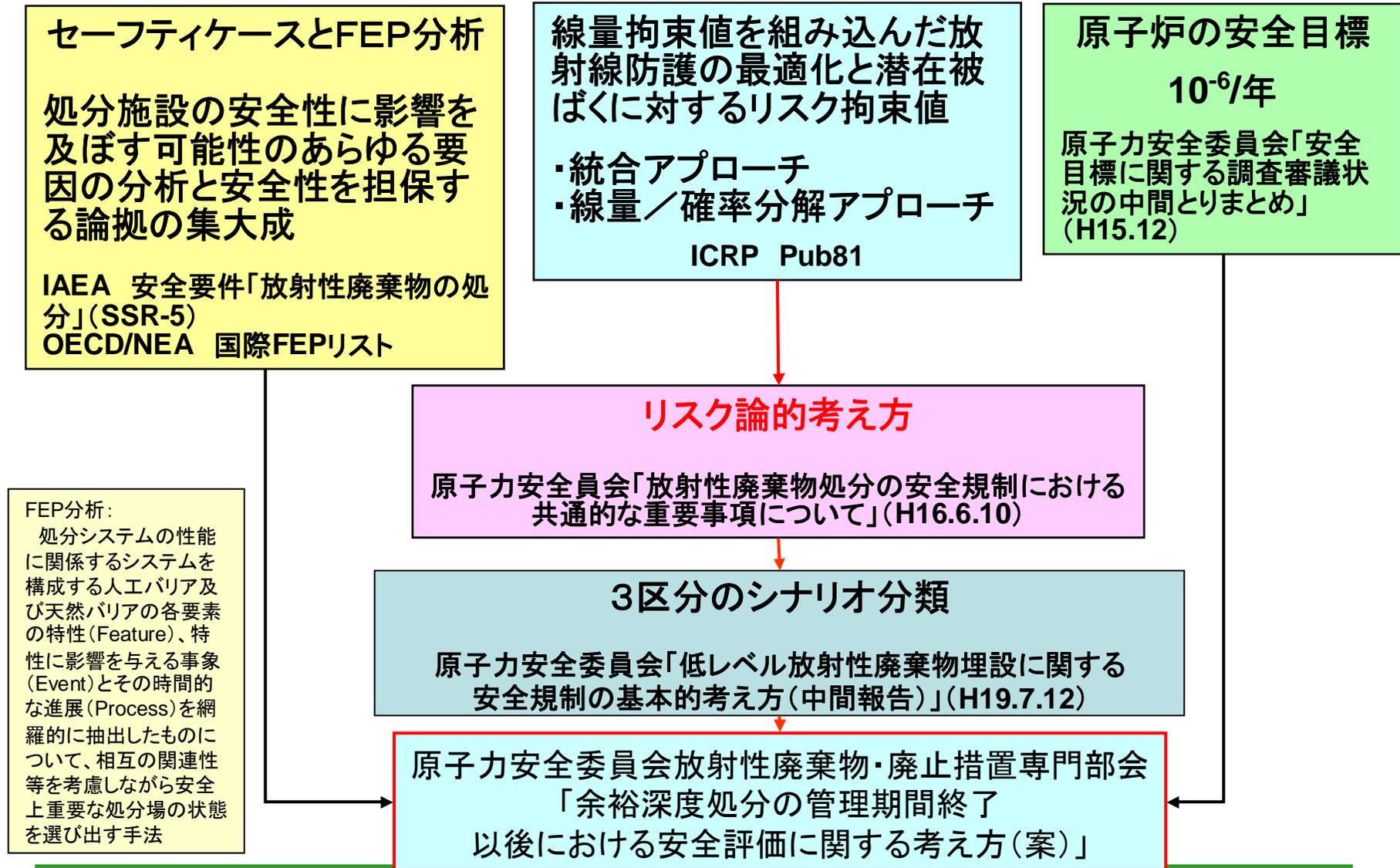


余裕深度処分・浅地中処分に関する 安全研究の展望について

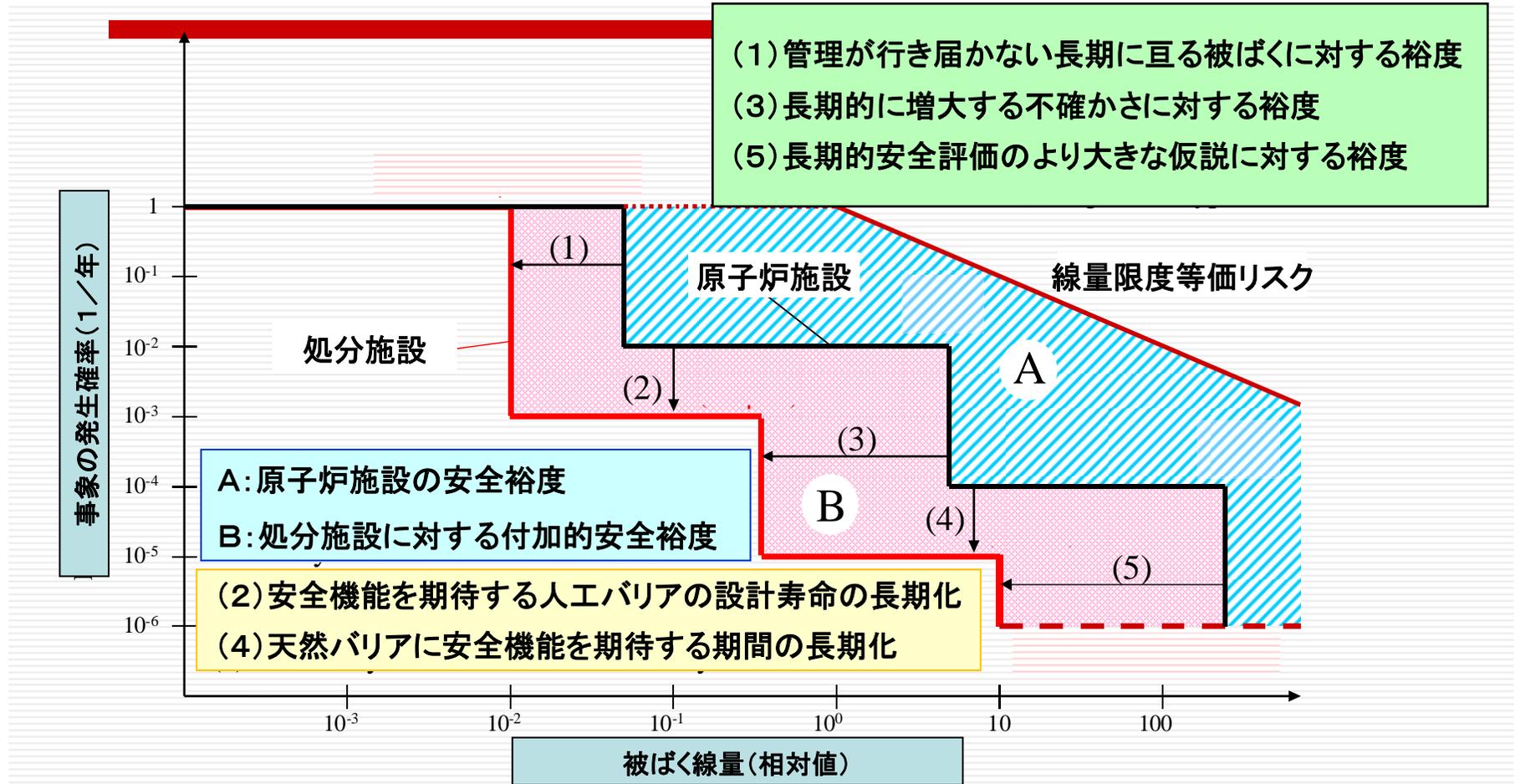
- I.** リスク論的考え方に基づく余裕深度処分・浅地中処分の安全確保の考え方の背景について
- II.** 安全評価の対象とする余裕深度処分埋設施設の概念
