

高レベル放射性廃棄物対策 (highly radioactive waste management)

スライドを理解する上で参考にして欲しい
日本語と英語の問題

1. 管理 controlと**management**
2. 信頼 trustとconfidence
3. 処理 treatmentとconditioning
4. 処分 disposal, isolation, dumping

この勉強会で使用します

原子力学会シニアネットワーク連絡会編より

1. 放射性廃棄物の発生と処理処分 (作成協力: 田辺博三)
2. 低レベル放射性廃棄物 (作成協力: 田辺博三)
3. **高レベル放射性廃棄物** (作成協力: 石川博久)
4. 福島原子力災害と「新たな放射性廃棄物対策」 (作成協力: 川合将義)

動力炉・核燃料開発事業団(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
坪谷隆夫

高レベル放射性廃棄物の処理処分(概要)

- これまでの原発の運転に伴い、既にガラス固化体換算で25,000本相当の使用済燃料が発生
- 使用済燃料の再処理で高レベル放射性廃棄物をガラス化し安定化処理（ガラス固化体）
- ガラス固化体は安定した深い地層に建設した工学設備で安全に埋設（地層処分）
- ガラス固化体の放射能は当初は高いが短期間で放射能は減衰
- 日本の地層処分技術はガラス固化体の周辺で放射能を封じ込め
- 日本列島にはガラス固化体の地層処分に適した場所が多く存在

再処理廃液の高レベル廃棄物はガラス化し安定化処理する

- ガラスは色々な物質を溶かし込む性質があり、一旦溶かし込んだ物質は水に触れてもほとんど溶けず、外にほとんど漏れ出ることにはない性質を持っている
- ガラスに物質を溶かし込むと色が付くがエジプト時代に作られた色ガラスは3000年以上たった今でも色あせてはいない
- ガラス固化は放射性廃棄物をガラスに溶かし込み固体としたもので、エジプトの歴史が証明したように、ガラスが長期に亘り物質を閉じ込めるという自然の原理を利用したものである

ガラス固化体は 安定した深い地層に建設した工学設備で安全に埋設

- ガラス固化体はオーバーパック(金属製容器)に収めて粘土の緩衝材を周りに詰めた人工バリアを深さ300メートル以上の安定した岩盤に埋設して地層処分する
- 地下300メートル以上とは、人間の生活環境から完全に隔離できる深さで地表での人間活動や自然現象の影響を受けない環境にある
- 深い地下は酸欠状態で腐食が進まないという利点もあり、かつ地下水の流れが遅く物が移動しにくい特徴がある
- この地層処分は、フィンランド、スウェーデン、フランス等の 欧州で先行しており、フィンランドの最終処分場は既に建設が始まっている
- ガラス固化体に含まれる放射性物質が地下水で運び出されようとしても人工バリア周辺に留まり放射能は減衰する

ガラス固化体の放射能は当初は高いが短期間に減衰し発熱しなくなる

- ガラス固化体は地下埋設の当初は放射能が高く発熱するが、1000年後には 3000分の1 程度に低下して、もはや低レベル放射性廃棄物並みに発熱しなくなる
- ガラス固化体の発生量は極めて少量で、国内全原発の稼働でも国民1人当たり年間5グラム（10円玉1枚相当）しか発生しない
- 一般廃棄物・産業廃棄物は合せて国民1人当たり年間4トン（2トトラック2台分）も発生している状況に比べてもいかに 少量であるかが理解できる

直接処分とガラス固化処分

○我が国は、資源の有効利用^(※)、高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減等の観点から、使用済燃料を再処理し、回収されるプルトニウム等を有効利用する核燃料サイクルの推進を基本的方針としている。(エネルギー基本計画(2014年4月閣議決定))

※国内にウラン資源がほとんど存在しない我が国において、国内で得られる資源を効率的に最大限活用することは、エネルギー安定供給やエネルギー安全保障の観点からも重要。

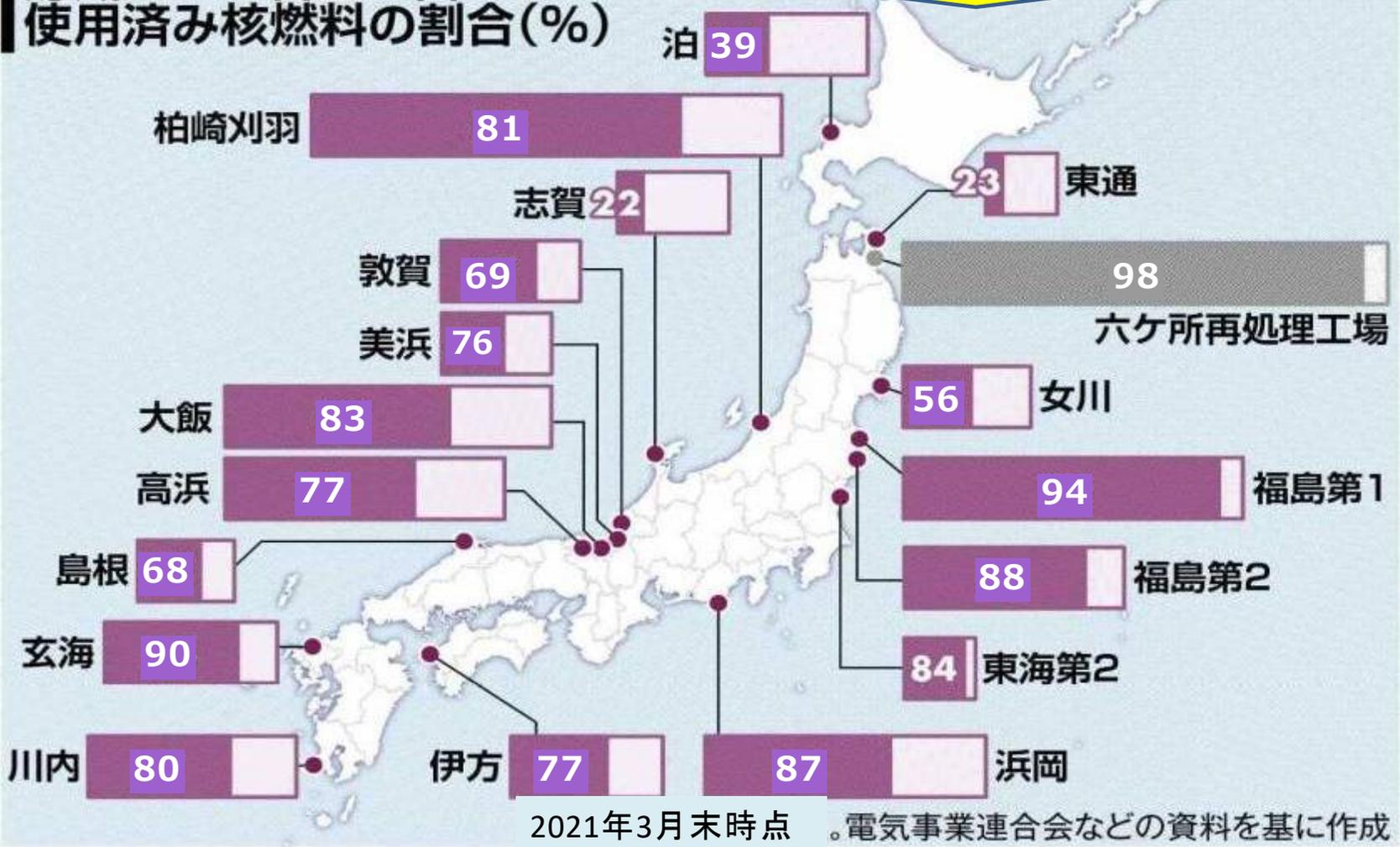
高レベル放射性廃棄物の減容化・有害度低減の比較

	使用済燃料をそのまま処分 (直接処分)	ガラス固化体にして処分
廃棄物の量	ウラン、プルトニウム等も含めて、使用済燃料をそのまま処分するため、廃棄物の量は多くなる。	使用済燃料からウラン、プルトニウム等を取り出すため、廃棄物の量は少なくなる。
		約4分の1に減容化 →
廃棄物の放射能 の有害度	半減期の長いウラン、プルトニウム等も含めて、使用済燃料をそのまま処分するため、廃棄物の放射能レベルが高いまま処分される。	使用済燃料から、半減期の長いウラン、プルトニウム等を取り出すため、廃棄物の放射能レベルは低くなる。
有害度が天然ウラン並 になるまでの期間(注)	約10万年	約8千年
		約12分の1に低減 →

(注)1GWで1年間発電するために必要な天然ウラン量の潜在的有害度と等しくなる期間を示す。(出典:原子力政策大綱(2005年))

使用済み燃料の安全な管理が引き続き重要です

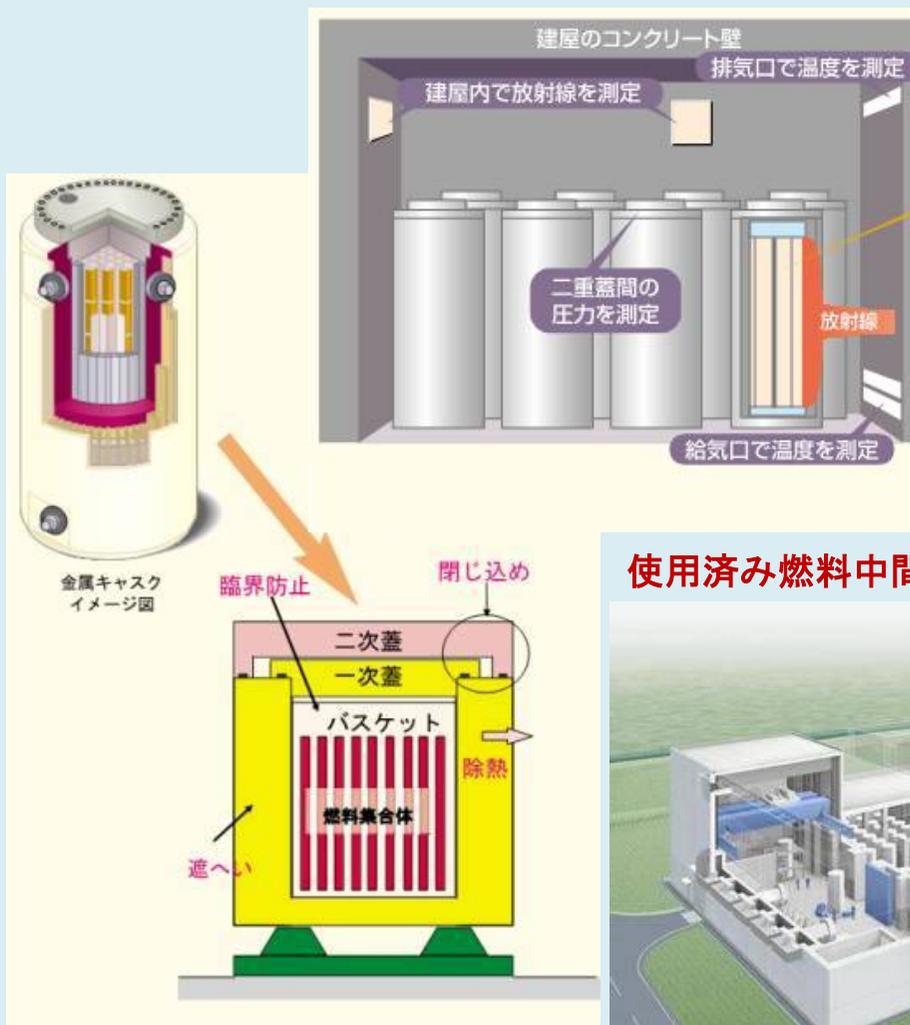
貯蔵プール容量に占める 使用済み核燃料の割合(%)



2021年3月末時点。電気事業連合会などの資料を基に作成

北海道新聞(2012.4.20 朝刊)を基に改変

使用済み燃料の中間貯蔵



211030SNW@地層処分勉強会(学生連絡会)

乾式貯蔵施設の例

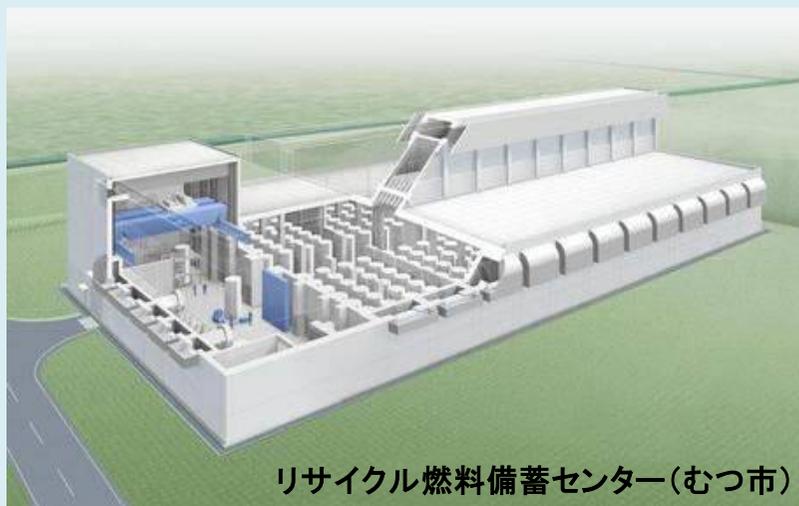


日本原子力発電(株)東海第二発電所での乾式貯蔵

発電所敷地内に貯蔵施設を新設した例

- これまでの取組: 福島第一原子力発電所、東海第二発電所
 - 今後の取組予定: 浜岡原子力発電所、東海第二発電所(増強)
- 出典: 電気事業連合会

使用済み燃料中間貯蔵施設



リサイクル燃料備蓄センター(むつ市)

