

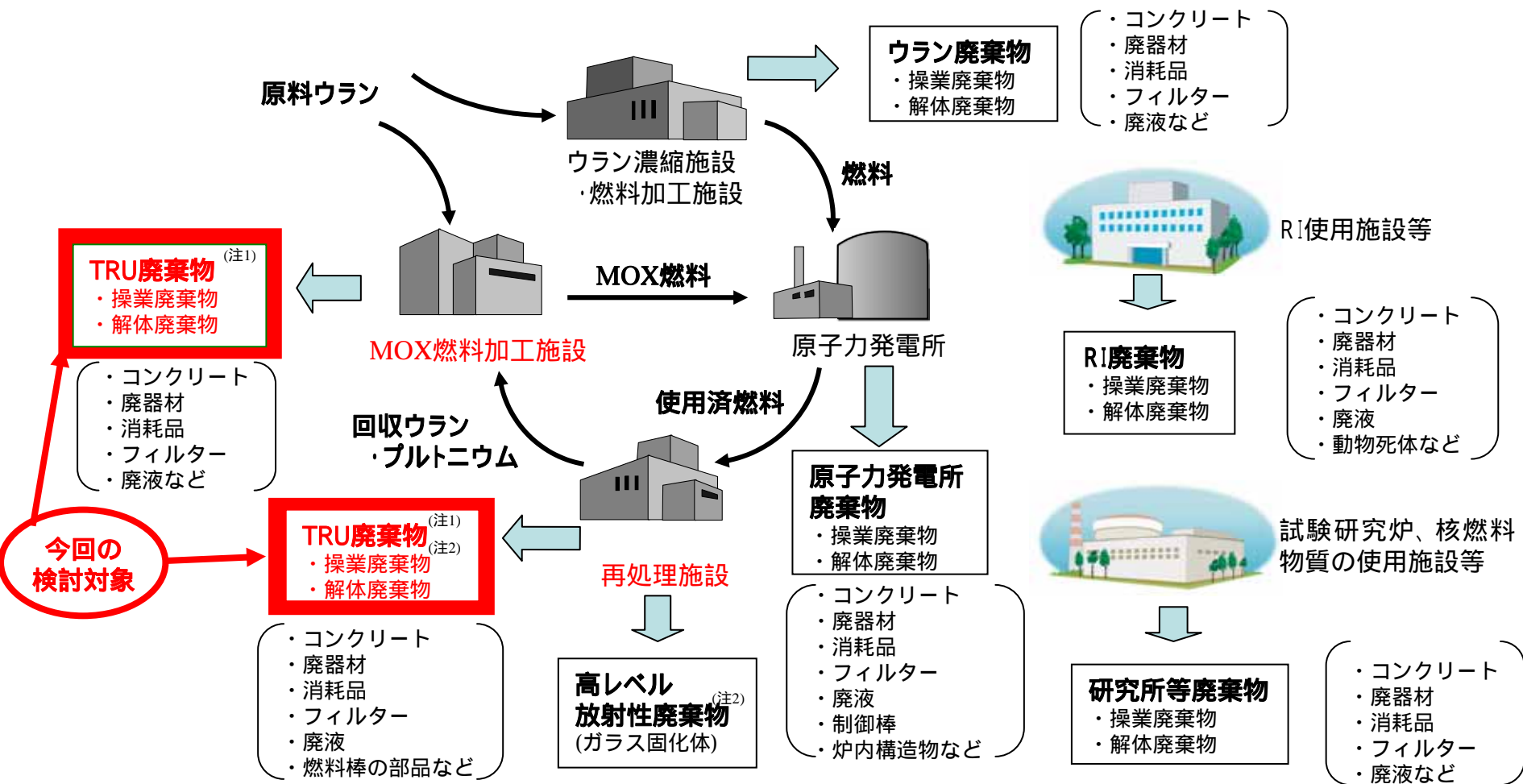
TRU廃棄物処分技術検討書
- 第2次TRU廃棄物処分研究開発取りまとめ -
(略称: 第2次TRUレポート)の概要

平成17年11月28日

日本原子力研究開発機構
電気事業連合会

放射性廃棄物の全体概要

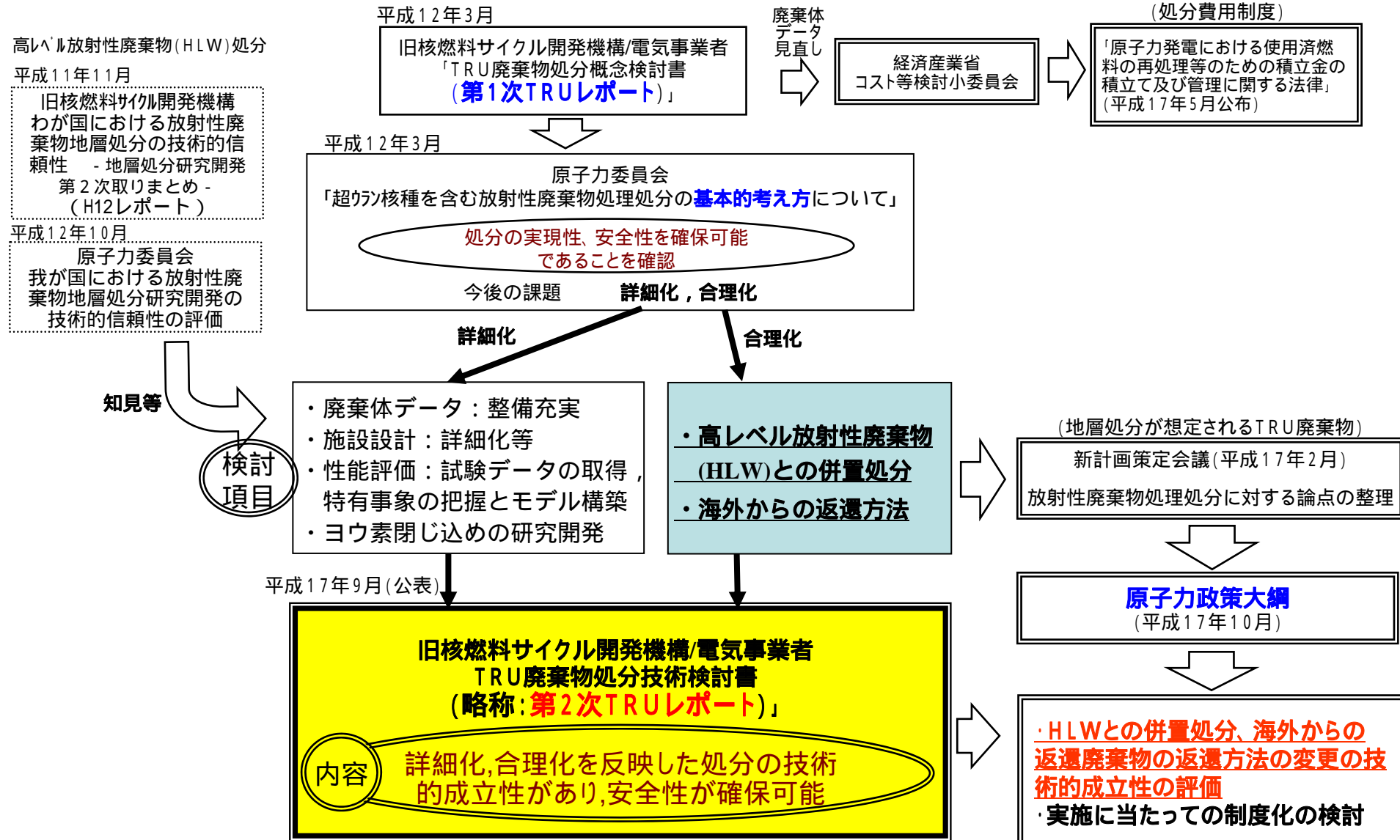
放射性廃棄物は、原子力発電所や再処理施設、ウラン濃縮・燃料加工施設などの核燃料サイクル施設、医療機関や研究機関等の操業や廃止措置に伴い発生。



(注1)TRU廃棄物:超ウラン核種を含む廃棄物、超ウラン核種(Trans-uranium):ウラン(U:原子番号92)よりも原子番号が大きい元素(核種)の総称、ネプツニウム(Np)、プルトニウム(Pu)などの人工放射性核種の総称。

(注2)海外からの返還廃棄物を含む

第2次TRUレポートの位置付け及び成果



(注)核燃料サイクル開発機構(JNC)は、平成17年10月1日に日本原子力研究所と統合して日本原子力研究開発機構(JAEA)として発足。

第2次TRUレポートの構成

第1章	序論(地質環境条件等)	
第2章	TRU核種を含む放射性廃棄物の発生と特性(発生量,核種量等)	項目
第3章	地層処分における処分技術の検討(人工バリア及び処分施設の設計等)	項目
第4章	地層処分の安全性の検討	項目
	・ シナリオ開発	
	・ 処分環境条件の設定:人工バリア材変質,周辺岩盤のアルカリ変質,ニアフィールド水理条件,コロイド,有機物,微生物,放射線場,硝酸塩,ガス	
	・ 解析モデル及びデータ	
	・ 核種移行解析及び線量評価;基本シナリオ(レファレンスケース,代替ケース(シナリオ、パラメータ等の不確実性)),変動シナリオ,接近シナリオ	
第5章	コンクリートピット処分と余裕深度処分の処分施設設計と安全評価	
第6章	処分合理化に関する検討(併置処分,余裕深度処分 核種濃度区分値,海外返還方法)	項目
第7章	TRU廃棄物処理処分の代替技術に関する検討(ヨウ素固定化技術,C-14長期閉じ込め技術,低アルカリ性セメント,硝酸塩分解処理技術)	項目
第8章	まとめ(レポートの成果,今後の技術開発課題等)	

第2次TRUレポート検討の経緯

[illegible]

第2次TRUレポートの検討体制

旧核燃料サイクル開発機構
電気事業連合会

第2次TRUレポート作成体制

第2次TRUレポート

ドラフティングチーム

- ・レポートの作成方針、取りまとめ、レビュー・対外説明対応

性能評価WG

- ・人工バリア及び天然バリア性能に関する安全評価の信頼性に関する検討, 等

処分技術WG

- ・処分施設の合理化/詳細化に関する検討, 等

データ・ベースWG

- ・廃棄体データ及び核種移行データ等に関する検討, 等

併置処分

タスクフォース

- ・TRU廃棄物とHLWの併置処分の相互影響評価, 等

安全対策WG・同作業会

- ・TRU廃棄物処分のFEP辞書の取りまとめ

参加機関

旧核燃料サイクル開発機構(旧JNC), 電気事業連合会(9電力, 日本原子力発電, 電源開発), 日本原燃(JNFL), 電力中央研究所, 原子力環境整備・資金管理センター, 大林組, 鹿島建設, 清水建設, 大成建設, 太平洋コンサルタント, 東芝, 東電設計, 東洋エンジニアリング, 日揮, ニュージェック, 間組, 三菱マテリアル

レビュー

第2次TRUレポート

専門家レビュー

- ・国内情報交換会(国内有識者)
- ・スイスNagra

国際ワークショップ

- ・英, 仏, スイス, ヘルギー

公開報告会

- ・一般

国内外学会等発表

- ・原子力学会セミナー
- ・原子力学会年会
- ・IAEA国際会議

これまでの第2次TRUレポートのレビューの概要

• 専門家のレビュー及び国内外の意見交換を踏まえレポートを作成

専門家のレビュー

- 国内情報交換会(2回):有識者20名(原子力,地質,土木等の各分野)
- スイスNagraレビュー(2回):専門家4~5名(同上)

国内外意見交換

- 国際ワークショップ(英,仏,スイス,ベルギー):専門家12名(同上)
- 原子力学会:年会(2回),バックエンドセミナー(1回)

• 公開報告会の開催

平成17年9月8日(木),約270名の聴衆

主な質問

- C-14の放出モデル
- セメント環境条件下の核種移行パラメータの設定 等

TRU廃棄物の推定発生量(その1)

第2次TRUレポートで対象とした廃棄物

- 日本原燃(JNFL)の約40年間の再処理施設(使用済燃料約3.2万t処理)及びMOX燃料加工施設の操業に伴う廃棄物
- 旧核燃料サイクル開発機構(旧JNC)の平成60年度までの再処理施設、MOX燃料加工施設の操業に伴う廃棄物
- これらの施設の解体に伴う廃棄物
- 海外再処理返還廃棄物

(英国(BNGS: British Nuclear Group Sellafield、旧BNFL)の低レベル廃棄物のHLWガラス固化体への交換、仏国(COGEA)のビチューメン固化体の低レベル廃液ガラス固化体への変更についても検討)

