

学生諸君と高レベル放射性廃棄物処分を考える

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?)



日本原子力学会シニアネットワーク連絡会副会長
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

WHAT? それはなに?

炭酸ガス

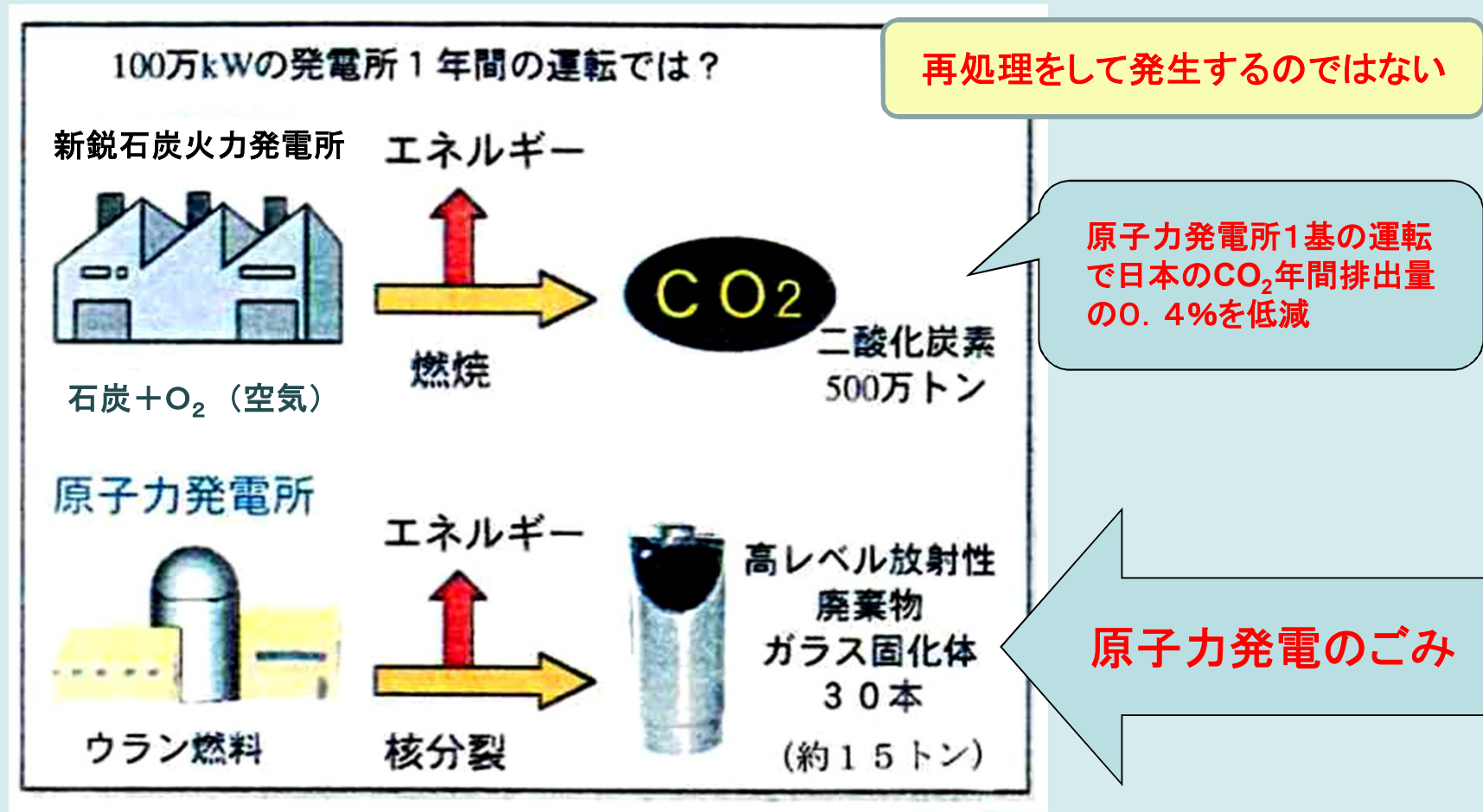
○火力発電に伴い必ず発生

○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?

使うところではごみは出ません



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 0.005 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?

○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

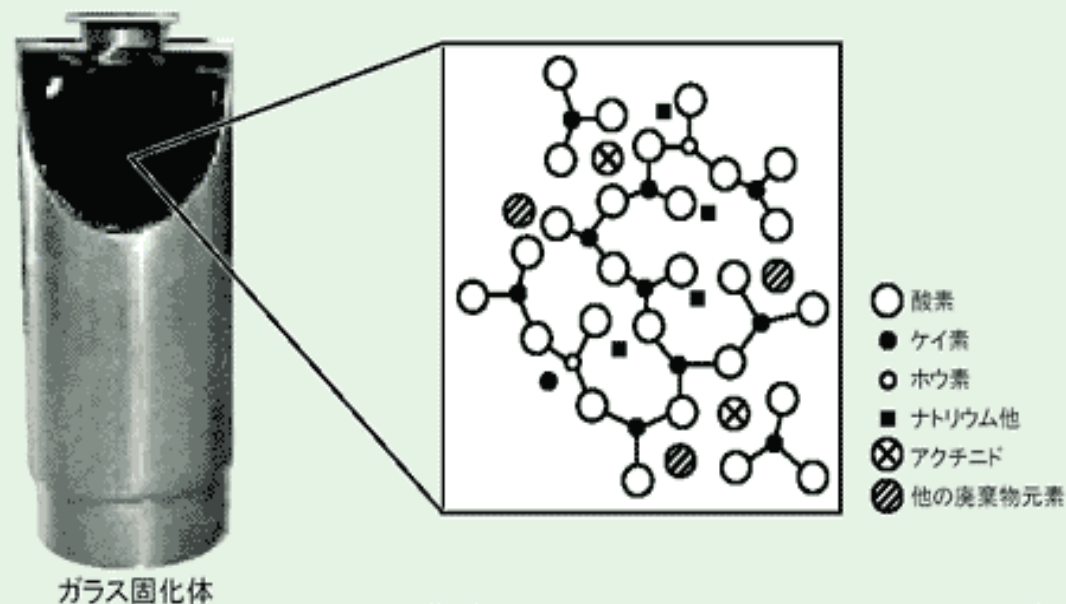
- ①多様な元素や物質を取り込む性質
- ②長い期間にわたって安定である性質
- ③成分が地下水に溶けにくい性質

ガラス



黒曜石(霧ヶ峰自然保護センター)

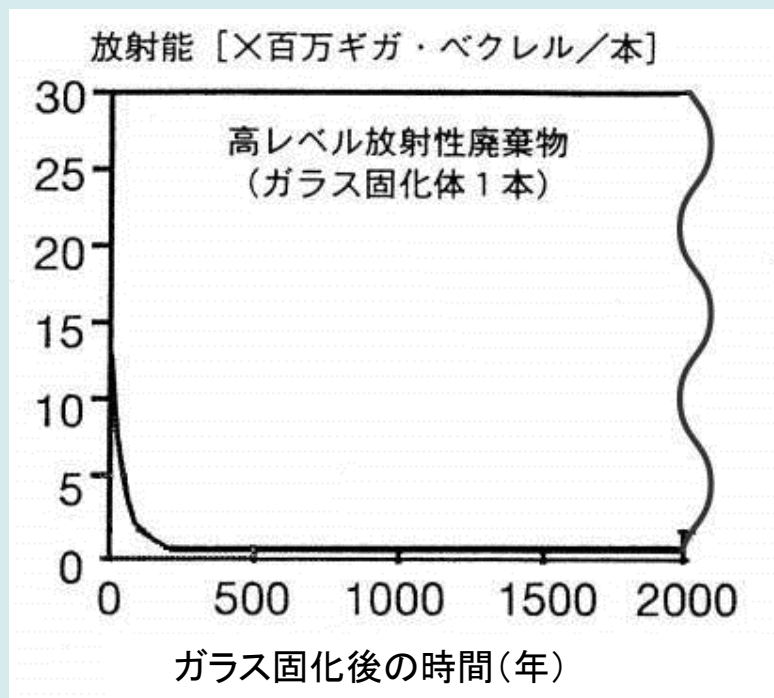
●分子構造レベルでみたガラス網目構造中の廃棄物元素の存在状態●



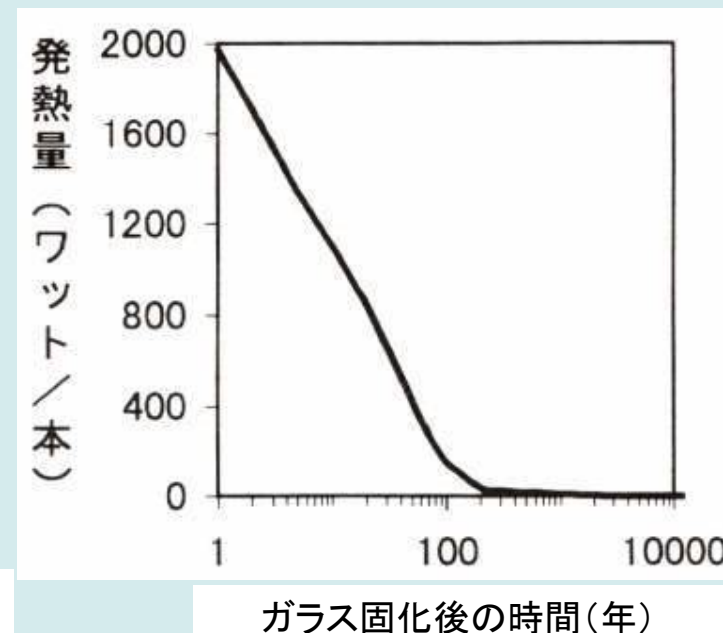
(原子力委員会高レベル放射性廃棄物処分懇談会、1998 を一部修正)

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



(1) 放射性物質の量の経時変化

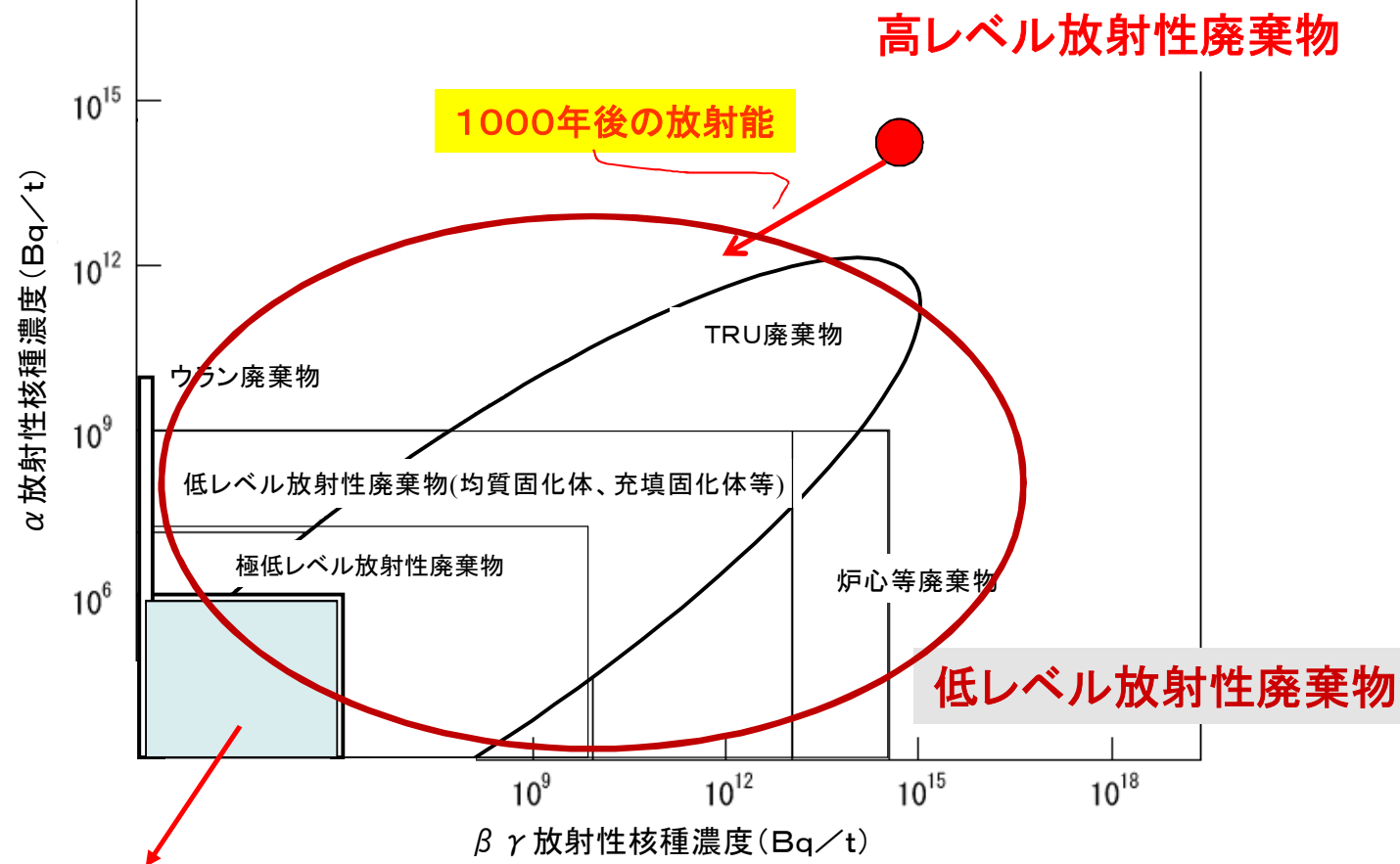


(2) 発熱量の経時変化

WHICH? どんなもの?