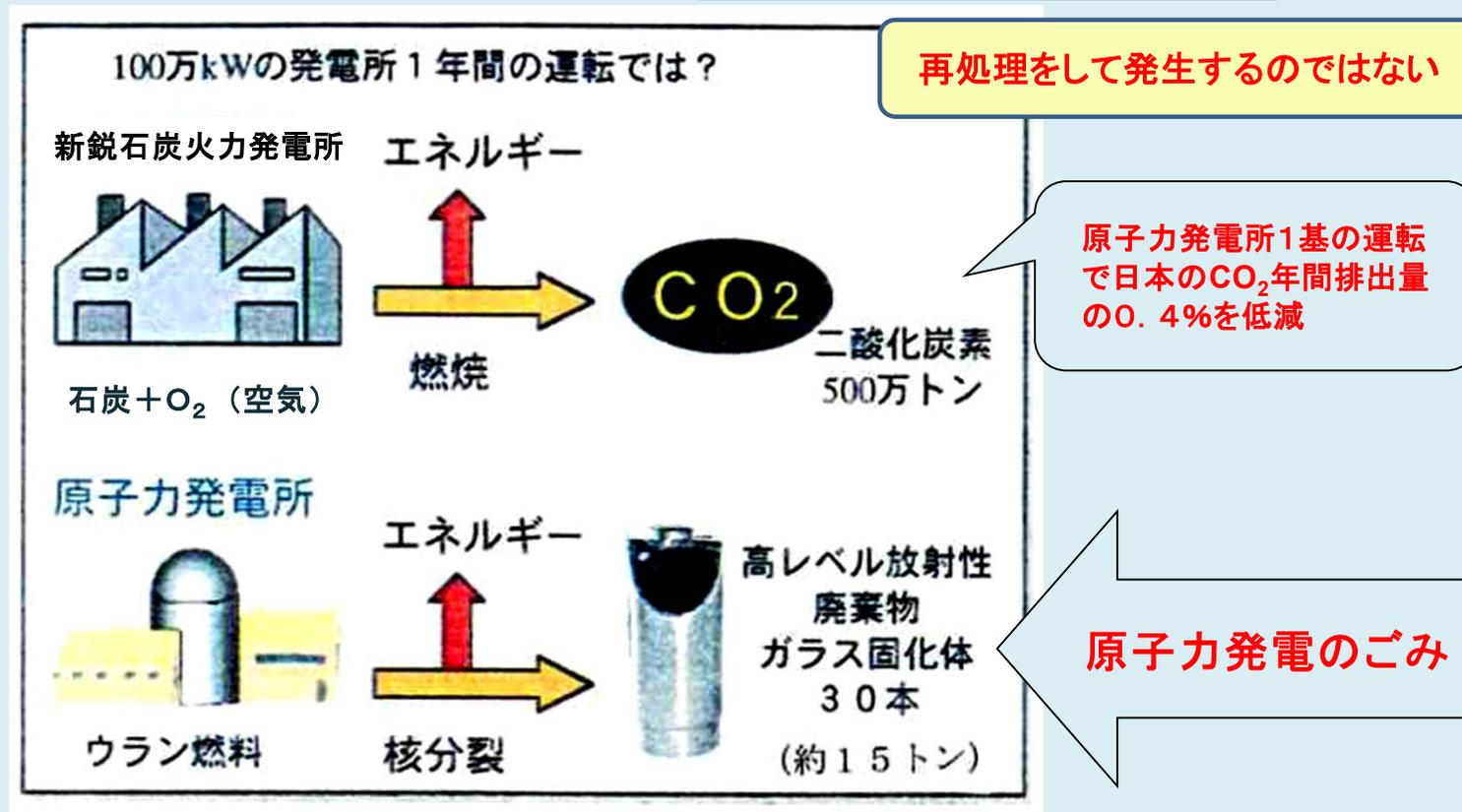
エネルギーの生産でごみは必ず発生

炭酸ガス

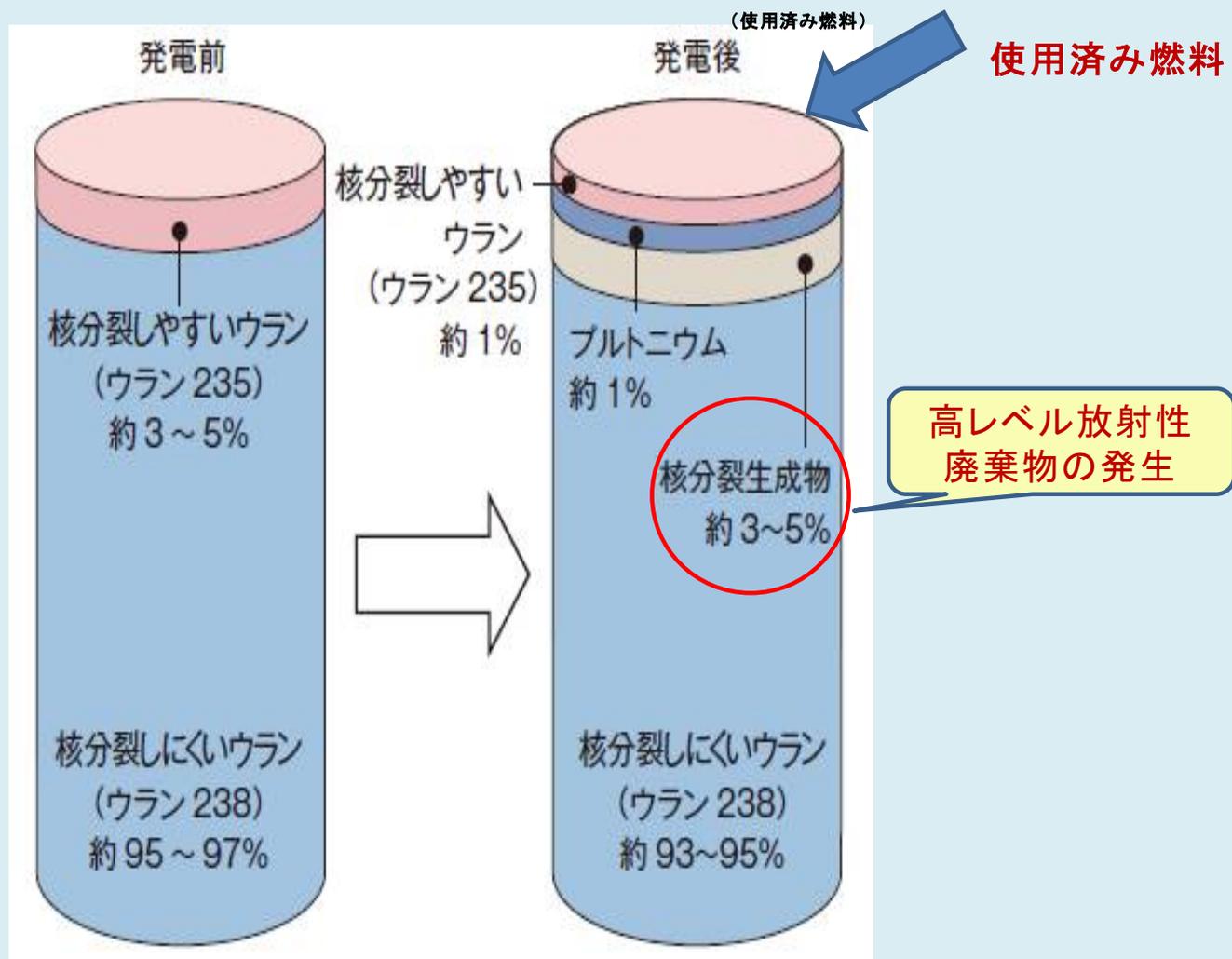
- 火力発電に伴い必ず発生
- 発生量は膨大

高レベル放射性廃棄物

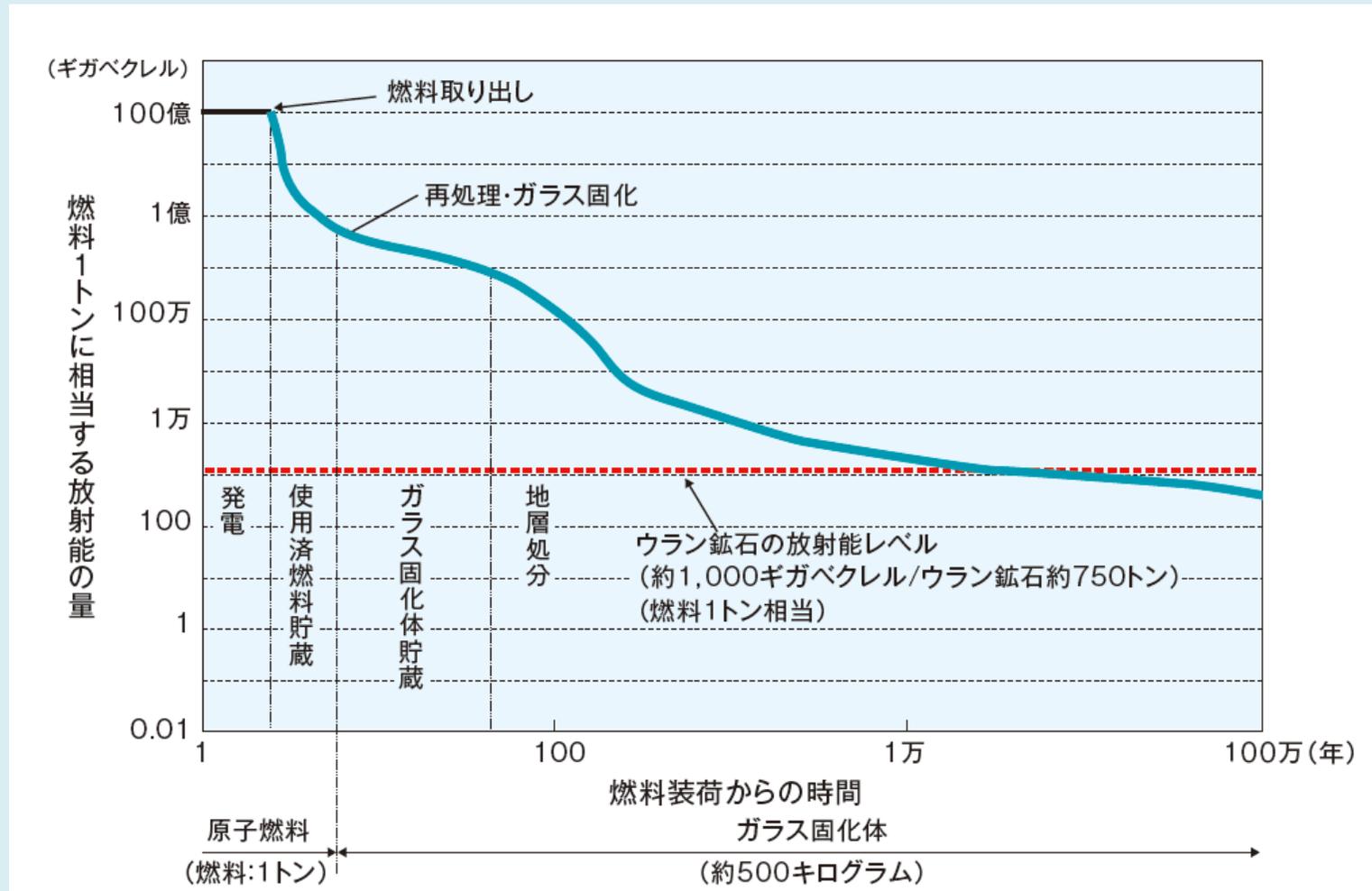
- 原子力発電に伴い必ず発生
- 発生量が僅少



高レベル放射性廃棄物の発生(発生元 原子力発電所)

