

講義2: 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

2014年10月18日
日本原燃株式会社 埋設事業部
安全評価G

目次

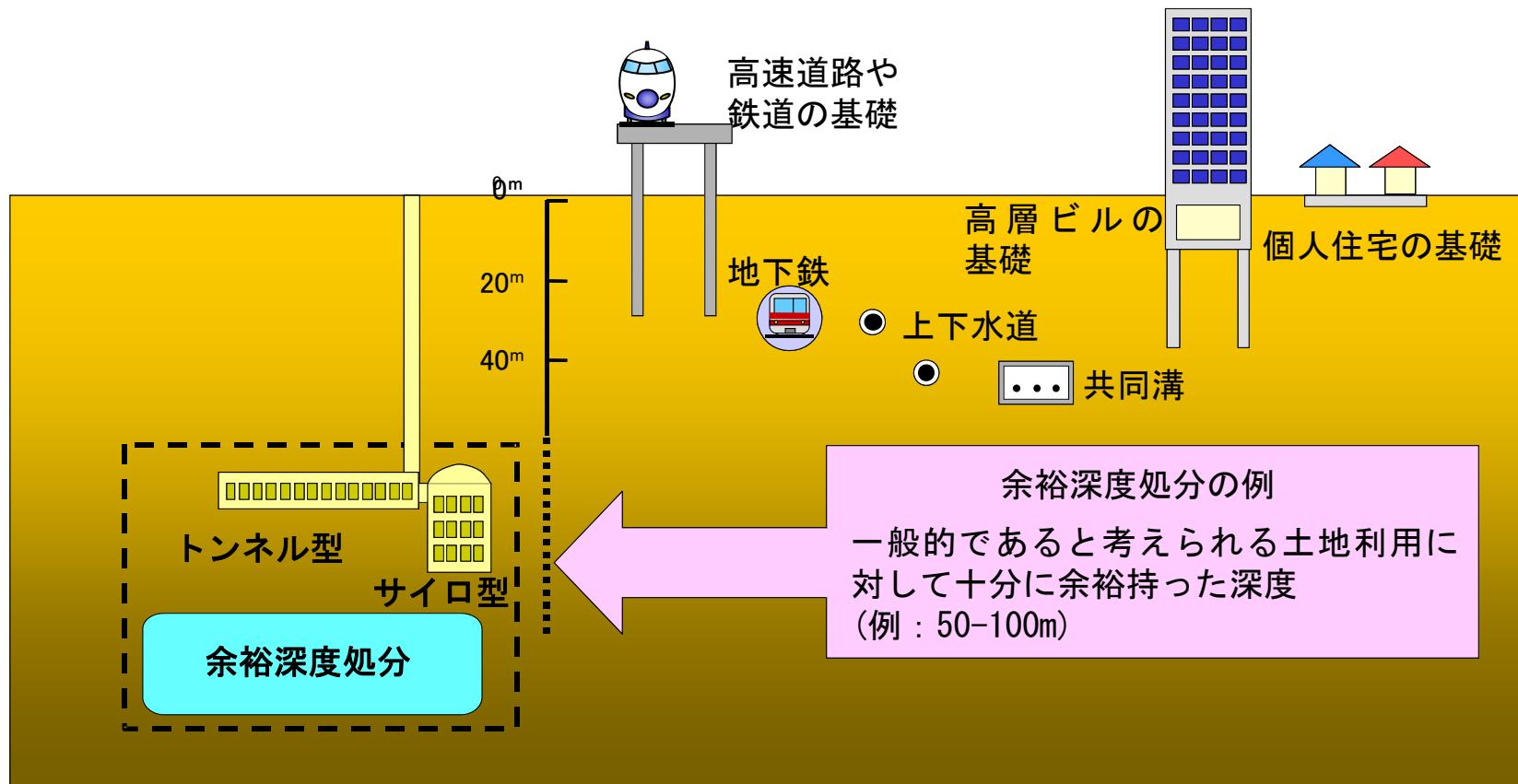


-
- 1. 余裕深度処分の概念**
 - 2. 管理期間終了後の安全評価の考え方
 - 3. 余裕深度処分の検討状況

余裕深度処分とは？

地表から深さ50m以上の地下に設置された廃棄物埋設地において
放射性廃棄物を埋設の方法により最終的に処分すること

出展:第二種廃棄物埋設の事業に関する規則



地下利用は深度に伴って急激に減少することに着目し、
一般的な土地利用が制約されないようにする。

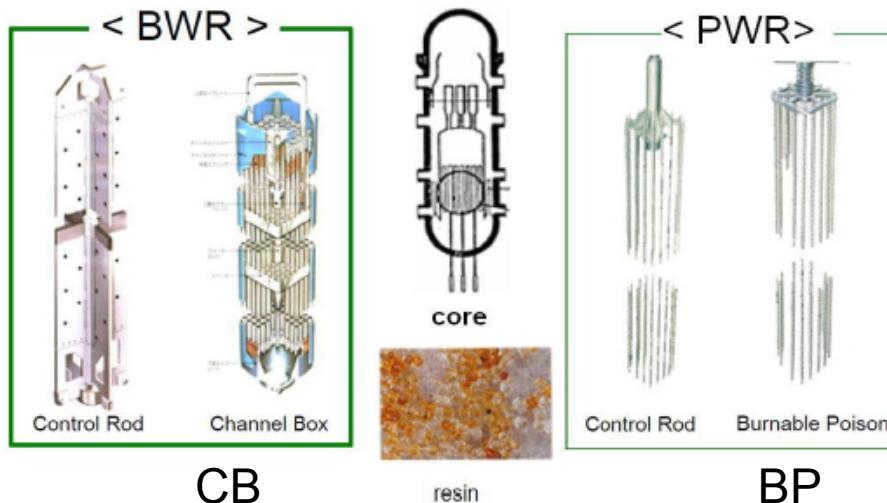
対象廃棄物

- 比較的放射能レベルの高い発電所廃棄物、濃度上限値以下の再処理廃棄物が対象

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
- 放射化金属

- ・使用済樹脂
- ・JNFL
- 再処理・MOX
- 施設からの廃棄物

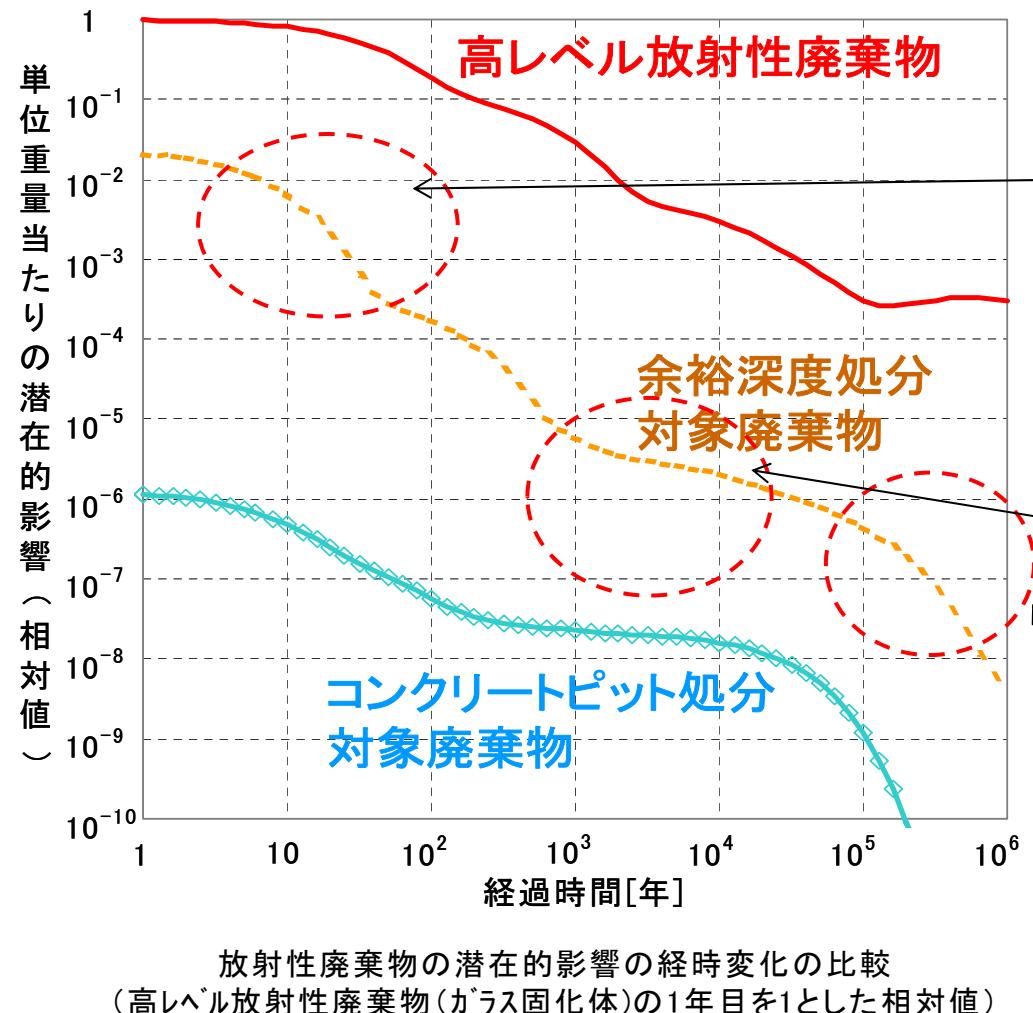


切断等の処理を行い、角型容器に収納

対象廃棄物の特徴



- 短半減期核種に加え、長半減期核種も含む。



代表的な長半減期核種

- C-14(半減期:5,730年)
- Ni-59(半減期:76,000年)

制度的管理による
有意な減衰

⇒浅地中処分と同様に、放射能
レベルに応じた段階的管理を実
施(管理型処分)

多重バリアシステム
による移行抑制

超長期的安全性の
確認

⇒管理終了後の長期的な安全性
が地層処分(非管理型)と同様に
重要

濃度上限値



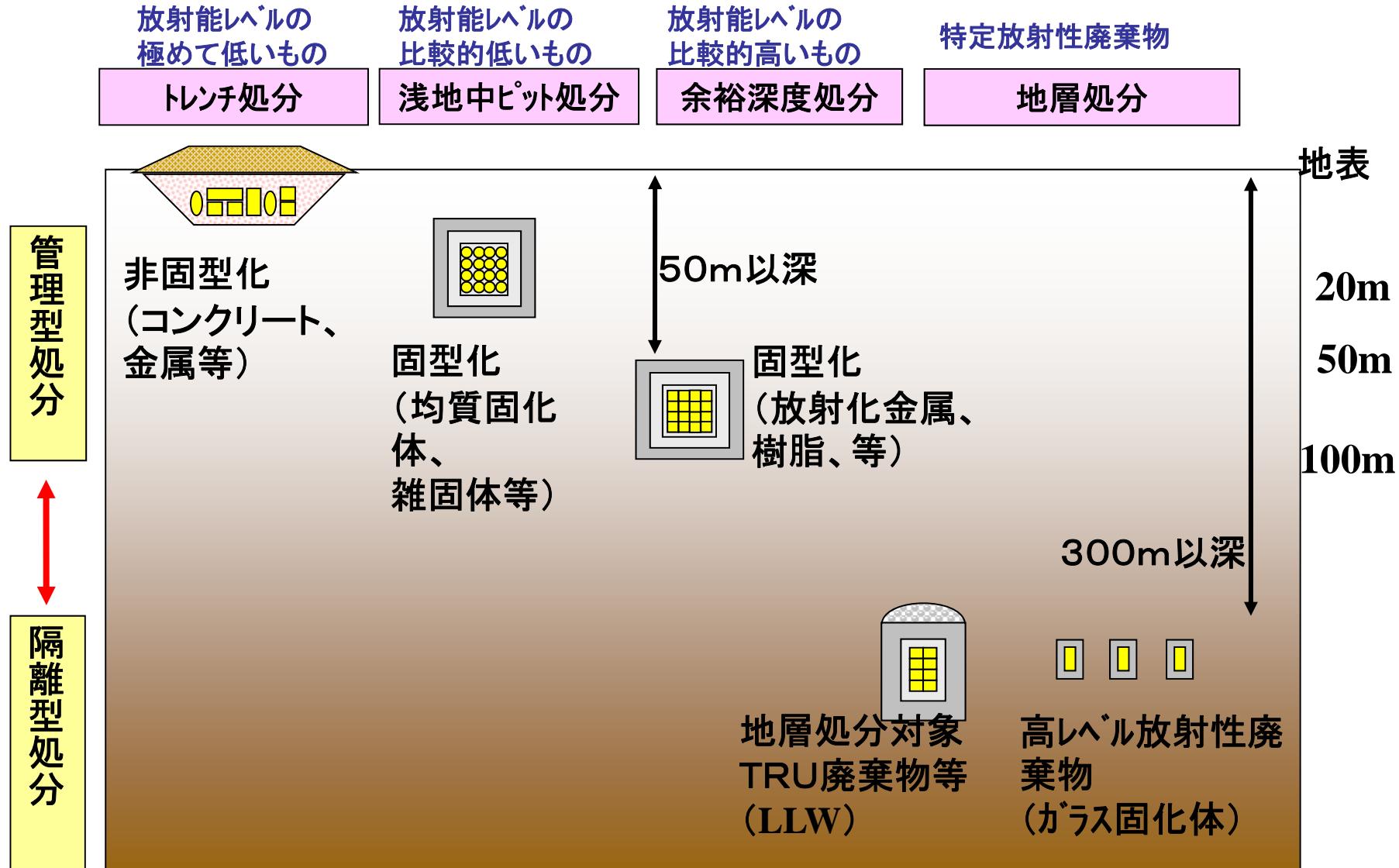
2007年「低レベル放射性固体廃棄物の埋設処分に係る放射能濃度上限値について」(平成19年5月21日原子力安全委員会)

- 濃度上限値⇒埋設事業を申請するにあたって考慮しなければならない要件の1つ。
- これを下回れば則安全というものではなく、別途の埋設計画ごとの安全審査は必要。
- 処分方法ごとの分類が優先される。⇒廃棄物種類に共通する重要核種を選定。

核種	炉規法における濃度上限値(Bq/t)		
	トレンチ 処分	ピット処分	余裕深度 処分
C-14	—	1E+11	1E+16
Cl-36	—	—	1E+13
Co-60	1E+10	1E+15	—
Ni-63	—	1E+13	—
Sr-90	1E+07	1E+13	—
Tc-99	—	1E+09	1E+14
I-129	—	—	1E+12
Cs-137	1E+08	1E+14	—
α核種	—	1E+10	1E+11

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

放射性廃棄物処分の区分



目次



-
- 1. 余裕深度処分の概念
 - 2. 管理期間終了後の安全評価の考え方
 - 3. 余裕深度処分の検討状況

主な安全規制の変遷



①1988年旧指針(原安委)

「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17日原子力安全委員会(平成5年、平成13年、平成21年一部改訂)

対象:浅地中ピット処分、トレンチ処分
⇒1号・2号埋設施設の安全審査

②2010年新指針(原安委)

「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」

平成22年8月5日原子力安全委員会

対象:余裕深度処分、浅地中ピット処分、トレンチ処分

③2013年新規制(規制庁)

「第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の基準に関する規則」

平成25年11月27日原子力規制委員会

対象:浅地中ピット処分、トレンチ処分

※原子力規制委員会の新規制基準は余裕深度処分施設を対象外としている。

本講演内容は2010年原安委指針、学会標準等を参照する。

2010年原安委指針について



● 2004年

「放射性廃棄物処分の安全規制における共通的な重要事項について」

平成16年6月10日原子力安全委員会

⇒ICRPの議論を参考。リスク論的考え方。

● 2007年

「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方(中間報告)」

平成19年7月12日原子力安全委員会

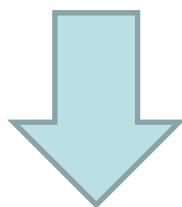
⇒発生確率に応じたシナリオ区分(通常起こる、可能性の低い、著しく低い)

● 2010年

「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方」

平成22年4月1日原子力安全委員会

⇒4つのシナリオ区分(基本・変動・稀頻度・人為)



- ・長期の安全性、すなわち長期の処分システムの性能をどう評価し判断するか？
- ・時間経過と共に増大する不確実性をどう考慮するか？

②新指針(原安委)

「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」

2010年(平成22年)8月5日原子力安全委員会

リスク論的考え方



- リスク(潜在的な危険性)が許容できる範囲に実態的に抑制されているかを判断

統合アプローチ

- シナリオの発生の可能性を全て確率として定量化し、確率と各シナリオの影響の程度との積の総和を図るアプローチ手法
- 将来の個人に線量を与えるかもしれない関連した廃棄物処分システムにかかる全ての確かな過程からの全リスクが、リスク拘束値と比較される。このアプローチは、概念的には満足なものであるが、考慮中の期間の範囲内における全ての関連した被ばく状況とそれらに付随する確率の包括的な評価を必要とする。

線量／確率分解アプローチ

- シナリオの発生の可能性に応じてシナリオ解析を行い、その結果を個別に評価するアプローチ手法
- 起こりそうあるいは代表的な放出シナリオが同定され、これらのシナリオから計算された線量が線量拘束値と比較される。その他あまり起こりそうに無いシナリオの放射線学的重要性は、結果として生じる線量とそれらの発生確率を別々に考察して評価することができる。このアプローチは、そのようなシナリオが起こる確率の正確な定量化を要求せず、むしろそれらの確率の推定された大きさに見合った、それらの放射線学的影響の評価を要求することに注意すべきである。

⇒シナリオの発生可能性の高低(定性的な確率)とそれぞれに対するリスク拘束値(定量的なめやす線量)に分解

シナリオの区分



・基本シナリオ

科学的に確からしいシナリオ想定に基づく評価によって、埋設した放射性固体廃棄物に起因して発生すると想定される放射性物質の生活環境に及ぼす影響が、無視できるほど軽微であることの科学的蓋然性を示すこと。

⇒発生の可能性が高いシナリオ。基本設計の妥当性を確認。

・変動シナリオ

基本シナリオに対する変動要因を考慮した変動シナリオを想定しても、埋設した放射性固体廃棄物に起因して発生すると想定される放射性物質の生活環境に及ぼす影響は、限定的であることを示すこと。

⇒発生の可能性が低いシナリオ。不確かさに対する対応を確認。

・稀頻度事象シナリオ

変動シナリオにおいてもなお想定しがたいほどの稀頻度の事象を敢えて想定しても、埋設した放射性固体廃棄物に起因して発生すると想定される放射性物質の生活環境に及ぼす影響は、放射線防護上の特別の措置を必ずしも必要とする状況に至らないことを示すこと。