放射性廃棄物の濃度区分

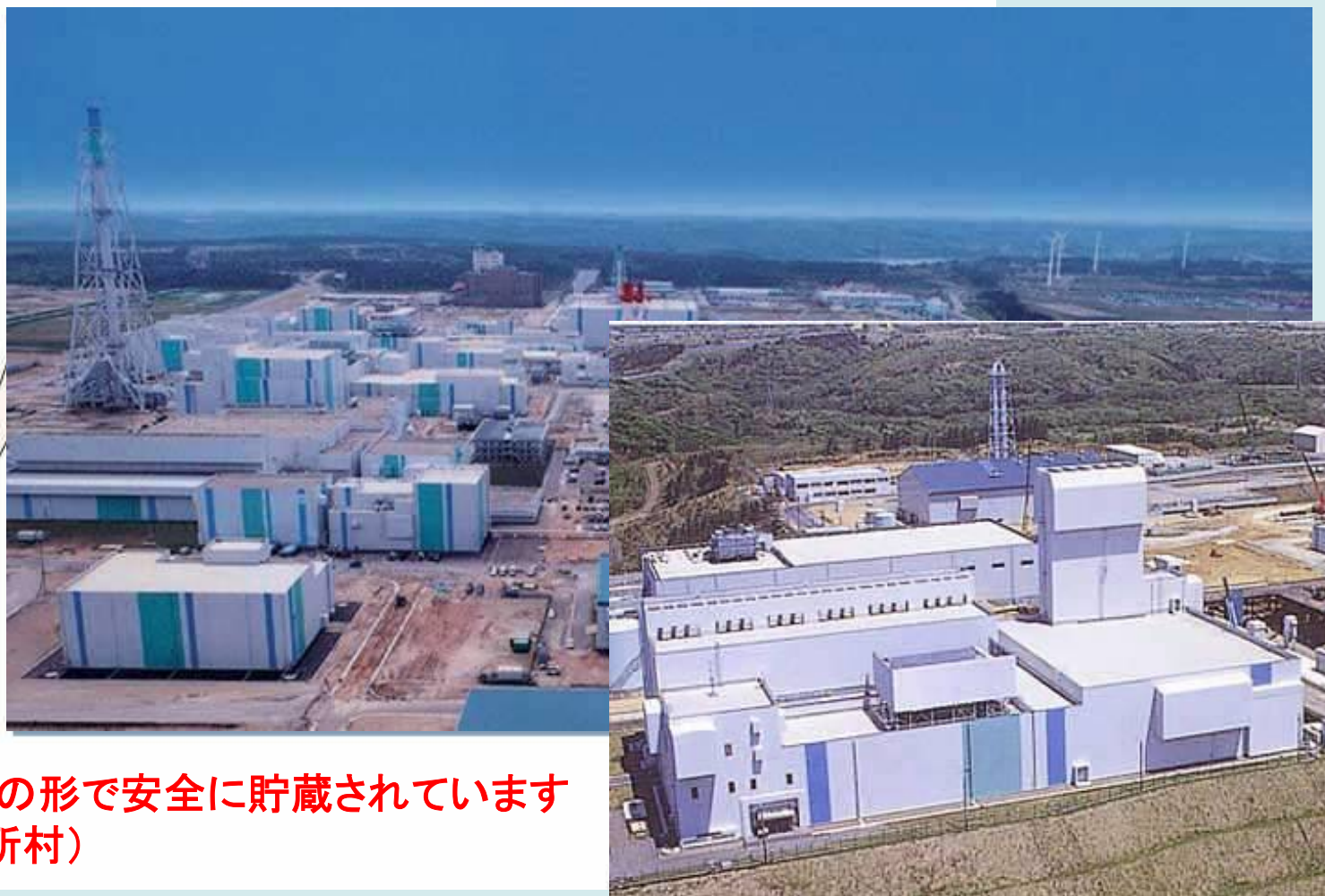
600年ほどで銅の毒性と同程度に放射能は低減する(バーナード・コーエン(1994))



放射性廃棄物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)

WHERE, NOW ? いまどこに？

原子燃料サイクル施設の位置



ガラス固化体の形で安全に貯蔵されています
(青森県六ヶ所村)

日本原燃HPほか

WHERE, NOW ? いまどこに？

高レベル放射性廃棄物とは

高レベル放射性廃棄物 (ガラス固化体)



寸法：外径／約40cm
高さ／約1.3m
総重量：約500kg



高レベル放射性廃棄物貯蔵管理センター
(写真提供：日本原電(株))

ガラス固化体発生量

日本国内で
貯蔵管理中
1,930本
(平成24年12月末)

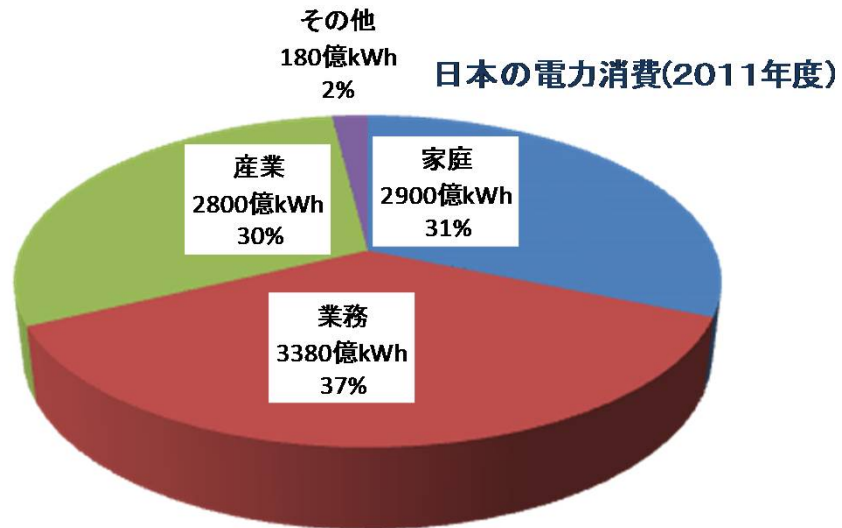
既に発生した
使用済燃料を
換算
約24,800本
(平成24年12月末)

将来発生
見込みの合計
約40,000本※
(平成33年頃)

2062本
(2014年5月現在)

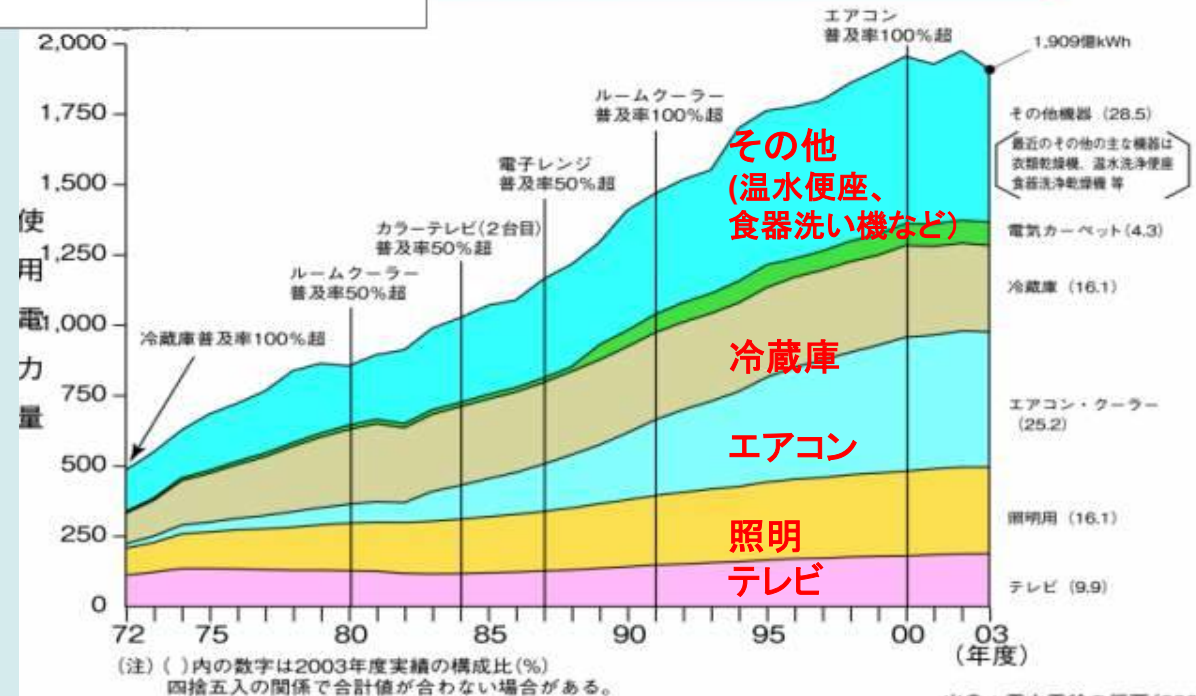
NUMO HPより

誰が出しているの？



エネルギー白書2013(資源エネルギー庁HP)より編集

ガラス固化体

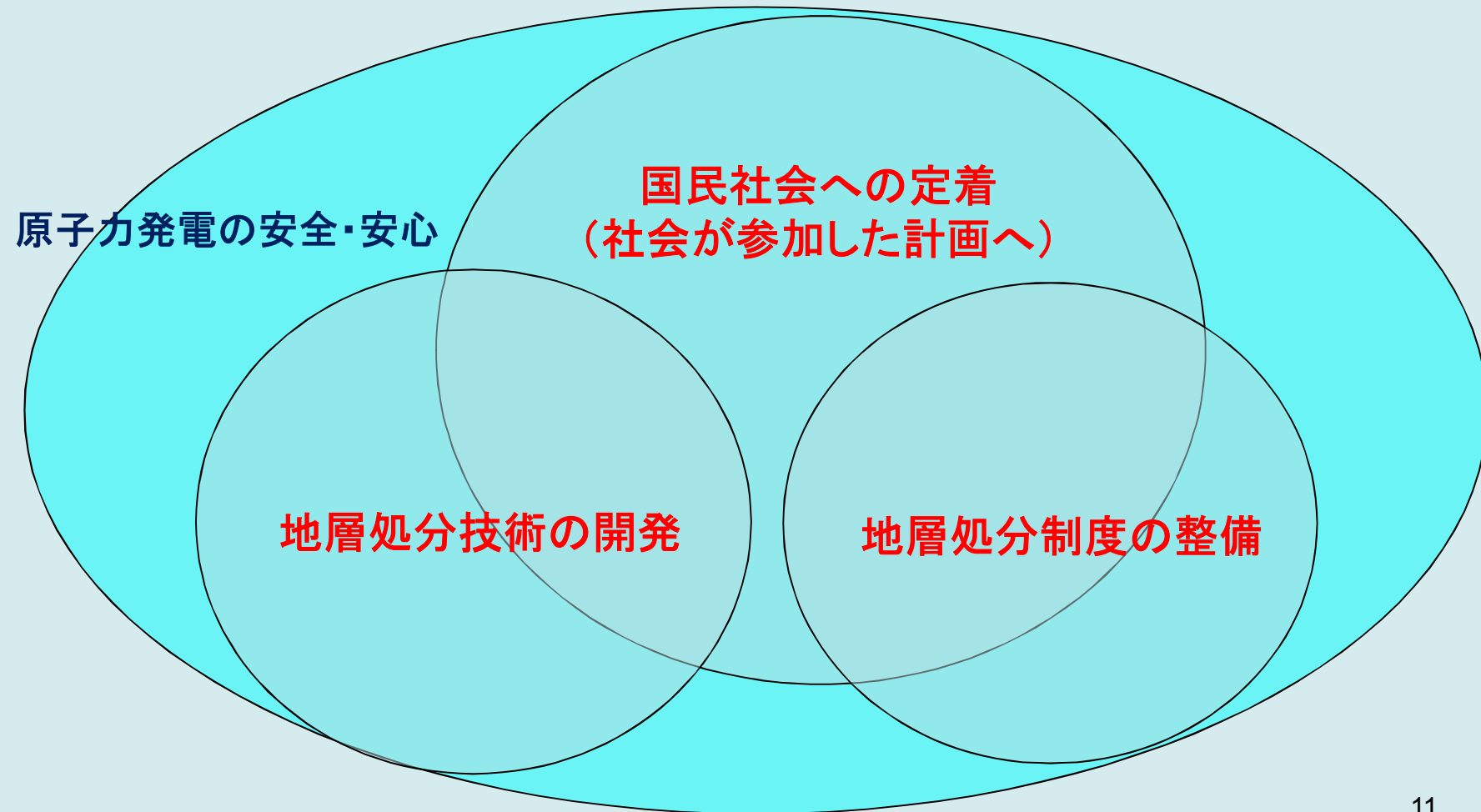


出典：電力需給の概要(2005)

対話イン八戸工大2015@坪谷

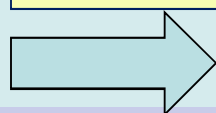
HOW? どうするの？

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

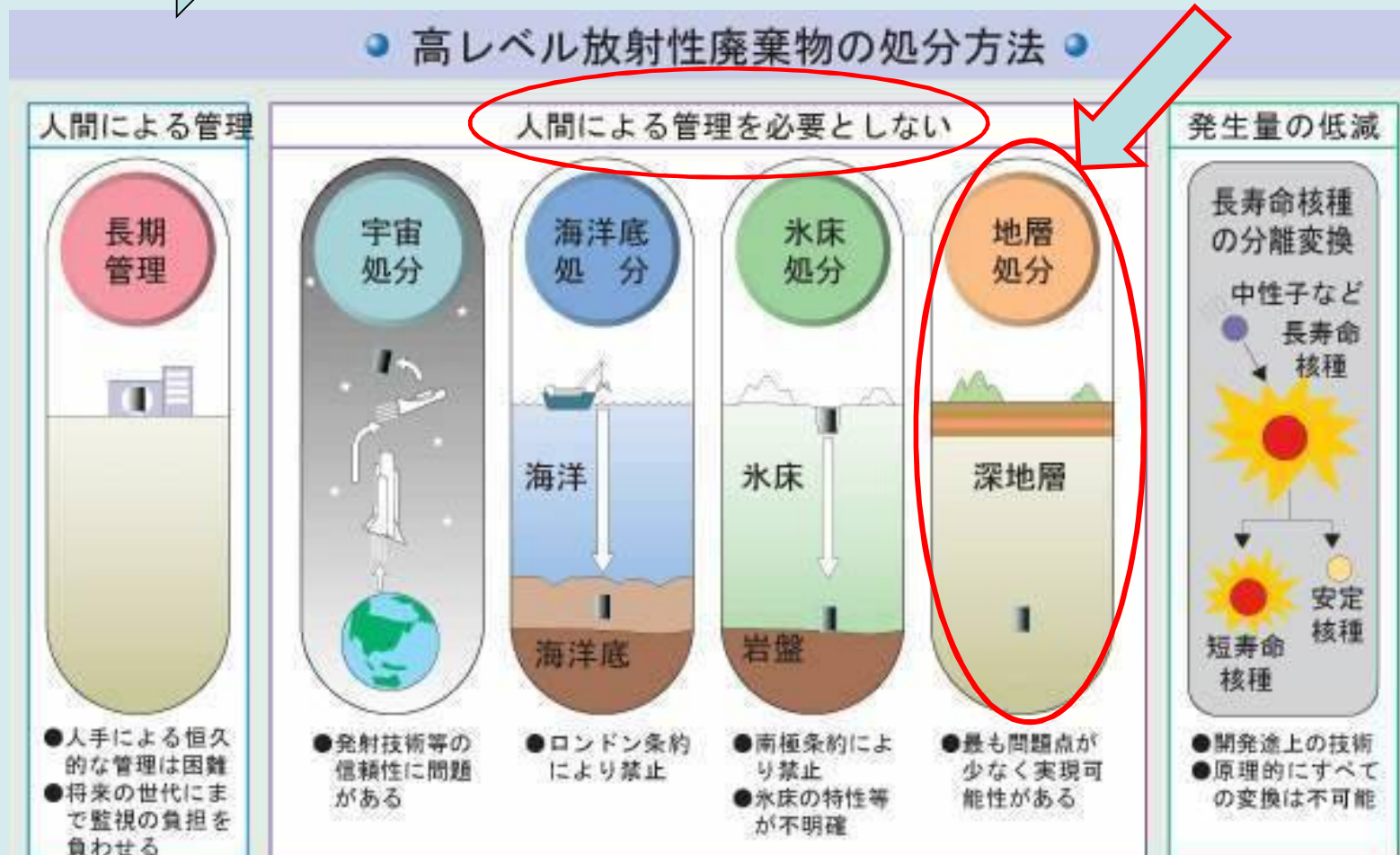


HOW? どうするの?(その1)

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?