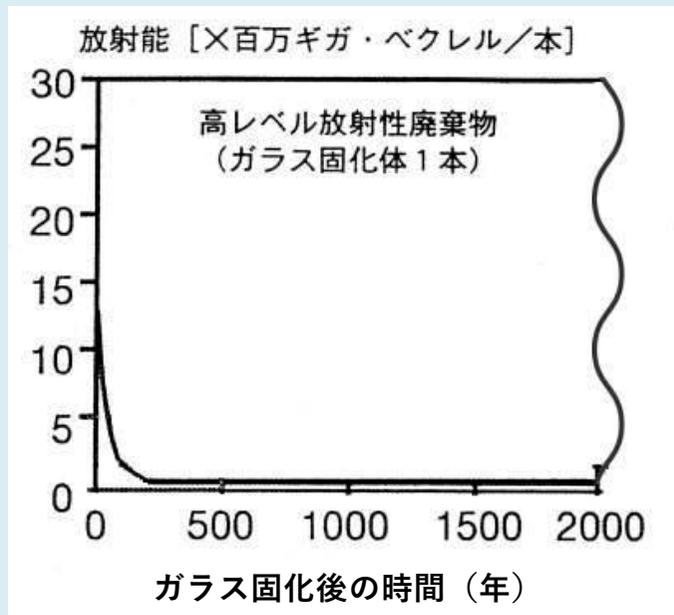


高レベル放射性廃棄物の放射能の減衰

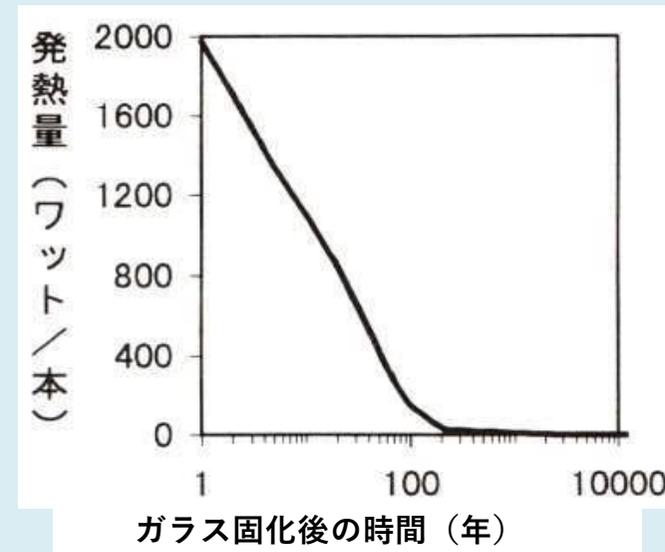


大きな性質 高レベル放射性廃棄物の放射能は自然に減ります

- 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

高レベル放射性廃棄物はガラス

○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

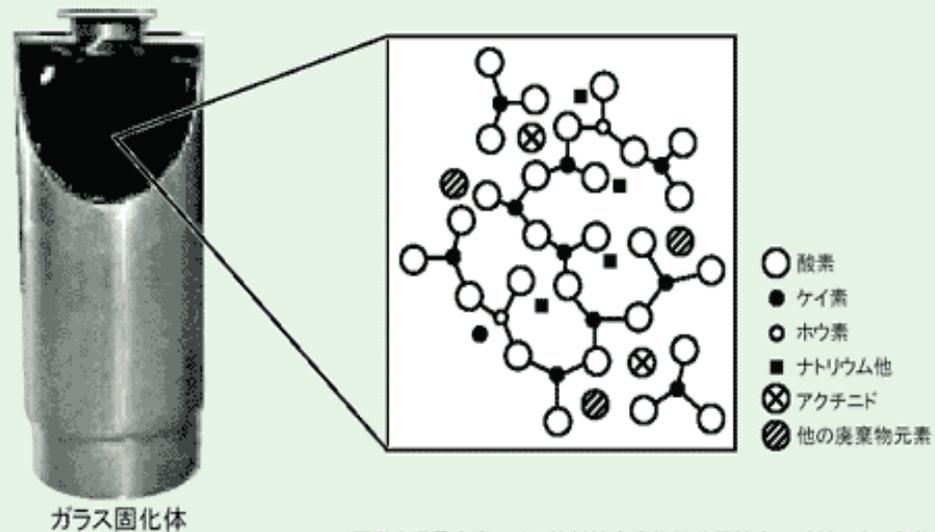
- ①多様な元素や物質を取り込む性質
- ②長い期間にわたって安定である性質
- ③成分が地下水に溶けにくい性質

ガラス



黒曜石(霧ヶ峰自然保護センター)

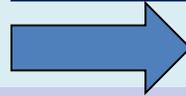
分子構造レベルでみたガラス網目構造中の廃棄物元素の存在状態



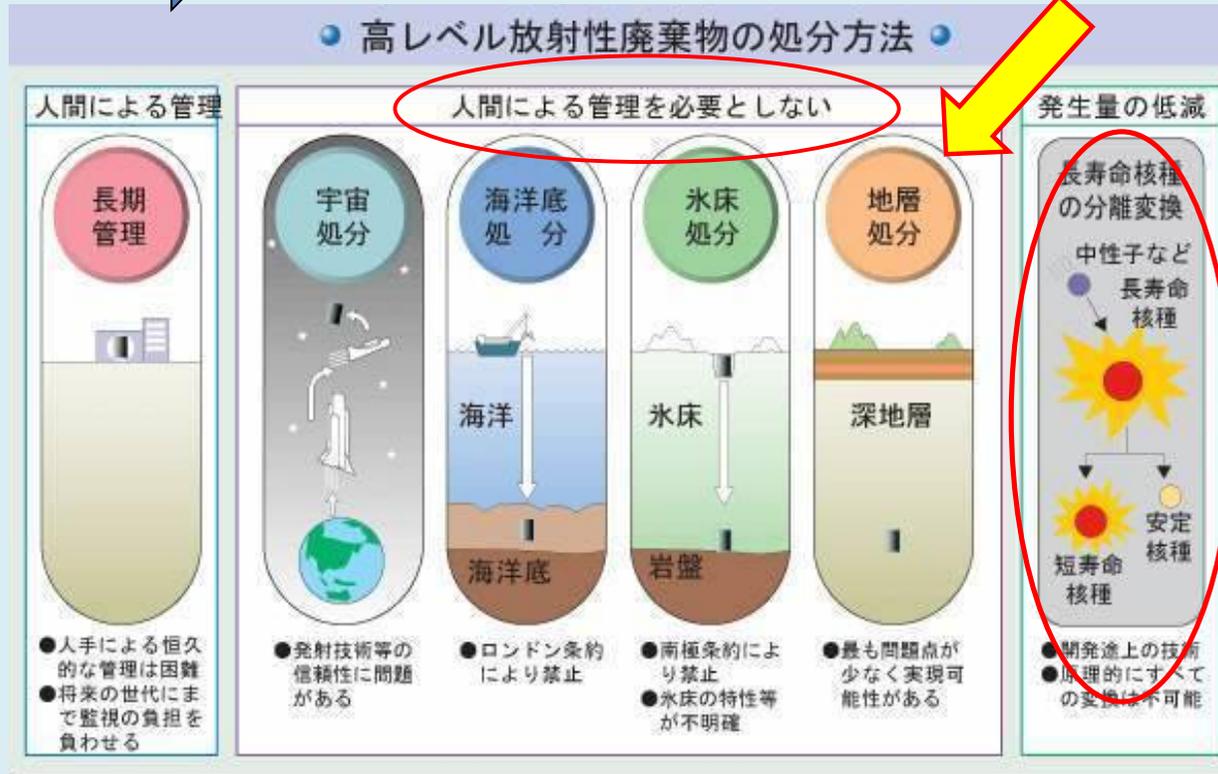
(原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会, 1998 を一部修正)

最終処分技術の選択

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



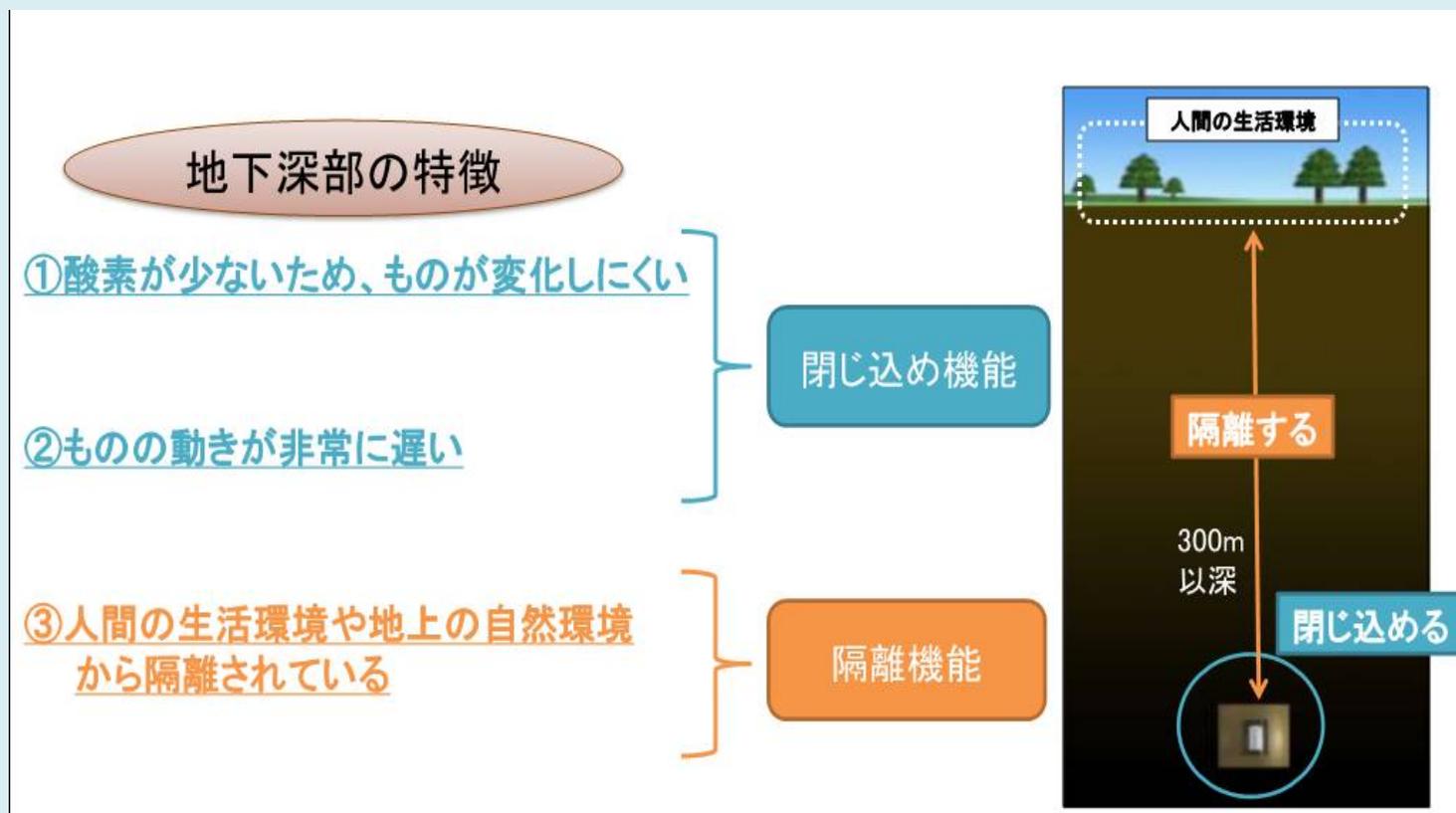
安定な地下深部を利用 地層処分方式の選択



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

地層処分技術の選択

➡ 安定な地下深部を利用 地層処分方式の選択



地層処分全国シンポジウム(資源エネルギー庁(2017))