⇒発生の可能性が著しく低いシナリオ。放射線影響を適切に緩和し、特別な防護措置が必要ないことを確認。

・人為事象シナリオ

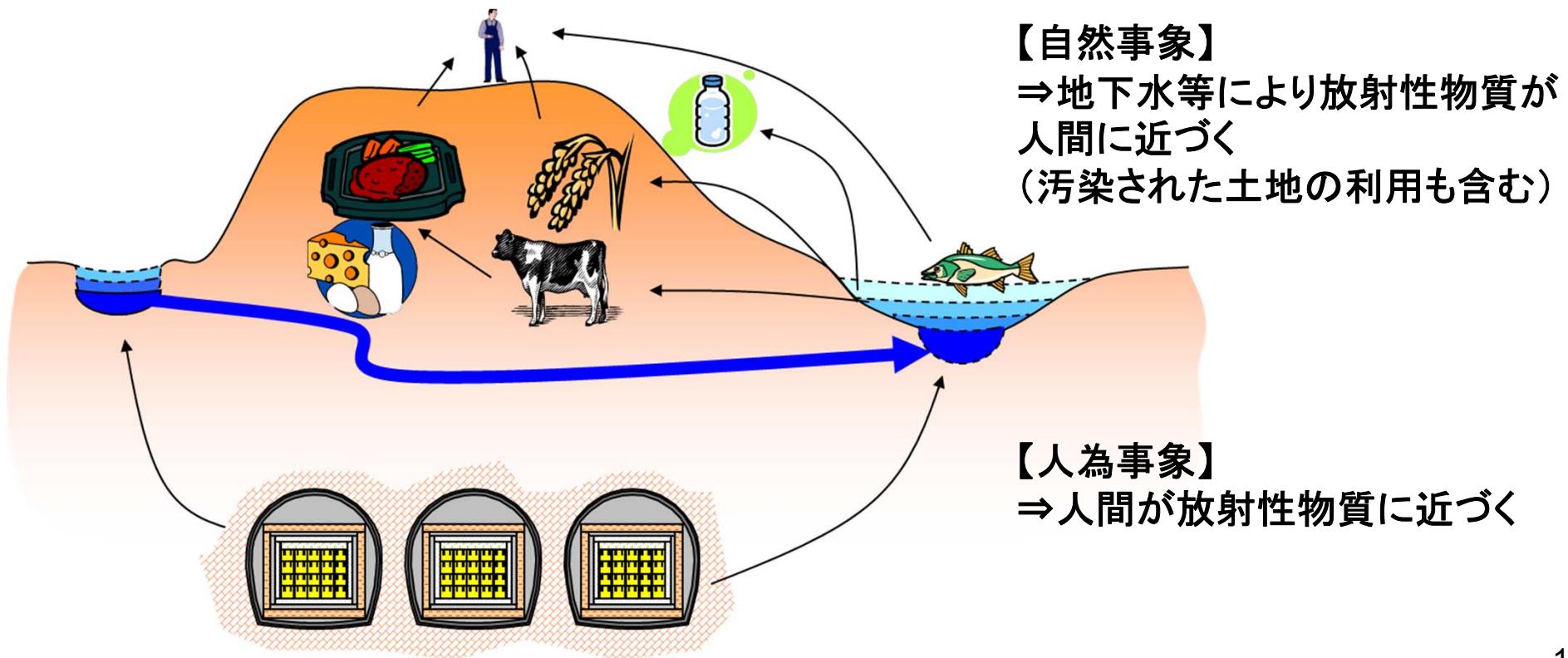
人為事象の発生の可能性を減ずる対策を講じたとしても、なおその発生可能性を否定しがたい人為事象シナリオについては、人の行為を様式化した上で、埋設した放射性固体廃棄物に起因して発生すると想定される放射性物質の生活環境に及ぼす影響が、周辺住民と特定の接近者個人のそれぞれに対して、放射線防護上の特別の措置を必ずしも必要とする状況に至らないことを示すことにより、人為事象シナリオを含む安全評価に対して十分な頑健性を有することを示すこと。

被ばく経路

●被ばく経路の種類

被ばく経路には、基本的に、その起因事象が自然事象である「自然過程による被ばく経路」と、起因事象が人為事象である「人為過程による被ばく経路」の2種類が考えられる。

出典:「余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方」



めやす線量



処分方法に応じて、周辺住民あるいは特定の接近者個人が受ける線量として、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」を満足することを示すこと。

【一般的なふるまい(受動的)】

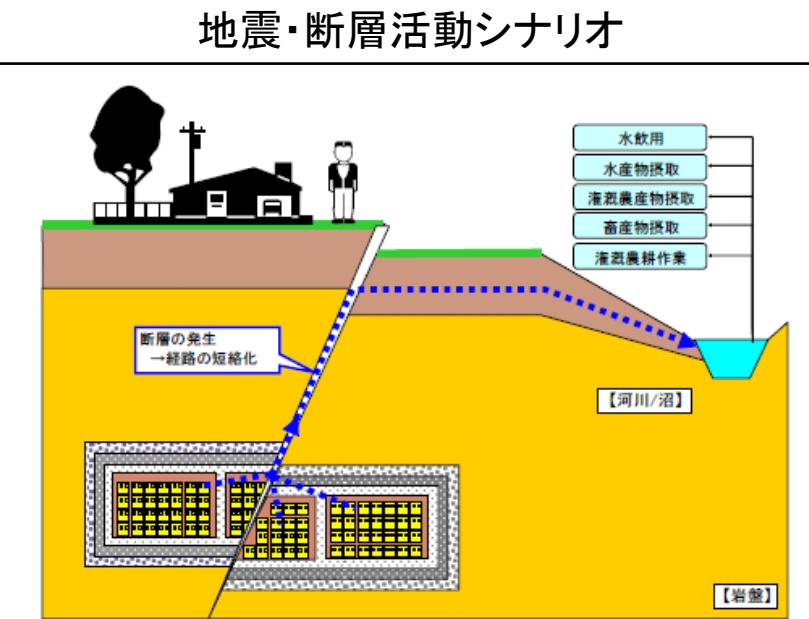
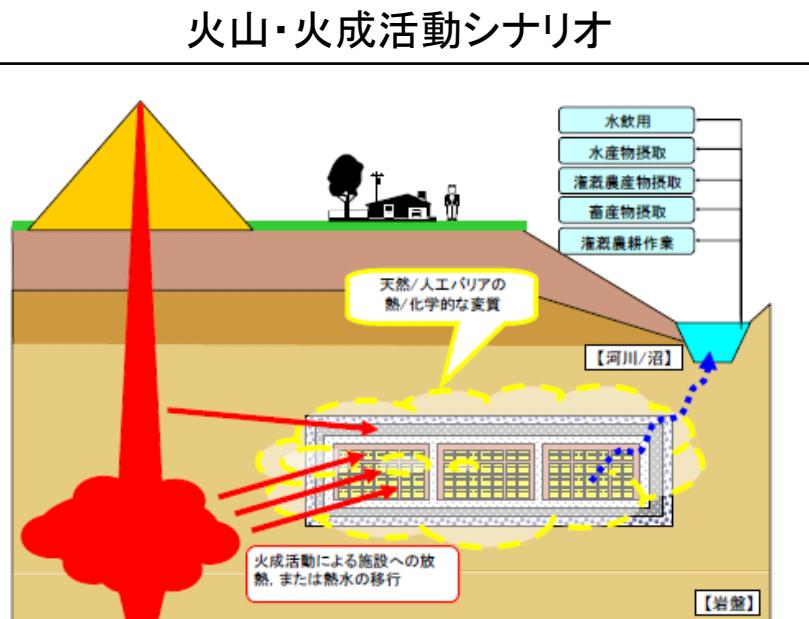
- 基本シナリオ... **10 $\mu\text{Sv/年}$** 以下
- 変動シナリオ... **300 $\mu\text{Sv/年}$** 以下
- 稀頻度シナリオ... **10 mSv/年** 、(不確かさを考慮した保守的な条件の場合は **100 mSv/年**)

【特定の行為(能動的)】

- 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
 - ・周辺住民: **1 $\text{mSv/年} \sim 10 \text{ mSv/年}$**
 - ・特定の接近者個人: **10 $\text{mSv} \sim 100 \text{ mSv}$**

稀頻度事象シナリオ

- 立地選定で基本的に除外するが影響の大きさを把握するため念のため評価。

地震・断層活動シナリオ	火山・火成活動シナリオ
 <p>埋設施設設近傍で地震・断層活動事象が発生 →人工バリアの破断による低拡散性や低透水性の喪失、地表への短絡経路形成などが生じたときの線量影響を評価</p>	 <p>埋設施設設近傍で火山・火成活動が発生 →マグマの貫入あるいは噴出により、直接、力学的な破壊が生じたときの線量影響を評価 →マグマ等による熱影響を人工バリア／天然バリアともに受け、各部材に性能低下(分配係数、拡散係数、透水係数、天然バリアにおける地下水流速の増大、等)が生じたときの線量影響を評価</p>

※発生の可能性が著しく低く、かつ廃棄物により想定される放射線学的影響以上の事象(例えば隕石落下等)は検討対象外

人為事象



●人為事象

埋設地を認知した上での意図的な行為

⇒国際的に評価対象にしていない[1]

埋設地を認知しない偶発的な行為

⇒発生可能性を減らす対策をした上で、なお回避されないリスクを対象に安全評価[2]

【発生可能性を減らす対策】

- ・鉱物資源がない等の立地上の考慮
- ・処分深度を深くする、人工バリア設計上の物理的抵抗性の考慮
- ・処分場を認知する記録の保存管理、マーカー等

●様式化

現在の生活環境を元に、その生活環境の状態の長期的な変化を考慮して「様式化」。

⇒将来の人間の行為を予測するわけではない



周辺住民と特定の接近者個人(作業者など)のそれぞれに対して
放射線防護上の特別な措置が必要となるものではないことを確認するシナリオ

出典[1] : ICRP Pub.81(1998)

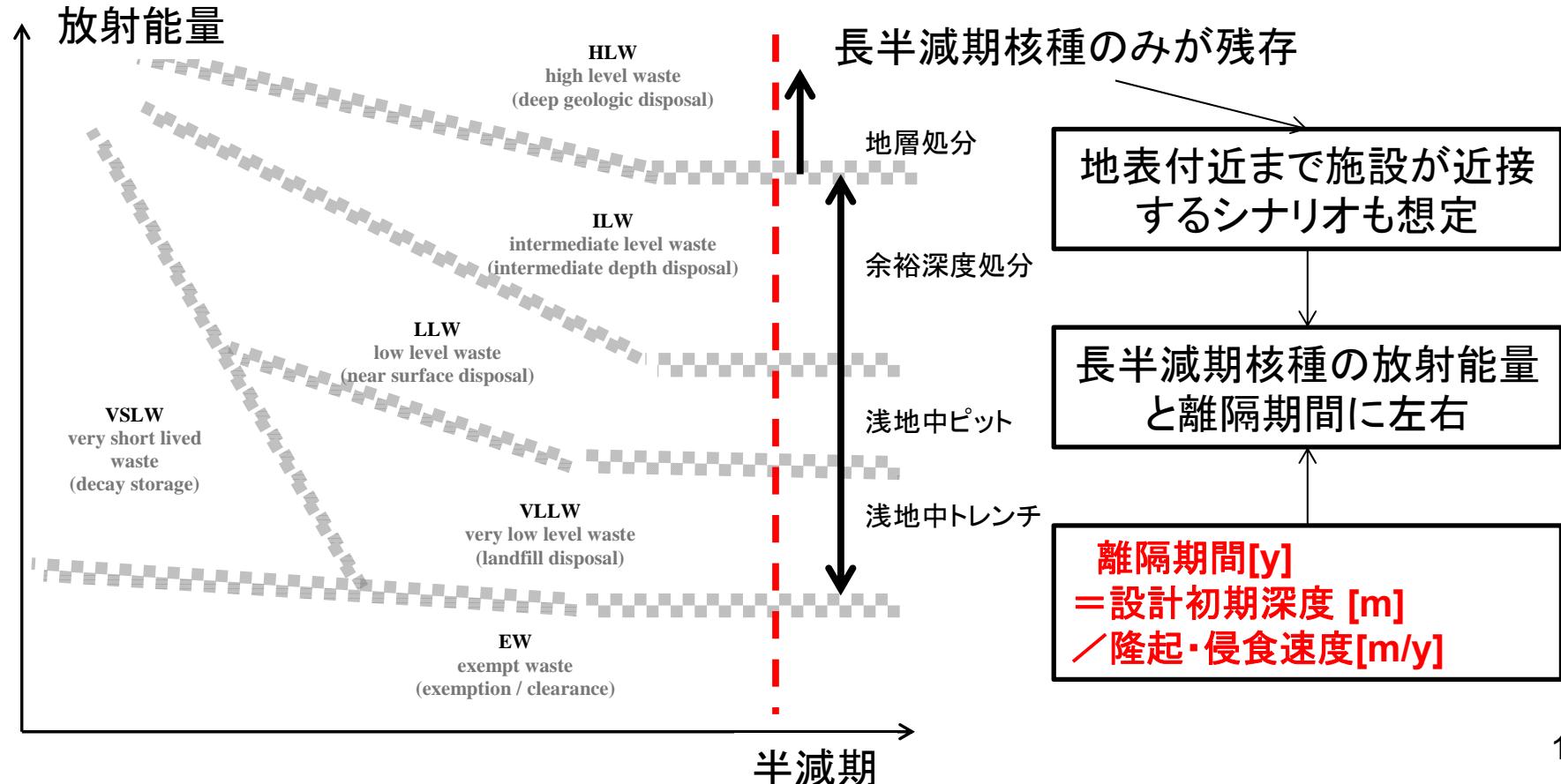
出典[2] : 原子力安全委員会(2010)、「第二種廃棄物埋設の事業に関する安全審査の基本的考え方」(加筆)

参考資料:「放射性廃棄物の余裕深度処分における埋設深度の妥当性評価の考え方について」(川上,2011)

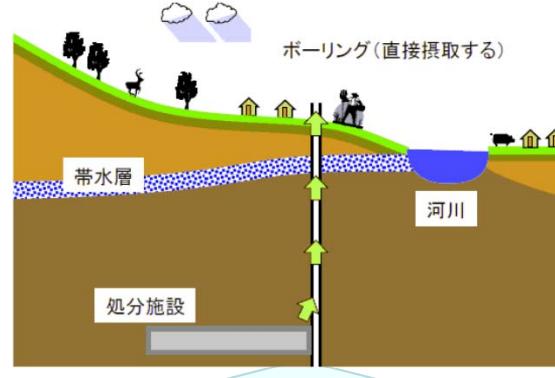
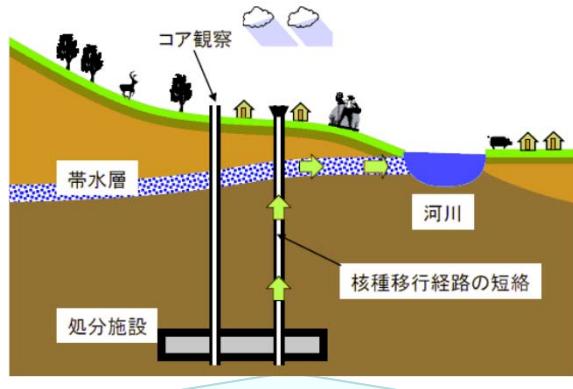
埋設深度の考え方

●隆起・侵食等により埋設深度が変化する場合の想定

- ・移行抑制機能⇒人工バリア・天然バリア性能(例:地下水環境、特定の地質)
- ・離隔⇒人間侵入に対する物理的抵抗性(人工バリア)
⇒生活環境との離隔距離(=埋設深度)



人為事象シナリオ

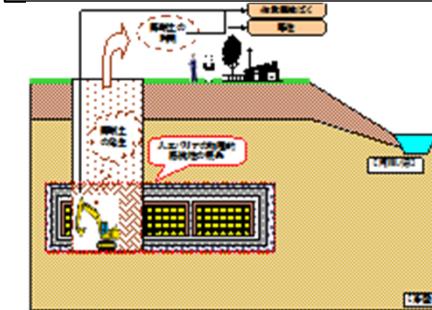
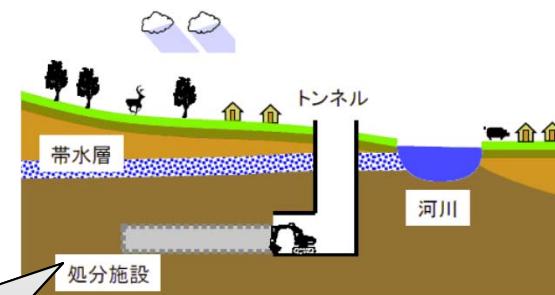


①ボーリングコア観察シナリオ
→施設を貫通するボーリングを実施し、得られたコア(=廃棄物層含む)を直接観察することによる被ばくを評価

施設近傍ボーリング掘削シナリオ
→施設の近傍をボーリング掘削し、施設近傍の汚染水を地下水として利用するときの影響を評価

施設近傍トンネル掘削シナリオ
→施設近傍をトンネル掘削し、施設近傍の汚染水が湧水として発生→湧水を地表水に排水したときの影響を評価

②核種移行経路短絡シナリオ
→施設を貫通するボーリングにより核種の地表への移行経路が短絡する影響を評価



施設貫通トンネル掘削シナリオ
→施設を直接トンネル掘削したときの作業員の外部／内部被ばくを評価
→掘削残土に浸透した降雨水を利用するときの一般公衆の被ばく影響を評価

