

放射性廃棄物の処理・処分に関する原子力安全マネージメント学

特任教授 中山真一

日本原子力研究開発機構福島研究開発部門副部門長

令和3年1月13日

(安全研究・防災支援部門企画調整室次長 山口徹治が講演を代行)

- 今後の原子力利用がどうなるかにかかわらず、すでに発生している放射性廃棄物の処分を安全に行うことが必要
- 数万年を超える長期にわたり安全を確保する必要があり、処分場の操業中の原子力施設としての安全を確保しながら、超長期の安全を確保するために受動的な安全系に~~移行していく必要がある~~期待することを考えているし、技術的には期待できることが示されてきた。
- 放射性廃棄物の処分では、社会的合意が重視されるが、一度の合意ですべて決まりではなく、段階的な意思決定プロセス、決定の可逆性(reversibility)、廃棄物の回収可能性(retrievability)のような概念が重視される。

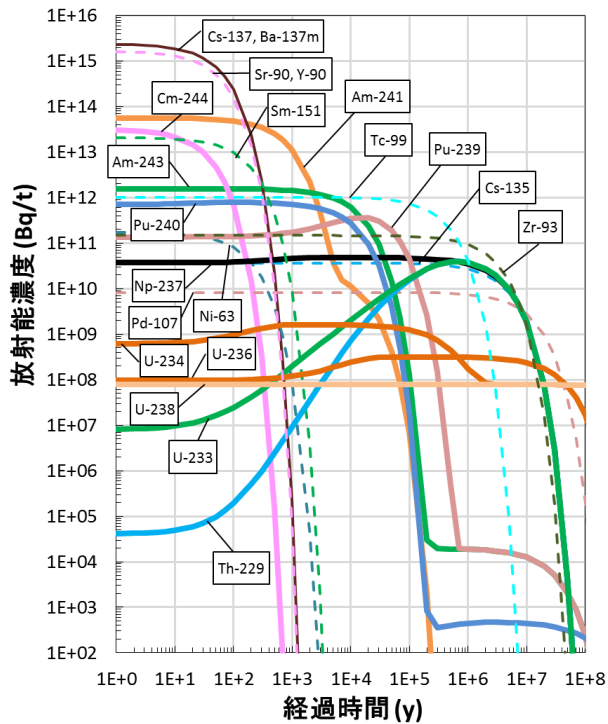
放射性廃棄物の処理・処分に関する原子力安全管理学講座においては上記のような特徴を有する高レベル放射性廃棄物処分に関する安全と、それを確保するための国の関与(安全規制)のありかたを研究・教育する。

発生場所	種類		発生量	
再処理工場	高レベル放射性廃棄物		0.7万m ³ (ガラス固化体4万本； 2020年分まで)	
MOX燃料成型加工工場	低レベル放射性廃棄物	TRU廃棄物	5.6万m ³ (2040年頃までに)	
原子力発電所		発電所廃棄物	炉内等廃棄物	8,000トン (3,200 m ³) (57プラントの解体)
			低レベル放射性廃棄物	6万 m ³ (2017年8月実績)
			極低レベル放射性廃棄物	0.3-1万m ³ / 炉
ウラン濃縮工場・ウラン燃料成型加工工場	ウラン廃棄物		12万m ³ (2030年頃までに)	
研究所・病院等	研究施設等廃棄物		10.3万m ³ (2048年までに)	
原子力施設の運転・解体	クリアランス相当 (放射性廃棄物として扱う必要がない)		13 (ガス炉) - 53 (軽水炉) 万トン/炉	
産業廃棄物 (H28年度)	発生量 : 3億8,703万トン		最終処分量 : 3%	
一般廃棄物 (H28年度)	発生量 : 4,317万トン		最終処分量 : 10%	