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。

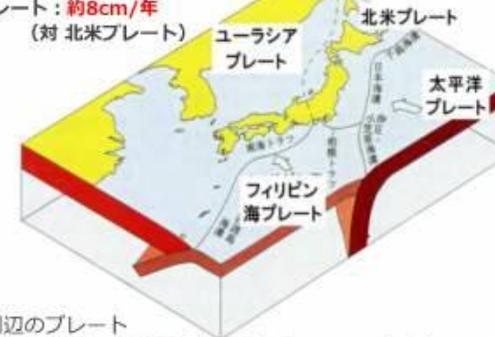
【現在の相対的なプレートの動き】

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

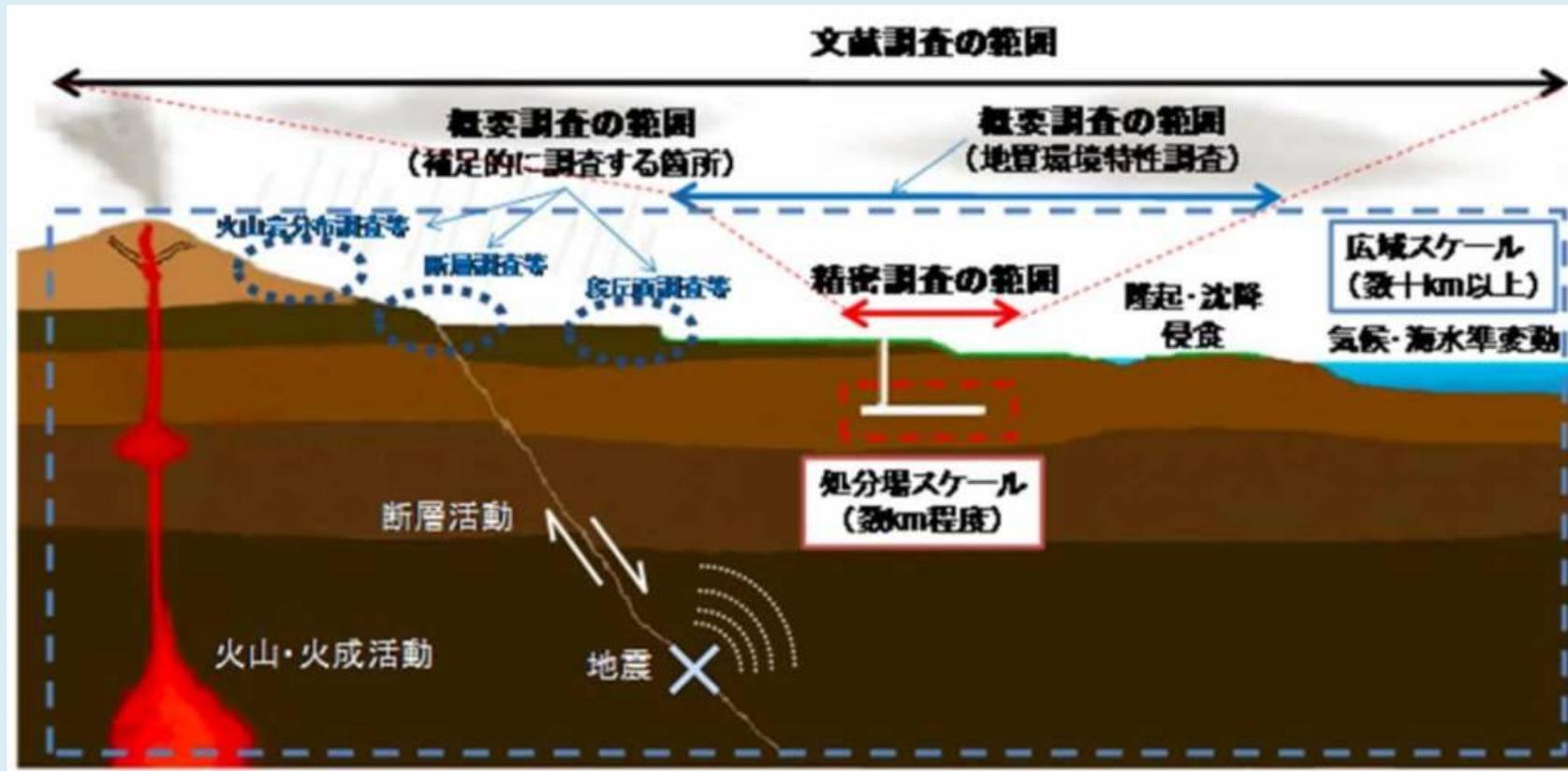


安定な地下深部の活用2

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)

211030SNW@地層処分勉強会(学生)

地殻変動や火山活動の影響を避けることができる最終処分地を選定

安定な地下深部の活用3

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

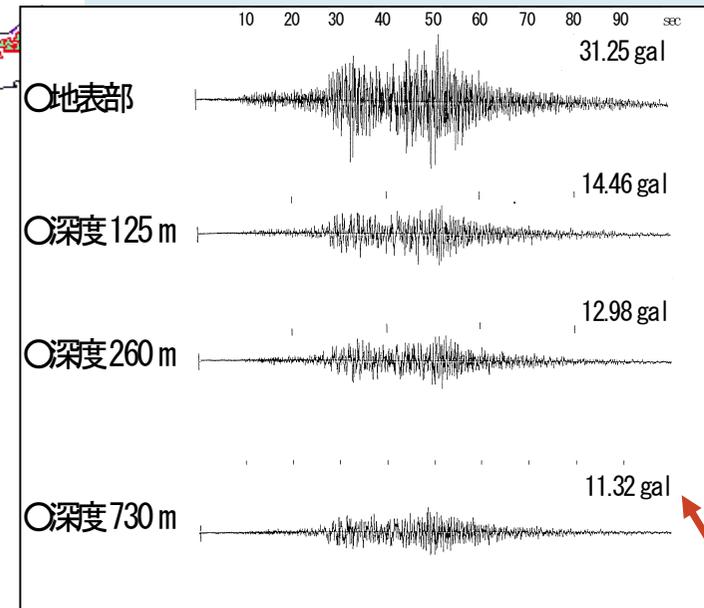
(1) 地質環境の長期安定性

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

核燃料サイクル機構「第2次とりまとめ」(1999)より編集

安定な地下深部の活用4

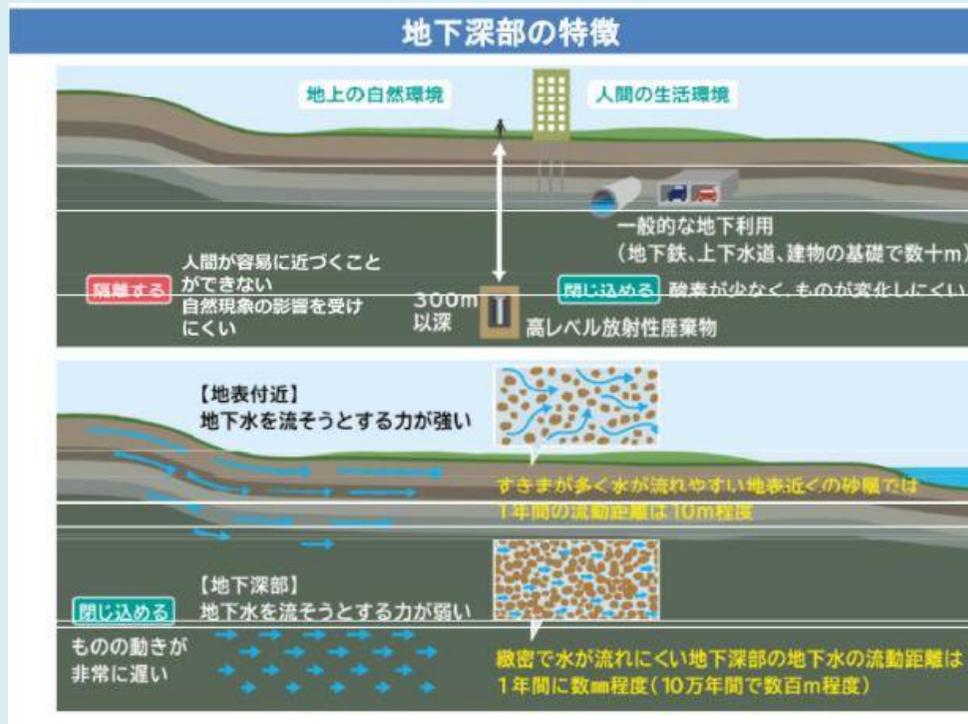
技術の目標:長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

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－地下水の流れ

岩石力学・水理学等

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



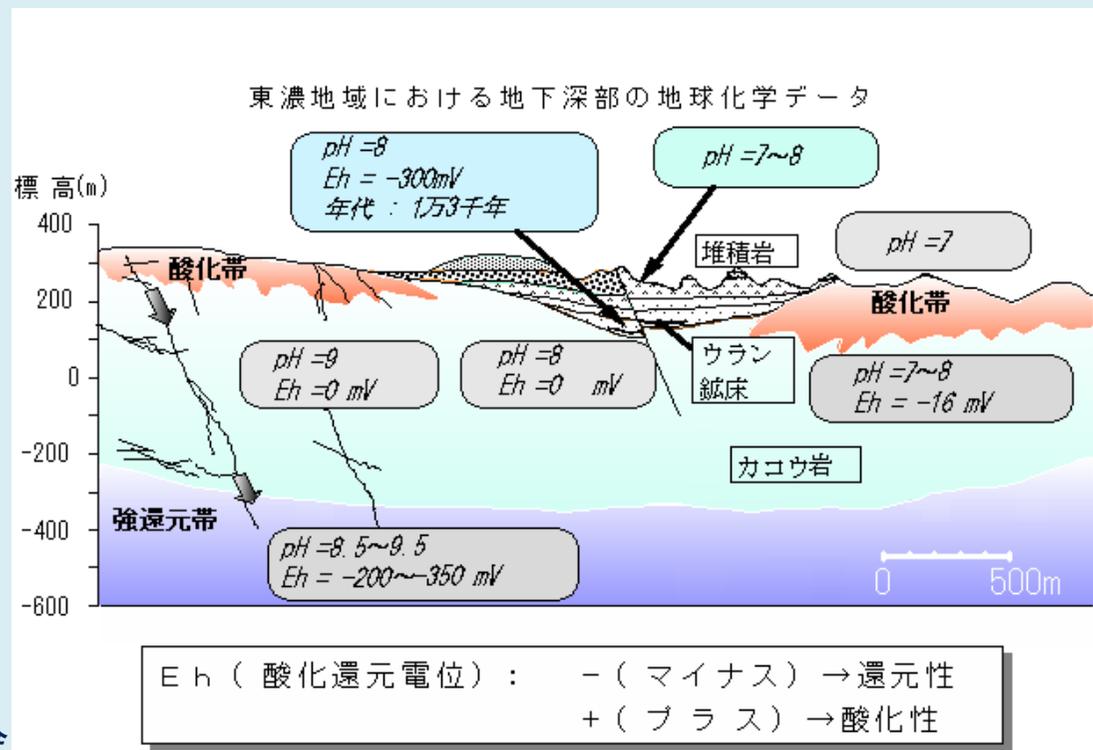
安定な地下深部の活用5

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

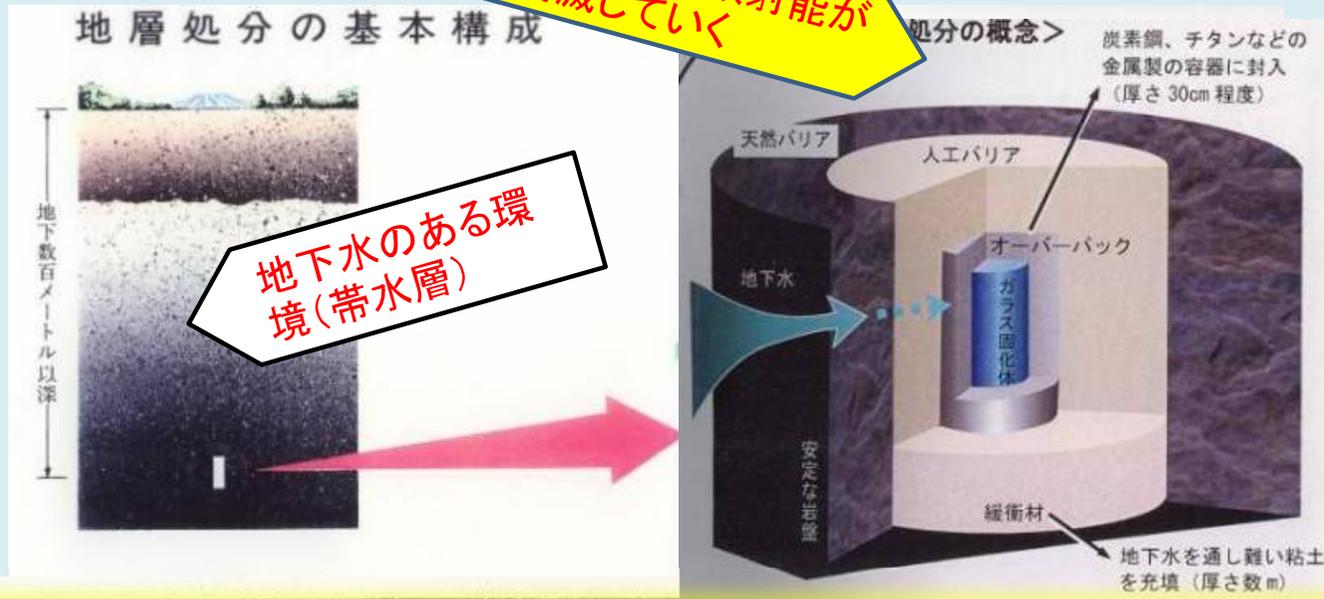
今までの知識 人工バリアの設置で考慮する地質環境
(2) 地質環境の性質—地下水の性質

地下水化学

鉄などは地下深部の地下水では錆びにくい



日本の地層処分技術



人工バリア周辺で放射能が
消滅していく

地下水のある環境
(帯水層)

