

廃棄物処分の長期的な安全確保 に係る論点について (主に安全規制の観点から)

平成30年8月22日

日本原子力研究開発機構 安全研究センター

前田敏克

- 廃棄物処分の安全確保のためには、以下のようなことが必要であり、どれか一つ欠けても処分の実現の妨げになる
 - 適切な立地選定と施設設計及び安全評価
 - 設計どおりの施設の建設・設置
 - 安全管理
 - 合理的な規制基準類、国が講じる措置 など
- 本日は、規制基準類の検討が行われている中深度処分を対象に、千年、万年にわたる長期の安全確保に係る論点について紹介
 - 千年、万年の評価の前提や、最初の数十年や300年といった時間スケールの話
 - 主に安全規制の観点から

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

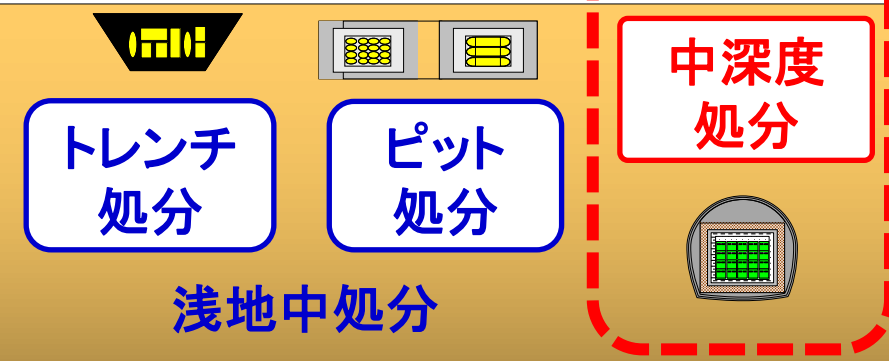
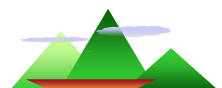
放射能濃度
が極めて
低いもの