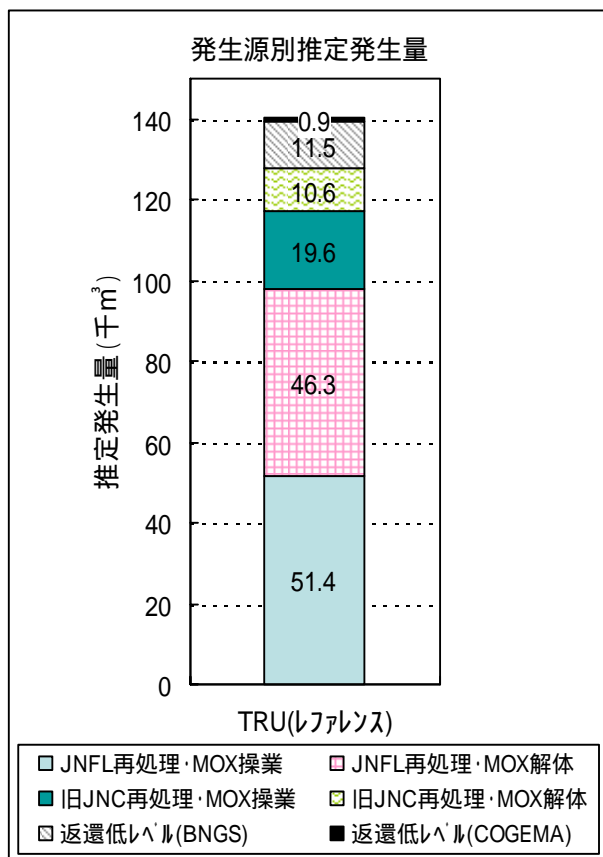
処分区間の考え方

- コンクリート処分対象物は現行のコンクリート処分の政令濃度上限値を下回るもの。
- 余裕深度処分対象物は、核種の一応の区分目安値(1GBq/t)と核種の現行の余裕深度処分の政令濃度上限値を下回るもの。
- 地層処分対象物は、上記の余裕深度処分の区分値を超えるもの(注)。
(余裕深度処分 核種濃度区分値が100GBq/tの場合も検討)

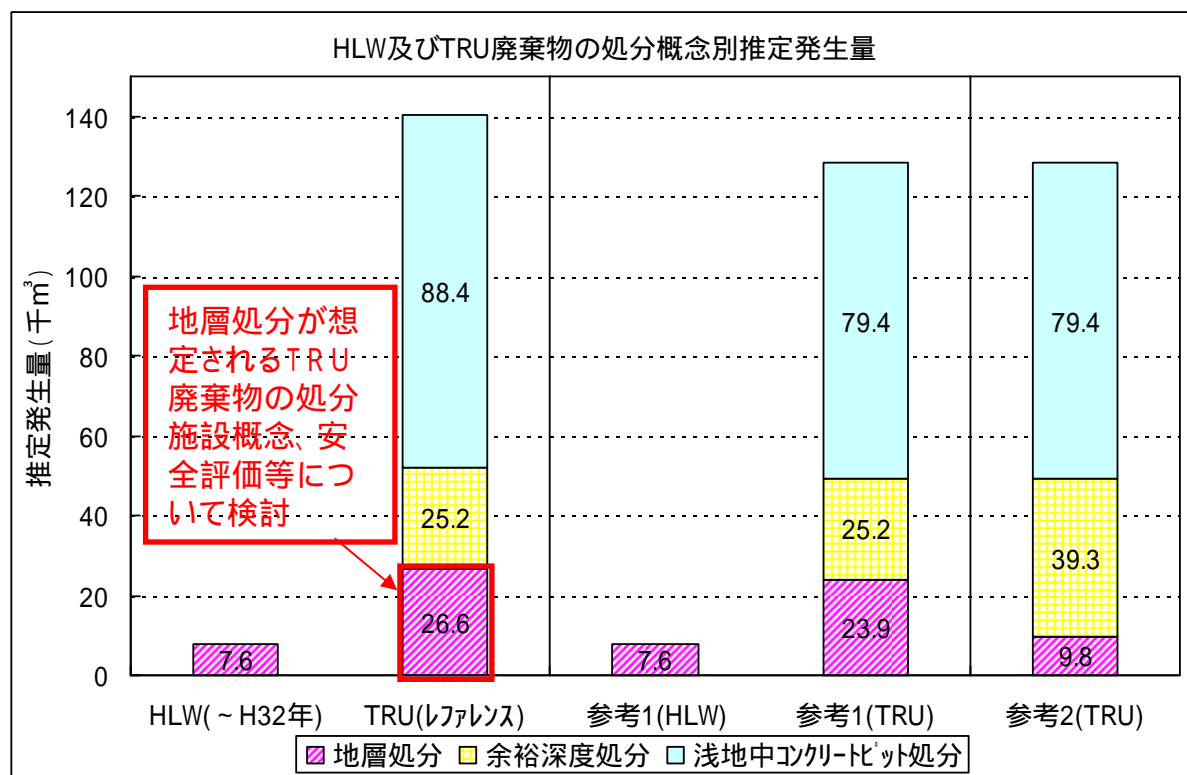
(注)「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」(平成12年3月、原子力委員会)で、地層処分対象として示した、核種濃度の一応の区分目安値(1GBq/t)を超える廃棄物、地下水とともに移行しやすいC-14、I-129濃度が高い廃棄物(ハル・エンドピース、廃銀吸着材)であり、浅地中処分、余裕深度処分の概念を適用できないと考えられるものを対象とした。

TRU廃棄物の推定発生量(その2)

- 発生源別及び処分概念別の廃棄物発生量を下図に示す。



〔対象物の対象範囲は8ページの通り〕



地層処分が想定されるTRU廃棄物の処分施設概念、安全評価等について検討

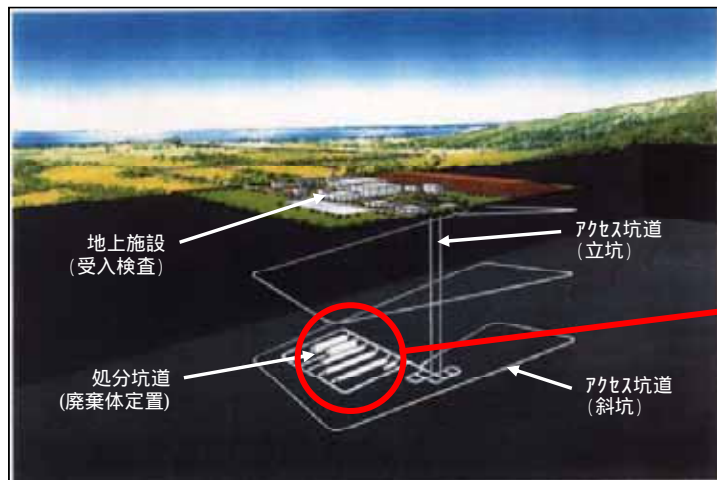
参考1: BNGSの低レベル廃棄物のHLWガラス固化体への交換^(注)、COGEAのビチューメン固化体の低レベル廃液固化体への処理変更の場合

参考2: 参考1に加え、余裕深度処分の核種濃度区分値が100GBq/tの場合

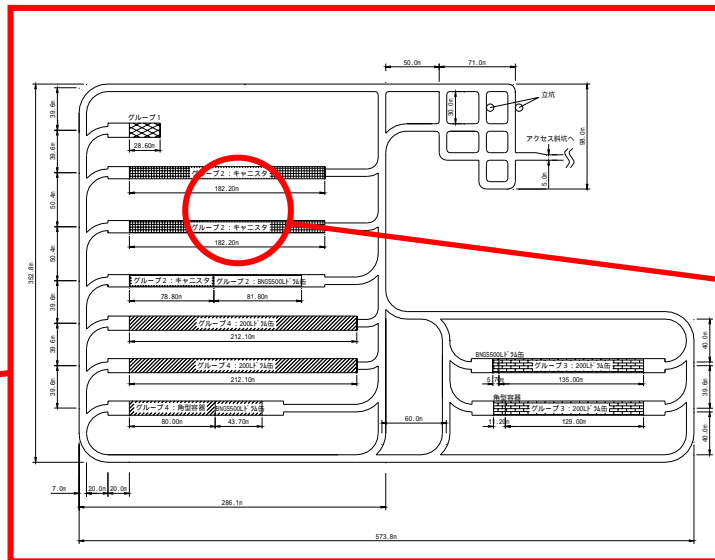
(注) BNGSの低レベル廃棄物のHLWガラス固化体への交換については、経済産業省原子力部会放射性廃棄物小委員会にて検討される予定

TRU廃棄物の地層処分施設の基本的考え方

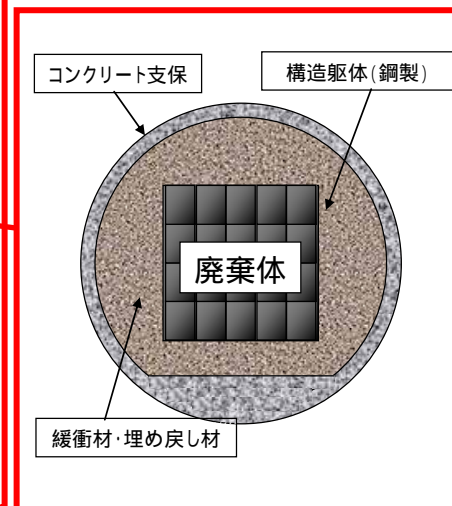
【処分場鳥瞰図】



【処分場平面図】



【処分坑道断面】



TRU廃棄物地層処分施設の特徴

- 高レベル放射性廃棄物処分と同様に人工バリア及び天然バリアを組み合わせた多重バリアにより長期的な安全を確保
- TRU廃棄物は、発熱が小さいものがほとんどを占めることから、処分の効率を考慮し、比較的大きな断面空洞内に廃棄体を集中して処分
- 核種種類・濃度、性状等に応じた適切な廃棄体のグルーピングを行い、各々のグループに応じた人工バリアを構成

処分施設設計(軟岩系岩盤)の一例

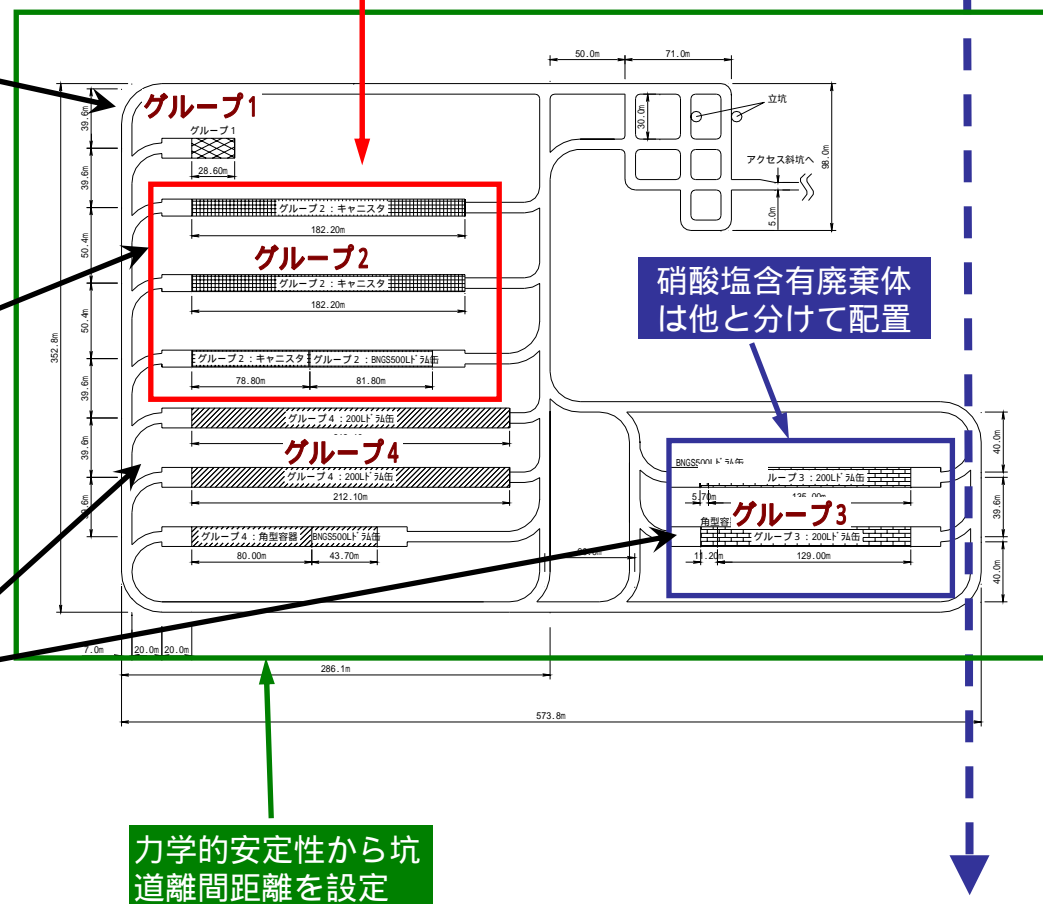
【各坑道断面レイアウトの例】

グループ	内容 (発生量)	特性	バリア	円形処分坑道の例 (単位: m)
1	廃銀吸着材のセメント固化体 (300m ³)	半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(I-129)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)を設置する	
2	ハル・エンドピース圧縮収納体 (6,700m ³)	発熱がある 半減期が長く地下水と共に移行しやすい核種(C-14)を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)を設置する	
3	アスファルト固化体等の濃縮廃液固化体 (6,200m ³)	硝酸塩を含む	止水性能の高いバリア(緩衝材)は設置しない	
4	焼却灰, 不燃物セメント固化体等 (13,400m ³)	-	止水性能の高いバリア(緩衝材)は設置しない	