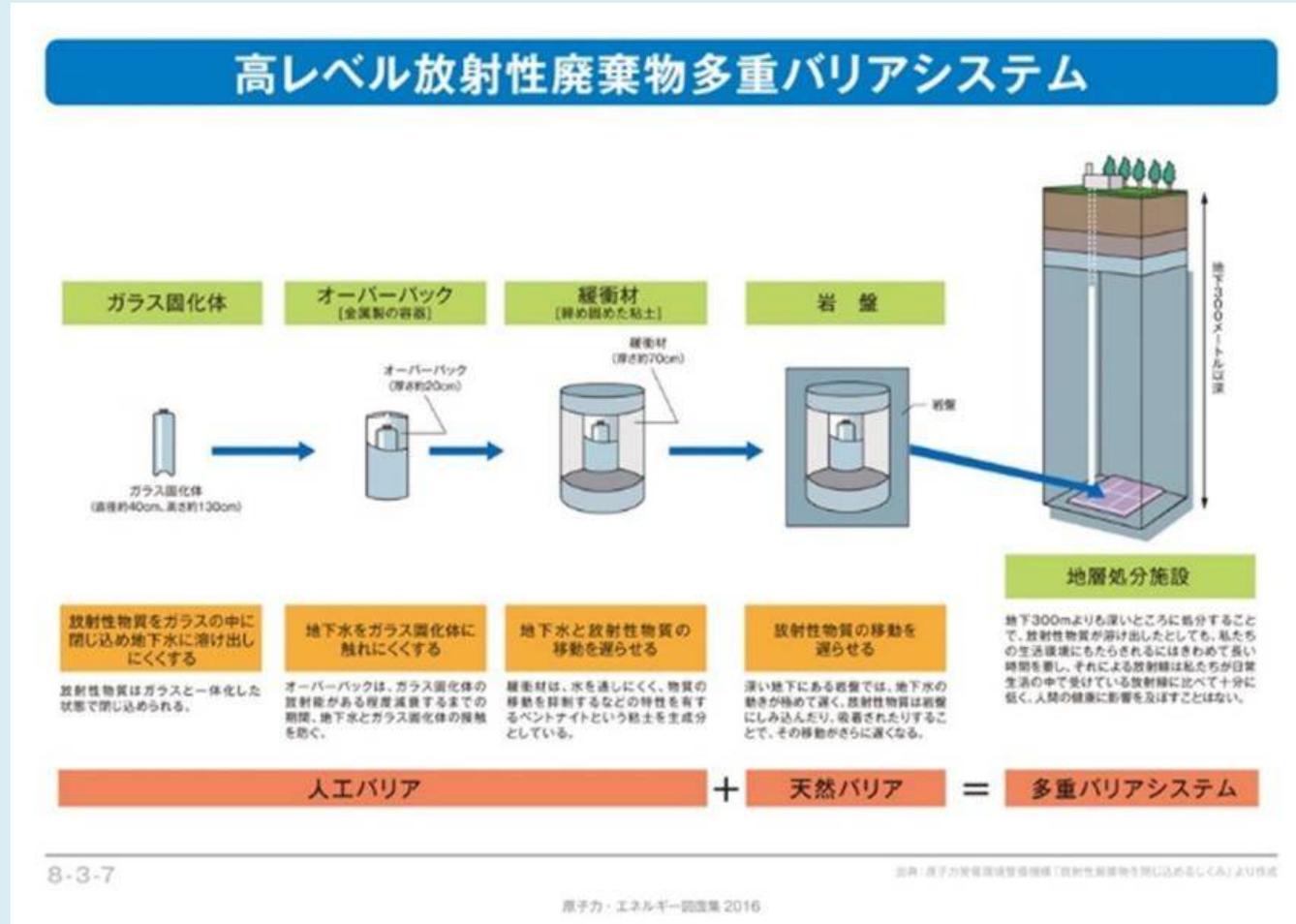
安全確保の三要件(徹底した地下水対策)

<p>地下水接触の抑制</p> <ul style="list-style-type: none"> 初期の高い放射能を確実に減衰させる 	<p>放射性核種の溶出・移動の抑制</p> <ul style="list-style-type: none"> 放射性核種を確実に人工バリア内にとどめる 	<p>環境安全の確認</p> <ul style="list-style-type: none"> 人間に影響を及ぼさないことを更に確かなものとする
--	---	--

日本の地層処分技術

多重バリアシステム

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



日本の地層処分技術

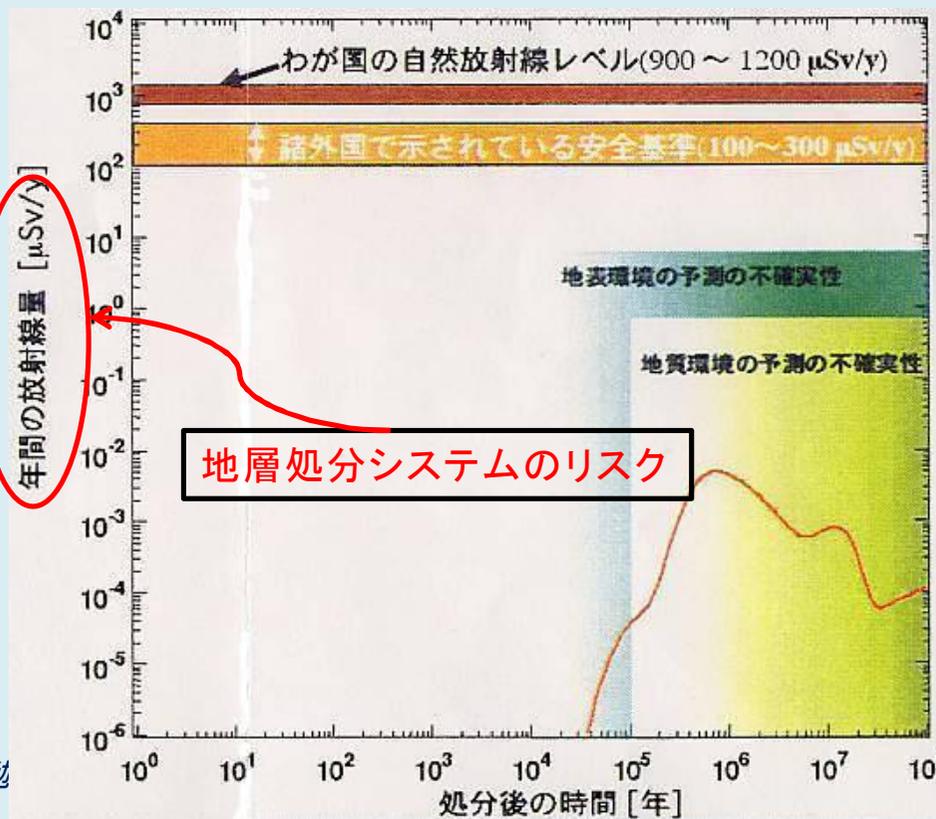
多重バリアシステムのリスク

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 多重バリアシステムの安全評価

最新の計算科学

「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



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

高レベル放射性廃棄物処分施設

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

掘削土置き場
排水処理施設
高レベル放射性廃棄物受入・封入・検査施設
緩衝材製作・検査施設

地上施設の規模:1~2km²程度

地下施設のイメージ

300m以深

地下施設の規模:6~10km²程度

埋め戻し材
オーバーバックに封入したガラス固化体
埋設坑道

※縦置に埋設する方式の場合

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。



福島空港(約1.8 km²)

たゆみない研究開発と人材育成



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

地層処分放射化学研究施設—QUALITY—
(東海村)

地層処分関連研究施設(1)

(原子力機構HP)



熱-水-応力-化学連成試験設備
(COUPLE)

地層処分基盤研究施設 —ENTRY—

たゆみない研究開発と人材育成

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



研究終了(令和元年度)
埋め戻し作業中(令和2年度~)

深度300m研究状況



瑞浪超深地層研究所
(岐阜県瑞浪市)

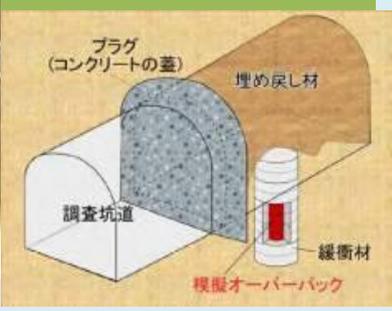
結晶質岩系研究

幌延深地層研究センター(2015.1現在)
(北海道幌延町)



堆積岩系研究

深度350m研究状況

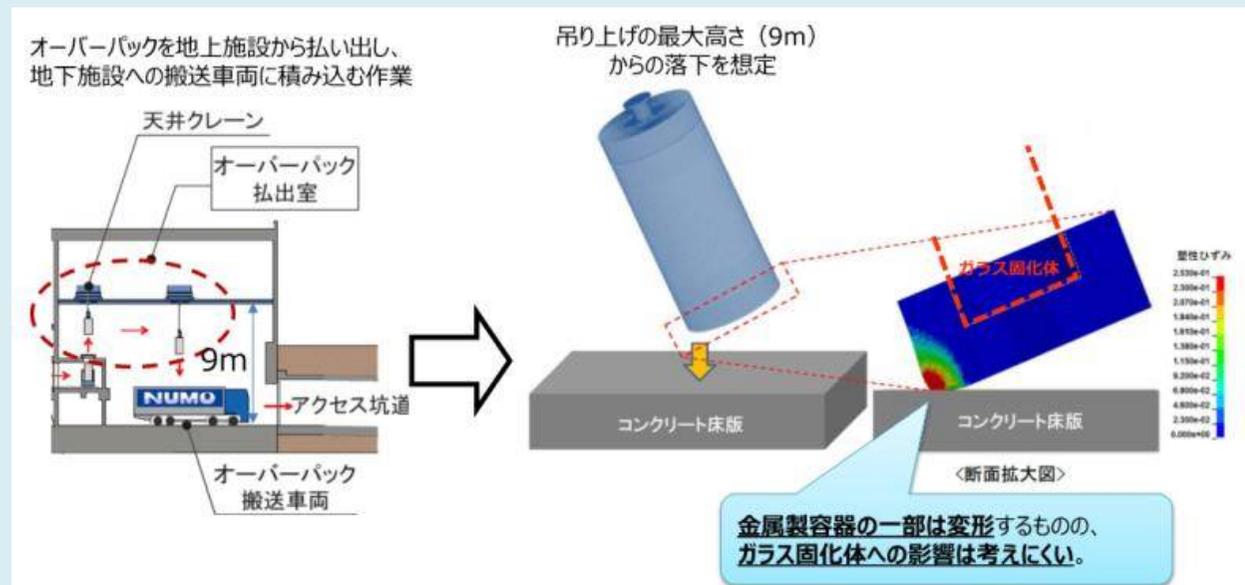


(原子力機構HP)

建設・作業時のリスク

- 施設周辺への放射線影響（放射性廃棄物の落下、停電、火災）
- 地下水流入
- 地震、津波

放射性廃棄物の落下

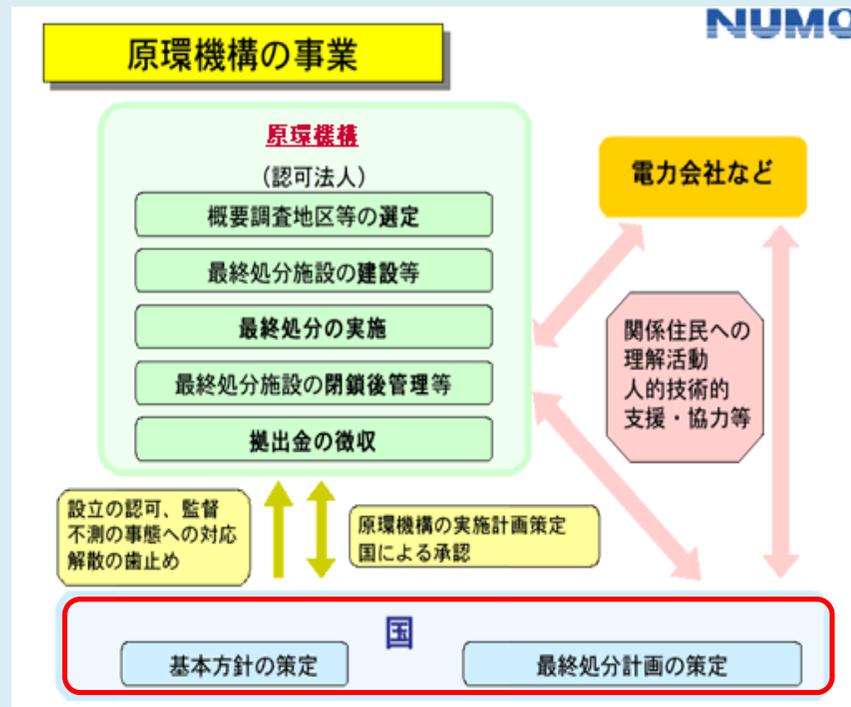


対話型全国説明会（資源エネルギー庁・NUMO（2019））

最終処分制度の整備 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 最終処分推進体制



「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

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)