地層処分技術の開発

- 1957 全米科学アカデミー(NAS)・研究評議会(NRC)が高レベル放射性廃棄物の岩塩層における地層処分概念を推奨する報告書を米国原子力委員会に報告
- 1983 スウェーデン核燃料管理会社(SKB)が帯水層(地下水のある)結晶質岩における地層処分概念KBS-3開発・公表
- 1985 スイス・NAGRA が帯水層・結晶質岩における地層処分概念「保証プロジェクト(Project Gewaehr 85)」発表
- 1992 NAGRAが帯水層・堆積岩地層処分概念についてOpalinous Clay Project として取りまとめ発表
- 1999 核燃料サイクル開発機構が帯水層・結晶質岩および堆積岩における地層処分技術を第2次取りまとめとして原子力委員会に報告・公表

最終処分の目標に対して地層処分は技術的に課題が少なく実現性が高い方法として各国で計画が進む

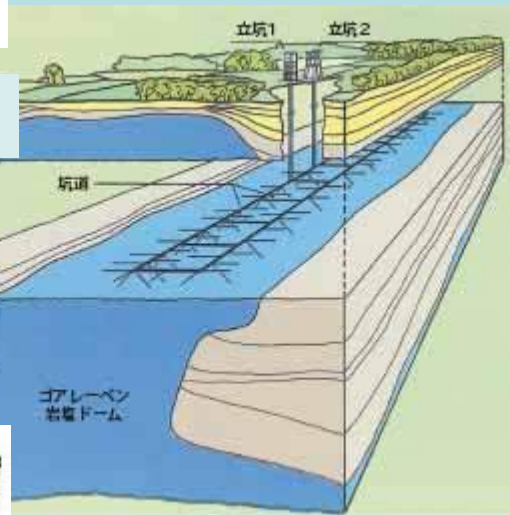
HOW? どうするの?

地層処分技術の開発

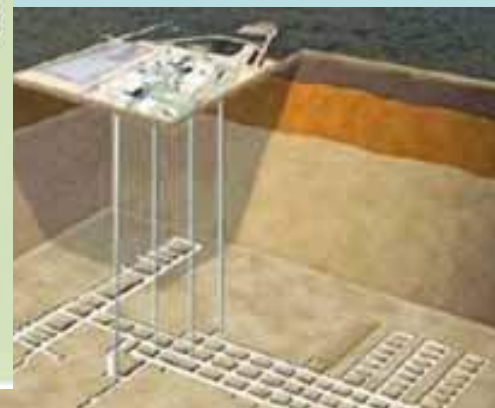
地下水のない
環境



堆積岩・結晶質岩の利用



岩塩層の利用



世界初の地層処分施設WIPP(操業中、米国)



地下水のある環境
(帯水層)



HOW? どうするの?

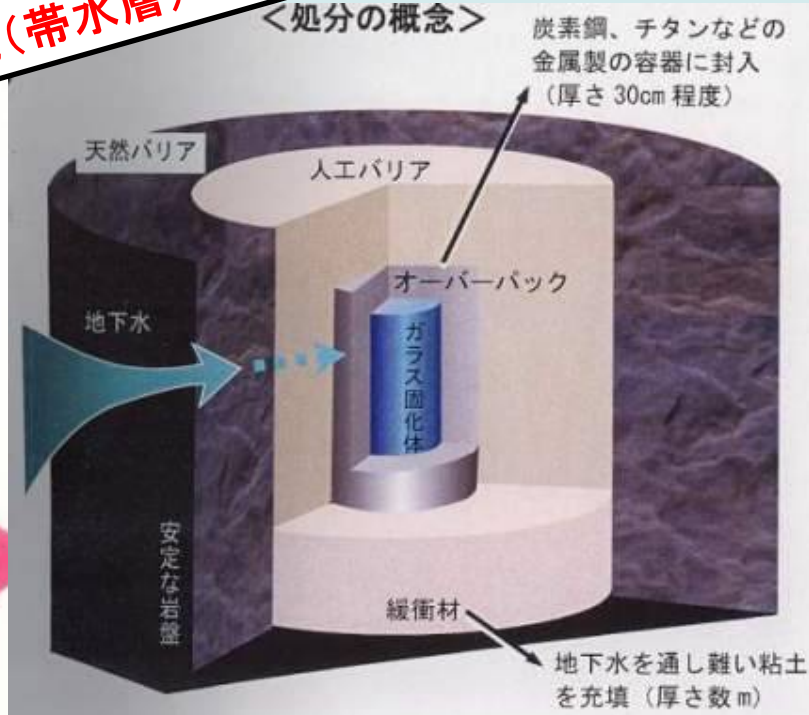
地層処分技術の開発

地下水のある環境(帯水層)

地層処分の基本構成



＜処分の概念＞



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

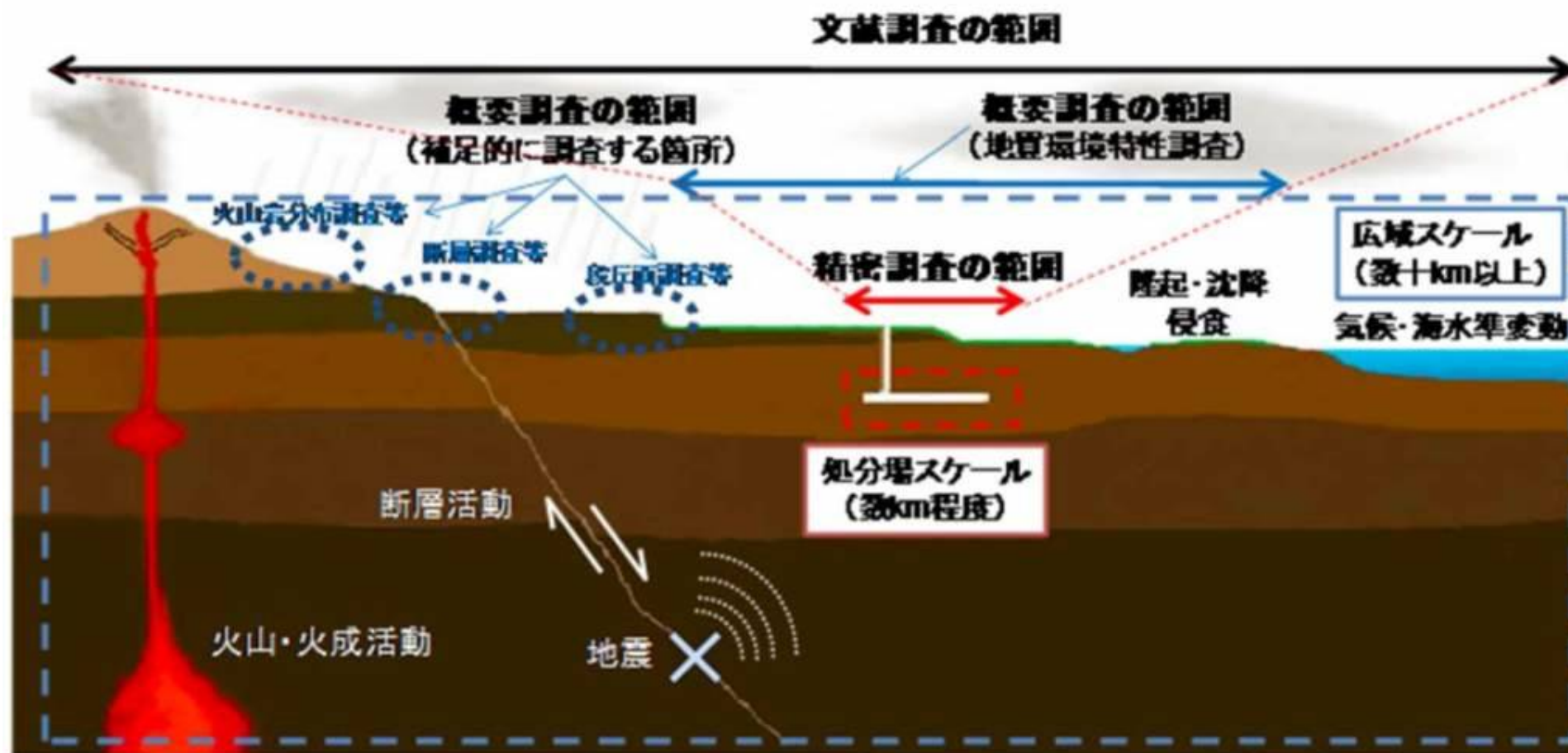
- ・ 人間に影響を及ぼさないことを更に確かなものとする

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 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)
16

HOW? どうするの?

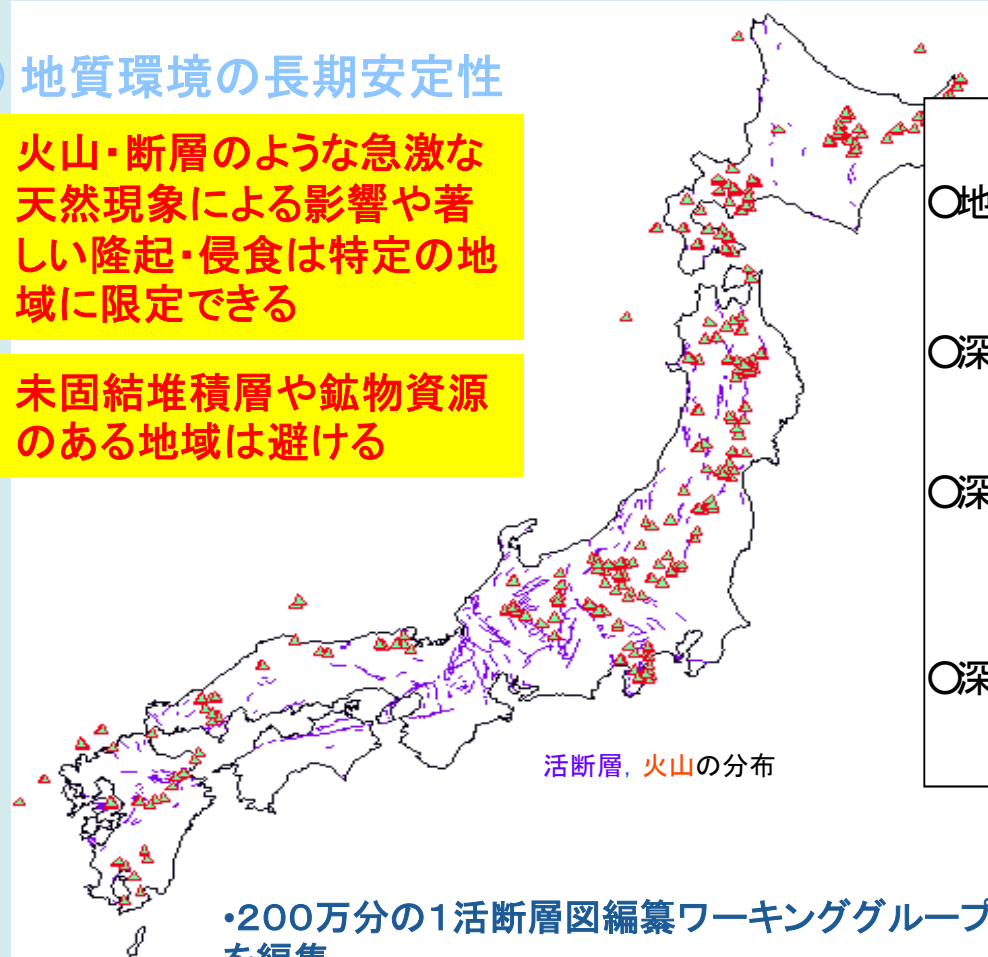
技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 地層処分に適した地質環境(1/2)

(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

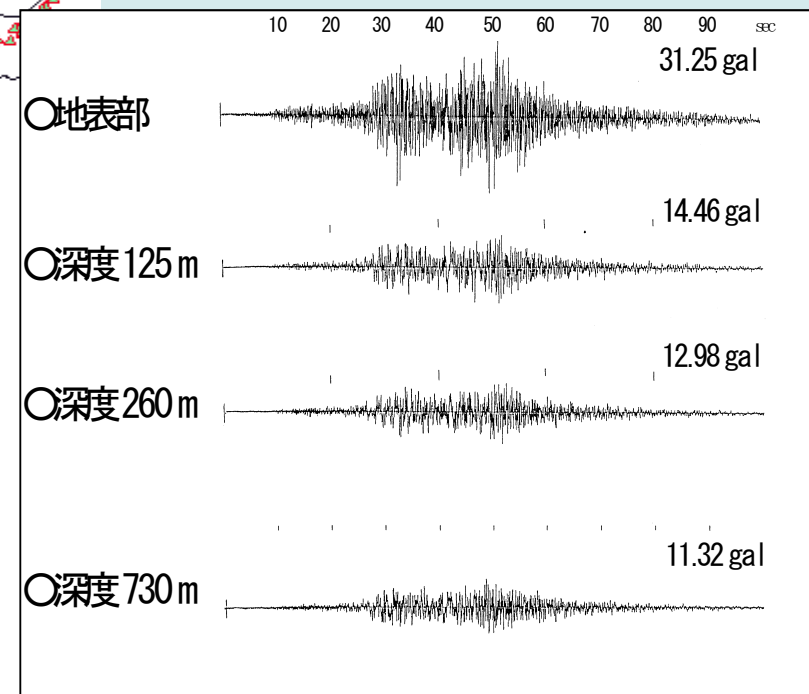
未固結堆積層や鉱物資源のある地域は避ける



•200万分の1活断層図編纂ワーキンググループ(1999)を編集

•第四紀カタログ委員会編(1999)を編集

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)

核燃料サイクル機構「第2次とりまとめ」(1999) 17より編集

HOW? どうするの?