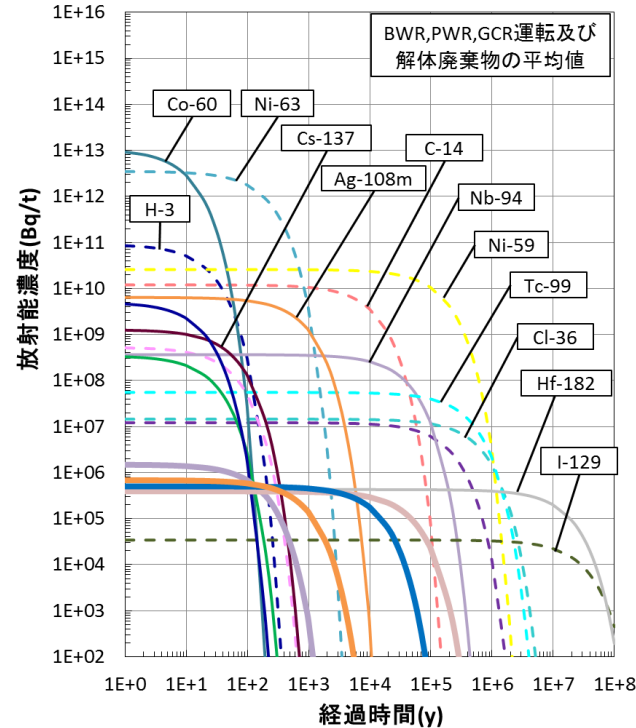
このデータは古いので、²引用年を記載しておいては？

放射性廃棄物の放射能濃度の時間変化

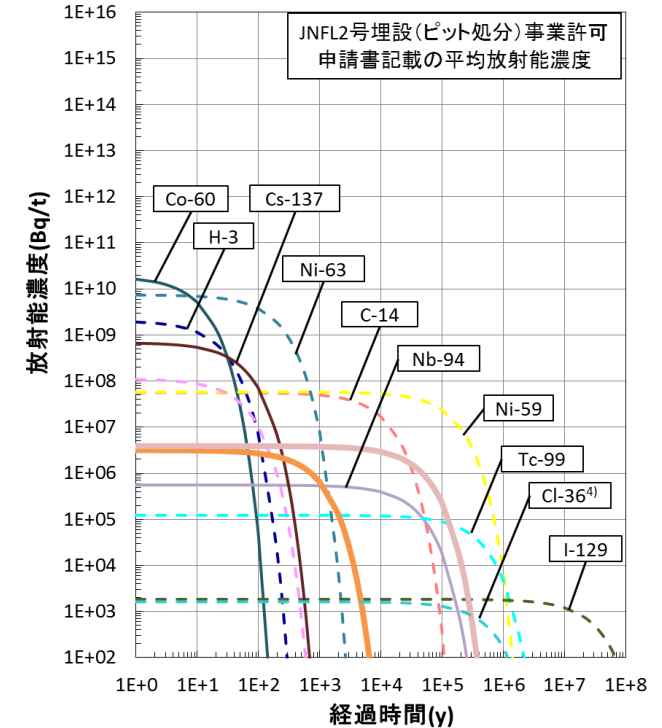
地層処分対象
高レベル放射性廃棄物(HLW)



中深度処分対象
L1廃棄物



ピット処分対象
L2廃棄物



1. 地下深部は物質を閉じ込める能力がある。

【地下深部が有する特徴】

- ✓ 地表に比べ人間活動や自然現象の影響を受けにくい
- ✓ 還元性の環境にあり、腐食や溶解が進みにくい
- ✓ 物質を動かす媒体となりうる地下水の動きが極めて遅い
 - 地下水が放射性廃棄物に触れにくく、
 - 触れても溶け出しにくく、
 - 溶けたとしてもその場所から動きにくく、
 - 動いたとしても人間の生活環境に届きにくく、
 - その間の放射能減衰により、人間の生活環境への影響を十分小さくする



2. 超長期間の制度的管理は不可能。安定な環境として深地層を利用することにより、長期にわたる受動的な安全系（passive safety system）の構成が可能である。

3. 現実的に実施可能である。

主な経緯

- 2002年12月 高レベル放射性廃棄物処分場調査候補地の公募開始
- 2006年8月～ 町内にて勉強会・説明会を実施
- 2007年1月25日 東洋町が全国初の応募。原子力発電環境整備機構(NUMO)は申し出を受理
- 同3月28日 応募に伴う事業計画変更許可(19年度から文献調査開始可能)
- 同4月5日 民意を問うために町長が辞職し、出直し選挙への出馬を表明。
- 同4月22日 出直し町長選挙において、反対立場候補が当選(1,821票:761票)
- 同4月23日 東洋町が応募取り下げ
- 同4月26日 応募取り下げに伴う事業計画変更許可(文献調査取りやめ)



人口 3,578人 面積 74.09 km²

特廃法第四条第2項第五号

「当該概要調査地区等の所在地を管轄する都道府県知事及び市町村長の意見を聴き、これを十分に尊重しなければならない。」

段階的なサイト選定プロセス

「特定放射性廃棄物の最終処分に関する法律」(“特廃法”)

段階的選定: 概要調査地区の選定 → 精密調査地区の選定 → 最終処分施設建設地の選定

概要調査地区の選定【特廃法第六条】(平成10年代後半)

地質図など既存の文献を調査し(「文献調査」)、

- 地震等の自然現象による地層の著しい変動の記録がないこと
- 将来にわたって、地層の著しい変動が生ずるおそれが少ないと見込まれることをクリアーした場所は次の段階「概要調査」へ。

精密調査地区の選定【特廃法第七条】(平成20年代前半)

