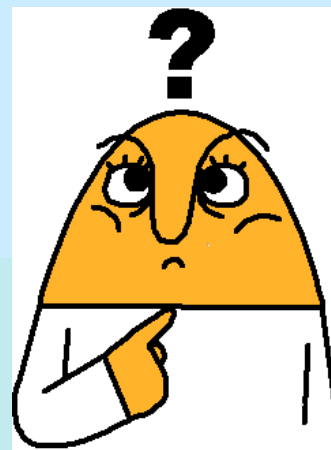


原子力発電のごみー  
高レベル放射性廃棄物について

WHAT? それはなに?  
WHICH? どんなもの?  
WHERE, NOW? いまどこに?  
WHY? なぜ原子力発電?  
WHO? 誰がだしているの?



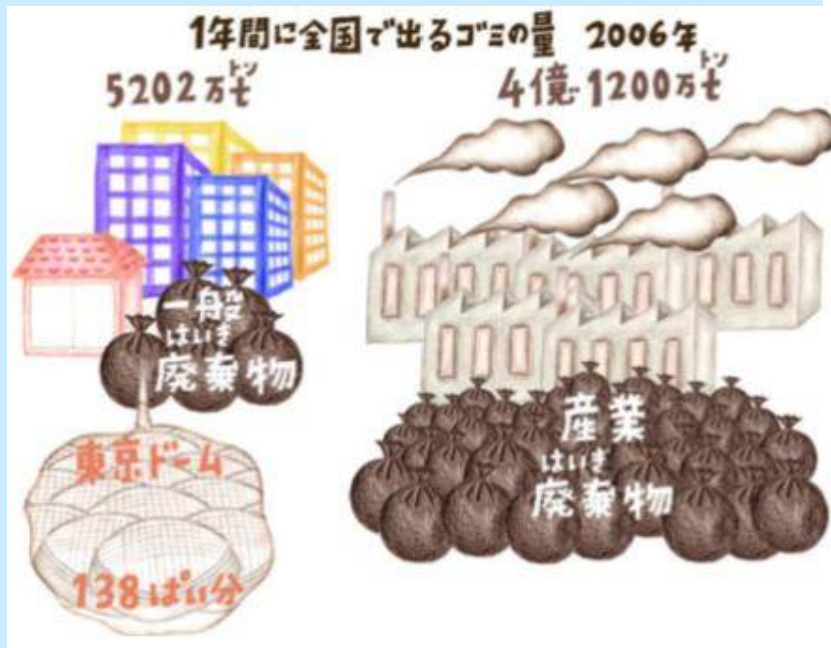
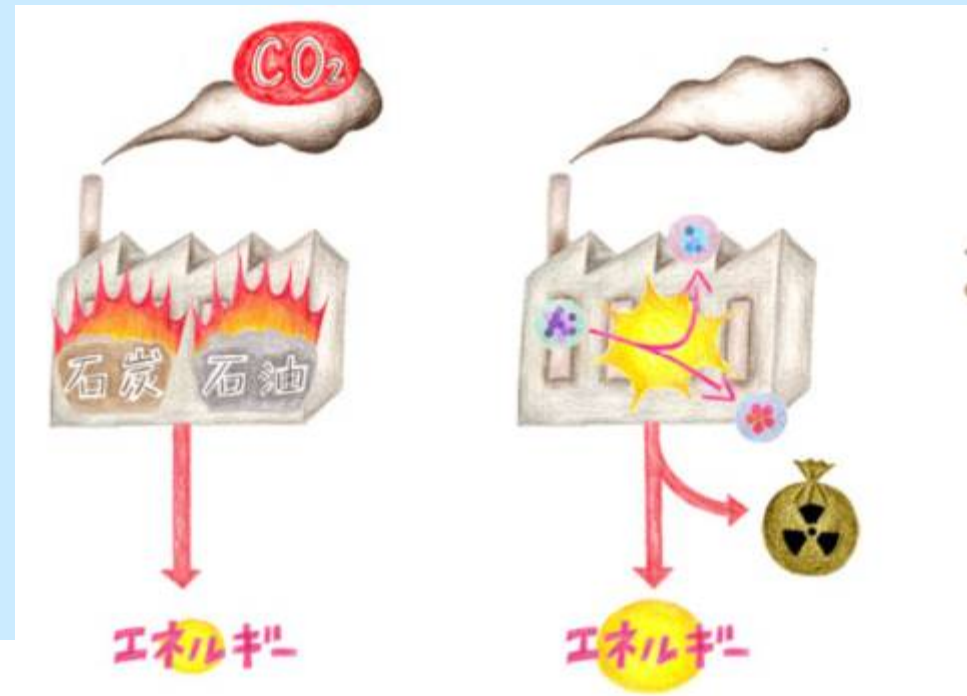
Copyright (C) NEC Corporation/NEC BIGLOBE, Ltd. 2002



2018. 6 北海道教育大@坪谷

坪谷隆夫  
日本原子力学会シニアネットワーク連絡会副会長  
動燃事業団(現・原子力機構)元理事・環境技術開発推進本部長

## ごみ(廃棄物)の処分技術



kidsnet

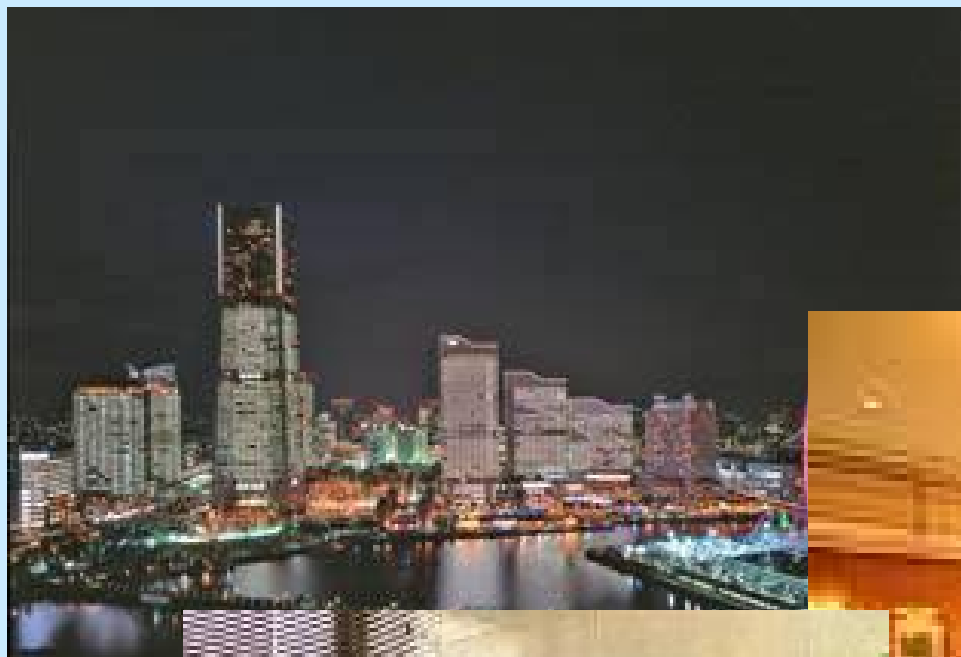
どのような技術でも社会に定着するためには人々に信頼される仕組み(制度)+社会の支持(需要)が不可欠です

ごみ問題は総合学  
習の教材としても面  
白いかもしれません



WHAT? それはなに?