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

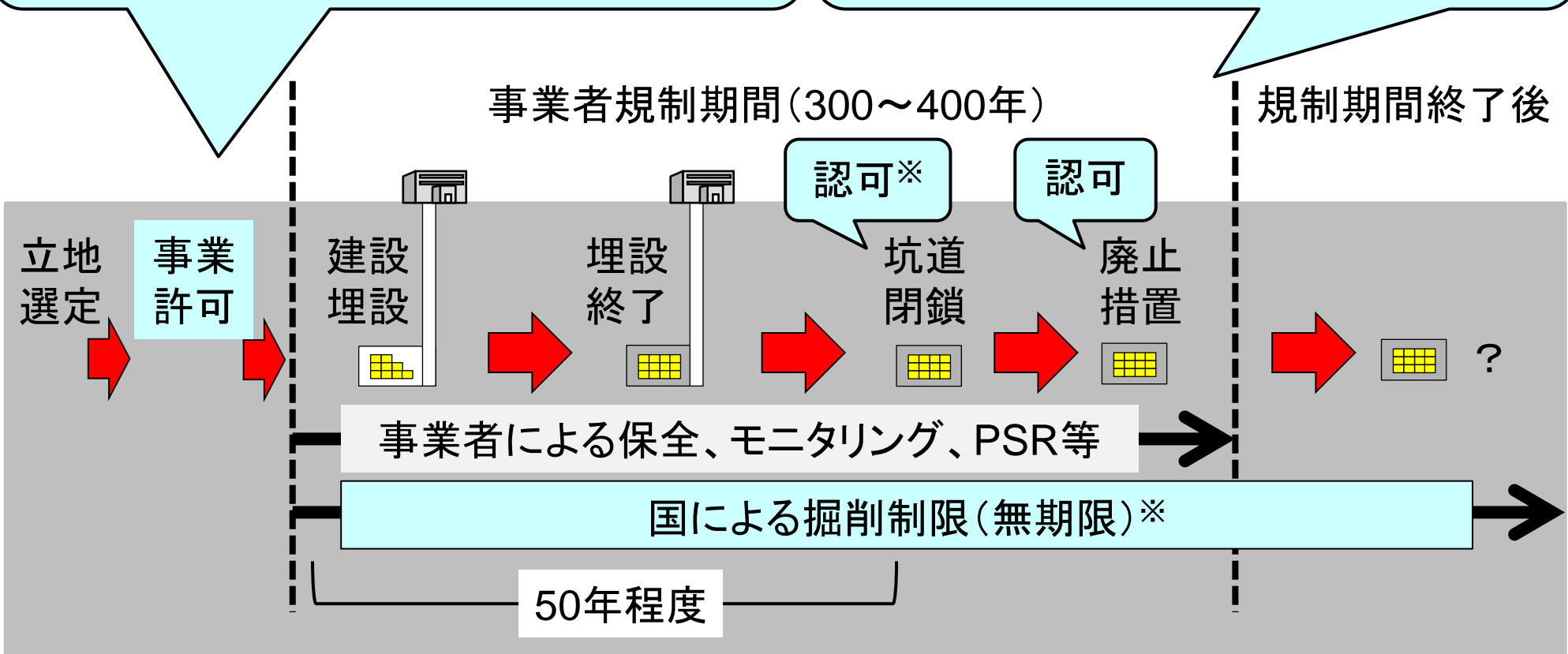
70m

300m

事業者による安全対策の妥当性を確認

- ・安全設計(離隔、閉じ込め、遮蔽)と評価
- ・安全管理

将来、防護上の問題を生じうるような状態に至ることは合理的に想定し得ないことを確認して事業者規制を終了

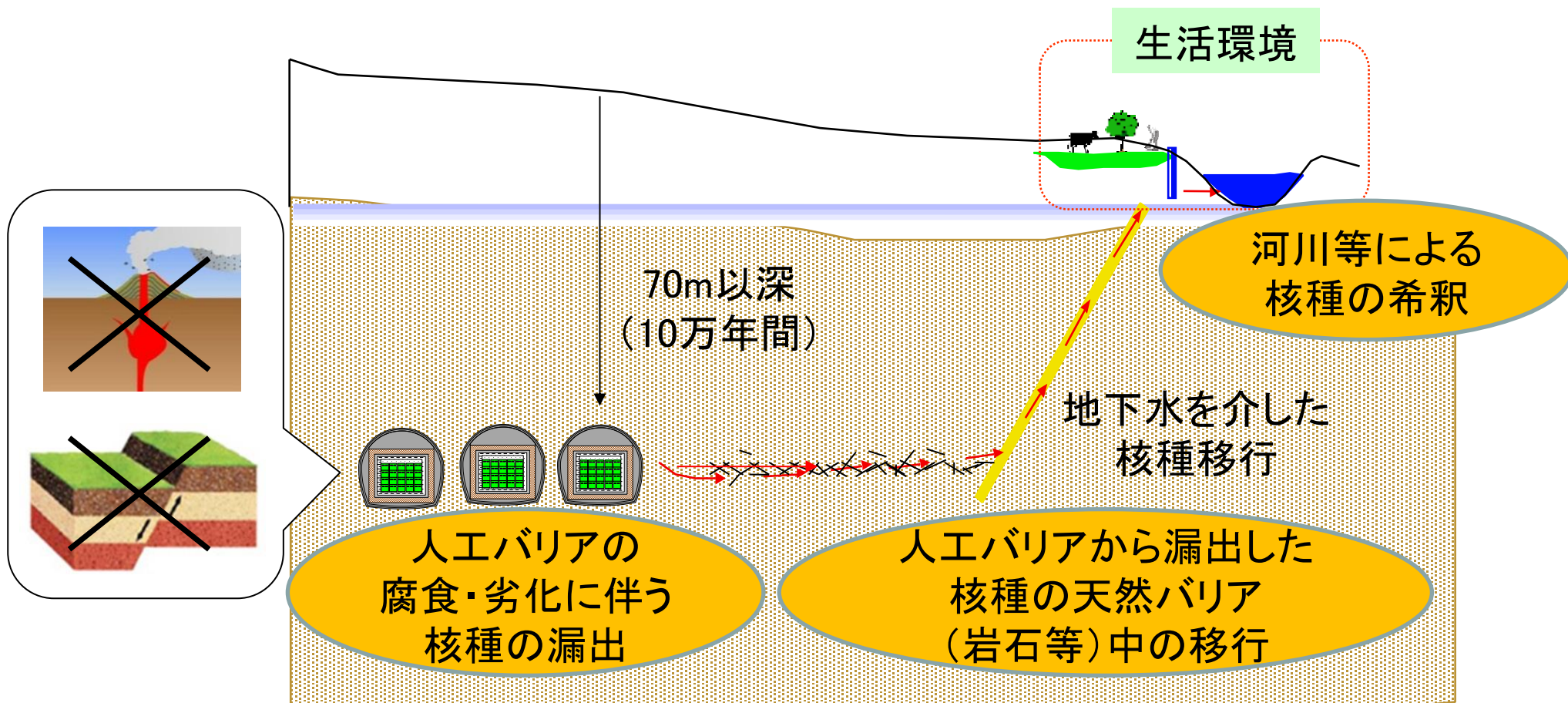


※H29.4の原子炉等規制法の改正により規定

	中深度処分(閉鎖後)	原子炉施設など
ハザード源の状態	<ul style="list-style-type: none"> ・固体、<u>静的な状態</u> ・基本的に<u>制御(電源も)不要</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・<u>高温・高圧</u>、液体・気体状態 ・<u>制御が必要</u>
事業終了後のリスク	<p>長半減期核種が残存するため、適切な処分が行われなければ、<u>数万年を超える長期にわたり人への影響が生じる可能性</u></p>	<p>施設は撤去され、必要に応じ除染が行われてからサイト解放されるため、<u>人への影響は生じない</u></p>
防護対象期間と主な課題	<p>将来にわたって、生活環境への核種の移行を抑制すること → <u>通常被ばくのALARA</u></p>	<p>施設の操業期間中(数十年)、多量の核種放出を防ぐこと → <u>事故の防止</u></p>
管理の主体	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者: 300~400年の管理 ・<u>その後は国による掘削制限と記録保存</u> 	<ul style="list-style-type: none"> ・事業者: 数十年間の管理 ・<u>その後の管理は不要</u>

		中深度処分(閉鎖後)	原子炉施設など
短期的な 多量の 核種放出	内的 事象	— (エネルギーは無い)	故障など
	外的 事象	自然事象 ・火山・断層活動等の <u>地下事象</u>	自然事象 ・火山・断層活動等 ・津波、竜巻、火砕流等の <u>地表事象</u>