大開発土地利用シナリオ
→施設を直接地表から掘削したときの作業員の外部／内部被ばく
→掘削残土を利用した一般公衆の居住時の外部／内部被ばく評価

目次



-
1. 余裕深度処分の概念
 2. 管理期間終了後の安全評価の考え方
 3. 余裕深度処分の検討状況

(1) 地質環境調査

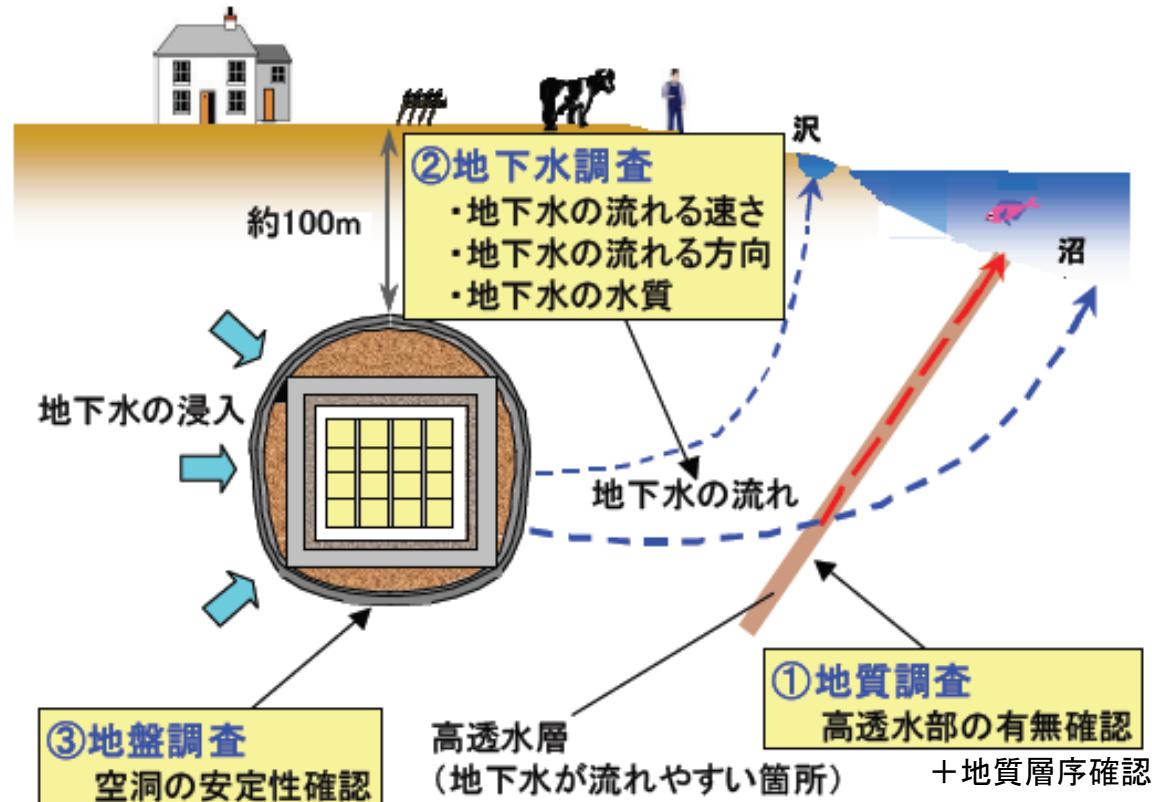
(2) 人工バリアの設計

(3) 安全評価

(1) 地質環境調査の目的



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

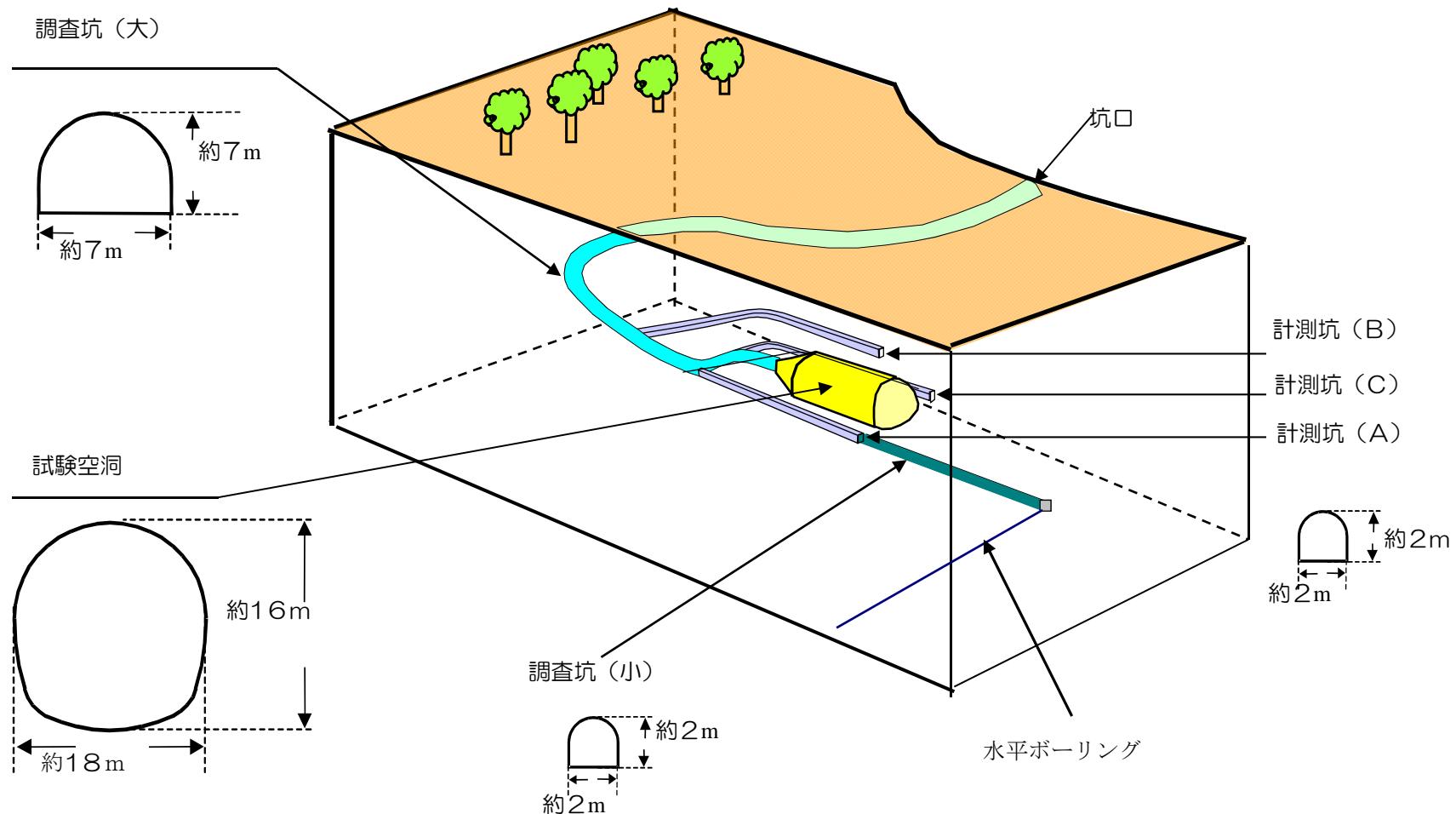
調査位置図



調査坑の鳥瞰図



- 地表からの深度約-100m(試験空洞まで約1km×勾配10%)

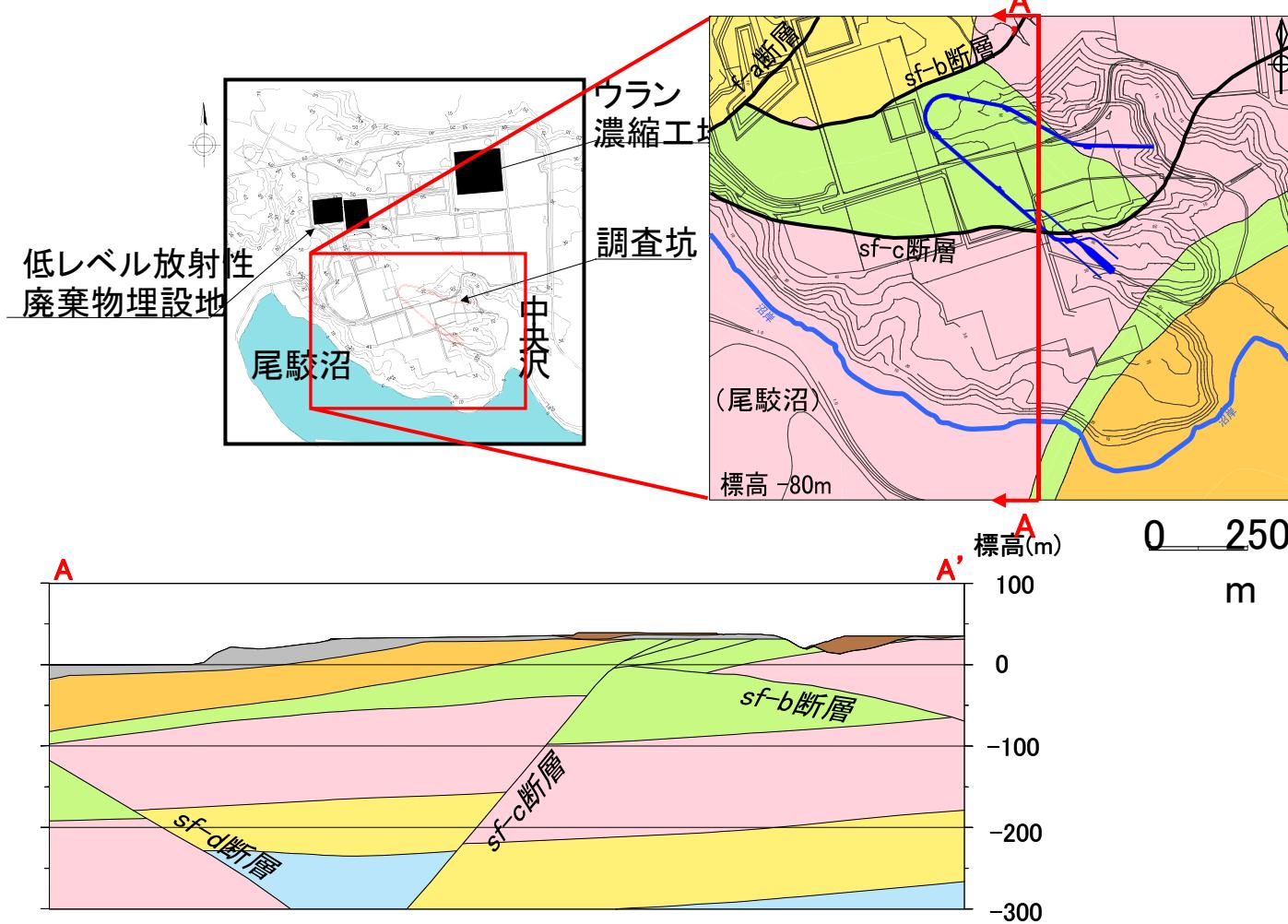


掘削の様子



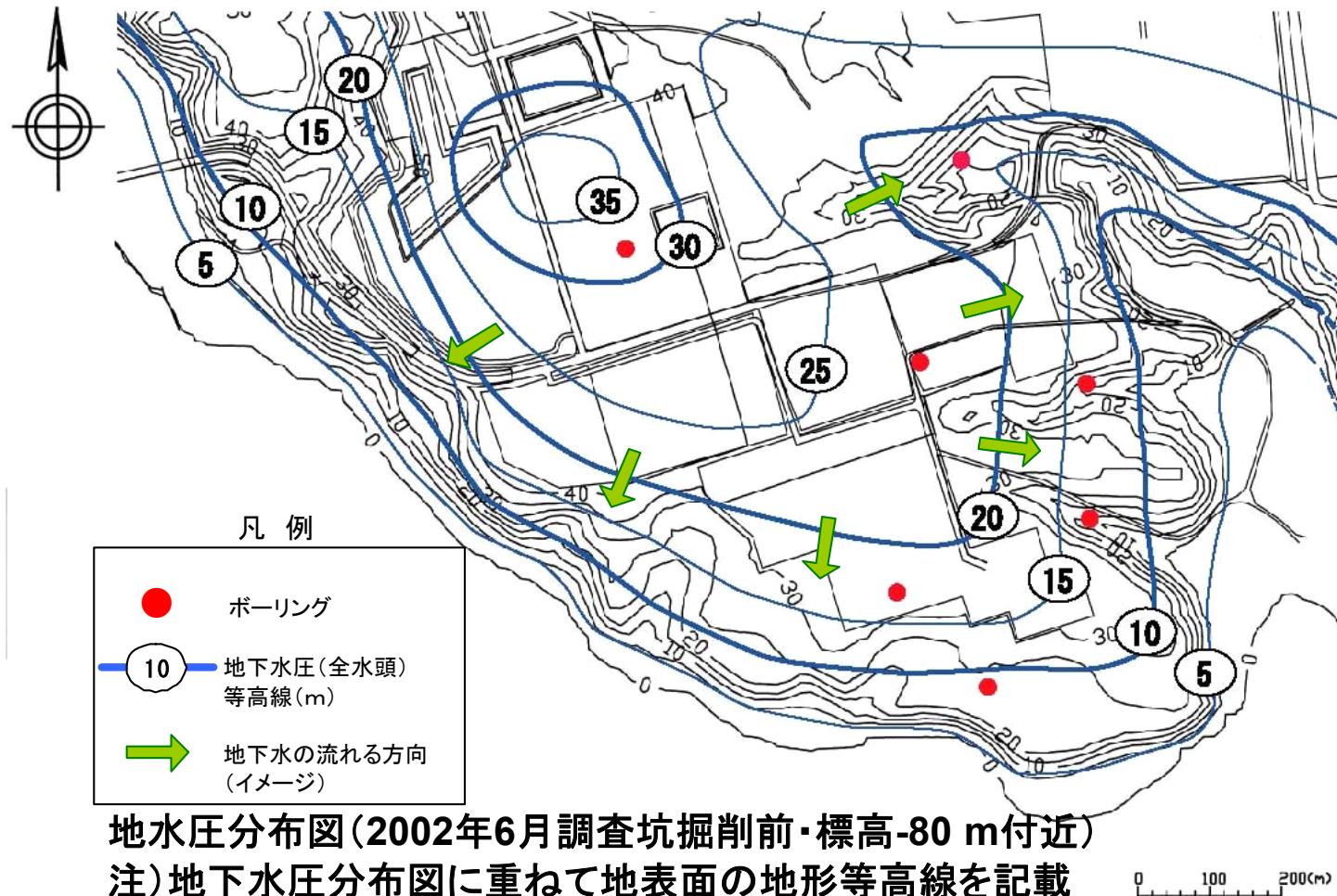
結果① 地質分布図

- 標高-80m付近では、鷹架層(新第三紀中新世に形成)が分布し、高透水部はない
- ※文献、空中写真、現地調査等から施設を直撃するような火山、断層活動はない
- ※平均約35m／10万年のほぼ一定の速度で隆起する傾向。



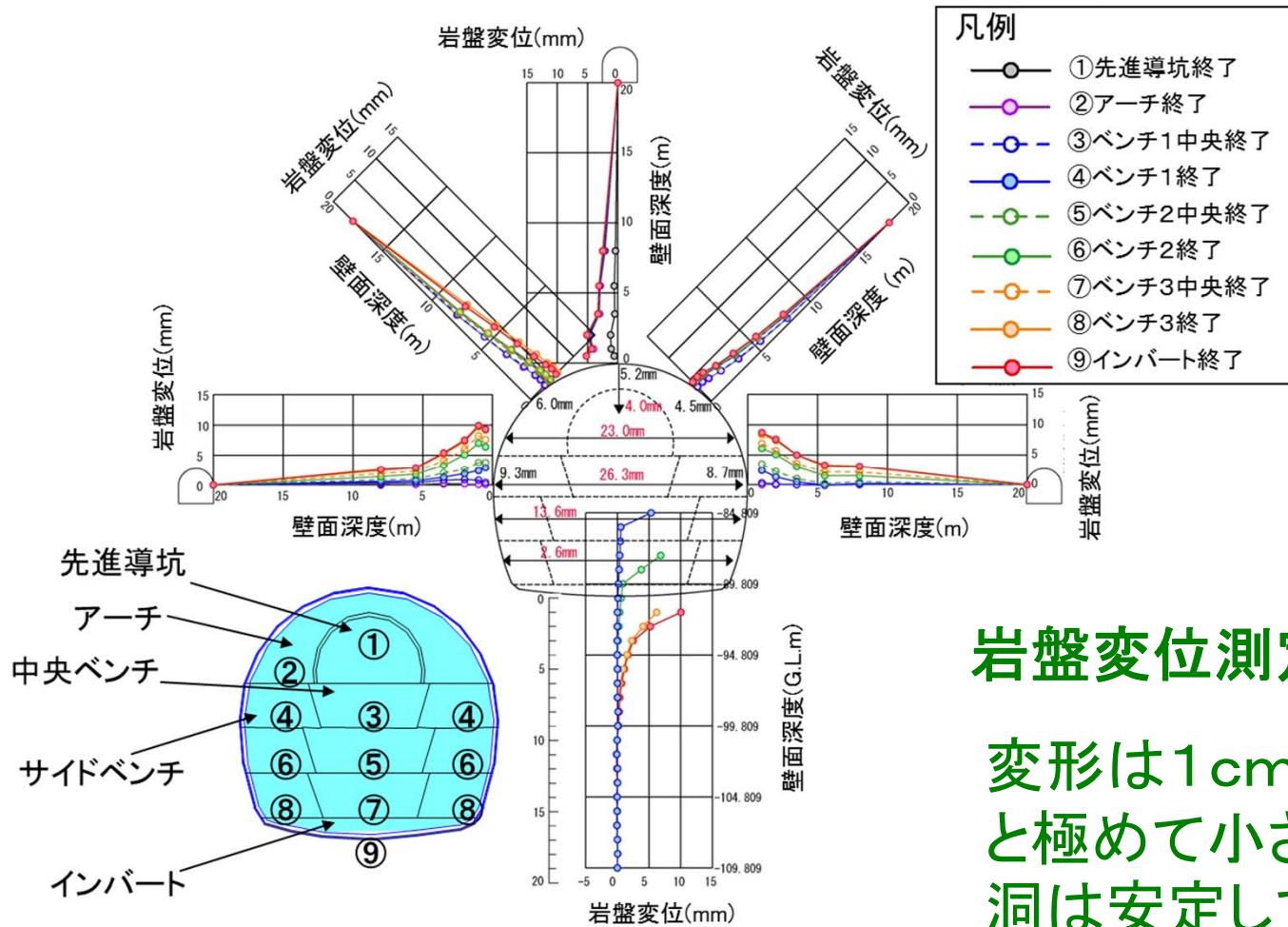
結果② 地下水流速

- 全水頭⇒地下水の流れ方向(尾駒沼、中央沢へ)と速さ(平均流速10cm/y)を確認。
※人工バリアの変質を促進するような地下水成分は少ないことも確認。(降水系地下水)



結果③ 地盤調査

- 安定した大規模な空洞を構築できることを確認。



岩盤変位測定結果

変形は1cm程度
と極めて小さく空
洞は安定している。

目次



-
1. 余裕深度処分の概念
 2. 管理期間終了後の安全評価の考え方
 3. 余裕深度処分の検討状況

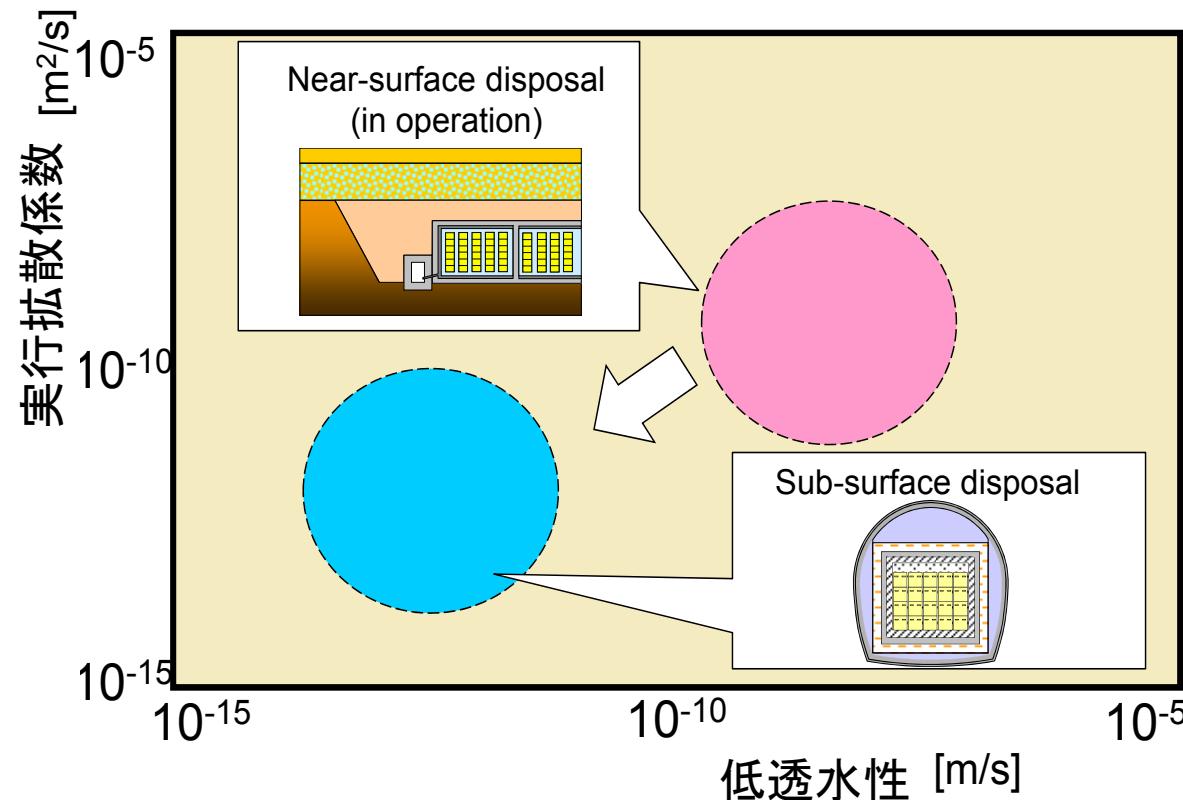
(1) 地質環境調査

(2) 人工バリアの設計

(3) 安全評価

(2) 人工バリアの設計

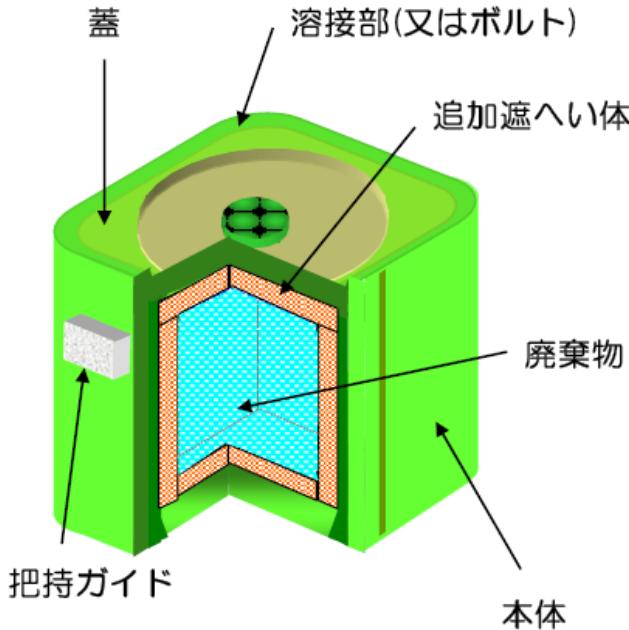
- 浅地中ピット処分よりも移行抑制機能を強化した設計が必要(例:低拡散性、低透水性)
⇒施設の構造:廃棄体容器、移行抑制バリア



