

低レベル放射性廃棄物の 余裕深度処分に関する検討状況

日本原子力学会バックエンド部会 週末基礎講座
(2013.10.26 講義3)

石川県四高記念文化交流館



日本原燃株式会社

埋設事業部 開発設計部 埋設技術G

大石 英希

(1) 六ヶ所浅地中処分施設の紹介

- ①低レベル放射性廃棄物埋設センター、 ②埋設対象廃棄物、
- ③埋設設備の構造、 ④廃棄物埋設地の段階管理、

(2) 余裕深度処分に関する調査・施設検討

- ①余裕深度処分とは、 ②本格調査の実施、 ③本格調査の結果、
- ④余裕深度処分対象廃棄物、 ⑤施設の構想

(3) 余裕深度処分の安全評価の検討状況

- ①原安委指針について、 ②施設概念の検討、 ③外部影響事象の抽出、
- ④従属的な安全機能の抽出、 ⑤シナリオの開発・モデリング、
- ⑥線量評価の実施、 ⑦安全評価の信頼性向上に向けた取り組み

①低レベル放射性廃棄物埋設センター[1/2]

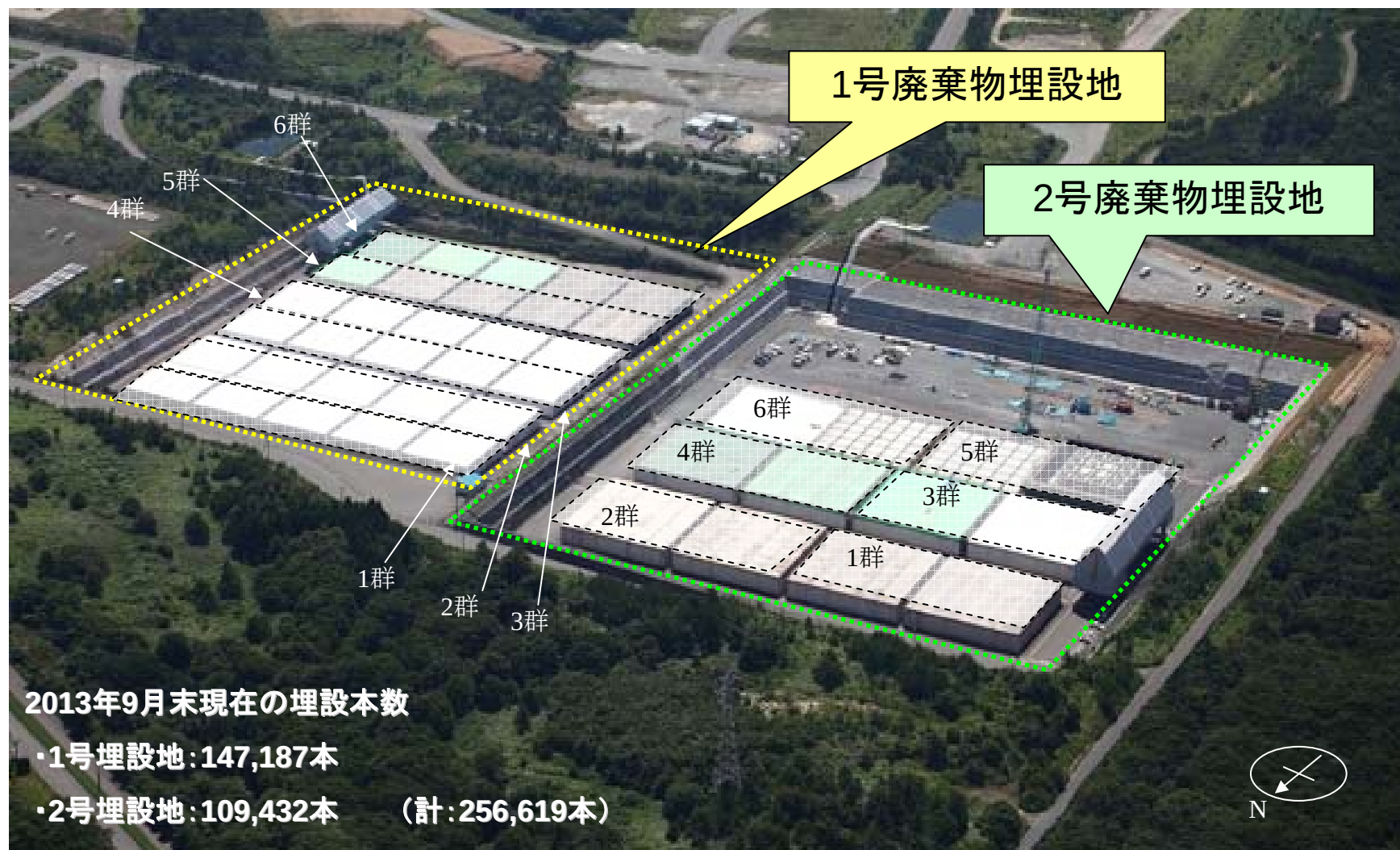


<<低レベル放射性廃棄物埋設センターの主要来歴>>

昭和63年	「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設施設に関わる埋設事業許可」(1号廃棄物埋設施設)を申請
平成2年	事業許可(20万本) ⇒ 1号廃棄物埋設施設着工
平成4年	低レベル放射性廃棄物埋設センター操業開始
平成9年	「六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設施設に関わる埋設事業変更許可」(2号廃棄物埋設施設)を申請
平成10年	事業変更許可(20万本) ⇒ 2号廃棄物埋設施設増設工事着工
平成12年	2号廃棄物埋設施設受入れ開始
平成14～18年	次期埋設のための本格調査を実施

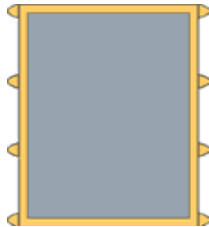
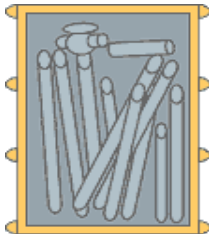
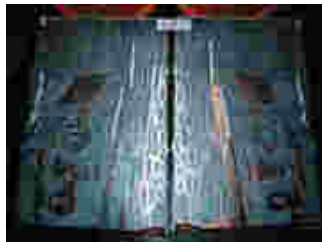
出典: 日本原燃(株)HP(http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu.html)

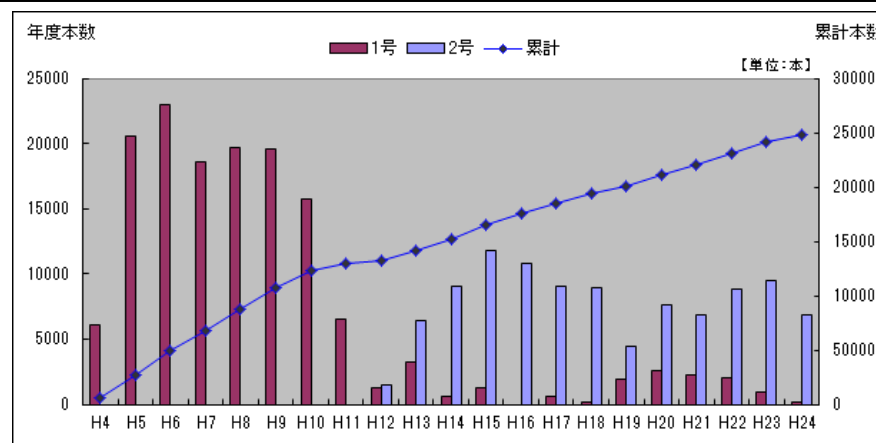
①低レベル放射性廃棄物埋設センター[2/2]



出典: 日本原燃(株)HP(http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu.html)に加筆

②埋設対象廃棄物

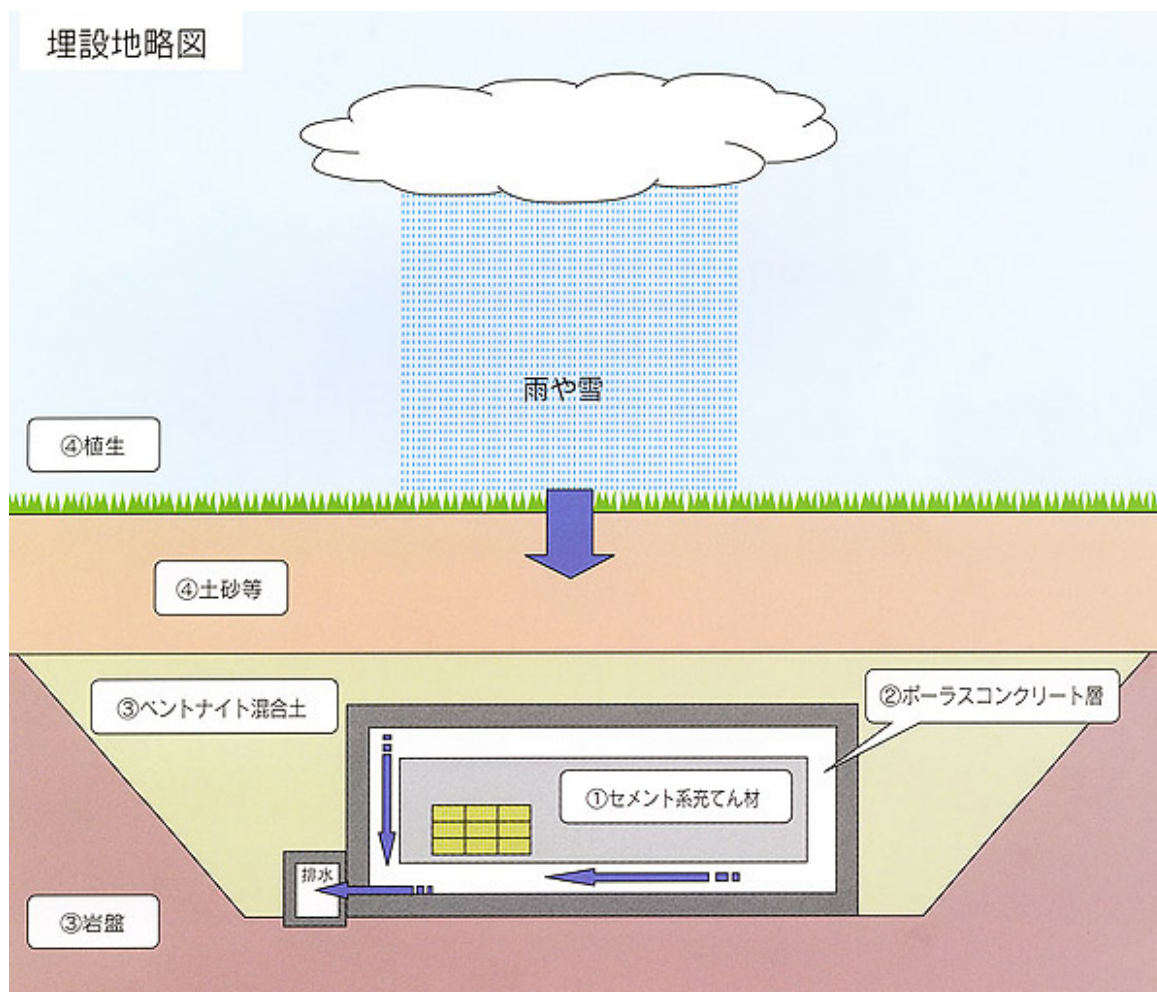
対象施設	廃棄体名称	主な廃棄物	廃棄体イメージ
1号 廃棄物 埋設地	均質・均一 固化体	- 原子力発電所の運転に伴い発生した濃縮廃液、使用済み樹脂、焼却灰などの低レベル放射性廃棄物 - セメント、アスファルト、プラスチックによりドラム缶に固型化	 
2号 廃棄物 埋設地	充てん 固化体	- 原子力発電所の運転に伴い発生した金属類、難燃性プラスチック、フィルター、保温材などの低レベル放射性廃棄物 - 分別し、必要に応じて切断、圧縮、溶融処理 - モルタルで一体となるよう固型化	 



廃棄体の受入実績

出典：日本原燃(株)HP(http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu.html)

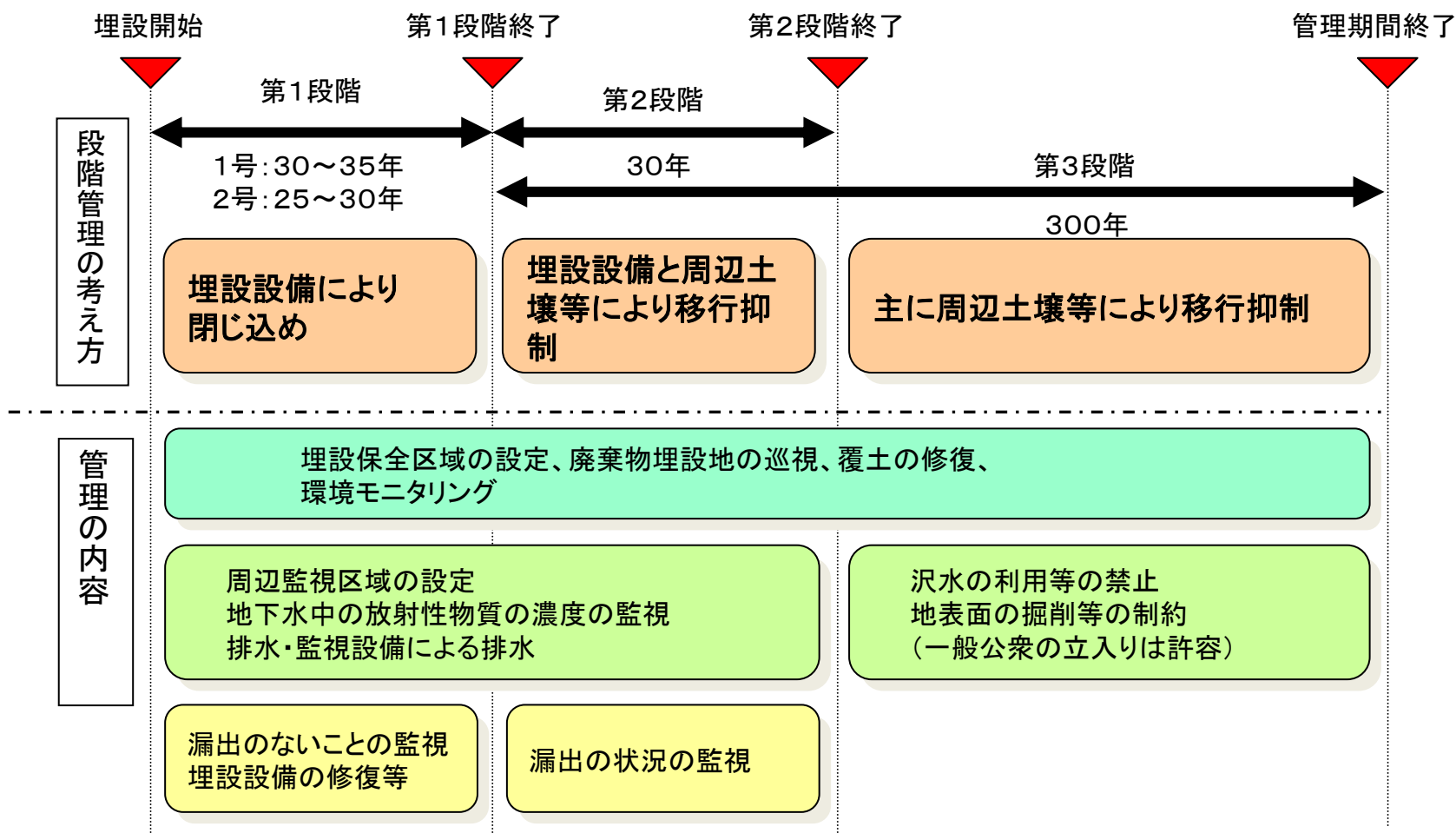
③埋設設備の構造～核種漏出抑制のしくみ～



- ①廃棄体は、鉄筋コンクリート製の埋設設備へ収納。埋設設備はセメント系充てん材(モルタル)で隙間無く充填し、放射性物質を閉じ込める。
- ②埋設設備中の多孔質のポーラスコンクリート層により、仮に設備内に水が浸入しても廃棄体に達する前に排水される。
- ③埋設設備は、水を通しにくい岩盤を掘り下げて設置。また埋設設備の上面及び側面は低透水性のベントナイト混合土で締め固め、岩盤よりもさらに水を通しにくく、埋設設備への水の浸入を抑える。
- ④周辺を土砂で覆い、植生を施す。

出典：日本原燃(株)HP(http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu.html)

④廃棄物埋設地の段階管理



- ・廃棄物の種類、放射能レベル等に応じて廃棄物埋設地の段階的な管理を行う
- ・約300年間の段階的な管理により、めやす線量を下回るまでに放射能レベルが低減。

出典: 日本原燃(株)HP(http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu.html)

(1) 六ヶ所浅地中処分施設の紹介 まとめ



- 低レベル放射性廃棄物埋設センターの埋設対象廃棄物は、原子力発電所の操業に伴い発生する“均質・均一固化体(1号廃棄物埋設地対象)”と“充てん固化体(2号廃棄物埋設地対象)”
- 埋設設備の構造と核種漏出抑制のしくみは次のとおり
埋設設備とセメント系充てん材...閉じ込め
ポーラスコンクリート層...浸入水の排水
ベントナイト...低透水性
- 廃棄物埋設地では放射能レベルに応じて段階的な管理を行い、時間経過に伴い廃棄物中の放射能は周辺公衆の被ばく線量の観点で安全上問題の無いレベルまで低減

(1) 六ヶ所浅地中処分施設の紹介

- ①低レベル放射性廃棄物埋設センター、 ②埋設対象廃棄物、
- ③埋設設備の構造、 ④廃棄物埋設地の段階管理、

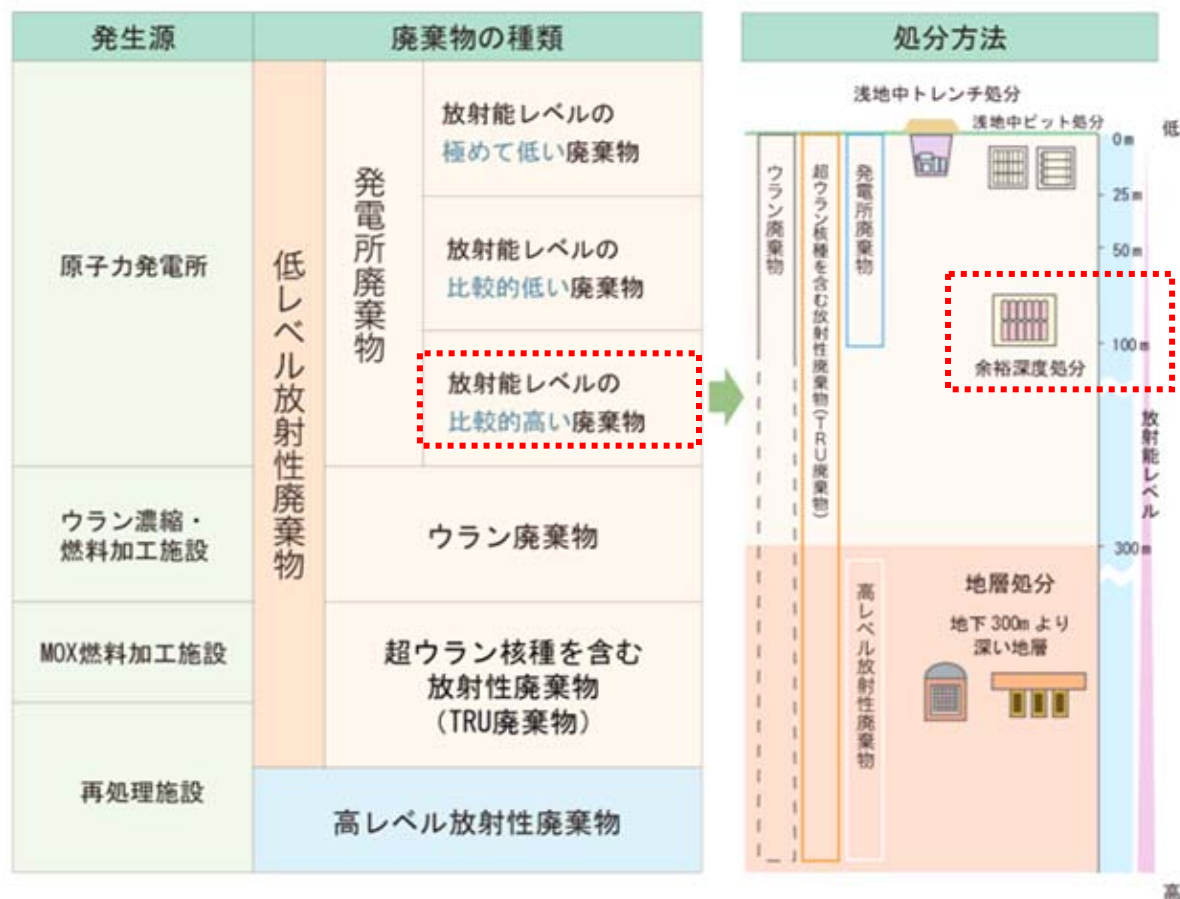
(2) 余裕深度処分に関する調査・施設検討

- ①余裕深度処分とは、 ②本格調査の実施、 ③本格調査の結果、
- ④余裕深度処分対象廃棄物、 ⑤施設の構想

(3) 余裕深度処分の安全評価の検討状況

- ①原安委指針について、 ②施設概念の検討、 ③外部影響事象の抽出、
- ④従属的な安全機能の抽出、 ⑤シナリオの開発・モデリング、
- ⑥線量評価の実施、 ⑦安全評価の信頼性向上に向けた取り組み