NUMO

処分費用の確保



40,000本

地層処分

処分費用

約3兆円

電力会社
など

拠出金

原環機構

約700億円/年

原子力発電量に応じて拠出

電力会社
など

納付

原環機構

拠出金の徴収

外部管理

取り戻し

原環センター

↑ 拠出金単価
の決定

申請 ↓

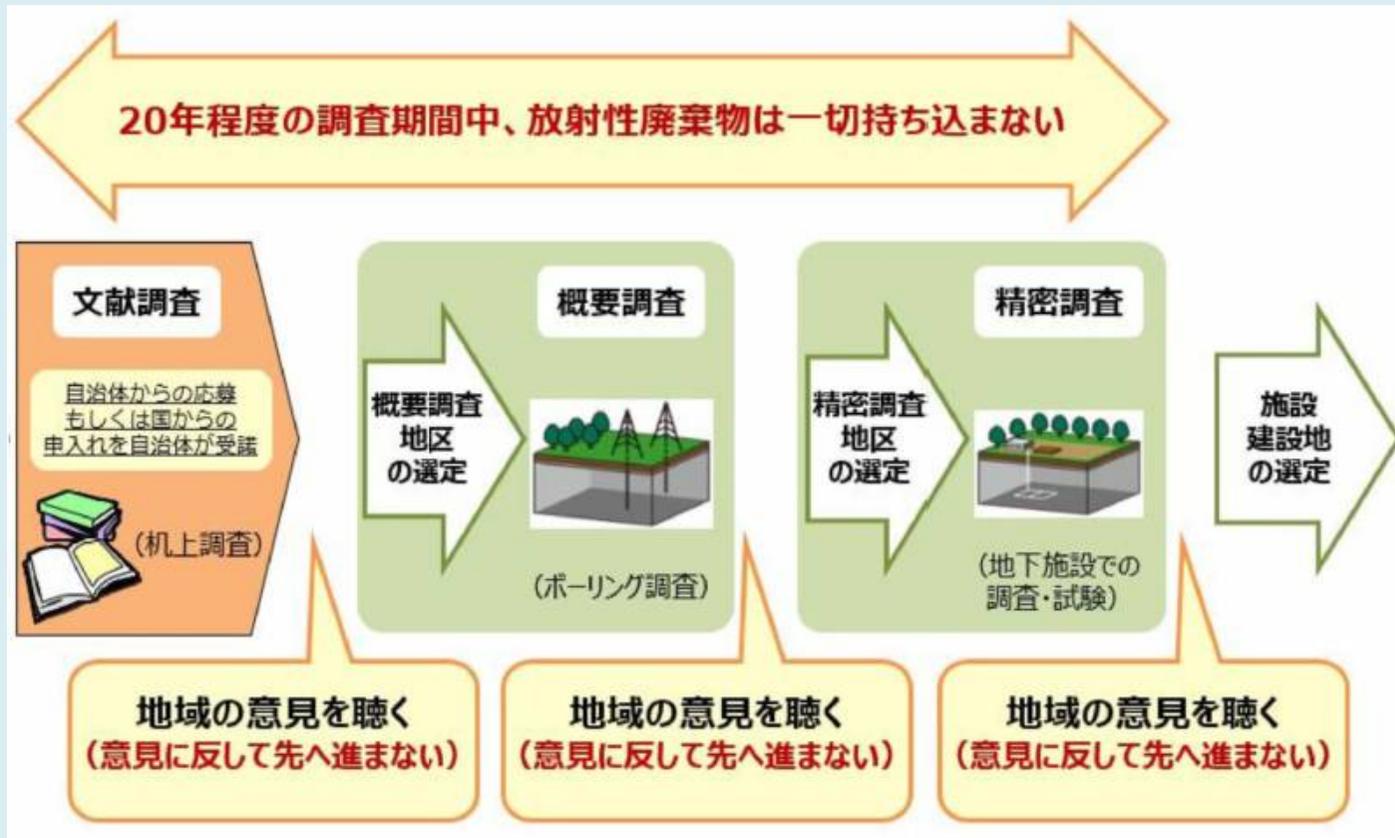
↑ 承認

指定、監督 ↑

国

原環センター：(財)原子力環境整備促進・資金管理センター

最終処分法：高い透明性のもとに段階を踏んだ処分地選定



資源エネルギー庁HPスペシャルコンテンツ(2020年6月25日)を編集

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

2. 国が前面に立った取り組み

- 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
- 理解活動の状況等をもとに、処分地選定調査に対する協力を関係地方自治体に申し入れ

3. 地域に対する支援

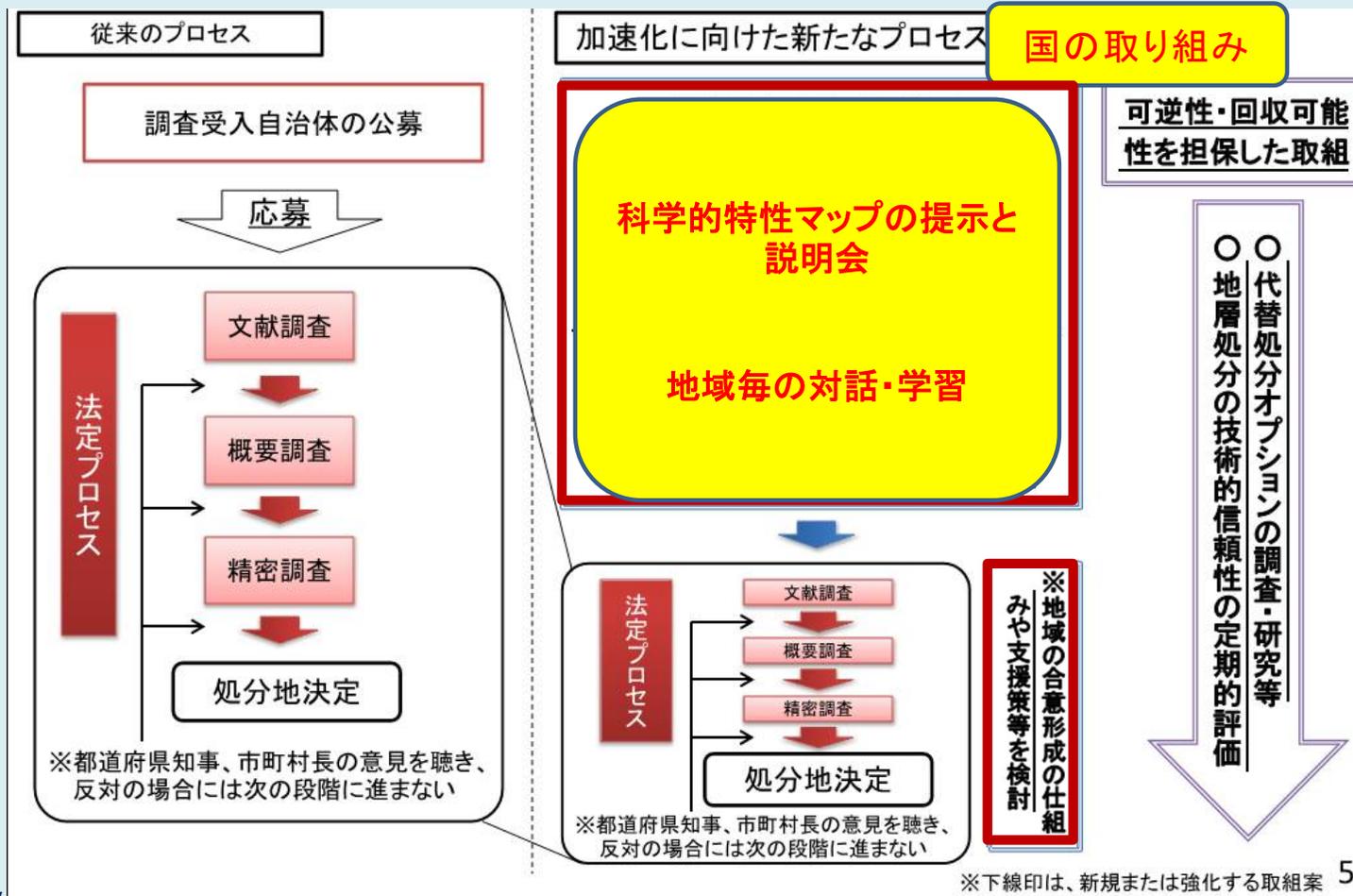
- 地域の主体的な合意形成に向け、多様な住民が参加する「対話の場」を設置し活動を支援
- 地域の持続的な発展を支援する総合的政策

最終処分基本方針(2015年5月)をもとに編集



最終処分法：高い透明性のもとに段階を踏んだ処分地選定

最終処分基本方針(改訂:2015年5月)に基づく処分地選定プロセス

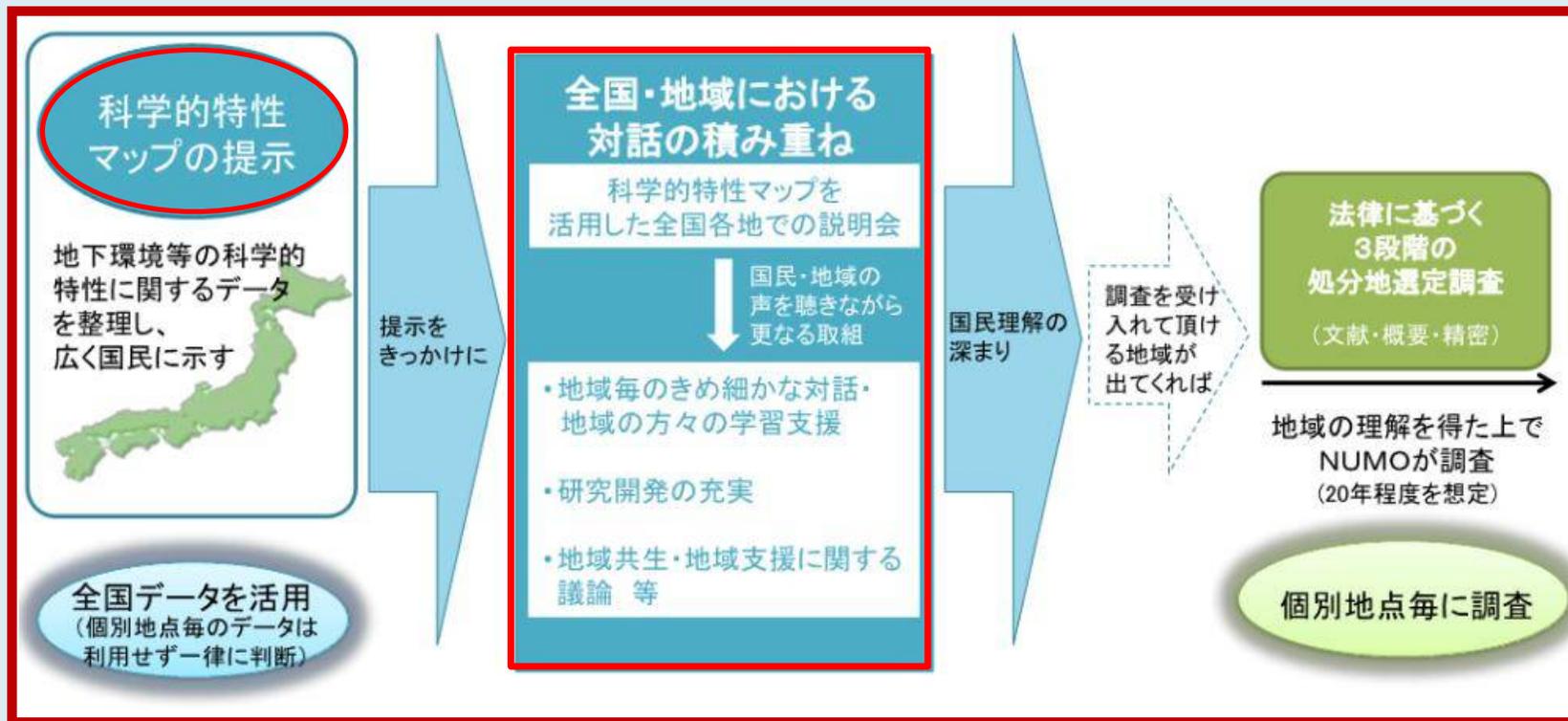


「このプロセスを経ずして自治体に調査の申し入れを要請しない」(世耕経産大臣(2015))



社会への定着に向けて

国による科学的特性マップの提示と
それに続く国・NUMOによる全国・地域における対話の積み重ね



全国シンポジウム資料(資源エネルギー庁(2017))

科学的特性マップ

科学的特性マップとは

- 処分地選定に先立ち、地下の科学的特性が地層処分に適さない所や輸送面で好ましい地域を提示したもの
- 科学的特性マップを活用した対話活動を通じて、国民や地域社会が最終処分に関する情報を共有する
- 対話を積み重ねる中で、地域発展を支援する施策を展開する

- **グリーン**
 - 好ましい特性が確認できる可能性が高い
- **濃いグリーン**
 - 輸送面でも好ましい
 - 海岸から15km以内
- **オレンジ**
 - 地下の長期的安定性等に懸念アリ
 - 火山から15km以内、活断層付近、隆起浸食の可能性アリなど
- **シルバー**
 - 将来掘削の可能性アリ
 - 油田、ガス田、炭田等