【処分場平面レイアウトの例】

核種移行を考慮したバリアの設置

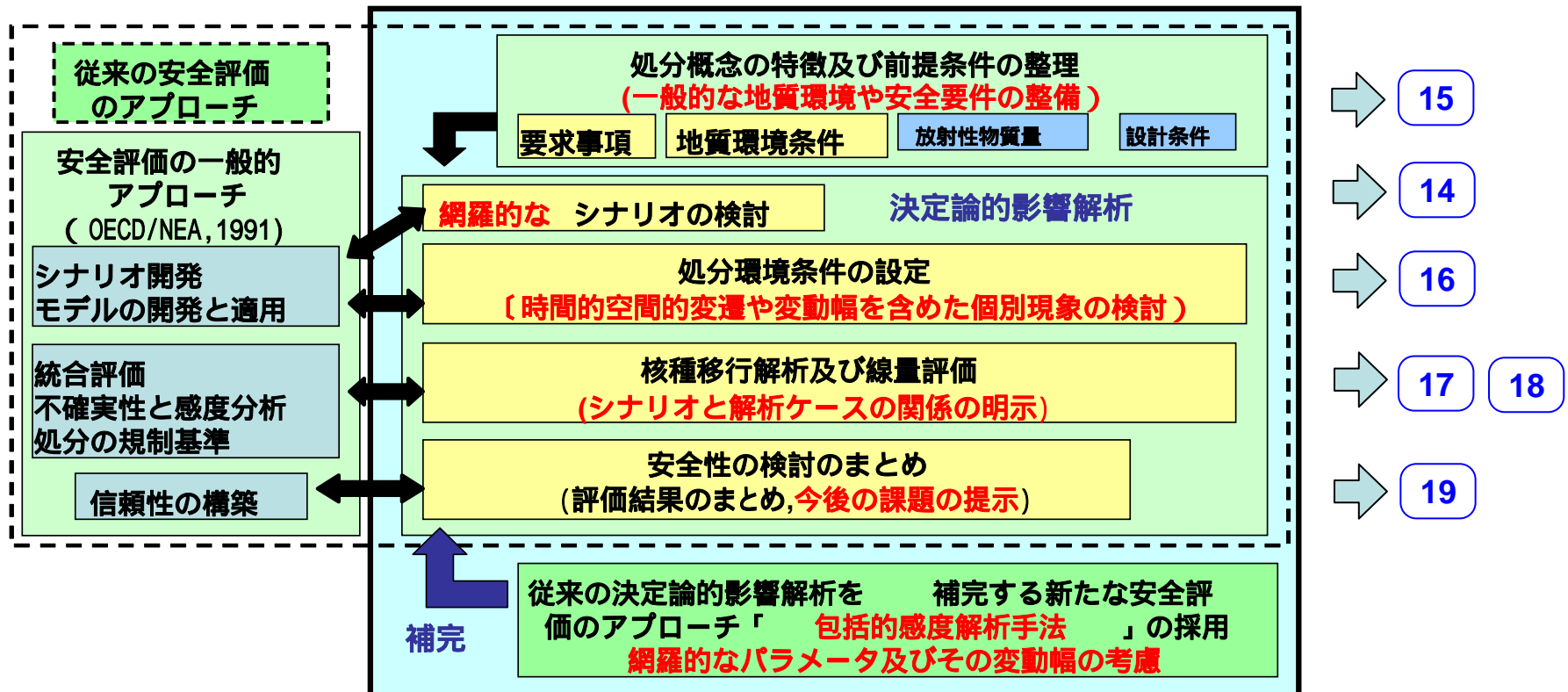
発熱による温度制限から坑道離間距離を設定



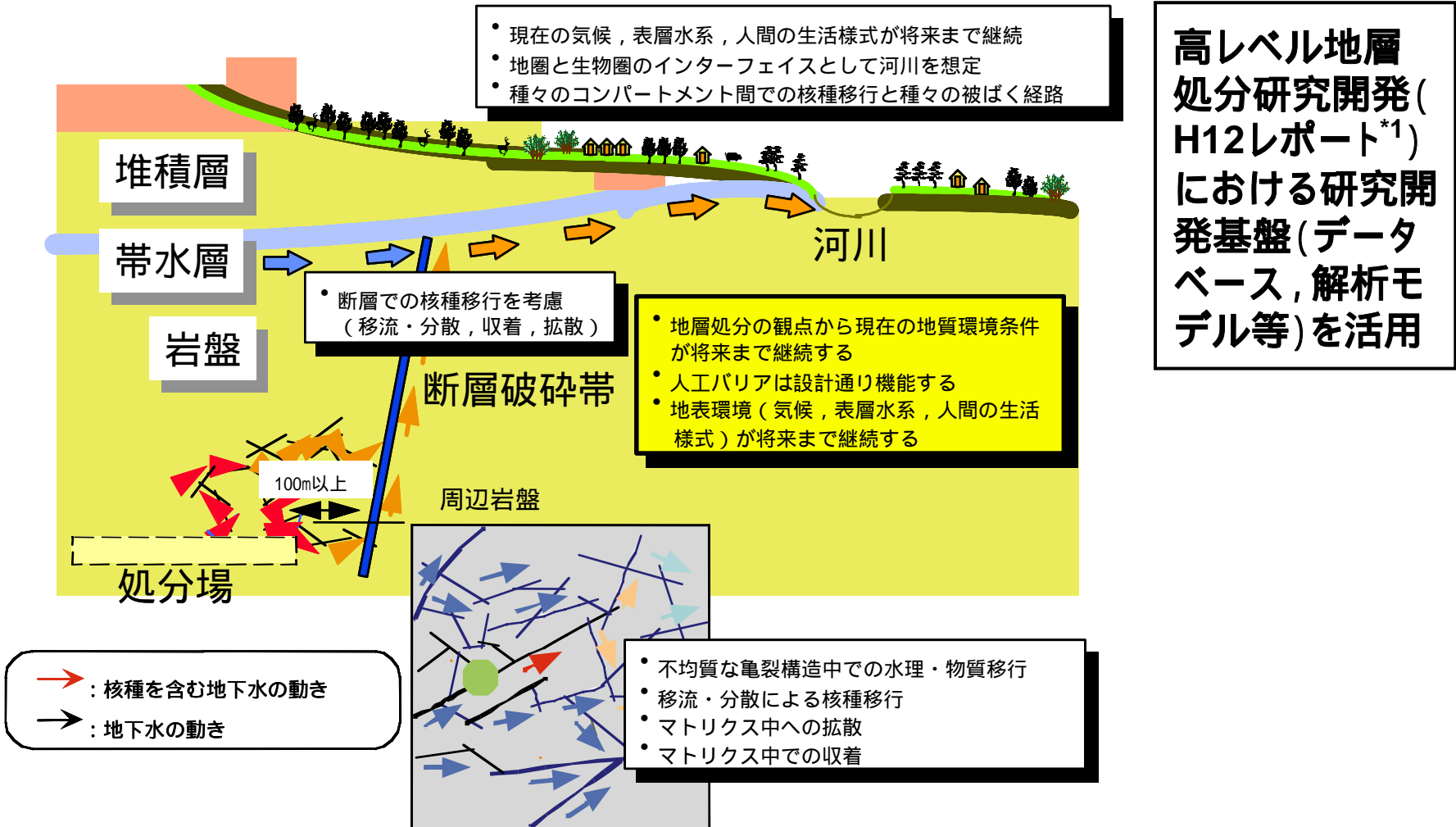
第2次TRUレポートにおける安全評価体系

HLWのH12レポート*¹や第1次TRUレポートで実施してきた従来の安全評価のアプローチに加え、シナリオ、モデル及びパラメータの変動、さらにはそれらの重なり合わせを網羅的に評価することが可能な包括的感度解析を補完的に実施した。

* 1: 核燃料サイクル開発機構: わ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, JNC TN1400 99-020



第2次TRUレポートにおける安全評価 -核種移行の経路-



* 1: 核燃料サイクル開発機構: わ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, JNC TN1400 99-020

シナリオの分類

安全評価で考慮するシナリオ

地下水シナリオ

地下水などを媒介して放射性物質が人間環境に運ばれる。

・基本シナリオ

人工バリアが安全機能を発揮
現在の地質環境が将来まで継続
現在の地表環境が将来まで継続

・対応する解析ケース

レファレンスケース
変動ケース

・解析方法

決定論的影響解析
包括的感度解析

・変動シナリオ

地質環境・地表環境の変動を考慮

天然現象の影響
(隆起・侵食、気候・海水準変動)

将来の人間活動の影響
(井戸掘削、ボーリングによる核種移行経路の変化)

初期欠陥の影響

・解析方法

決定論的影響解析
包括的感度解析

接近シナリオ

放射性廃棄物と人間環境との物理的距離が接近することによって人間環境に影響

例えば、

隆起・侵食作用による地表露出

人間の処分場への直接侵入 など

**HLW のH12 レポート^{*1}と
同等なシナリオを考慮**

^{*1}: 核燃料サイクル開発機構: わ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,
JNC TN1400 99-020

想定した地質環境条件

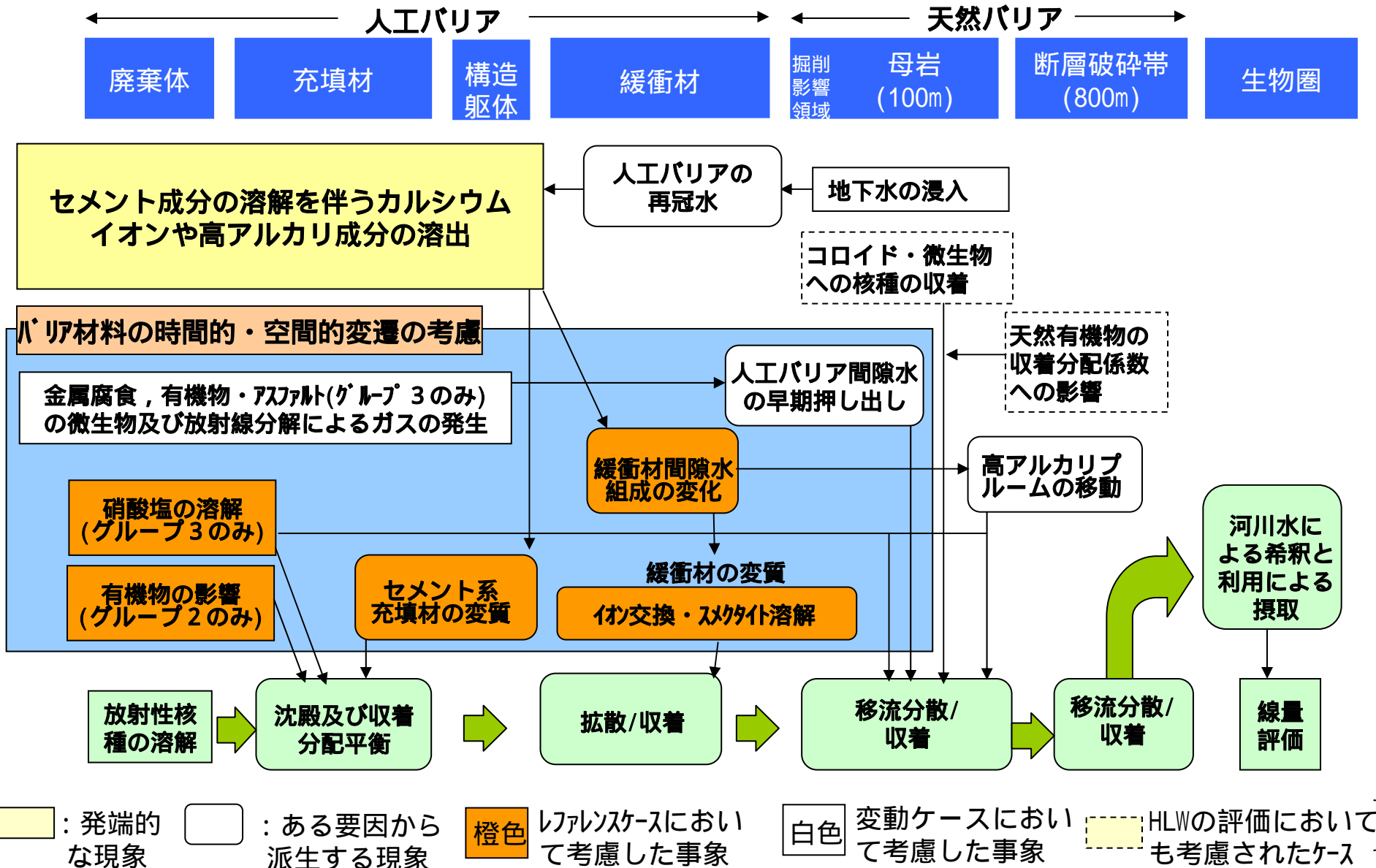
地質環境条件

	レファレンスケース	変動ケース
地理 / 地勢	内陸	沿岸
地形	平野	丘陵, 山地
岩種	結晶質岩	堆積岩
地下水のタイプ	降水系地下水	海水系地下水
透水量係数(m ² /s)	10 ⁻¹⁰	10 ⁻⁹ , 10 ⁻¹¹
動水勾配	0.01	0.05
岩盤区分	HR	SR-B, SR-C, SR-D
空隙率	0.02	0.2 ~ 0.45
1軸圧縮強度 (MPa)	115	10 ~ 20
処分深度 (m)	1,000	500, 300
被ばく評価点 (生物圏モデル)	河川 (農業従事者)	井戸、海水