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

- 実際に施工できる構築技術や廃棄体取扱設備(遮蔽)の考慮も重要。

廃棄体容器



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

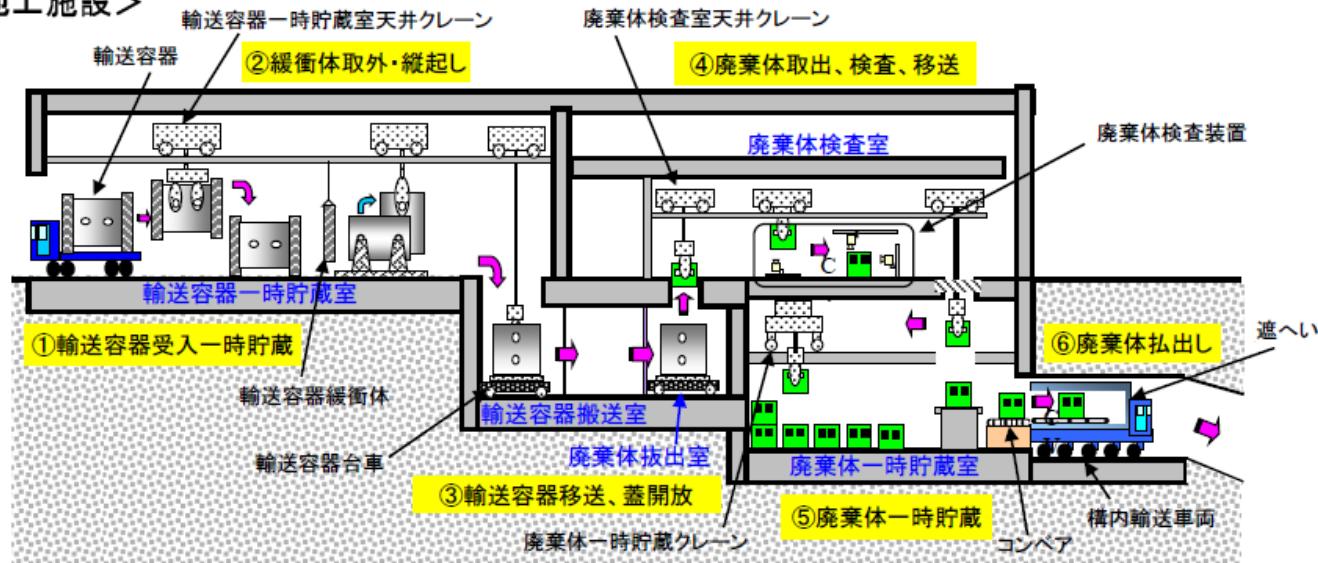
出典:総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 埋設処分技術ワーキンググループ(第6回、資料2)(2011)

廃棄体取扱設備

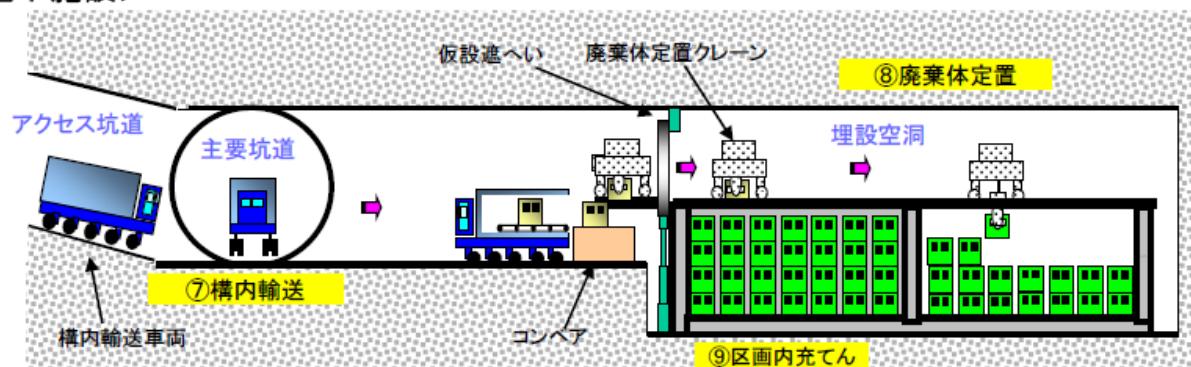


- 最大表面線量500mSv/hのため廃棄体の定置は自動化。

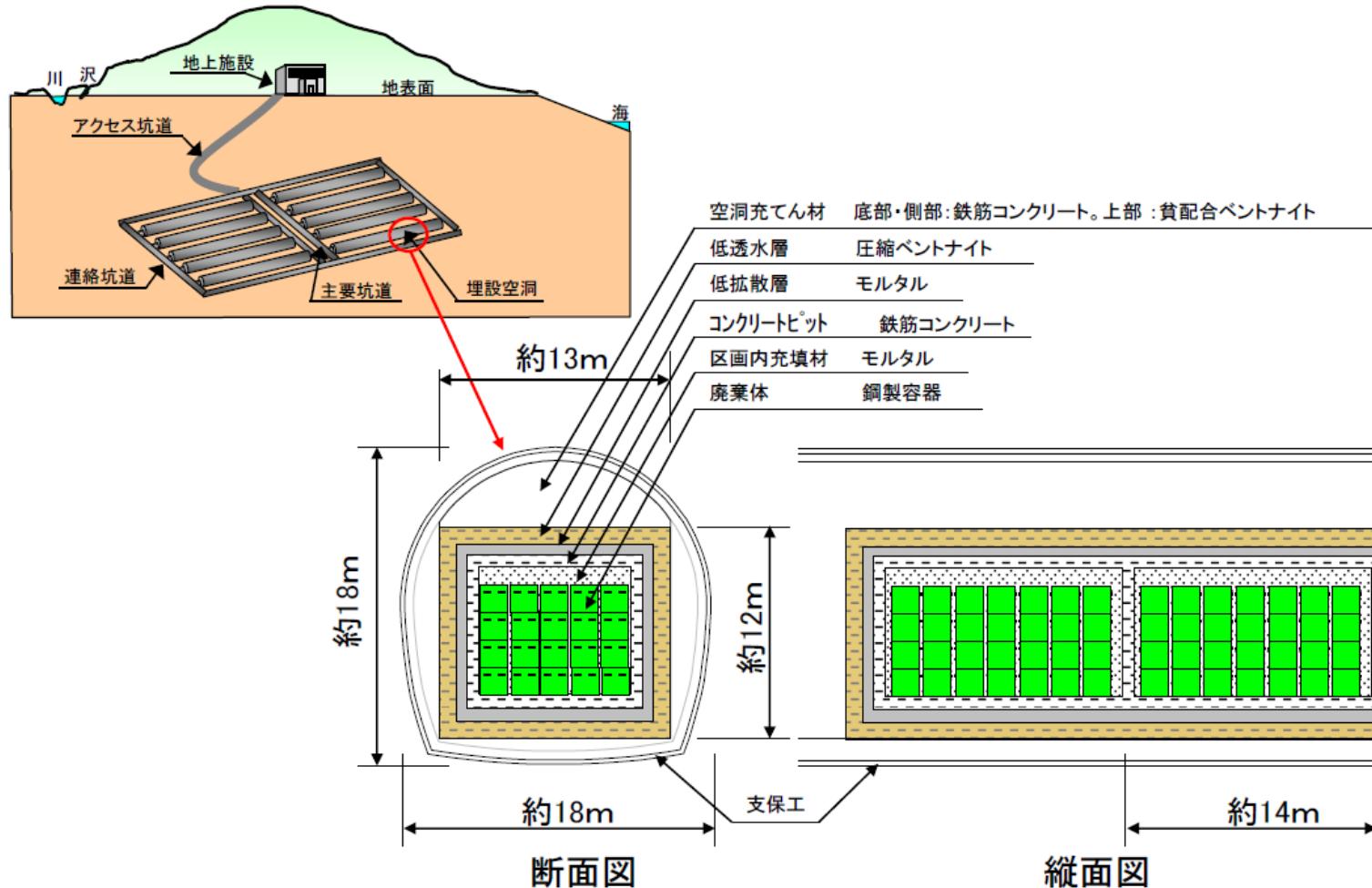
〈地上施設〉



〈地下施設〉



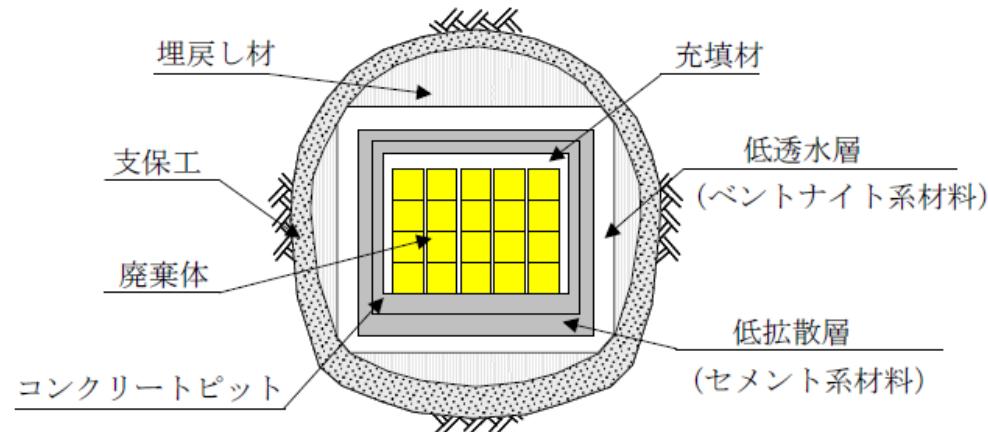
施設断面図



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)

移行抑制機能

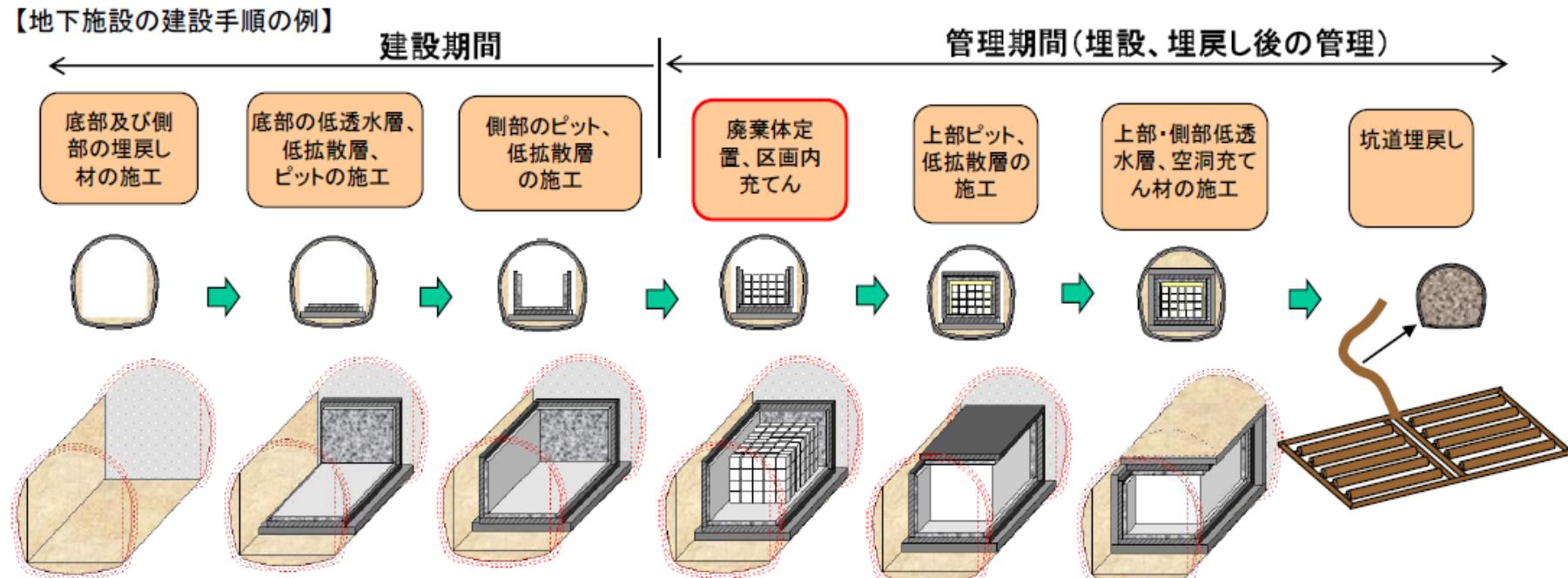
- 浅地中ピット処分で用いたベントナイトの低透水性に加え、余裕深度処分では高緻密なセメント系材料(モルタル)による低拡散性で、さらに核種移行を抑制



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	充てん材	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)

建設・埋め戻し

- 表面線量が高いため遮蔽を適切に行い、部位によっては遠隔操作で作業。
- 有害な空隙が残存すると水みちとなるため、コンクリートピット上部の狭隘部、さらには埋設設備に取り付く周辺の坑道も全て埋め戻し。



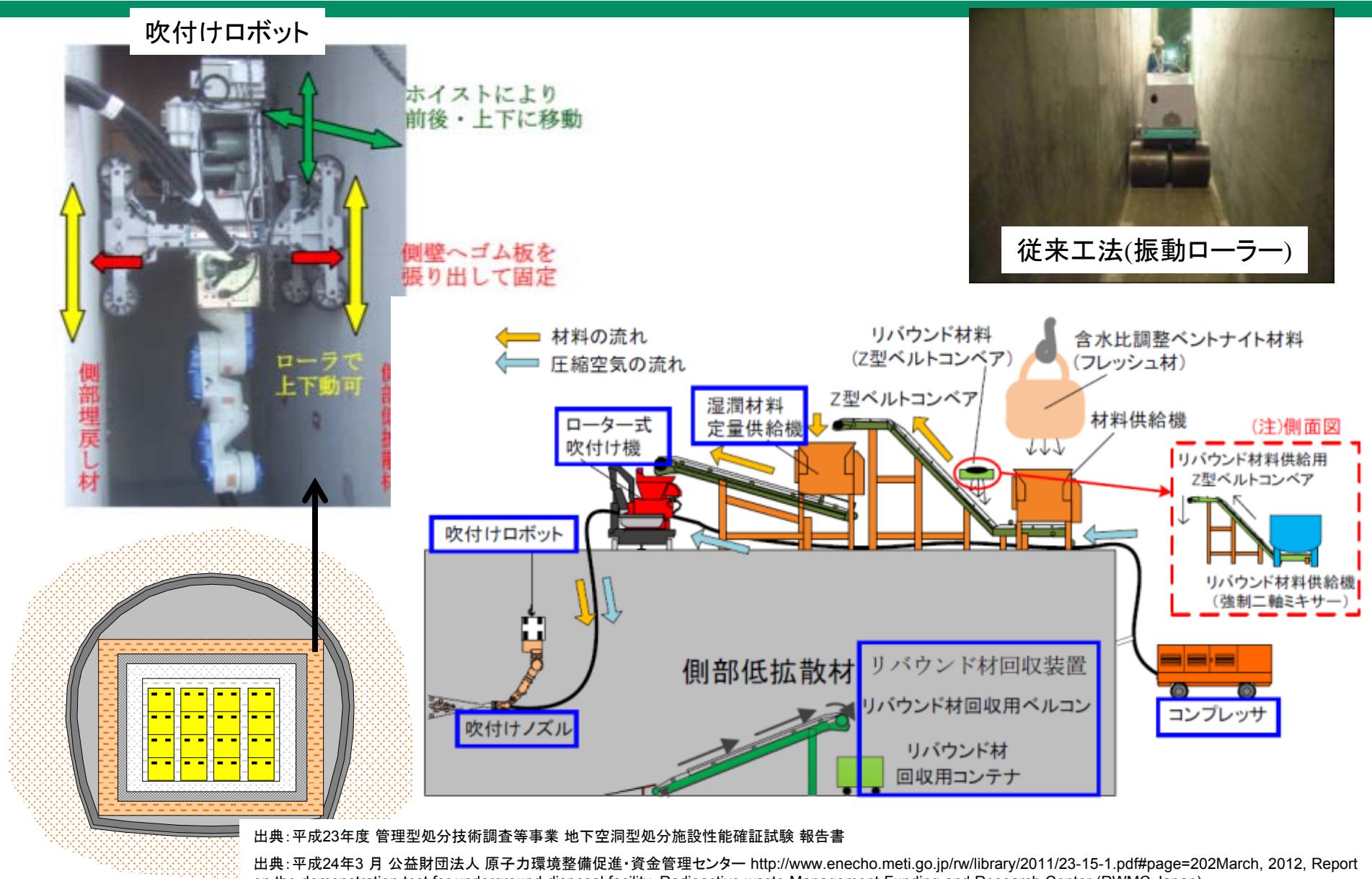
出典:総合資源エネルギー調査会 原子力安全・保安部会 廃棄物安全小委員会 埋設処分技術ワーキンググループ(第6回、資料2)(2011)