①余裕深度処分とは[1/2]



「余裕深度処分」とは

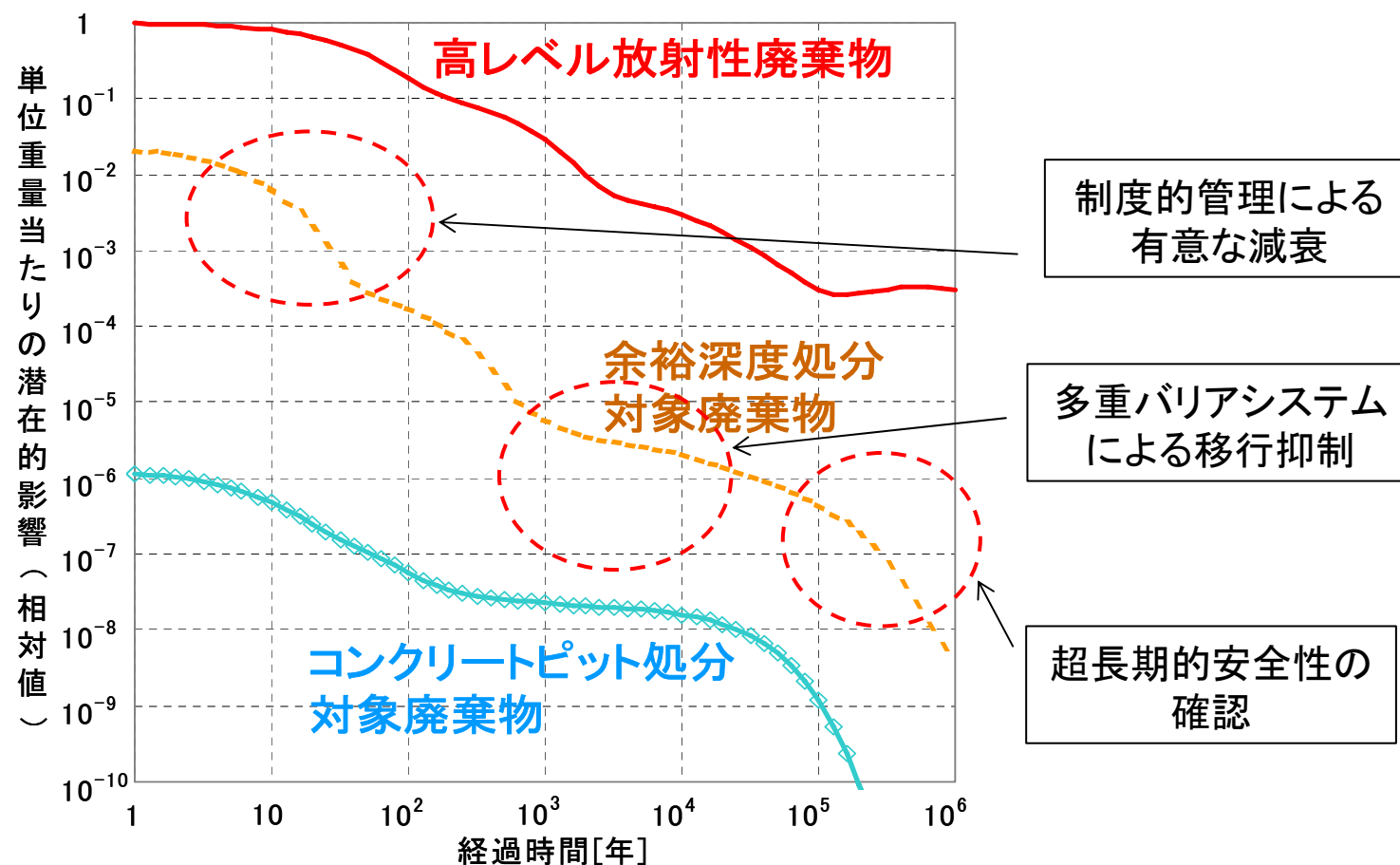
- 「低レベル放射性廃棄物」のうち「放射能レベルの比較的高い廃棄物」を対象。具体的な廃棄物として、発電所や再処理施設などの操業廃棄物、解体廃棄物を対象としている。
- 一般的な地下利用(都市部の建築物基礎や地下鉄、共同溝)に十分余裕をもった深度(地下50m～100m)への処分

- ・十分な余裕を持った深度に埋設することにより、施設と人間との接触は通常考えられない
- ・数十mを超える地下利用の際には、事前の調査が行われるので、文献調査や物理探査等により、廃棄物が埋設されていることが判明する。

出典：資源エネルギー庁パンフレット「TALK. 考えよう、放射性廃棄物のこと。
～原子力エネルギーの未来のために、地層処分～」
(<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/library/library03.html>)に加筆

出典：経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室HP
(<http://www.enecho.meti.go.jp/rw/gaiyo/gaiyo03-3.html>)

① 余裕深度処分とは[2/2]



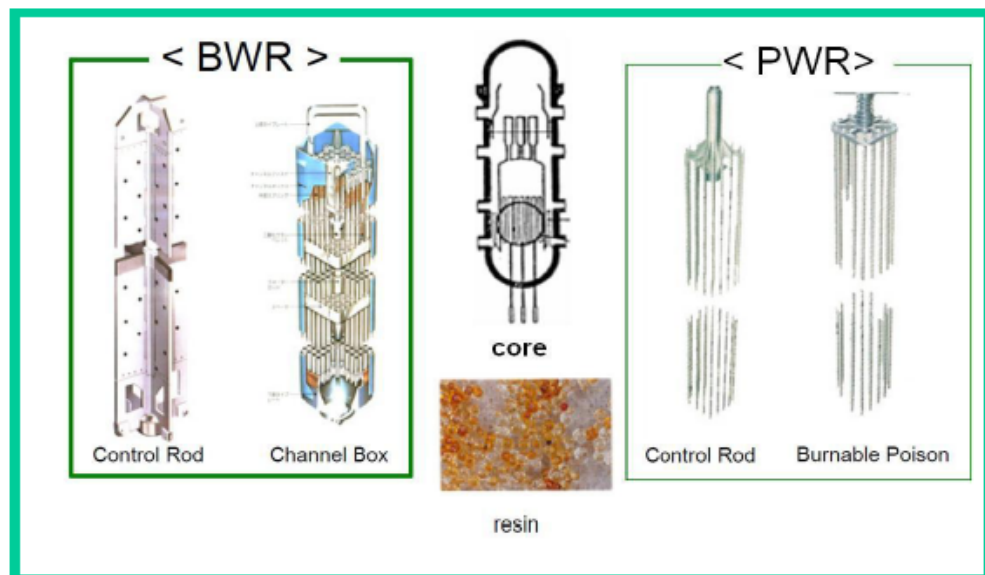
放射性廃棄物の潜在的影響の経時変化の比較
(高レベル放射性廃棄物(ガラス固化体)の1年目を1とした相対値)

(出典:原子力安全委員会資料より(一部編集))

④ 余裕深度処分対象廃棄物[1/3]

余裕深度埋設対象廃棄物

- ・炉内構造物
 - ・チャンネルボックス
 - ・制御棒
 - ・バーナブルポイズン
 - ・使用済樹脂
 - ・JNFL 再処理・MOX 施設からの廃棄物
- 放射化金属



切断等の処理を行い、角型容器に収納

- ・発電所の廃止措置や操業時に発生する炉内構造物(チャンネルボックス、バーナブルポイズン)や制御棒などの比較的放射能レベルの高い廃棄物等が対象

- ・上記の他に、使用済み樹脂、再処理・MOX廃棄物、日本原子力発電(株)のGCR解体廃棄物も対象

- ・例えば炉内構造物などはSUS材などで作られているが、材料中にはさまざまな成分・不純物が含有している。炉内環境ではこれらが放射化し、余裕深度処分対象廃棄物の主要な核種へ変化する。

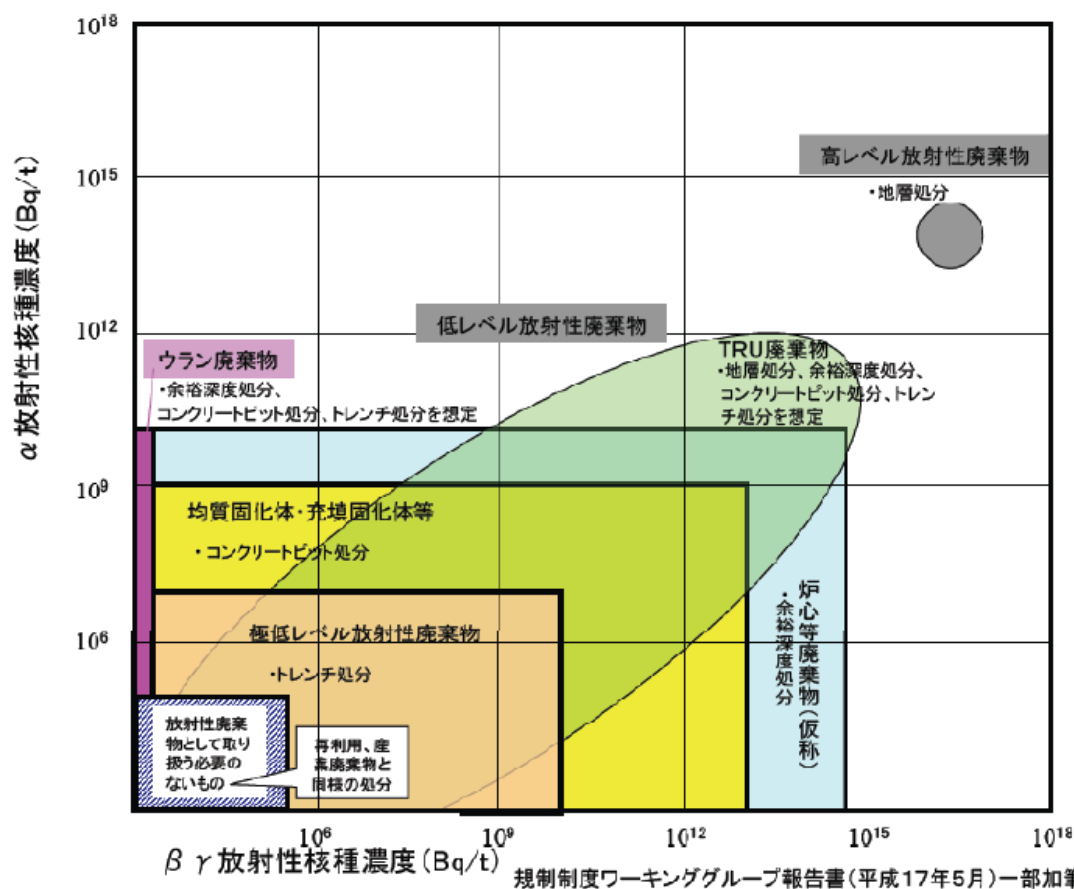
放射化する成分の代表例: ^{14}N

$\rightarrow ^{14}\text{N}(n,p)^{14}\text{C}$ でC-14生成

出典: 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 埋設処分技術ワーキンググループ(第6回、資料2)(2011)

④ 余裕深度処分対象廃棄物[2/3]

放射性廃棄物の濃度区分と処分方法



出典: 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会
(2007)、「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に係る安全規制について(中間報告)」

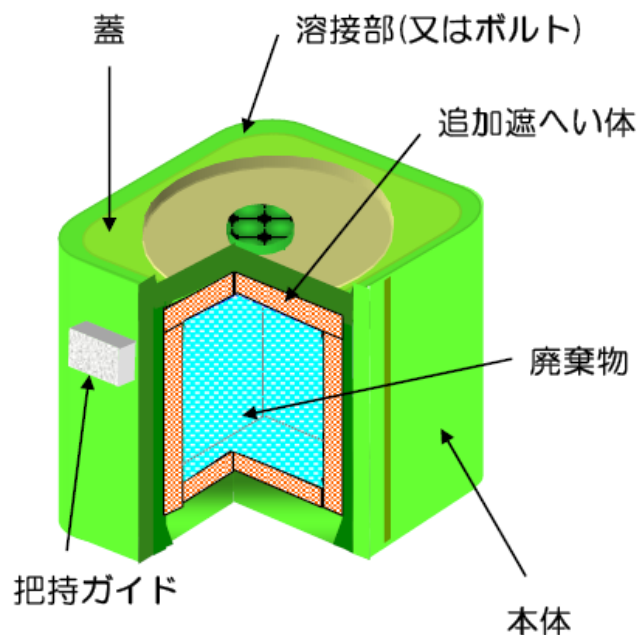
法令に定める低レベル放射性廃棄物
に係る濃度上限値

(単位: Bq/t)

法令条項	政令 第31条	第二種埋設規則 第1条の2	
放射性物質の種類	第一種埋設と第二種埋設の区分値	浅地中 ピット処 分の濃度 上限値	浅地中ト レンチ処 分の濃度 上限値
C-14	1E+16	1E+11	—
Cl-36	1E+13	—	—
Co-60	—	1E+15	1E+10
NI-63	—	1E+13	—
Sr-90	—	1E+13	1E+07
Tc-99	1E+14	1E+09	—
I-129	1E+12	—	—
Cs-137	—	1E+14	1E+08
α核種	1E+11	1E+10	—

出典: 炉規制法施行例第31条、
第二種埋設規則第1条の2を基に作成

④余裕深度処分対象廃棄物[3/3]



廃棄体仕様(案)

廃棄体：最大28ton（内部遮へい、廃棄物含む総重量）

主材料：炭素鋼（SM400相当）

蓋部構造：溶接またはボルト締め

容器寸法：縦1.6m×横1.6m×高1.6m（又は1.2m）

容器肉厚：5cm以上（遮へい材を適宜内部に追加）

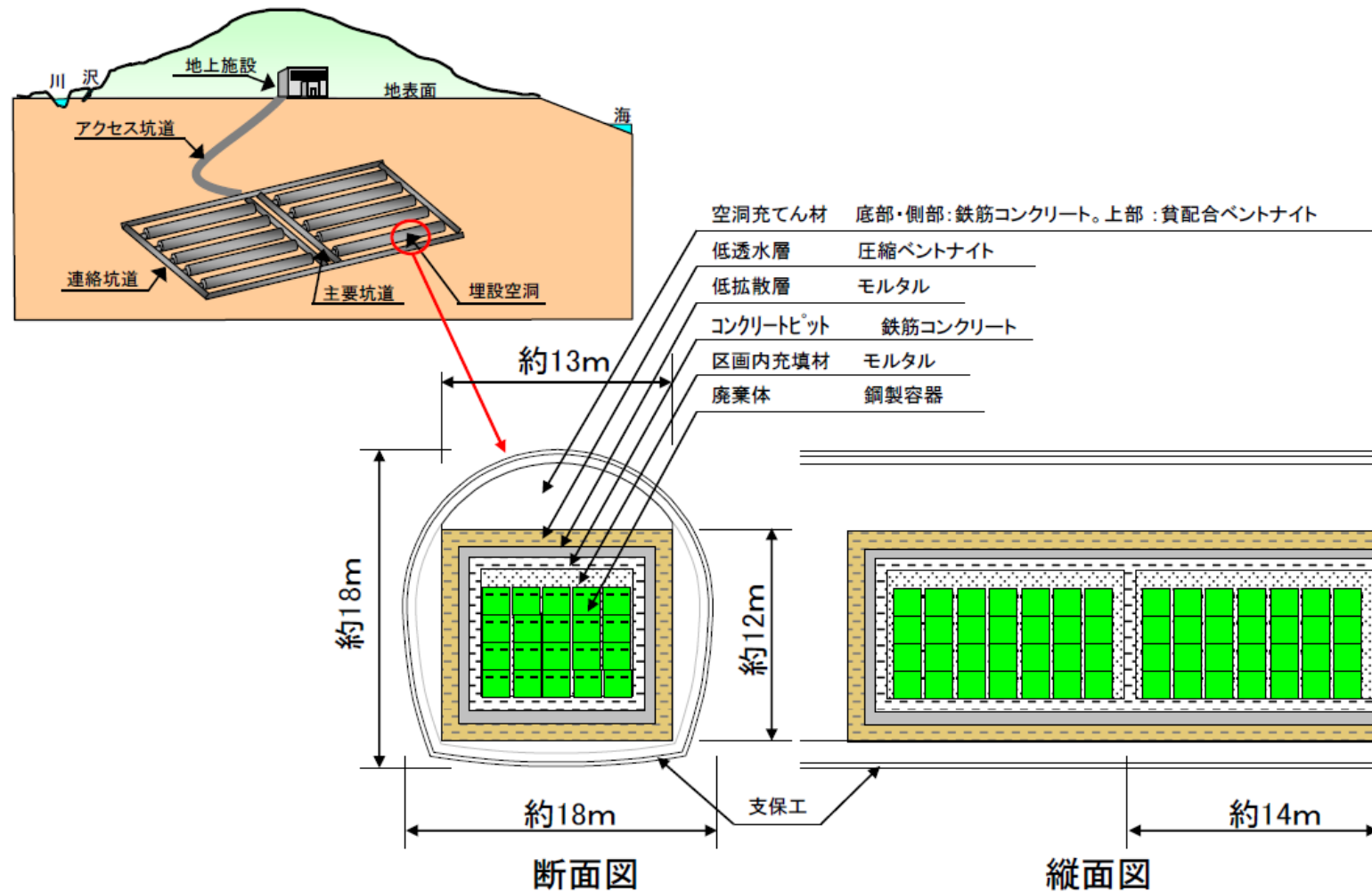
表面線量率：500mSv/h以下

＜余裕深度埋設対象廃棄体＞

- ・余裕深度処分対象廃棄物は放射能レベルが高いため、十分な遮へい性能を有する鋼製容器（必要に応じ追加遮へい体を装着）に収納
- ・鋼製容器に対して落下試験を実施した結果、保守的な落下条件を想定しても貫通亀裂が生ずることなく、十分な対落下性能を有することを確認できた

出典：総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 埋設処分技術ワーキンググループ(第6回、資料2)(2011)

⑤施設の構想[1/4]～設備の概要～

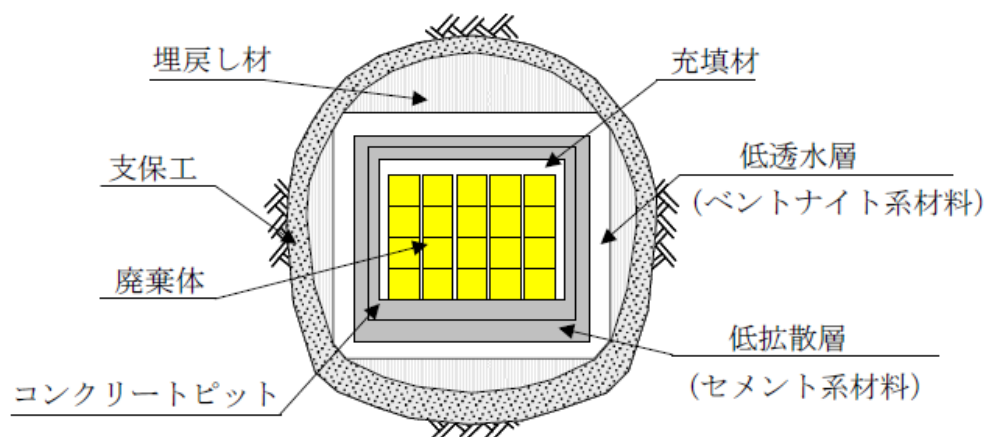


出典: 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 埋設処分技術ワーキンググループ(第6回、資料2)(2011)