HLW のH12 レポート^{*1}と同様な条件を考慮

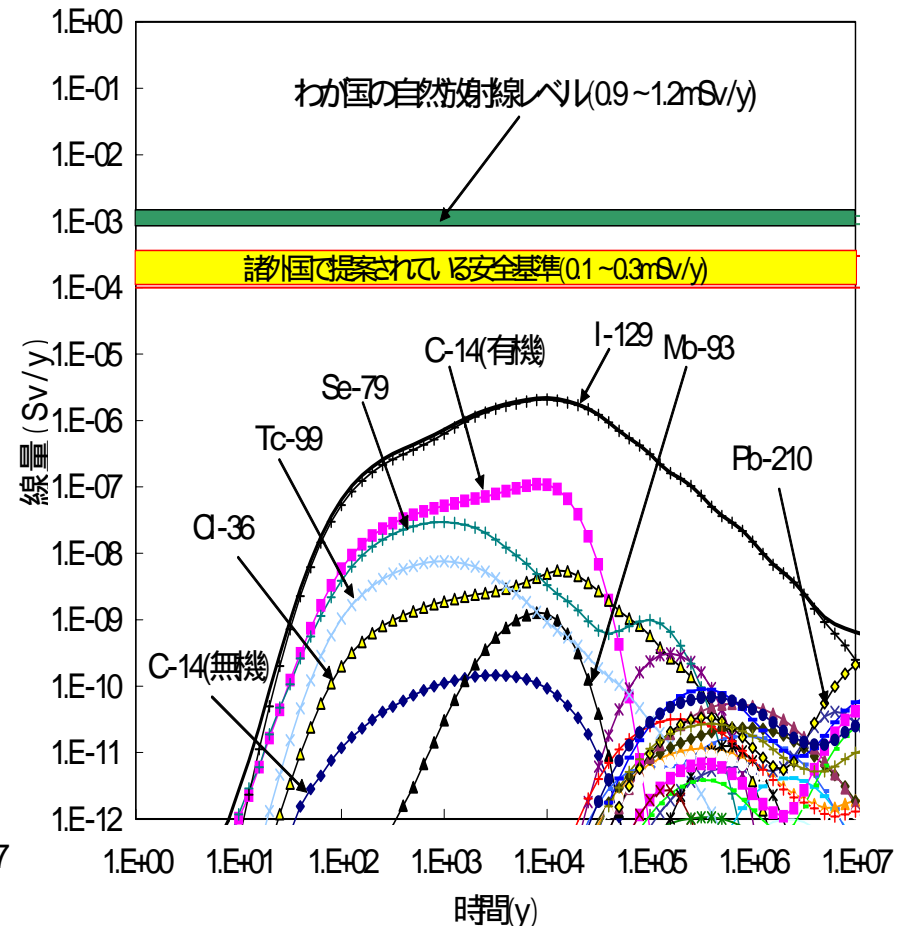
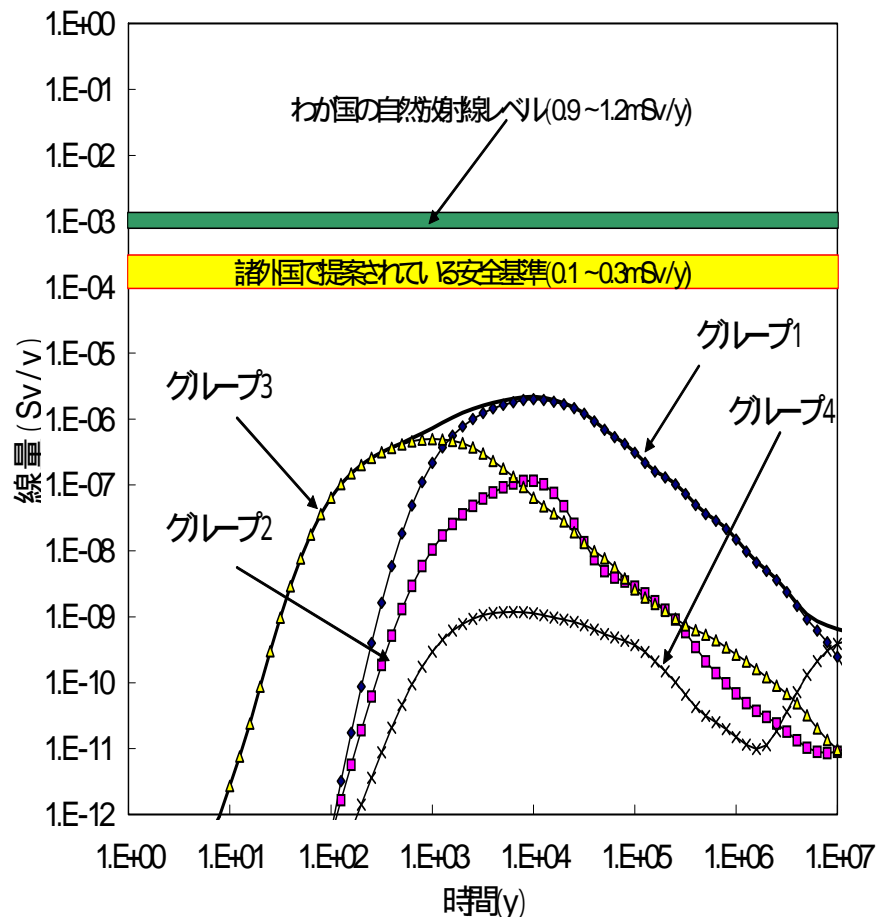
^{*1}: 核燃料サイクル開発機構: わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性, JNC TN1400 99-020

基本シナリオ(地下水シナリオ)において考慮したプロセス

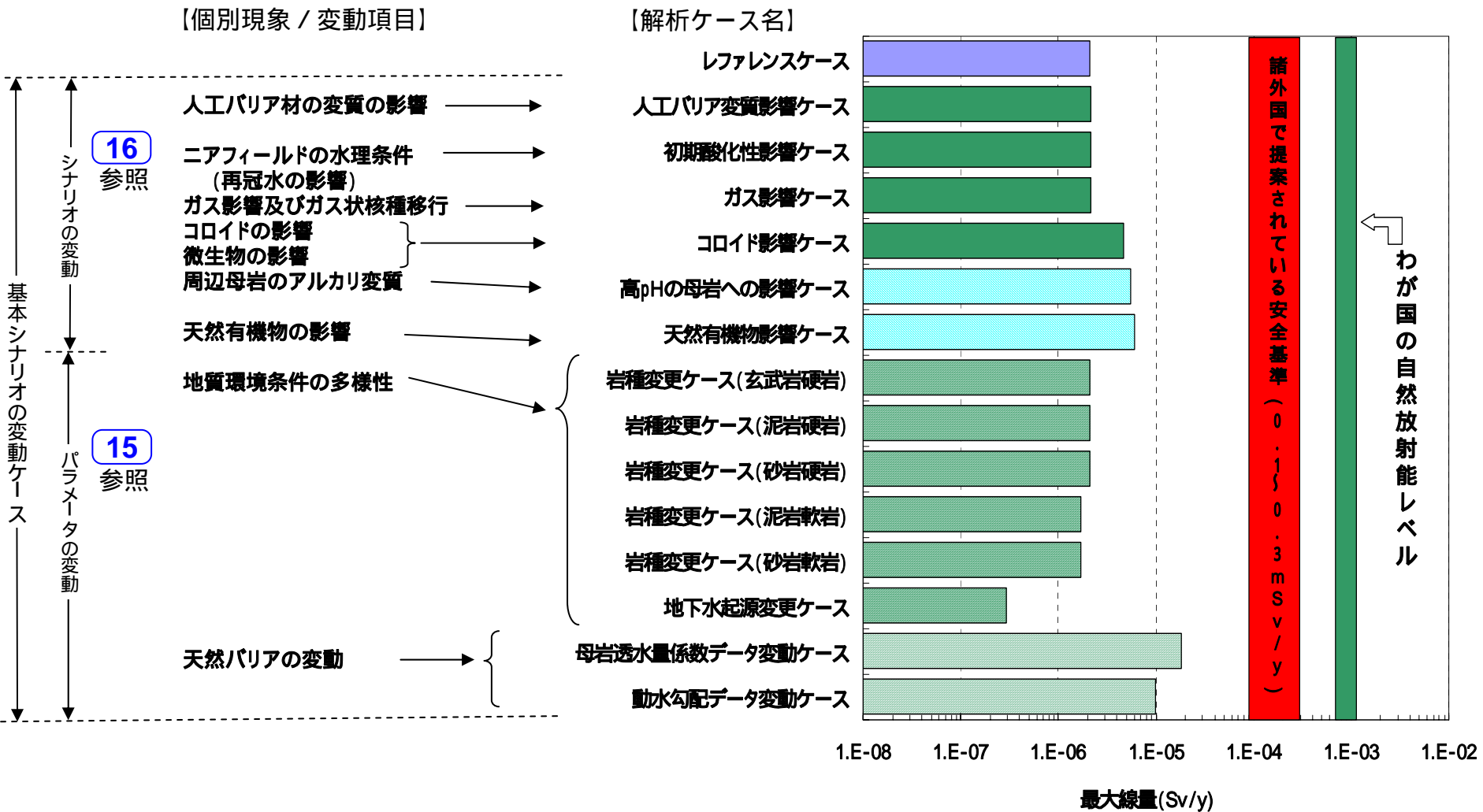


レファレンスケースの解析結果

レファレンスケースの解析結果は、**諸外国で提案されている安全基準(0.1 ~ 0.3mSv/y)**を**十分下回る**。ちなみに、最大線量は約10,000年で、約0.002mSv/y
主要核種は、グループ1のI-129、次はグループ2の有機形態のC-14



レファレンスケースと変動ケースの解析結果の比較



・システムの多様性、シナリオ、パラメータの変動を考慮しても最大線量は、諸外国で提案されている安全基準(0.1 ~ 0.3 mSv/y)を十分下回る。

・地質環境の水理特性が最大線量に大きく影響する。 必要に応じて廃棄体の高度化等で対処

TRU廃棄物の地層処分の安全評価のまとめ

レファレンスケースでの感度解析

- ・ 最大線量は約 0.002mSv/y (約1万年)で, 諸外国の線量基準 $0.1 \sim 0.3\text{mSv/y}$ を十分下回る。

決定論的影響解析:

シナリオ, モデル, パラメータの変動を考慮

変動ケースでの感度解析

- ・ 線量の最大値に大きな影響を与えない。
- ・ 溶解度や人工バリアの収着分配係数, 拡散係数の影響度小さい。
- ・ 水理特性に関する影響度が大きい。

網羅的なパラメータ及びその変動幅の影響を考慮

包括的感度解析

- ・ **レファレンスの地質環境条件**: 処分システムの成立性を示した。
- ・ **より幅広い地質環境条件**: 廃棄体の高度化技術等の採用により, より高い安全性の確保が可能な見通しを提示。

網羅性 / 信頼性の向上

システム性能の理解の向上

併置処分における相互影響因子

網羅的な影響因子

熱, 水理, 応力, 化学, 放射線



併置処分において想定される相互影響因子の検討

熱: HLW発熱によるTRU廃棄物処分施設への熱影響

発熱率が高いHLW処分施設から、TRU廃棄物処分施設内で発熱率が最も大きいハル・エンドピース埋設部の温度制限(80以下)へ与える熱影響を確認する必要がある。

水理: 他施設が近隣に存在することによる水理の擾乱

処分施設は併置の採否にかかわらず、実サイトの水理場に応じた配置をし、母岩と同等以上の水理特性を有するよう埋め戻すものであるため、処分サイト全体の地下水流動は大きく変化しないと考えられる。

応力: 両施設が近接することによる応力の影響

各施設ごとに許容応力内で坑道の径及び離間距離を設計するため、応力の影響は処分施設の近傍に限定される。

化学: TRU廃棄物処分施設からの化学物質の影響

核種移行に影響する化学物質があるため、化学物質毎に存在量や核種移行への影響度合いの大きいものについてHLW処分施設への影響を確認する必要がある。

放射線: 放射線による人工バリア損傷及び雰囲気の変化

放射線の影響は廃棄体直近に限定される。



併置処分相互影響評価での取扱い

熱(熱伝導解析による温度上昇幅の確認)

・熱: 廃棄体グループ2の処分坑道の温度上昇

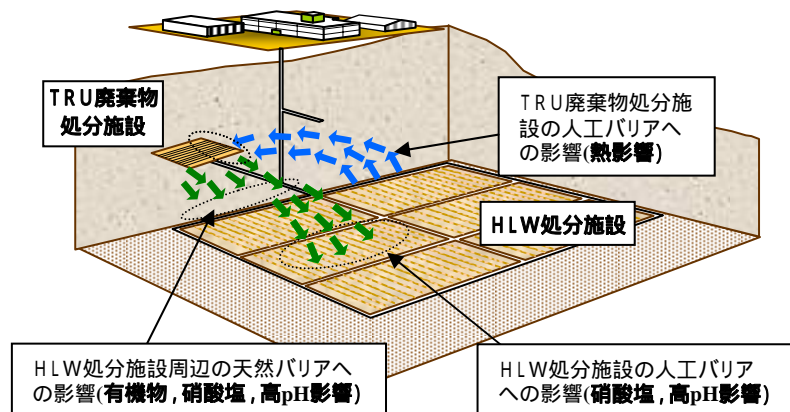
化学(物質移行又は物質移行 - 地球化学解析による影響範囲確認)

・**有機物:** セルロースの影響評価(溶解度及び収着性能への影響あり)