科学的特性マップ
はこちらから



○2017年7月28日 経済産業省HPで公表

○日本全国の地域特性を4区分(色)で示す

○日本全国に占める面積割合

オレンジ	:約30%
シルバー	:約5%
グリーン	:約35%
グリーン沿岸部(濃いグリーン)	:約30%

○地域特性区分に一部でも含まれる自治体数

オレンジ	:約1,000
シルバー	:約300
グリーン	:約900
グリーン沿岸部(濃いグリーン)	:約900

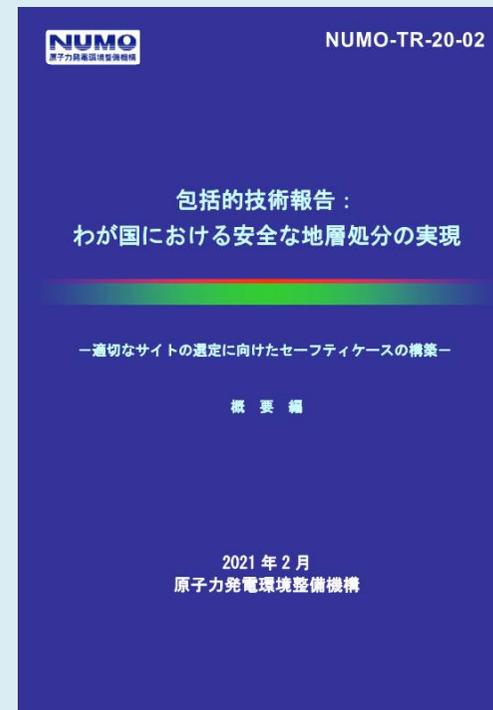
注記:「科学的特性マップ」本体は、1/200万の縮尺で作成(約90cm×約120cm)

NUMOが「包括的技術報告書」公表 (2021年)

最終処分実施主体として、
どのようにして安全な地層処分を 実現しよ
うとするのか社会に問うため
⇒論拠と証拠を集成(セーフティケース)

今後、処分地の選定など地層処分計画の
段階に応じて作成され更新される

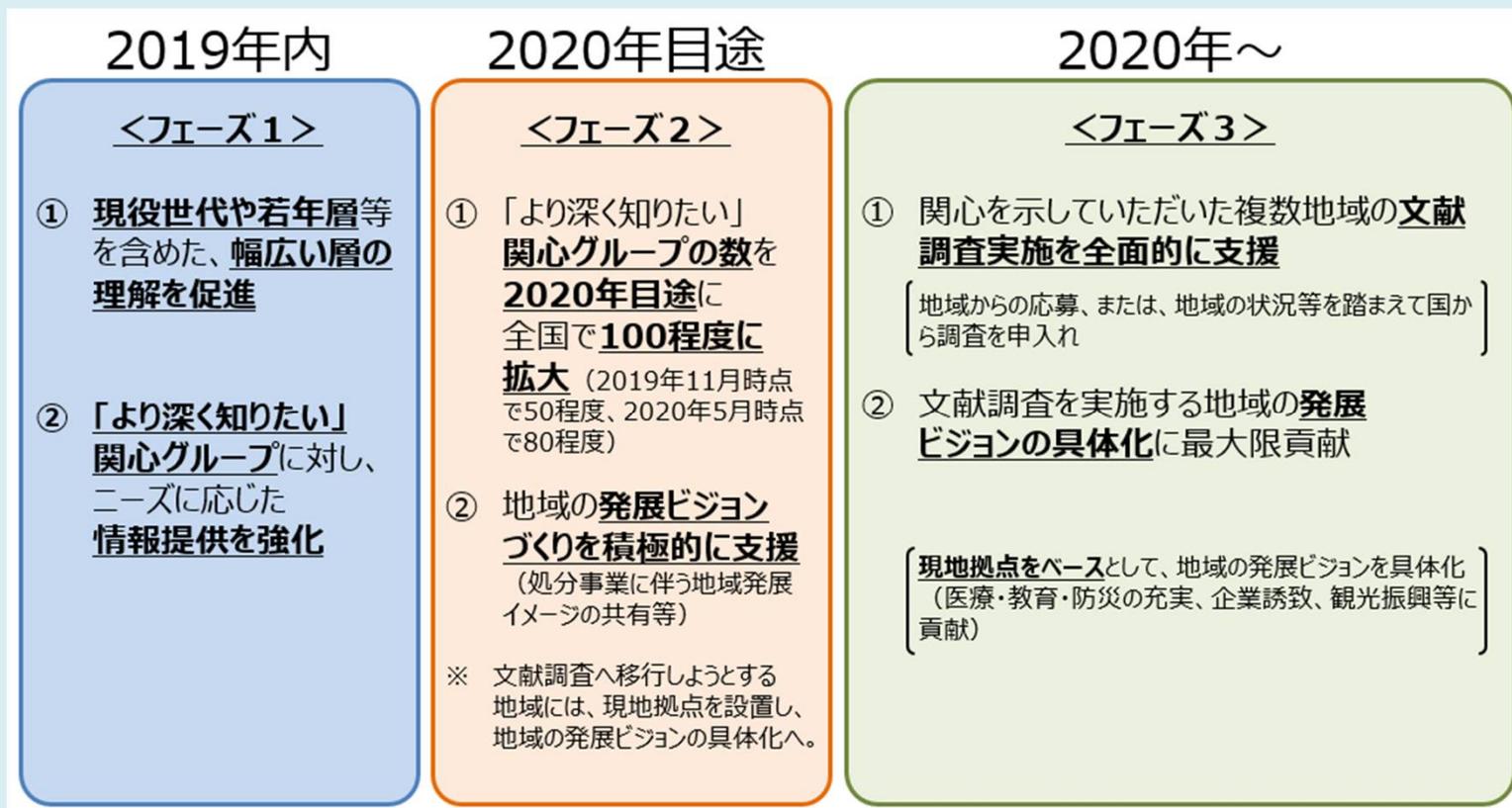
セーフティケース(アシュアランスケース)
⇒不完全さや不確実さが避けられないシス
テムの安全性や信頼性について事業者(開
発者)の「確信」を認証機関や社会に論理
的に説明する手立て。書類(セーフティケー
スレポート)だけでなく映像、物品など様々
な証拠を含む
⇒近年の事例：
鉄道信号システム、航空管制、「つながる社
会」、医療点滴ポンプ、地層処分技術



(注)レビュー版は2018
年に公表

国・NUMOによる全国・地域における対話の積み重ね

(科学的特性マップ、「包括的技術報告書」などを活用した対話活動の充実)



対話の場－地層処分事業を利用した地域発展

(参考) 地域の発展ビジョンのイメージ

- 医療の充実、交通インフラの整備等、「対話の場」等も活用しながら、地域の抱える課題を把握し、それに貢献する取組を提示・具体化していく（交付金や様々な支援制度も活用）。

医療・防災・教育

【医療】

- 元々は眼科診療を実施できる医療機関がなかった地域において、中心となる医療センターに眼科医療用機器及び眼科診療システム一式を整備することで、同地域でも眼科診療が実施できるようになった。

【防災】

- 定期バス路線でもあり、地域防災計画でも主要道路にも位置付けられている重要な生活道路において、防護柵が塩害等で老朽化。地域の方々からの不安の声も踏まえて、防護柵の修繕工事を実施。

【教育】

- 地域の産業活性化につなげる人材育成のため、首都圏の大学と連携して社会人向けに講義を開講。
- 修了生が地場産品を活用した新たな商品を開発。起業や新規事業を創出。

インフラ整備・企業誘致

【交通インフラ】

- 入り組んだ地形により交通が不便な地域において、新たに道路を開通。救急車等の緊急車両の運転がスムーズになる、学生の通学が便利になる等で、地域の方々の利便性が大きく向上。

【企業誘致】

- 高速ブロードバンド環境の整備、オフィス開設のための古民家改修等を支援。
- サテライトオフィスを整備することで、ICTベンチャー系企業の拠点が進出。当該地域への移住者や来訪者も増加。



(古民家を改装したサテライトオフィス)

写真出典：地方創生事例集（内閣官房まち・ひと・しごと創世本部事務局 内閣府地方創生推進事務局）

観光振興・まちづくり

- 廃校を道の駅として再生し、地場産品の直売、教室を使った宿泊施設、まちの観光や食の情報発信等、交流活性化の拠点として活用。新規事業者・雇用・交流客を創出。

- 多様な地域関係者が議論をする場を設けながら、地域の農業を活かして、農業体験や農家民泊等のプログラムを実施。当該地域に訪れる人口の増加、農家の収入や雇用の増加に貢献。

- ごみ処理や下水処理等のバイオマス活用施設の視察と併せて、観光施設や特産品を提供する飲食店等を案内するバイオマスツアーを実施。地域消費額の向上に貢献。

23

対話の積み重ね

<課題①>

- 説明会は、参加者がシニア層に偏っている。
- これまでの対話活動（説明会等）でアプローチが十分に出来ていない現役世代・若年層向けの取組を強化する必要あり。

<課題②>

- 平易な情報や一般的な説明に留まらず、自らが住む地域の地質の適性や、地域社会への影響等、より詳しい情報を求める声に対応していく必要あり。

<対応策①>

- ◆ 仕事や子育てに忙しい現役世代や若年層等を含めた、幅広い層の理解を促進すべく、SNSやインフルエンサー、新たな広告媒体等も活用した情報発信を強化。

<対応策②>

- ◆ 「より深く知りたい」関心グループに対し、ニーズに応じた具体的・詳細な情報提供を強化（地域の発展ビジョン等も対象に）。

自治体説明会（2019年、資源エネルギー庁）

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)

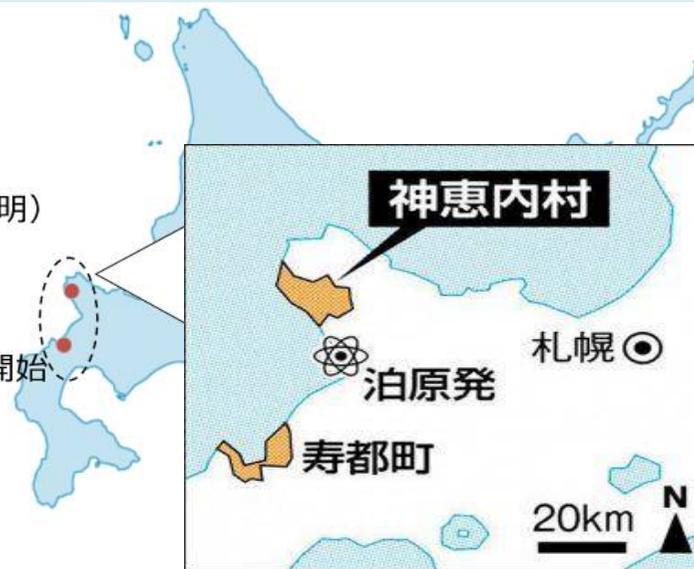
(1) 北海道 寿都町 (すつちょう)

- 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)

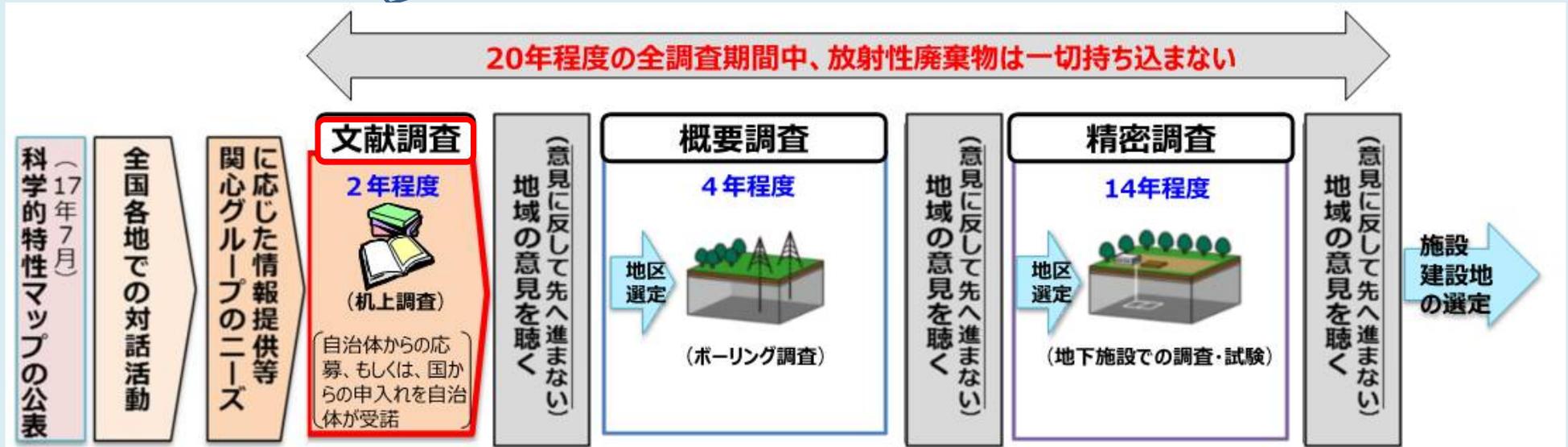
- 9/15 : 村議会で商工会から提出された請願書の審議を開始
- 9/25 : 村議会 (国・NUMO説明)
- 9/26 : 国・NUMO主催で住民説明会開始 (~9/30)
- 10/8 : 村議会で請願書を採択
- 10/9 : 国から文献調査申し入れ、村長が受諾の表明

○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)



複数地域が望まれる文献調査

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))



