめる

環境安全の確認

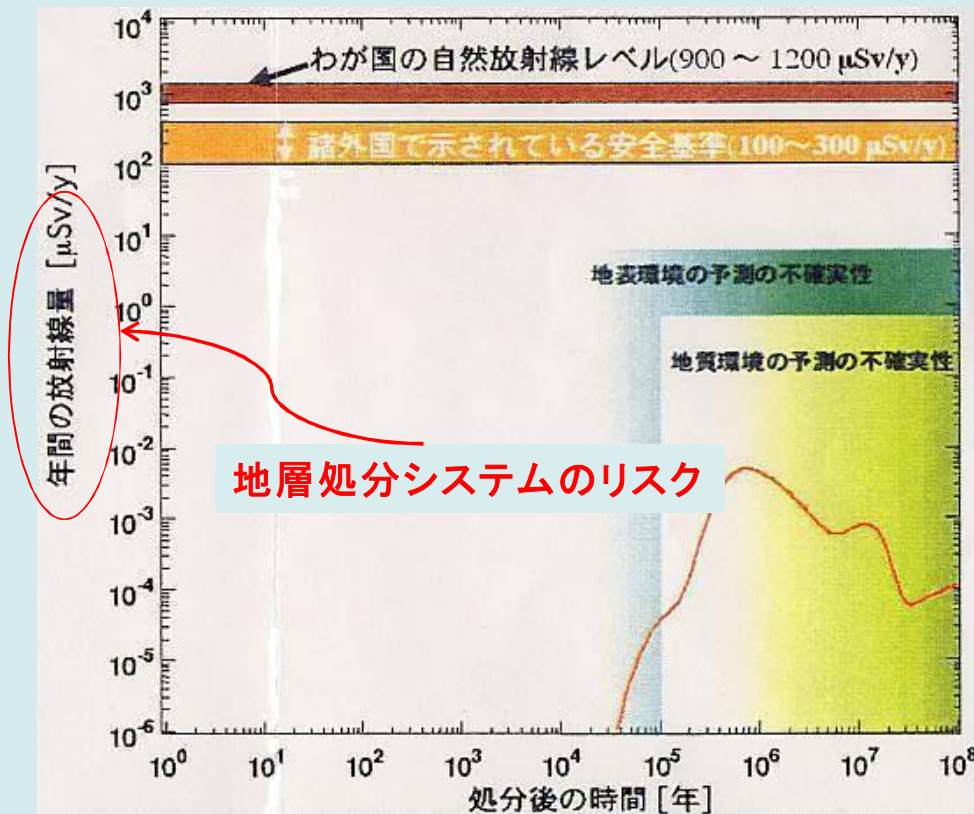
- ・ 人間に影響を及ぼさないことを更に確かなものとする

HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 地層処分システムの安全評価

「もし、地層処分システムがこうなったら・・・」という一連の現象を想定した「筋書き(シナリオ)」、現象を表す「モデル」および「データベース」に基づき数値解析を行い、その結果を諸外国の安全基準などと比較



計算科学(シミュレーション科学)

地上に生活する人間の受ける放射線量は将来においても、

最大で自然放射線の1万分の1程度と試算

核燃料サイクル機構「第2次とりまとめ」(1999)を編集

HOW? どうするの?

技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

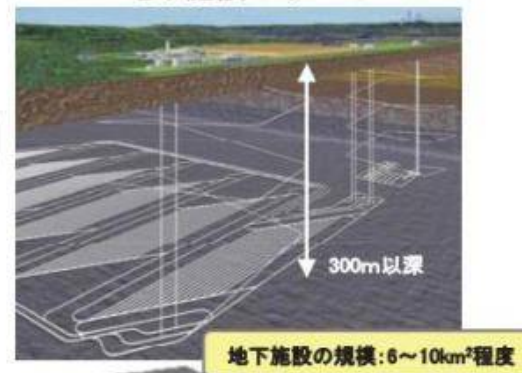
地層処分施設の規模

- 地層処分施設は、ガラス固化体を4万本以上埋設できる施設とすることを計画しています。
- 施設の規模は、地上施設が1～2km²程度、地下施設が6～10km²程度、地下坑道の総延長は200km～300km程度と見込んでいます。