⑤施設の構想[2/4]～核種移行抑制の仕組み～

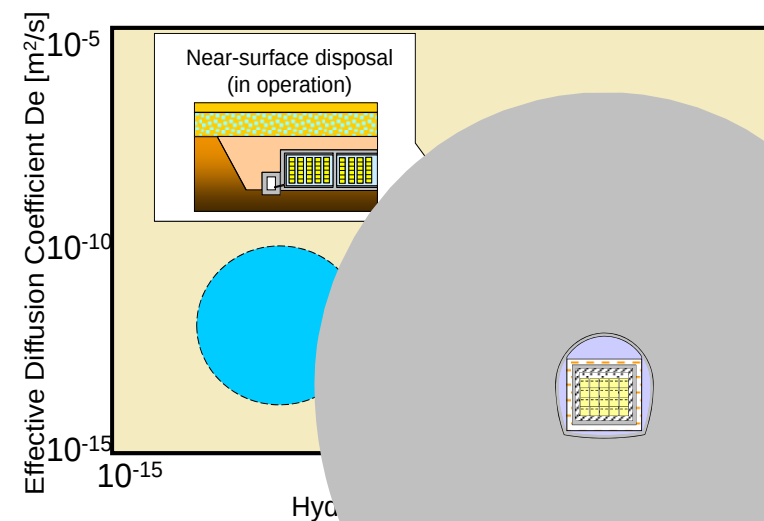


- 対象廃棄物の放射能レベルが高く、ベントナイトの低透水性だけでは安全性を確保できない
→高緻密なセメント系材料(モルタル)を用い、その低拡散性で核種移行を抑制



人工バリア機能	主な部位	材料
低透水性	低透水性	ベントナイト
低拡散性	低拡散層	セメント系材料 (モルタル)
核種収着性	充填材	セメント系材料 (モルタル)
	コンクリートピット	セメント系材料 (鉄筋コンクリート)
	低拡散層	セメント系材料 (モルタル)

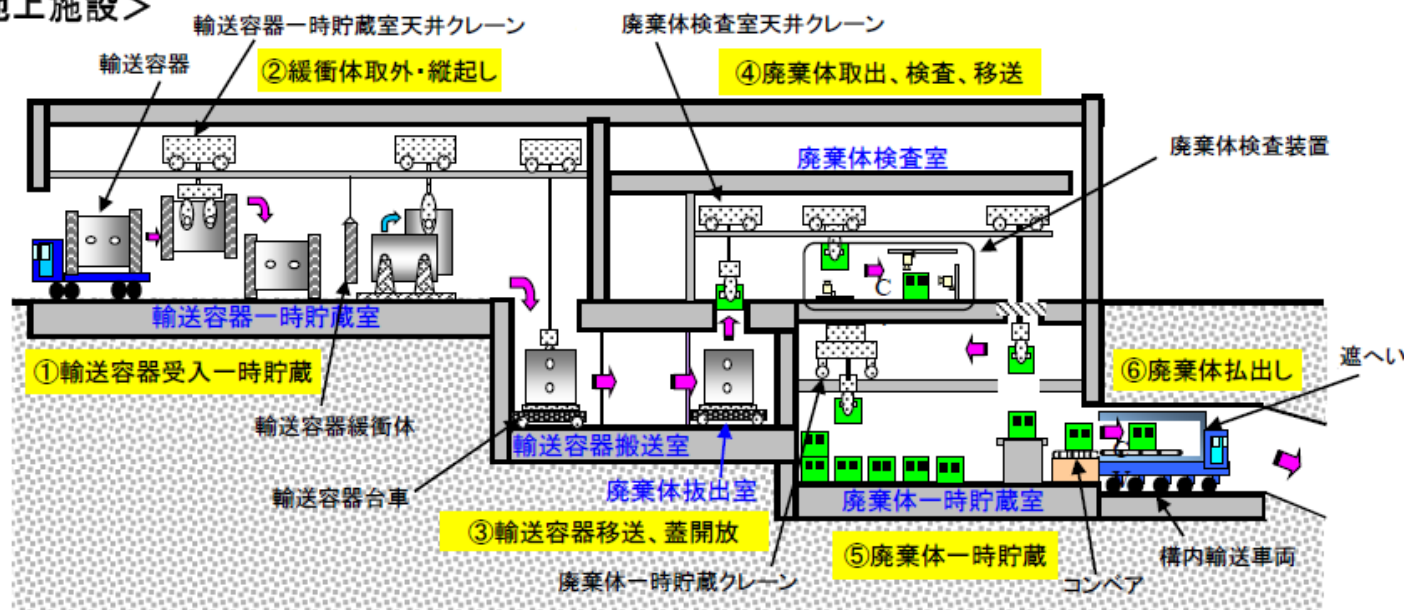
出典: 社団法人土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会(2008)、「余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方」



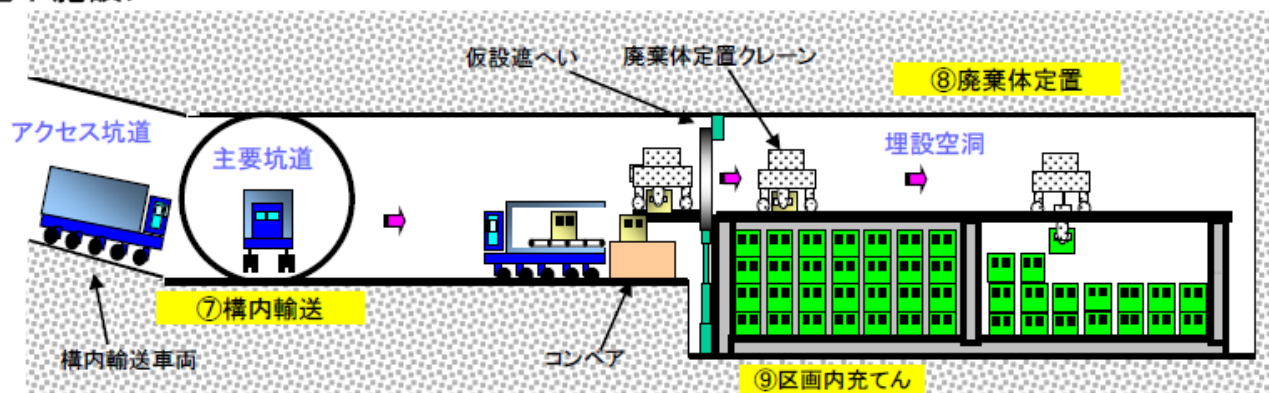
T. Shimizu, The Fourth Annual RadWaste Summit, September 7-10, 2010, Las Vegas, Nevada

⑤施設の構想[3/4]～操業イメージ～

<地上施設>

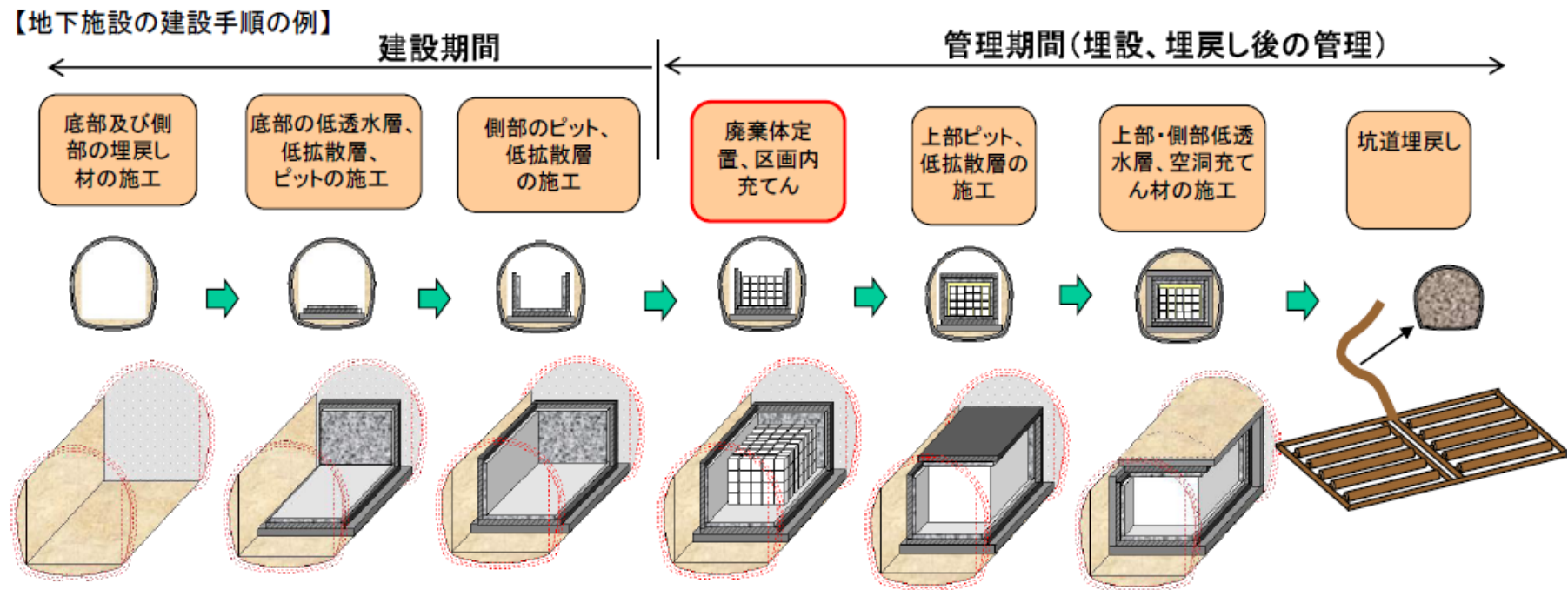


<地下施設>



出典: 総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 埋設処分技術ワーキンググループ(第6回、資料2)(2011)

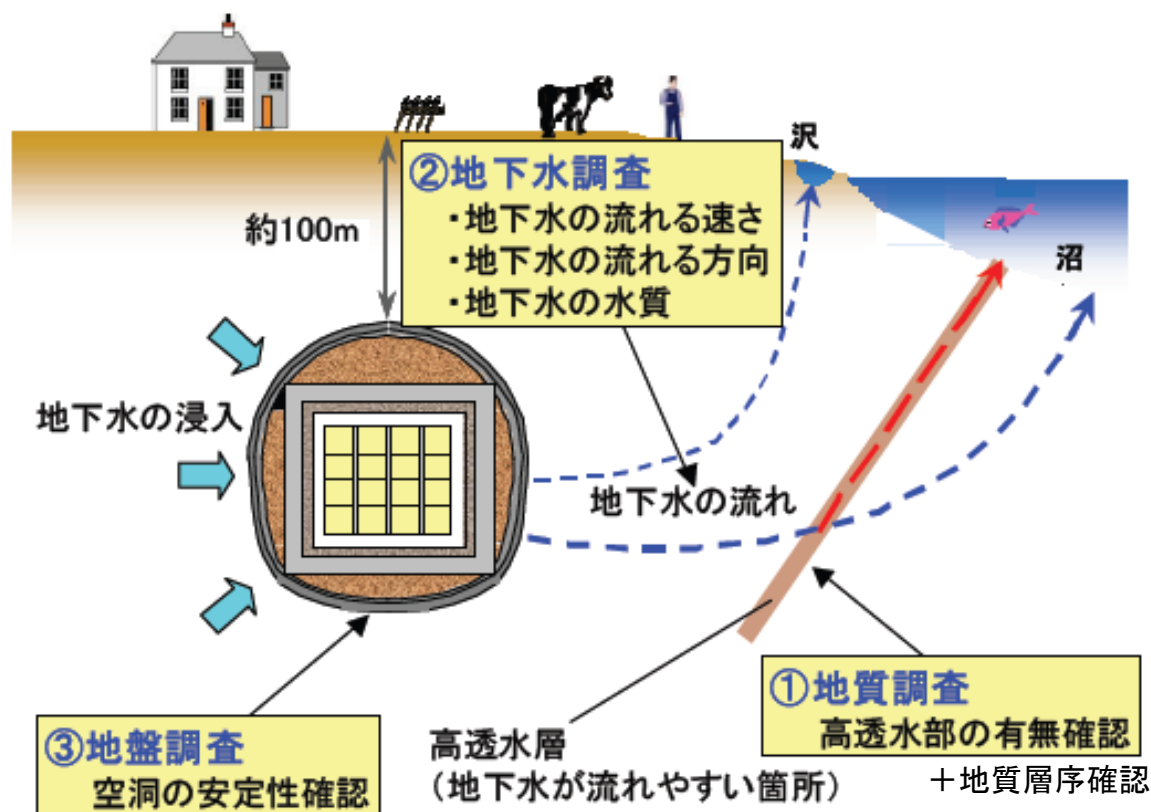
⑤施設の構想[4/4]～建設・埋め戻しイメージ～



出典：総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 埋設処分技術ワーキンググループ(第6回、資料2)(2011)

②本格調査の実施[1/2]

余裕深度処分施設の検討に必要な情報を得るために、2001年7月～2002年6月の期間で“**予備調査**”を、2002年11月～2006年3月の期間で“**本格調査**”を実施。



※本格調査の詳しい内容については、下記アドレスを参照

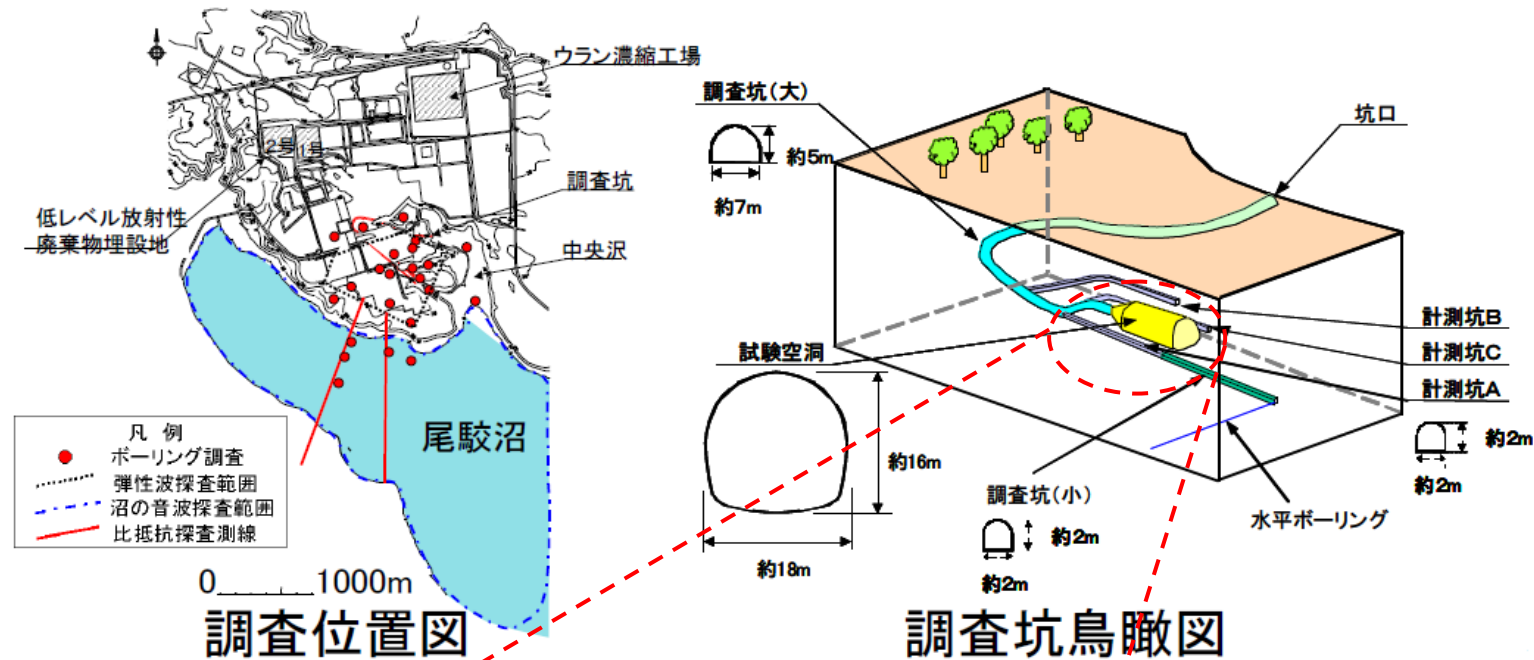
日本原燃株式会社、「低レベル放射性廃棄物の次期埋設に関する本格調査の結果について」(2006)

<http://www.jnfl.co.jp/press/pressj2006/pr060901-1.html>

本格調査の調査項目とその目的

出典：石田 裕樹 他(2006)、「余裕深度処分の成立性確認に向けた地質環境調査について」、原子力バックエンド研究Vo.13、No.1

②本格調査の実施[2/2]



試験空洞構築状況

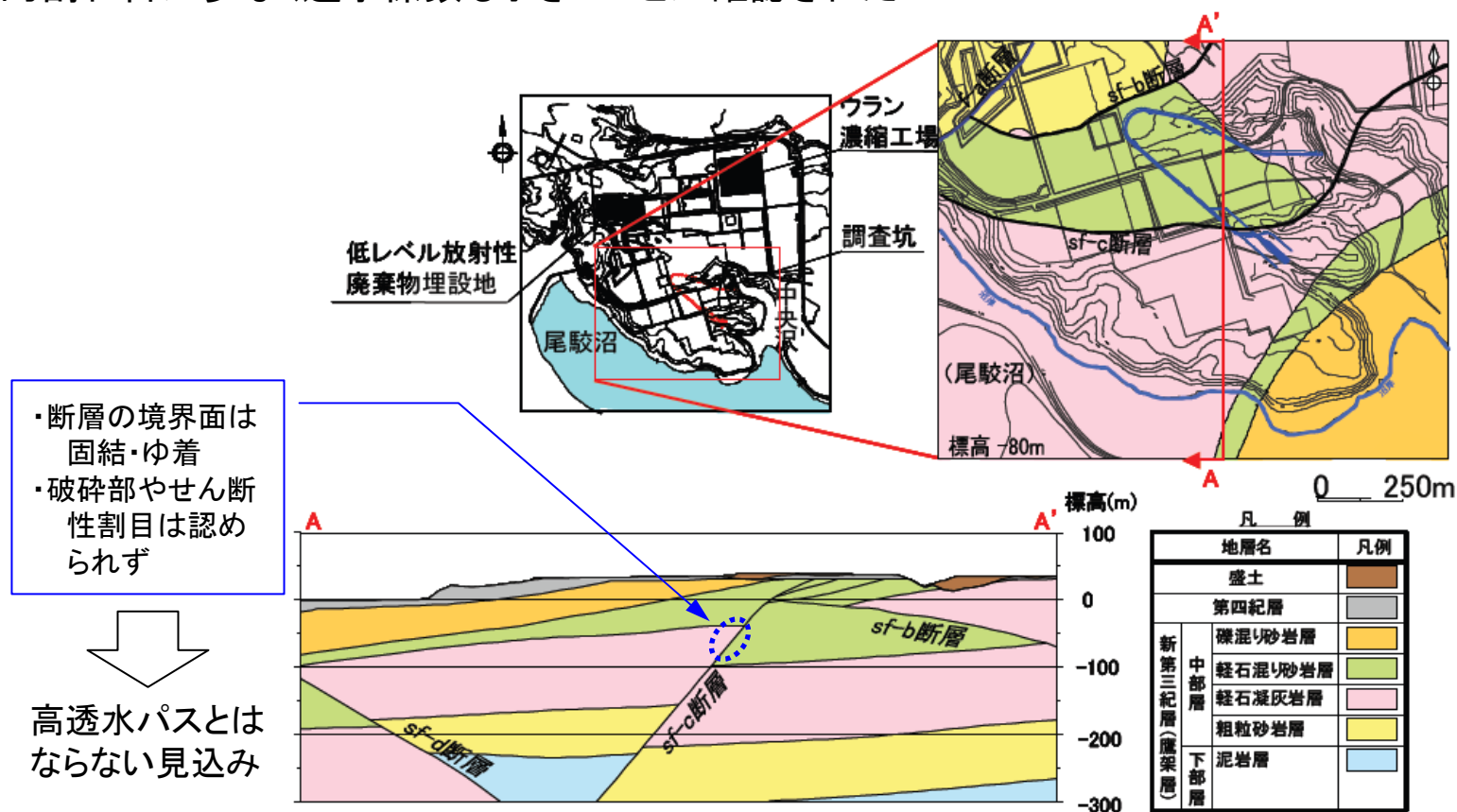
出典：日本原燃(株)HPを基に再構成

(http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu.html)

③本格調査の結果[1/3]～地質調査～

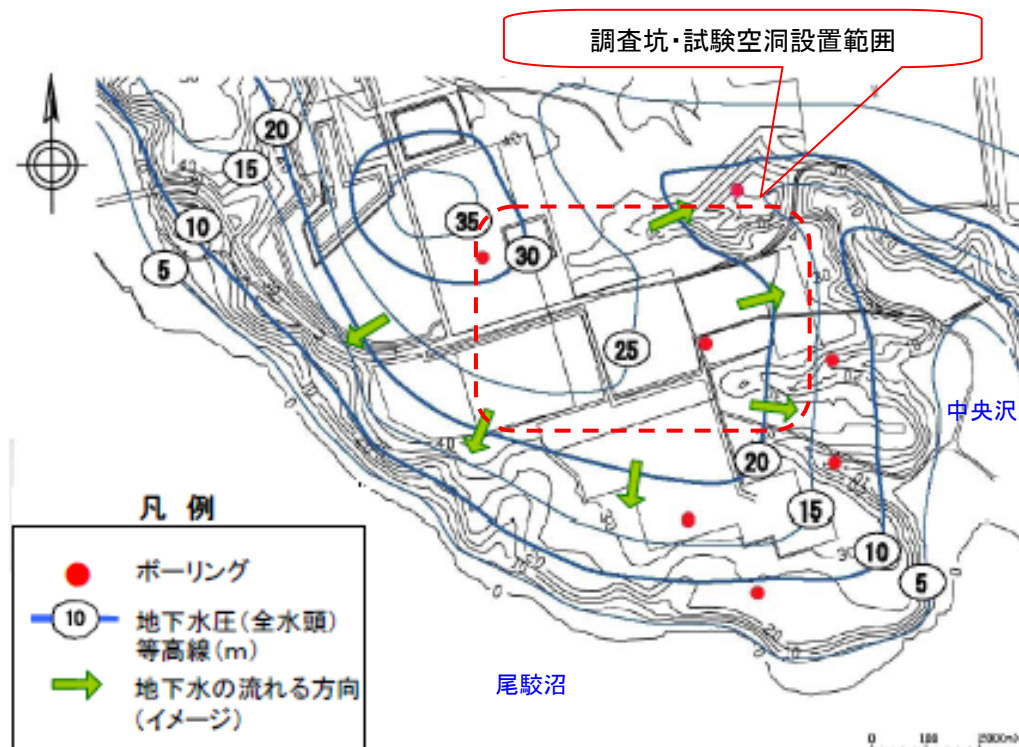


- ボーリング調査、試験空洞掘削などにより、周辺の地質状況を調査
- 調査の結果、深度-100m付近に、「軽石凝灰岩層」「軽石混り砂岩」が広範に分布して比較的割れ目が少なく透水係数も小さいことが確認された