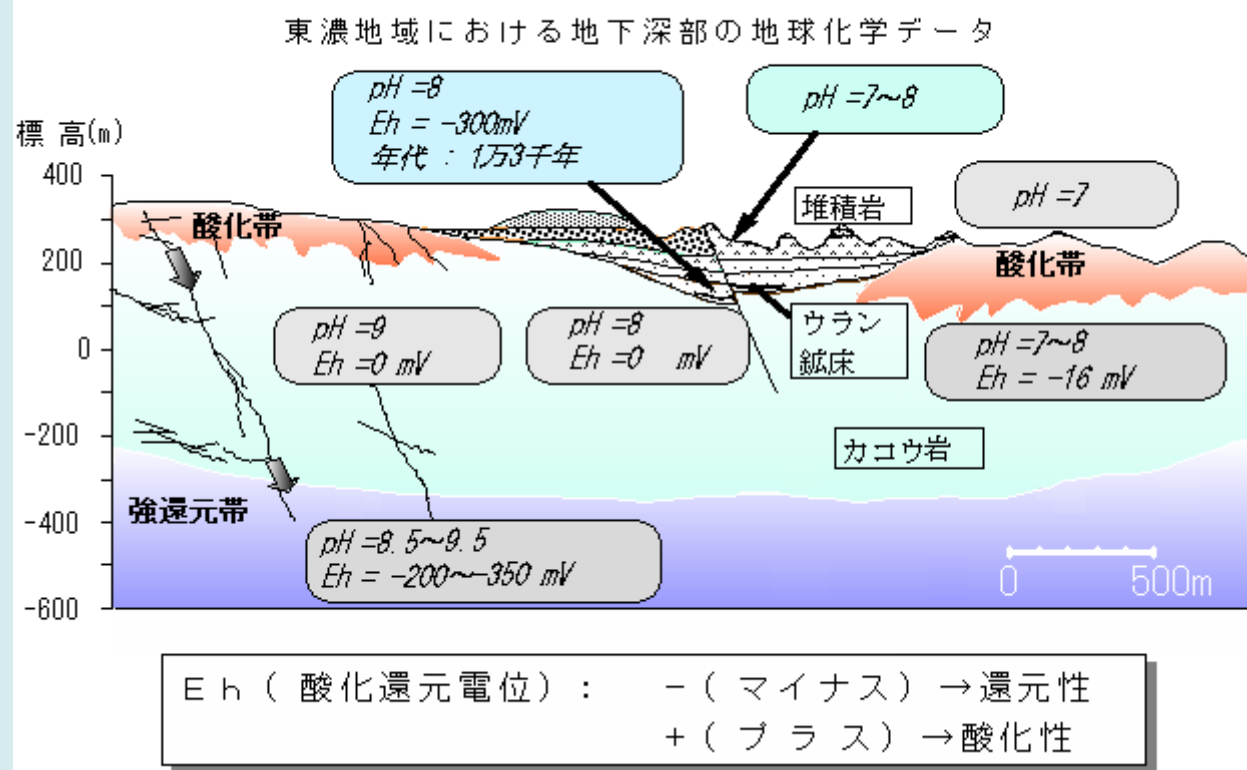
技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 地層処分に適した地質環境(2/2)

地下水化学・水理学等

(2) 地下深部における地下水の化学

日本の深部地質環境は地下水が還元性・低透水性であり、処分場を設置したり、多重バリアシステムが正常に機能できる十分な強度や熱物性などを有する



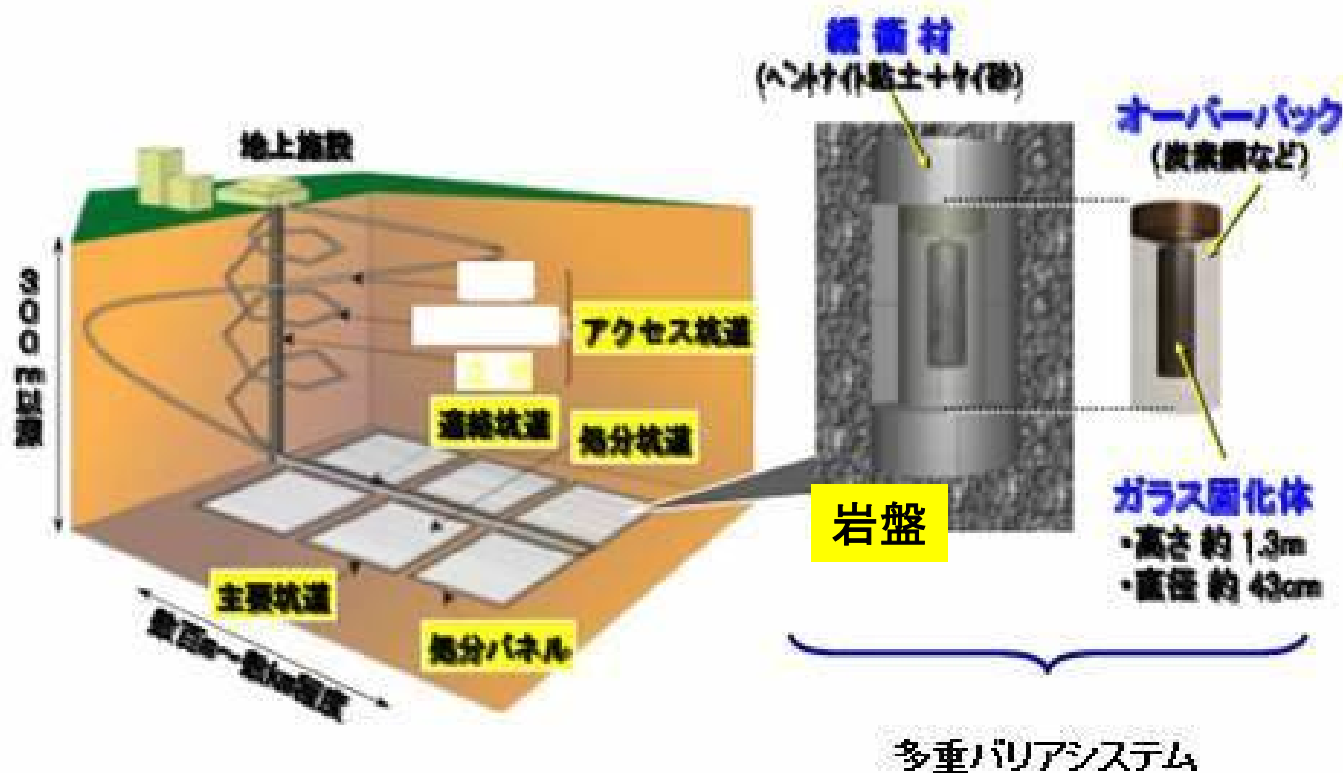
核燃料サイクル機構「第2次とりまとめ」(1999)

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

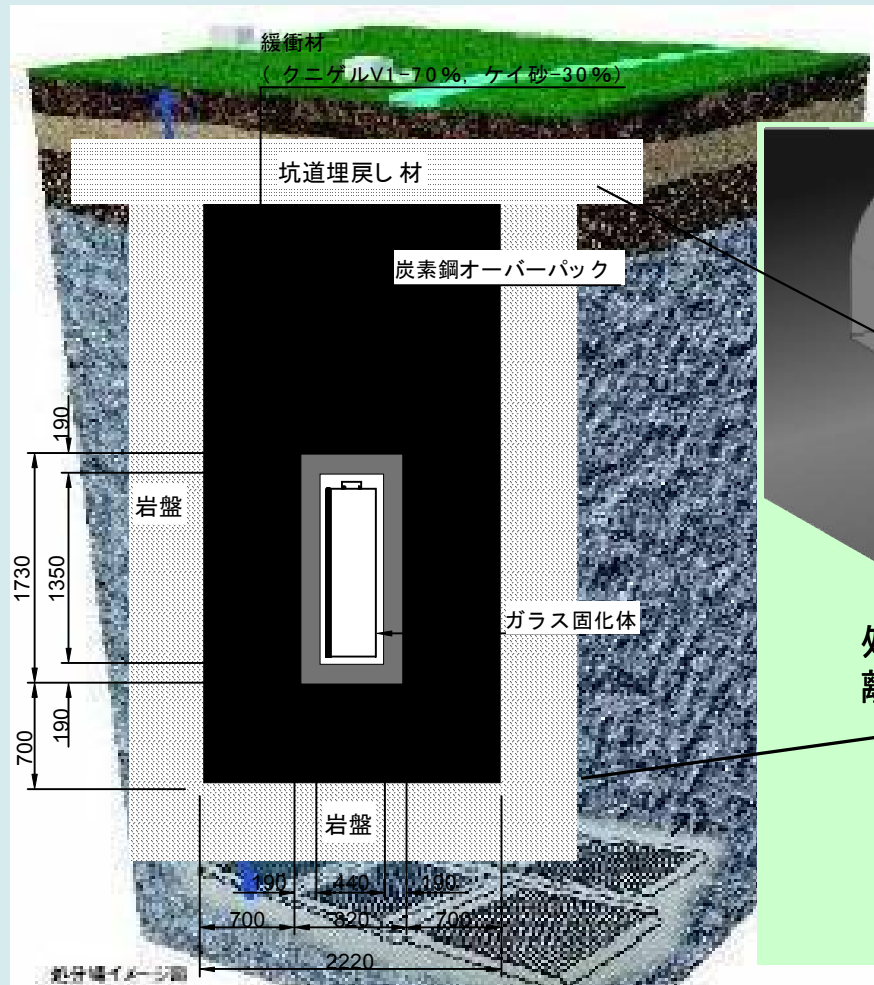
岩石力学



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

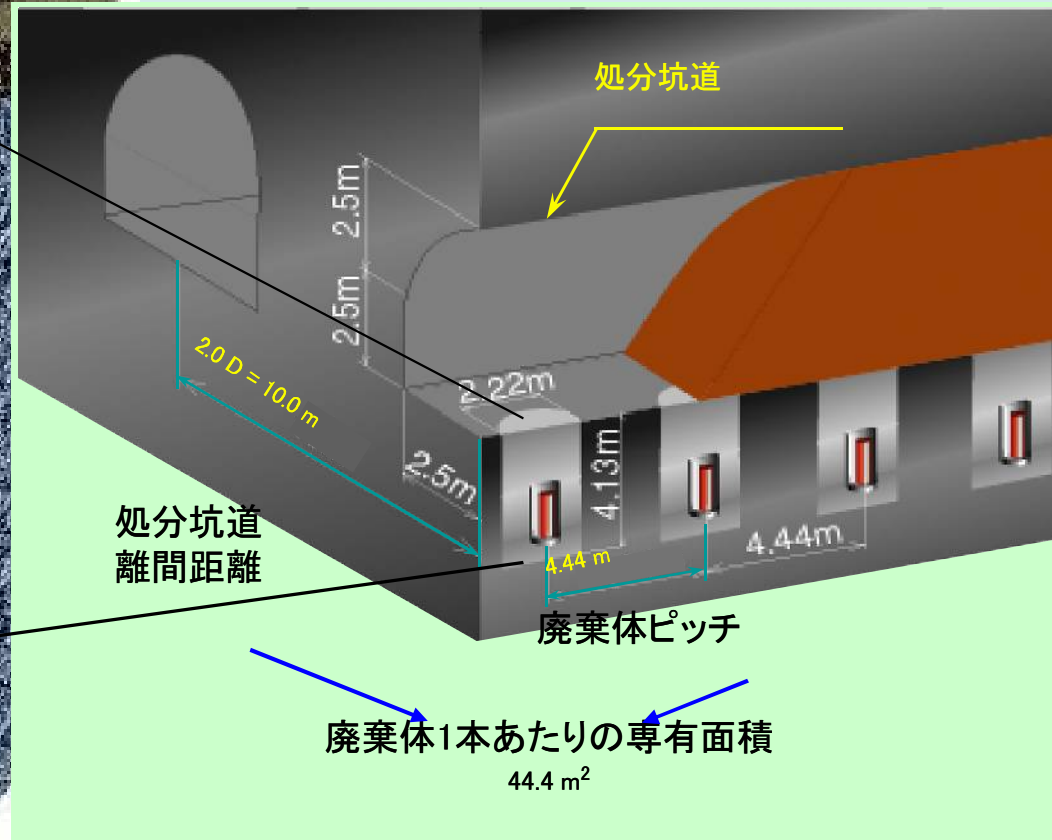
今までの知識 地質環境を考慮した人工バリアと処分技術



人工バリア仕様例

(鉄: 約5.6ton、緩衝材[定置時]: 約24.1ton)

人工バリア材料は天然素材



処分坑道仕様例

(処分孔縦置き方式[硬岩系岩盤])

核燃料サイクル機構「第2次とりまとめ」(1999)