地上施設のイメージ



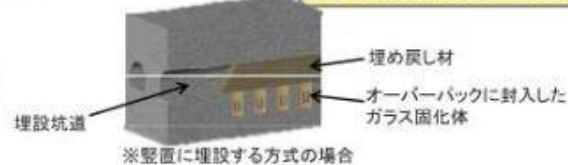
地下施設のイメージ



最終処分事業費: 約3.8兆円

※地層処分相当低レベル放射性廃棄物 (TRU等廃棄物) の処分費用も含む。

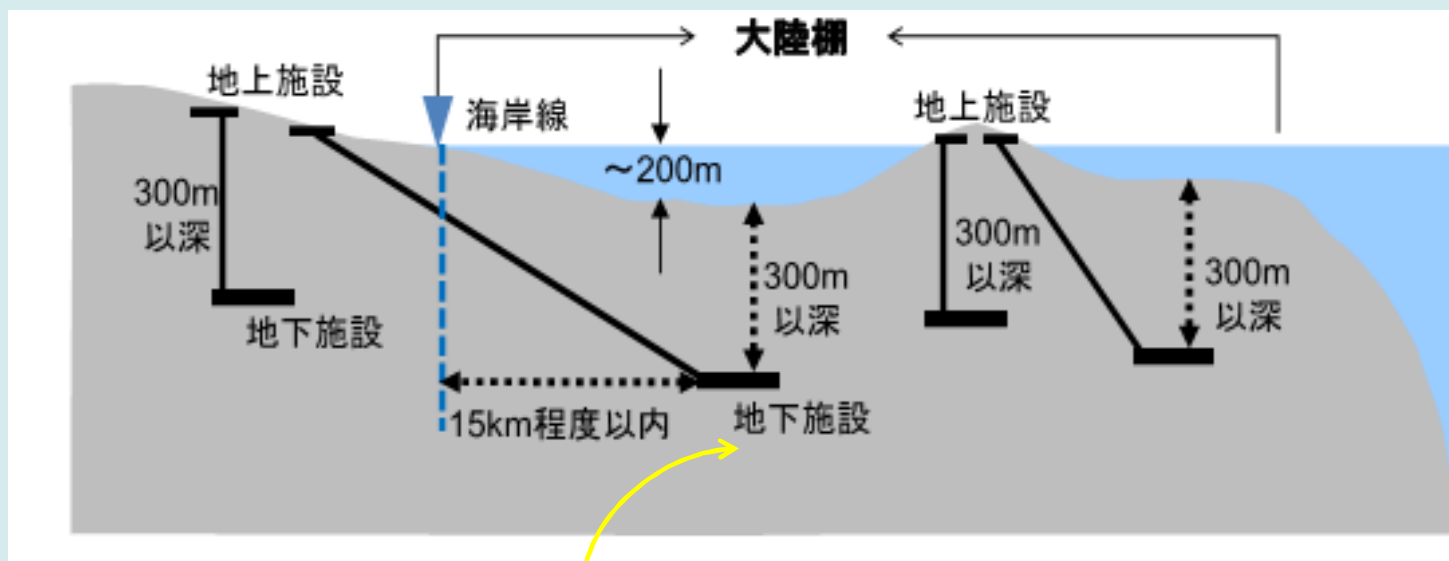
※費用は原子力発電を行う電力会社等が拠出。



16

HOW? どうするの?

沿岸部における地層処分のイメージ



総合資源エネルギー調査会・地層処分技術ワーキンググループ(2016. 8)

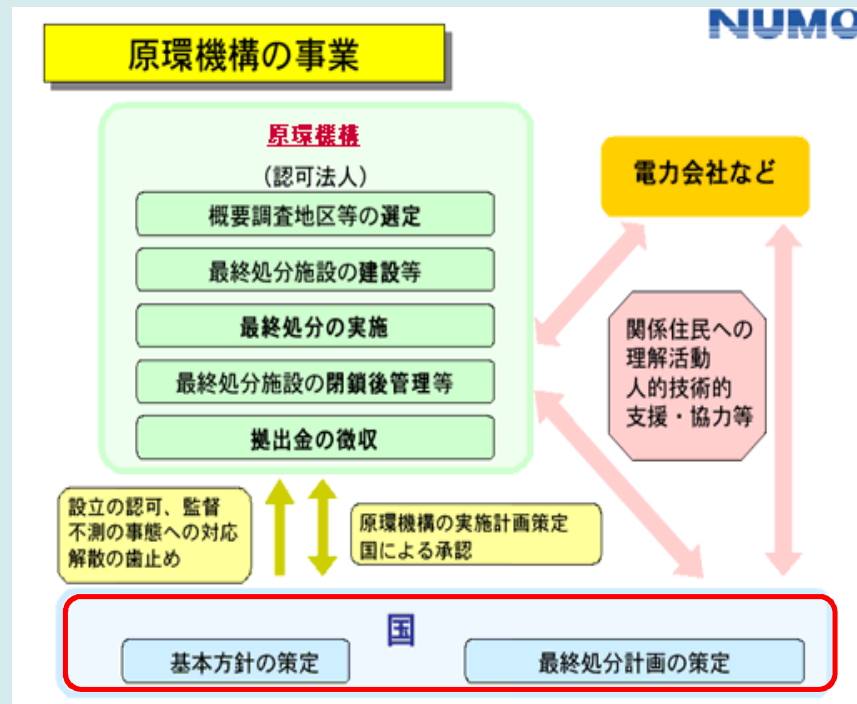
沿岸海底下処分

HOW? どうするの?