出典: 石田 裕樹 他(2006)、「余裕深度処分の成立性確認に向けた地質環境調査について」、原子力バックエンド研究Vo.13、No.1

③本格調査の結果[2/3]～地下水調査～



注) 地下水圧分布図に重ねて地表面の地形等高線を記載

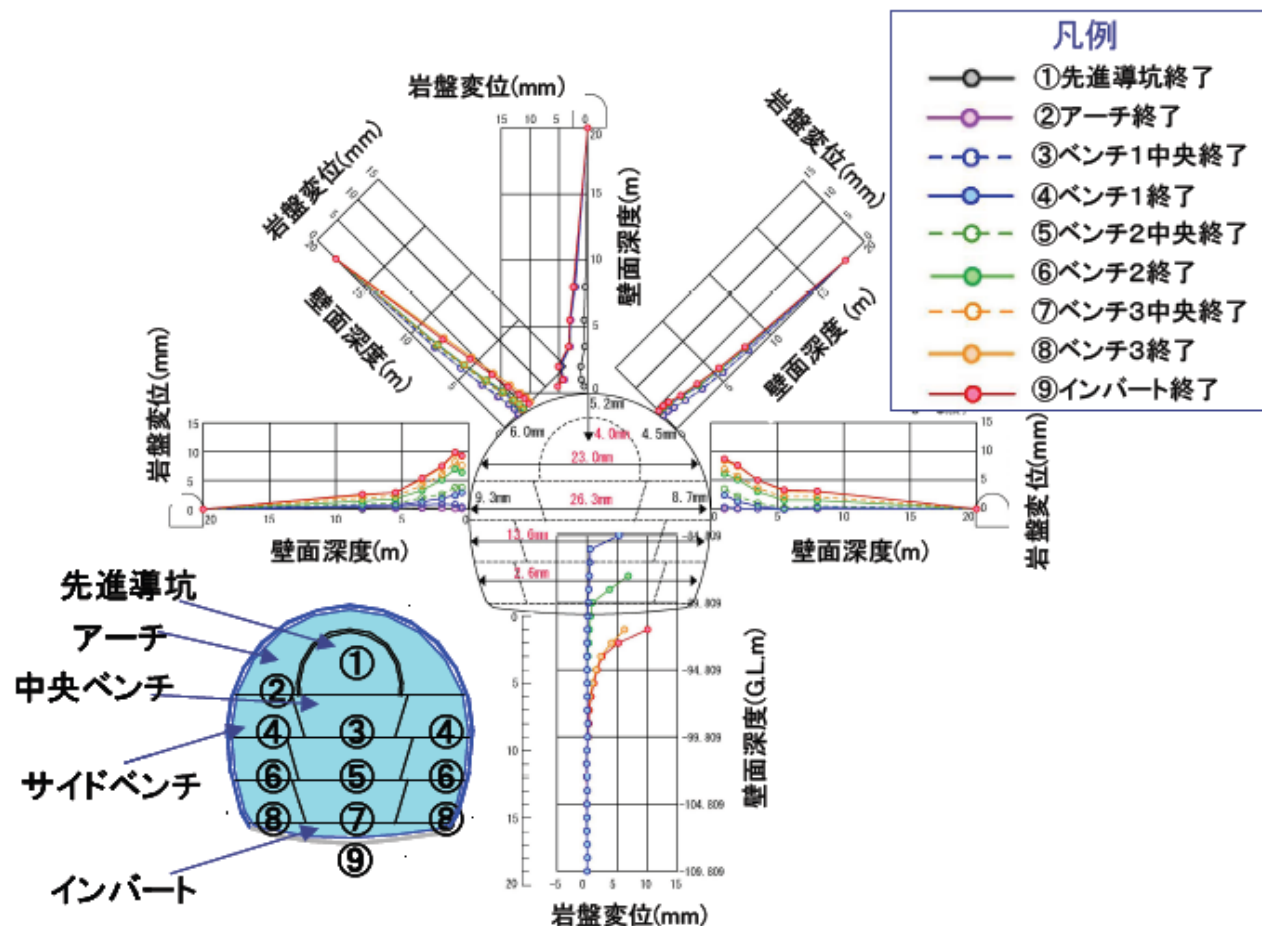
- ボーリング孔を利用し、地下水圧測定試験を実施(図中は標高-80 mでの地下水圧分布)
- 地下水圧は試験空洞の北西方向が高い結果となっており、地下水は南側の尾駁沼と中央沢に向けて流れている
- 岩盤の透水性と地下水分布圧から、試験空洞周辺の地下水流速は、平均して10 cm/yr 程度

ボーリング孔において実施した
原位置透水試験結果

透水係数	対数平均
軽石凝灰岩層	1.9E-8 m/s
軽石混り砂岩層	9.9E-8 m/s

出典: 石田 裕樹 他(2006)、「余裕深度処分の成立性確認に向けた地質環境調査について」、原子力バックエンド研究Vo.13、No.1

③本格調査の結果[3/3]～地盤調査～



- 試験空洞掘削に伴う空洞近傍における岩盤変位測定試験を実施。

→試験空洞掘削による岩盤変位は最大で1cm程度

- 深度50～100m付近に分布する軽石凝灰岩層に三軸圧縮試験を実施。
→岩石の軸差強度は4 Mpa程度

出典: 石田 裕樹 他(2006)、「余裕深度処分の成立性確認に向けた地質環境調査について」、原子力バックエンド研究Vo.13、No.1

(2) 余裕深度処分に関する調査 まとめ

- 余裕深度処分対象廃棄物：低レベル放射性廃棄物のうち放射能レベルの比較的高い廃棄物（炉内構造物、制御棒等）
- 余裕深度処分の検討に必要な情報の取得を得るため、日本原燃(株)敷地内で本格調査を実施し、以下を確認している。
 - ①地質調査の結果、試験空洞設置深度(標高-100 m)付近の地質は非常に割れ目の少ない岩盤であること
 - ②地下水調査の結果、試験空洞付近の地下水は南側の尾駁沼または中央沢方向に流れていること
 - ③地盤調査の結果、試験空洞を安定して掘削でき、また試験空洞自体の変位量が少ないこと
- 対象廃棄物を安全に埋設処分するために必要な施設構成の検討、施設の操業に関する検討を行っている。

(1) 六ヶ所浅地中処分施設の紹介

- ①低レベル放射性廃棄物埋設センター、 ②埋設対象廃棄物、
- ③埋設設備の構造、 ④廃棄物埋設地の段階管理、

(2) 余裕深度処分に関する調査・施設検討

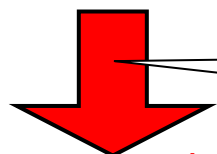
- ①余裕深度処分とは、 ②本格調査の実施、 ③本格調査の結果、
- ④余裕深度処分対象廃棄物、 ⑤施設の構想

(3) 余裕深度処分の安全評価の検討状況

- ①原安委指針について、 ②施設概念の検討、 ③外部影響事象の抽出、
- ④従属的な安全機能の抽出、 ⑤シナリオの開発・モデリング、
- ⑥線量評価の実施、 ⑦安全評価の信頼性向上に向けた取り組み

①原安委指針について～概要～

- 1号・2号埋設施設の規制として、「放射性廃棄物埋設施設の安全審査の基本的考え方」(昭和63年3月原子力安全委員会決定、平成5年1月7日、平成13年3月29日、平成21年10月5日一部改訂)が適用



- ・適用対象に余裕深度処分を追加
- ・リスク論的考え方を反映
- ・最新の科学的知見を反映

- 2010年8月に、原子力安全委員会にて「**第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方**」(以下、「**原安委指針**」とする)が決定

- a)新規のシナリオ区分とめやす線量の適用
- b)影響事象の体系的・網羅的な検討と、その変動に伴う長期的な状態設定の反映(時間的、空間的な変化の考慮)
- c)最大の被ばくを受けると合理的に想定される個人を設定
(人間生活の様式化、各移行経路の重ね合わせ、等)
- d)“確からしい”パラメータや状態設定の考え方(不確実性の取扱)
- e)モデル及びパラメータに関する品質保証(科学的合理性の提示)
- f)定期安全レビュー、及びレビューに資するモニタリングの要求

出典:原子力安全委員会(2010)、「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」

※注意※

現在、原子力規制委員会-「核燃料施設等の新規規制基準に関する検討チーム」で議論されている新規規制基準は余裕深度処分施設を対象外としている。

ここでの紹介事項は原子力安全委員会が決定した原安委指針の他、学会標準等に即したものである。

①原安委指針について～めやす線量～

原安委指針_VII.管理期間終了後に係る安全評価

→処分方法に応じ4区分のシナリオを評価し、それぞれにシナリオに対する「めやす」を満足

- 基本シナリオ...**10 μ Sv/年**以下
- 変動シナリオ...**300 μ Sv/年**以下
- 稀頻度シナリオ...**10 mSv/年**、(保守的な条件の場合は**100 mSv/年**)
- 人為事象シナリオ...人間の行為を様式化した上で、関連して生じる自然過程の事象についてできるだけ確からしい想定と不確かさを考慮した保守的な想定を行って評価
 - ・前者の想定に基づく周辺住民への影響については**1 mSv/年**以下、特定の接近者個人への影響については**10 mSv**以下
 - ・後者の想定に基づく周辺住民への影響については**10 mSv/年**以下、特定の接近者個人への影響については**100 mSv**以下

出典:原子力安全委員会(2010)、「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」

②施設概念の検討～安全確保の考え方～



○安全確保の基本的要件

【受入れ～埋戻し完了】

- ・核種閉込め機能
- ・放射線遮蔽機能

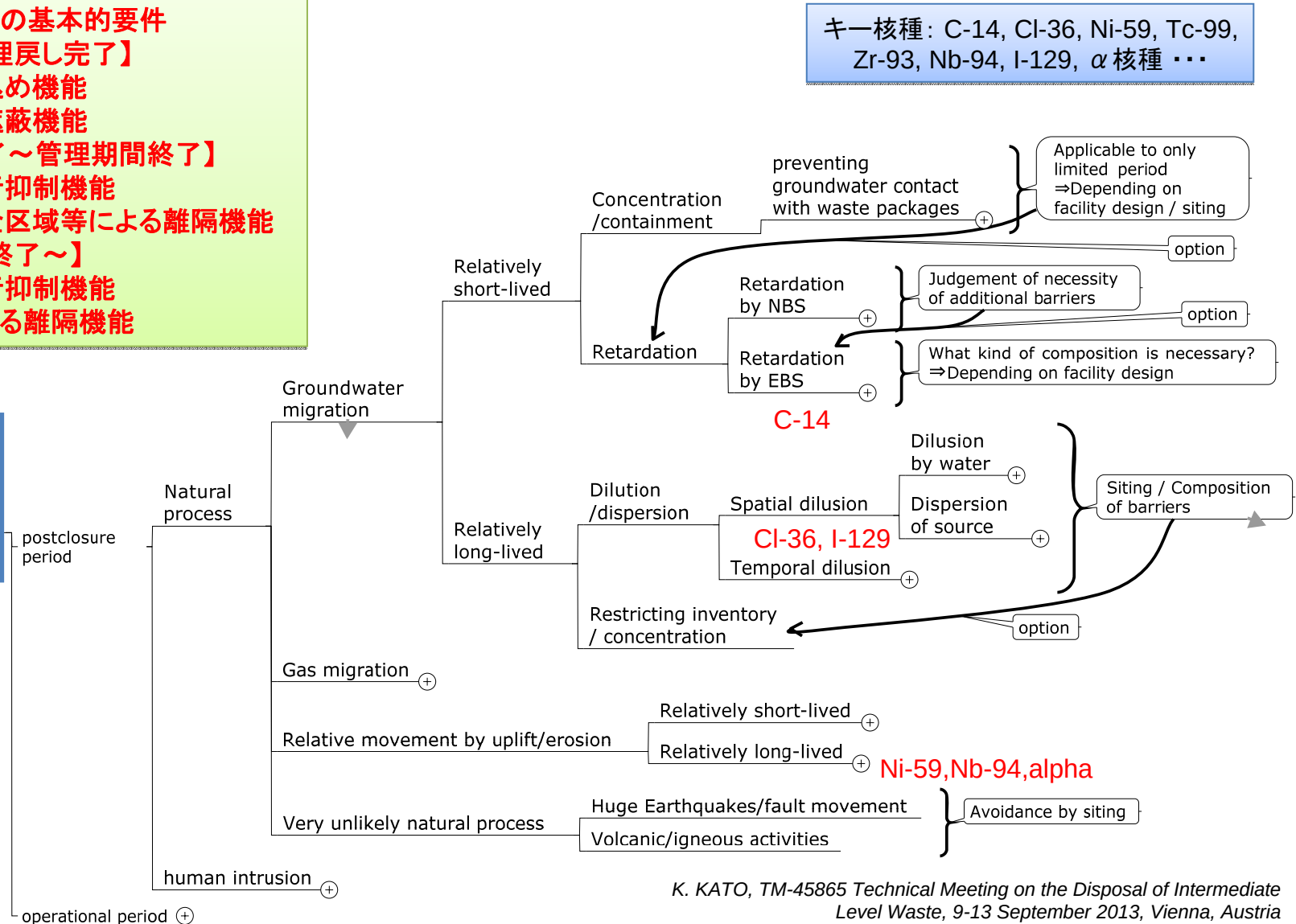
【埋戻し完了～管理期間終了】

- ・核種移行抑制機能
- ・埋設保全区域等による離隔機能

【管理期間終了～】

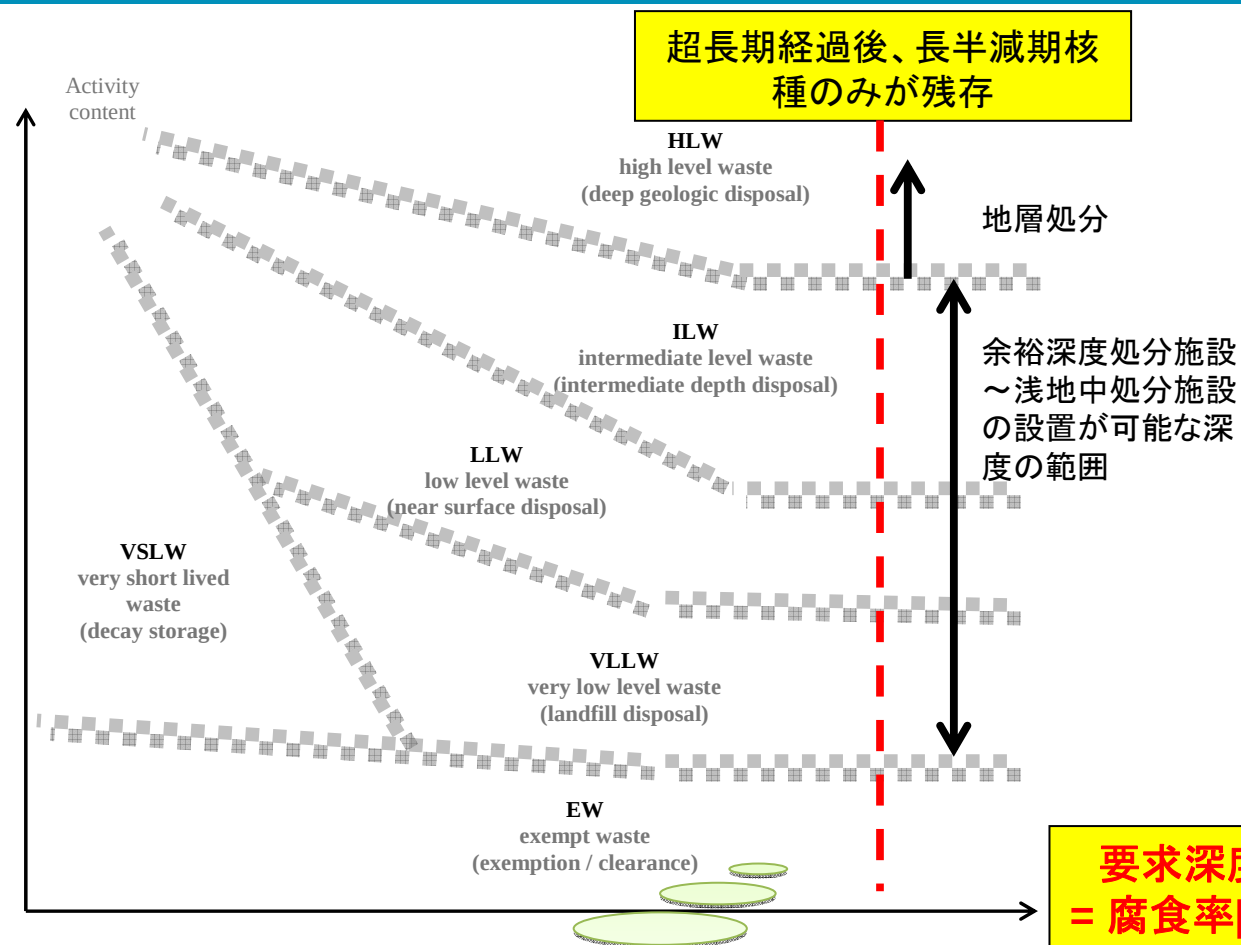
- ・核種移行抑制機能
- ・深度による離隔機能

上記を達
するための
安全確保
策の検討

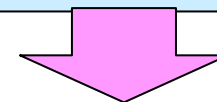


K. KATO, TM-45865 Technical Meeting on the Disposal of Intermediate Level Waste, 9-13 September 2013, Vienna, Austria

②施設概念の検討～設置深度の決定等～



- 設置深度と施設形状により人間侵入のリスクを低減
- 隆起/侵食の検討および長半減期核種の濃度を考慮し、余裕深度処分施設が露呈するまでの時間が十分に確保されている必要がある。

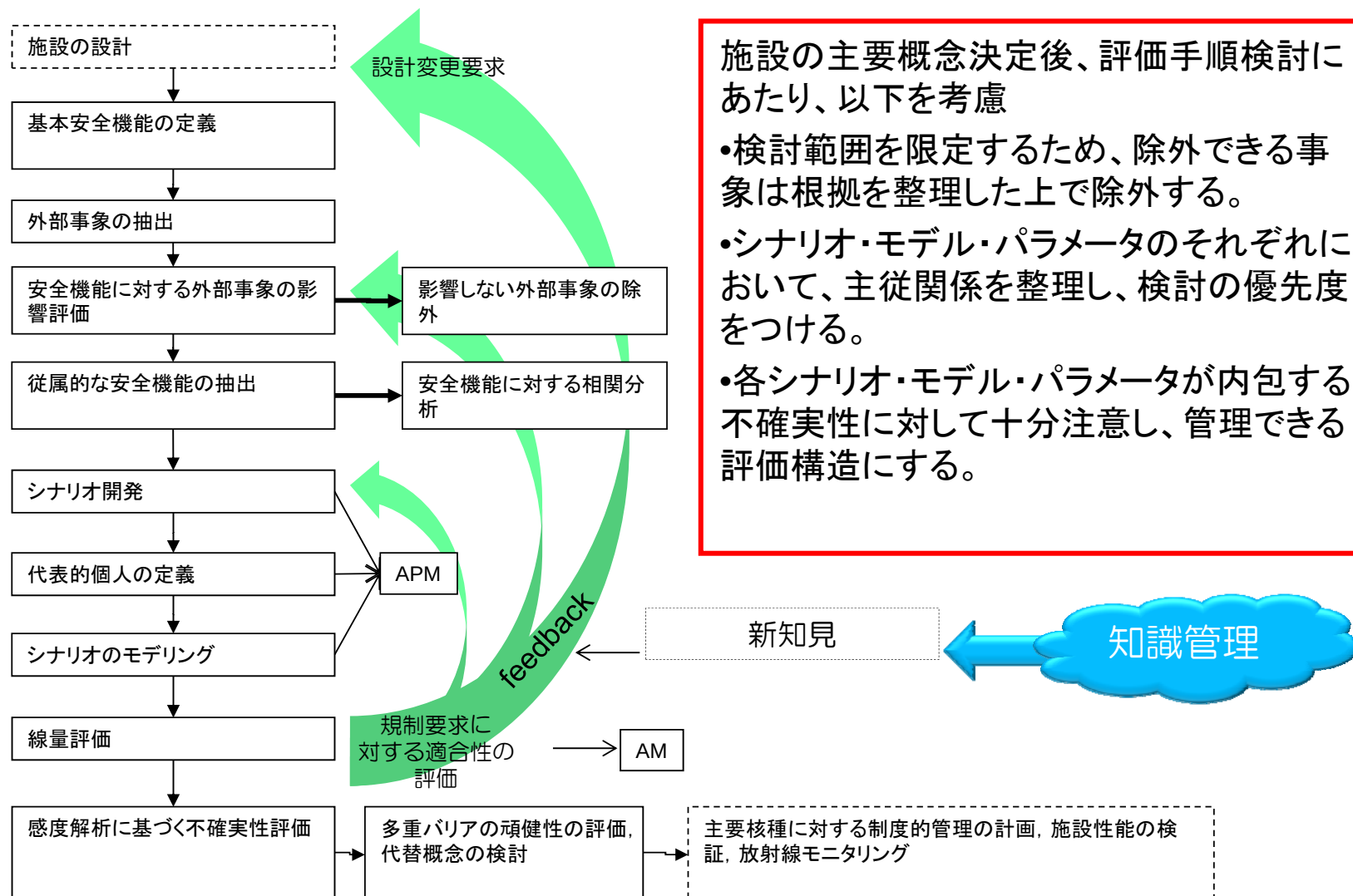


要求深度 [m]
= 腐食率[m/y] × 十分な減衰時間[y]