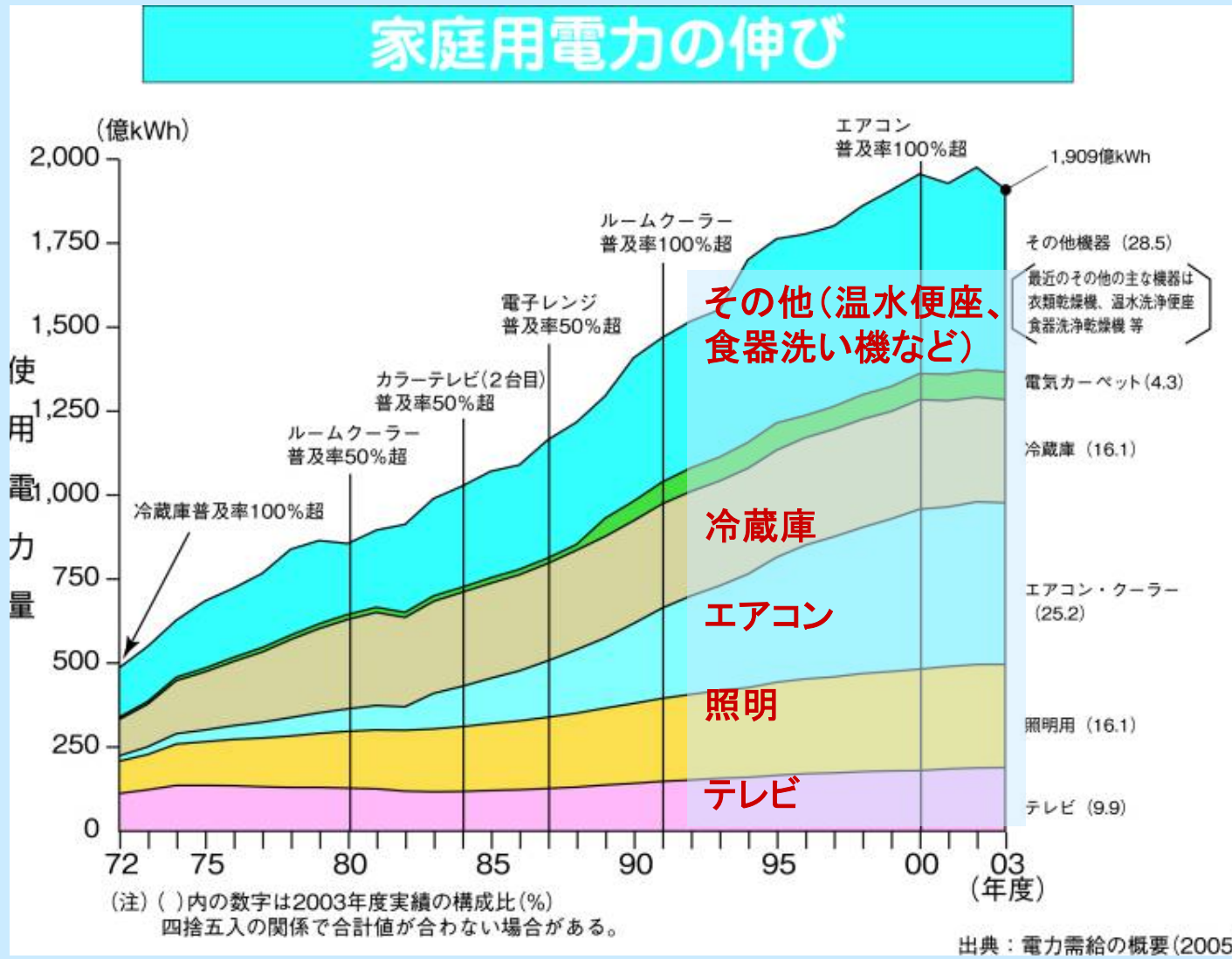
使うところではごみは出ません



# 原子力発電のごみは

## WHO? 誰が出しているの?

### ガラス固化体



# WHAT? それはなに?

炭酸ガス

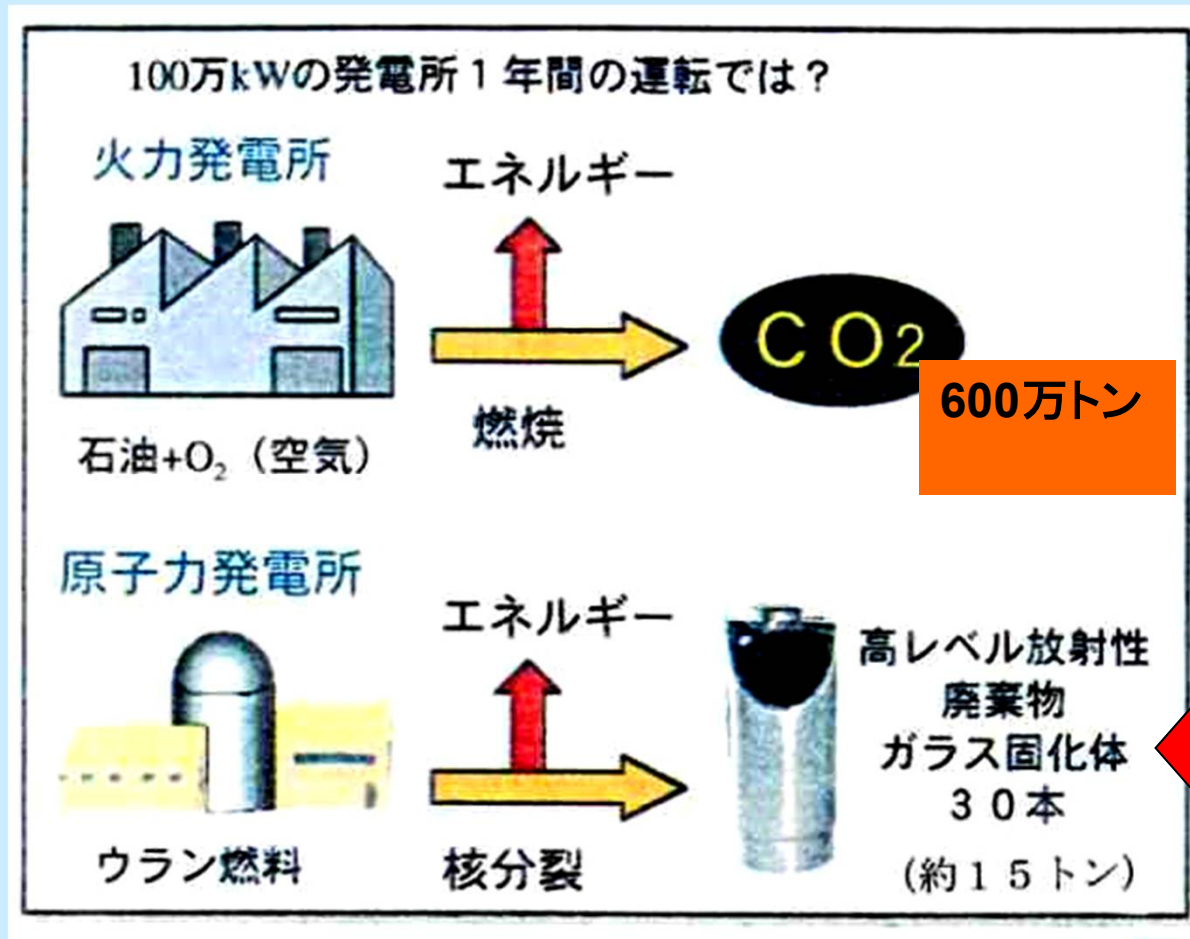
○火力発電に伴い必ず発生

○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

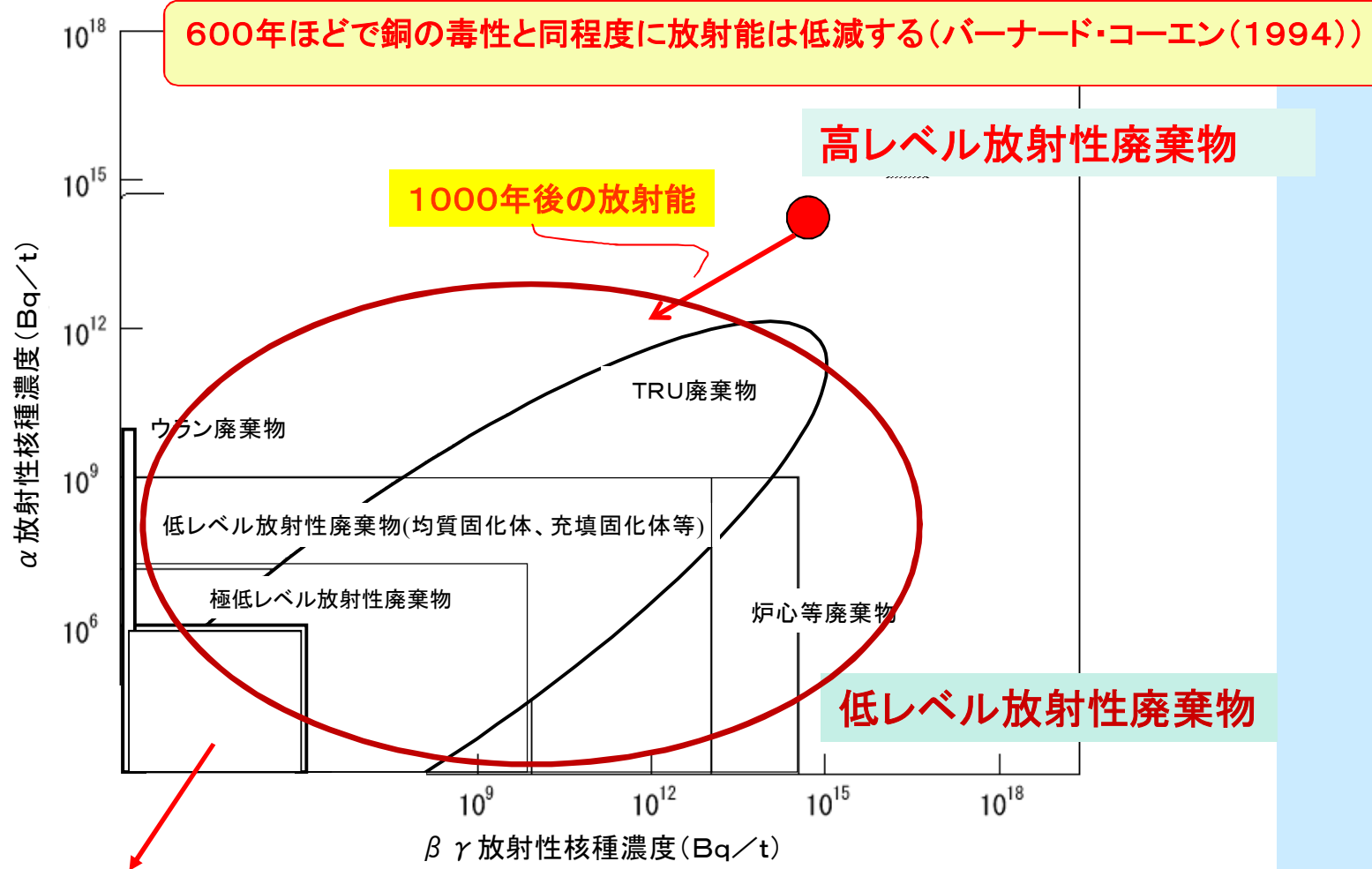


原子力発電所1基の運転  
で日本のCO<sub>2</sub>年間排出量  
の0.5%を低減

原子力発電のごみ

# WHICH? どんなもの?

## 放射性廃棄物の濃度区分



放射能として扱う必要がないもの  
(クリアランスレベル以下の廃棄物)

# 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、保守などにもなって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

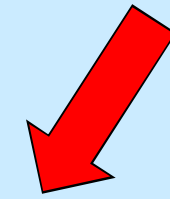
総合資源エネルギー調査会ベストミックス小委員会 (2015年4月) のデータに基づいて筆者が算定



# WHICH? どんなもの?

○固体(セラミックス) -ステンレス鋼の容器にガラスとして封じ込め

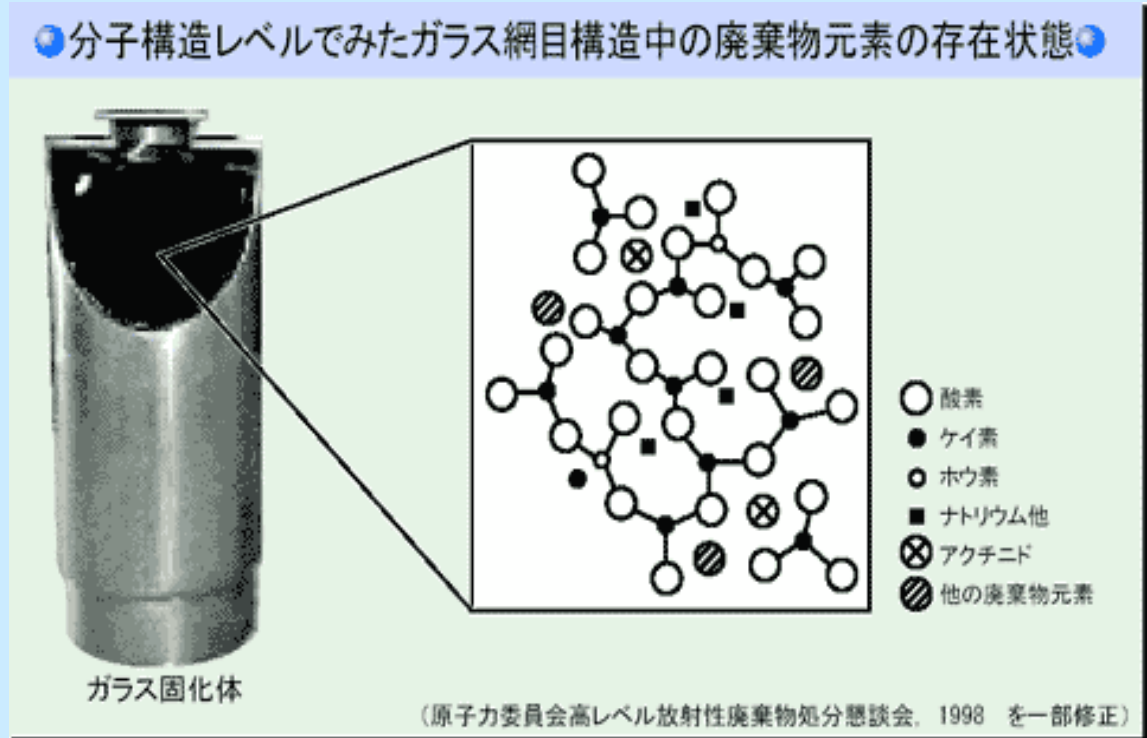
ガラス



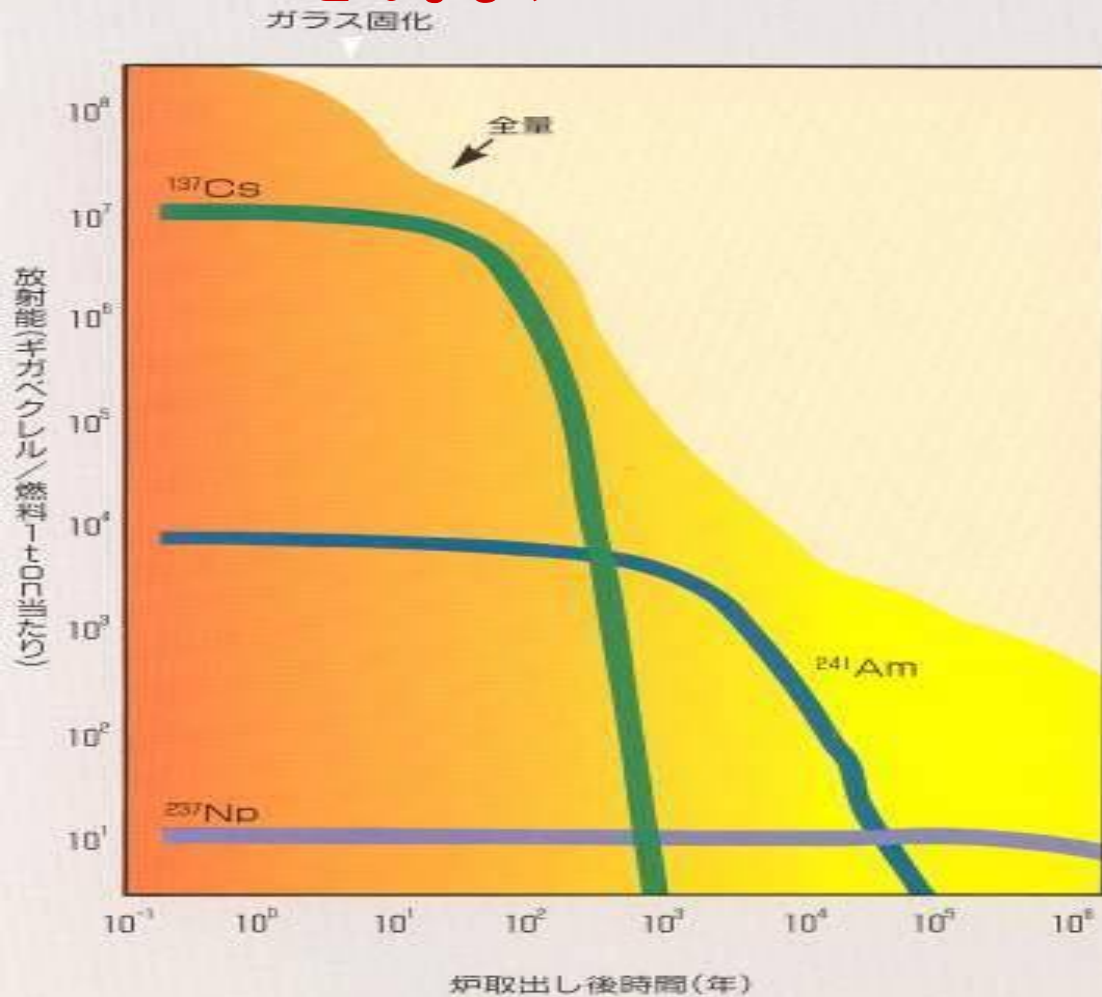
- ①優れた物質(放射性物質)に対する閉じ込め性
- ②物理的・化学的に安定性
- ③地下水への耐浸出性



富士山の  
火山ガラス

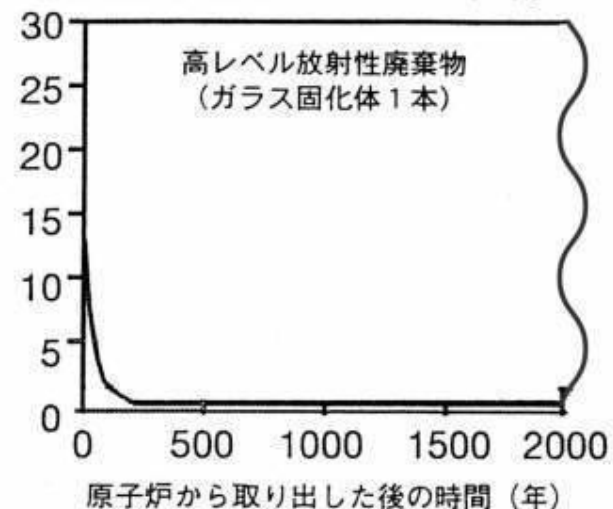


# WHICH? どんなもの?

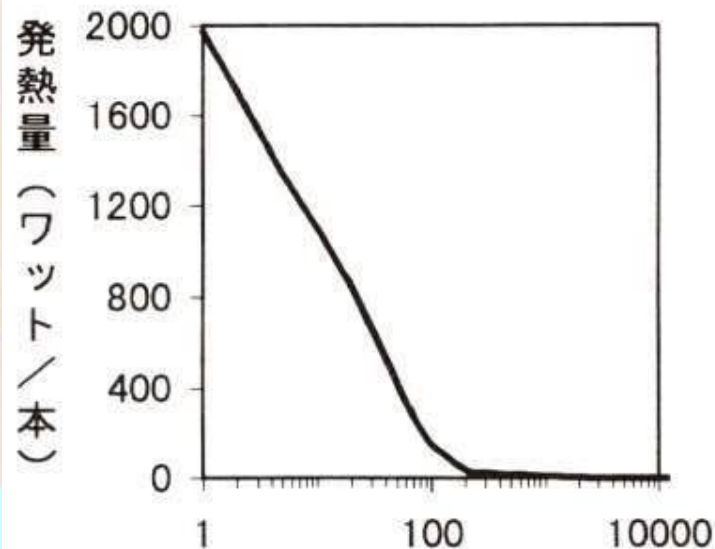


- 寿命の短い放射性物質がもたらす放射能は当初非常に高いが、数百年間で急激に減少
- 寿命の長い放射性物質がもたらす放射能は長い時間をかけて徐々に減少

放射能 [×百万ギガ・ベクレル/本]



(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？



泊原子力発電所(北海道電力HP)

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)



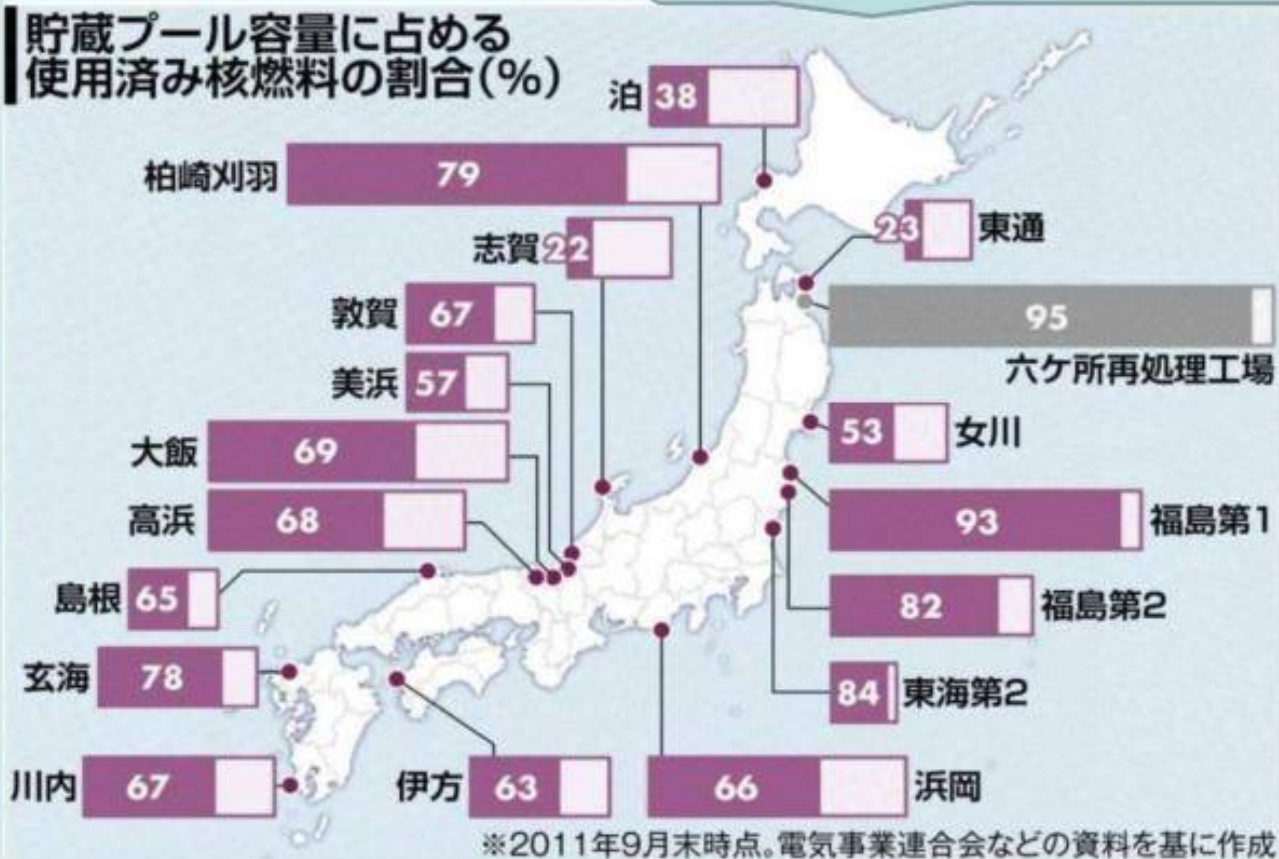
使用済み燃料保管(中国電力HP)