最終処分法（2000年制定）:

発生者責任の原則のもとに安定に事業を実施する仕組み

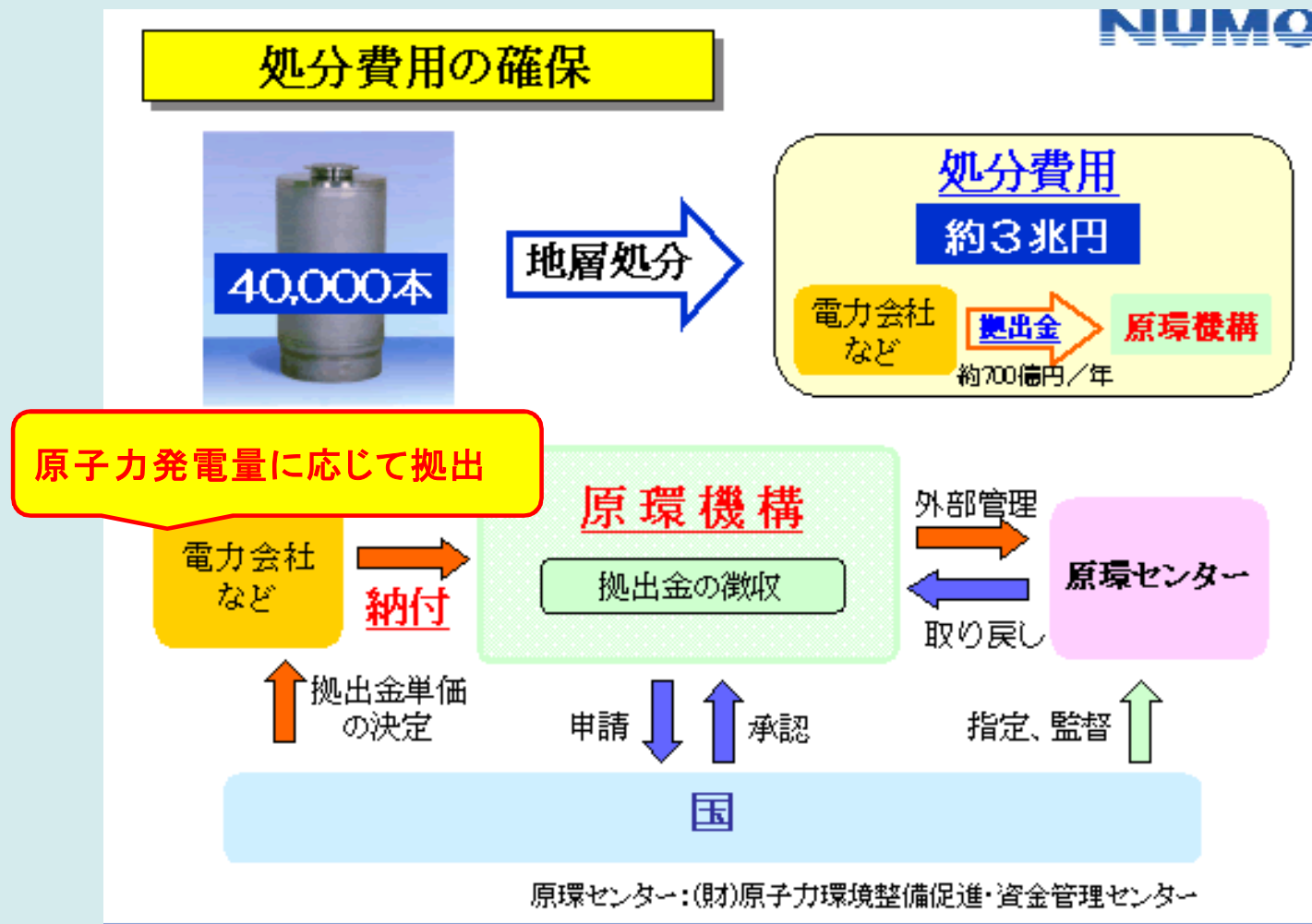
最終処分法における処分推進体制の枠組み



「廃棄物を発生させてきた世代の責任として将来世代に負担を先送りさせない」
(最終処分基本方針(改訂:2015年5月))ことを再確認

HOW? どうするの?

最終処分法：安定した事業の実施(最終処分費用の積み立て)



HOW? どうするの?

- ① 参加政策(2015年最終処分基本方針)を踏襲
- ② 政府一丸で取り組むことを鮮明に

最終処分基本方針(2023年改訂)

社会への定着に向けた指針

1. 国民・地域社会の最終処分問題についての情報共有

- 最終処分地選定などに協力する地域に対する敬意と感謝の念や社会として利益還元の必要性が国民に共有
- 「関係省庁連絡会議」などを新設し国民理解の促進や自治体等への主体的な働き掛け

2. 文献調査受け入れ自治体等への国を挙げての支援

- 国と関係自治体との協議の場の設置、関心地域への国からの段階的な申入れ
- 国は地層処分に関係する科学的特性を整理して全国地図の形(科学的特性マップ)で提示
- 国は、政府一丸となって、かつ、政府の責任で、最終処分に向けて取り組む

3. 地域に対する支援

- 地域の主体的な合意形成に向け、多様な住民が参加する「対話の場」を設置し活動を支援
- 国は、文献調査の対象地域や地方公共団体等の関心や意向を的確に受け止め、関係府省庁の連携の下、地域の持続的な発展に向けて取り組む



最終処分基本方針(2023年4月)をもとに筆者編集

HOW? どうするの?