深度の検討の他、施設形状検討、
 廃棄物の配置検討、etc、を、安全確
 保戦略に基づいて決定していく。

K. KATO, TM-45865 Technical Meeting on the Disposal of Intermediate Level Waste, 9-13 September 2013, Vienna, Austria の一部和訳

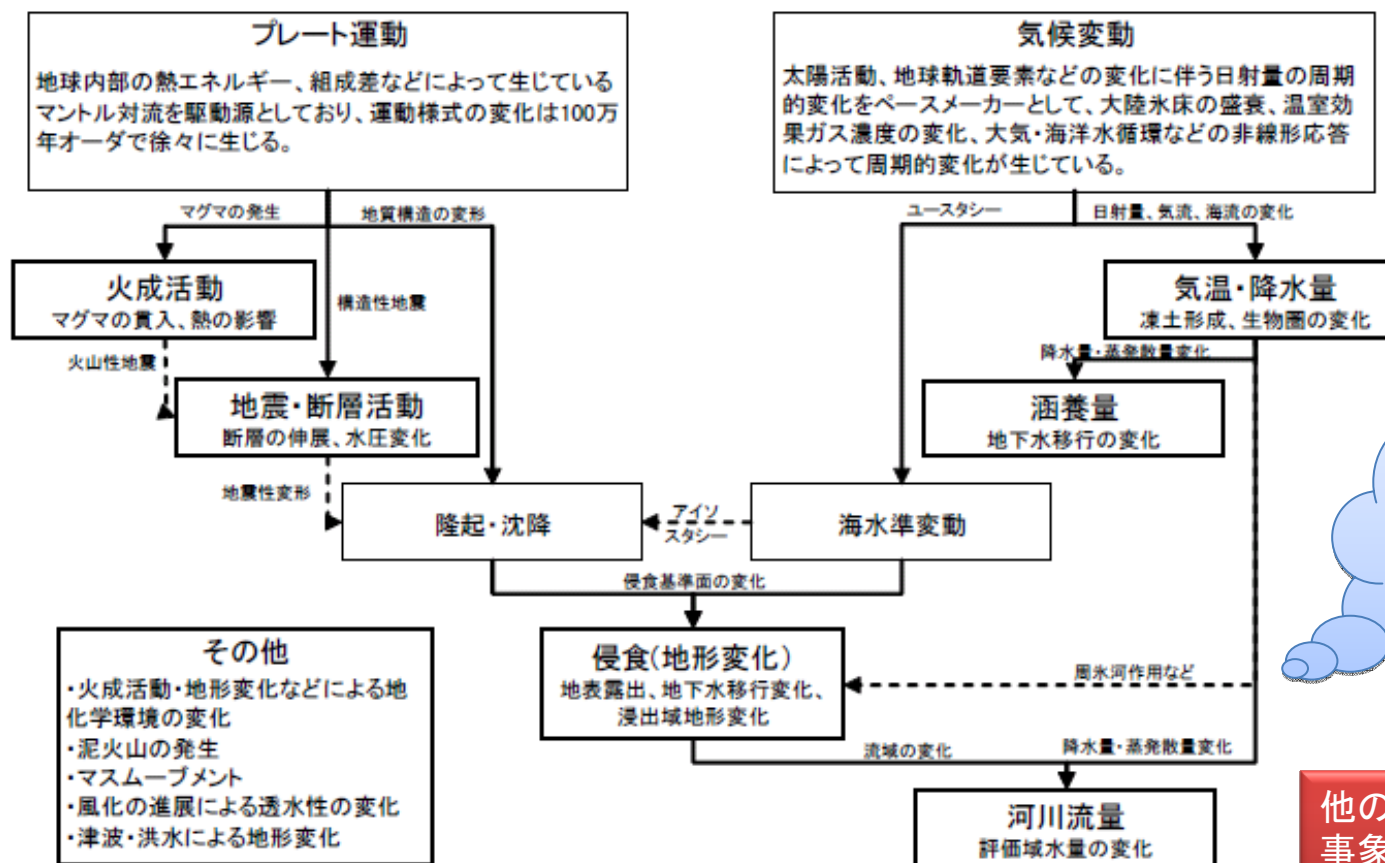
②施設概念の検討～評価の全体流れ～



安全評価手順の一例

T. Shimizu, IAEA/PURAM INTERNATIONAL WORKSHOP On R&D Studies in Support of Enhancing Confidence in the Safety Case for LILW Repositories, 28-30 May 2013, Budapest, Hungary

③外部影響事象の抽出



長期変動事象の項目と関連性

出典: 社団法人土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会(2008)、「余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方」

「THMCマトリクス」

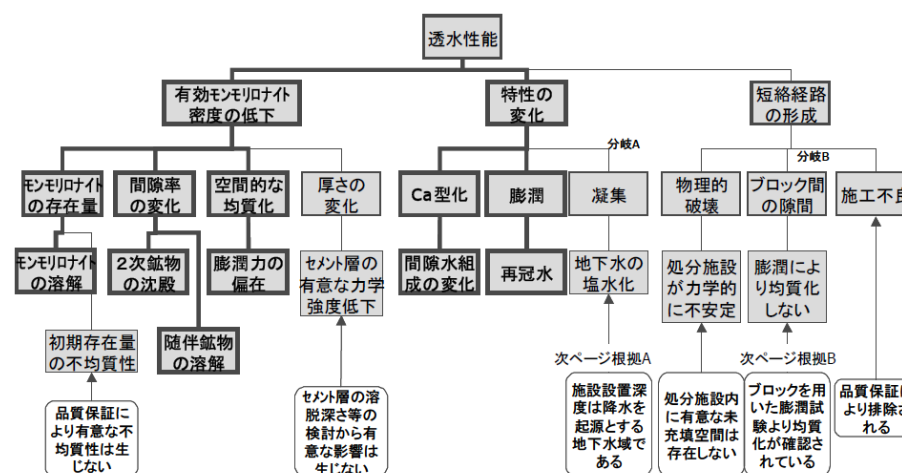
- ①各部材の熱(Thermo)－水理(Hydro)－力学(Mechanical)－化学(Che^mical)特性を把握
- ②それぞれの特性が他特性に与える影響を把握
- ③埋施設設性能に影響を与える事象のみを抽出
- ④抽出事項の相関を把握し、状態設定に影響を与える事象を設定

「ロジックツリー」

- ①THMCマトリクスを踏まえ、評価上重要な特性
(Ex: ベントナイト混合土の透水係数)を設定
- ②設定した安全機能に対し、直接影響のある要因を洗出し
- ③洗い出した要因が分解できる場合、さらに影響のある要因を洗出し
- ④影響事象の階層化を踏まえ、影響の無視できない事象を状態設定に反映

		ベントナイト層			高緻密コンクリート層		
ベントナイト層	水理	None	LI	LI	None	LI	
	変形に伴う密度変化による水理影響	力学	膨潤力によるモンモロナイトの移動(均質化)	None	膨潤力によるひび割れ影響	None	
	化学的変質による水理影響	化学と力学の連成影響	化学	None	None	ベントナイトによるセメントの溶脱影響	
高緻密コンクリート層	LI	None	LI	水理	None	LI	
	None	溶脱に伴う剛性低下によるベントナイトの変形影響	None	ひび割れによる透水係数と拡散係数の影響	力学	ひび割れによるセメントの溶脱影響	
	None	None	高 pH による化学的変質影響	溶脱による透水係数と拡散係数の影響	溶脱による剛性低下影響	化学	

THMCマトリクス(例)

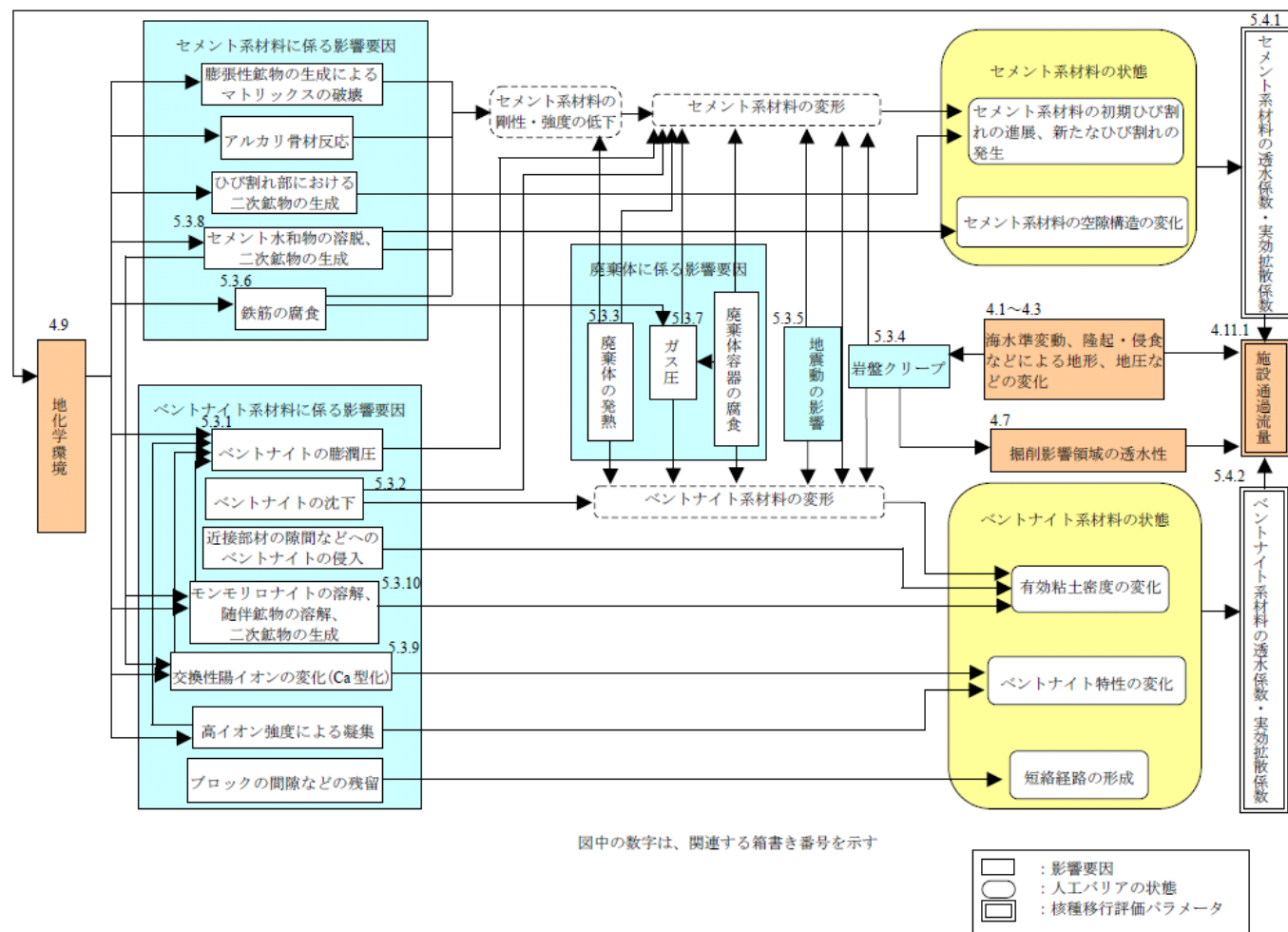


ベントナイト層の透水性能に関するロジックツリー(例)

出典:加藤 和之 他(2006)、「余裕深度処分の技術的な信頼性構築に向けた検討状況について」、原子力バックエンド研究Vo.13 No.1

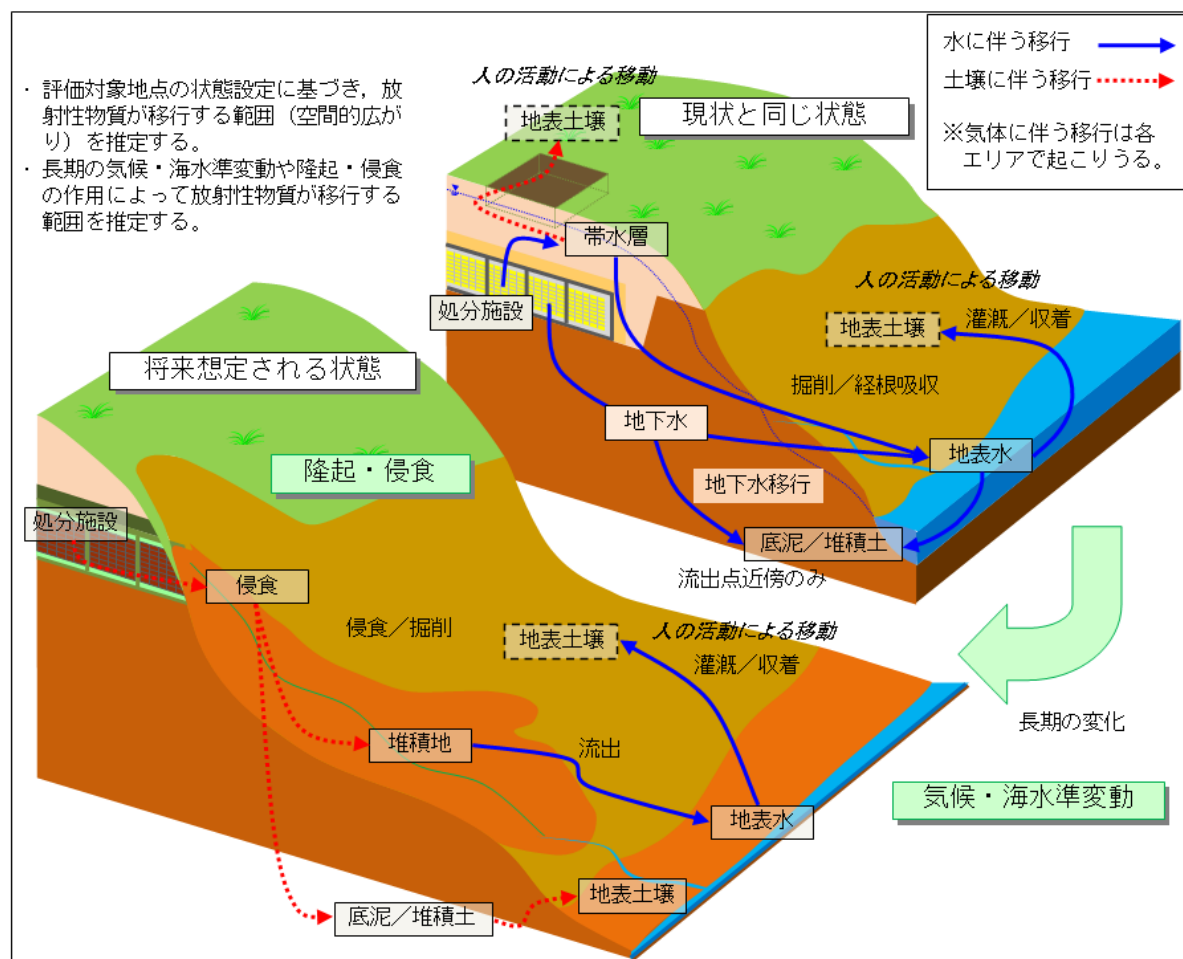
④従属的な安全機能の抽出～影響事象の相関～

THMCマトリクス、ロジックツリーから抽出した影響事象の相関を整理



出典: 社団法人土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会(2008)、
「余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方」

④従属的な安全機能の抽出～長期変動の概要～



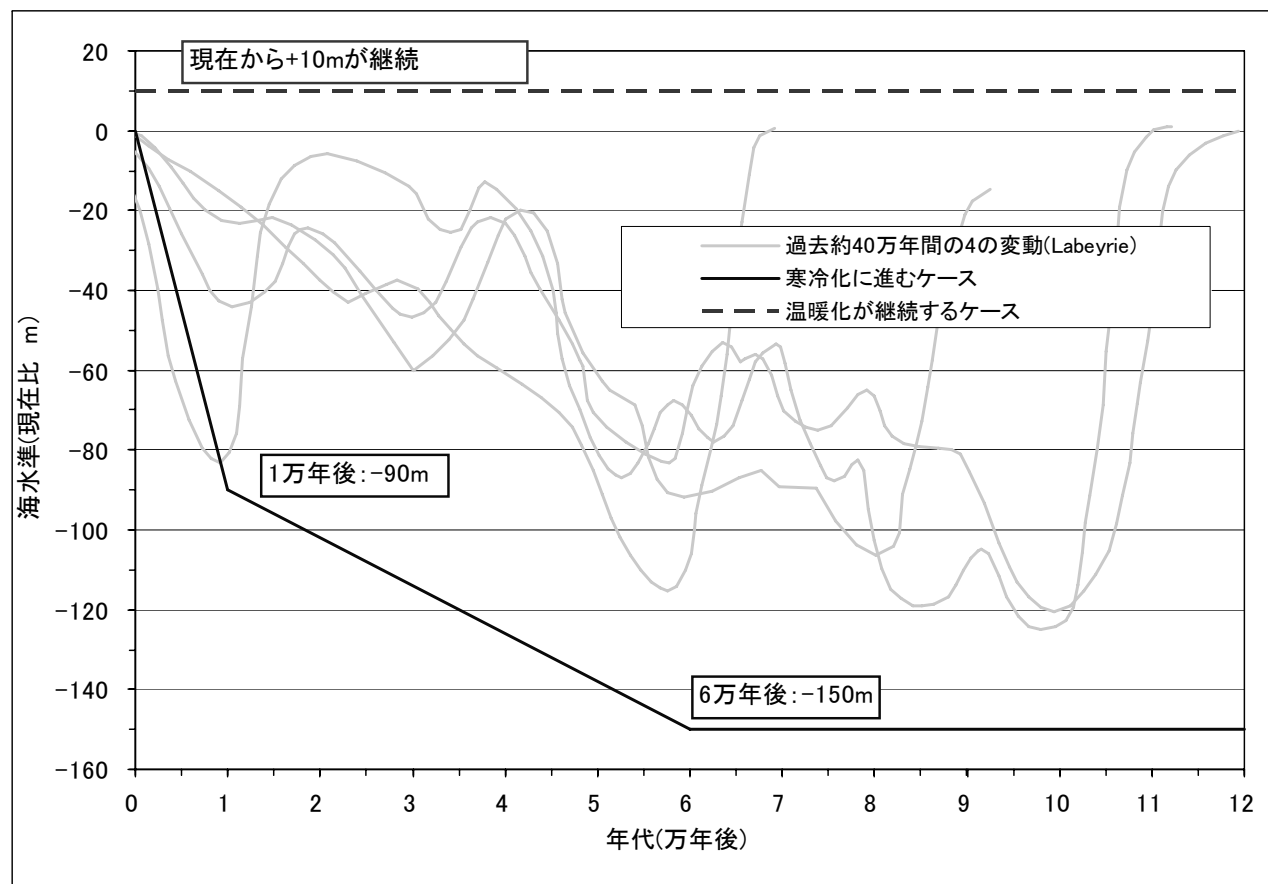
＜＜将来の土地利用域の検討＞＞

現時点における土地利用域に加え、隆起・侵食・海水準変動に伴い、将来拡大される土地利用域での居住、建設作業等での被ばくを考慮する必要がある。土地利用拡大は主に下記3点