		人為事象 ・ <u>偶発的な掘削</u> ・ <u>悪意の人間侵入</u> (ただしリスクは小)	人為事象 ・ <u>航空機落下、近隣火災等</u> ・ <u>テロ・軍事攻撃</u> (標的又は巻き込まれ)
長期的な 核種放出	外的 事象	・ <u>侵食による地表接近</u> ・ <u>地下水を介した核種の 漏出、移行</u>	—

		中深度処分	原子炉施設など
排除要件	対象断層等	<ul style="list-style-type: none"> ・長さ約5km以上の断層(活断層か否かを問わず) ・重力作用により変位した地すべり面 	<ul style="list-style-type: none"> ・活断層(約12~13万年前以降の活動が否定できないもの)
	施設の離隔	<ul style="list-style-type: none"> ・断層長さの1/100以上 ・地すべり面から離す 	<ul style="list-style-type: none"> ・活断層等の露頭がない地盤(Sクラス構築物)
未知の活断層による影響	想定する	<ul style="list-style-type: none"> ・地表に至る地下水流動場の変化 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設直下におけるMw6.5地震による揺れ
	想定しない	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の変位、せん断 	<ul style="list-style-type: none"> ・施設の変位、せん断



人工バリアの閉じ込め性能や、天然バリアの移行遅延特性(核種の吸着など)を考慮して核種移行パラメータを設定し、生活環境への核種の移行量や公衆の被ばく線量を計算

安全評価の前提となる廃棄物の放射能インベントリの確認は可能か？

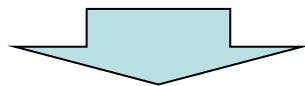
- 遠隔で取扱う必要がある放射能レベルの高い廃棄物や、種々雑多な核種を含む廃棄物のインベントリを処分施設への受入れ時に詳細に確認することは困難
- 廃棄物の発生者(様々な原子力施設の事業者)と処分事業者は別