(参考)地下空洞型処分施設性能確認試験



発注：経済産業省 資源エネルギー庁 放射性廃棄物等対策室
実施機関：(財)原子力環境整備促進・資金管理センター

(参考)地下空洞型処分施設性能確認試験



目次



-
1. 余裕深度処分の概念
 2. 管理期間終了後の安全評価の考え方
 3. 余裕深度処分の検討状況

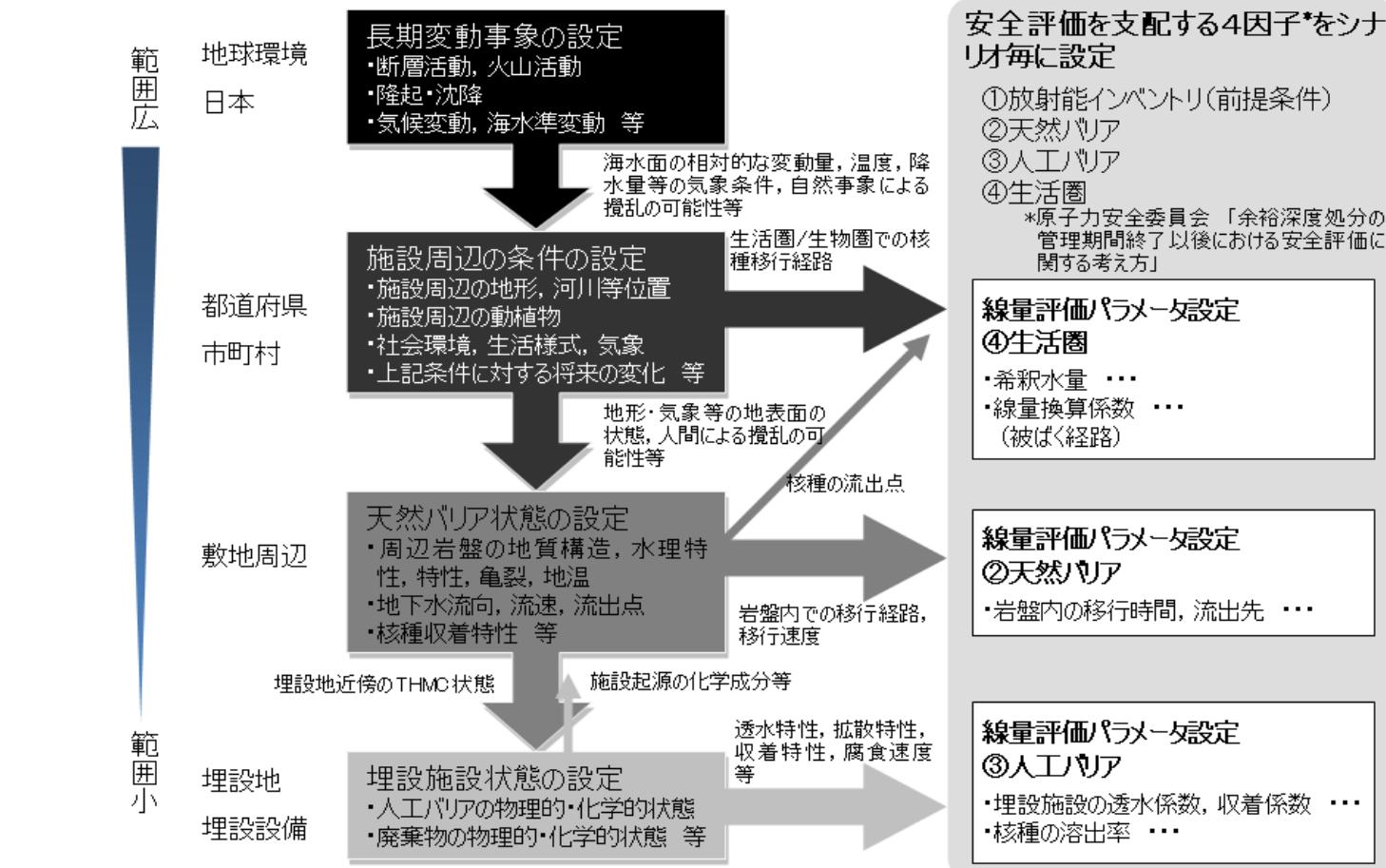
(1) 地質環境調査

(2) 人工バリアの設計

(3) 安全評価

安全評価の4因子

- 空間的な大きさごとに事象を設定⇒生活圏・天然バリア・人工バリアのパラメータを設定。



- ・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

外部事象の抽出とシナリオ開発



●トップダウン的アプローチ

⇒重要な安全機能を損なう条件の組み合わせを考える

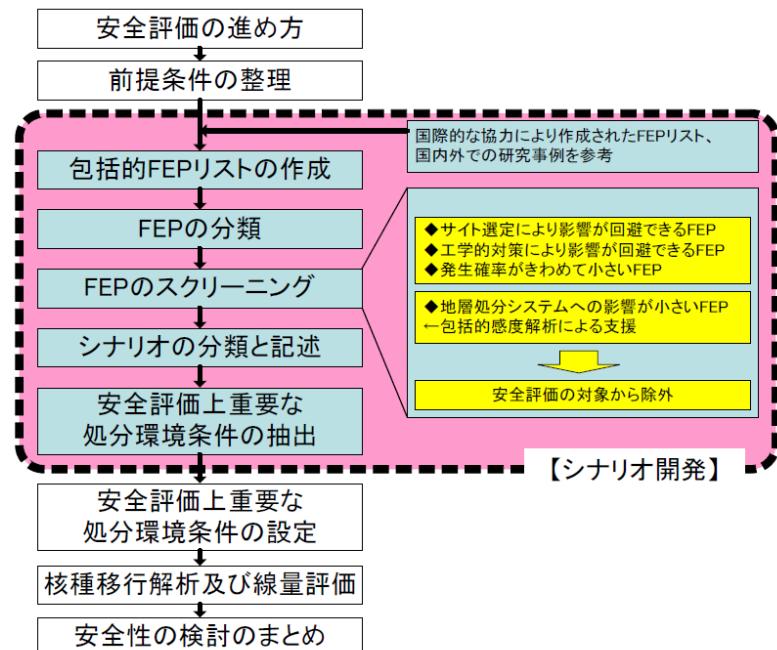
●ボトムアップ的アプローチ

⇒外部事象、状態変化(気候変動など)を発端とする処分システムの変化を考える

包括的感度解析

要因分析図の作成

包括的国際FEPリストとの比較



IAEAISAM の FEP リスト		
処分施設	1.1.01 サイト調査 1.1.02 処分施設の設計 1.1.03 処分施設の建設 1.1.04 廃棄物の定置・埋め戻し 1.1.05 処分施設の開発 1.1.06 処分施設の記録・マーカー 1.1.07 廃棄物の配置 1.1.08 品質管理 1.1.09 スケジュール・計画 1.1.10 処分サイトの運営管理 1.1.11 処分施設の監視 1.1.12 事故・計画外の事象 1.1.13 回収可能住	
	1.2.01 造山運動・プレート境界での関連する地殻変動過程 1.2.02 非造山運動・プレート内での地殻変動過程(変形、弹性、塑性、せん性) 1.2.03 地震活動 1.2.04 火山・マグマ活動 1.2.05 变成作用 1.2.06 热水活動 1.2.07 混食・堆積 1.2.08 織成作用・土壤生成 1.2.09 岩盤のダイナミック作用・溶解 1.2.10 地質の変化に伴う水文学的・水文地質学的変化 1.3.01 地球規模の気候変動 1.3.02 地域的・局所的な気候変動 1.3.03 海水潮汐変動 1.3.04 高水河川の影響 1.3.05 局所的な水河川・水床の影響 1.3.06 溫暖化の影響(熱帯・砂漠) 1.3.07 気候変動に対する水文学・水文地質学的変化 1.3.08 気候変動に対する生態学的な対応 1.3.09 気候変動に対する人間の対応 1.3.10 その他の地学的な変化	
	1.4.01 気候への人間活動の影響 1.4.02 動機と認識に関する事項(意図しない/故意の人間の行為) 1.4.03 挖削活動(人間侵入) 1.4.04 掘削・その他の地下での活動(人間侵入) 1.4.05 侵入行為のないサイト調査 1.4.06 地表掘削 1.4.07 汚染 1.4.08 サイトの開発 1.4.09 古生物学 1.4.10 水の管理(井戸、貯水池、ダム) 1.4.11 社会的・組織的な開発 1.4.12 技術的な開発 1.4.13 改善措置 1.4.14 爆発・衝突	

OECD/NEA,"Features, Events and Processes (FEPs) for Geologic Disposal of Radioactive Waste: An International Database", (2000)

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」

FEP, THMC分析の例



「THMCマトリクス」「ロジックツリー」等を用い、それぞれのシナリオでキーとなる各部材の特性やそれぞれの特性の相互作用から生じる影響事象を抽出

「THMCマトリクス」

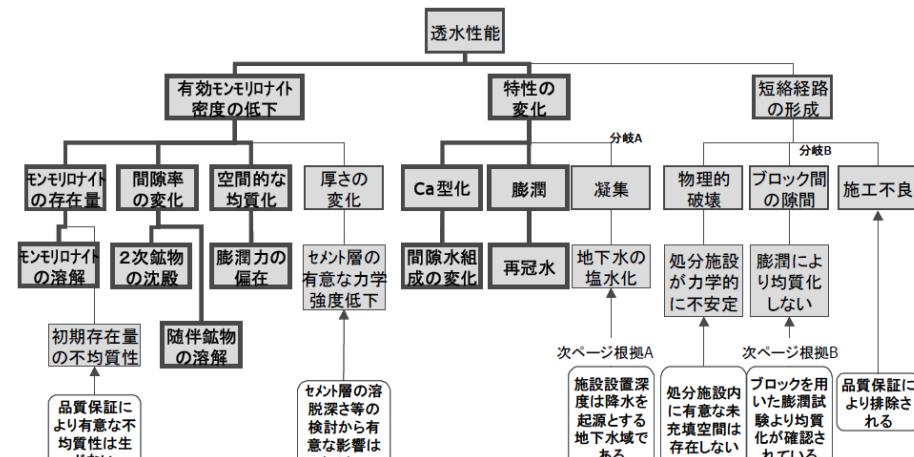
- ①各部材の熱(Thermo)－水理(Hydro)－力学(Mechanical)－化学(Chemical)特性を把握
 - ②それぞれの特性が他特性に与える影響を把握
 - ③埋設施設性能に影響を与える事象のみを抽出
 - ④抽出事項の相関を把握し、状態設定に影響を与える事象を設定

「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

	ペントナイト層			高緻密コンクリート層		
ペントナイト層	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リナイトの移動(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	ペントナイトによるセメントの溶脱影響
	LI	None	LI	水理	None	LI
高緻密コンクリート層	None	溶脱に伴う剛性低下によるペ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)

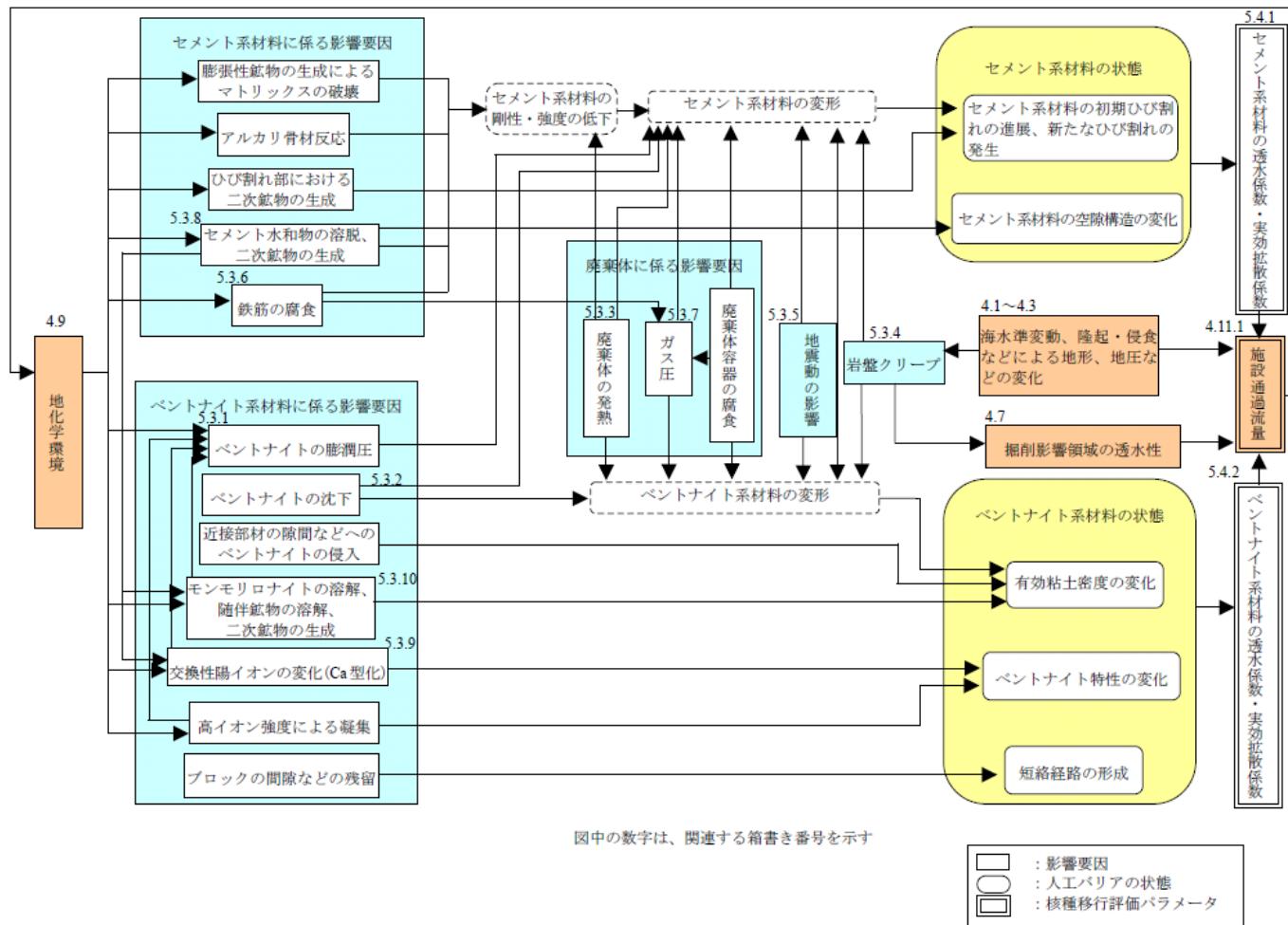


ベントナイト層の透水性能に関するロジックツリー(例)

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 Vol.13 No.1

影響事象相関図の例

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

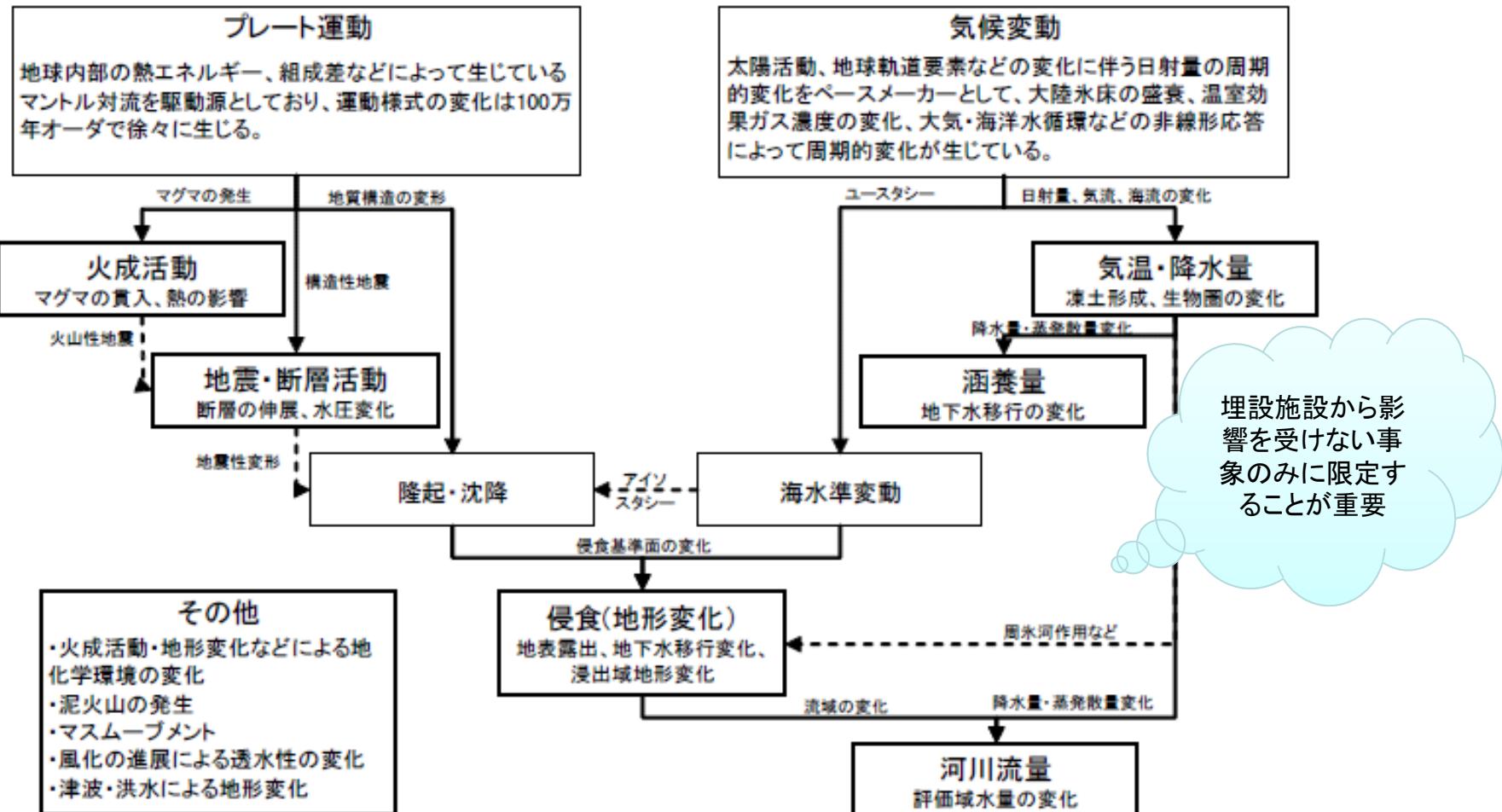


出典:社団法人土木学会 エネルギー委員会 低レベル放射性廃棄物の余裕深度処分に関する研究小委員会(2008)、
 「余裕深度処分の安全評価における地下水シナリオに用いる核種移行評価パラメータ設定の考え方」