地表調査やボーリング調査などを行い(「概要調査」)、

- 地震等の自然現象による地層の著しい変動が長期間生じていないこと
- 坑道の掘削に支障のないものであること
- 地下水流が坑道その他の地下施設に悪影響を及ぼすおそれが少ないと見込まれることをクリアーした場所は次の段階「精密調査」へ。

最終処分施設建設地の選定【特廃法第八条】(平成30年代後半)

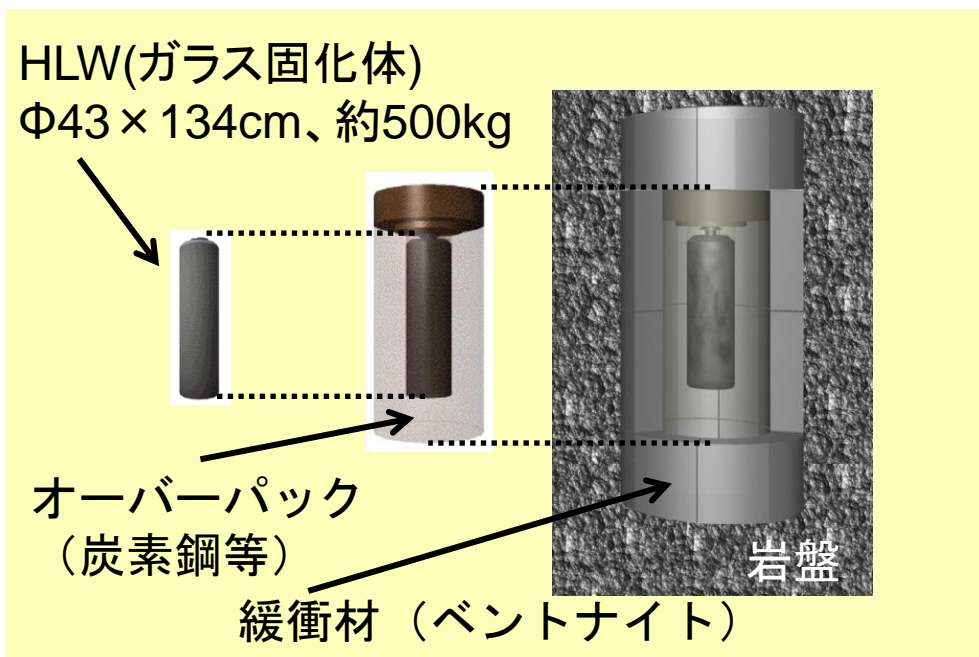
地下孔を掘削して地下の様子を調べ(「精密調査」)、

- 地下施設が異常な圧力を受けるおそれがない
 - 地層の物理的・化学的性質が処分施設の設置に適している
 - 地下施設が異常な腐食作用を受けるおそれがない
 - 地層内にある地下水又はその水流が地下施設の機能に障害を及ぼすおそれがない
- をクリアーすれば「最終処分施設建設地」。

- 2010年5月 カナダ核燃料廃棄物管理機関(NWMO)は、9つの段階で構成されるサイト選定プロセスを含むサイト選定計画の最終版『連携して進む:カナダの使用済燃料の地層処分場選定プロセス』を公表するとともに、プロセスの第1段階を開始
- 2012年9月 21の自治体または地域がプロセスに参加し、多くの関心表明が寄せられたことから、NWMOはサイト選定計画への関心表明の受付を一時中断
- 2015年10月 全21自治体で第3段階第1フェーズの調査(机上調査)が完了し、11自治体が第2フェーズに進む結果に。2自治体は立地見通しが低いと判断され9自治体で現地調査が順次実施されている。
- 2017年6月 NWMO 第3段階フェーズ2(現地調査)に進んでいた9地点から2地点を除外。
- 2018年3月 カナダ深地層処分場建設計画、NWMOは第3段階フェーズ2(現地調査)を行っていた7地点から2地点(オンタリオ州のブラインドリバーとエリオットレイク)を除外。候補地を5地点に絞り込んだ(イグナス、ヒューロン=キンロス、サウスブルース、ホーンペイン、マニトウェッジ)。最も好ましい1地点を2023年までに決定する。その後詳細な特性調査、許認可取得、建設を経て2040 - 2045年に操業開始の見通し。
- 2019年9月 イグナスで2本目のボーリング作業が完了。

■ 高レベル廃棄物(HLW) :