参考

### 使用済み燃料の貯蔵

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(%)

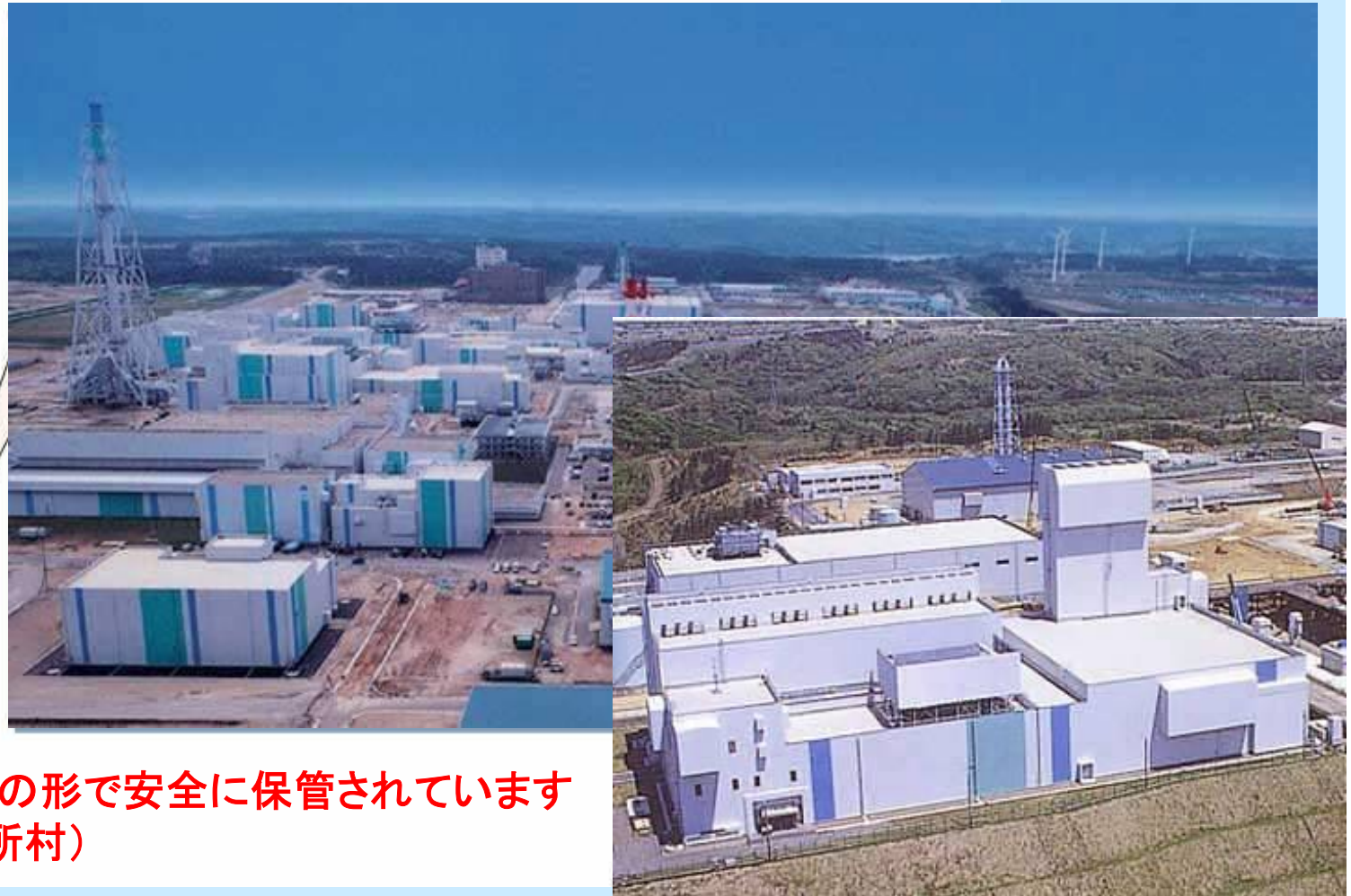


1801対話イン福島高専2017@坪谷

北海道新聞(2012. 4. 20朝刊)

24

# WHERE, NOW ? いまどこに？



ガラス固化体の形で安全に保管されています  
(青森県六ヶ所村)

# WHERE, NOW ? いまどこに？

## 高レベル放射性廃棄物とは



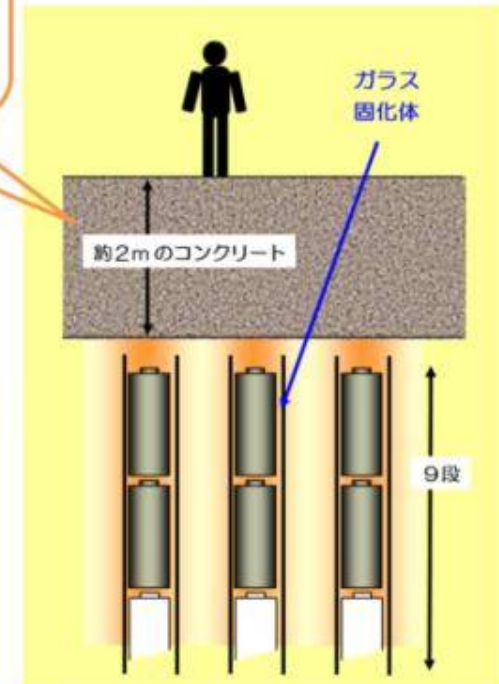
安全に処分できる発熱量に下がるまで、高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター等に保管しています。

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。



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」）

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。



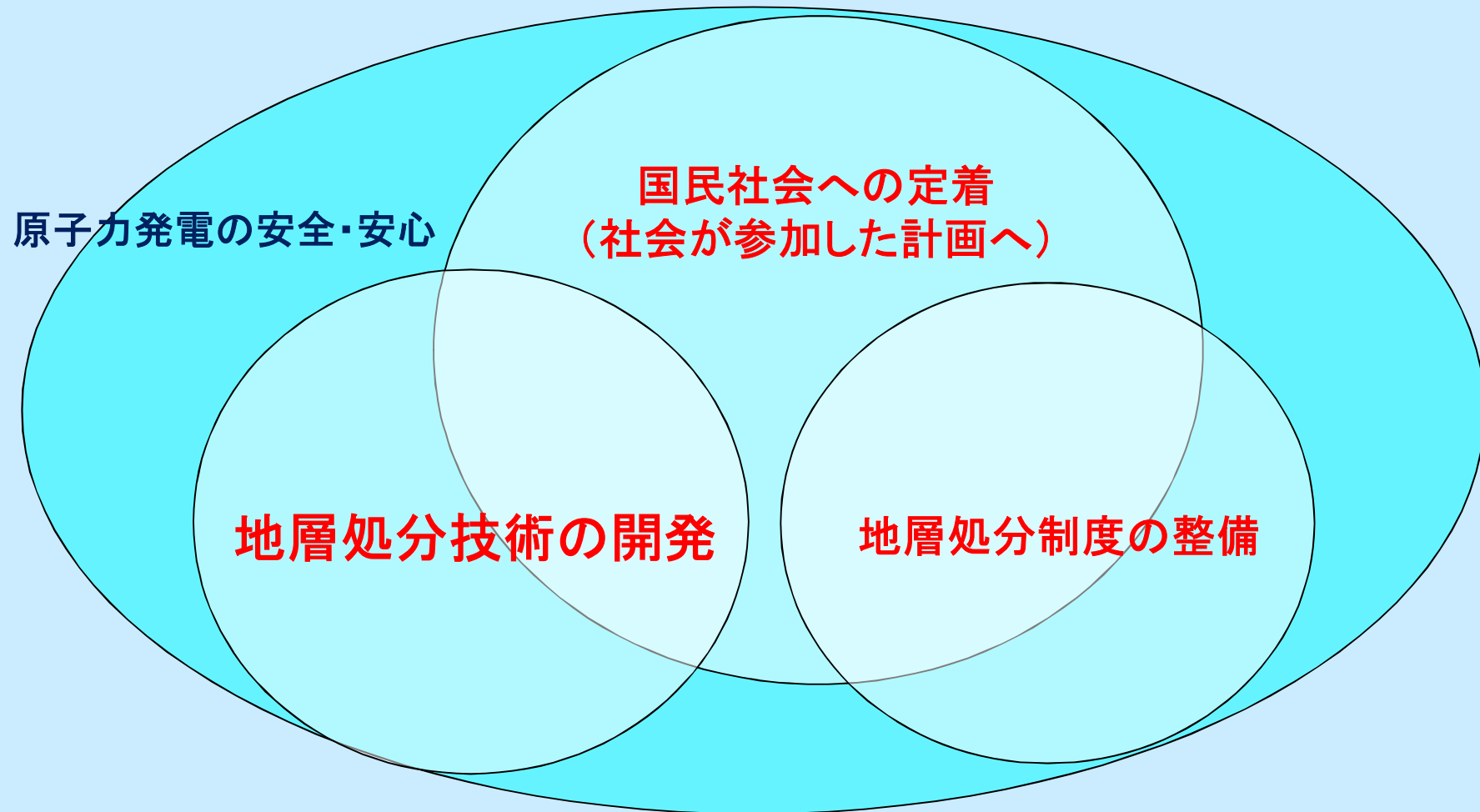
※構造を簡略化した図です。

（2016年9月現在）

地層処分意見交換会(2016, NUMO)

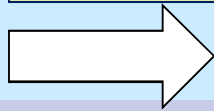
## HOW? どうするの?

高レベル放射性廃棄物の地層処分 : 社会への定着に向けて

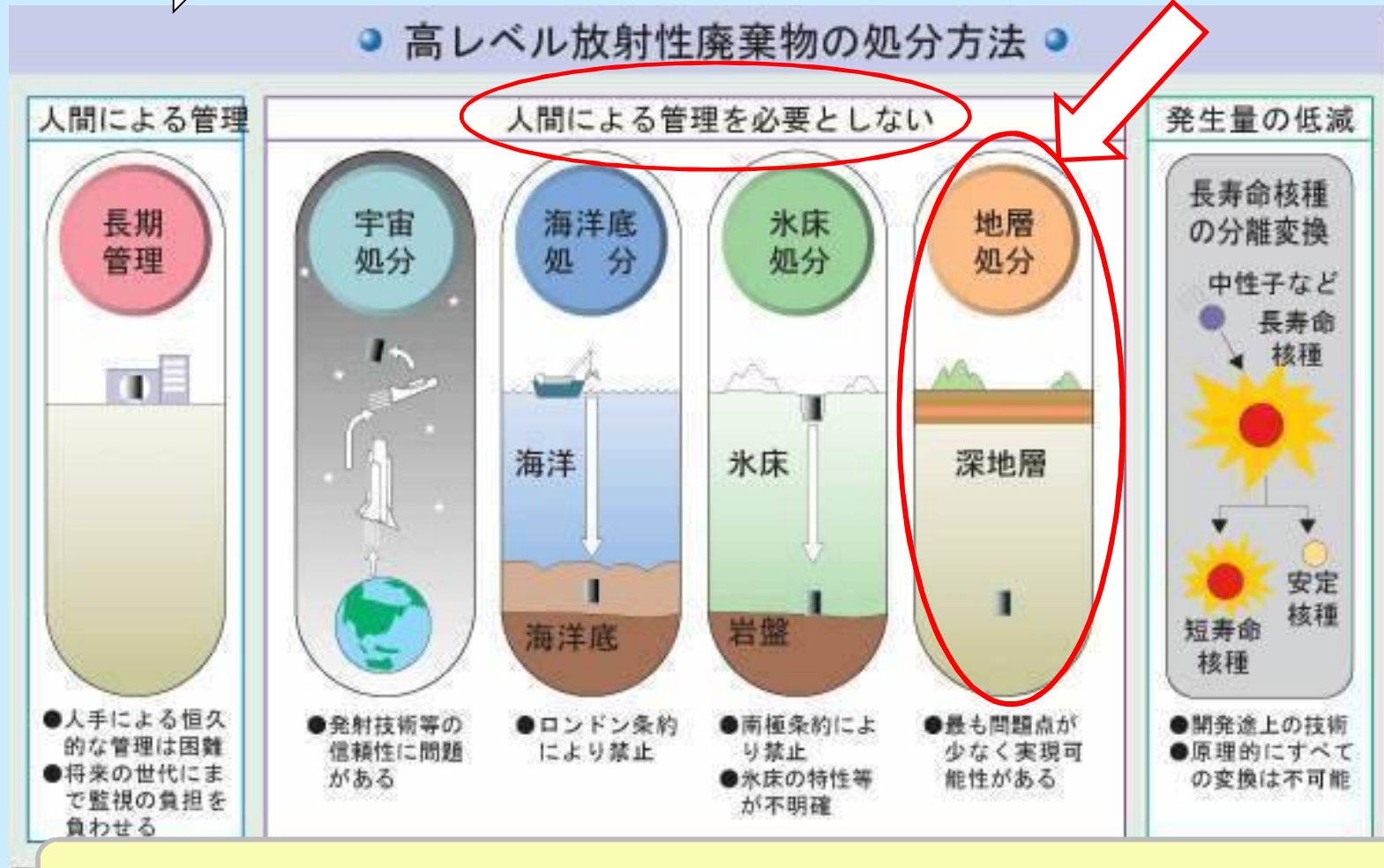


# HOW? どうするの?(その1)

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

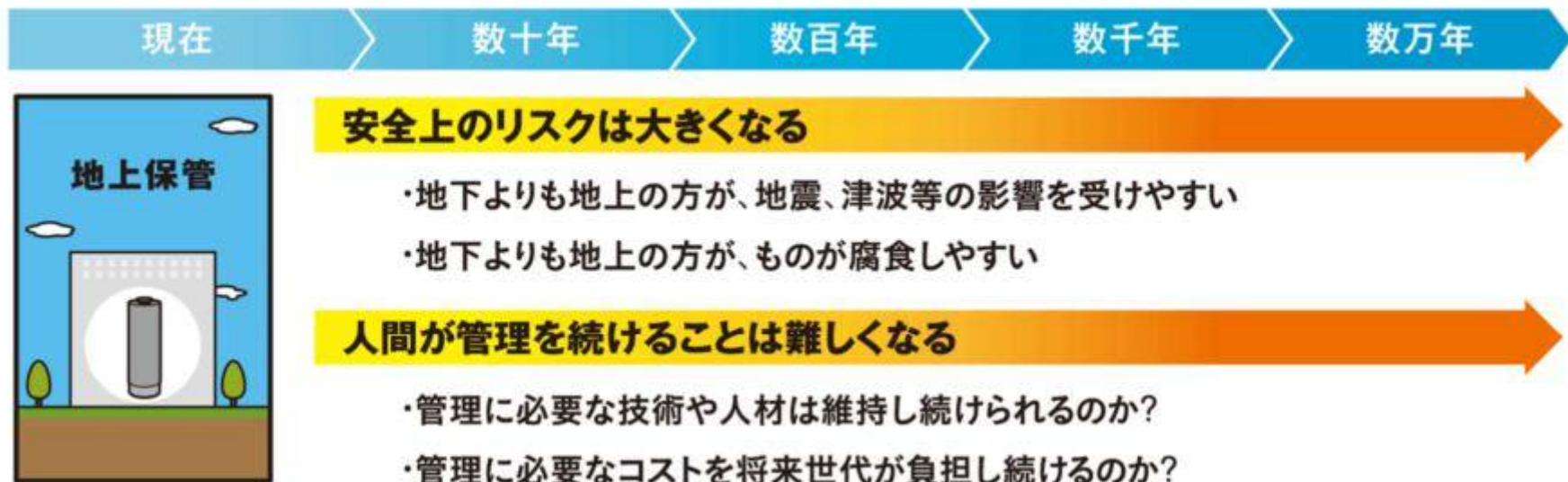


## HOW? どうするの?(その1)

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



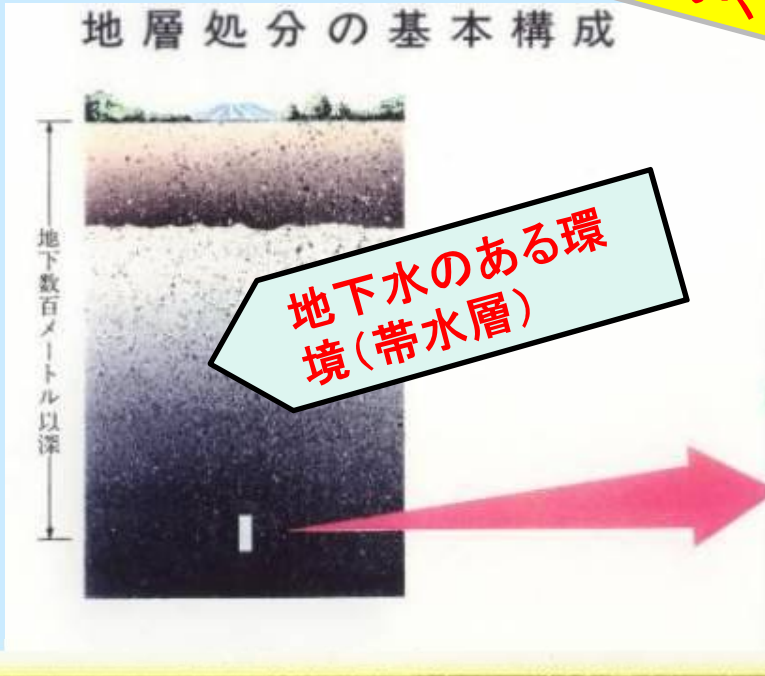
安定な地下深部を利用 地層処分方式の選択



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(徹底した地下水対策)