長期变动事象

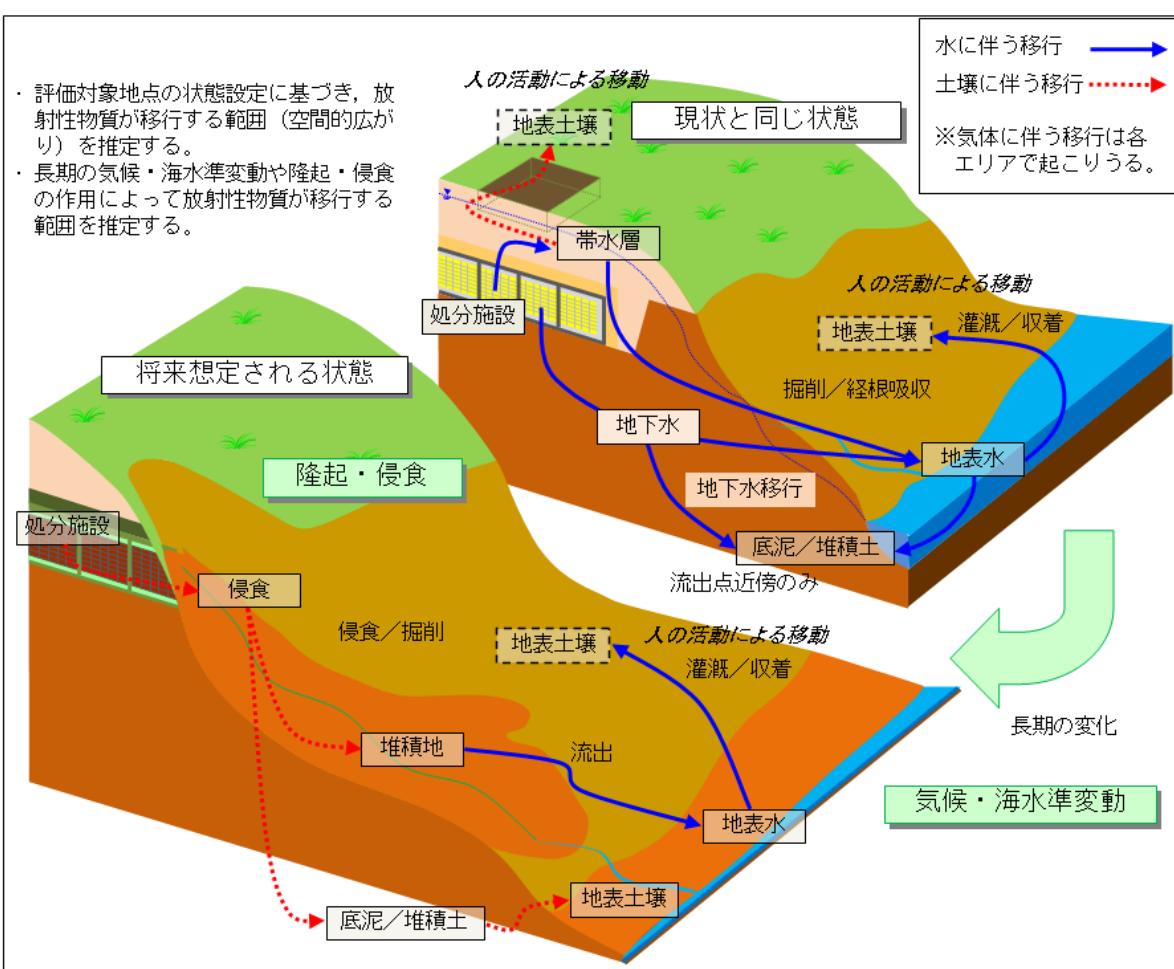


● 隆起侵食と河川流量の長期的な変化幅等を検討



出典:社団法人大木学会 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 41

核種移行の範囲



「**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設及びその周辺の汚染土壤が地表付近に接近したとき
- 侵食により、汚染土壤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壤が地表面に露呈したとき

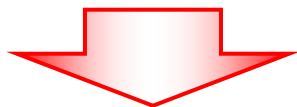
出典:日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法:2012」、AESJ-SC-F023:2012

将来の地形変動

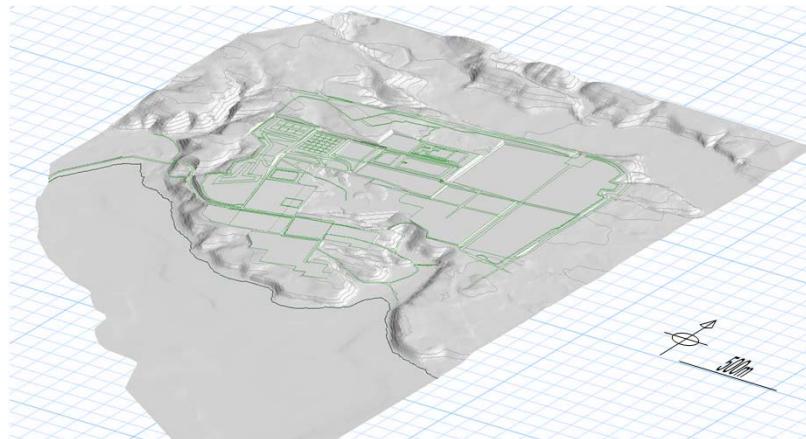


● 解析事例(モデル化)

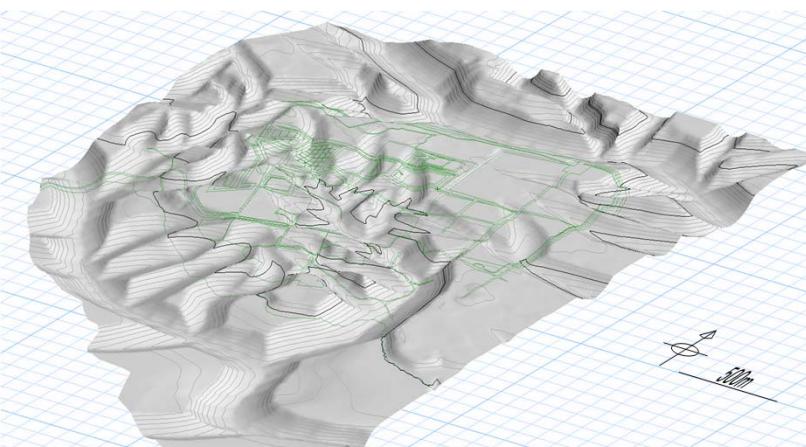
- 本格調査で得られたデータ等を用い、地形モデルを構築し、将来の長期的な地形変動に関する解析を実施。



- 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

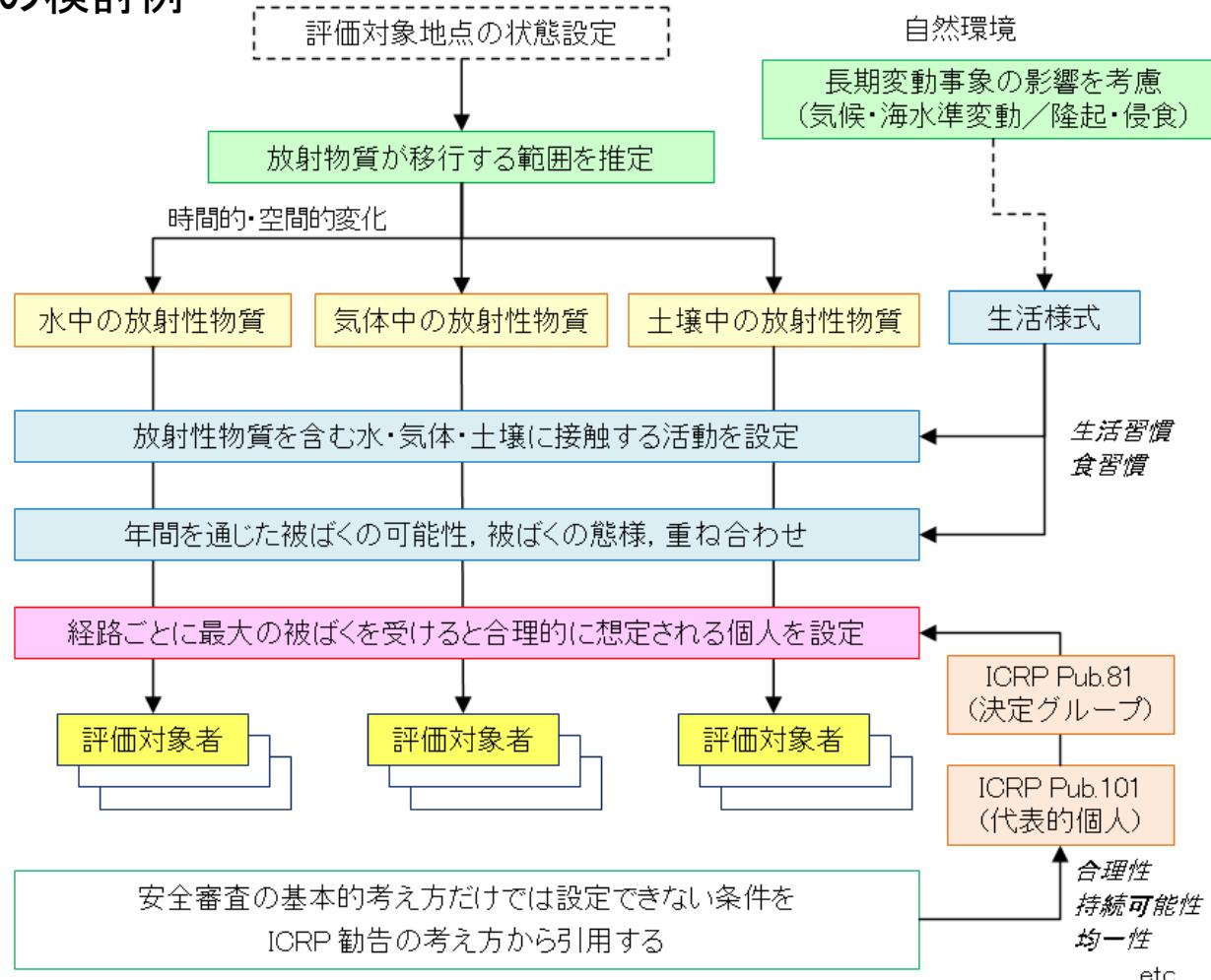


6万年後の地形予測図(寒冷化条件)

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 MMJ Vo.125 p347-357

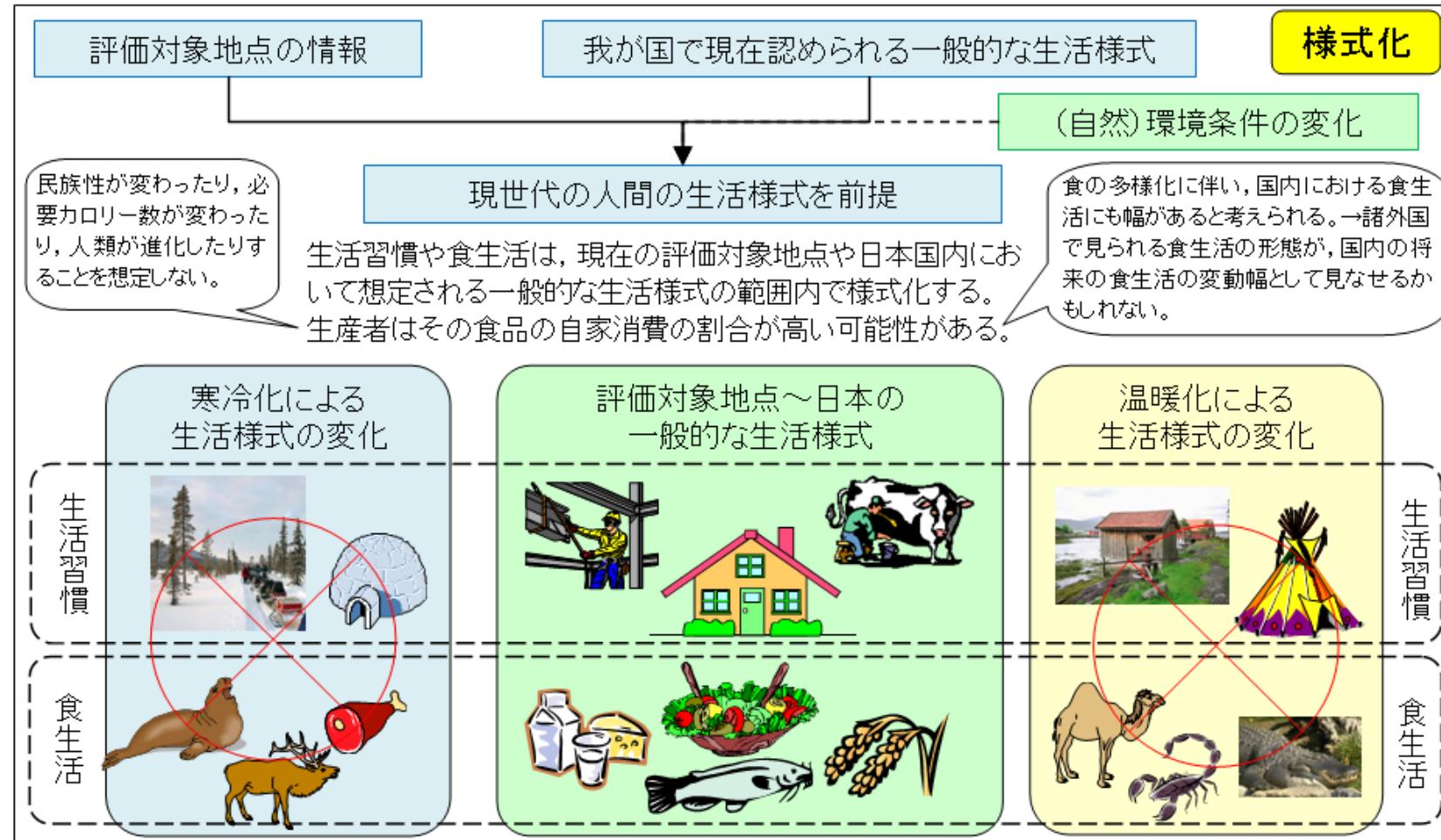
生物圏の状態設定

●評価対象者の検討例

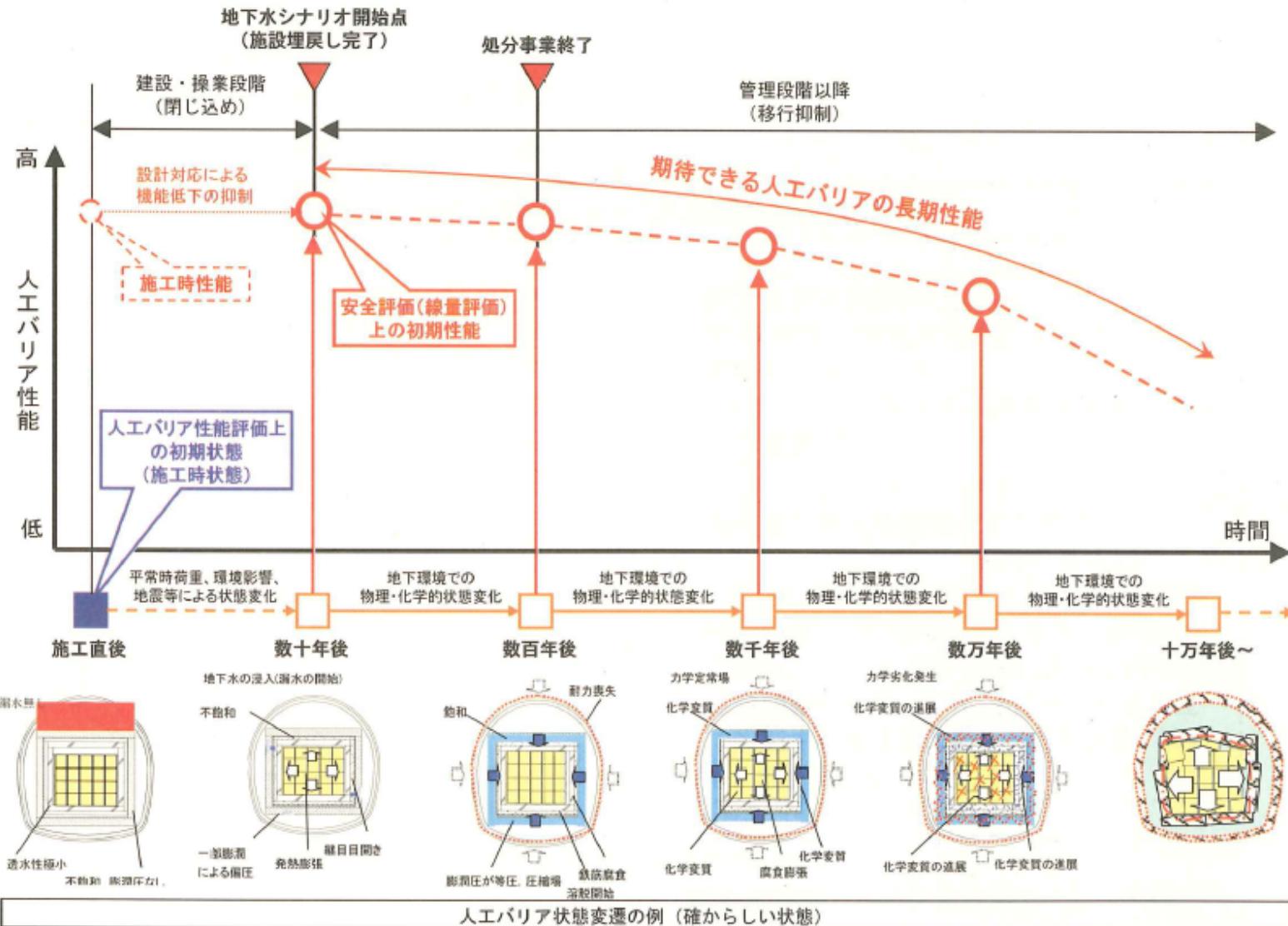


出典:日本原子力学会標準「浅地中ピット処分の安全評価手法:2012」、AESJ-SC-F023:2012

評価対象者の生活様式



人工バリアの状態設定



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」

地化学解析の例



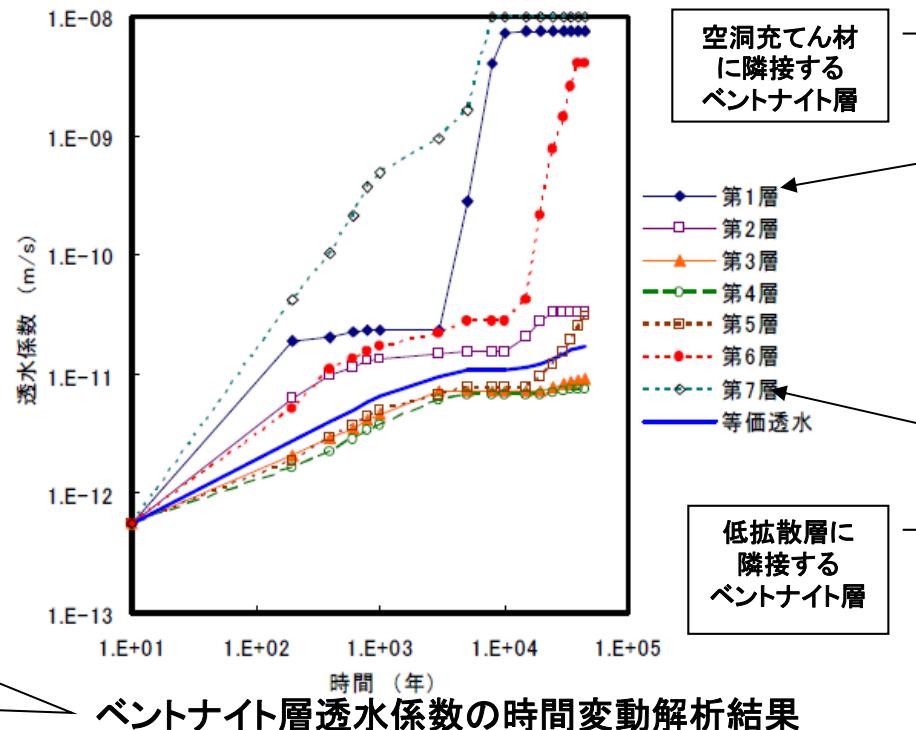
● 解析事例(モデル化)

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遷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遷を推定