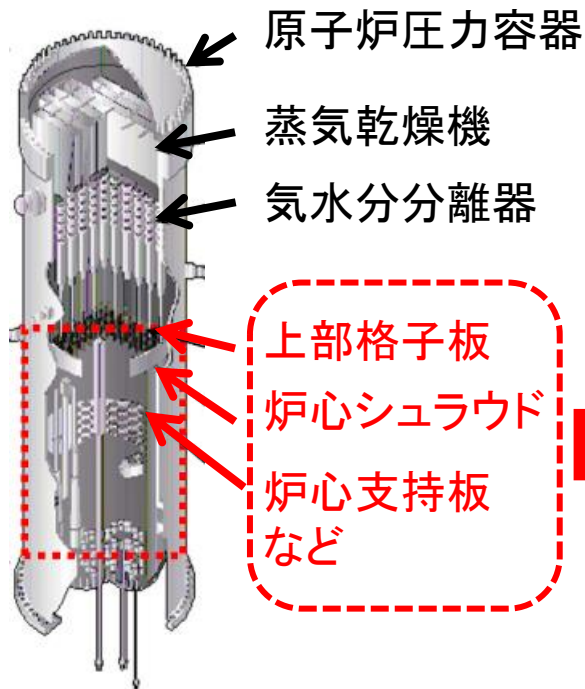
- 使用済燃料を再処理(UとPuを取り出す)する際に発生する高レベル放射性廃液をガラス固化したもの(50年程度冷ます)
- オーバーパックや緩衝材などの「人工バリア」で覆い、300mよりも深い地下に処分:地層処分



NUMOパンフレットより引用

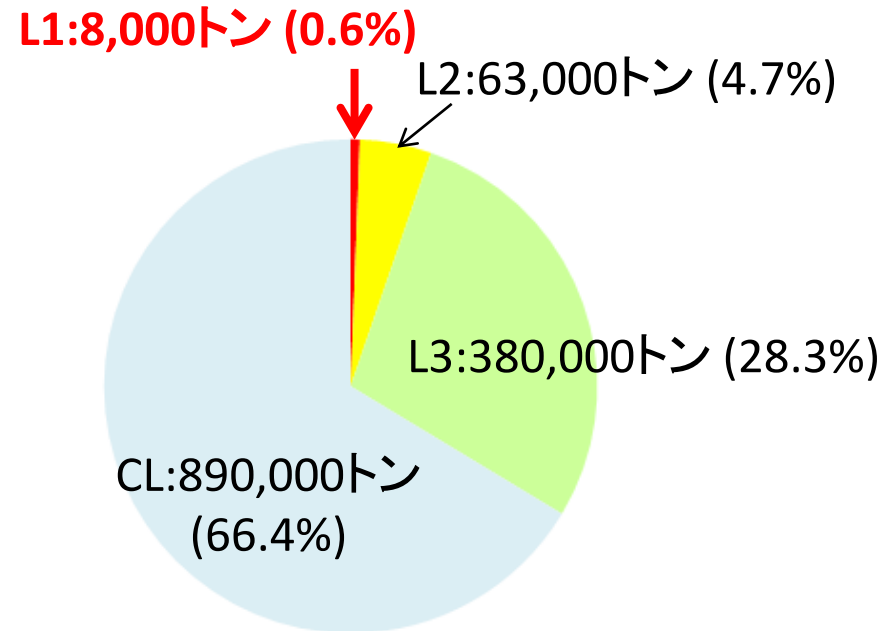
地層処分と中深度処分(2)

■ 放射能濃度が比較的高い 低レベル廃棄物



炉内構造物の例(BWR)

中深度処分の
対象廃棄物
(L1)



(57プラント 総量:約1,341,000トン)

- 放射能濃度の比較的高いもの(L1)
- 放射能濃度の比較的低いもの(L2)
- 放射能濃度の極めて低いもの(L3)
- 放射性物質として扱う必要のないもの(CL)

発電用原子炉施設の廃止措置に伴い発生する
放射性廃棄物の推定量

放射性物質として扱う
必要のないもの

低レベル放射性廃棄物

高レベル
放射性廃棄物

再利用
再使用

産廃
処分場

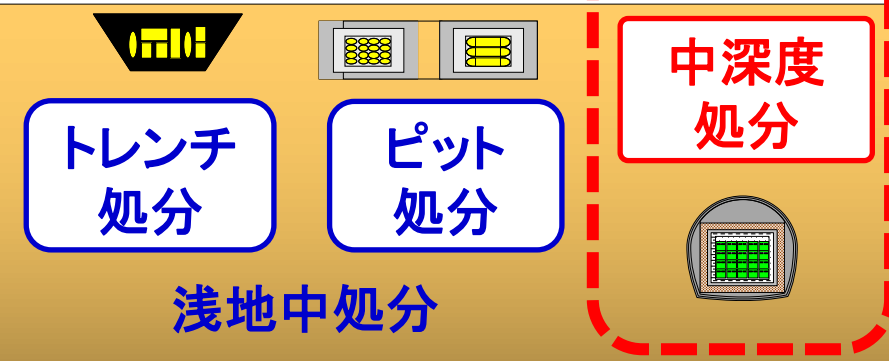
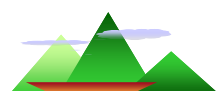
放射能濃度
が極めて
低いもの