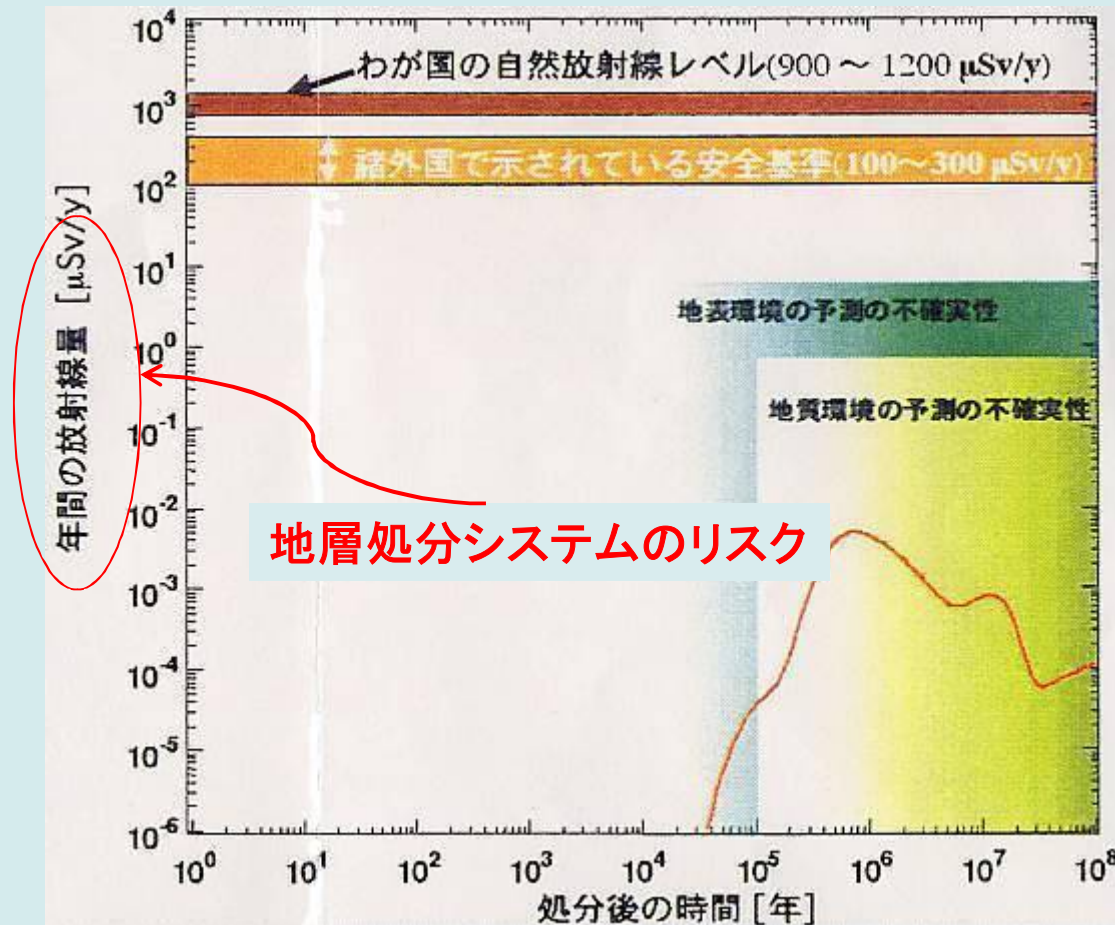
HOW? どうするの?

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

HOW? どうするの?

重要な技術領域

長期安定性
(第四紀学)

地層科学研究

我が国の地質環境

調査技術

地質環境特性
(岩石力学、水理学、地下水化学)

安全評価技術

ナチュラルアナログ

社会対応技術
モニタリング技術
記録の保存技術

処分技術

遠隔・定置

多重バリアシステム概念

安全の論拠(セーフティ・ケース)

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



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)

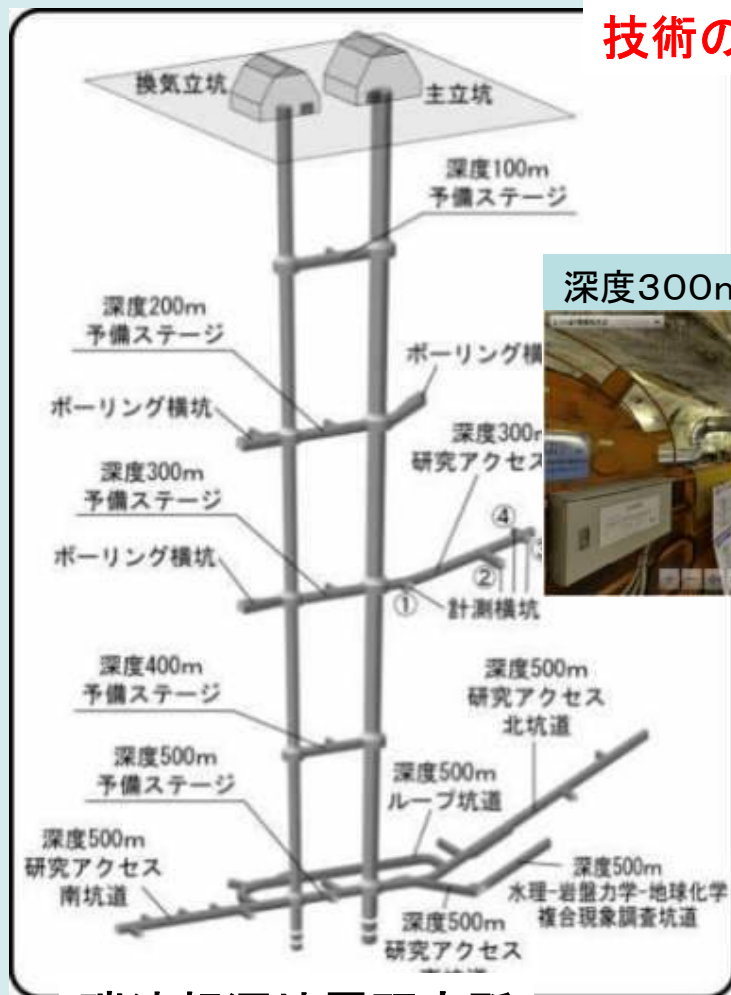


熱-水-応力-化学連成試験設備
(COUPLE)

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



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

深度300m研究状況

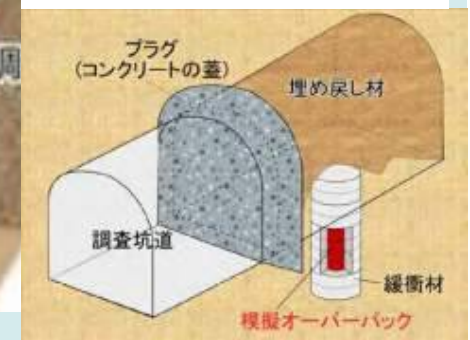


幌延深地層研究センター(2015. 1現在)
(北海道幌延町)



堆積岩系研究

深度350m研究状況

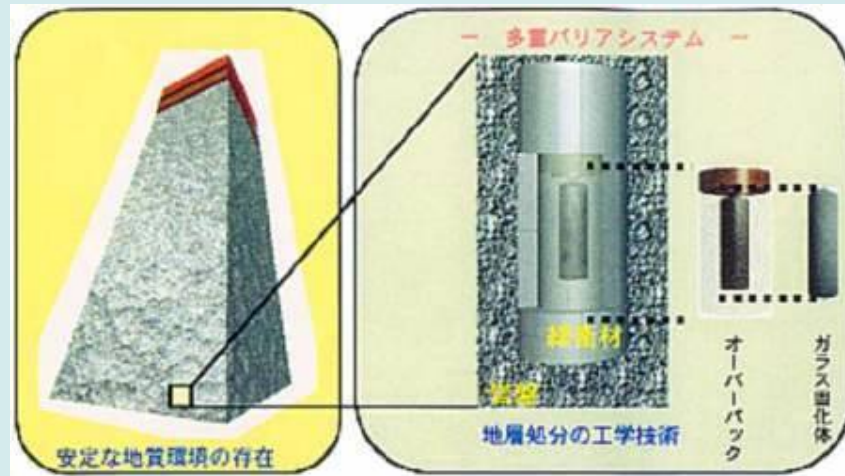


HOW? どうするの?

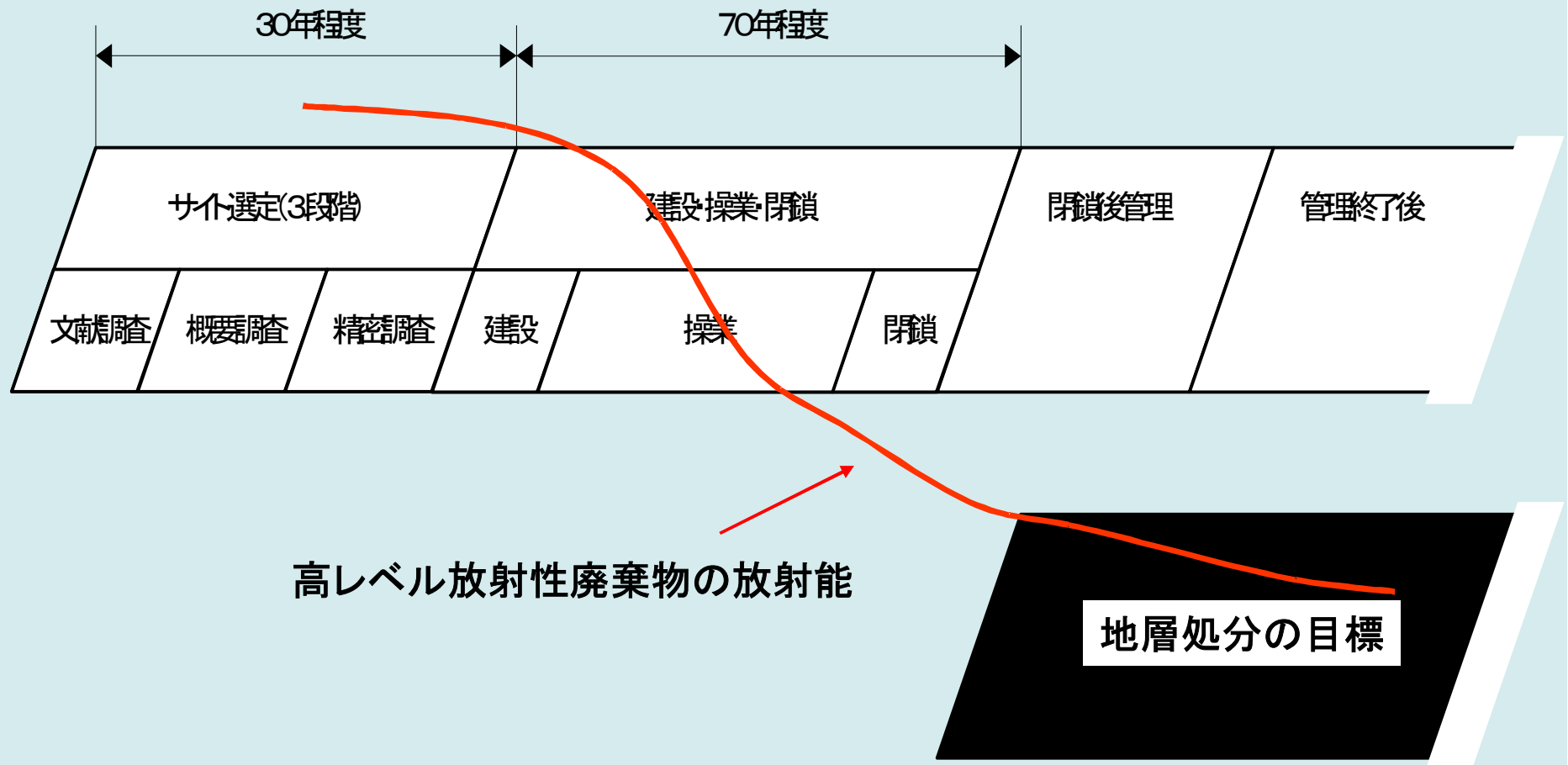
技術の目標: 長い時間、人間の生活環境から安全に隔離する

今までの知識 自然に学ぶ長期安全性

ナチュラルアナログ(温故知新)



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)

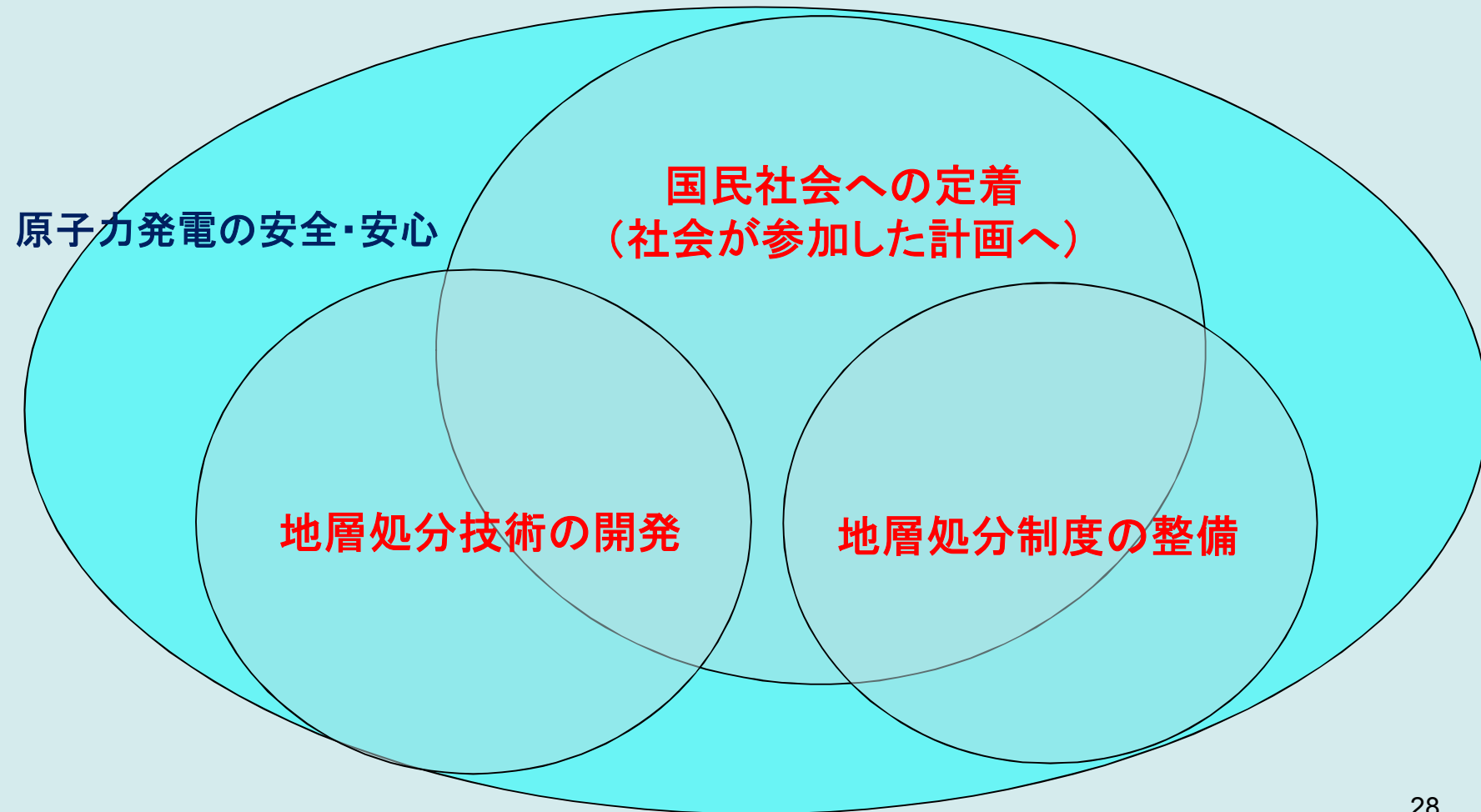
しかし、



処分に当たっては人々に信頼される仕組み(制度)が必要

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?