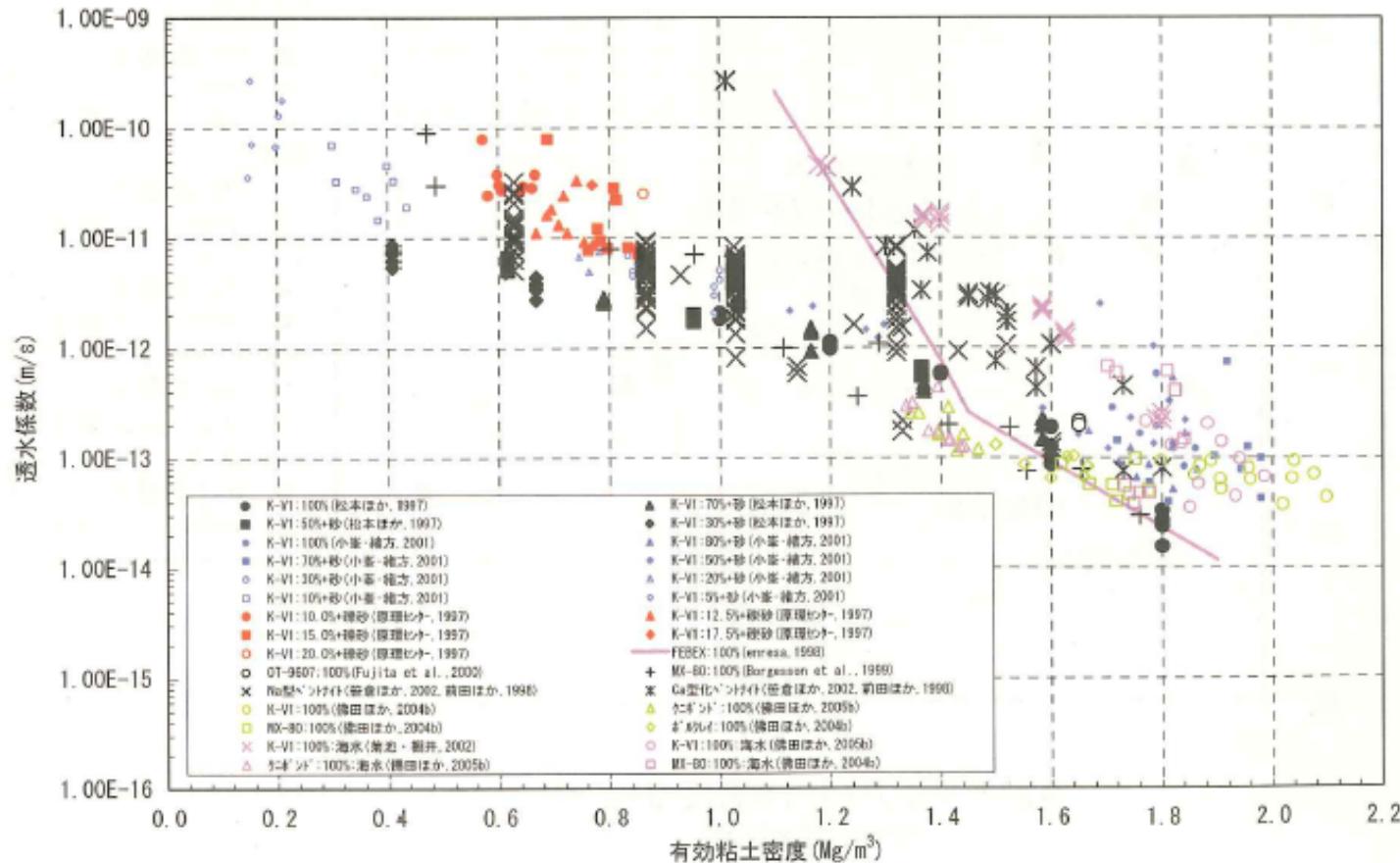
- セメント系材料に接する第1層及び第7層は、ベントナイト層のうち低透水性を示すモンモリナイト成分等の溶解により、透水係数が増加
- 中央部は変質しないため、全体としては、埋め戻し終了後1万年程度までは、要求される透水係数 $1.0E-11$ m/sを下回ると推測



設計(施工仕様)検討例



●ベントナイトの例:長期的な性能劣化を予め見込んだ初期性能とする。



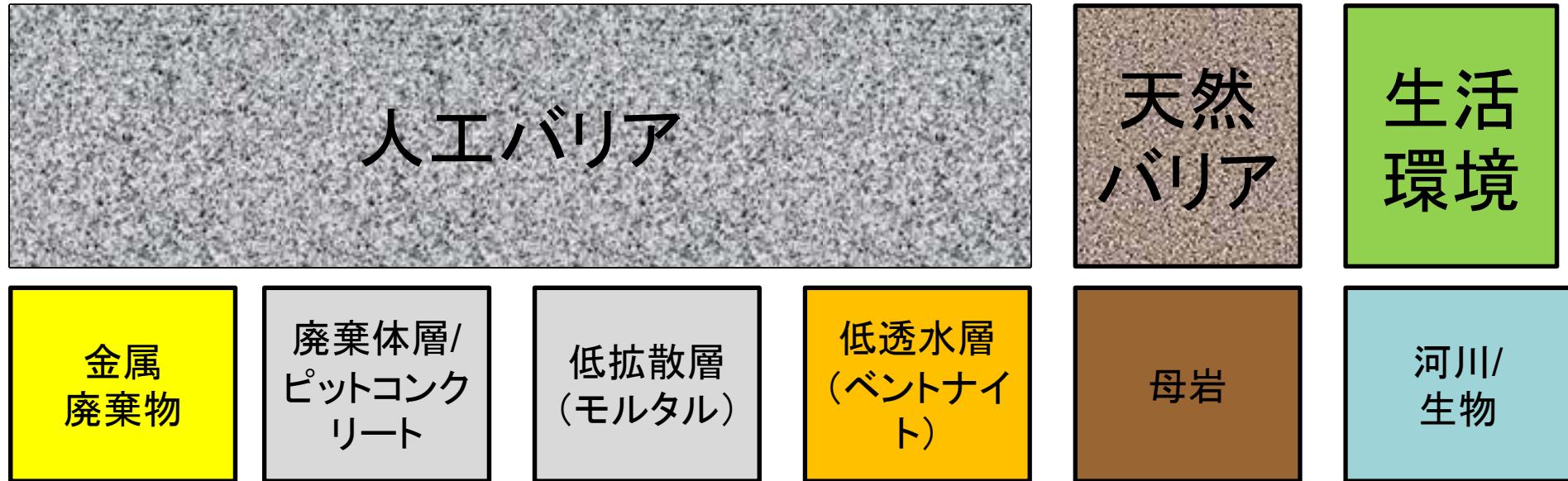
注1: 凡例の K-V1 はクニゲル V1 を示す

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。

安全評価モデル



【モデル上の領域】



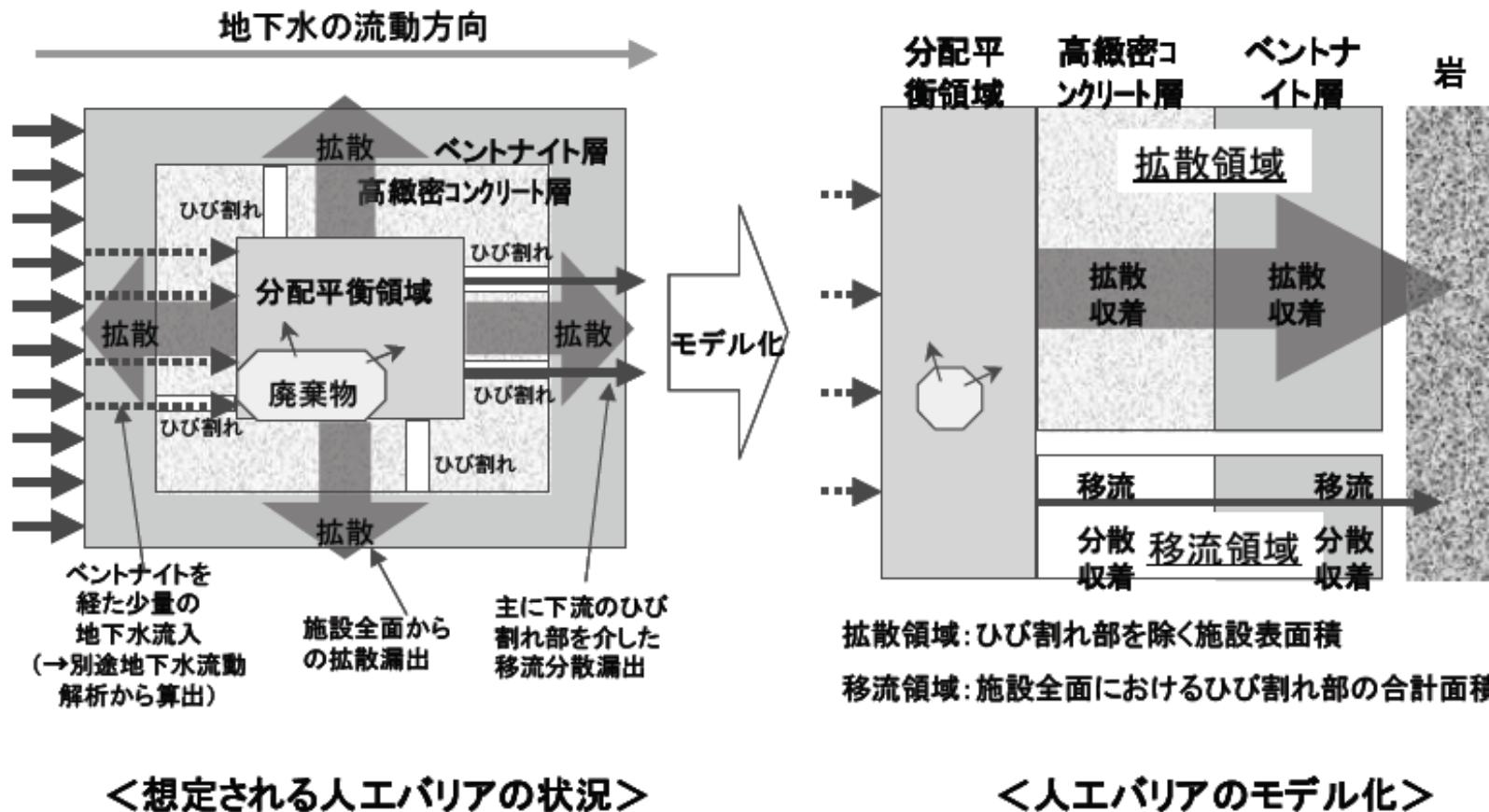
【移行モデル】

溶出	収着	拡散・移流 分散/ 収着	拡散・移流 分散/ 収着	拡散・移流 分散/ 収着	希釀/ 生物移行
----	----	--------------------	--------------------	--------------------	-------------

【設定が必要なパラメータ】

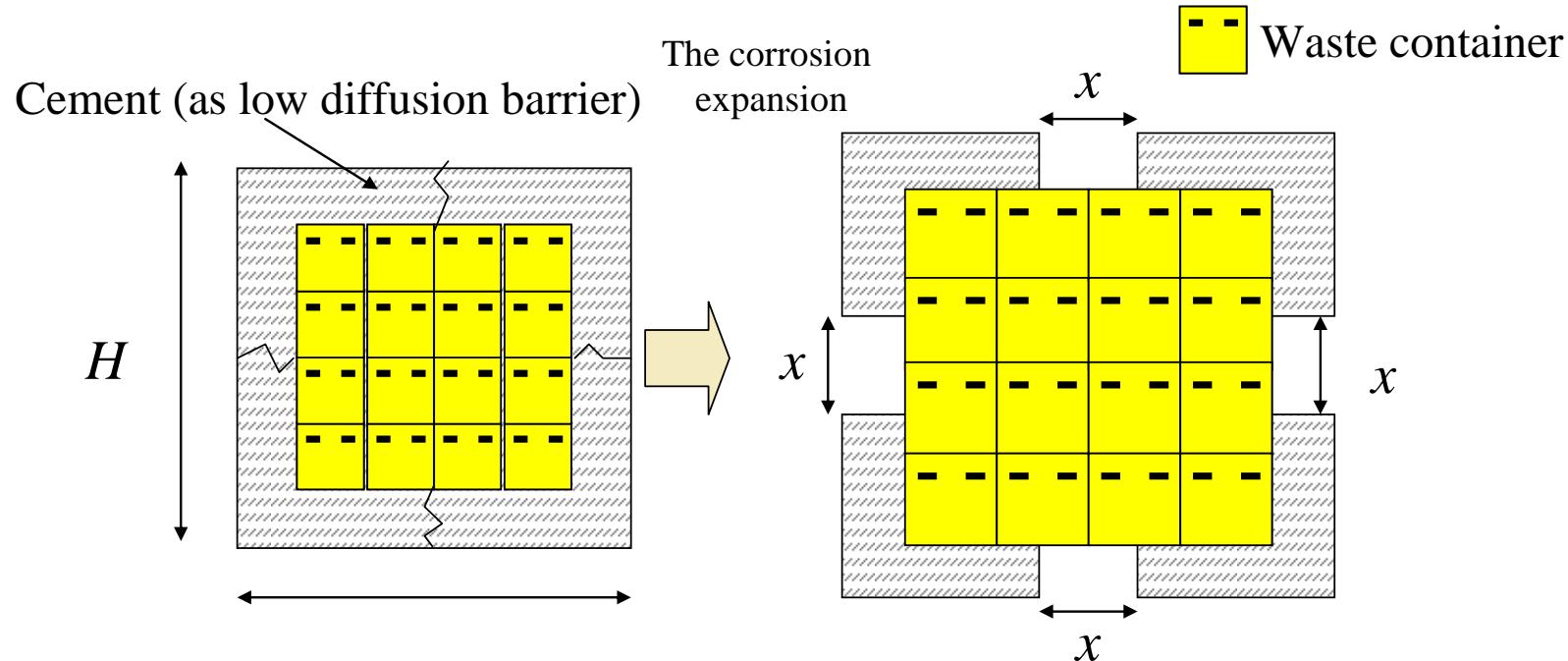
溶出率	収着分配 係数	透水係数 拡散係数 収着分配係数	希釀率 移行係数 換算係数
-----	------------	------------------------	---------------------

安全評価モデル化の例



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

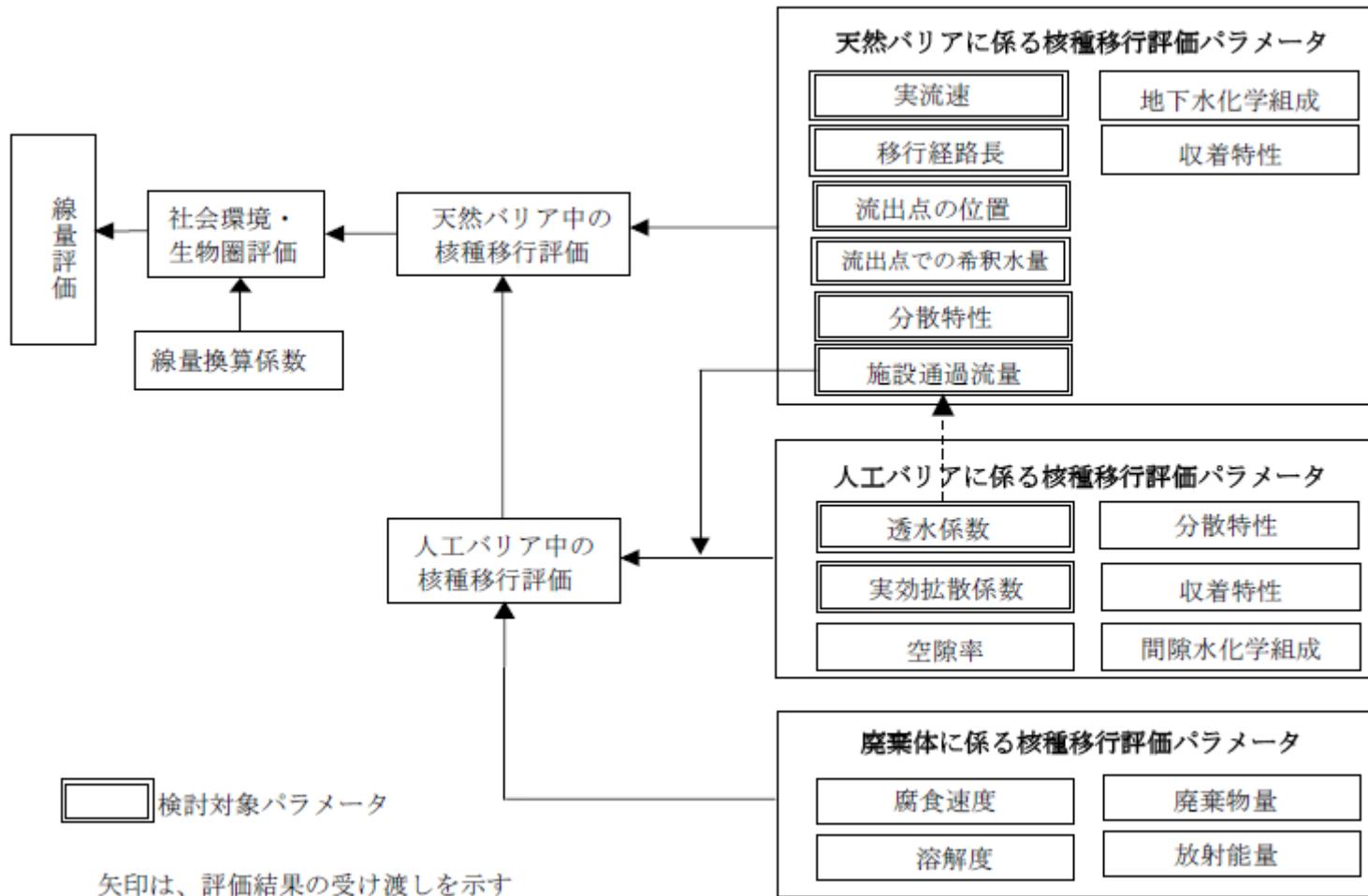
低拡散層のひび割れのモデル化例



- ・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

評価パラメータ



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」

パラメータの取得例

●有機C-14に関する天然バリアの分配係数測定方法

項目	内容
試験方法	バッチ法
・容器(容量)	・ポリプロピレン製容器(50mL)
核種	有機C-14
・初期濃度	・ 10^{-8} mol/L程度
固相	現地で採取した岩石試料(主として軽石凝灰岩を使用)
・乾燥状態	・湿潤(軽く押しつぶす程度, 粉碎)
実験水	模擬地下水 Gr. ABX
・前処理	① オートクレーブ滅菌(120°C、20分) ② $0.2\ \mu\text{m}$ メンブランろ過
液固比	10mL/g
試験温度	<u>4°C</u>
試験雰囲気	大気雰囲気
反応時間	7日
振とう方法	ハンドシェイク(1回/日)
繰り返し数	3回
固液分離方法	0.45 μm メンブランろ過を基本 (コロイドの影響を評価するため、MWCO 10,000限外ろ過も一部、実施)

下線部は有機C-14のみに適用する条件



軽石凝灰岩(粉碎後)



4°Cでの試験状況

パラメータ設定例



設定シナリオとそのシナリオ毎の長期状態設定を考慮し、線量評価用パラメータを最終決定

評価に用いる線量パラメータ(一例)