**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

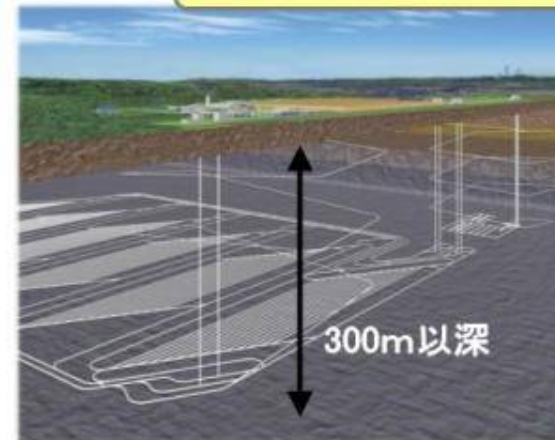
## 地層処分場の規模

- スケールメリットを考慮し、ガラス固化体を4万本以上埋設できる施設を1ヶ所建設することを計画しています。
- 処分施設の規模は、地上施設が1~2km<sup>2</sup>程度、地下施設が6~10km<sup>2</sup>程度、坑道の総延長は200km程度と見込んでいます。
- 国際条約で放射性廃棄物は発生した国内で処分することを前提とされています。日本もこの条約を批准しており、国内で処分する方針としています。

地上施設: 1~2 km<sup>2</sup>程度

【高レベル放射性廃棄物処分施設(イメージ)】

地下施設: 6~10 km<sup>2</sup>程度



最終処分事業費: 約3.7兆円

※費用は原子力発電を行う電力会社が拠出。

※高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)、地層処分を行う低レベル放射性廃棄物(TRU廃棄物)を含みます。

11

## 最終処分技術の選択肢として地層処分技術を再確認(2014年)

最終処分問題は、「地層処分技術はどのようにすれば社会に定着するか？」に

### 最新の科学的知見に基づく 地層処分技術の再評価

—地質環境特性および地質環境の長期安定性について—

平成26年5月

総合資源エネルギー調査会  
電力・ガス事業分科会 原子力小委員会

地層処分技術WG

2018.6 北海道教育大@坪谷

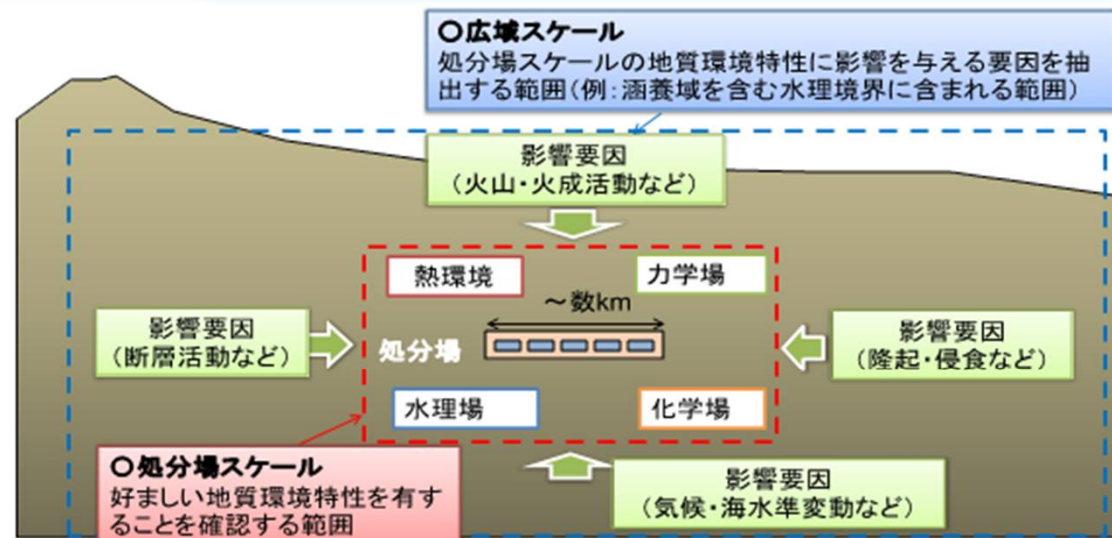
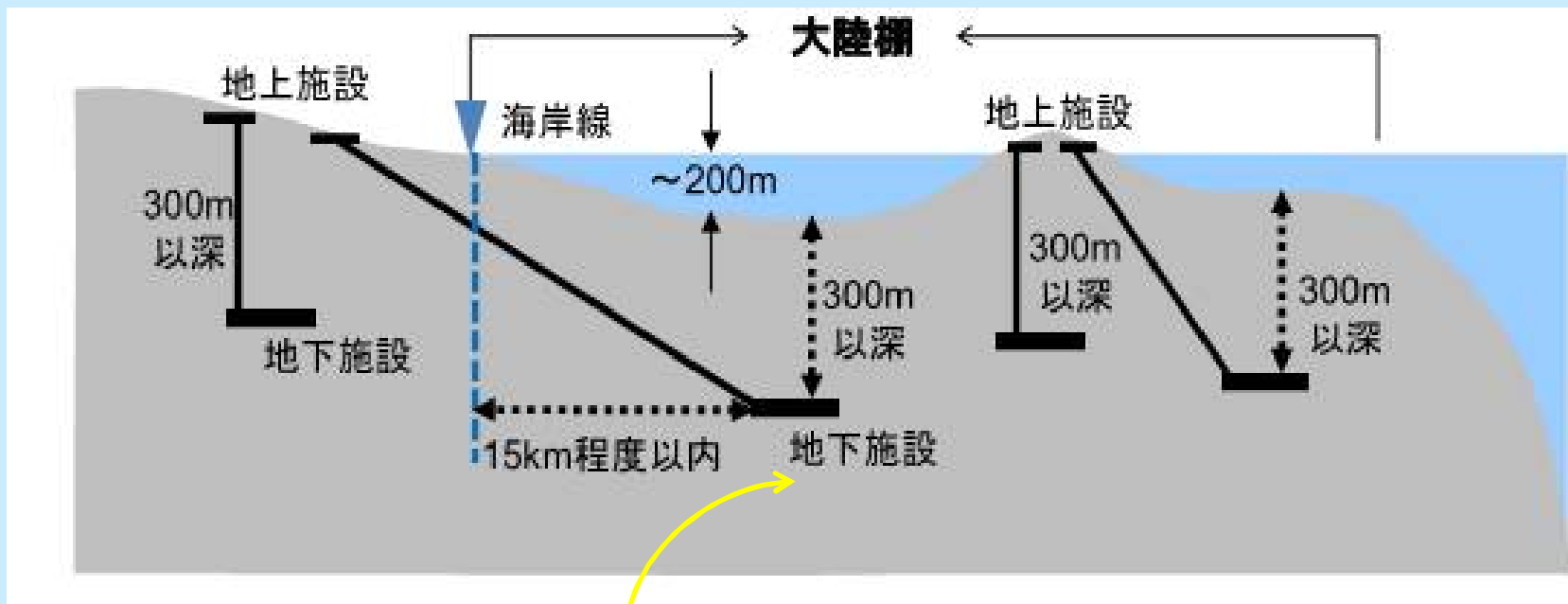


図 2.2.1 空間スケールの概念図

## 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**

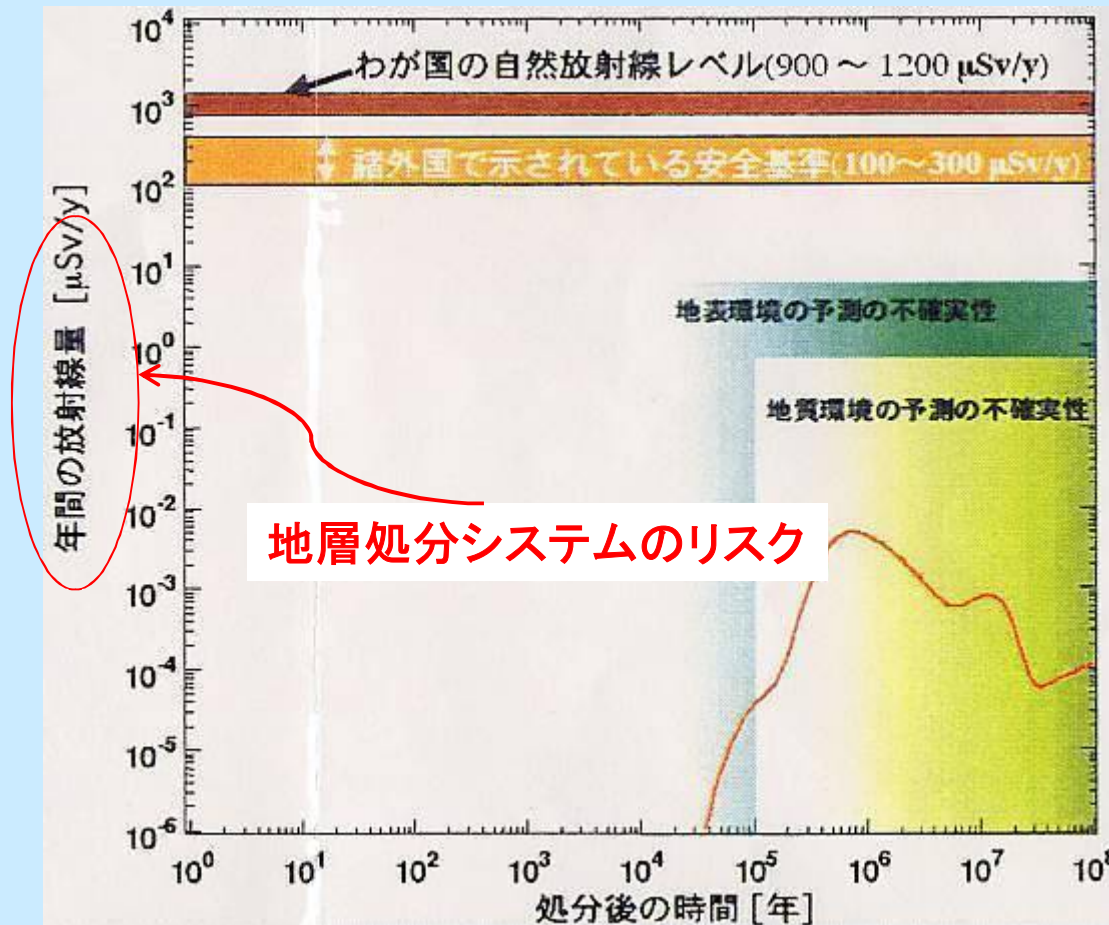
# HOW? どうするの?