社会への定着に向けて

「このプロセスを経ずして自治体に調査の申し入れを要請しない」(世耕経産大臣(2015))



HOW? どうするの?

各地で進められる自治体、地域住民と国・NUMOの対話

科学的特性マップ公表後167自治体、参加者のべ4,300名
(2023年3月31日現在)

NUMO (private communication)



自治体説明会資料(資源エネルギー庁、NUMO)を筆者編集

北海道の寿都町および神恵内村で相次いで文献調査(2020年)



片岡春雄町長(寿都町)



高橋昌幸村長(神恵内村)



寿都町

北海道新聞(2020年10月)

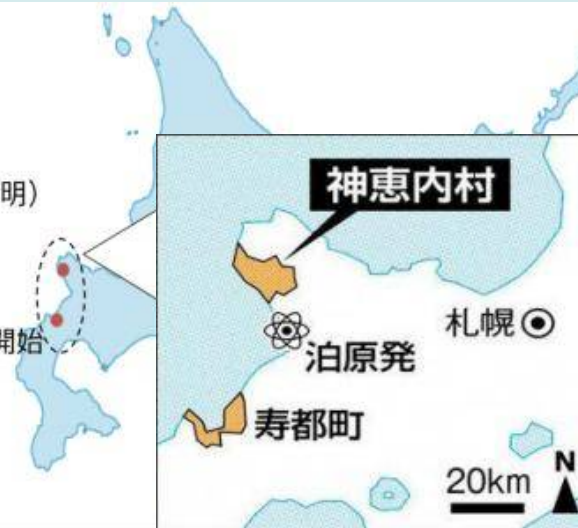
(1) 北海道 寿都町(すつつちょう)

- 9/7 : 寿都町主催で住民説明会開始(～9/29)
- 9/29 : 住民説明会(国・NUMO説明)
- 9/30 : 町議会向け説明会(国・NUMO説明)
- 10/5 : 町長、地元産業界との意見交換(国・NUMO説明)
- 10/9 : 町長が文献調査応募

(2) 北海道 神恵内村(かもえないむら)

- 9/15 : 村議会で商工会から提出された請願書の審議を開始
- 9/25 : 村議会(国・NUMO説明)
- 9/26 : 国・NUMO主催で住民説明会開始(～9/30)
- 10/8 : 村議会で請願書を採択
- 10/9 : 国から文献調査申し入れ、村長が受諾の表明

○11/17 NUMOが両自治体での文献調査を開始(NUMO事業計画変更認可)



神恵内村

筆者撮影(2022年4月)

対話型全国説明会(資源エネルギー庁・NUMO、2021年)

HOW? どうするの?

対話の場: 寿都町および神恵内村

対話会開催(2024年4月まで)
寿都町17回
神恵内村18回

「対話の場」

●寿都町(15回開催※)

<主なテーマ>

- ・ 地層処分について思うこと
- ・ 地層処分の概要
- ・ 地層処分の安全性についての考え方
- ・ 文献調査の進捗状況
- ・ 町民が集まりやすい機会づくり
- ・ 放射線による人体影響
- ・ 海外先進地(フィンランド)との意見交換
- ・ 将来の町の在り姿について 等



●神恵内村(13回開催※)

<主なテーマ>

- ・ 地層処分について思うこと
- ・ 地層処分の概要
- ・ 処分事業の安全性についての考え方
- ・ 文献調査の進捗状況
- ・ 文献調査の模擬体験
- ・ 交付金制度と村の将来について 等