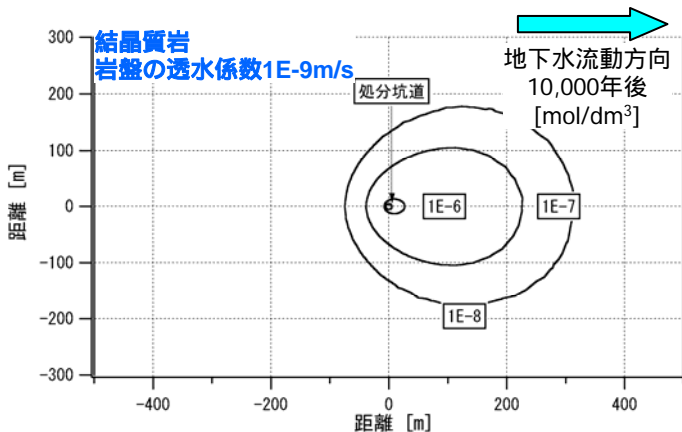
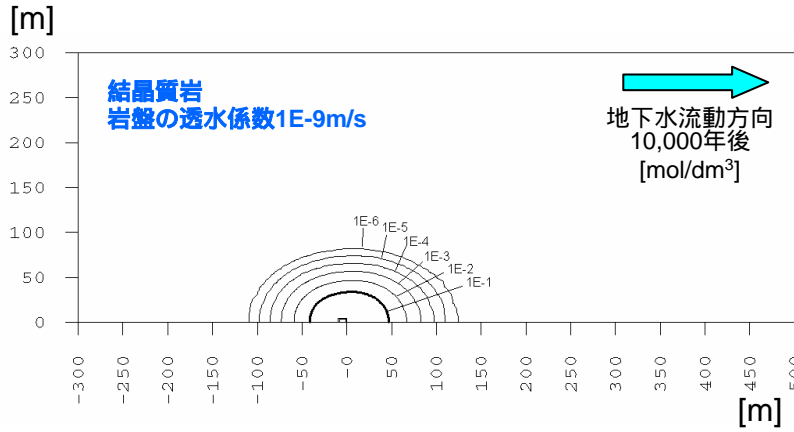
(アスファルト及び溶媒は相対的に影響が小さい)

・**化学物質:** **硝酸塩**の影響評価(収着性能、金属腐食、酸化還元雰囲気への影響あり)

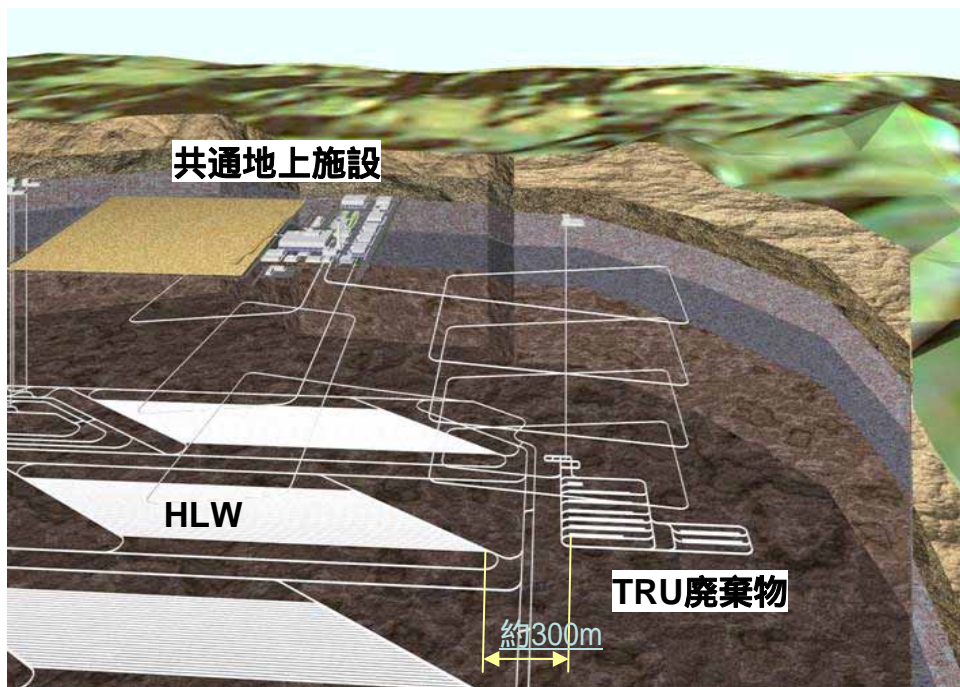
・**高pH:** 高pHの影響評価(収着性能、金属腐食、ガラス溶解度への影響あり)



相互影響評価の一例

影響因子	有機物(TRU HLW)	硝酸塩(TRU HLW)
影響源	・廃棄物中に含有するセルロース系有機物の分解生成物であるISA(イソサッカリン酸)など	・グループ3廃棄物の再処理廃液中の硝酸塩
影響の概要	・核種の溶解度上昇 ・核種の収着分配係数低下	・核種の収着分配係数低下 ・金属腐食
判断目安	・ISA濃度で $1 \times 10^{-6} \text{ mol/dm}^3$ 以下	・硝酸塩濃度で $1 \times 10^{-4} \text{ mol/dm}^3$ 以下
解析モデル	・解析体系: 処分施設(処分坑道)及び周辺岩盤をモデル化した2次元鉛直断面 ・解析コード: 2次元物質移行解析コード「AZURE」	・解析体系: 処分施設(処分坑道)及び周辺岩盤をモデル化した2次元鉛直断面 ・解析コード: 2次元水理・物質移行解析コード「Dtrans2D-EL」
解析結果(例)		
離間距離の目安	・上記条件で上流側約10m ・透水係数等を 変化させた条件 では少し拡がり約20m	・上記条件で上流側約90m ・透水係数等を 変化させた条件 では少し拡がり約300m

併置処分の概念例と相互影響評価結果



相互影響因子	影響	離間距離の目安
熱 (HLW TRU)	セメントの吸着性低下	約50m
有機物 (TRU HLW)	溶解度上昇 収着分配係数低下	約20m
硝酸塩 (TRU HLW)	収着分配係数低下 金属腐食	約300m
高pH (TRU HLW)	ベントナイト変質 金属腐食 ガラスの溶解	約30m

諸外国の併置処分概念と同様に、**約300mの離間距離**の確保により**相互影響を回避**することが可能。
なお、実際の処分サイトにおいては、多様な地質環境条件に応じて、HLWの場合と同様、処分施設の配置、工学的対策など有効な措置を組み合わせることが可能。

低レベル廃液ガラス固化体による処分への影響

仏国COGEMAからの返還方法

H L Wガラス固化体
約1,350本, 約260m³

固型物収納体
約3,600本, 約680m³

ビチューメン固化体
約1,100本, 約250m³

低レベル廃液ガラス固化体
28本程度, 約5m³

処分への影響

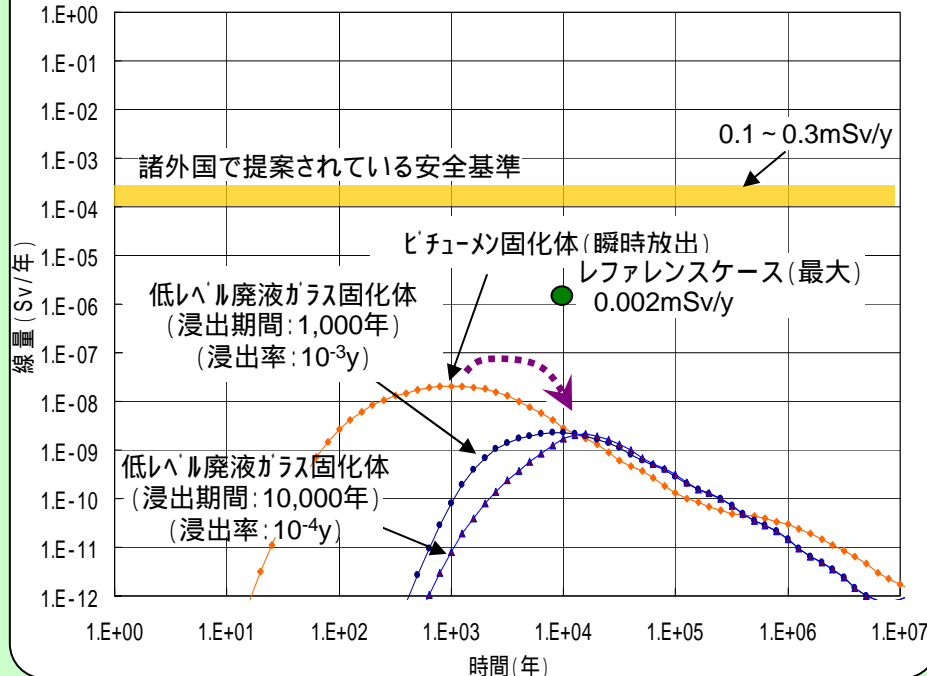
【TRU地層処分】

【HLW】

不変

不変

【ビチューメン固化体及び低レベル廃液ガラス固化体の線量比較】



低レベル廃液ガラス固化体の場合、ビチューメン固化体に比べ線量は1桁程度減少する。
ただし、レファレンスケースの線量に比べ小さく、処分全体の線量はほとんど変化しない。

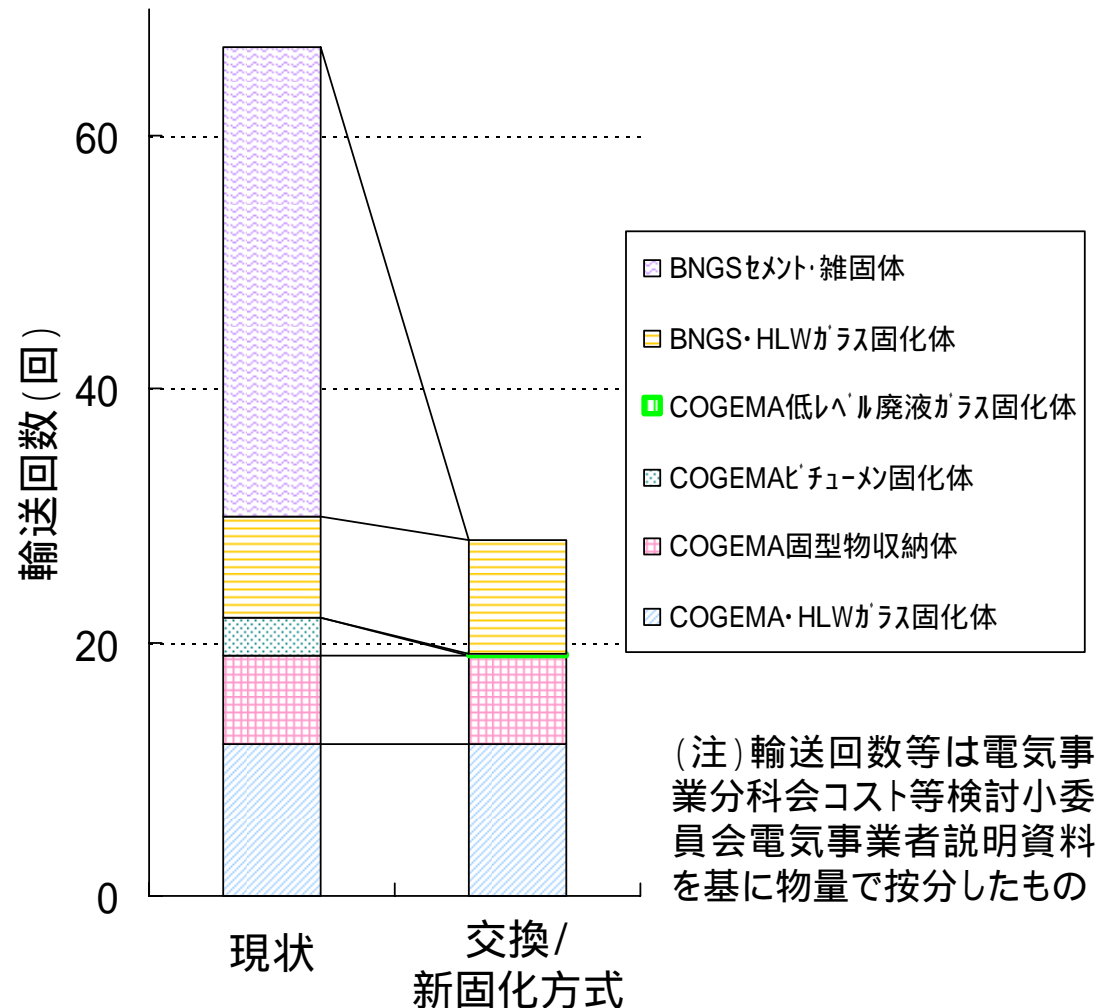
海外返還廃棄物の返還方法の変更による効果

【国際海上輸送回数】

- 英国BNGSの低レベル廃棄物をHLWガラス固化体へ交換
- 仏国COGEMAのビチューメン固化体を低レベル廃液ガラス固化体へ固化方式変更



国際海上輸送回数が大幅に低減



代替設計概念について

TRU廃棄物処分の以下の特徴を踏まえ、廃棄体からの核種放出の抑制、評価の不確実性低減に対応するための技術を検討。

- 線量評価では、可溶性で低収着性の長寿命核種であるI-129、C-14が支配的
- 多用されるセメント系材料からのアルカリ成分により、バリアを構成するベントナイトや処分場周辺の岩盤が長期的に変質
- 硝酸塩のバリア機能への影響(透水性、収着性、腐食性 等)