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

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

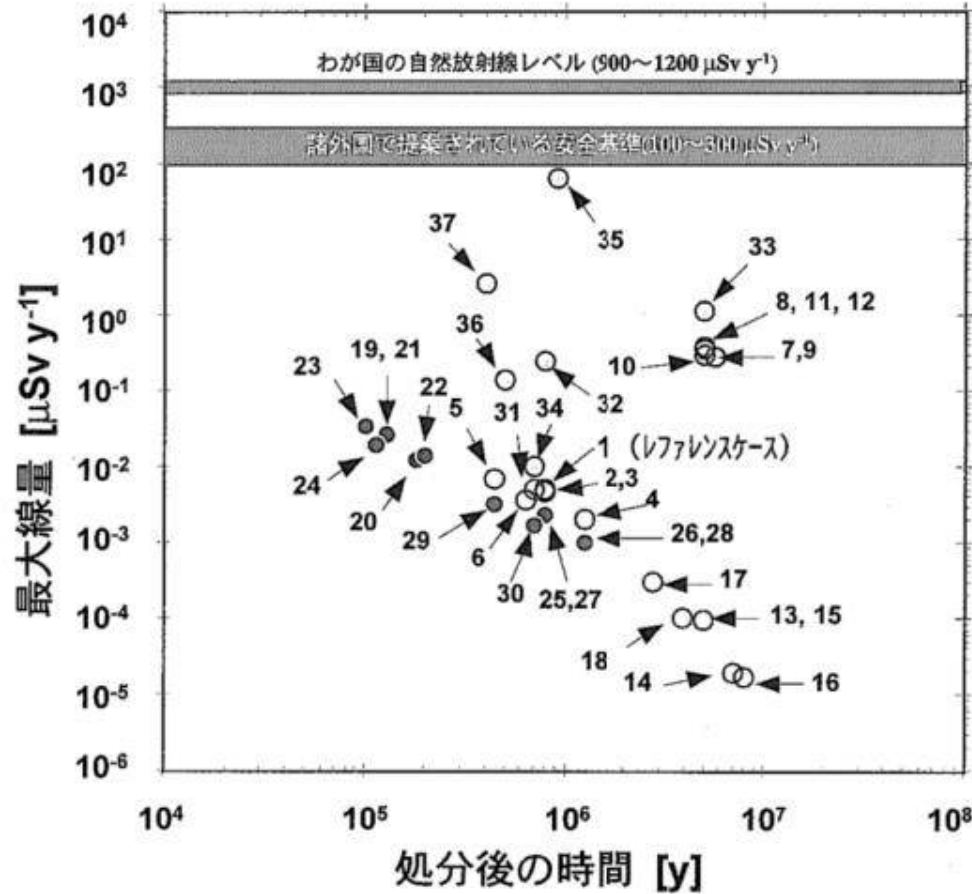


地上に生活する人間の受ける放射線量は将来においても、

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

# 不確実性



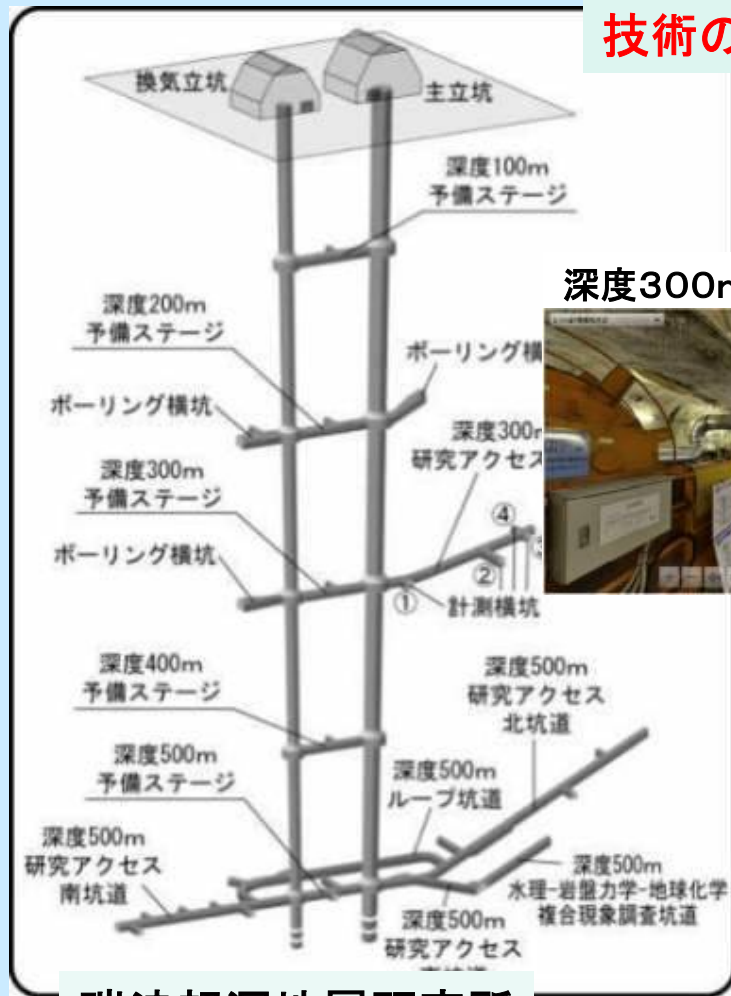
解析ケースの分類	ケースNo.	レファレンスケースとの相違		
		地下水	動水勾配	岩種
レファレンスケース	1			結晶質岩 (酸性)
	2			結晶質岩 (塩基性)
	3		0.01	先新第三紀砂質岩
	4			先新第三紀泥質・凝灰質岩
	5			新第三紀砂質岩
	6			新第三紀泥質岩・凝灰質岩
	7			結晶質岩 (酸性)
	8			結晶質岩 (塩基性)
	9	降水系	0.1	先新第三紀砂質岩
	10	地下水		先新第三紀泥質・凝灰質岩
	11			新第三紀砂質岩
	12			新第三紀泥質岩・凝灰質岩
	13			結晶質岩 (酸性)
	14			結晶質岩 (塩基性)
システムの多様性	15		0.001	先新第三紀砂質岩
	16			先新第三紀泥質・凝灰質岩
	17			新第三紀砂質岩
	18			新第三紀泥質岩・凝灰質岩
	19			結晶質岩 (酸性)
	20			結晶質岩 (塩基性)
	21		0.01	先新第三紀砂質岩
	22			先新第三紀泥質・凝灰質岩
	23			新第三紀砂質岩
	24	海水系		新第三紀泥質岩・凝灰質岩
	25	地下水		結晶質岩 (酸性)
	26			結晶質岩 (塩基性)
	27		0.001	先新第三紀砂質岩
	28			先新第三紀泥質・凝灰質岩
	29			新第三紀砂質岩
	30			新第三紀泥質岩・凝灰質岩
	31	緩衝材厚さの変更 (0.4 m) を考慮		河川水
	32	GBIを深井戸に変更		深井戸
データの不確実性	33	ガラス溶解速度、岩盤中分配係数、透水係数の不確実性を同時に考慮		
モデルの不確実性	34	コロイドによる核種移行を考慮		
シナリオの不確実性	35	隆起・侵食 (隆起侵食速度 = 1.0 mm $\text{y}^{-1}$ )		
	36	埋め戻し・プラグの施工不具合		
天然バリア機能を考慮しないケース	37	人工バリアから核種が直接生物圏に移行すると仮定		

図 5.7-2 システム性能解析結果における最大線量とその時間  
(ガラス固化体 4 万本あたり：GBI は河川水)

# HOW? どうするの?

## 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



深度300m研究状況



### 瑞浪超深地層研究所

(2015. 1現在)  
(岐阜県瑞浪市)

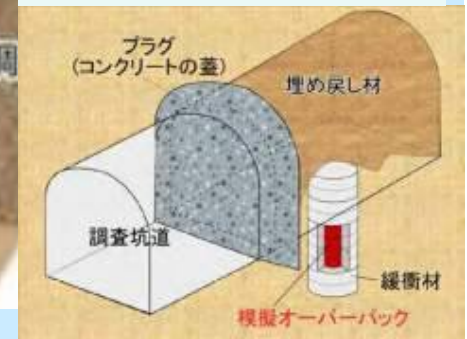
### 結晶質岩系研究

### 幌延深地層研究センター(2015. 1現在) (北海道幌延町)



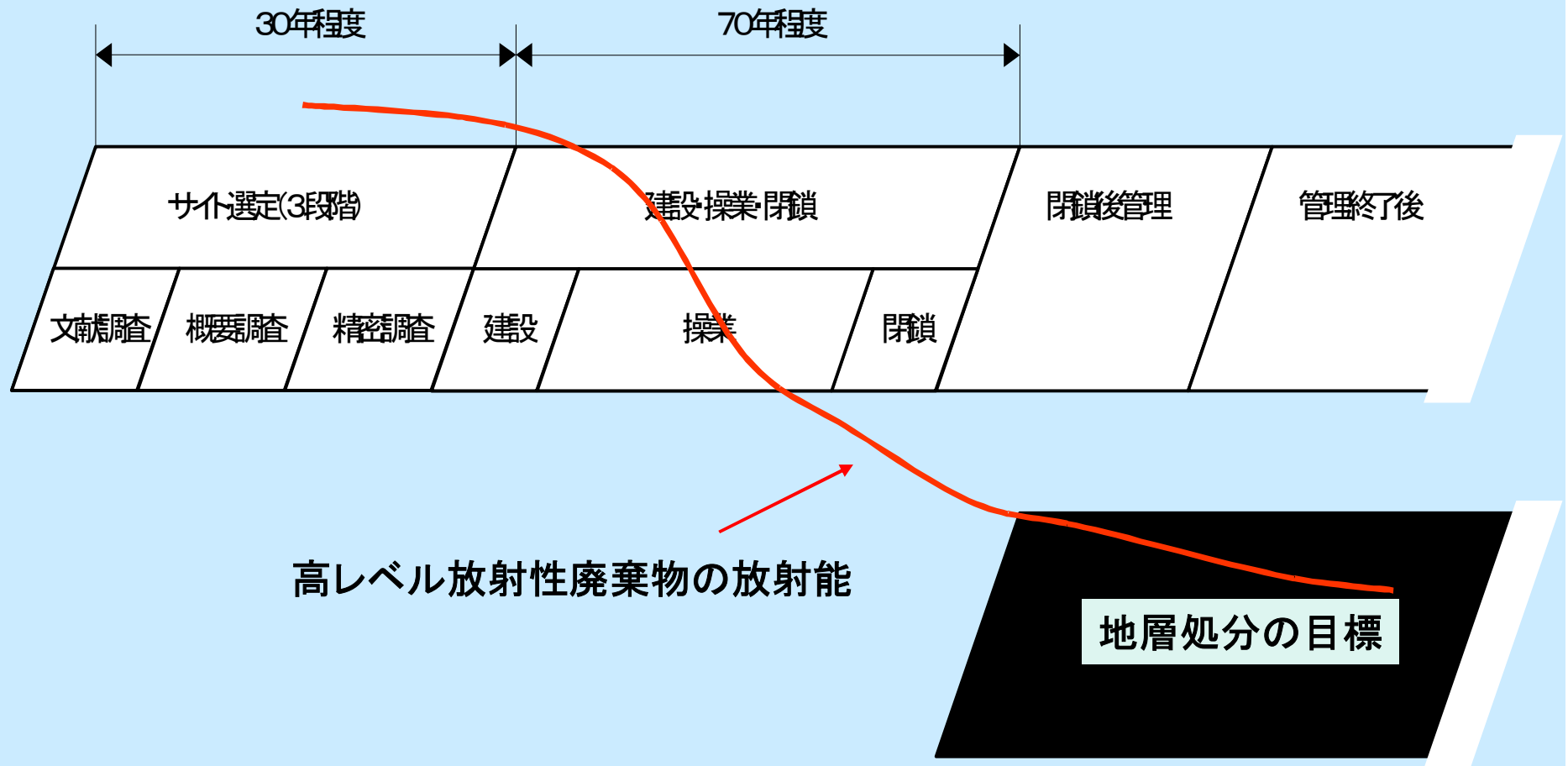
### 堆積岩系研究

### 深度350m研究状況





目標: 高レベル放射性廃棄物は長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する



## HOW? どうするの?

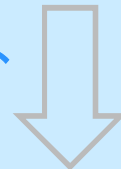
### 高レベル放射性廃棄物の地層処分 : 社会への定着に向けて

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



最新の科学と技術を使って管理  
(地層処分)

しかし、



処分に当たっては人々に信頼される仕組み(制度)が必要



NHK連続ドラマ マッサン

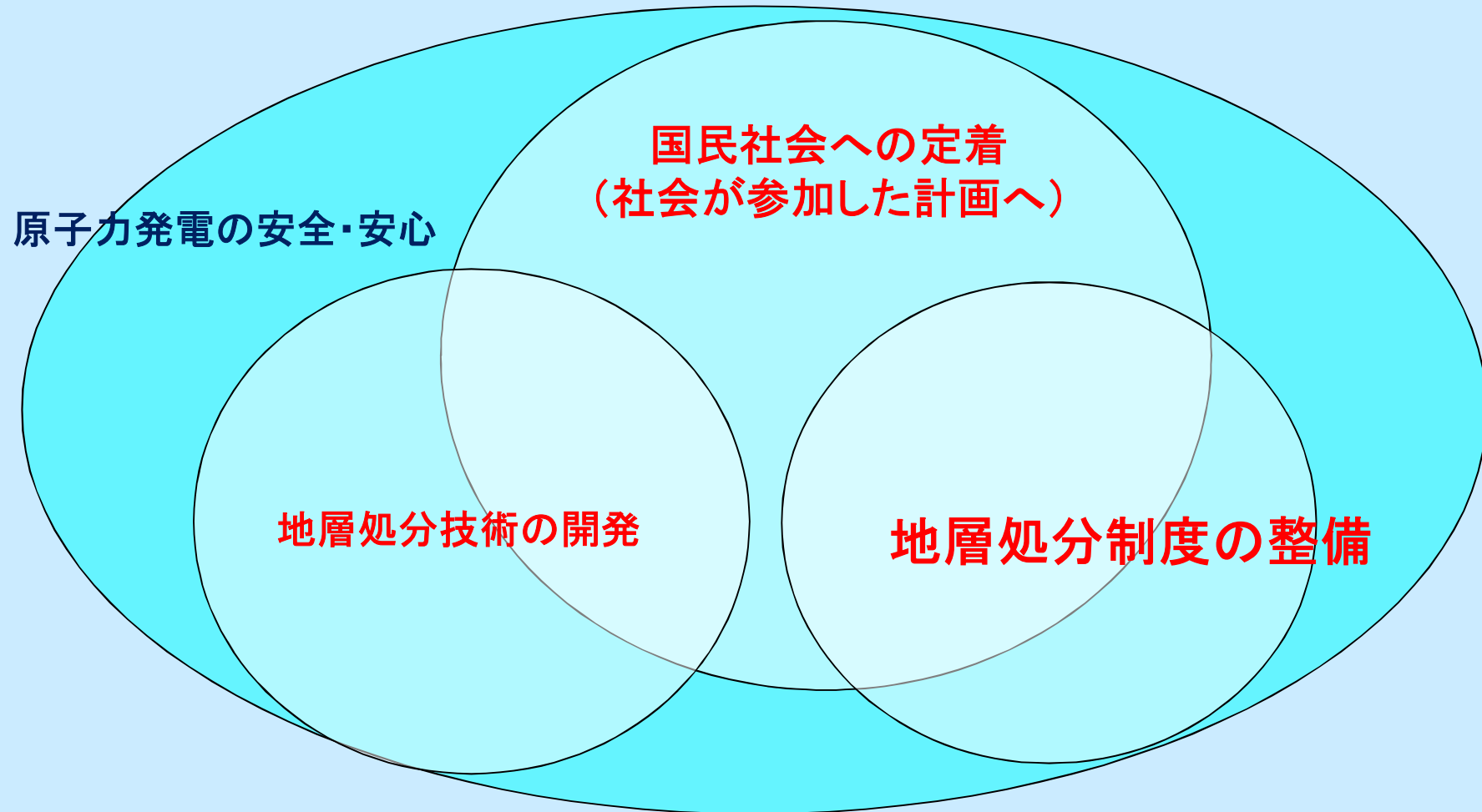
ウイスキーづくりの工場立地に山崎(京都府)が向いていることを技術者と経営者が一致  
—技術者は自然環境(水と霧)の面で  
—経営者(出資者)はロジステックス(製品の輸送)と売り上げ(市場の認知)の面で

優れた技術であることは大事だが、  
マーケット(国民)が評価(社会が認知)しなければ  
技術は消え去る

## 第2部

### HOW? どうするの?(その2)

高レベル放射性廃棄物の地層処分 : 社会への定着に向けて



# HOW? どうするの?

## 地層処分に向けた基本制度の整備 制度制定に関するこれまでの経緯

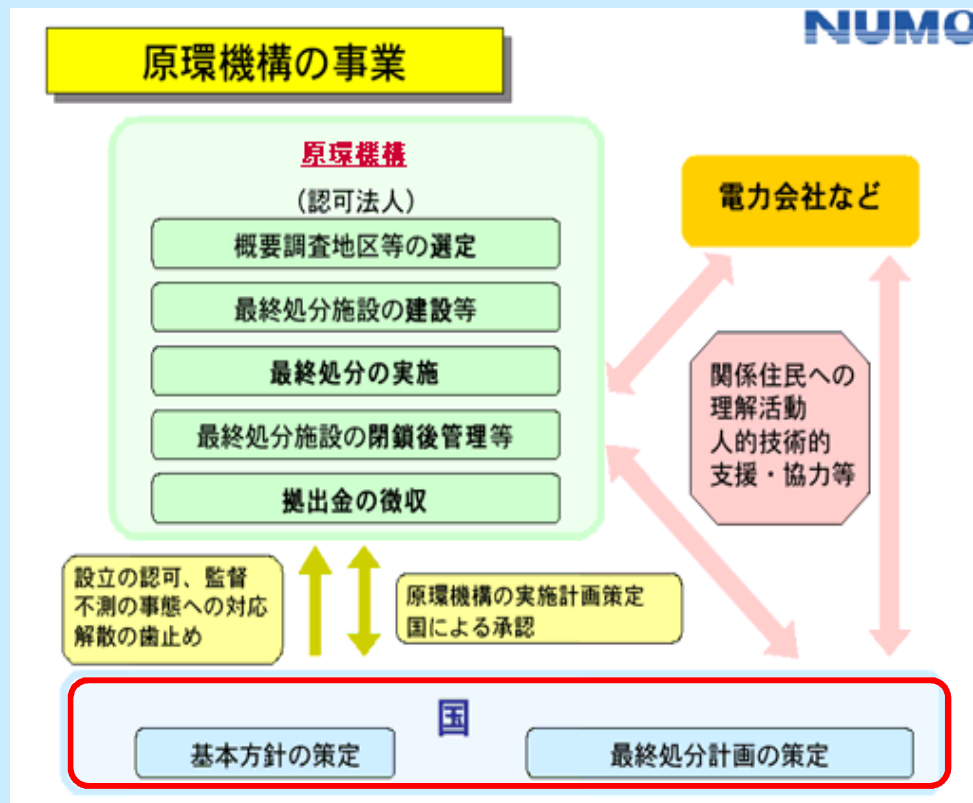
- 1976年 4月 動燃事業団、地層処分研究を開始
- 1998年 5月 原子力委員会処分懇談会（座長近藤次郎氏）
- 1999年11月 核燃料サイクル開発機構、原子力委員会に「我が国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性—地層処分研究開発第2次取りまとめ—」報告
- 2000年 5月 「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」（最終処分法）成立
- 2000年10月 原子力発電環境整備機構（NUMO）を実施主体として設立
- 2000年11月 原子力環境整備促進・資金管理センターを資金管理主体に指定
- 2000年12月 原子力安全委員会「高レベル放射性廃棄物の処分に係る安全規制の基本的考え方」取りまとめ
- 2001年10月 原子力発電環境整備機構「特定放射性廃棄物処分の概要調査地区等の選定手順の基本的考え方」公表
- 2002年 9月 原子力安全委員会「高レベル放射性廃棄物処分の概要調査地区選定段階において考慮すべき環境要件について」取りまとめ
- 2002年12月 原子力発電環境整備機構、全国市町村で公募開始
- 2007年 1月 高知県東洋町が応募（4月に取下げ）
- 2011年 3月 東日本大震災、福島第1原子力発電所事故
- 2012年 5月 総合資源エネルギー調査会放射性廃棄物WG（委員長増田寛也氏）で最終処分政策見直し着手
- 2013年12月 最終処分関係閣僚会議発足
- 2014年 5月 放射性廃棄物WGが処分地選定プロセス、処分推進体制などの改善策について中間とりまとめ
- 2015年 5月 最終処分基本方針閣議決定
- 2017年 7月 資源エネルギー庁が「科学的特性マップ」を全国地図の形で提示・公表