- 隆起により埋設施設及びその周辺の汚染土壌が地表付近に接近したとき
- 侵食により、汚染土壌が下流域に堆積したとき、
- 海水準変動に伴い、河川等の底などに存在した汚染土壌が地表面に露呈したとき

出典：日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法：2012」、AESJ-SC-F023:2012

④従属的な安全機能の抽出～海水準変動の予測例～



将来の海水準変動の予測

- 過去約40万年間の海水準変動に関する知見などを基に、温暖化が継続するケースと寒冷化に進むケースの2種を想定。
- 寒冷化に進むケースの設定には、基準とした海水準変動のうち最も早く寒冷化に進むケースに相当するものとして、包含するように設定。
- 温暖化が継続するケースでは、現在と比較して+10mで推移するとしたが、下北半島南部での隆起量(35m/10万年)を考慮すると、約3万年後に現在と同じレベルにまで相対海水準は低下すると推定される。

出典: 佐々木 泰 他(2009)、「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する検討状況」、Journal of MMIJ Vo.125 p347-357

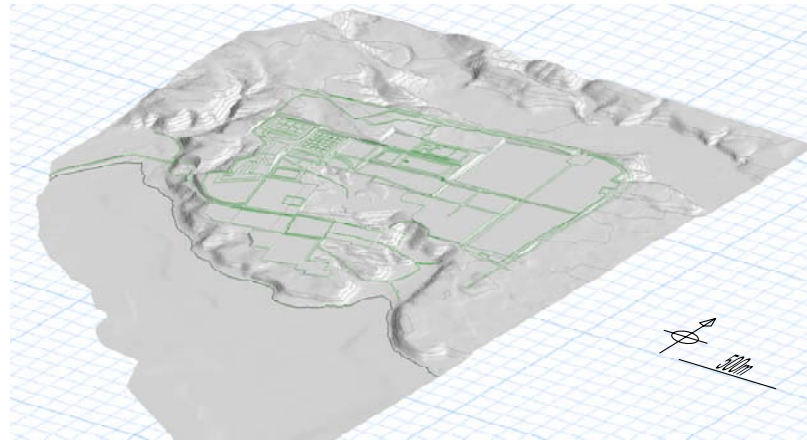
④従属的な安全機能の抽出～将来の地形変動例～



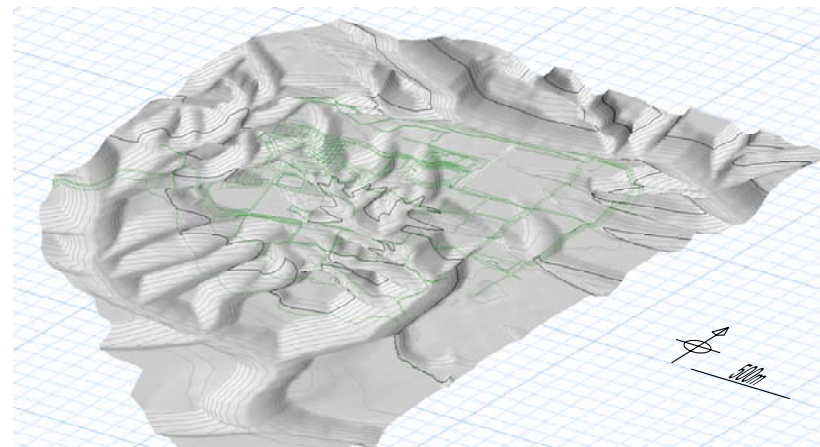
- 本格調査で得られたデータ等を用い、地形モデルを構築し、将来の長期的な地形変動に関する解析を実施。



- 現在の地形条件から読み取れる侵食率等と地形モデルに基づく解析結果とを比較した結果、両者ともほぼ同等
- 地形の長期変動推測は概ね妥当



現在の地形モデル



6万年後の地形予測図(寒冷化条件)

出典：佐々木 泰 他(2009)、「低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する検討状況」、Journal of MMIJ Vo.125 p347-357

-
- The diagram illustrates the long-term performance of artificial barriers over time. The vertical axis represents the performance level, ranging from low (低) to high (高). The horizontal axis represents time (時間).
- Key Phases:**
- 建設・操業段階 (閉じ込め)**: Construction and operation phase (containment).
 - 地下水分シナリオ開始点 (施設埋戻し完了)**: Start point of the groundwater scenario (facility backfilling completed).
 - 処分事業終了**: End of disposal activities.
 - 管理段階以降 (移行抑制)**: Post-management phase (transition suppression).
- Performance Metrics:**
- 設計対応による機能低下の抑制**: Suppression of performance degradation due to design response.
 - 施工時性能**: Performance during construction.
 - 安全評価(線量評価)上の初期性能**: Initial performance on safety evaluation (dose evaluation).
 - 人工バリア性能評価上の初期状態 (施工時状態)**: Initial state on artificial barrier performance evaluation (construction time state).
 - 期待できる人工バリアの長期性能**: Expected long-term performance of artificial barriers.
- Timeline and Environmental Factors:**
- 施工直後**: Immediately after construction.
 - 数十年後**: Decades later.
 - 数百年後**: Hundreds of years later.
 - 数千年後**: Thousands of years later.
 - 数万年後**: Tens of thousands of years later.
 - 十万年後～**: Ten thousand years or more.
- Environmental Factors:**
- 平常時荷重、環境影響、地震等による状態変化 (State change due to normal load, environmental impact, earthquakes, etc.)
 - 地下環境での物理・化学的状态变化 (Physical and chemical state change in the underground environment)
- Barrier States Over Time:**
- 施工直後**: Shows initial construction with labels for "不透水性極小" (Extremely low water permeability) and "不動地盤 (断崖でない)" (Fixed ground (not a cliff)).
 - 数十年後**: Shows "地下水の浸入(漏水の開始)" (Groundwater infiltration (start of leakage)), "不飽和" (Unsaturated), "一部膨張による偏圧" (Bias pressure due to partial expansion), and "眼目目開き" (Opening of eyes).
 - 数百年後**: Shows "飽和" (Saturated), "耐力喪失" (Loss of strength), "眼目圧が増圧、圧縮端" (Increase in eye pressure, compression end), and "鉄筋腐食、漏れ開始" (Reinforcement corrosion, start of leakage).
 - 数千年後**: Shows "力学定常場" (Mechanical steady state), "化学変質" (Chemical alteration), and "腐食箇所" (Corrosion spots).
 - 数万年後**: Shows "力学劣化発生" (Occurrence of mechanical deterioration), "化学変質の進展" (Progress of chemical alteration), and "化学変質の連続" (Continuity of chemical alteration).
 - 十万年後～**: Shows further progression of chemical alteration and structural damage.
- 人工バリア状態変遷の例 (確からしい状態)**

37

④従属的な安全機能の抽出～人工バリア長期性能変動～



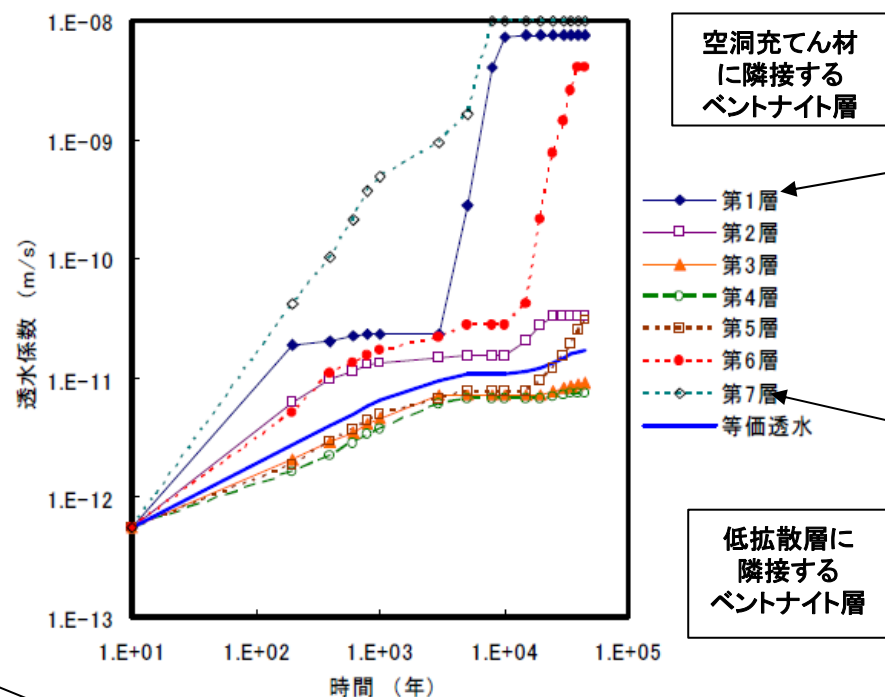
ロジックツリー等の検討から人工バリア
部材の主要な安全機能を抽出

安全機能に着目した試験や解析の実施

(例: ベントナイト層の透水係数の長期的な変動に関する解析を実施、右図)

試験や解析の結果を踏まえ、その安全
機能の長期状態変動を推定

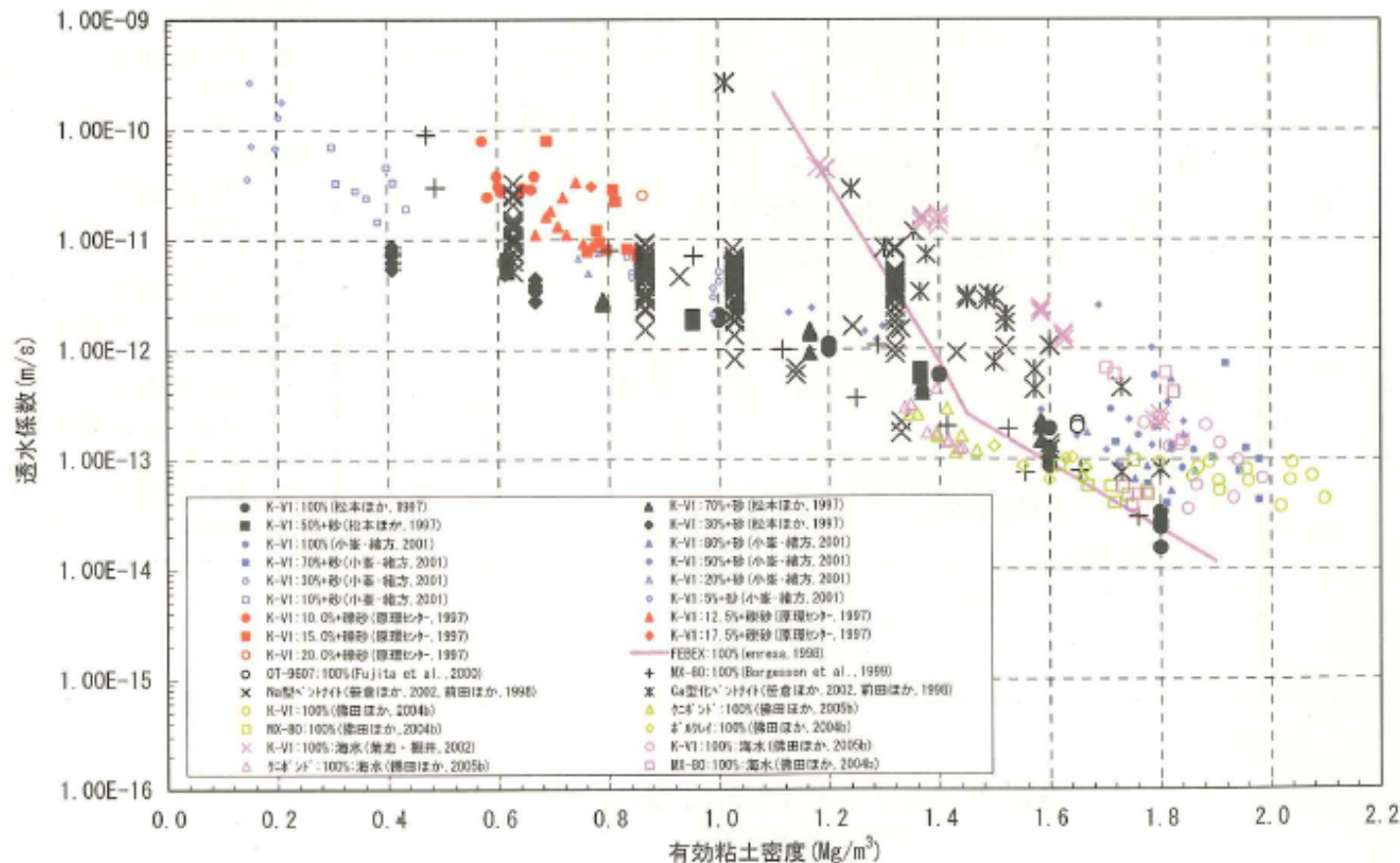
- ・セメント系材料に接する第1層及び第7層は、ベントナイト層のうち低透水性を示すモンモリロナイト成分等の溶解により、透水係数が増加
- ・中央部は変質しないため、全体としては、埋め戻し終了後1万年程度までは、要求される透水係数 $1.0\text{E-}11\text{ m/s}$ を下回ると推測



ベントナイト層透水係数の時間変動解析結果

出典: 加藤 和之 他(2006)、「余裕深度処分の技術的な信頼性構築に向けた検討状況について」、原子力バックエンド研究Vo.13 No.1

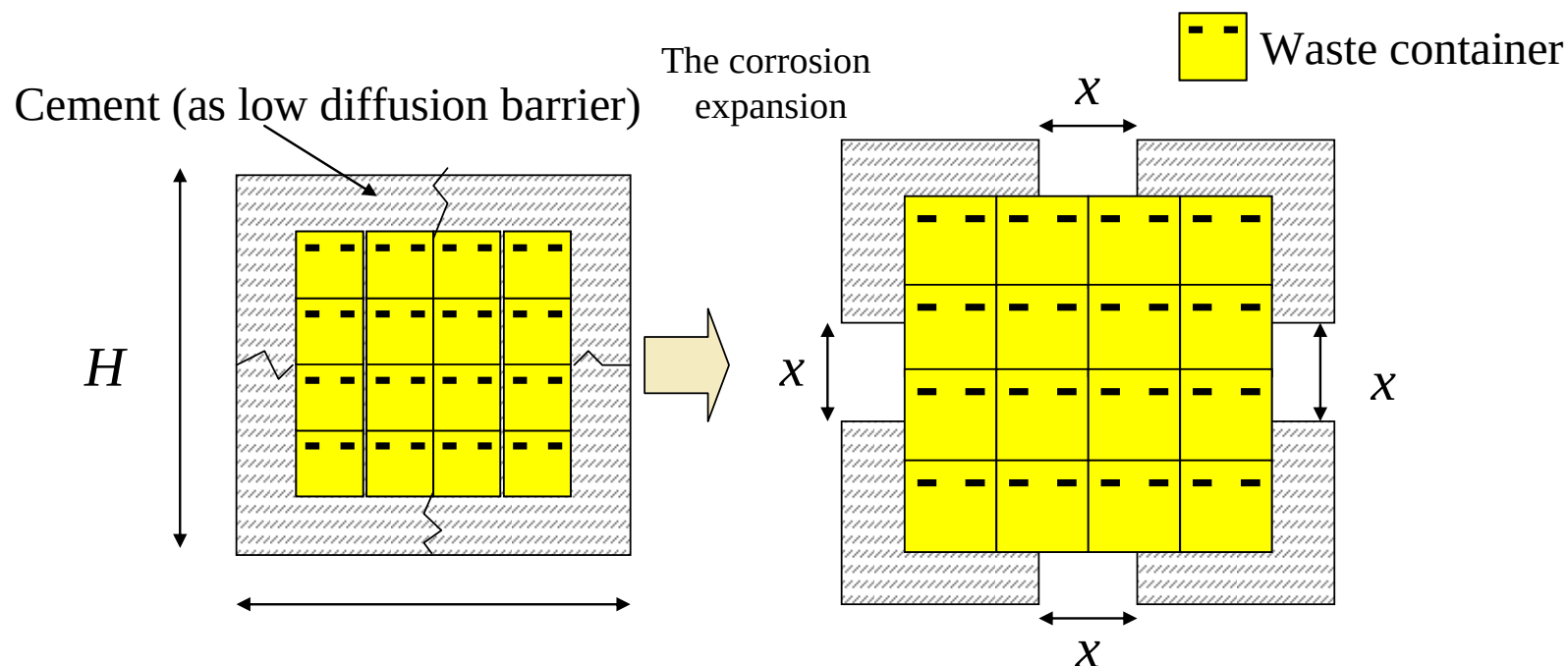
④従属的な安全機能の抽出～設計(施工仕様)検討～



試験結果や文献等に加えて、現場施工性や長期状態変動による性能低下の観点を考慮し、要求パラメータを達成する施行仕様等を決定していく。

出典: 社団法人土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会 (2009)、「余裕深度処分における地下施設の設計、品質管理及び検査の考え方」

④従属的な安全機能の抽出～低拡散層のひび割れ～



- ・鋼製の廃棄体の腐食膨張による低拡散層のひび割れ発生を考慮
- ・腐食膨張に伴う低拡散層の長期力学的解析によりひび割れ進展の変遷を把握
- ・解析の不確実性を踏まえて低拡散層のひび割れを簡易モデル化し安全評価に反映

出典: Tomofumi Shimizu(2007), "Development of Safety Assessment for Radioactive Waste Disposal", Global2007

⑤シナリオの開発・モデリング～シナリオの開発～

	地質環境	廃棄物埋設地	評価対象者	めやす線量 ^り
基本シナリオ ^㉑	基本設定	基本設定	一般的な生活様式の周辺住民	10 μ Sv/年
変動シナリオ ^㉒	基本設定	変動設定	一般的な生活様式の周辺住民	300 μ Sv/年
	変動設定	地質環境の変動設定に対応した確からしい設定	一般的な生活様式の周辺住民 ^㉓	300 μ Sv/年
		バリア機能の一部を無視する場合 残りのバリアは基本設定	一般的な生活様式の周辺住民	300 μ Sv/年
人為事象シナリオ ^㉔	基本設定	発生前： 基本設定 発生後： 人為事象に対応した 確からしい想定	一般的な生活様式の周辺住民	1mSv/年
	基本設定	発生前： 保守的な想定 発生後： 人為事象に対応した 保守的な想定	一般的な生活様式の周辺住民	10mSv/年
人為事象シナリオ ^㉕	基本設定	確からしい想定	特定の接近者個人	10mSv
	基本設定	保守的な想定	特定の接近者個人	100mSv

注 a) 基本シナリオは、基本地下水シナリオ、基本ガス移行シナリオ及び基本土地利用シナリオから成る。
 b) 変動シナリオは、変動地下水シナリオ、変動ガス移行シナリオ及び変動土地利用シナリオから成る。
 c) ボーリングによる移行経路短絡シナリオを対象とする。
 d) 廃棄物埋設地近傍掘削ボーリング孔地下水摂取シナリオを対象とする。
 e) 地質環境の変動設定に対応して設定する。
 f) 安全審査の基本的考え方^㉖による。

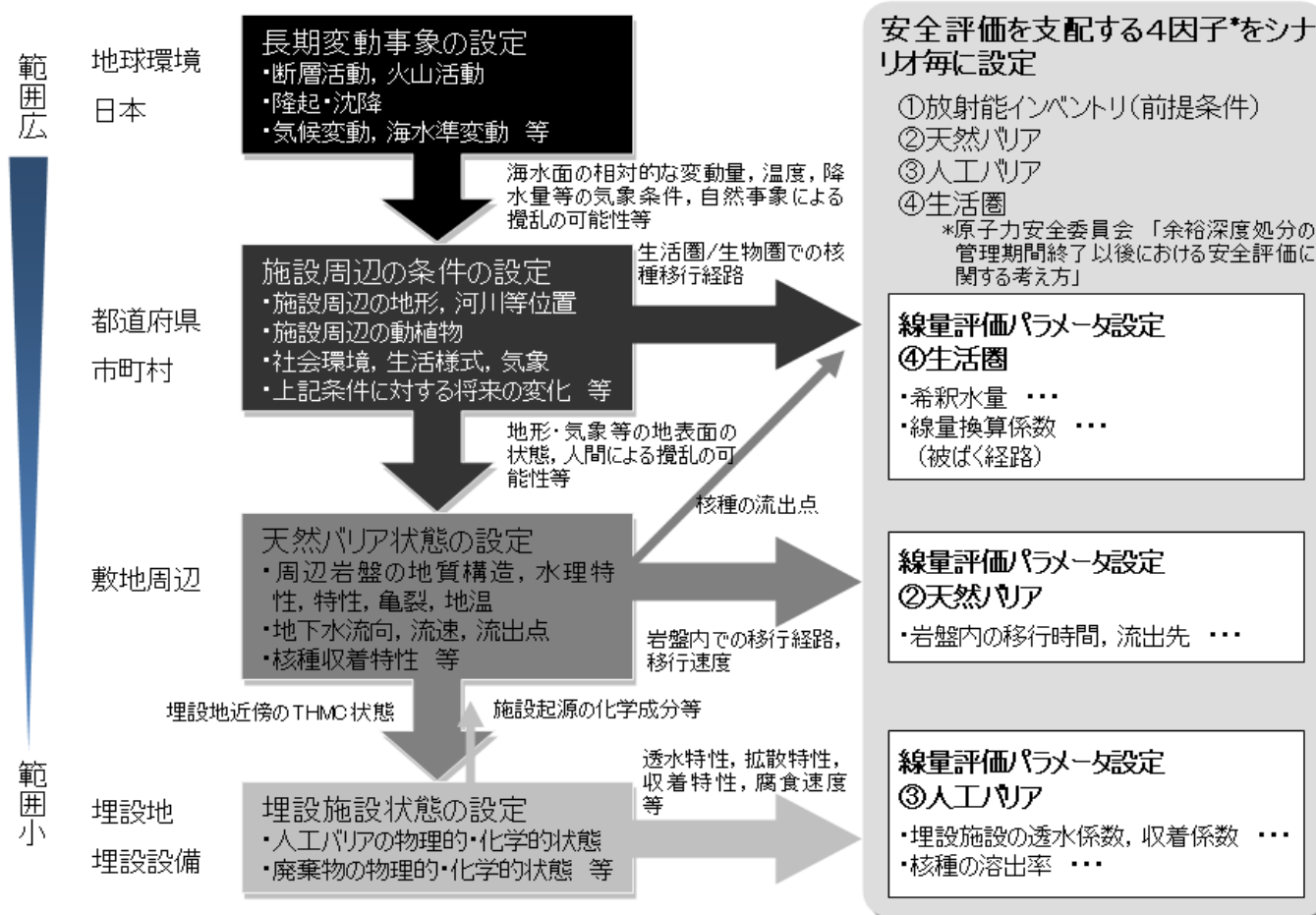
※浅地中処分のケースであるため、余裕深度処分で検討する必要のある稀頻度シナリオが抜けている。