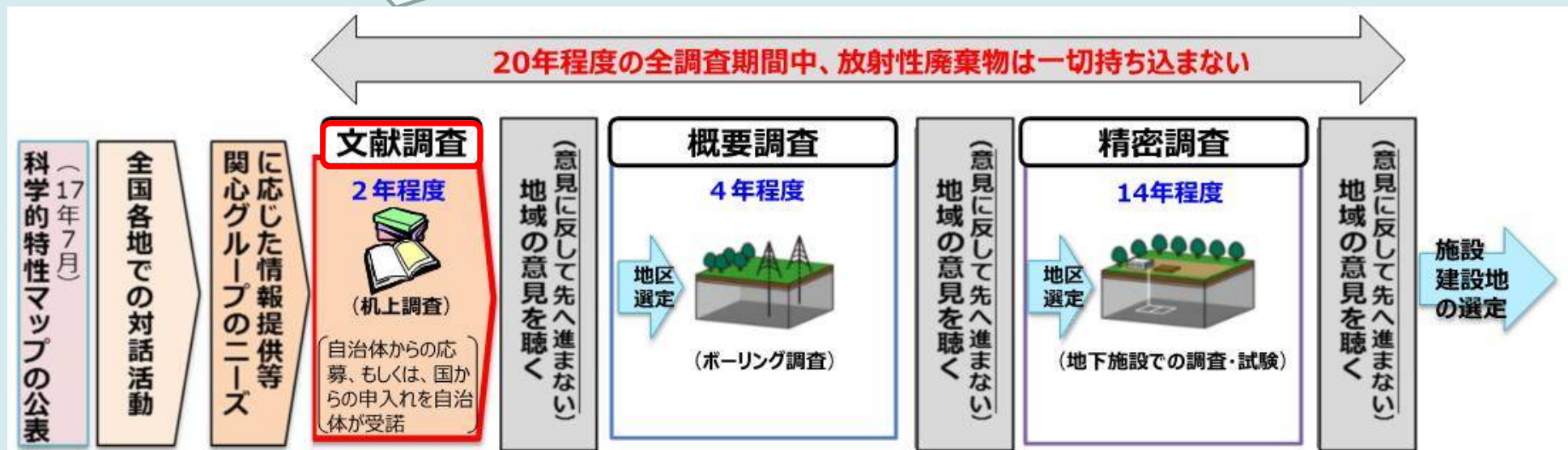


※2023年4月末時点

HOW? どうするの?

複数地域が望まれる文献調査1

出来るだけ多くの文献調査地の選定をしたい
(梶山弘志経産大臣(2020年))



対話型全国説明会(資源エネルギー庁・NUMO、2021年)

HOW? どうするの?

複数地域が望まれる文献調査2



1

HOW? どうするの?

- ① 参加政策(2015年最終処分基本方針)を踏襲
- ② 政府一丸で取り組むことを鮮明に

最終処分基本方針(2023年改訂)

社会への定着に向けた指針

1. 国民・地域社会の最終処分問題についての情報共有

- 最終処分地選定などに協力する地域に対する敬意と感謝の念や社会として利益還元の必要性が国民に共有
- 「関係省庁連絡会議」などを新設し国民理解の促進や自治体等への主体的な働き掛け

2. 文献調査受け入れ自治体等への国を挙げての支援

- 国と関係自治体との協議の場の設置、関心地域への国からの段階的な申入れ
- 国は地層処分に関係する科学的特性を整理して全国地図の形(科学的特性マップ)で提示
- 国は、政府一丸となって、かつ、政府の責任で、最終処分に向けて取り組む

3. 地域に対する支援

- 地域の主体的な合意形成に向け、多様な住民が参加する「対話の場」を設置し活動を支援
- 国は、文献調査の対象地域や地方公共団体等の関心や意向を的確に受け止め、関係府省庁の連携の下、地域の持続的な発展に向けて取り組む



最終処分基本方針(2023年4月)をもとに筆者編集

最終処分基本方針(2023年)