放射能濃度
が比較的
低いもの

放射能濃度
が比較的
高いもの

放射能濃度
が極めて
高いTRU
廃棄物

ガラス
固化体



クリアランスレベル
以下のもの

浅地中処分

第二種廃棄物埋設

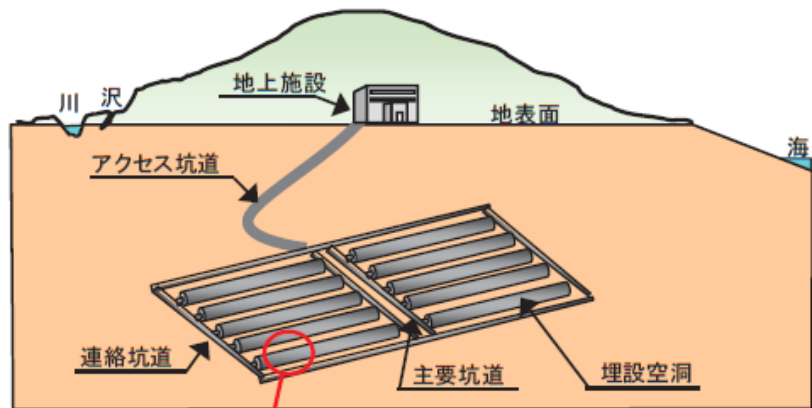
第一種廃棄物埋設

地層処分

70m

300m

■ 実施主体及びサイトは未定



空洞充てん材 底部・側部:鉄筋コンクリート、上部:ベントナイト混合土

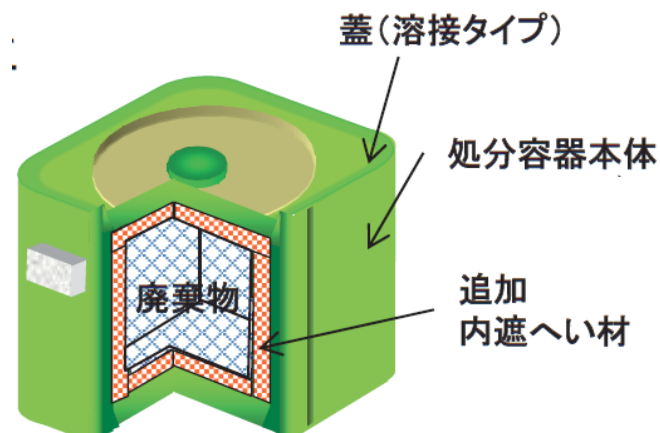
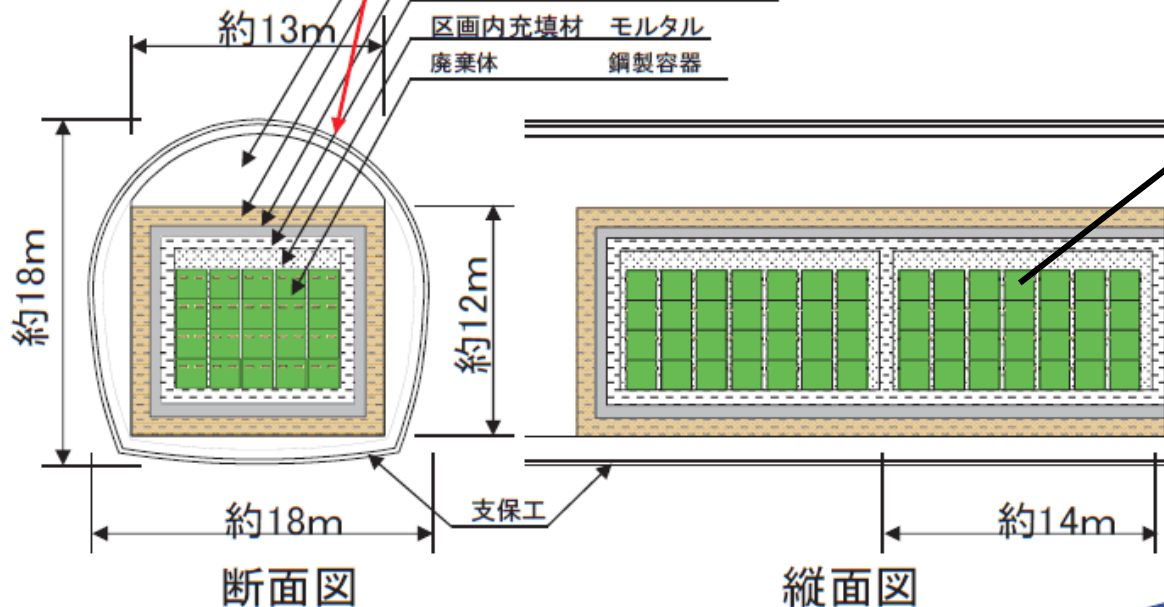
低透水層 圧縮ベントナイト