1) 廃棄体からの核種放出の抑制

I-129に対する固定化技術(8種類)

C-14に対する長期閉じ込め技術(2種類)

2) 評価の不確実性低減

セメント/ベントナイト/岩 相互作用

- 低アルカリ性セメント(2種類)

硝酸塩・アスファルト廃棄体

- 硝酸塩分解処理技術, 他

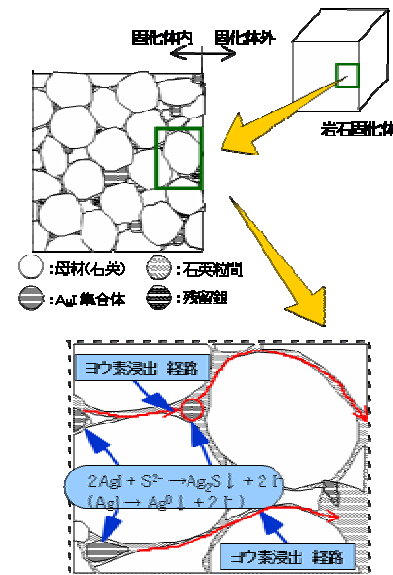


図 I-129固定化の技術例
(岩石固化)

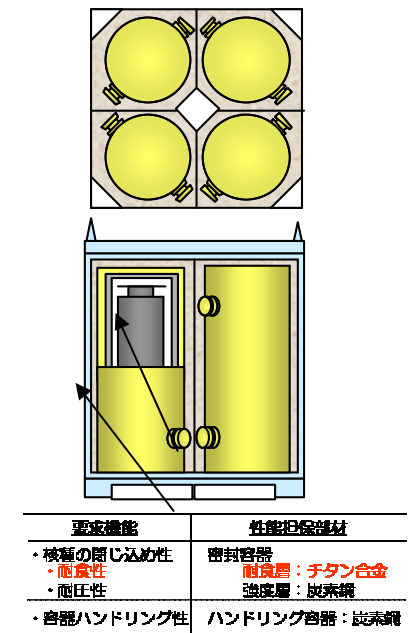


図 C-14長期閉じ込め技術例
(Ti高耐食性容器)

今後の技術開発課題

目的：第2次TRUレポートに集約された研究開発成果を技術的拠り所として、処分実施を進めるための技術的基盤をより確かなものとする

技術開発課題の分類：

高レベル放射性廃棄物の処分研究開発の成果を十分に活用しつつ、以下の研究開発を効果的・効率的に進める

- 基盤的研究[国又は研究機関]：評価手法の高度化・信頼性向上，知見の拡充，及び具体的な地質環境への適用性確認を目的とした技術開発

【研究方法】 地層処分基盤研究施設(ENTRY)や放射化学研究施設(QUALITY)をはじめとする室内試験施設，国内外の地下研等を用いて研究開発

- 事業化技術[実施主体]：事業の安全な実施や経済性・効率性の向上などを目的とした技術開発

参考資料

「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」の概要

「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の**基本的考え方**について」
(原子力委員会原子力バンクエンド対策専門部会、平成12年3月)

- 廃棄物の性状に応じて、適切に区分し、浅地中のコンクリートピットへの処分、余裕深度への処分又は地層処分を行うことが可能であるとの見通しが得られた。
- 地層処分することを想定した場合、**現在の技術により具体的な処分技術概念の構築することができる**と考えられる。
- 地層処分の**安全性を確保することは可能**であると考えられる。
- 今後の**技術開発課題**として、以下の事項が挙げられている。

廃棄体データ: データベースの整備及び充実, (製作された廃棄体に対する信頼性の高い品質管理及び検認手法の整備)

処分施設設計: **合理化及び詳細化**

性能評価: 評価の信頼性向上を目指して

- 試験データの取得
- 特有な現象のより正確な把握と評価モデルの構築

(セメント変質, アルカリ/ベントナイト/岩反応, 硝酸塩挙動, ガス発生影響)

ヨウ素閉じ込め性能向上のための研究開発, それを通じた処分の合理化や安全性の一層の向上

放射性廃棄物処分のための諸制度整備状況

廃棄物の区分			原子力委員会	原子力安全委員会			安全規制関係法令等		
			処分方針	安全規制の考え方	濃度上限値等	安全審査指針	政省令*1	規則，告示	
高レベル放射性廃棄物			報告 (1998年5月)	報告（暫定） (2000年11月)	共通的な重要事項 報告 (2004年6月)		今後検討	今後整備	
低レベル放射性廃棄物	発電所廃棄物	放射能レベルの比較的高いもの 【余裕深度処分】	報告 (1998年10月)	報告 (2000年9月)		報告 (2000年9月)	今後検討	制定 (2000年12月)	今後整備
		放射能レベルの比較的低いもの 【浅地中ビット処分】	報告 (1984年8月)	報告 (1985年10月)		報告 (1987年2月、1992年6月)	報告 (1988年3月)	制定 (1987年3月、1992年9月)	制定 (1988年1月、1993年2月)
		放射能レベルの極めて低いもの（コンクリート等廃棄物） 【浅地中トンナ処分】				報告 (1992年6月)	報告 (1993年1月)	制定 (1992年9月)	制定 (1993年2月)
		放射能レベルの極めて低いもの（金属等廃棄物） 【浅地中トンナ処分】				報告 (2000年9月)	今後検討	制定 (2000年12月)	今後整備
	超ウラン核種を含む放射性廃棄物（TRU廃棄物）		報告 (2000年3月)	検討中 (2000年6月～)		今後検討	今後検討	今後整備	
	ウラン廃棄物		報告 (2000年12月)	検討中 (2001年2月～)		今後検討	今後検討	今後整備	
	R I ・ 研究所等廃棄物		報告 (1998年6月)	検討中 (1998年6月～：RI 廃棄物は報告： 2004年1月)		今後検討 (研究所等廃棄物)	今後検討 (研究所等廃棄物)	今後整備	
放射性物質として扱 う必要のないもの	放射性物質として取り扱う必要のないものの放射能濃度		報告 (1984年8月)	報告 (原子炉施設及び核燃料使用施設：2004年10月)				制定 (2005年10月)	制定 (2005年11月)
	クリアランスレベル検認			報告 (原子炉施設のみ： 2001年7月)					

*1：核原料物質、核燃料物質及び原子炉の規制に関する法律、放射性同位元素等による放射線障害の防止に関する法律に係る政省令

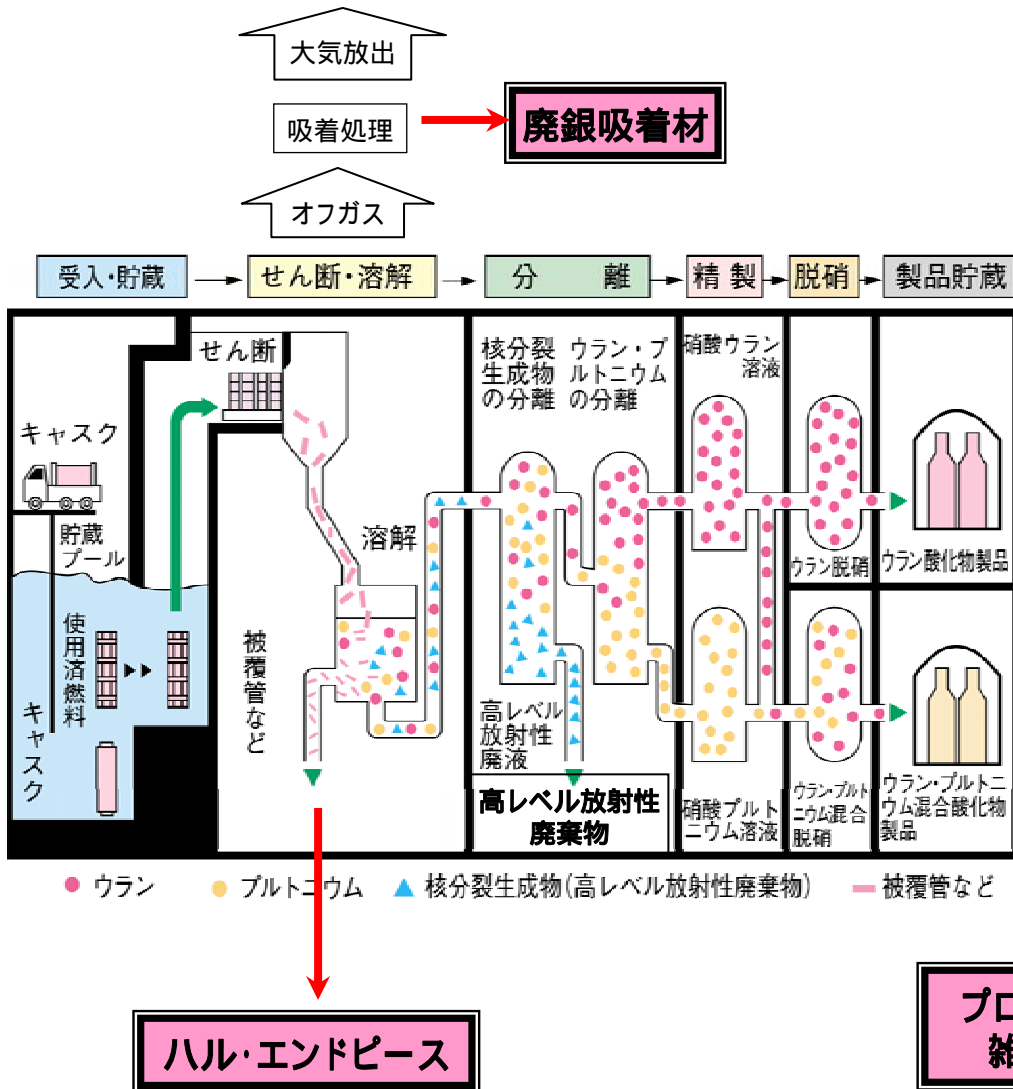
(2005年11月時点)

TRU廃棄物とは

- 再処理施設及びMOX燃料加工施設から発生する低レベル放射性廃棄物で、ウランより原子番号の大きい人工放射性核種（TRU核種）を含む廃棄物。
 - TRU廃棄物には、核分裂生成物あるいは超ウラン核種が主な核種として含まれており、内部被ばくによる影響が大きくなる 核種が比較的多く含まれているという特徴がある。
 - TRU廃棄物には、核種濃度が高い等により、浅地中コンクリートピット処分、余裕深度処分の概念を適用できないと考えられるものも存在。これらについては、地層処分を行う必要があると考えられる。
- 「超ウラン核種を含む放射性廃棄物処理処分の基本的考え方について」（平成12年3月、原子力委員会）

- TRU(超ウラン元素: Trans-uranium)
ウラン(U: 原子番号92)よりも原子番号が大きい元素(核種)の総称、ネプツニウム(Np)、プルトニウム(Pu)などの人工放射性核種の総称。
- 核分裂生成物(FP: Fission Product)
ウランやプルトニウムの核分裂に伴って生じた核種のこと。大部分が放射性であり、その半減期は1秒以下のものから数百万年以上に及ぶものまで幅広い。