※原子力規制委員会で検討中の新規制基準では、めやすの提示は基本／変動シナリオに対してのみ。

地質環境と廃棄物埋設地に対する基本／変動の状態の組み合わせについて考慮する

出典：日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法：2012」、AESJ-SC-F023:2012

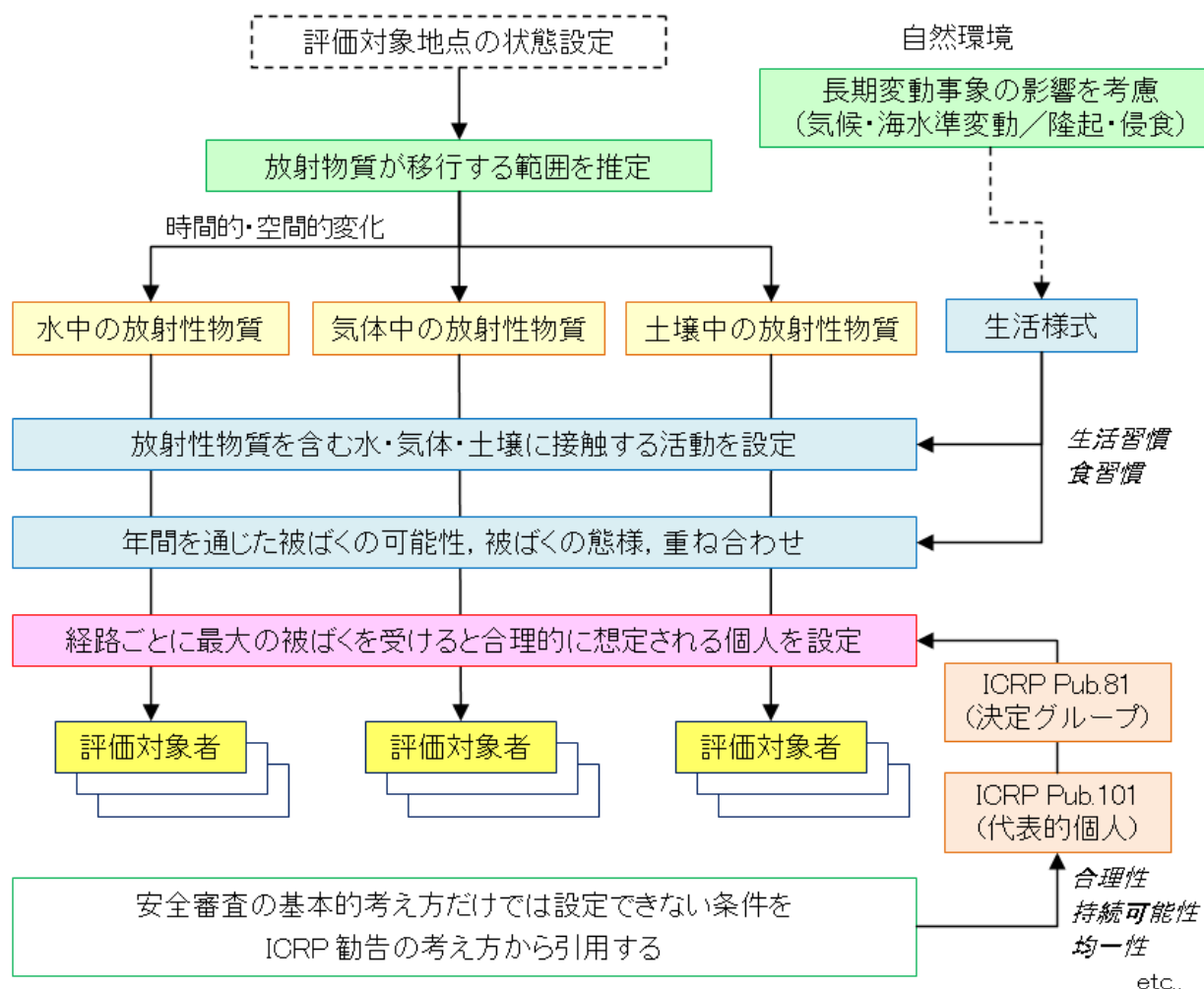
⑤シナリオの開発・モデリング～安全評価の4因子～



- ・4因子に対して適切な状態設定を行い、パラメータを評価し、その妥当性に十分配慮する
- ・4因子を細分化し、線量評価に対して感度を持つ項目の分析・特定が必要

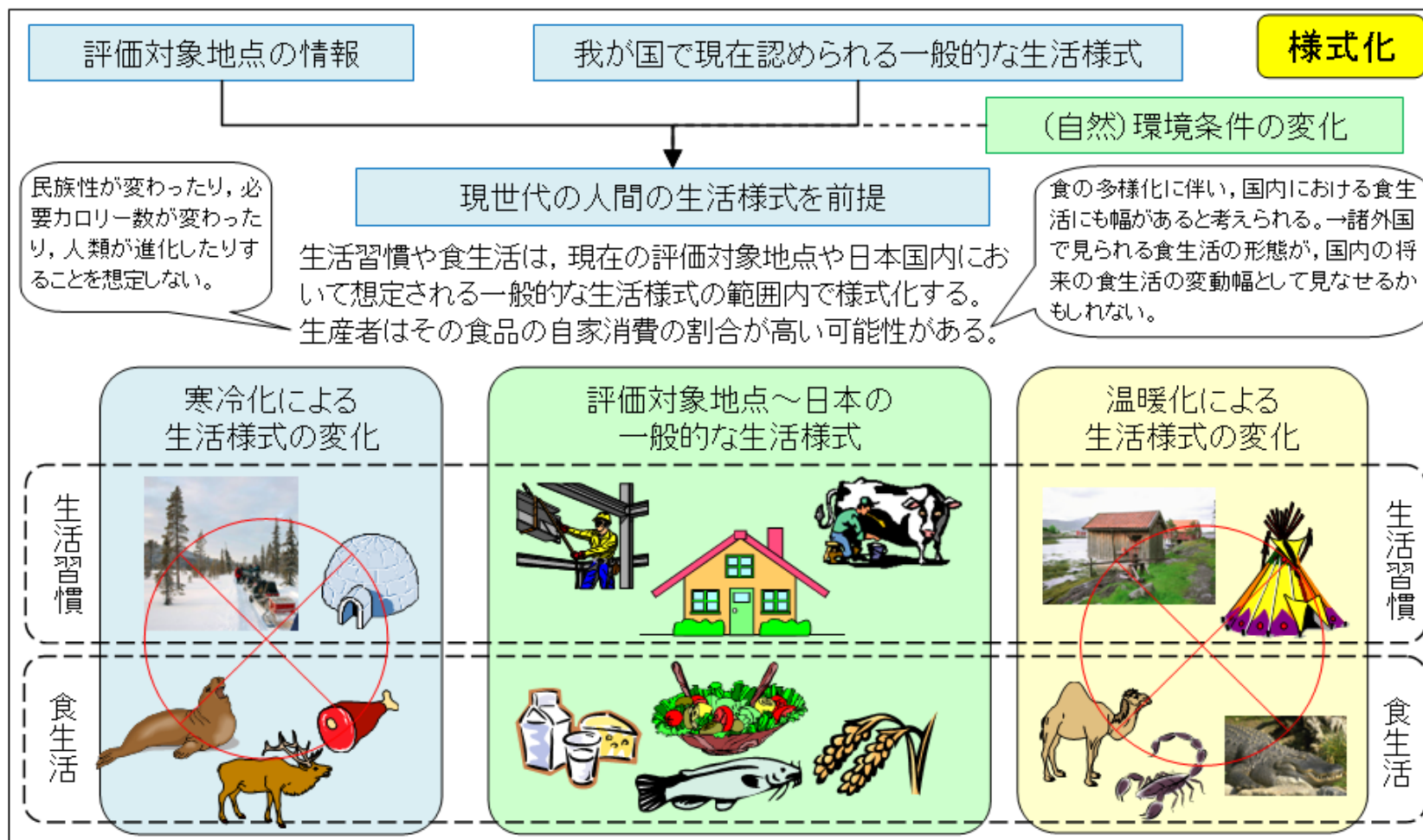
出典: 日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法:2012」、AESJ-SC-F023:2012

⑤シナリオの開発・モデリング～評価対象者の検討～



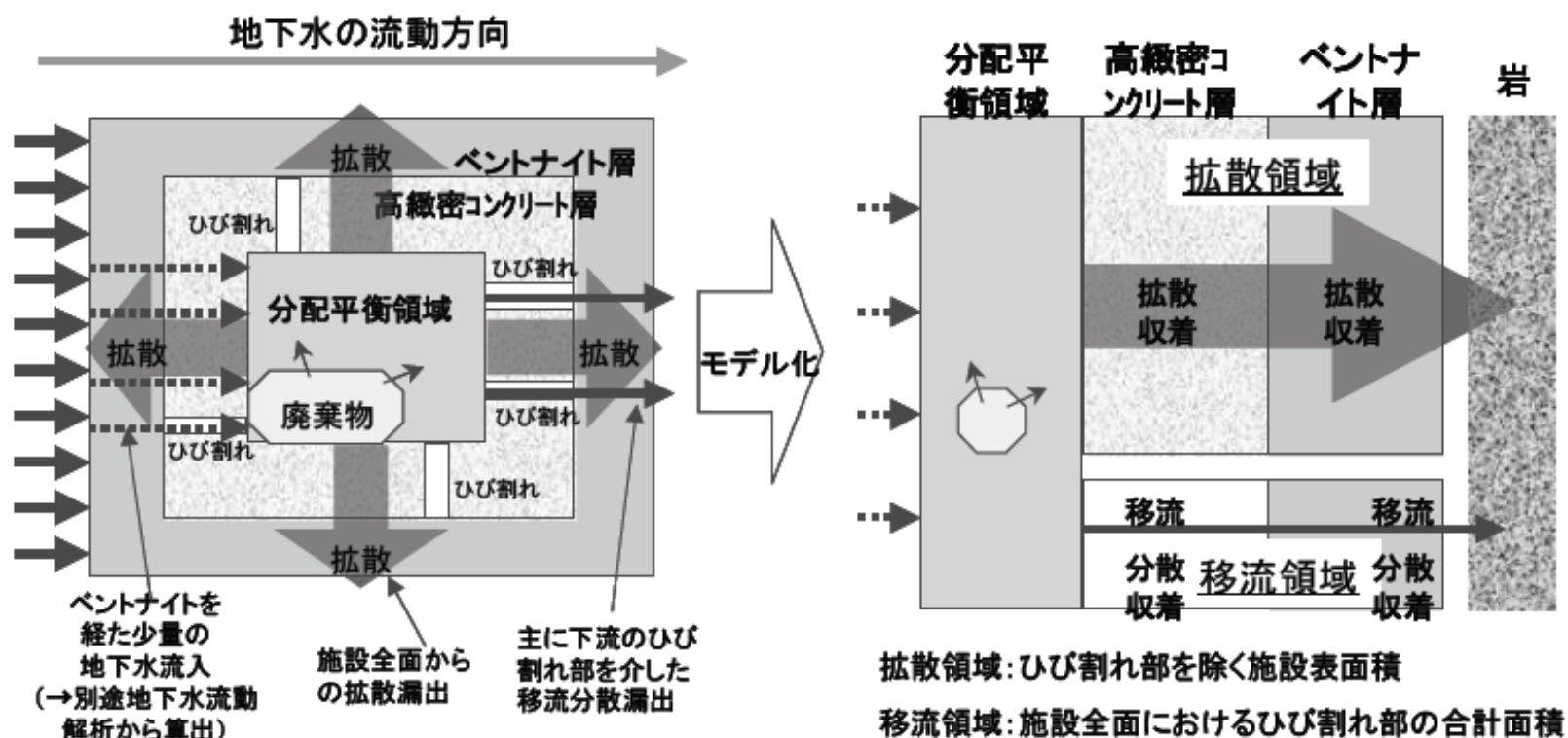
出典：日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法：2012」、AESJ-SC-F023:2012

⑤シナリオの開発・モデリング～評価対象者の生活様式～



出典：日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法：2012」、AESJ-SC-F023:2012

⑤シナリオの開発・モデリング～核種移行のモデル化～

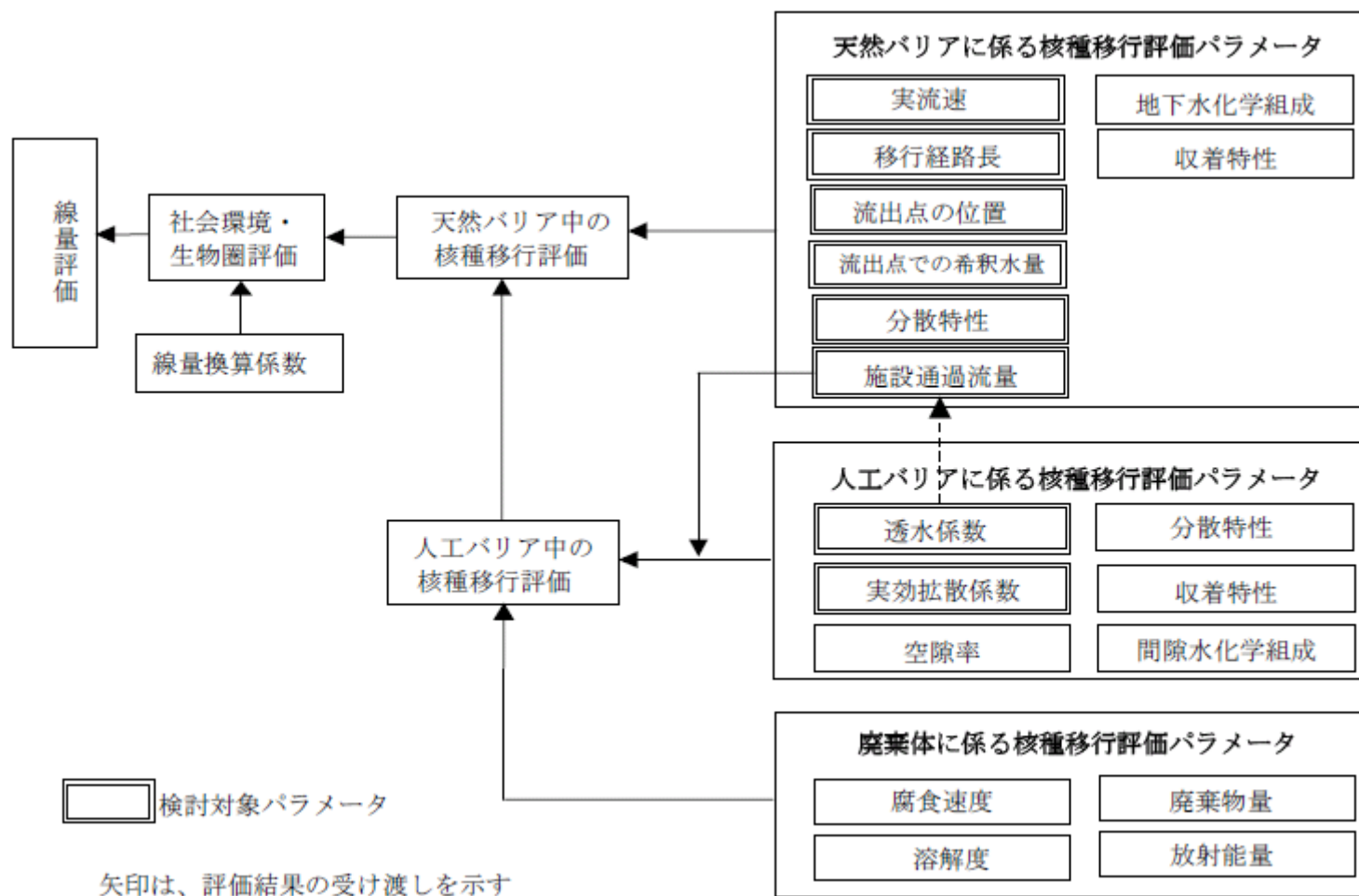


＜想定される人工バリアの状況＞

＜人工バリアのモデル化＞

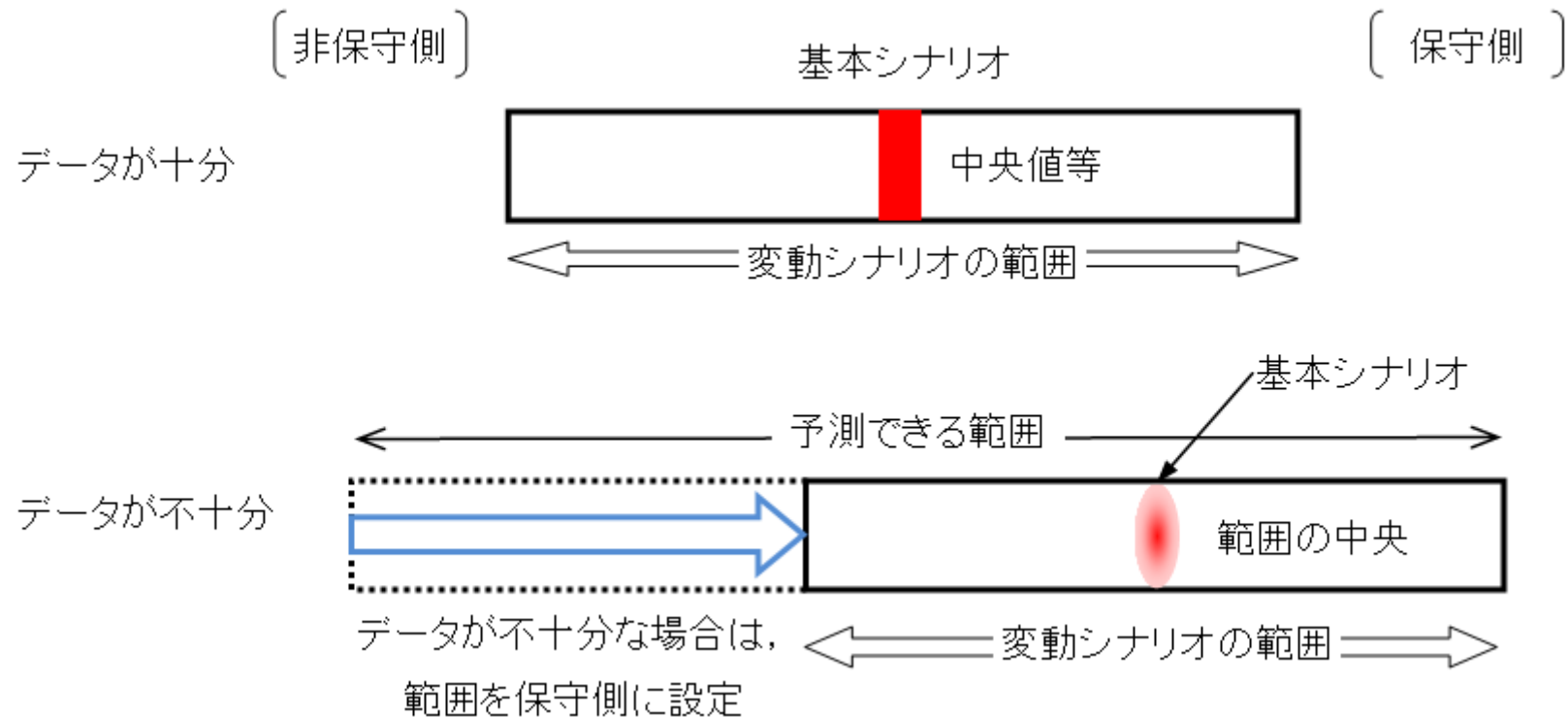
出典: 加藤 和之 他(2006)、「余裕深度処分の技術的な信頼性構築に向けた検討状況について」、原子力バックエンド研究Vo.13 No.1