- 簡便な確認方法(スケーリングファクター法など)が使えない廃棄物の合理的なインベントリ確認手法整備が必要
- 発生する側と処分する側との間で、品質保証のための適切な仕組みの構築が必要

天然バリアの性能はどうやって確認するのか？

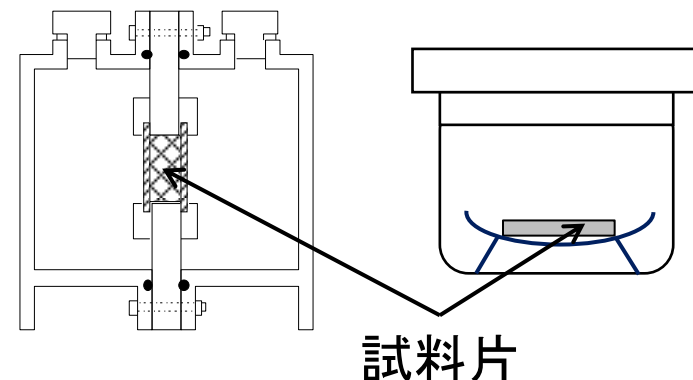
- 岩盤等の天然バリアは、地下の処分施設から漏出した核種の生活圏への移行を遅延・抑制するための重要なバリア
- ただし、調査ボーリングを無数にうてるわけではないので、「見えない」領域が多い
- 安全評価における天然バリアの性能設定が妥当か確認する必要があるが、処分施設の建設時に目視で確認できるのは、ライナー等を設置する前の「壁面部分」



- 建設時に得られる情報から確認・検証できると考えられる内容や、その方法の「見通し」が必要

安全評価のパラメータ設定は現実的か？

- 人工バリアの初期性能パラメータ(溶解速度、透水係数、拡散係数)や、劣化によるパラメータ変化は、小さな均質な試料片を用いた試験で測定されることが多い



- 実スケールでの作製時のバラつきや施工の不均一性等をふまえると、性能設定を1桁とか2桁低めにしておく必要があるかもしれない



- 施工可能性や不均一性、施工状態の確認方法、並びにこれらの品質保証をふまえた、適切な初期パラメータの設定が必要

人工バリアの施工時の状態を性能評価の初期条件としてよいか？

- 例えば、セメント系人工バリアについて、設計・施工時の十分な品質管理や確認が可能なのは、材齢数カ月～数年の状態
 - セメント硬化体の強度は材齢約3カ月で発現することが知られているが、水和反応は数十年にわたって継続するので、物質移行を支配する空隙構造も有意に変化する可能性
 - 同じ材料配合でも、施工方法や養生条件(乾燥状態など)によって硬化体の空隙構造が異なる可能性



- 変化の不確実性が小さくなるような設計に加え、材料設計だけでなく、施工方法や養生条件もセットにした性能評価手法の検討が必要

坑道の閉鎖とその確認は可能か？

- 地上からのアクセス坑道は、ただ埋め戻せば良いわけではなく、核種移行の短絡経路にならないようにしなければならない
- 坑道の壁面には、作業安全のためのセメント製のライナーを設置
 - ・ ライナーの裏面が溶脱して水みち化する可能性
 - ・ 閉鎖の際にライナーを全て取り除くことは困難



- ある間隔でライナーの裏面を含めてプラグする場合、その周囲も含め水みちができていないことを確認するための手法整備が必要

放射線モニタリングは可能か？

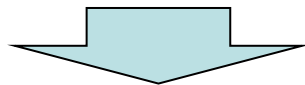
- 地下の処分施設からの放射性物質の異常な漏えいを監視するために、アクセス坑道の閉鎖後においても300年程度のモニタリングが必要
- 以下の要求を満たすには、処分施設近傍で実施する必要があるが、終了後は卓越した水みちにならないよう埋め戻す必要がある
 - ・ 人工バリア及び天然バリアの機能を著しく損なわない
 - ・ 漏えいがあった場合、比較的早期に放射性物質が到達すると考えられる地点を選定