再処理施設から発生するTRU廃棄物



【TRU廃棄物の種類】

ハル

- 数cmにせん断された燃料棒を、溶解槽で溶解させた際に溶け残る燃料被覆管

エンドピース

- 使用済燃料集合体の末端部分
- 集合体のせん断時に、切断除去

プロセス濃縮廃液

- 酸回収、溶媒再生、除染、分析等により発生し、蒸発濃縮等の処理後、固化

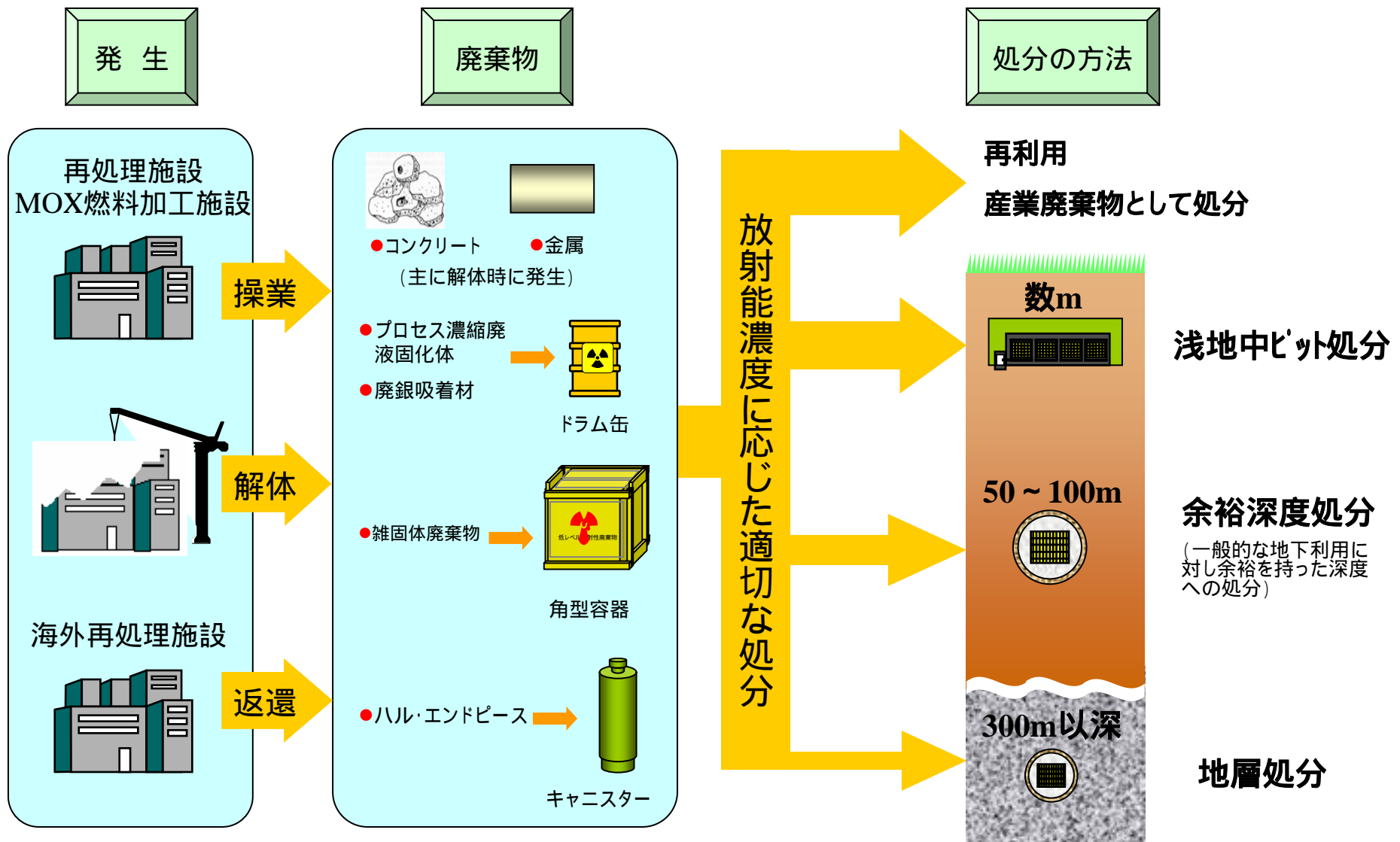
雑固体廃棄物

- 再処理工程の各工程で発生する雑多な固体状の廃棄物
- 可燃性(紙、布等容易に焼却できるもの)、不燃性(金属配管、ガラス等焼却できないもの)に分類
(MOX燃料加工施設の操業・解体からも発生)

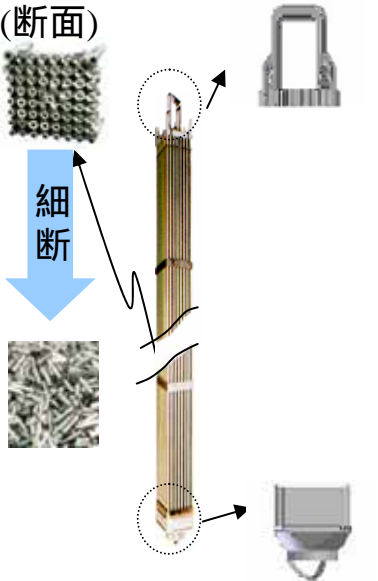

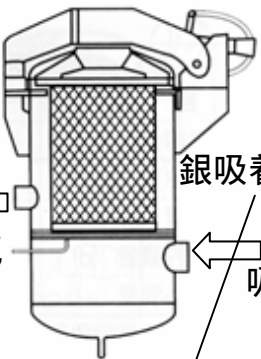
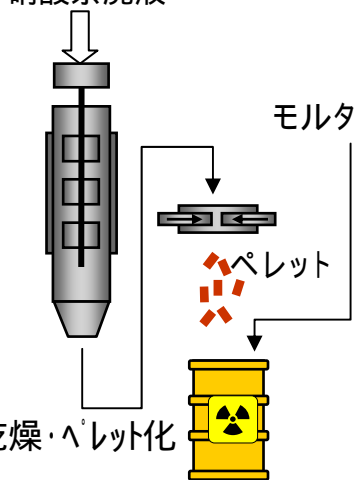
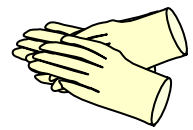




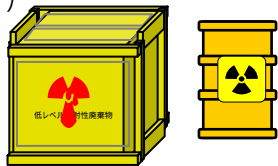
廃銀吸着材

- 使用済燃料のせん断・溶解時に発生するオフガス中の放射性ヨウ素を吸着した使用済みのフィルター

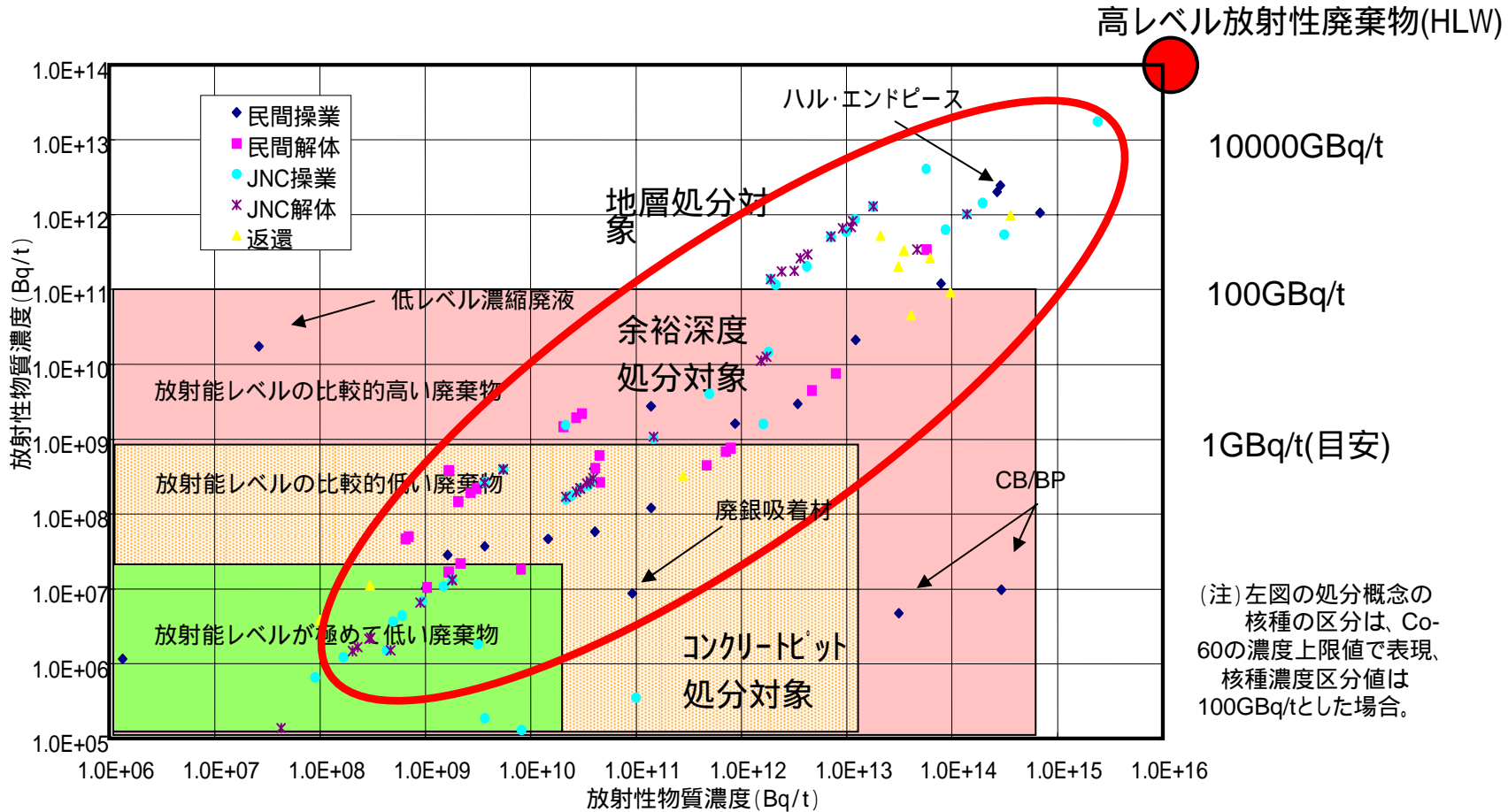
TRU廃棄物の処分の方法



TRU廃棄物の特徴

処分方法	地層処分を想定		余裕深度処分・浅地中処分を想定	
概要	<p>ハル (断面)</p>  <p>エンドピース</p> 	<p>廃銀吸着材</p>  <p>銀吸着材</p> <p>放射性のヨウ素を除去する吸着材</p> <p>排気</p> <p>吸気</p>	<p>濃縮廃液等</p> <p>硝酸系廃液</p>  <p>モルタル</p> <p>ペレット</p> <p>乾燥・ペレット化</p> <p>硝酸系廃液の処理例</p>	<p>難燃性廃棄物</p>  <p>ゴム手袋</p> <p>不燃性廃棄物</p>  <p>工具</p> <p>金属配管</p>
廃棄体イメージ	<p>(例)</p> 	<p>(例)</p> 	<p>(例)</p> 	<p>(例)</p> 
特徴	<ul style="list-style-type: none"> ・発熱量が比較的大 ・C-14を含む 	<ul style="list-style-type: none"> ・I-129を含む 	<ul style="list-style-type: none"> ・硝酸塩を含む 	<p>-</p>

TRU廃棄物の特性



	単位	HLW	地層処分TRU(区分=1GBq/t)
放射性物質濃度	Bq/t	:約1.0E+16 , :約1.0E+14 ^{*1}	:1.7E+14 , :4.0E+11 ^{*3}
総放射性物質質量	Bq	:約2.0E+20 , :約2.0E+18 ^{*2}	:1.7E+19 , :3.9E+16
発熱量	W/本	2,300 ^{*1}	61(JNFL/ハル・エンドピース)

* 1: (財)原子力環境整備促進・資金管理センター 放射性廃棄物ハンドブック(平成17年度版)より

* 2: 放射性物質濃度から、ガラス固化体重量: 約500kg/本、発生量: 40,000本として算出

* 3: 総放射生物質量を地層処分対象廃棄体の総重量: 約98,000tonで除して算出

諸外国におけるHLWとTRU廃棄物地層処分の状況

諸外国では、高レベル放射性廃棄物と地層処分が想定される廃棄物の処分施設を同一の処分場に計画している国が多い。

国 名	スイス	フランス	ベルギー	ドイツ	アメリカ
処分方式	併置処分 長寿命・中低レベル廃棄物* 高レベル廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	併置処分 カテゴリーB廃棄物* 高レベル廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	併置処分 カテゴリーB廃棄物* カテゴリーC廃棄物の一部* 高レベル廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	併置処分 発熱性廃棄物* 非発熱性廃棄物の一部* 高レベル廃棄物 (ガラス固化体及び 使用済燃料)	単独処分 TRU廃棄物 (軍事用)
岩種・深度	オハリス粘土:約650m 結晶質岩:約1,000m	堆積岩:約500m 結晶質岩:未定	ブーム粘土:約240m	未定 (サイト選定見直し中) (ゴアレーベンの場合, 岩塩層:840~1,200m)	操業中 (ニューメキシコ州 カールスバッド近郊) 岩塩層:約650m
レイアウト 【考慮する相互影響】	同一地層でHLW処分エリアとTRU廃棄物処分エリアは、数100m離される。 (高pH)	同一地層でHLW処分エリアとTRU廃棄物処分エリアに区分されている。 (離間距離は不明)	同一地層でHLW処分エリアとTRU廃棄物処分エリアに区分されている。(離間距離は今後検討)	未 定	-
安全指標	0.1mSv/y (HSK & KSA, 1993)	0.25mSv/y (DSIN, 1991)	-	0.3mSv/y (BMU, 1976/2001 ; RSK, 1983)	0.15mSv/y (USEPA, 1985/1993 ; USDOE, 1996)

* : 日本では、地層処分が想定されるTRU廃棄物に相当する。

スイス: Kristallin-, Safety Assessment Report, NTB93-22, 1994, Nagra ; Project OPALINUS Clay, Safety Report, NTB 02-05, 2002, Nagra

フランス: DOSSIER 2001 ARGILE, 2001, ANDRA

ベルギー: SAFIR2, NIROND 2001-05 E 2001, ONDRAF/NIRAS

ドイツ: Environmental Policy Joint Convention on The Safety of SF and R/W Management, DBE Webサイト: <http://www.dbe.de/>

アメリカ: WIPP Webサイト: <http://www.wipp.ws/>

BMU (1976/2001): 「電離放射線による障害防止に関する政令」

DSIN (1991): 安全基本規則No.III.2.f「放射性廃棄物の地層処分」

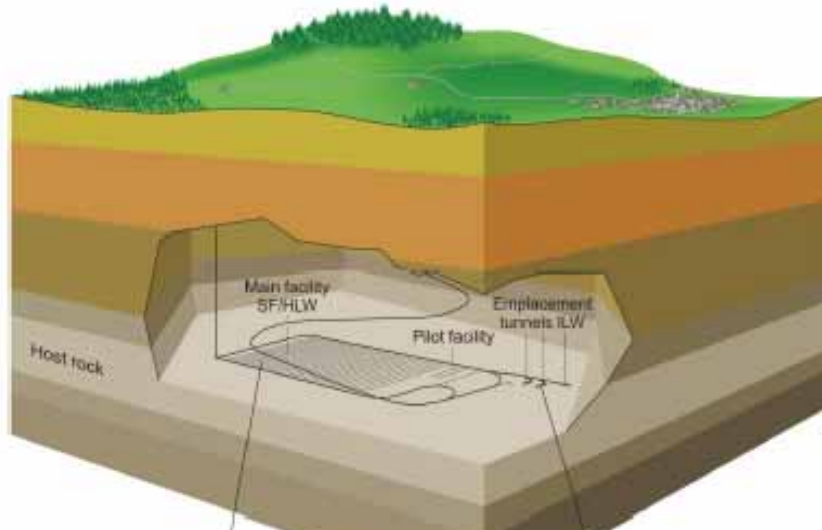
HSK & KSA (1993): Protection Objectives for the Disposal of Radioactive Waste.