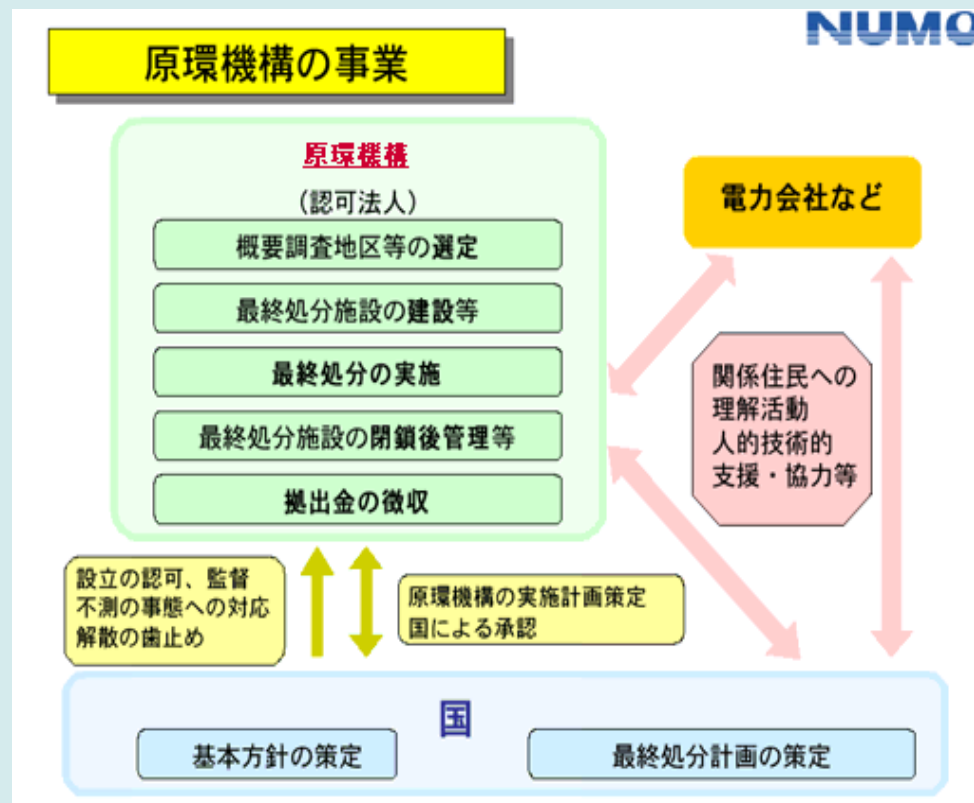
地層処分に向けた基本制度の整備 制度制定に関するこれまでの経緯

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

HOW? どうするの?

最終処分法：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

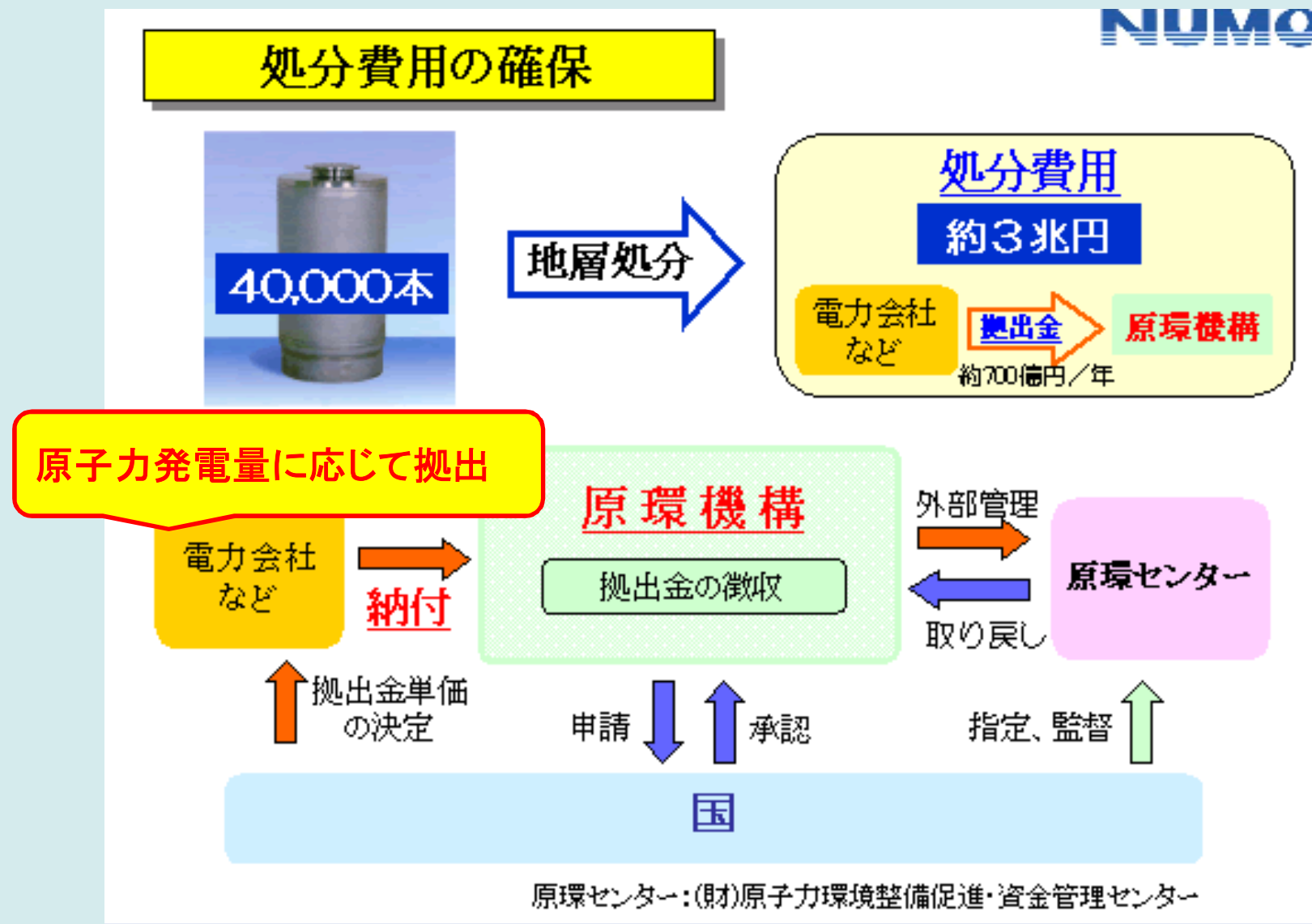
「廃棄物を発生させてきた世代の責任として将来世代に負担を先送りさせない」
(最終処分基本方針(改訂:2015年5月))ことを再確認



原子力発電環境整備機構(NUMO)資料

HOW? どうするの?

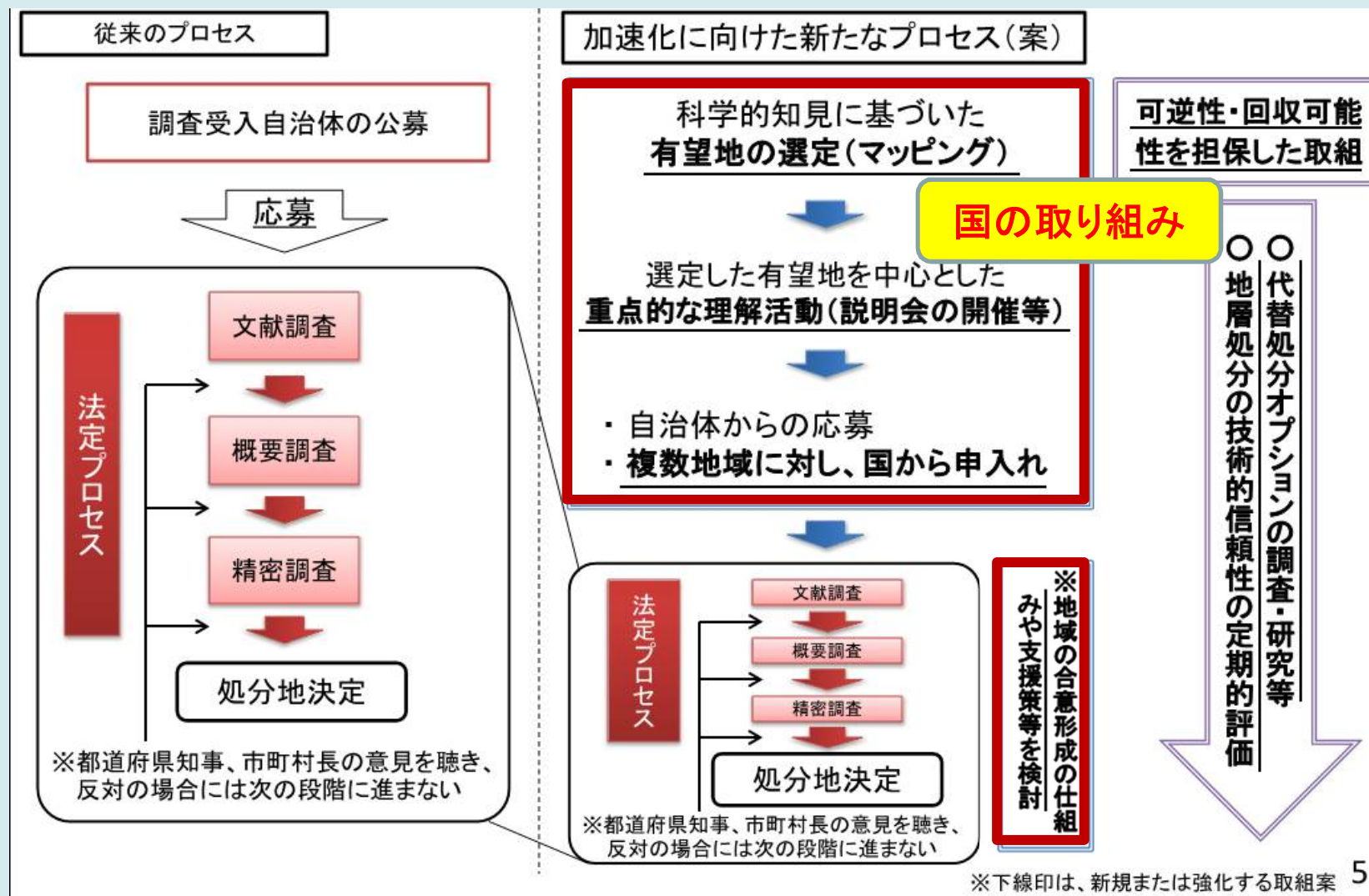
最終処分法：安定した事業の実施(最終処分費用の積み立て)



HOW? どうするの?

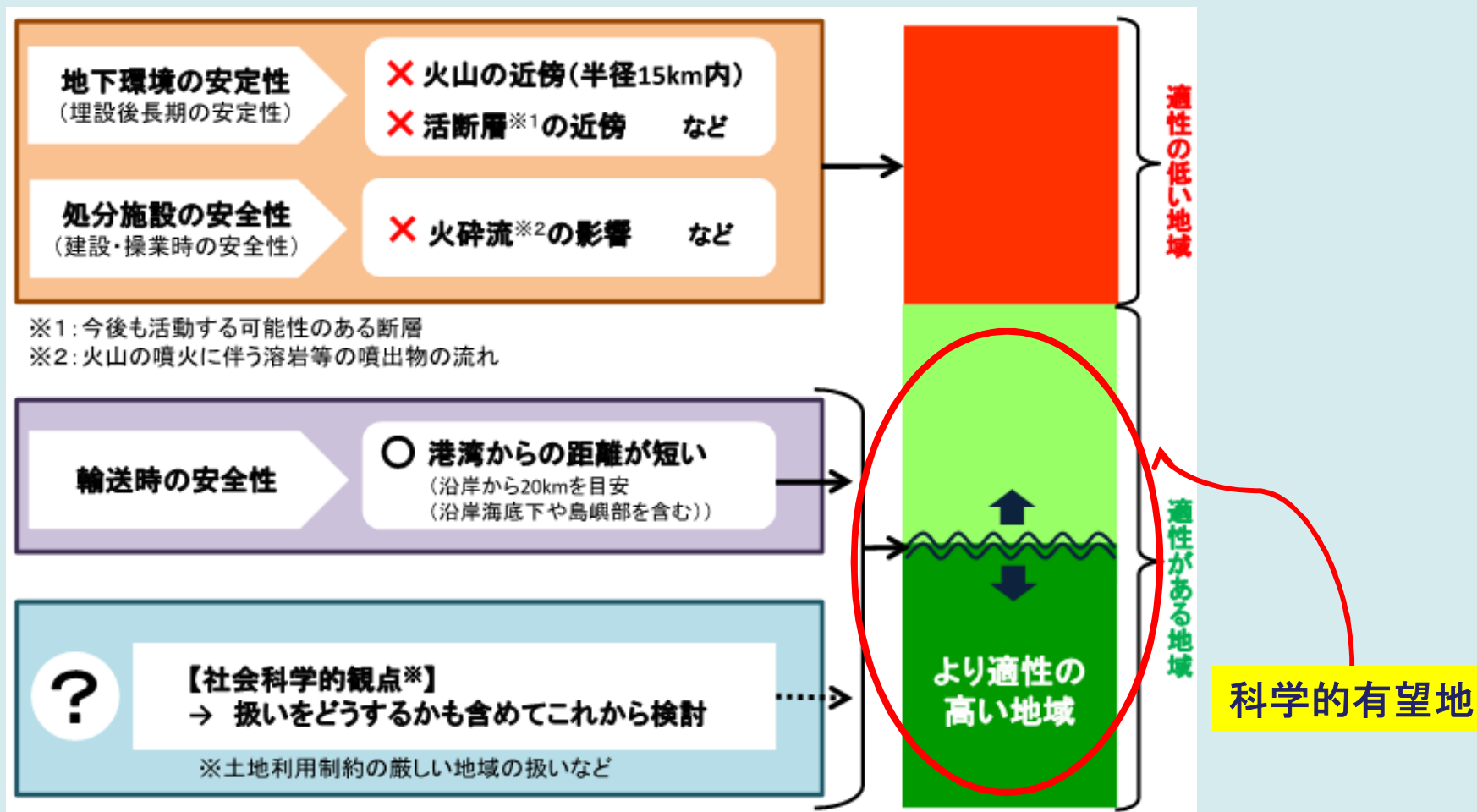
最終処分法: 高い透明性のもとに段階を踏んだ処分地選定

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



HOW? どうするの?