～国は、政府一丸となって、かつ、政府の責任で、最終処分に向けて取り組んでいく～

1. 国を挙げた体制構築

○関係府省庁連携の体制構築

- ・「最終処分関係閣僚会議」のメンバーを拡充。
- ・「関係府省庁連絡会議」（本府省局長級）及び「地方支分部局連絡会議」（地方支分部局長級）を新設。

○国・NUMO・電力の合同チームの新設/全国行脚

- ・国（経産省、地方支分部局）が主導し、地元電力・NUMO協働で全国行脚（100以上の自治体を訪問）。
- ・処分事業主体であるNUMOの地域体制を強化。

2. 国による有望地点の拡大に向けた活動強化

○国から首長への直接的な働きかけの強化

- ・国主導の全国行脚（再掲）、全国知事会等の場での働きかけ。

○国と関係自治体との協議の場の新設

- ・関心や問題意識を有する首長等との協議の場を新設（順次、参加自治体を拡大）。

3. 国の主体的・段階的な対応による自治体の負担軽減、判断の促進

○関心地域への国からの段階的な申入れ

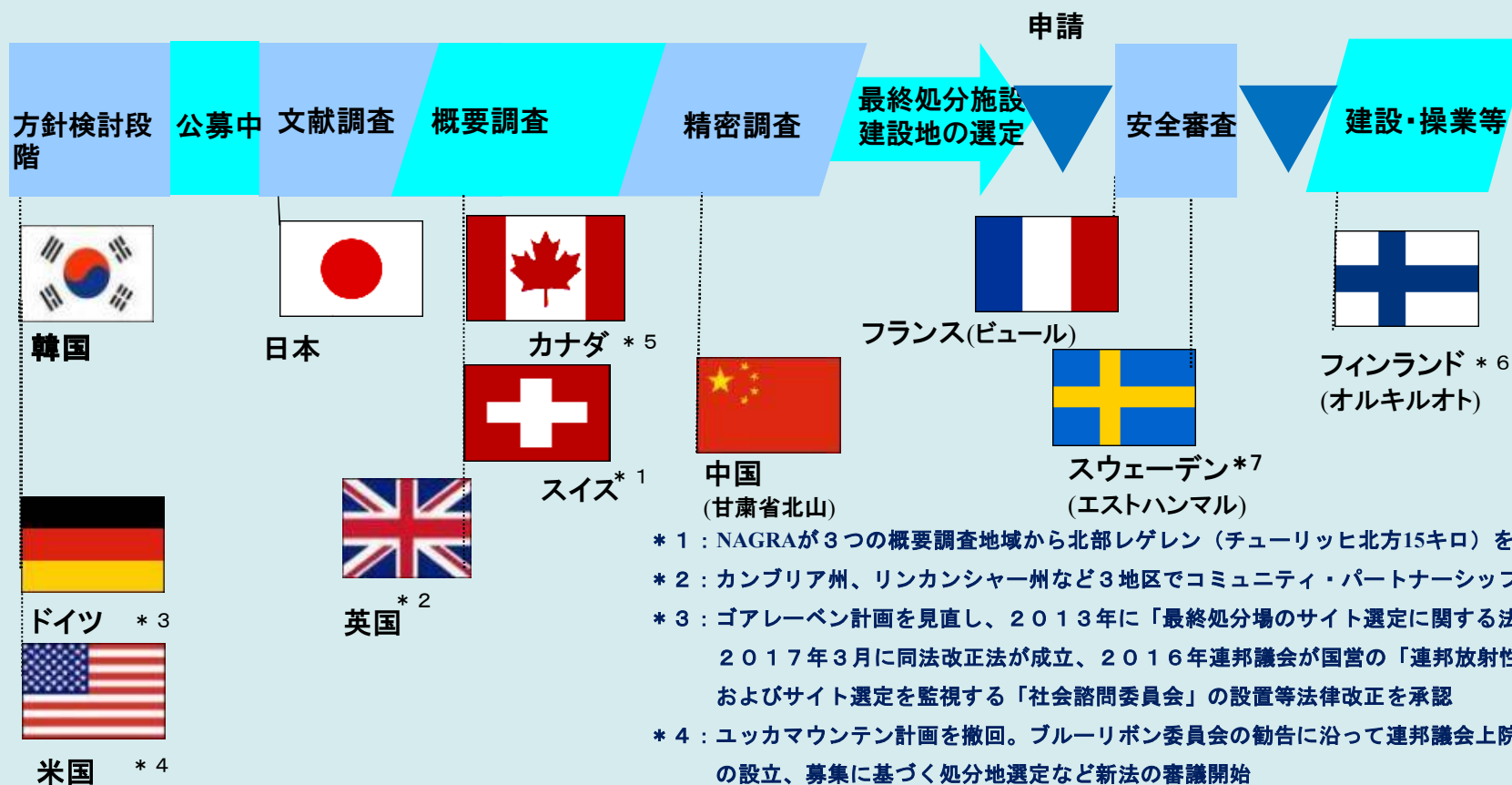
- ・関心地域を対象に、文献調査の受け入れ判断の前段階から、地元関係者（経済団体、議会等）に対し、国から、様々なレベルで段階的に、理解活動の実施や調査の検討などを申し入れ。

4. 国による地域の将来の持続的発展に向けた対策の強化

○関係府省庁連携による取組の強化

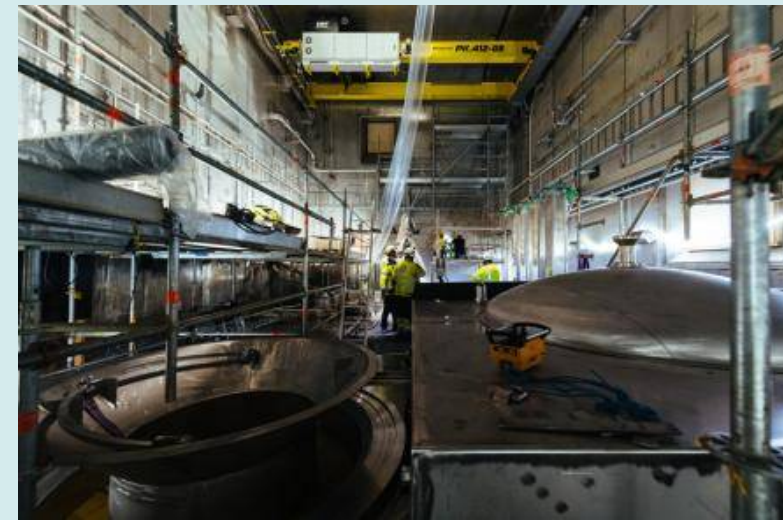
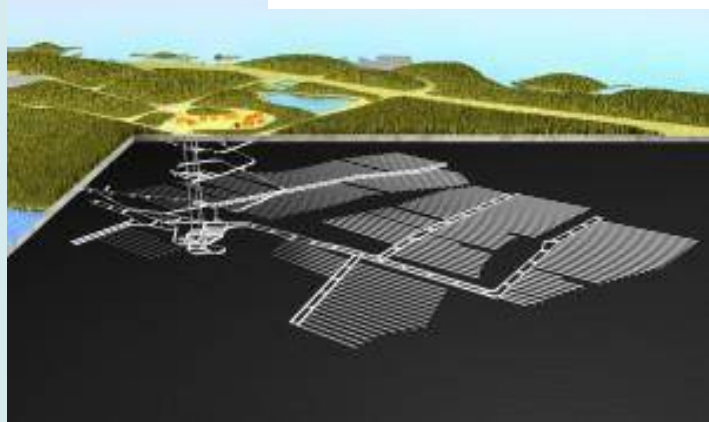
- ・文献調査受け入れ自治体等を対象に、関係府省庁で連携し、最終処分と共生する地域の将来の持続的発展に向けた各種施策の企画・実施。