- 埋め戻したモニタリング観測孔が卓越した水みちになっていないことを(遠隔で)確認するための手法整備が必要

事業者の安定性はどうやって担保？

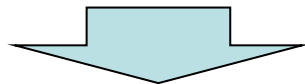
- 原発事業は廃止措置までの間、発電による収入があるのに対し、処分事業は、廃棄物の受け入れを終了した時点から廃止措置までの300～400年間は収入を期待できない
- 処分事業者にはその間、モニタリングや保全措置の義務に加えて、万一の漏えいなど異常時への対応も求められる
- つまり、万一の事態への対応も含めた「技術的能力、経理的基礎、責任」を300年保持しなければならない



- 例えば、資金の確保に関する措置や業務困難な場合等の不測の事態への措置が国により講じられることが必要

地下施設に関する不適合事象についてはどのような措置を講じるのか？

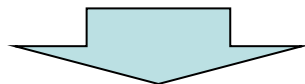
- 中深度処分は「バックフィットルール」ではないが、事業期間中のモニタリングや安全レビューによっていろいろな状況に陥る
 - ・ 異常な漏えいやその徴候が確認された
 - ・ 最新知見により立地基準に適合しなくなった
 - ・ 最新知見により数万年後の線量計算結果が線量拘束値を超えた
 - ・ 線量拘束値そのものが引き下げられ、適合しなくなった



- どの事業段階での、どういう場合に、どのような措置を講じるのか？
について、措置に伴うリスクも考慮した合理的な対応方針について、
事業開始前に明らかにしておくことが必要

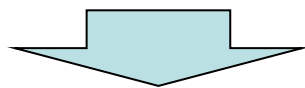
事業終了後に万一のことがあった場合は、誰が対応するのか？

- H29.4の炉規法改正により、地下の処分施設を含む一定の区域の掘削行為を国が無期限に制限
- しかし、事業終了後に、万一異常な漏えい等の徴候があった場合の対応は決まっていない



- 具体的な対処方法はともかく、責任の所在は事業開始前に明らかにしておくことが必要※

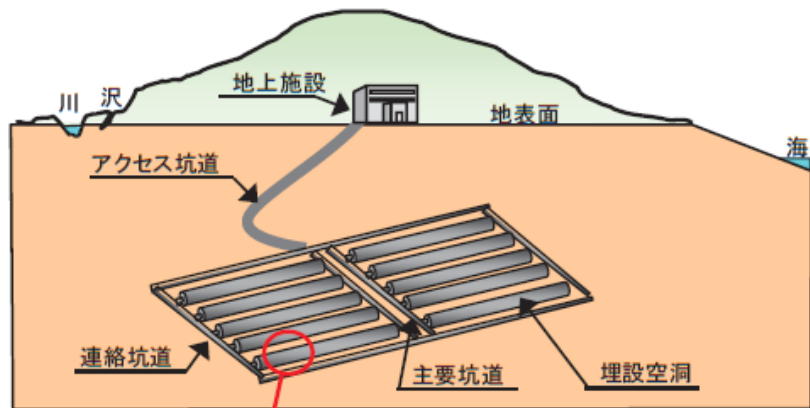
- (自分もそうですが)「300年」と聞くと「短期」と思ってしまう
一般常識からするととてつもなく長い期間、ましてや10万年など...
- 横軸を時間の対数目盛、縦軸を被ばく線量とした安全評価結果は
良く見受けられるが...
 - ・ ある人工バリアの閉じ込め性能を高めても、「数万年後の線量
ピークは下がらないので無意味」といった判断をされがち