# 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



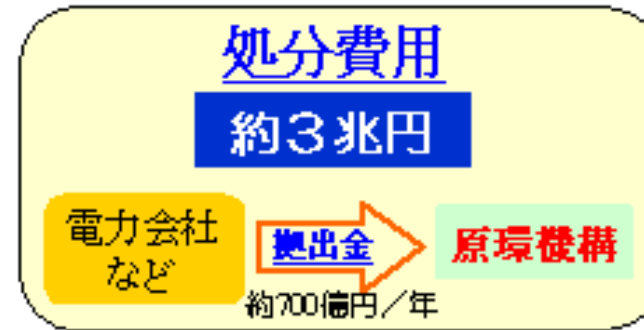
「廃棄物を発生させてきた世代の責任として将来世代に負担を先送りさせない」  
(最終処分基本方針(改訂:2015年5月))ことを再確認

# HOW? どうするの?

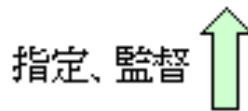
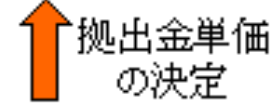
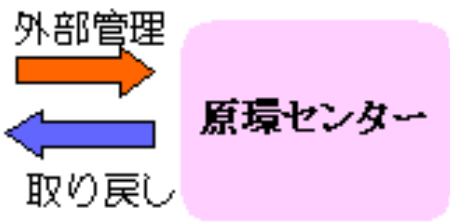
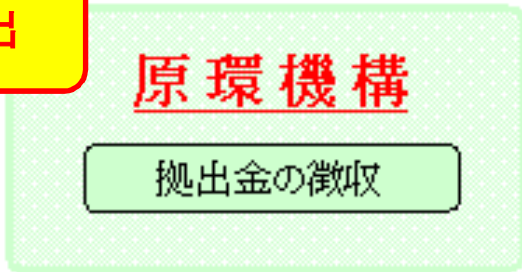
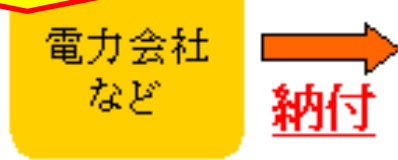
最終処分法：安定した事業の実施(最終処分費用の積み立て)



## 処分費用の確保



## 原子力発電量に応じて拠出

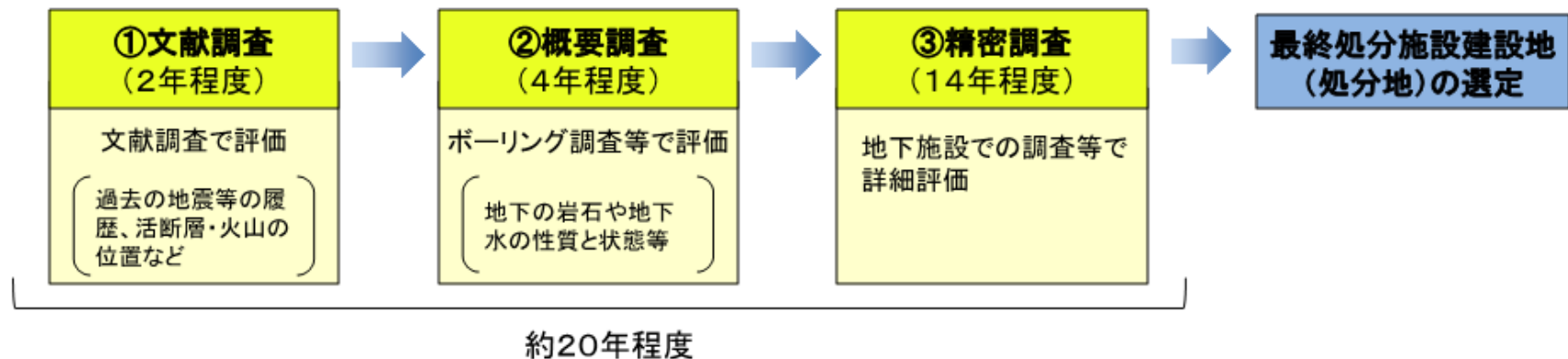


原環センター：(財)原子力環境整備促進・資金管理センター

## HOW? どうするの?

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

### ◆最終処分法で定められた処分地選定プロセス



※各調査段階において、地元自治体の意見を聴き、これを十分に尊重する(反対の場合には次の段階へ進まない)。

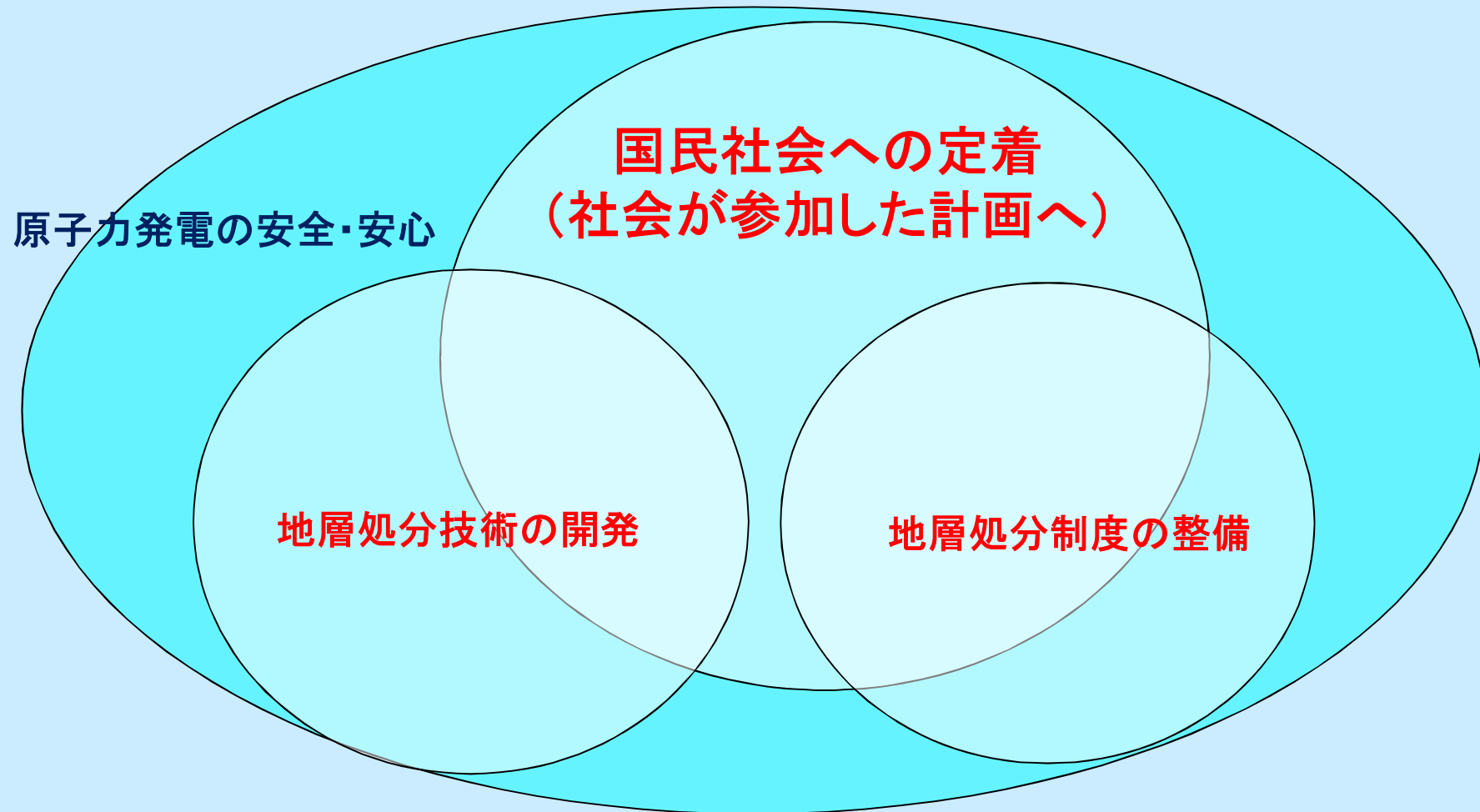
地層処分全国シンポジウム(資源エネルギー庁(2017))

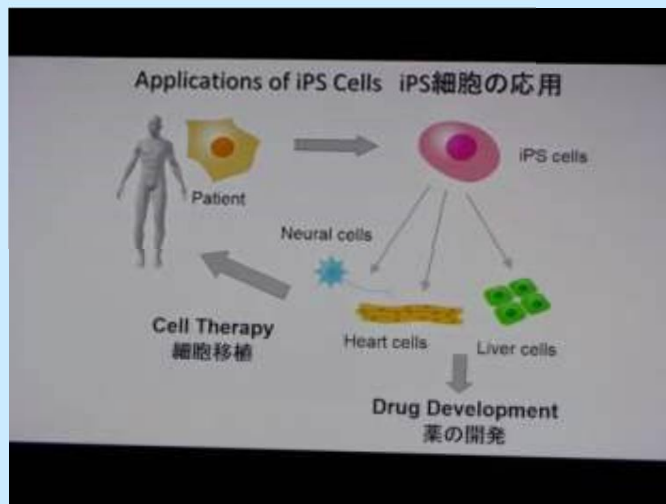


## 第2部

### HOW? どうするの?(その2)

高レベル放射性廃棄物の地層処分 : 社会への定着に向けて





## iPS細胞研究はトランス・サイエンス



### 山中伸弥教授が語るiPS細胞研究の今(NHK, 2016年1月3日)

iPS細胞利用にあたっての壁はなにか、との問いに

「科学者としては利用することはよいことだと思います。しかし、iPS細胞を移植されるのは気持ちが悪いと思う人も多いのではないかと。多様な考えがあるので、実際の治療に使うかどうかは社会が決めること。」

最終処分基本方針(2015年)

参加政策への舵切り

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

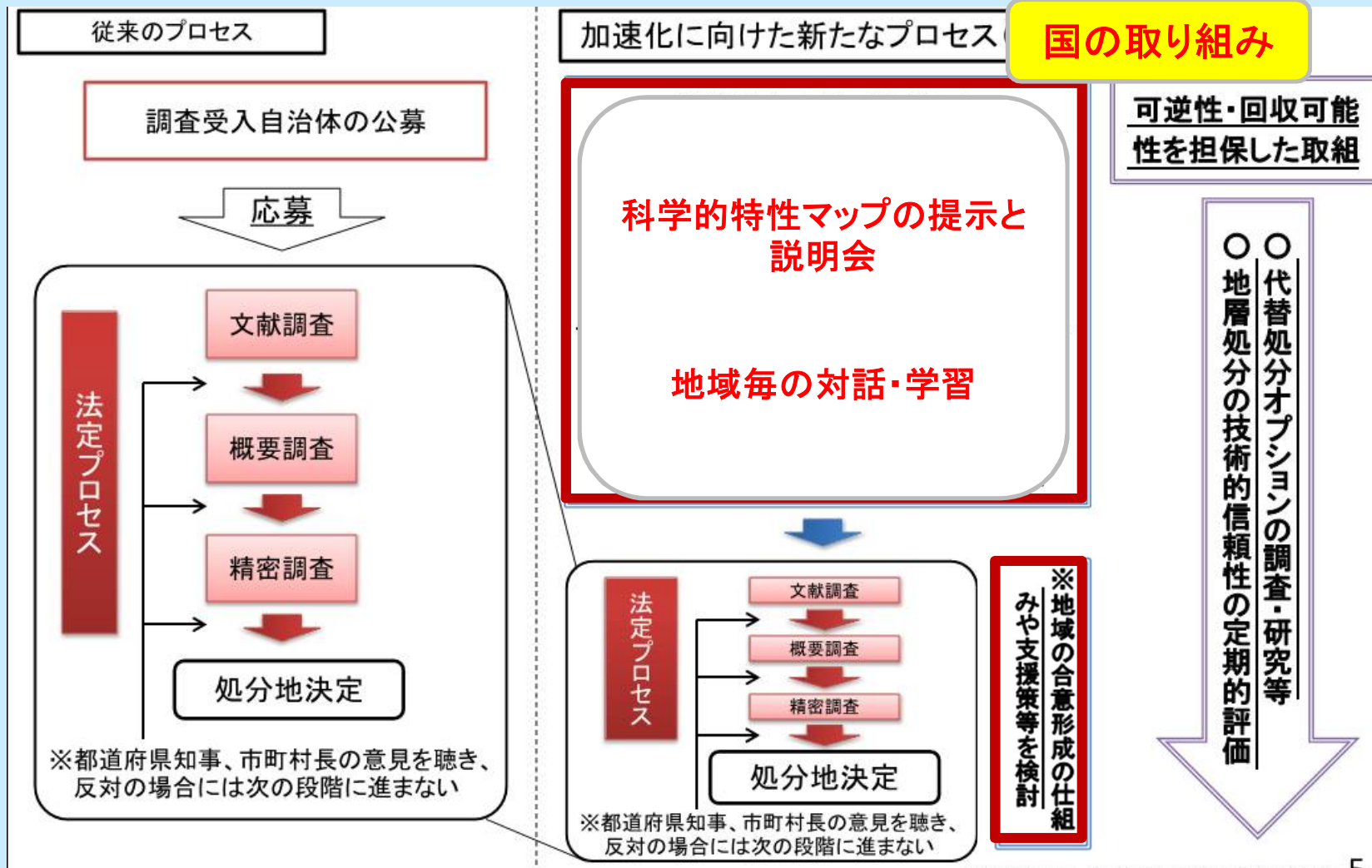
最終処分基本方針(2015年5月)をもとに編集



# HOW? どうするの?

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

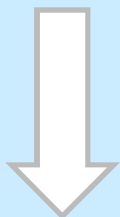
最終処分基本方針(改訂:2015年5月)に基づく処分地選定プロセス



※下線印は、新規または強化する取組案 5

# HOW? どうするの?

地層処分に適さない地下深部の科学的特性  
を国民が情報共有するため、



科学的特性マップ  
(既存の全国データを整理し  
地図(マップ)で提示)