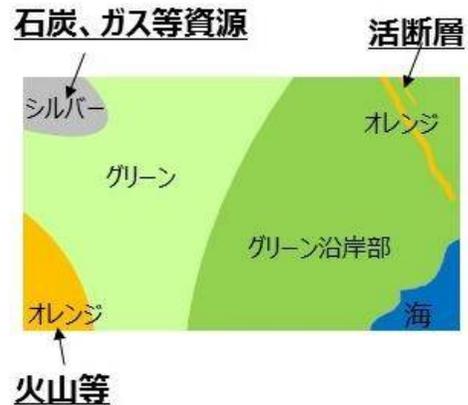
対話型全国説明会(資源エネルギー庁・NUMO、2021年)

複数地域が望まれる文献調査

文献調査

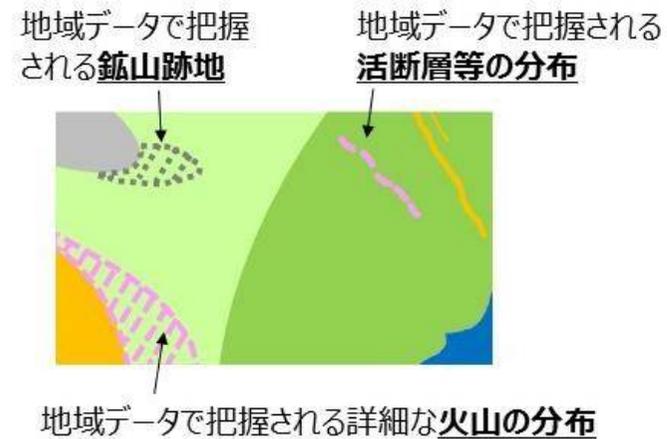
科学的特性マップ (全国一律に評価)

- ◆ 既存の公開された全国データを利用。
- ◆ 一定の要件・基準に従って、全国地図の形で示したもの。



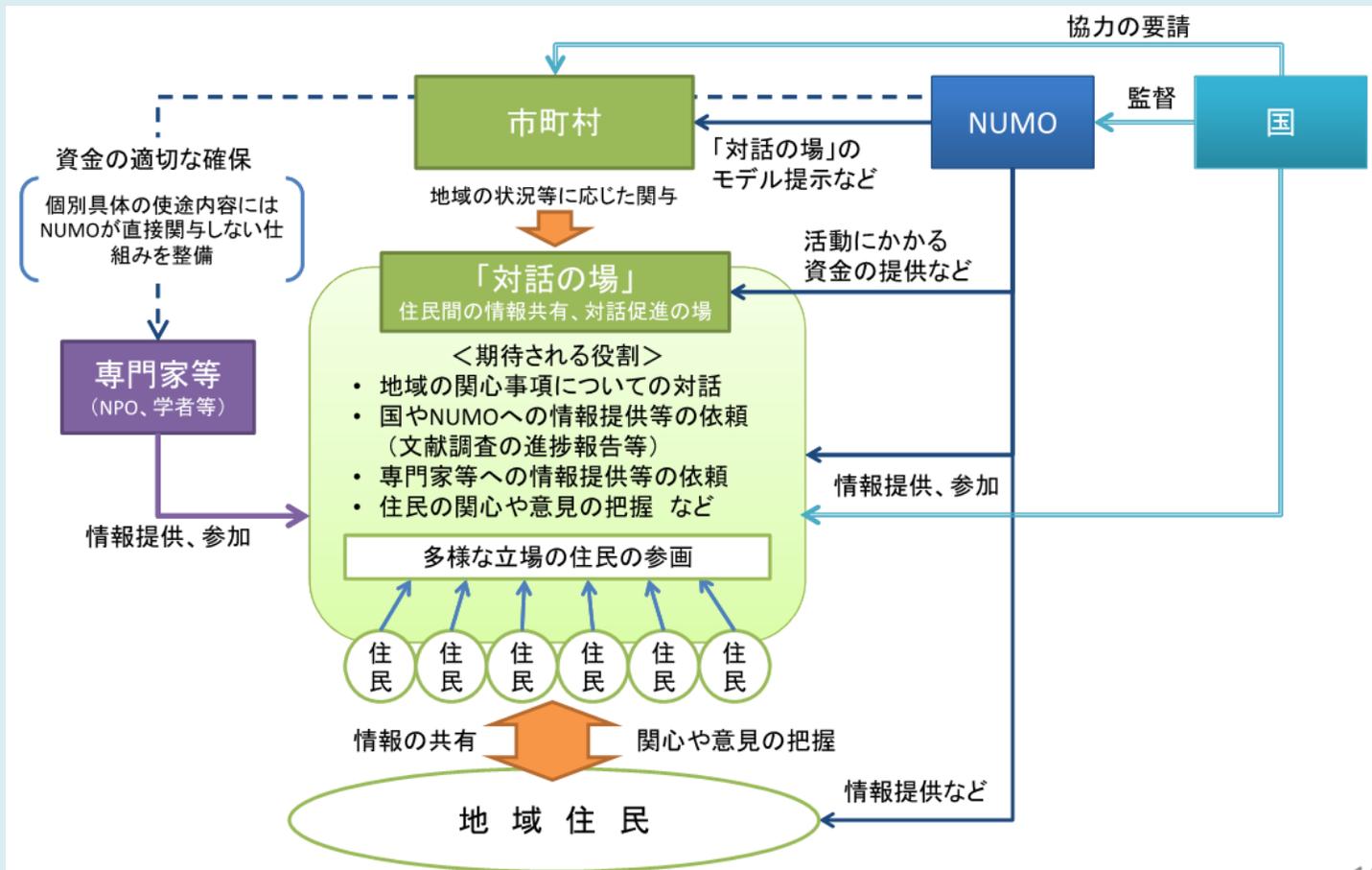
文献調査 (地域のデータによる調査)

- ◆ 全国データに加えて、地質図等の地域固有の文献・データを利用。
- ◆ 明らかに処分場に適当でない場所を除外。

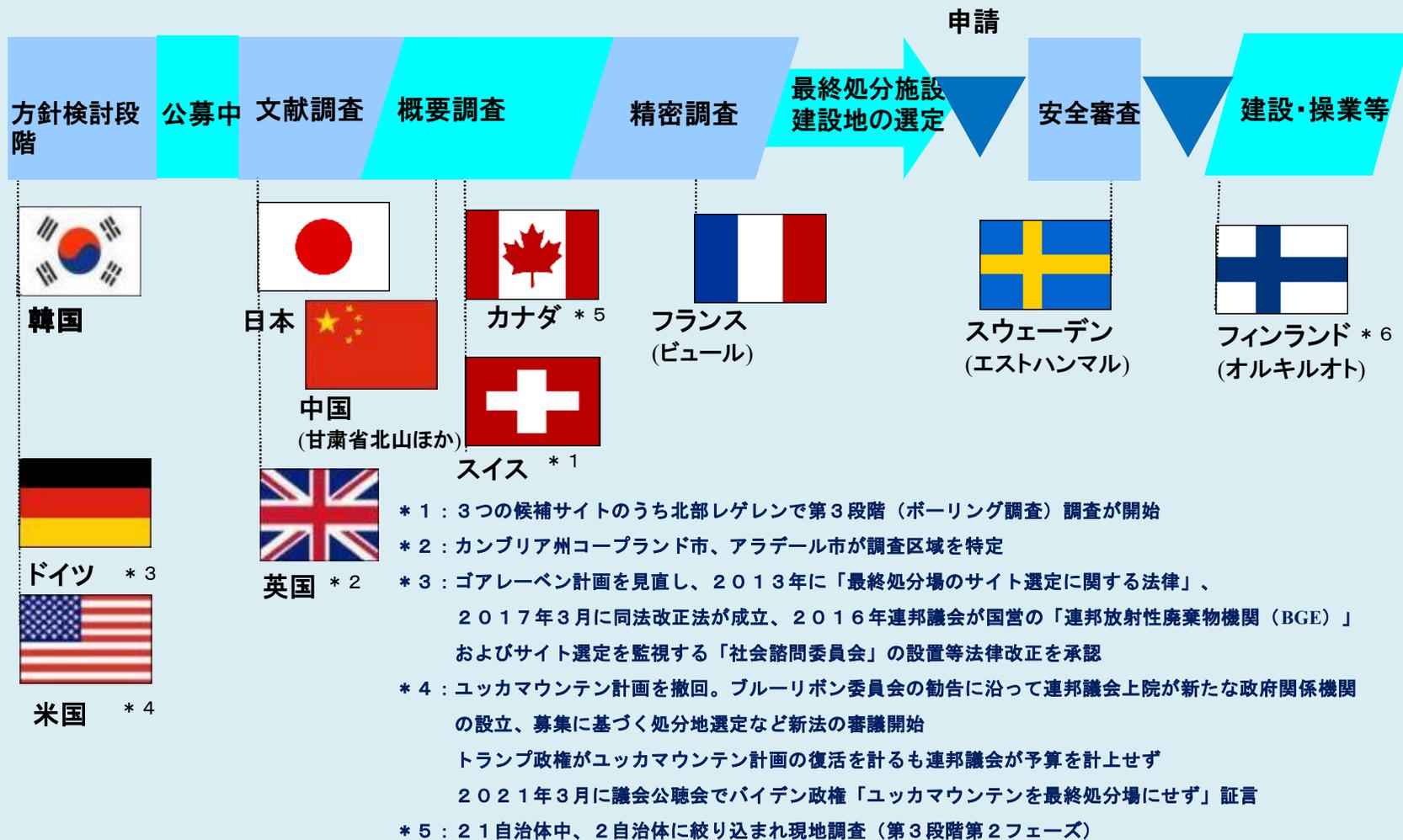


これから

最終処分基本方針(改訂:2015年5月)に基づく「対話の場」の設営



海外諸国の状況(2021年10月現在)





カナダ(出典)イグナス地域連絡委員会HP引用

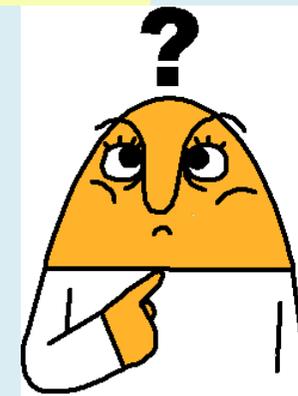
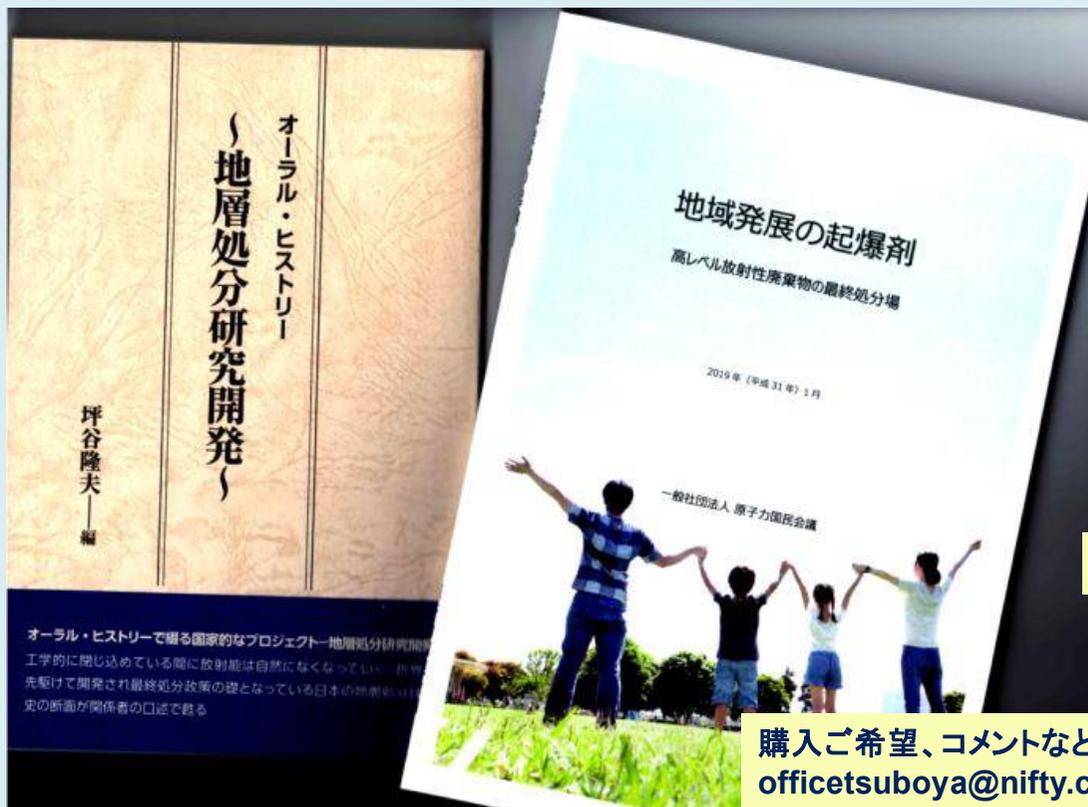


スウェーデン(提供)エストハンメル自治体

スイス(出典)ジュラ東部地域会議HP引用
資源エネルギー庁HPスペシャルコンテンツ(2020年9月11日)

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～」(自費出版、定価1,800円+消費税)
(<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」(無償)
(<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