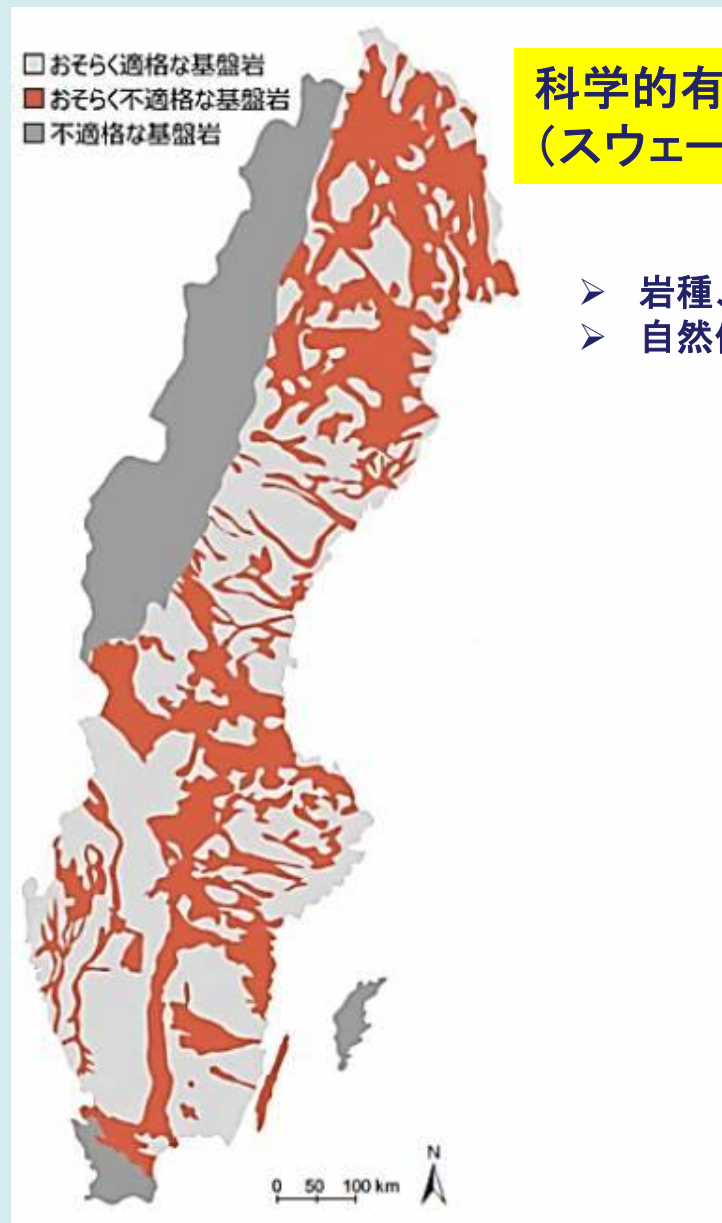
科学的有望地(マッピング)選定の要件や基準 (総合資源エネルギー調査会で審議中)



最終処分関係閣僚会議(2015年12月)資料を編集

国民・地域に冷静に受け止められる環境を整えた上で
2016年中に公表予定

HOW? どうするの？



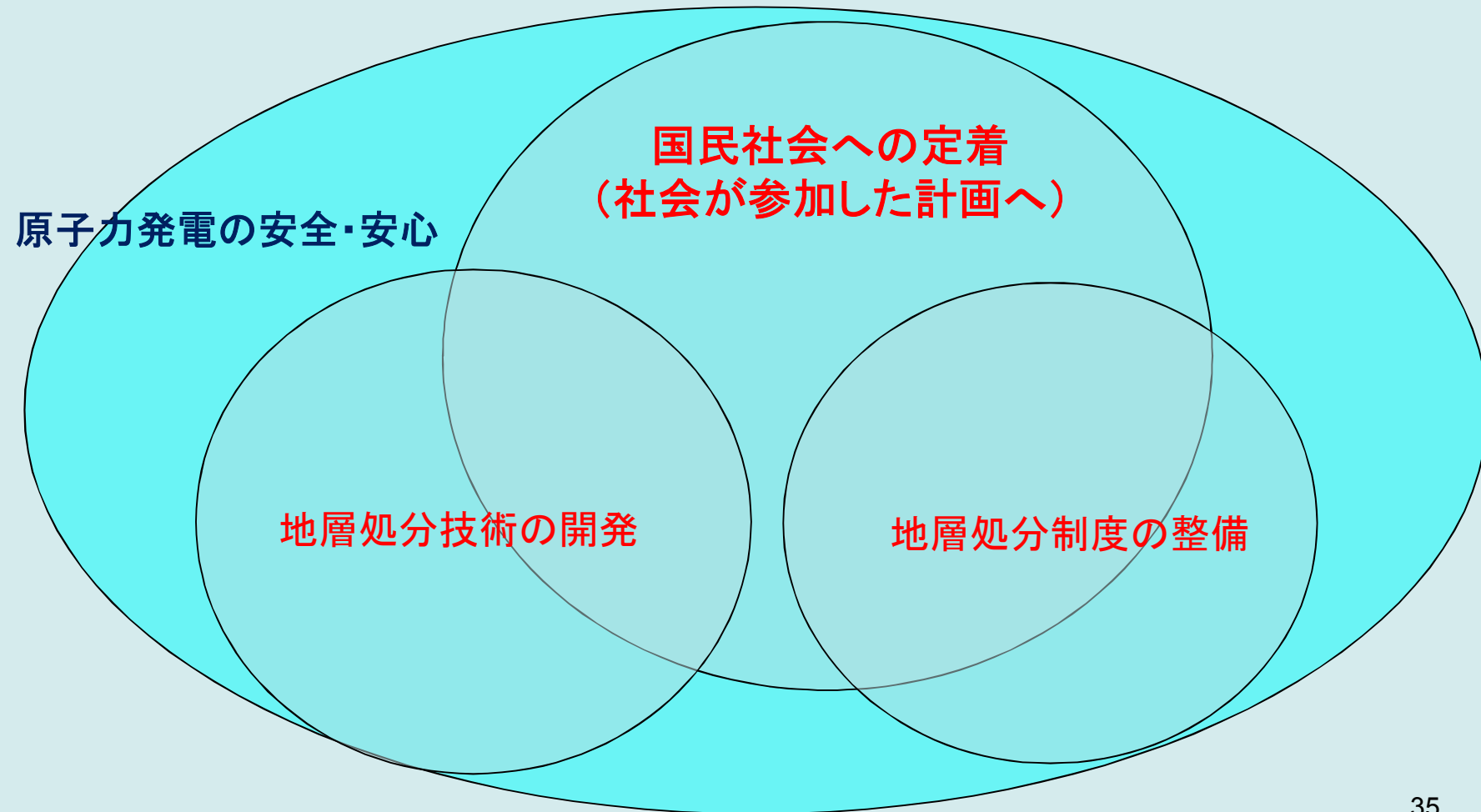
科学的有望地(マッピング)の例 (スウェーデン、1992－1998年)

- 岩種、主要亀裂、鉱石・鉱山分布等を考慮
- 自然保護、輸送等の視点も勘案

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?

社会への定着に向けて

最終処分基本方針(改訂:2015年5月)



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

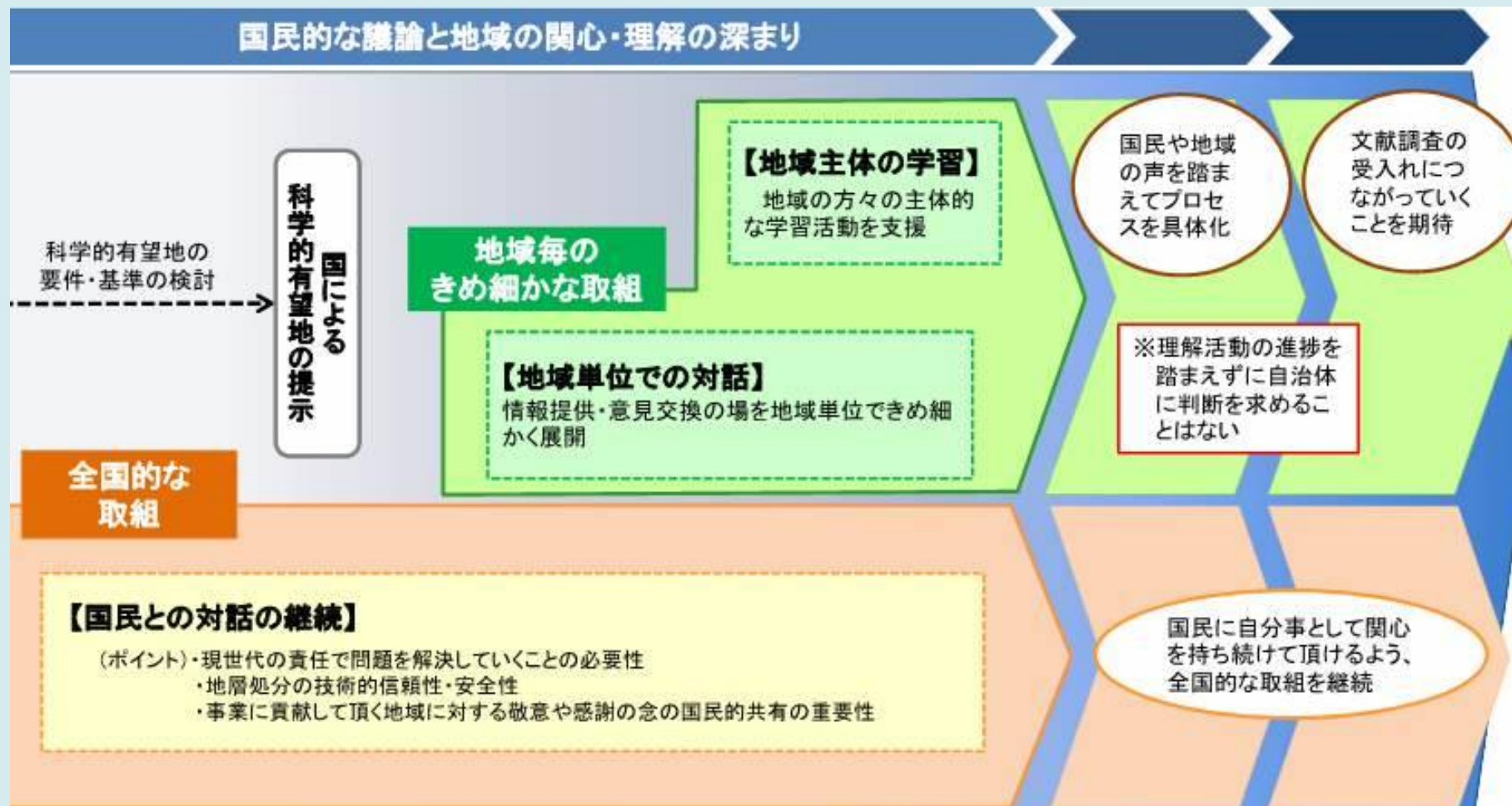
2. 国が前面に立った取り組み

- 国は科学的に最終処分に適性があると考えられる地域(科学的有望地)を全国規模で提示
- 理解活動の状況等をもとに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

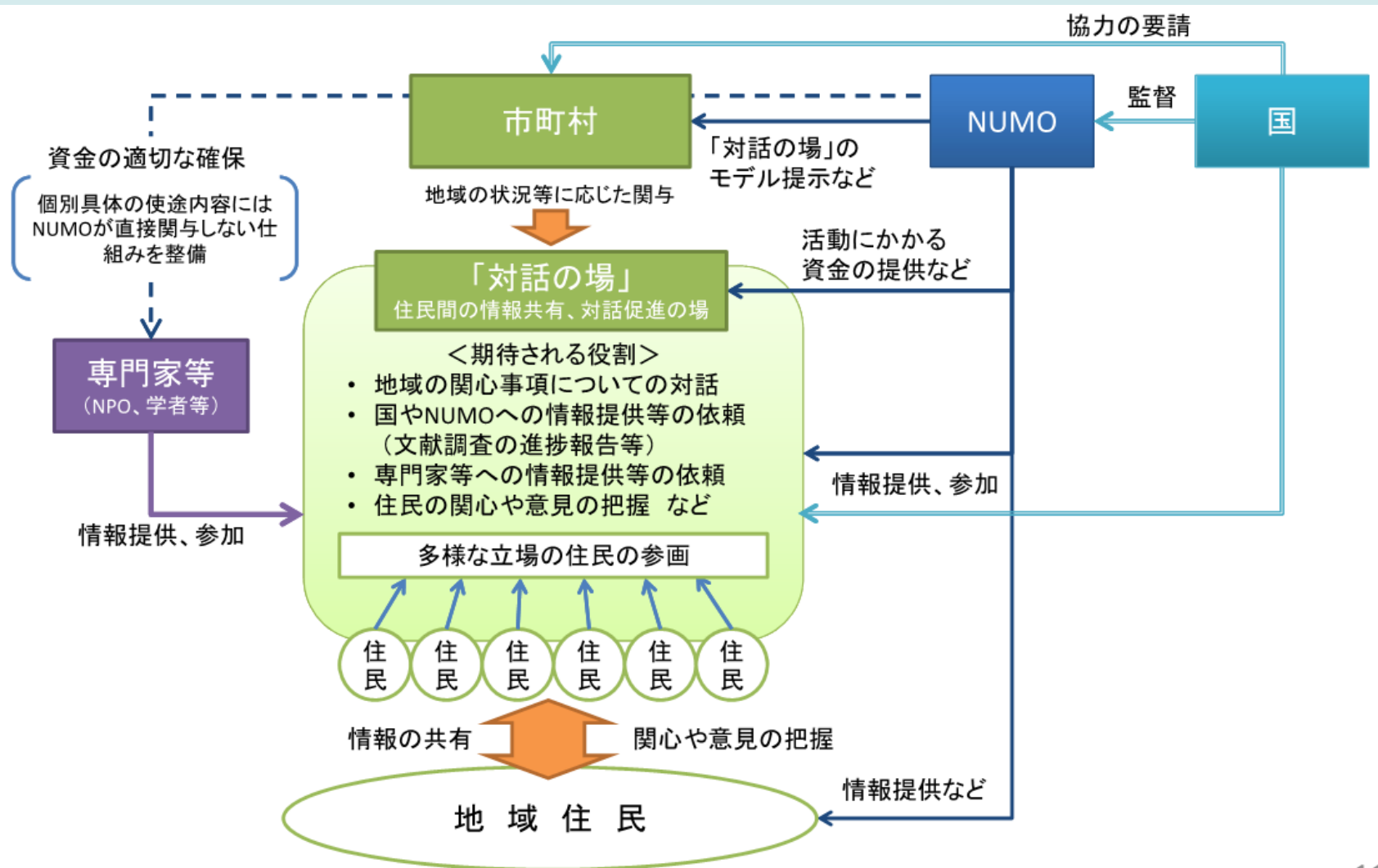
- 地域の主体的な合意形成に向け、多様な住民が参加する「対話の場」を設置し活動を支援
- 地域の持続的な発展を支援する総合的政策