RSK (1983): 「鉱山における放射性廃棄物の最終埋設処分のための安全基準」

USDOE (1996): Title 40 CFR Part 191 Compliance Certification Application for the Waste Isolation Pilot Plant, WIPP Carsbad Area Office, Carsbad.

USEPA (1985/1993): 40 CFR Part 191: Environmental Radiation Protection Standards for Management and Disposal of Spent Nuclear Fuel, High-Level, and Transuranic Radioactive Wastes, Final Ruling.

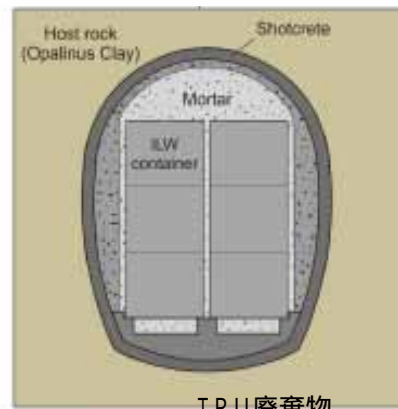
スイスにおけるHLW・SFとTRU廃棄物の併置処分概念図



Note that seals are considered to comprise highly compacted bentonite, along with a concrete bulkhead. Plugs at the entrances to ILW emplacement tunnels are composed of concrete.

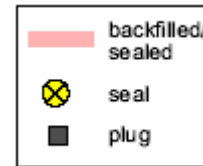


高レベル放射性廃棄物

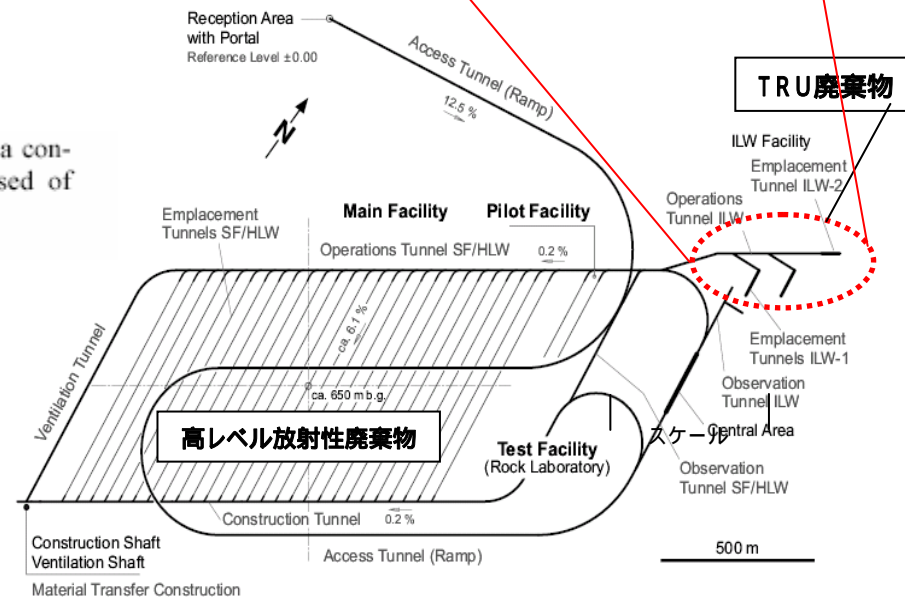
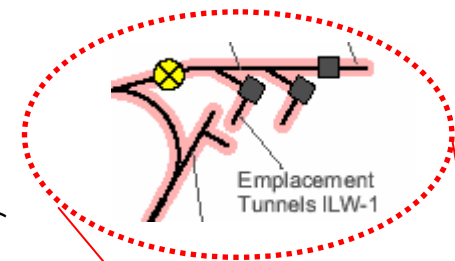


TRU廃棄物

Emplacement tunnel SF/HLW
Emplacement tunnel ILW
オパリナス粘土層における地層処分施設断面図



シール: 高圧縮ベントナイト
プラグ: コンクリート



オパリナス粘土層における地層処分場レイアウト

出典: Nagra NTB 02-05: Project Opalinus Clay

地層処分を想定しているTRU廃棄物の単独処分と 高レベル放射性廃棄物との併置処分の処分費用比較

処分方法		単独処分		HLWとの併置処分		条件の設定方法 又は差異理由
条件	岩種	堆積岩	結晶質岩	堆積岩	結晶質岩	処分費用比較のための地層処分を想定しているTRU廃棄物量は、JNFL再処理・MOX操業・解体に伴う廃棄物量及び海外からの返還される廃棄物を合計した値(17.9千m3)で設定
	深度(m)	500	1,000	500	1,000	
	廃棄物量(千m ³)	17.9		17.9		
費用 (百億円)	技術開発費	7	7	5	5	・処分サイトに応じた実証試験が削減可能
	調査・用地取得費	14	19	5	7	・各種調査費(ボーリング調査、環境影響評価等)の一部が削減可能 ・用地取得費の全部が削減可能
	設計・建設費	17	17	12	12	・インフラ施設の全部が削減可能 ・地上施設の一部が削減可能
	操業費	11	17	10	16	・「設計・建設費」欄の施設の点検保守費が削減可能
	解体及び閉鎖費	1	1	1	1	
	モニタリング費	8	8	3	3	・周辺環境のモニタリング(環境放射線、地下水等)が削減可能
	プロジェクト管理費	18	18	6	6	・人員の共通化が図れ、全期間を通じ人件費が低減可能 ・施設の削減に応じた固定資産税が削減可能
	合計	75	87	42	51	
	岩種平均	81		47		
単価(億円 / m ³)		0.45		0.26		

ヨウ素固定化技術開発の全体概要

工学規模試験

➤工学規模試験に反映

目 標

- ・TRU廃棄物の処分概念検討及び処分場設計時の基礎情報を提示
- ・JNFLに代替技術の提示

・19年度以降
実用化に向けた開発・検討

- a. 長期浸出モデルの検証
- b. 固定化処理プロセス開発
 - ・プロセスデータ取得
 - ・ヨウ素回収率
 - ・機器設計・開発

TRU 2次レポート

➤“代替技術”として、掲載し、グループ1のI-129最大被ばく線量評価値の一桁低減に期待出来る技術があることを示した。

・17～18年度

“固定体の長期性能評価”を中心とした開発を実施

- a. 固定体の長期性能評価
 - ・長期性能の明確化（性能評価モデルの構築）
 - ・（ヨウ素放出機構の把握）
 - ・（ヨウ素保持性能データの取得）
- b. 固定化処理技術開発
 - ・全体的な固定化処理プロセスの検討
 - ・実用的な固定体サイズを見極めるための試験と解析

実施概要

1. 固定化技術の見極め
2. 固定体変質を想定した試験を開始
 - ：岩石固定体、AgIガラス、セメント固定体
3. 処分後初期段階でのヨウ素放出機構把握/
ヨウ素保持性能データ取得：BPIガラス、合成ソーダライト(素)
4. 固定体サイズと固定体性状の相関評価
5. 固定化処理プロセス：処理能力検討、ヨウ素回収率確認

・12～16年度

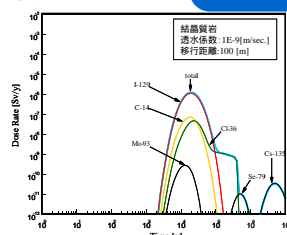
ヨウ素放出抑制能に期待できる固定化技術について開発を実施

- a. 固定化処理技術開発
 - ・固定化処理条件の選定
- b. 前処理技術開発
 - ・前処理技術の原理的な成立性を試験等で確認
- c. 固定化処理プロセスの検討
 - ・ヨウ素回収率データの取得
- d. 固定体の長期性能評価
 - ・ヨウ素放出機構の把握
 - ・ヨウ素保持性能データの取得
 - ・性能評価モデルの構築
 - ・長期性能の明確化
- e. 中間技術評価

TRU 1次レポート

➤被ばく線量評価上、最重要核種であることが示された。

・当初（H12年度開始）



An example of calculated dose rate on TRU waste disposal

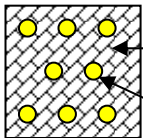
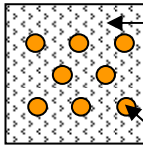
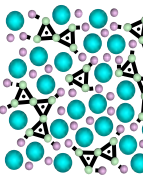
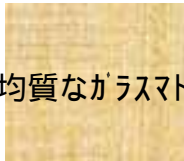
代表的成果と課題

1. 前処理・固定化処理条件を選定
2. 小規模試験によりヨウ素回収率データを取得(>90%)
(別途プロセスデータ取得試験は必要)
3. ヨウ素放出機構の把握/ヨウ素保持性能データの取得
 - ：岩石固定体(～1E-7g/cm-2/d)、AgIガラス(～1E-7g/cm-2/d)、セメント固定体(1E+3ml/g) 放出期間>1E+5年に見通し
4. 中間技術評価により、各固定化技術の開発状況と開発課題を抽出・整理
5. 長期性能の明確化は継続評価が必要

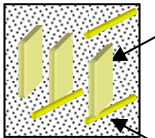
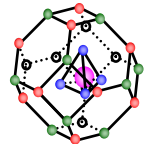
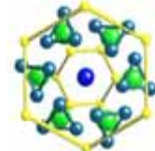
状 況(課 題)

1. I-129はTRU廃棄物中の被ばく線量評価上、最重要核種
2. I-129は地下水中で陰イオン形態で存在するので、天然バリアKdに期待出来ない
3. 幅広い地質環境に対応出来るヨウ素固定化技術を準備が必要

ヨウ素固定化技術の特徴(1 / 2)

固定化技術		化学組成		ヨウ素固定化 概略図	ヨウ素放出抑制能	放出期間
		原料	固化体			
結晶質マトリクス	岩石固化体	廃銀吸着材 (= シリカゲル, AgI)	SiO_2 (石英), AgI (ヨウ素含有率:14wt%)		拡散係数: $1\text{E}-20(\text{m}^2/\text{s})$	$>1.0\text{E}+5$ (年) (固化体サイズ: $25.5 \times 24(\text{cm})$)
	アパタイト固化体	フッ素アパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$): ゼオライト(ヨウ素吸着) = 85:15 (重量比)	フッ素アパタイト ($\text{Ca}_{10}(\text{PO}_4)_6\text{F}_2$): ゼオライト(ヨウ素吸着) (ヨウ素含有率: 2wt%)		取得中	—
ガラス	AgIガラス	AgI: $\text{Ag}_4\text{P}_2\text{O}_7$ =3:1 (モル比)	$3\text{AgI}-2\text{Ag}_2\text{O}-\text{P}_2\text{O}_5$ ガラス (ヨウ素含有率: 30wt%)		浸出率: $1\text{E}-8 \sim -7$ ($\text{g}/\text{cm}^2/\text{d}$)	$>1.0\text{E}+5$ (年) (固化体サイズ: $43 \times 32.5(\text{cm})$)
	BPIガラス	・ガラスフリット:BPI =91:9 (wt %) ・ガラスフリット $\text{PbO}:\text{B}_2\text{O}_3:\text{ZnO}$ =65:30:5 (mol %) ・BPI: BiPbO_2I	$6.5\text{PbO}-3\text{B}_2\text{O}_3-0.5\text{ZnO}$ ガラス, BiPbO_2I (ヨウ素含有率: 2wt%)		取得中	—

ヨウ素固定化技術の特徴(2 / 2)

固定化技術		化学組成		ヨウ素固定化 概略図	ヨウ素放出抑制能	放出期間
		原料	固化体			
セメント成分	セメント固化体	・アルミナセメント $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ $=100/15.5$ ・ NaIO_3 濃度 0.4mol/L ・ NaIO_3 溶液/セメント $=0.56$	AFm:10wt% AFt :46wt% $\text{Al}(\text{OH})_3$:44wt% (ヨウ素含率:1.85wt%)		分配係数: $>1000\text{ml/g}$	$>1.0\text{E}+5$ (年) (降水系 リファレンス)
合成鉱物	合成ソーダライト	$\text{NaAlO}_2 : \text{SiO}_2 : \text{NaI}$ $= 3 : 3 : 1$ (モル比)	$\text{Na}_8(\text{AlSiO}_4)_6\text{I}_2$ (ヨウ素含有率: 11wt%) (実測値)		取得中	—
	合成鉛アパタイト	$\text{PbO} : \text{V}_2\text{O}_5 : \text{PbI}_2$ $= 9 : 3 : 1$ (モル比)	$\text{Pb}_{10}(\text{VO}_4)_6\text{I}_2$ (ヨウ素含有率7.2wt%) (実測値)		取得中	—