海外諸国の状況(2024年2月現在)



- * 1 : NAGRAが3つの概要調査地域から北部レゲレン (チューリッヒ北方15キロ) を処分場サイトに提案
- * 2 : カンブリア州、リンカンシャー州など3地区でコミュニティ・パートナーシップを設置
- * 3 : ゴアレーベン計画を見直し、2013年に「最終処分場のサイト選定に関する法律」、2017年3月に同法改正法が成立、2016年連邦議会が国営の「連邦放射性廃棄物機関 (BGE)」およびサイト選定を監視する「社会諮問委員会」の設置等法律改正を承認
- * 4 : ユッカマウンテン計画を撤回。ブルーリボン委員会の勧告に沿って連邦議会上院が新たな政府関係機関の設立、募集に基づく処分地選定など新法の審議開始
トランプ政権がユッカマウンテン計画の復活を計るも連邦議会が予算を計上せず
2021年3月に議会公聴会でバイデン政権「ユッカマウンテンを最終処分場にせず」証言
- * 5 : 21自治体中、2自治体に絞り込まれ現地調査 (第3段階第2フェーズ)
- * 6 : 2021年12月、フィンランド政府に最終処分場の操業許可申請
- * 7 : 2022年1月、スウェーデン政府が建設許可発給

海外事例 フィンランド



完成間近のキャニスター密封施設 (2022年)
(POSIVA HP、2022年12月)

- 2015.11 フィンランド政府が最終処分実施主体 (POSIVA 社) に最終処分場の建設許可発給
- 2016.12 最終処分場の建設開始
- 2021.12 **フィンランド政府に操業許可申請**
- 2120頃 最終処分場閉鎖

最終処分場のイメージ
原環センターHP (<https://www2.rwmc.or.jp/nf/?p=15728>)

海外事例 カナダ

連邦政府の国家基盤（インフラ）計画

- カナダ人のために働くNWMO
- 先端技術、国家基盤計画
 - ◆ 16～24億ドルの投資
 - ◆ 専門知識の拠点として活動する
 - ◆ 受入地域/州の数千の雇用
 - ◆ 100年以上にわたり持続可能
- 安全を確保する多重バリアシステム
- 高度な規制 - 厳しい基準が安全性を保証
- NWMOと地域のパートナーシップ
- 地域の福祉を促進

カナダ国際講演会 (NUMO, 2017)



初期スクリーニングで良好と判断された21地域の
サイト選定プロセス参加状況
(2020年1月時点)

1. イングリッシュリバー先住民民族保留地
2. バインハウス村
3. クレイトン・タウンシップ
4. イアーフォールズ・タウンシップ
5. イグナス・タウンシップ
6. ニピゴン・タウンシップ
7. シュライバー・タウンシップ
8. マニトウェッジ・タウンシップ
9. ホーンベイン・タウンシップ
10. ホワイトリバー・タウンシップ
11. ワウ自治体
12. ブラインドリバー町
13. エリオットレイク市
14. ノースショア・タウンシップ
15. スパニッシュ町
16. アラン＝エルダースリー自治体
17. ソーギーンショアーズ町
18. ブロックトン自治体
19. ヒューロン＝キンロス・タウンシップ
20. サウスブルース自治体
21. セントラルヒューロン自治体



原環センターHP(2020. 1)より

“We understand that this project has the potential to bring long-term benefits to the area, and we want to be part of building a sustainable, prosperous community for everyone now and in the future.”