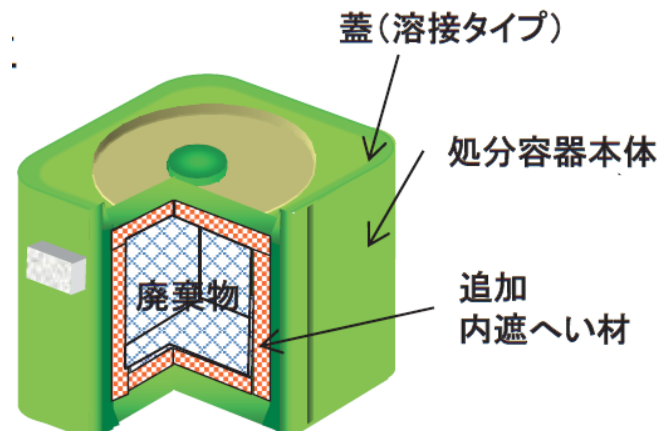
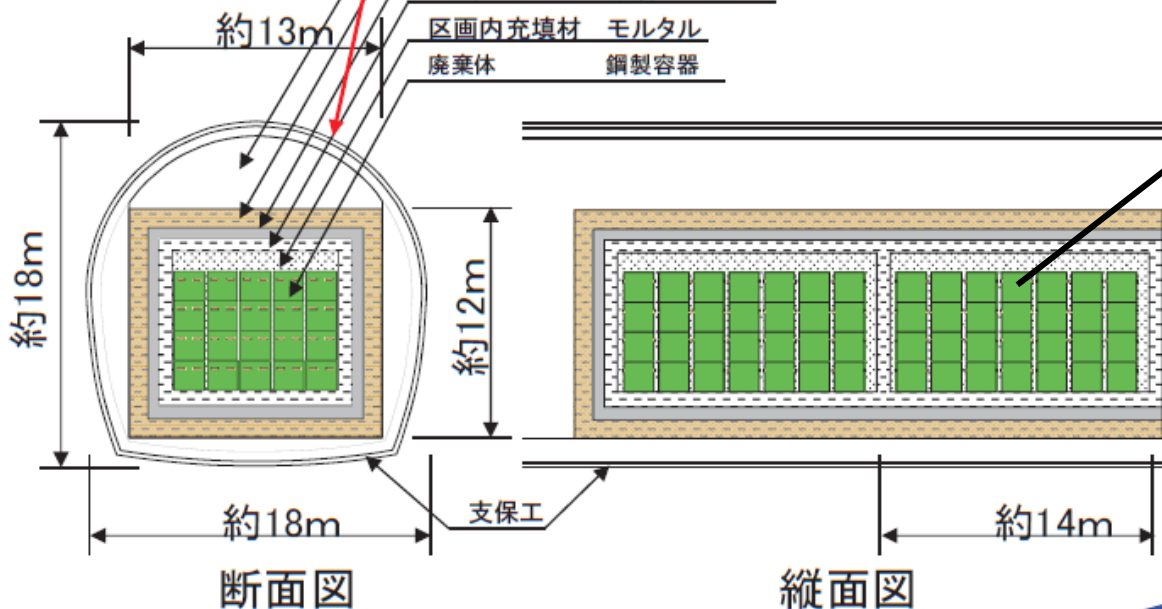
- 数千年あるいは数百年であっても、できるだけ長い期間、処分施設内に放射性核種を閉じ込めておく設計を考えることは重要では？

- 廃棄体や設置した施設の確認、坑道の閉鎖などは後段規制だが、事業許可時点においても、十分な技術的成立性があるという「見通し」を示す必要がある
→ 分野の異なる専門家の早期の技術連携が必要
- 我が国に1つか2つしかできない、サイトの特性に大きく依存する施設なので、申請前段階においても、詳細設計・施工方法、管理方法に関して、事業申請予定者は積極的に規制当局とのコミュニケーションを図るべき
- 見落とししたり想定から外してしまっている大きなリスクはないか？を違った視点から見るために、学会内の部会間で相互理解を図っていくことも有益と考える

以下、参考資料



- 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 (or 1.2m)
 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)

改正原子炉等規制法(H29.4.14公布)に対する衆参の附帯決議※(抜粋)

- 中深度処分を行う第二種廃棄物埋施設については、放射能濃度が比較的高い廃棄物を数百年にも及ぶ長期間取り扱うことから、その間、事業者によって安定的に事業が継続されるよう、当該事業者の体制強化を図る施策の実施も含め、必要な指導・監督を行うこと。
また、事業者による管理終了後に放射性物質の漏えい等が発生した場合においては、国が責任を持ってその対処に当たること。

※国会における附帯決議:

法律の運用や、将来の立法によるその法律の改善についての希望などを表明するもの。法律的な拘束力を有するものではないが、政府はこれを尊重することが求められる。