低拡散層 モルタル

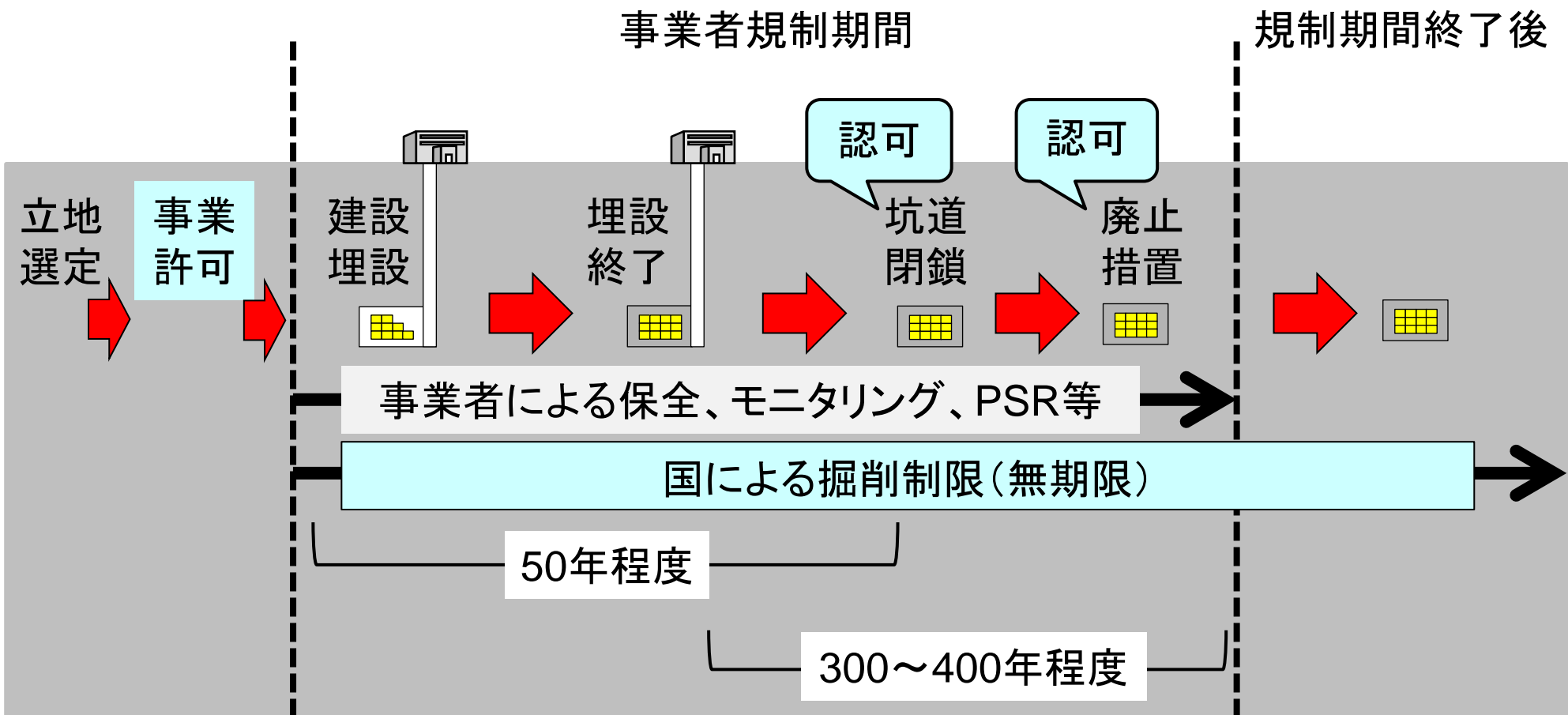
コンクリートピット 鉄筋コンクリート

区画内充填材 モルタル

廃棄体 鋼製容器



外容器: 圧延鋼板溶接(肉厚5cm)
 外寸法: 縦1.6m × 横1.6m × 高1.6m(or1.2m)
 外容積: 約4m³ (or約3m³)
 最大重量: 約28トン(内部充填要否検討中)



- 廃棄物処分のリスクレベルは年間死亡リスクで 10^{-5} 以下に
 - 確実に生じると考えられる「通常被ばく」
 - 確実とは言えないが生じるおそれのある「潜在被ばく」

- 「通常被ばく」の公衆の線量基準
 - 将来いくつかの施設が隣接されるか分からないが、3つ重畳しても線量限度 1mSv/y を超えないよう、1施設 0.3mSv/y の線量拘束値

- 「潜在被ばく」の公衆の線量基準
 - 1mSv/y より大きくてよい
 - 通常被ばくに比べて発生確率又は年当たりの発生頻度が「少なくとも桁で違う」なら、 10mSv/y よりも大きくてよい