⑤シナリオの開発・モデリング～評価パラメータ[1/2]～



出典: 社団法人土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会(2008)、
「余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方」

⑤シナリオの開発・モデリング～評価パラメータ[2/2]～

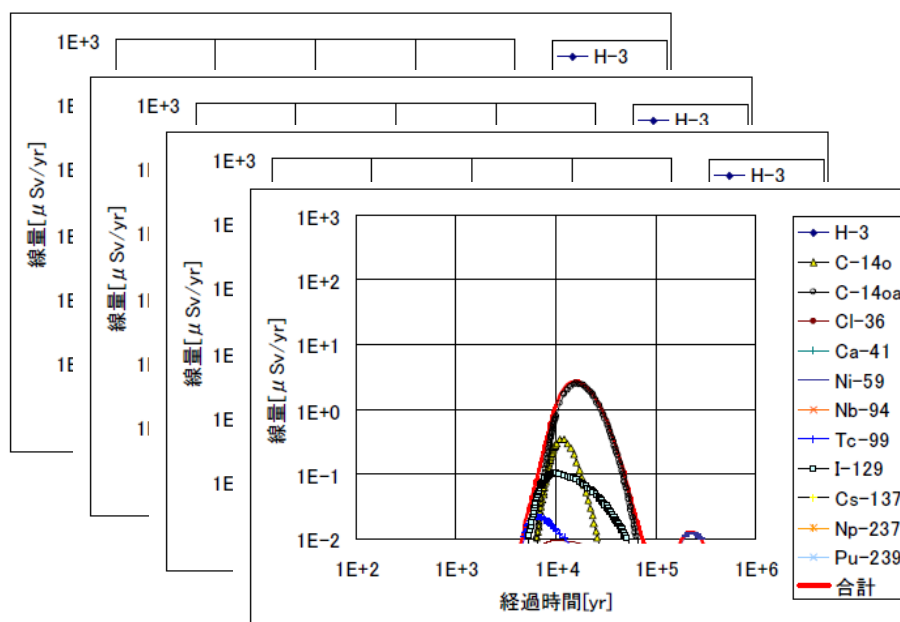


出典: 日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法:2012」、AESJ-SC-F023:2012

⑥線量評価の実施



様式化(代表的個人の被ばく経路毎の
線量被ばくを重ね合わせ



適切な施設設計、状態
評価、シナリオ設定等
を行ったうえで線量評価
を行い、各シナリオのめ
やす線量を下回ることを確
認する。

めやす線量超過

結果の分析を行い人工バリア要
求性能等に係る再インプット情報
を得た後、設計のやり直し

出典: 加藤 和之 他(2006)、「余裕深度処分の技術的な信頼性構築に向けた検討状況について」、原子力バックエンド研究Vo.13 No.1

⑦安全評価の信頼性向上に向けた取り組み ～ 討論モデルの例～



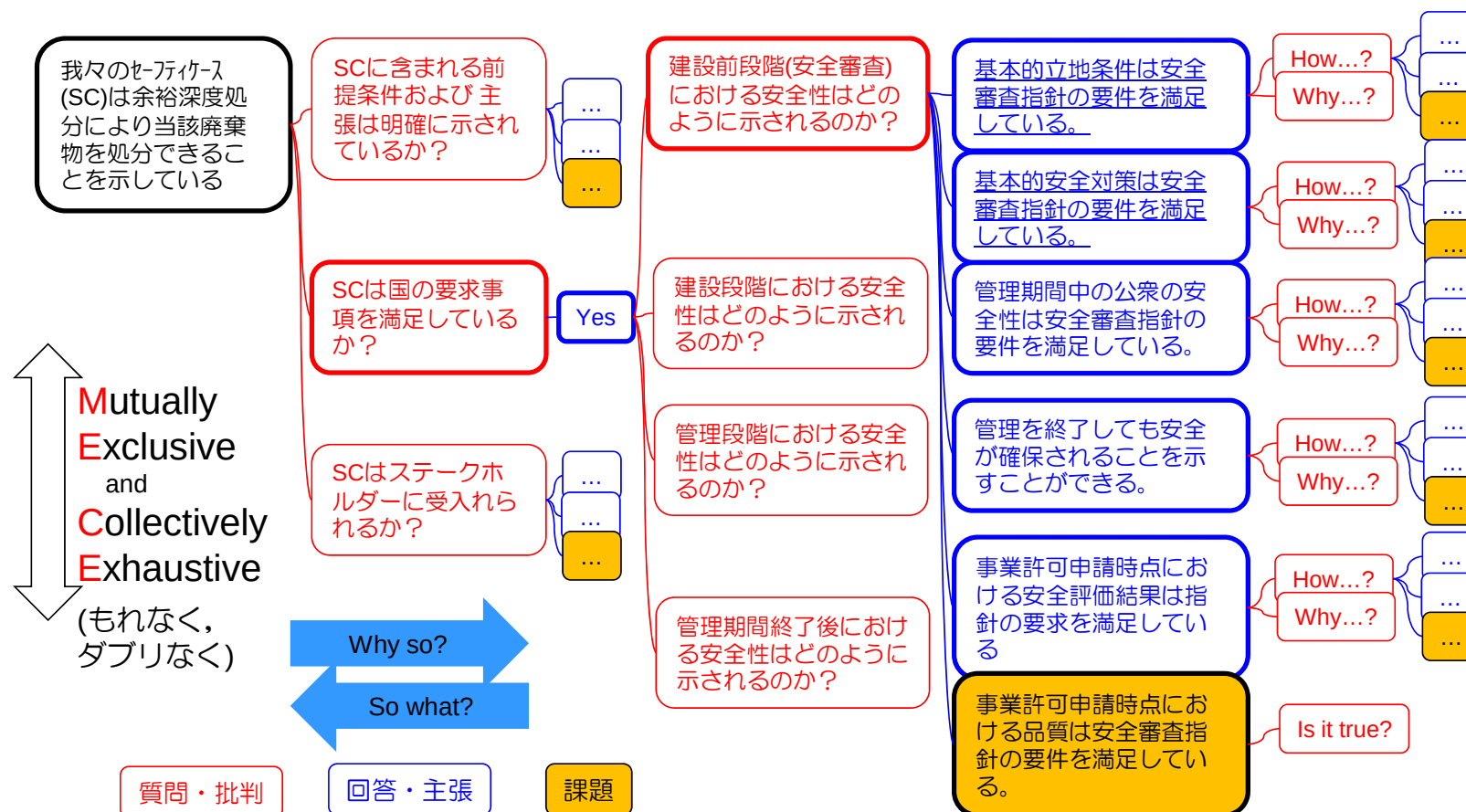
Q. 安全評価結果が十分な信頼性、追跡性、可視性等を保有するためには？



A. 抽象的な安全評価を具現化するためのツール整備が必要

例1) 討論モデル

例2) 評価パラメータマップ

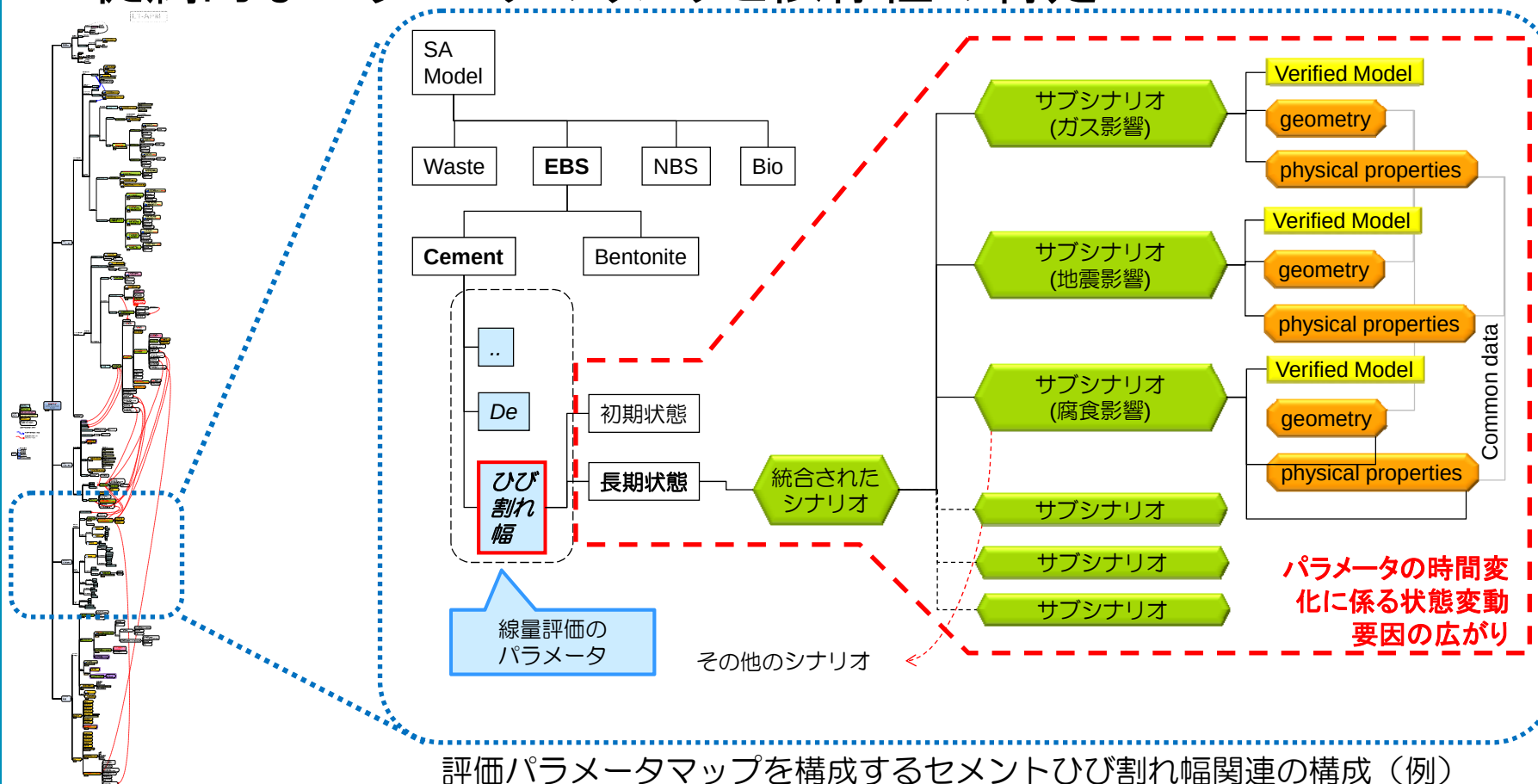


T. Shimizu, IAEA/PURAM INTERNATIONAL WORKSHOP On R&D Studies in Support of Enhancing Confidence in the Safety Case for LILW Repositories, 28-30 May 2013, Budapest, Hungary

⑦安全評価の信頼性向上に向けた取り組み ～評価パラメータマップの例～



- ・ ツリー状に線量評価に用いる全パラメータをリストアップ
- ・ 従属的なパラメータのリンクと依存性の特定



全体イメージ (例)

評価パラメータマップを構成するセメントひび割れ幅関連の構成 (例)

T. Shimizu, IAEA/PURAM INTERNATIONAL WORKSHOP On R&D Studies in Support of Enhancing Confidence in the Safety Case for LILW Repositories, 28-30 May 2013, Budapest, Hungary
を一部和訳

⑦安全評価の信頼性向上に向けた取り組み ～不確実性管理と品質保証～

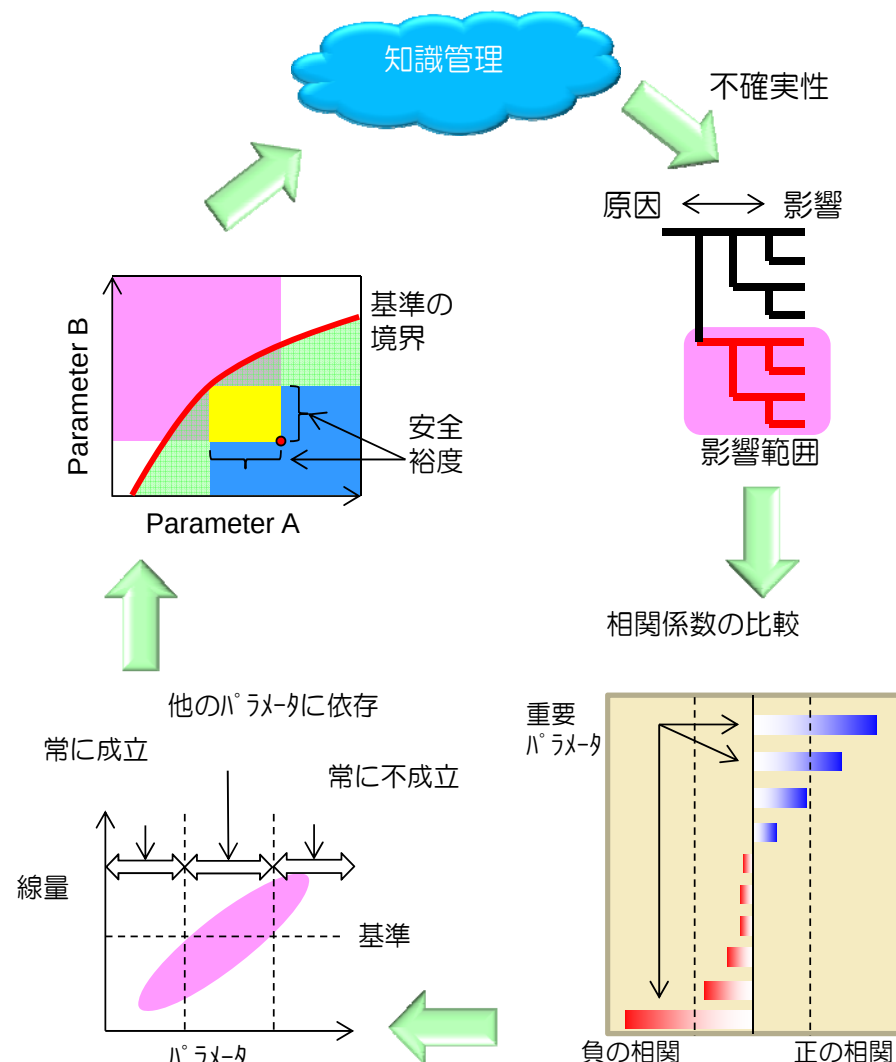


• 不確実性管理

- 知識管理
- 影響範囲の特定
- 感度解析に基づく重要パラメータの選定
- パラメータ間の安全裕度の確認と調整
- 安全評価の更新

• 品質保証

- 実践と継続的改善が前提。
- 優先度の高いものから順に。
(理想的に言えば全てを対象)
- 効果の確認・評価 (適切なリソースの配分と便益の評価)



T. Shimizu, IAEA/PURAM INTERNATIONAL WORKSHOP On R&D Studies in Support of Enhancing Confidence in the Safety Case for LILW Repositories, 28-30 May 2013, Budapest, Hungary
を和訳

(3) 余裕深度処分の検討状況 まとめと課題



- 「原安委指針」の要求事項であるシナリオ区分、長期状態設定、評価対象者、パラメータ等に対する検討を実施。
- 基本／変動／稀頻度／人為事象の区分を考慮したシナリオ設定手法を検討中。また、主要な影響事象の抽出と、影響事象の長期的な変動を踏まえた施設の長期状態設定に関する検討を実施中。
- 確からしいパラメータの設定手法について検討中。今後の課題として、基本／変動シナリオにおけるパラメータの使い分け等についても検討を行う。
- 安全評価結果に対する信頼性確保策などについても検討。今後も評価の妥当性や信頼性の向上に努めるとともに、知識管理などの方策について検討していく。

原子力規制委員会及びその下部の「核燃料施設等の新規制基準に関する検討チーム」では埋設施設に対する新規制基準を検討中。

- 対象はピット処分およびトレンチ処分であり、余裕深度処分は対象外。
- 原子力規制委員会では9月までに骨子案(規制の概要)を決定しており、現在は具体的な規制となる条文の案について検討中。なお、新規制基準は2013年12月18日までに施行する事が、法により規定
- 新規制基準で新たに要求された事項の例を下記に示す。
 - トレンチ処分及びピット処分に対しても、最新知見に基づく安全評価の更新制度(定期的な評価等)が追加 (※今までは余裕深度処分施設にしか要求されていなかった)。同時に必要なデータ(廃棄物埋設地等の状態等)を監視できる設計であることを要求。
 - 操業中において埋設施設からの外部放射線等により公衆が受ける線量は、法令に定める線量限度を超えないことはもとより、ALARAの考え方の下、 $50 \mu \text{ Sv/y}$ 以下であることが明示された。(※今までもALARAの概念は要求されていたが、数値は明示されていなかった)
 - 新たに耐津波設計を要求。発電炉規制要求と同程度の項目有り(耐震設計も同様)
 - 想定する管理期間内の自然現象に「液状化」、「竜巻」、「落雷」、「生物学的事象」、「森林火災」が追加され、さらには異種の自然現象の重畳考慮を要求
 - 想定する管理期間内の外部人為事象に「飛来物(航空機落下等)」、「ダム崩壊」、「有毒ガス」、「電磁的障害等」が追加

※原安委指針は旧原子力安全・保安院時代からエンドースされていないため、規制当局として採用する規制基準としては、「核燃料物質又は核燃料物質によつて汚染された物の第二種廃棄物埋設の事業に関する規則」以来となる。

※新規制基準に関する解説は、2013年10月11日現在(規則や解釈案等のパブコメ期間中)のものであり、今後のパブコメ反映状況によっては、上記の内容が変更となる可能性がある。

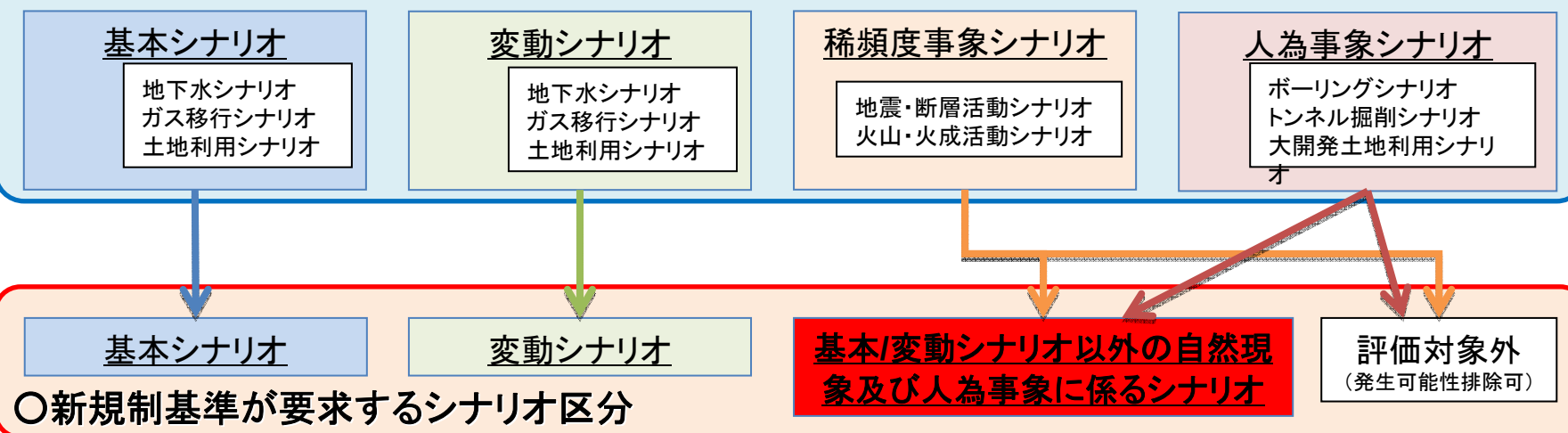
(参考)原子力規制委員会で検討中の新規制基準[2/2]



安全評価関連事項で、新規制基準により変更となった箇所の概要は下記のとおり

- シナリオ区分は「基本シナリオ」「変動シナリオ」「基本／変動シナリオ以外の自然現象及び人為事象にかかるシナリオ」の評価を要求。原安委指針で規定されている稀頻度事象シナリオ、人為事象シナリオの記載は無くなった。
- 「基本／変動シナリオ以外の自然現象及び人為事象に係るシナリオ」については、サイト条件を十分に勘案して、その発生の可能性が排除されない限りは、その影響についての評価を要求。
- めやすについては、「基本シナリオ」 $10 \mu\text{Sv/y}$ 、「変動シナリオ」 $300 \mu\text{Sv/y}$ 。「基本／変動シナリオ以外の自然現象及び人為事象にかかるシナリオ」のめやすについては記載が無い。

○原安委指針が要求するシナリオ区分



御清聴ありがとうございました。

***Thank
you!!***