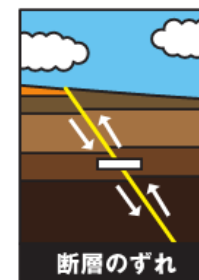
## ✕ 火山に近い

将来にわたって火山の活動が処分場を破壊したりすることのない場所を選びます。



## ✕ 活断層に近い

大きな断層のずれが処分場を破壊することのない場所を選びます。



## ✕ その他、地下の科学的特性が地層処分に適さないところ

地盤の隆起の速度が大き過ぎないか、地下の温度が高過ぎないか、地盤の強度が不十分でないか、といったことも考慮します。

## 将来の人間が気づかずに近づいてしまわないか?

## ✕ 地下に鉱物資源がある

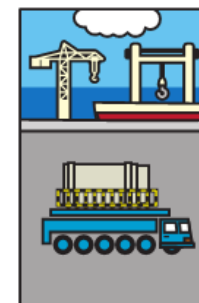
地下に鉱物資源があると、施設管理終了後の遠い将来に、人間が掘削してしまうかもしれません。



## 輸送時の安全性が確保されるか?

## ○ 陸上輸送距離が短い(海岸から近い)

陸上輸送にかかる時間や距離は、短い方が安全上好ましいです。



## HOW? どうするの？

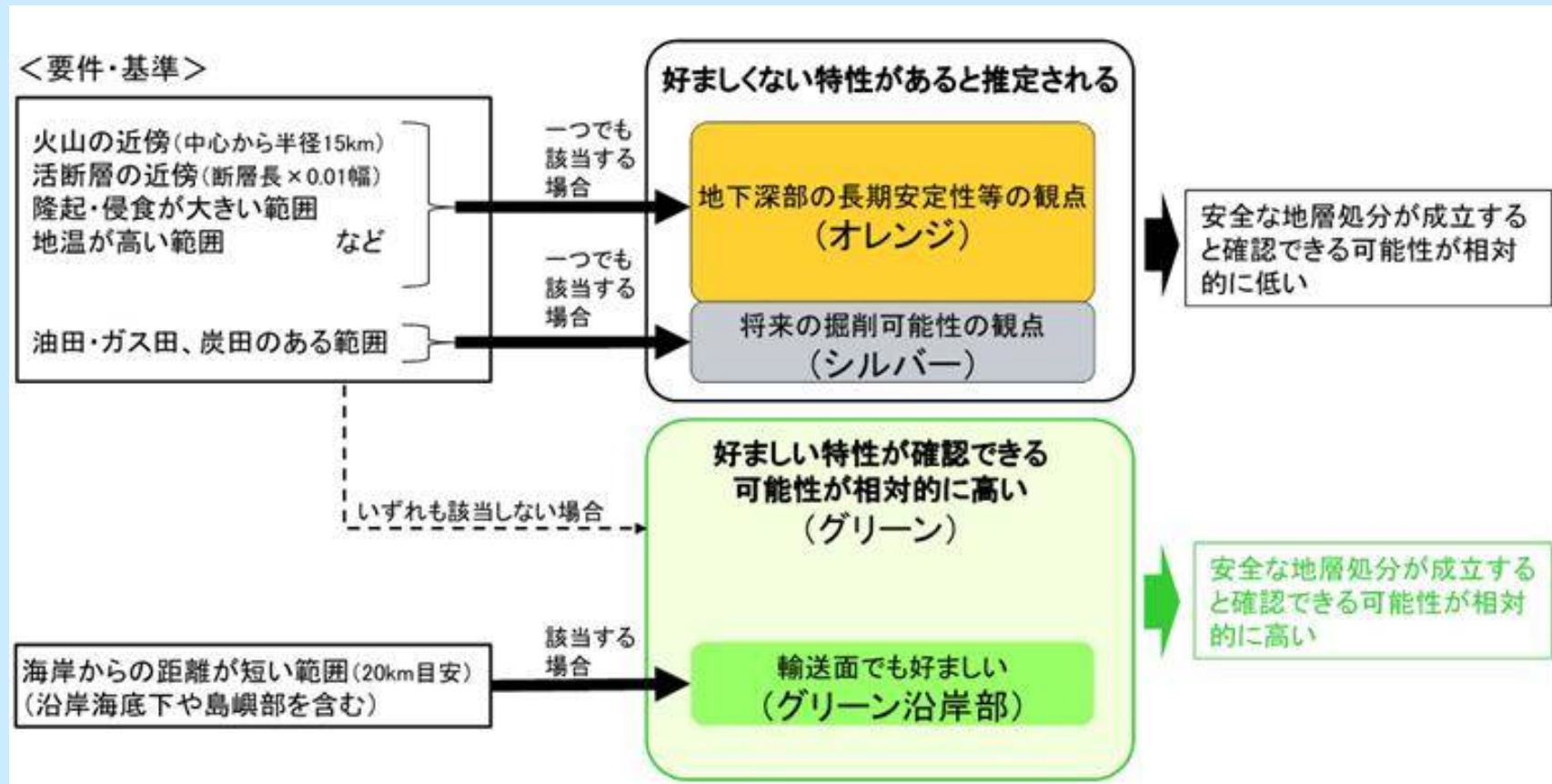
### 「科学的特性マップ」の位置づけ

- 1 最終処分法で規定する文献調査をはじめとする処分地選定に先立ち、地下の科学的な特性が地層処分に適さないところや輸送面で好ましい地域を全国地図(マップ)で示した「科学的特性マップ」を国が提示すること
- 2 提示した科学的特性マップを活用して多様な価値観を持つ人々が参加する対話活動を通じて国民や地域社会が最終処分について情報共有すること
- 3 対話を積み重ねる中で地域の発展を支援する総合的な施策を展開すること

# HOW? どうするの?

## 科学的特性マップ

既存の全国データに基づいて整理し、全国地図(マップ)の形で提示



# HOW? どうするの?

## 科学的特性マップ

### 好ましくない範囲の要件・基準

	要件	基準
火山・火成活動	火山の周囲(マグマが処分場を貫くことを防止)	火山の中心から半径15km以内等
断層活動	活断層の影響が大きいところ	主な活断層(断層長10km以上)の両側一定距離(断層長×0.01)以内
隆起・侵食	隆起と海水面の低下により将来大きな侵食量が想定されるところ	10万年間に300mを超える隆起の可能性がある、過去の隆起量が大きな沿岸部
地熱活動	地熱の大きいところ(人工バリアの機能低下を防止)	15°C/100mより大きな地温勾配
火山性熱水・深部流体	高い酸性の地下水等があるところ(人工バリアの機能低下を防止)	pH4.8未満等
軟弱な地盤	処分場の地層が軟弱なところ(建設・操業時の地下施設の崩落事故を防止)	約78万年前以降の地層が300m以深に分布
火砕流等の火山の影響	火砕流などが及びうる場所(建設・操業時の地上施設の破壊を防止)	約1万年前以降の火砕流が分布
鉱物資源	鉱物資源が分布するところ(資源の採掘に伴う人間侵入を防止)	石炭・石油・天然ガス・金属鉱物が賦存

### 好ましい範囲の要件・基準

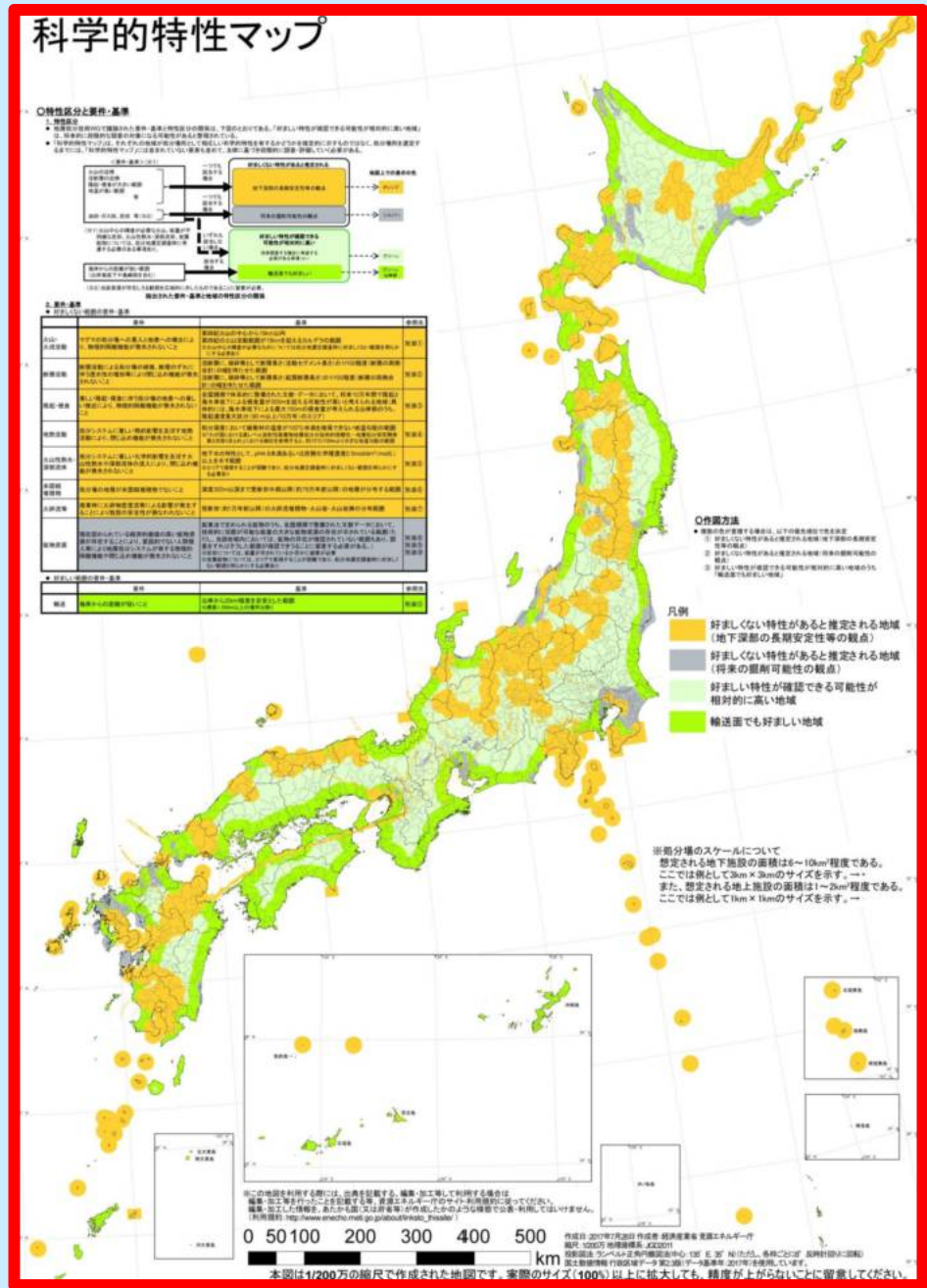
	要件	基準
輸送	海岸からの陸上輸送が容易な場所	海岸からの距離が20km以内目安



# HOW? どうするの?

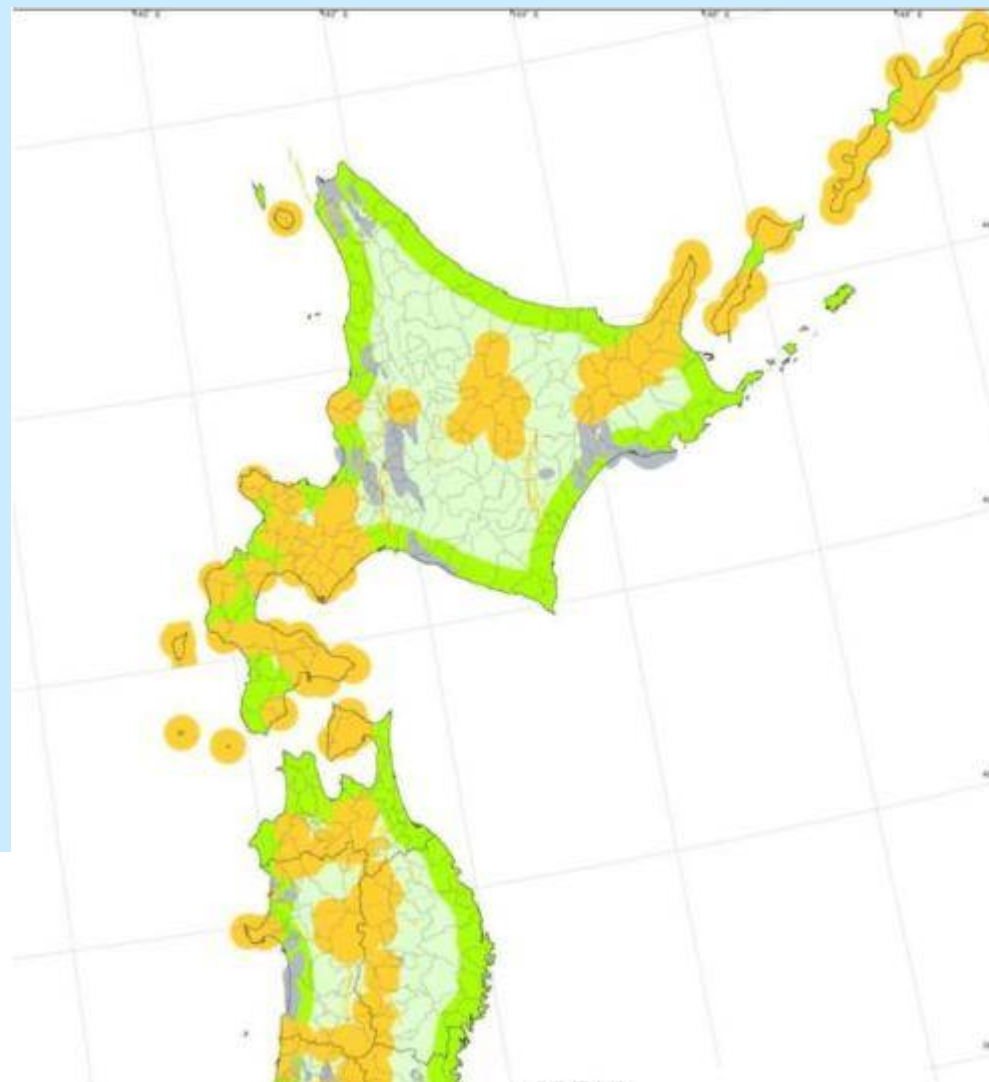
## 科学的特性マップ(例)

こちらから



# HOW? どうするの?

## 科学的特性マップ(例)



### 凡例

- 好ましくない特性があると推定される地域  
(地下深部の長期安定性等の観点)
- 好ましくない特性があると推定される地域  
(将来の振動可能性の観点)
- 好ましい特性が確認できる可能性が  
相対的に高い地域
- 輸送面でも好ましい地域

この地図は、科学的特性マップを地域ブロックごとに分割した地図(地域ブロック図)です。  
閲覧の便宜上作成したものであり、科学的特性マップ全体を網羅するものではありません。  
マップの全体は「科学的特性マップ」本体をご覧ください。