■ 自然現象に伴う被ばく

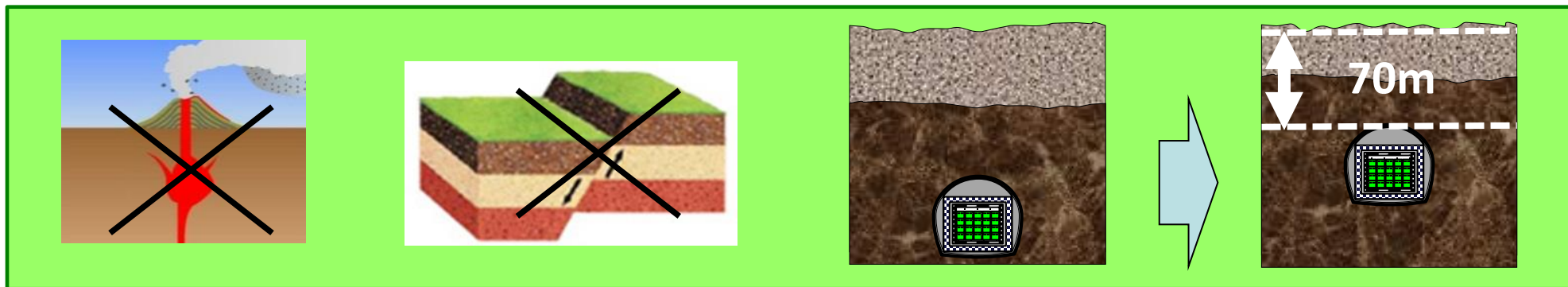
- 埋設した放射性廃棄物を起因とした被ばくは、実際に被ばくするかどうか分からないという意味では「潜在被ばく」。
- ただし、人工バリアはいつかの時点では壊れ、さらにいつかの時点では放射性物質が天然バリアを介して移行して地表のどこかに達するという蓋然性は高いと考えざるを得ない。
- つまり、潜在被ばくといっても、こうした自然現象に伴う被ばくが将来にわたって「起きない」蓋然性は低い。
- 安全設計の思想としては想定される事象と見なし、その被ばくが線量拘束値(0.3mSv/y)以下となることを求める。

■ 偶発的な掘削に伴う被ばく

- 深いところに埋めた廃棄物に対する掘削行為による被ばくは、自然現象とは違い、起こるためにはいくつかの偶然が重なる必要があるため、少なくとも自然現象に伴う被ばくよりも発生の蓋然性は低く、自然現象と同様に起こりやすい事象と見なす必要はない。
- このため、 $10^{-5}/y$ のリスクレベル以下とするための線量基準は $0.3\sim 1\text{mSv}/y$ よりも大きくてよい。