欧米における最終処分政策の失敗経験

⇒意志決定プロセスの見直し

「決定・通知・擁護」型 (decide, announce and defend model)

→ 「参画・相互作用・協力」型 (engage, interact and co-operate model)

対話

協働 (partnership)

1. 最適な技術を訴求するとする伝統的なアプローチから社会の支持および分配面の公平を重視するアプローチの実現
2. 技術的な保証に加えて参加型意志決定を念頭においたプロセスが重要
3. 段階的 (step-wise/ staged) な意志決定を可能にする概念の導入
4. 技術と自治体・社会の仲介役 (メディエータ) 制度の導入
5. 社会意志に基づく修正が可能な (reversible) 処分計画の開発

- ✓ 意志決定の変更への柔軟な対応 (reversibility)
- ✓ 埋設した廃棄物の回収可能性 (retrievability) への対応

主にOECD/NEA(2004)

TRUSTNET (EUのリスクガバナンス研究) 成果の反映

- BSE問題、地域開発と環境保護の衝突、エネルギー政策など
10ケースが研究対象

佐原、坪谷 (2009)

「プロメテウスの火の後始末」ー参考映像

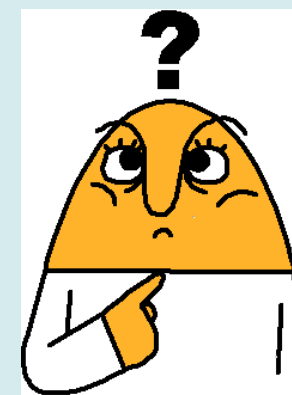
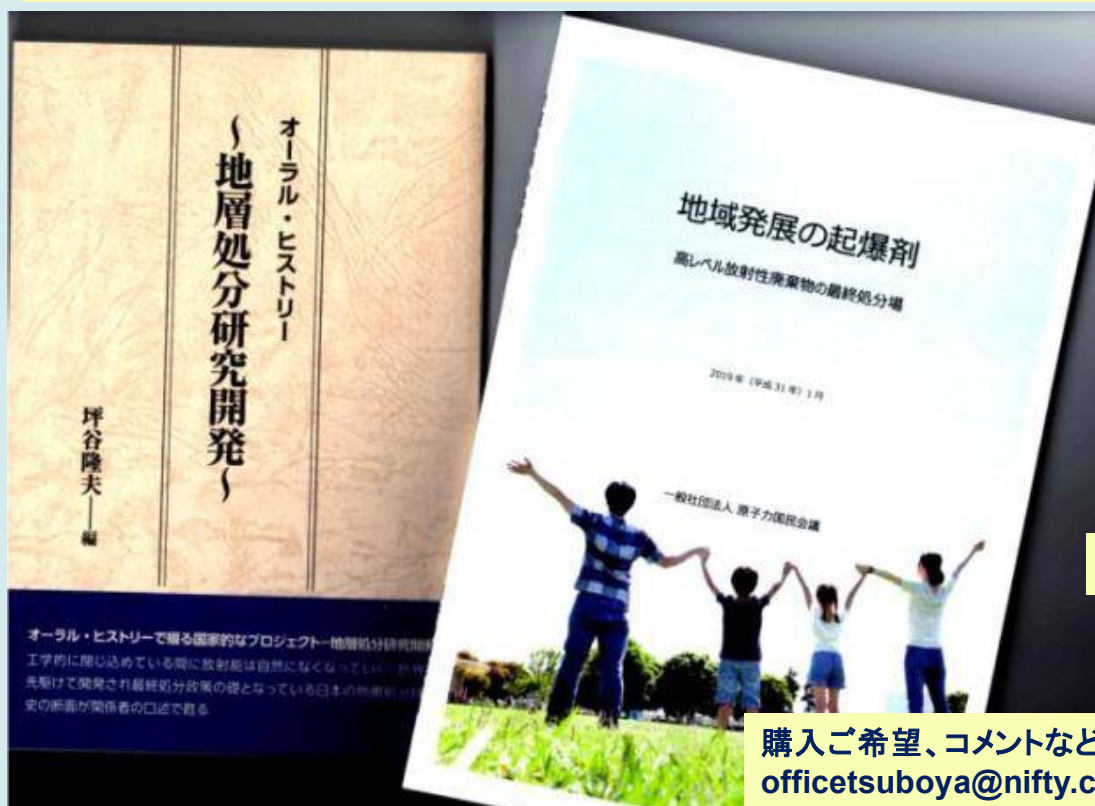
インターネットテレビ



<https://www.youtube.com/watch?v=6fnKj5PVuGI&t=1358s>

近著

1. 坪谷隆夫(編著)「オーラル・ヒストリー～地層処分研究開発～」
(<http://www.aesj.or.jp/~snw/img/ChisouShobun-oral-history1.pdf>)
2. 坪谷隆夫・石川博久(執筆)「地域発展の起爆剤－高レベル放射性廃棄物の最終処分場」
(<http://www.kokumin.org/地域発展の起爆剤>)



ご清聴ありがとうございました

— 終 —

購入ご希望、コメントなどがありましたら下記にお寄せ下さい。
officetsuboya@nifty.com