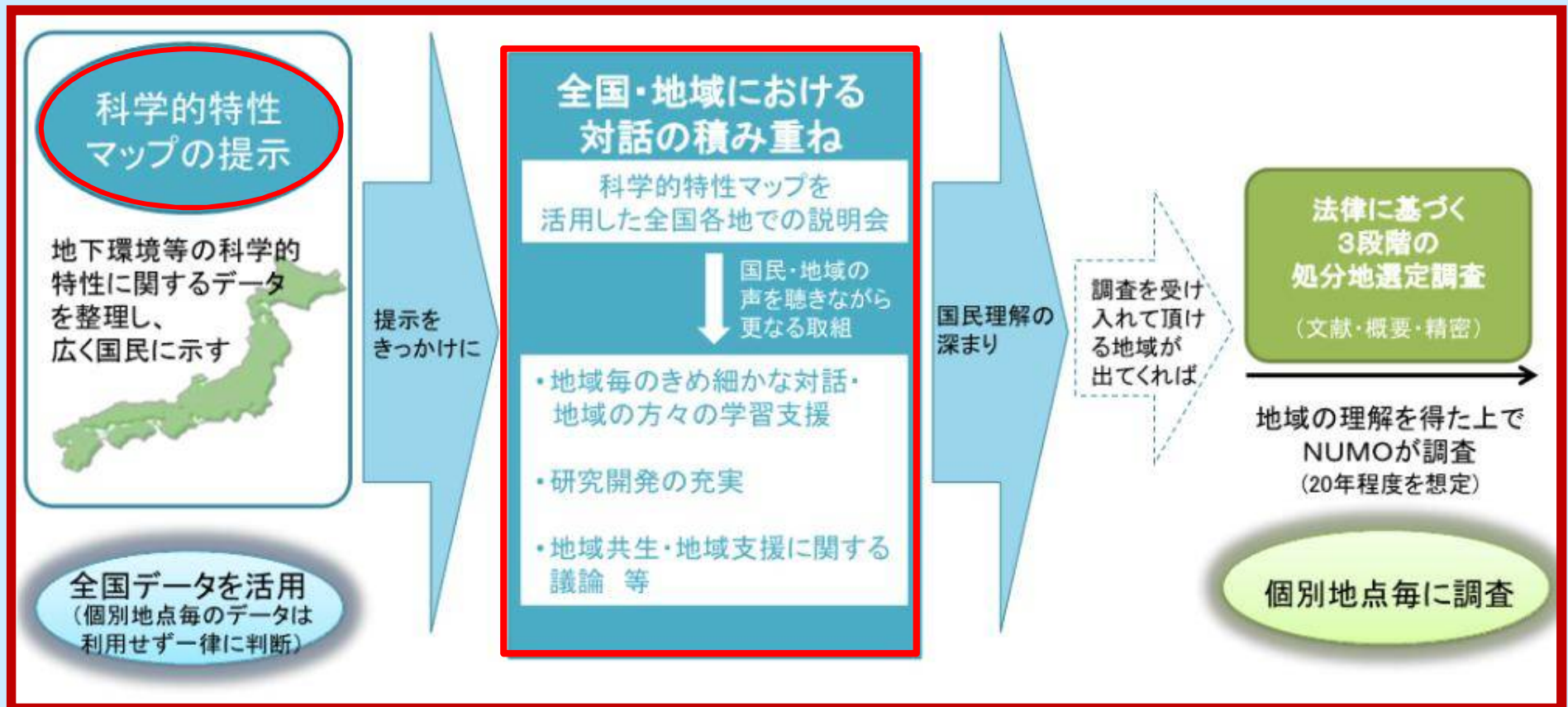
資源エネルギー庁(2017年7月28日)を編集

# HOW? どうするの?

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

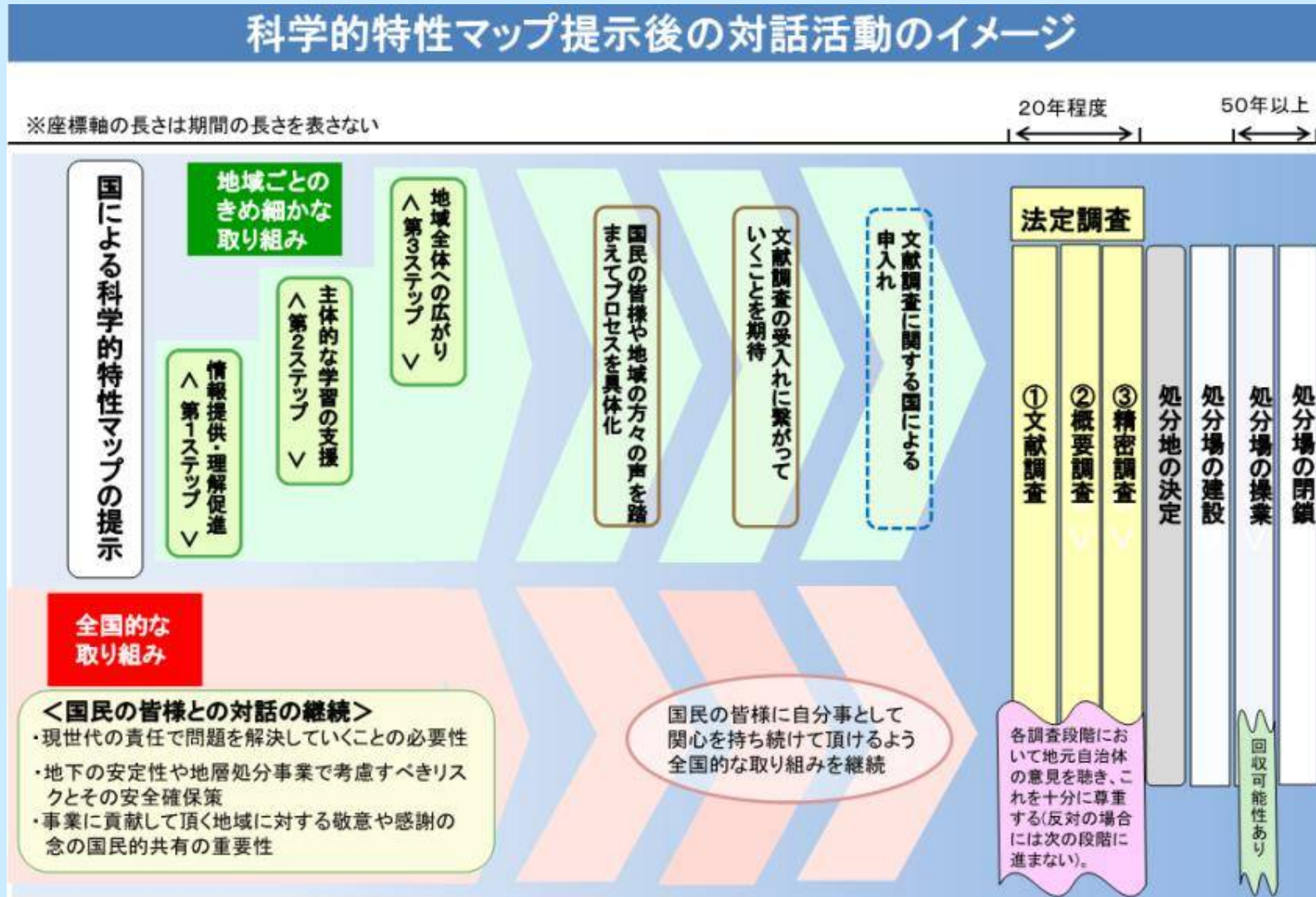
それに続く国・NUMOによる全国・地域における対話の積み重ね



全国シンポジウム資料(資源エネルギー庁(2017))

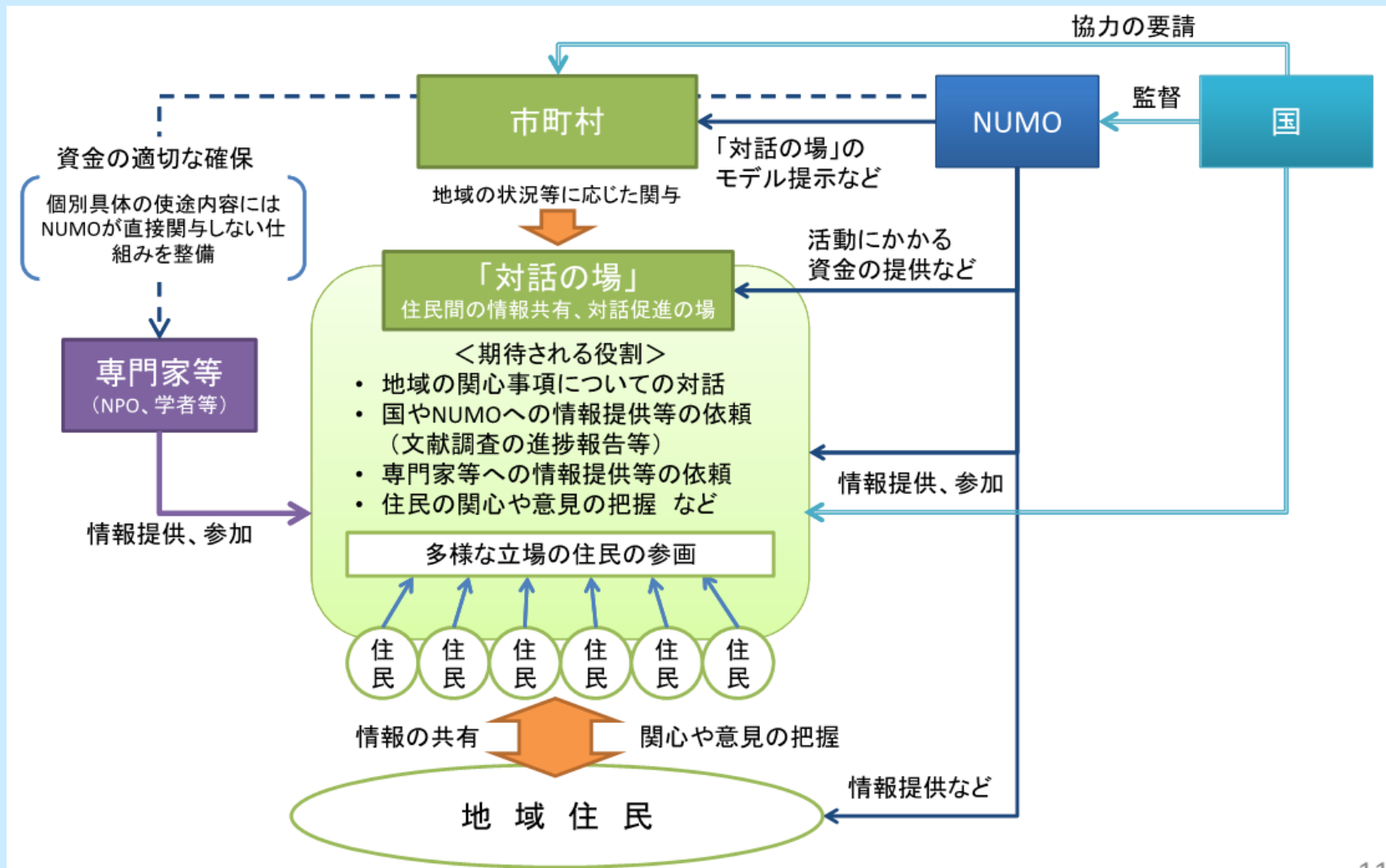
# HOW? どうするの?

## 社会への定着に向けて



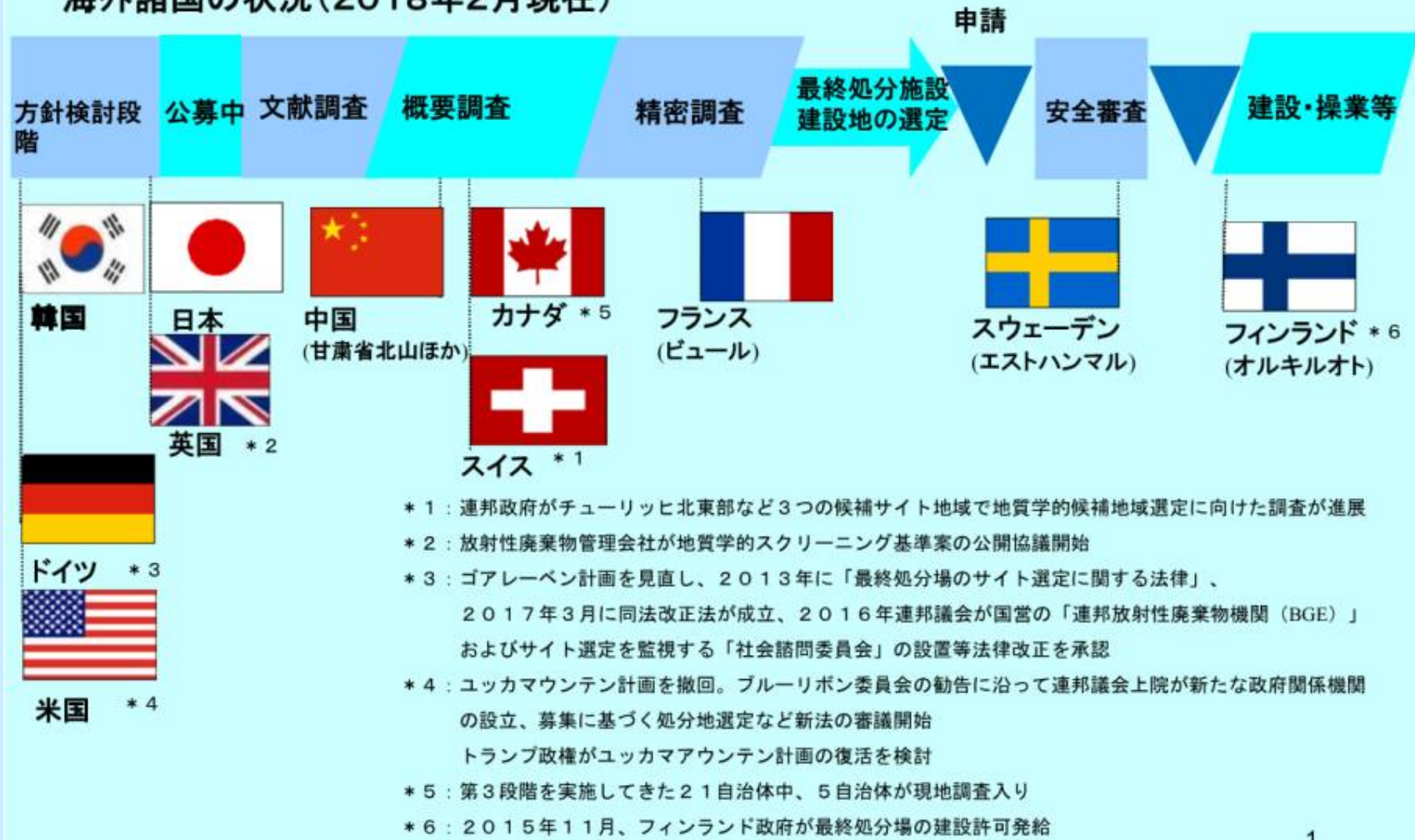
# HOW? どうするの?

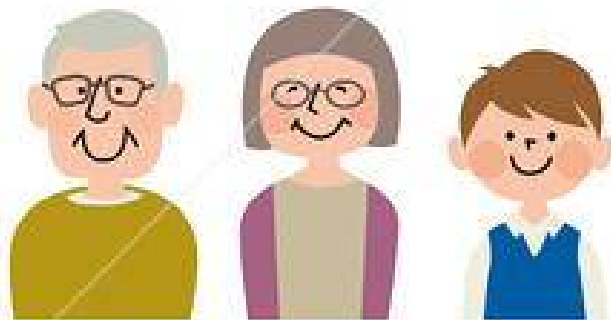
## 最終処分基本方針(改訂:2015年5月)に基づく「対話の場」の設営



# 参考

## 海外諸国の状況(2018年2月現在)





ご清聴ありがとうございました  
— 終 —  
コメントがありましたら下記にお寄せ下さい。  
[officetsuboya@nifty.com](mailto:officetsuboya@nifty.com)

pixta.jp - 19603705