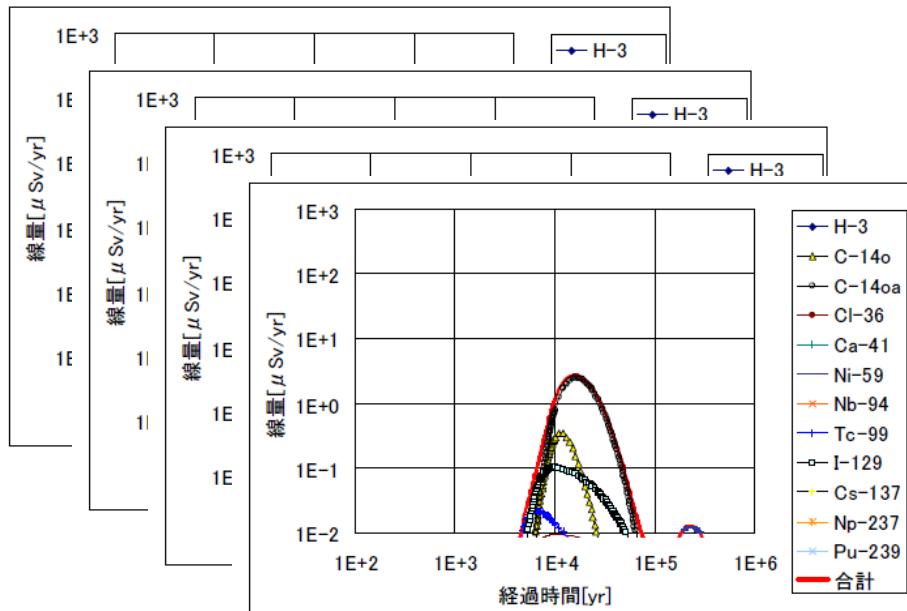
対象パリア	パラメータ	設定値	設定理由
放射化廃棄物	溶出率 (1/y)	1E-5～3E-4	廃棄物種類ごとに、還元条件における腐食速度、比表面積から設定。長期的に仮に酸化性地下水が浸入した場合でも、廃棄物周辺の還元状態(低酸素状態)は保たれると予測
分配平衡領域(セメント系材料)	透水係数 (m/s)	1.00E-05	廃棄体容器(金属)との界面に高透水部が生じる可能性が否定できないと仮定
	C-14分配係数 (ml/g)	1	放射化金属から溶出する想定化学形態のFAセメント実測分配係数から設定
高緻密コンクリート層 (0.5m)	透水係数(m/s)	1.00E-05	施工後から再冠水までの乾燥収縮や長期の腐食膨張等による貫通ひび割れを想定
	実効拡散係数(m ² /s)	健全部(99%) 1.00E-12	FAモルタルの拡散係数試験結果からの予測値
		亀裂部(1%) 2.00E-09	自由水中のHTO拡散係数を設定。亀裂割合は乾燥収縮や長期の腐食膨張等による貫通ひび割れから想定
	C-14分配係数 (ml/g)	1	放射化金属から溶出する想定化学形態のFAセメント実測分配係数から設定
ペントナイト層 (1m)	透水係数 (m/s)	1.00E-11	乾燥密度1.6g/cm ³ のペントナイト系材料の劣化解析から、1万年程度の透水係数(1E-11m/s)を算出
	実効拡散係数(m ² /s)	2.00E-10	HTO拡散係数の値を代表して設定
天然パリア	地下水流速(m/y)	0.1	調査により得られた候補地点の調査データから設定
	移行距離 (m)	500	調査により得られた候補地点の地下水流況を参考に仮定
	C-14分配係数 (ml/g)	0.3	候補地点の実岩データ実測分配係数から設定
生活圏	評価水系の希釈水量(m ³ /y)	3.40E+07	既設地点の申請書より
	その他生活圏パラメータ等	—	サイト依存性のあるパラメータは六ヶ所1・2号施設申請値、その他については新知見・新勧告ベース

出典: 加藤ら「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」(2006)、原子力バックエンド研究Vo.13 No.1

評価結果の例

●評価結果:余裕深度処分施設の安全設計に対する妥当性(性能)評価

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

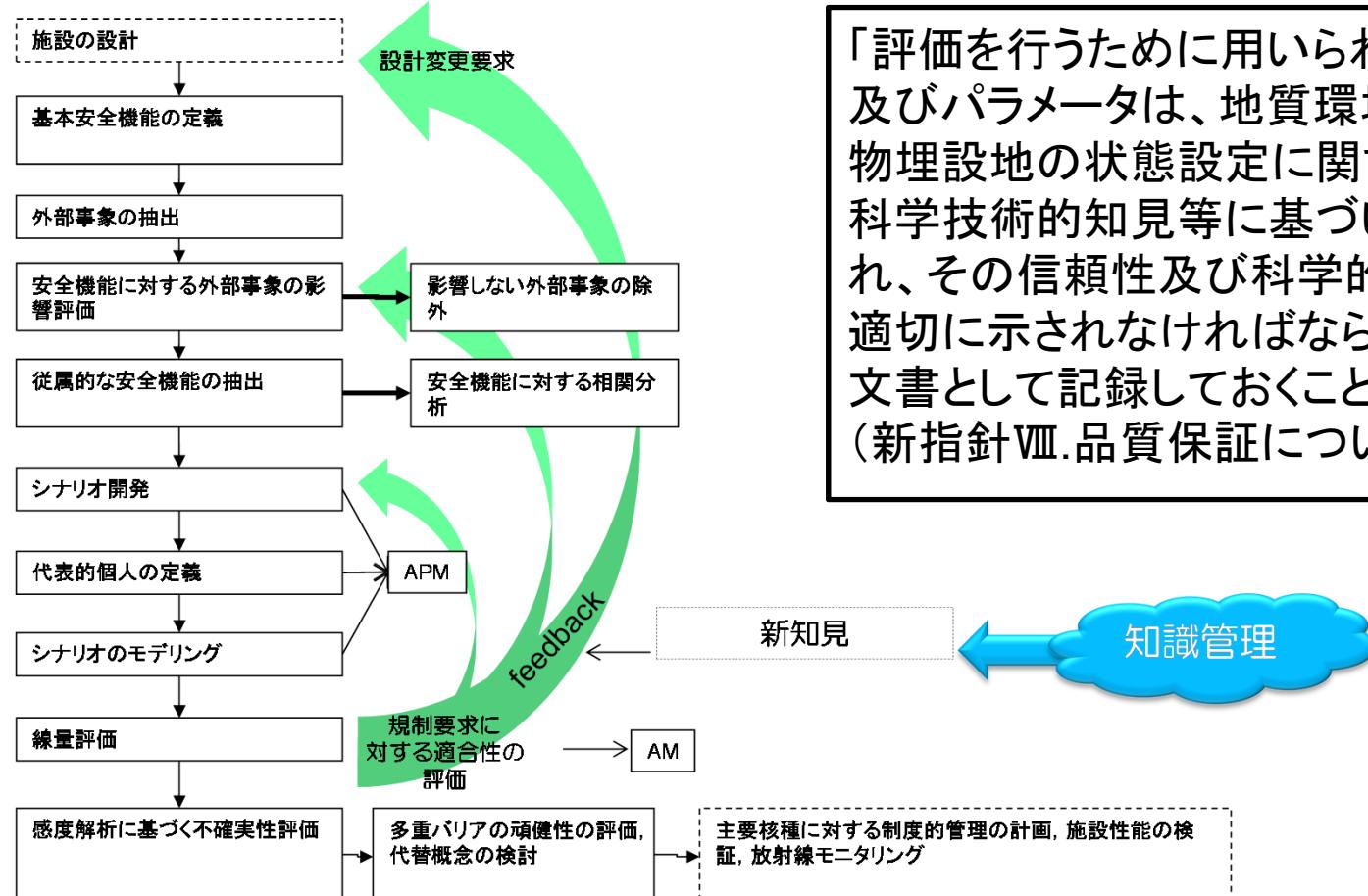
目次



-
1. 余裕深度処分の概念
 2. 管理期間終了後の安全評価の考え方
 3. 余裕深度処分の検討状況
 - (1) 地質環境調査
 - (2) 人工バリアの設計
 - (3) 安全評価(信頼性向上)

安全評価の更新

- 最新の科学的知見を収集・保管し、繰り返し安全評価を更新。

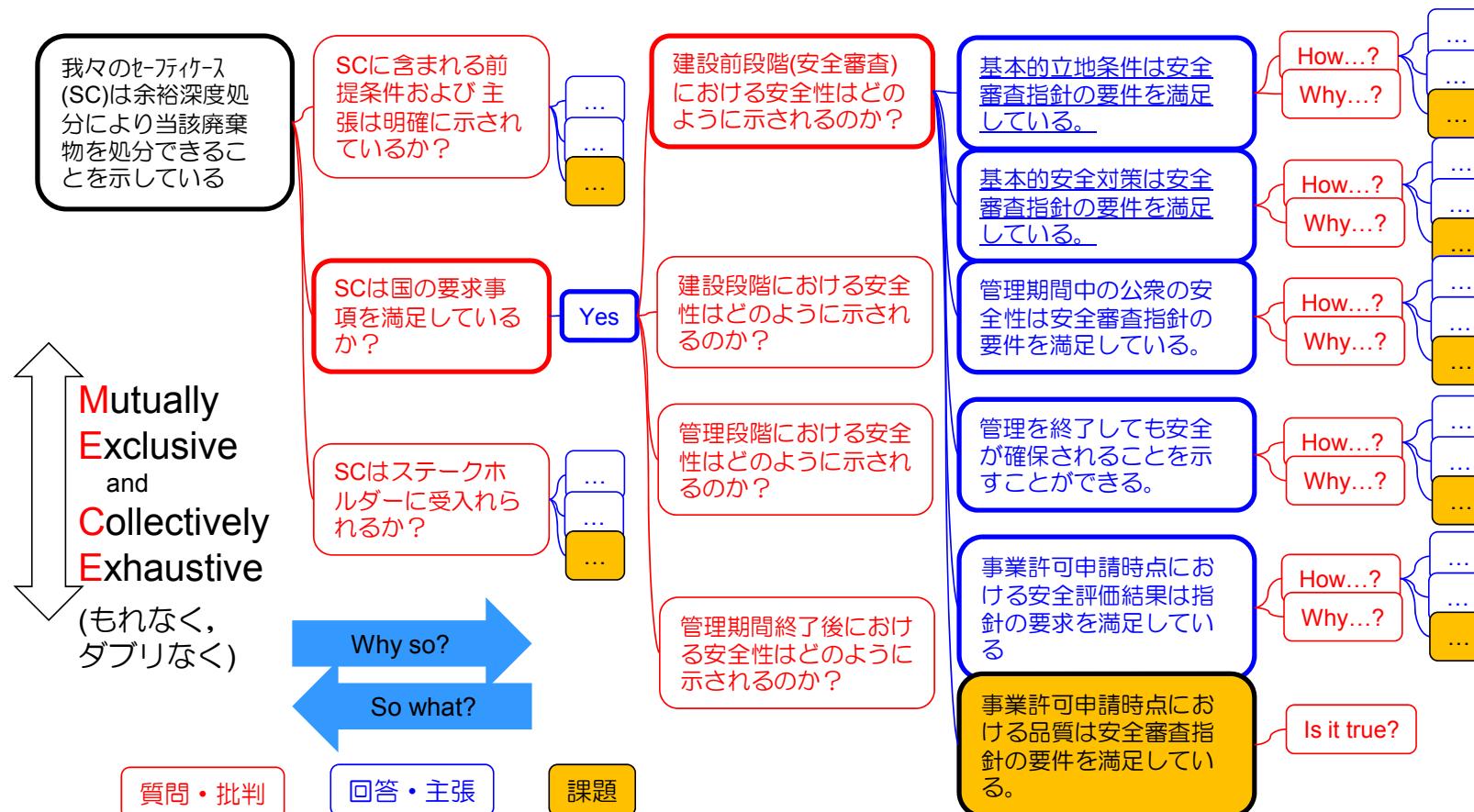


「評価を行うために用いられるモデル及びパラメータは、地質環境及び廃棄物埋設地の状態設定に関する最新の科学技術的知見等に基づいて設定され、その信頼性及び科学的合理性が適切に示されなければならない。(略)文書として記録しておくことが望ましい」(新指針Ⅷ.品質保証について)

安全評価の信頼性向上



- 安全評価結果に十分な信頼性、追跡性、可視性等を保有させるための取り組み。
(例) 討論モデル⇒処分システムが安全性を示す論拠を整理

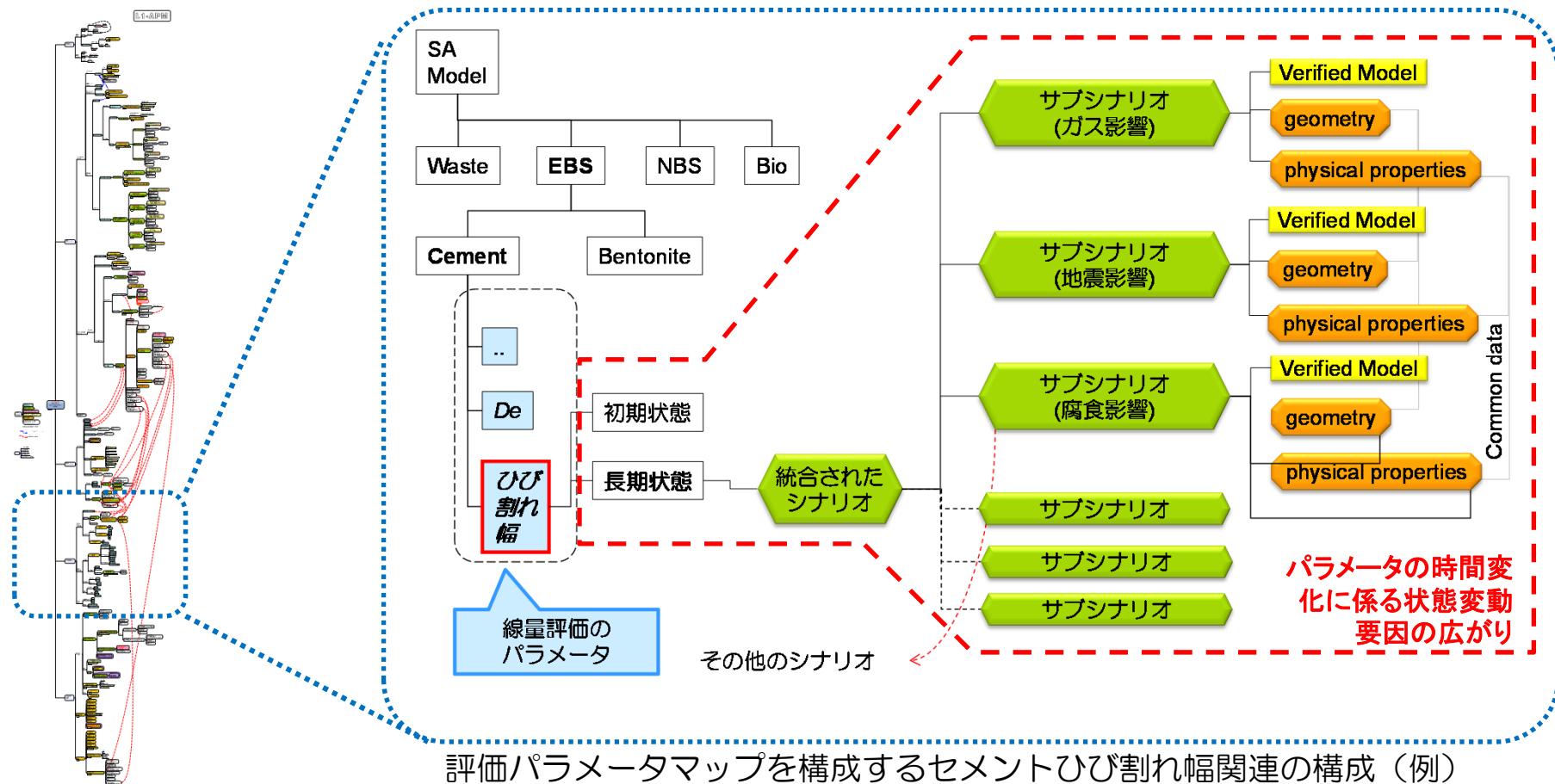


T. Shimizu, IAEA/PURAM INTERNATIONAL WORKSHOP On R&D Studies in Support of Enhancing Confidence in the Safety Case for LILW Repositories, 28-30 May 2013, Budapest, Hungary

評価パラメータマップの例



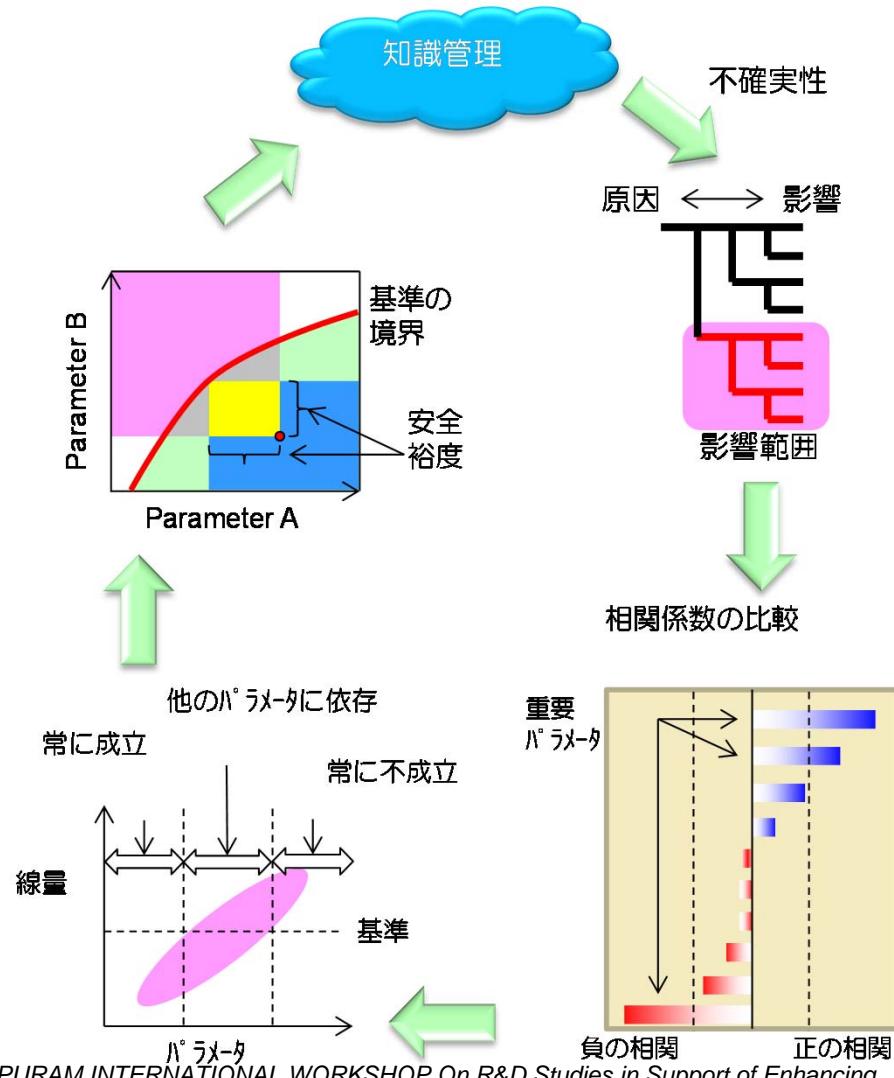
- ツリー状に線量評価に用いる全パラメータをリストアップ
- パラメータ同士の相関関係や、評価上重要なパラメータを把握。



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 (適切なり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

総括



- 余裕深度処分の概念、過去の主な安全規制について概説した。
- 地質調査、バリア設計、「原安委指針」に基づく管理期間終了後の安全評価の検討事例を紹介した。
- 安全評価の信頼性向上のため、新知見の反映と知識管理などの方策について検討していく。

御清聴ありがとうございました。



お待ちしております