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

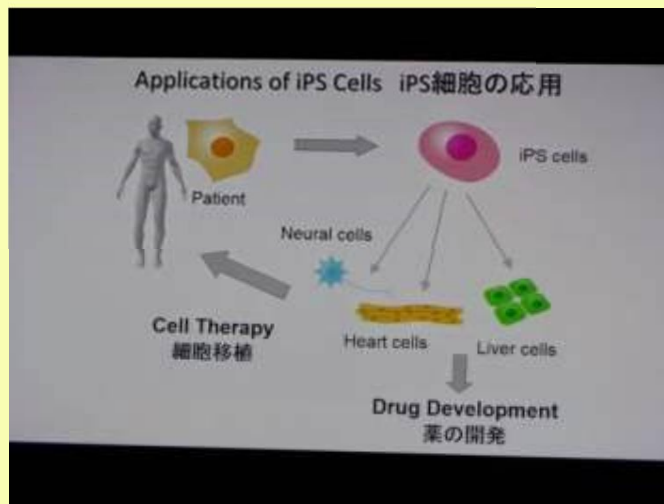




NHK連続ドラマ マッサン

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
ー技術者は自然環境(水と霧)の面で
ー経営者(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



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。」

HOW? (どうするの?)

社会への定着(社会の信認)に向けて(大きな課題)

社会が政策や事業に信頼を寄せることができるかが鍵

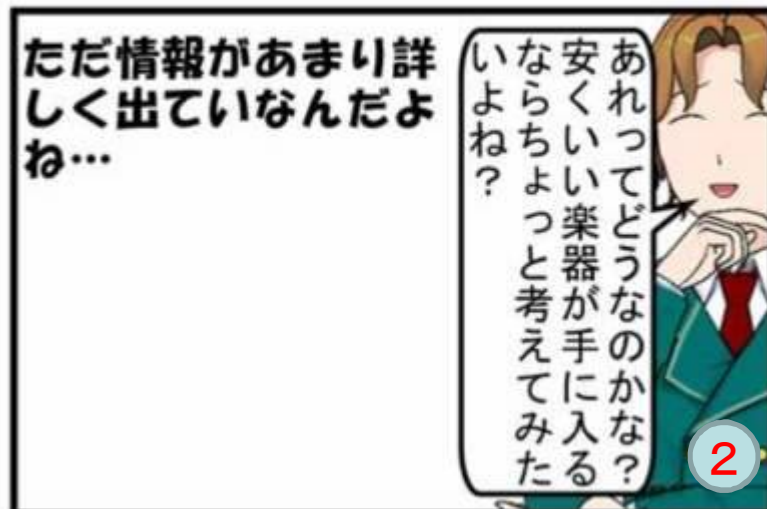
高レベル放射性廃棄物問題とは

- 今までの産業技術開発では経験に乏しい将来の長い時間や深い地下を利用した新たな科学技術を社会が利用する試みー「**21世紀型の新技術ートランス・サイエンス**」に対する**国民や地域社会の不安**
- 国民や地域社会の理解の醸成と不安の緩和のために国内外における最新の社会科学分野の進展を取り入れるなど特段の配慮が不可欠

- 高レベル放射性廃棄物についての情報が一部の専門家に偏っている(**情報の非対称性**)
→ どのようにして知識を共有するの?
→ 地層処分技術は「信頼(confidence)」できるの?
- 最終処分地選定は生活に身近か →
社会が政策・事業に「信頼(trusty)」を寄せられるか?
- 信頼を寄せるカギ → 「市民の参加」にあるのか?
政府・実施主体のガバナンスか?

日本原子力学会シニアネットワーク連絡会提言(2013年12月)より 41

アカロフのレモン市場

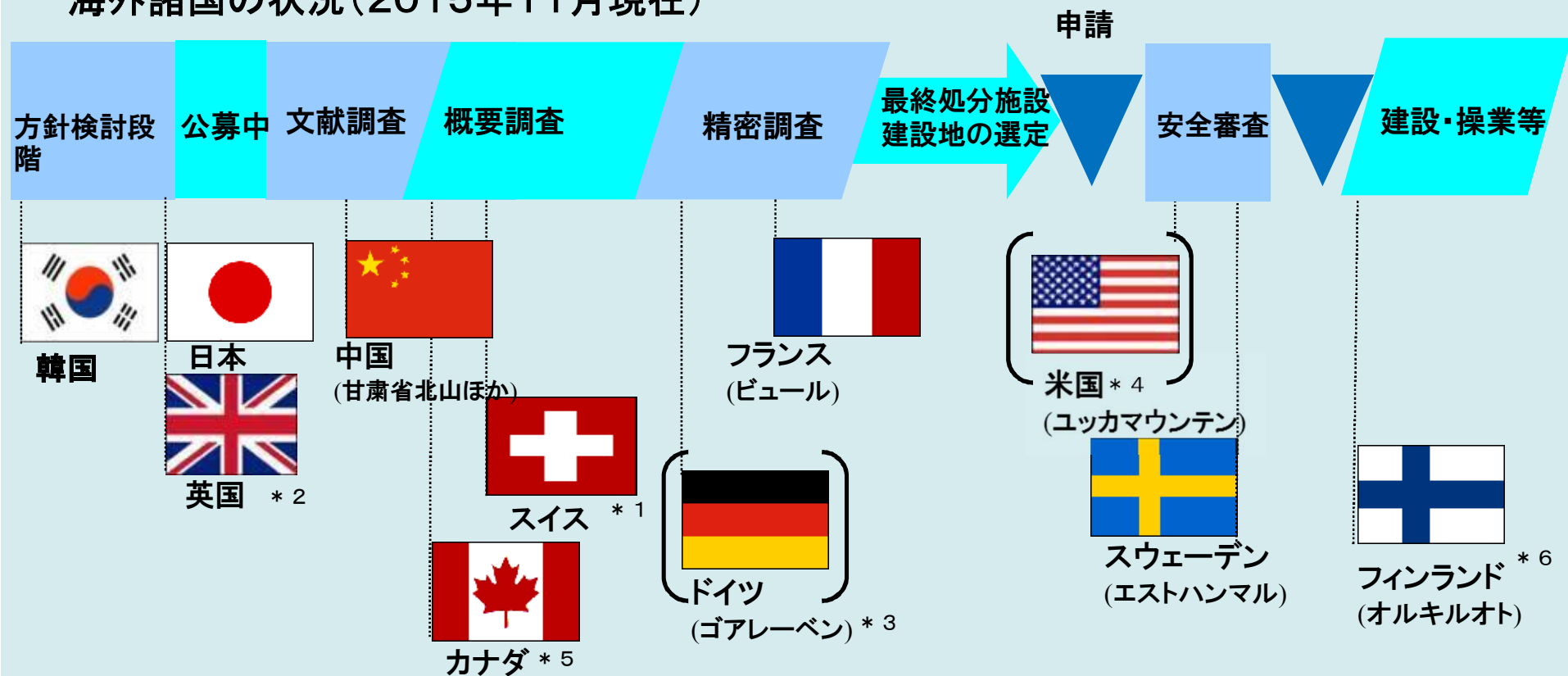


情報の非対称性について



参考

海外諸国の状況(2015年11月現在)



- * 1 : チューリッヒ北東部など3つの候補サイト地域で地質学的候補地域選定に向けた調査が進展
- * 2 : 放射性廃棄物管理会社が地質学的スクリーニング基準案の公開協議開始
- * 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」が成立、2014年同法に基づく高レベル放射性廃棄物処分委員会を設置
- * 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
- * 5 : 第3段階を実施してきた21自治体中、9自治体が第3段階第2フェーズ（現地調査）中

対話イン八戸工大2015@坪谷 * 6 : 2015年11月、フィンランド政府が最終処分場の建設許可発給

海外の最終処分地選定に向けた事例ースウェーデン(建設地決定)

- 1983 スウェーデン核燃料管理会社(SKB)が地層処分概念KBS-3開発
- 1984 SKBのミッションに地層処分事業の実施・研究主体の役割を追加した新SKB設立
SKBはそれまで全国で実施されていたボーリング調査を中止
新たに制定された原子力活動法にもとづき政府が承認する「研究開発実証プログラム」で処分地選定
- 1985 環境大臣のもとに政府などに権威のある助言をする機関として放射性廃棄物国家協議会KASAM設置
- 1986 SKBは、オスカーシャム自治体にエスポ岩盤研究所(HRL)計画を公表
- 1990 HRL建設・研究開始
- 1992 公募もしくは申し入れによる「フィージビリティ調査」(日本の文献調査に相当)を実施
- 1993 **公募に応じた2地点で調査終了後、住民投票(地方自治体法)で調査継続否決**
法令上の規定はないが、SKBは自治体の了承が得られない限り調査は中止
- 1995 原子力施設立地関連自治体に調査申し入れ。6自治体(オスカーシャム、エストハンメル、ティーエルブ)が 受け入れ、
フィージビリティ調査開始。**後述するEIA協議に先立ち県域執行機関の主催で
フィージビリティ調査結果、公衆への情報提供、近隣自治体の見解を得るため県域を対象とした
非公式EIA協議を実施**
原子力施設を有するオスカーシャム自治体などは民力開発プロジェクト(LKO)で養成した専門家を
中心とした体制のもとに自治体、住民が参加する説明会、討論会を開催、フィージビリティ調査のレビュー
- 1996 政府は放射性廃棄物調整官の主催で地層処分の選択、最終処分地選定手続き、環境影響報告書 の内容などについて
全国を対象とした非公式EIA協議を開始
- 2000 SKBは調査結果をもとに3地域を「概要調査地区」に選定し、政府承認(2001年)
- 2001 ティーエルブ自治体議会が概要調査の実施を否決。SKBは調査を中止
他の2地点の自治体議会は受け入れ決定
- 2002 **環境法典にもとづきSKBは環境影響評価(EIA)協議(国の県域執行機関、SKB、安全規制機関、環境防護機関、
関係自治体、個人ステークホルダー、地元環境団体が参加)を組織**
- 2006 SKBがオスカーシャム自治体に既設の使用済み燃料中間貯蔵施設CLABに隣接してキャニスター封入 施設を申請
- 2009 地層処分施設候補地としてエストハンメル自治体のフォルシュマルクを選定
(可逆性:地層処分場の立地・建設について政府は許可決定までは地方自治法で自治体の拒否権を担保)
- 2011 SKBが、処分場立地・建設の許可申請書を提出(3月)

海外の最終処分地選定に向けた事例－英国（方針検討段階）

- 1979 地層処分研究用のボーリング（反対運動で1981年に中止）
- 1994 最終処分実施・研究主体（Nirex）による中低レベル放射性廃棄物の最終処分予定地での岩盤特性調査施設（RCF）の建設申請が建設計画地であるカンブリア州評議会から拒否
- 1997 Nirexは拒否を不当として政府に提訴したが環境大臣が計画を拒否。
- 1999 上院 ‘openness and transparency in decision making are necessary in order to gain public trust’ and mechanisms to include the public in decision making would be necessary’ とする調査報告書を公表
- 2002 放射性廃棄物政策当局の環境・食料・農村地域省（DEFRA）^{（注）}が公衆の参加、研究開発、体制整備を含む段階的な放射性廃棄物管理の仕組み作り（レビュー・プロセス）案を公表・意見募集
- 2003 DEFRAは、レビュー・プロセスを監督し政府に勧告する責任を有する独立組織として放射性廃棄物管理委員会（CoRWM）を設置。委員長は公募。技術評価プログラム、公衆・ステークホルダー参画（engagement）（PSE）プログラムを立ち上げ。PSEプログラムは放射性廃棄物管理方法の政府への勧告作りの全過程で公衆・ステークホルダー参画を保証
- 2006 地層処分を選択するCoRWM勧告。
PSEプログラムは、勧告案に対する国民の信頼の状況から英国における国民の意思決定で取られた最も広範で意志決定に重要な役割（CoRWM報告書）
- 2008 政府が白書を公表。白書で最終処分実施主体としてNirexを取り込んだ原子力廃止機関（NDA）、CoRWMの存続、最終処分地は公募とパートナーシップで選定など。最終処分地選定手順は日本の精密調査に相当する段階まで6段階。第1段階は自治体からの「関心表明」（第5段階までは辞退可能）
- 2009 カンブリア州のコーブランドおよびアラデル市、カンブリア州が政府に「関心表明」
- 2010 「関心表明」地域の初期スクリーニング（文献調査）を実施
- 2013 2市の意向に反しカンブリア州議会が第4段階（机上調査）に進まないことを可決
- 2014 実施主体として放射性廃棄物管理会社（RWM）をNDAの子会社として設立（4月）。DECCが最終処分地選定方法などの改善策として英国全土（除くスコットランド）における地質学的スクリーニングの実施、地層処分施設を「国家的に重要な社会基盤プロジェクト（NSIP）」とする法改正、自治体との協同プロセスなどを求める白書を公表（7月）。
- 2015 「2015年社会基盤計画（放射性廃棄物地層処分施設）令」を制定
9月 原子力規制局およびイングランド環境機関が、地層処分の実施に向けた計画策定、研究開発、組織体制等RWMの活動全般についてのレビュー報告書を公表

（注）放射性廃棄物政策は2008年新設のエネルギー・気候変動省（DECC）に移管

学生諸君と高レベル放射性廃棄物処分を考える



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

— 終 —

ご清聴ありがとうございました

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