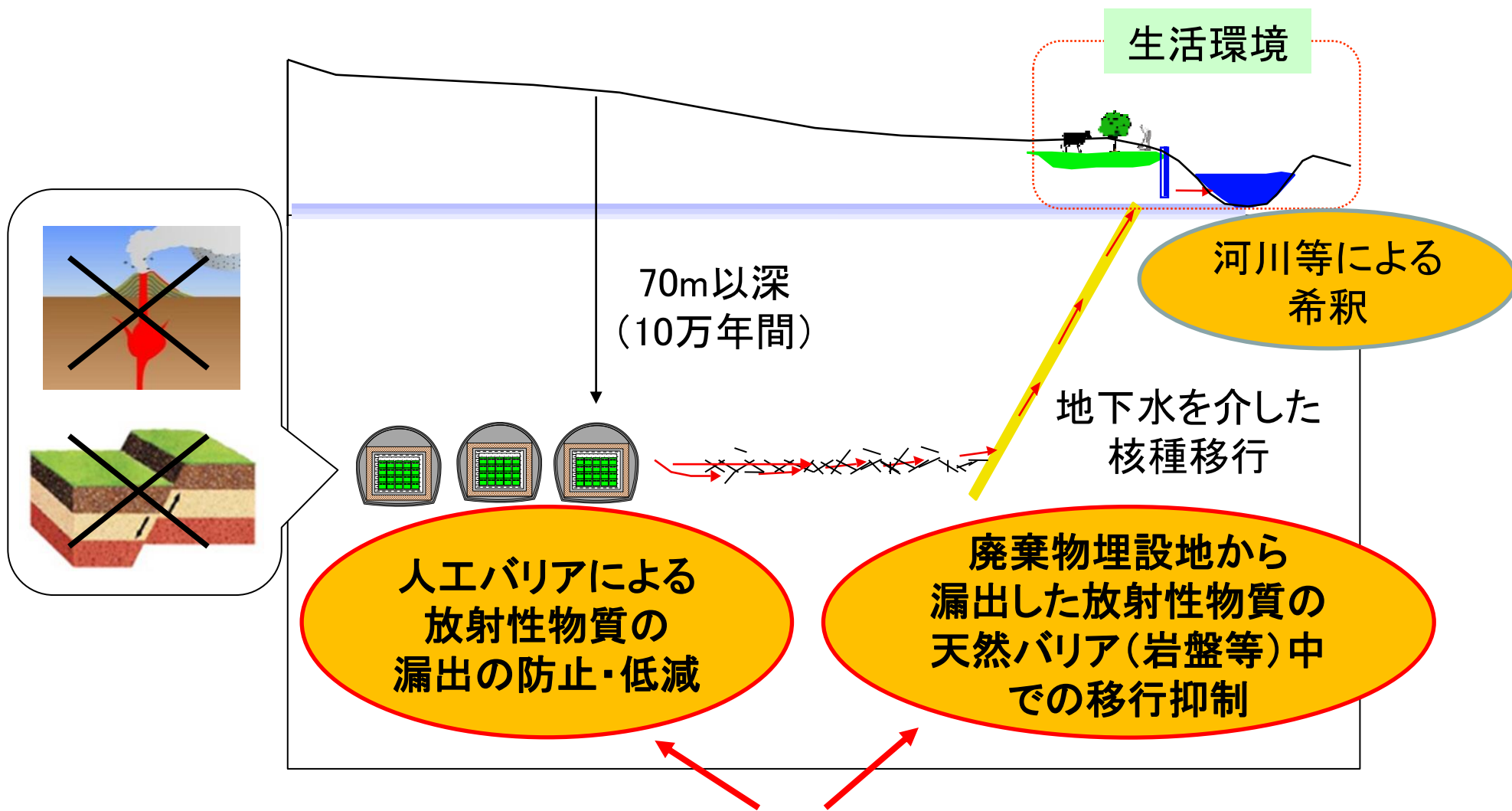
■ 廃棄物埋設地の設置場所に関する基準

- 火山活動及び断層活動が著しい影響を及ぼすおそれがないこと
- 10万年間は侵食作用を考慮しても70m以上の深度を確保すること
- 鉱物資源等の記録がないこと



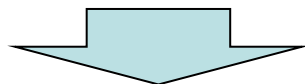
■ 放射性物質の閉じ込めや生活環境への移行の抑制に関する基準

- 規制期間中(300～400年): 廃棄物埋設地の外への漏出を防止
- 規制期間終了後: **合理的な範囲**でできる限り移行を抑制



これらの性能は人工バリアの設計や廃棄物埋設地の設置場所に大きく依存

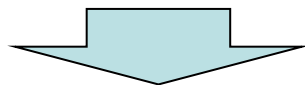
- 中深度処分では、数万年を超える長期間にわたって放射性廃棄物を起因とする放射線による影響から公衆と生活環境を防護する必要があるが、長期的な公衆の線量評価には大きな不確実性がある。



- 処分を行う実施主体は、将来の周辺公衆全体の被ばくの可能性及び線量をできる限り低減するため、生活環境への放射性物質の移行を抑制する性能が、実行可能な範囲内で最も優れたものとなるような設計を行う。
- 規制当局は、その設計が妥当であるかどうか、最新の科学的知見に基づいて審査する。

- 廃棄物埋設地の設計は、規制期間終了後における放射性物質の移行抑制性能が、実行可能な範囲内で最も優れたものであること。
 - ① 人工バリアの候補の選定：
設計時点における国内外の関連技術等を踏まえて、安全機能及び劣化・損傷に対する抵抗性の観点から、優れた設計を選定。
 - ② 廃棄物埋設地の設置場所の候補の選定：
設置可能な範囲内において、放射性物質の移行抑制機能が優れた場所を選定。
 - ③ ①と②を組み合わせた設計の性能の水準：
通常の状態において保守的なパラメータ設定とした公衆の線量評価結果が100マイクロシーベルト／年を超えないこと。
 - ④ 最終的な設計の選定：
③を満たす組み合わせのうち、最も起こる可能性が高いパラメータ設定とした公衆の線量評価結果が最も小さくなる設計を選定。

- この基準の①と②は以下を求めており、通常の規制基準のように「ある値を満足すればO.K」というものではない。
 - BAT (Best Available Technique: 適用可能な最善の技術)
 - ALARA (As low as reasonably achievable: 合理的に達成可能な限り低く)



- 処分の実施主体にも、規制当局にも、広範な知見と高い技術的能力が求められる。
- 双方の十分なコミュニケーションが必要。

- 低レベル放射性廃棄物処分の安全規制との共通点を取り入れながら、高レベル放射性廃棄物地層処分の安全規制を考えていく人材を育成する。
 - ・何年間にわたり、何メートルの深度の確保を求めるのか
 - ・線量評価は何年まで行うのか