- III.** 余裕深度処分の管理期間終了以後における安全評価に関する考え方(案)の概要
- IV.** 余裕深度処分の規制支援研究の進め方
- V.** 余裕深度処分のこれまでの主な安全研究と重点研究課題について
- VI.** 今後の規制支援研究の展望について

平成22年2月23日
原子力安全基盤機構
川上 博人

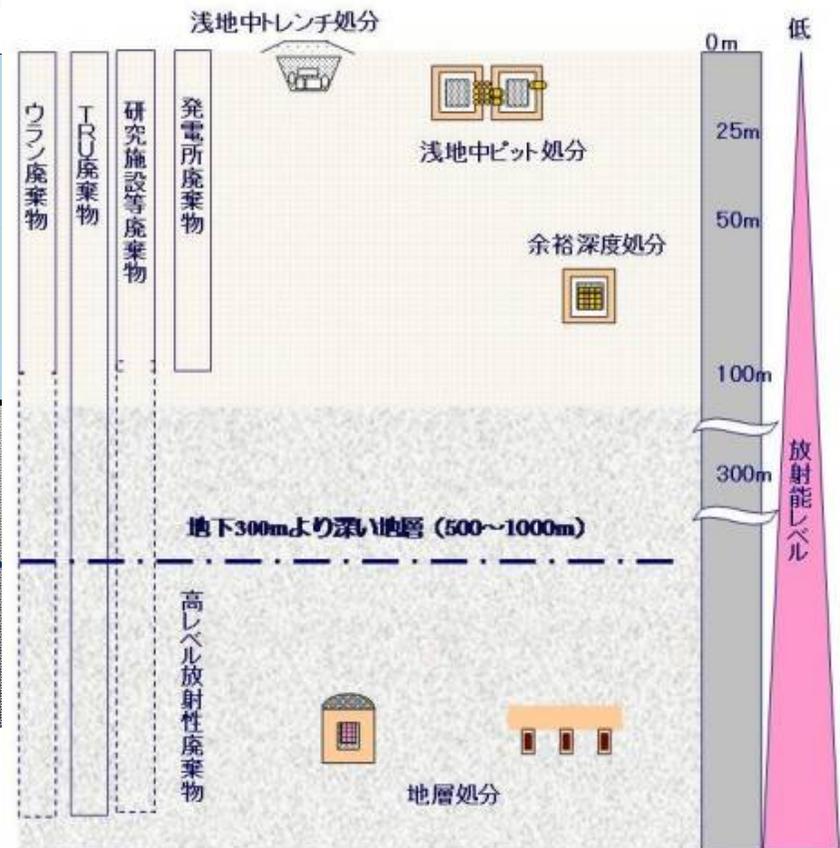
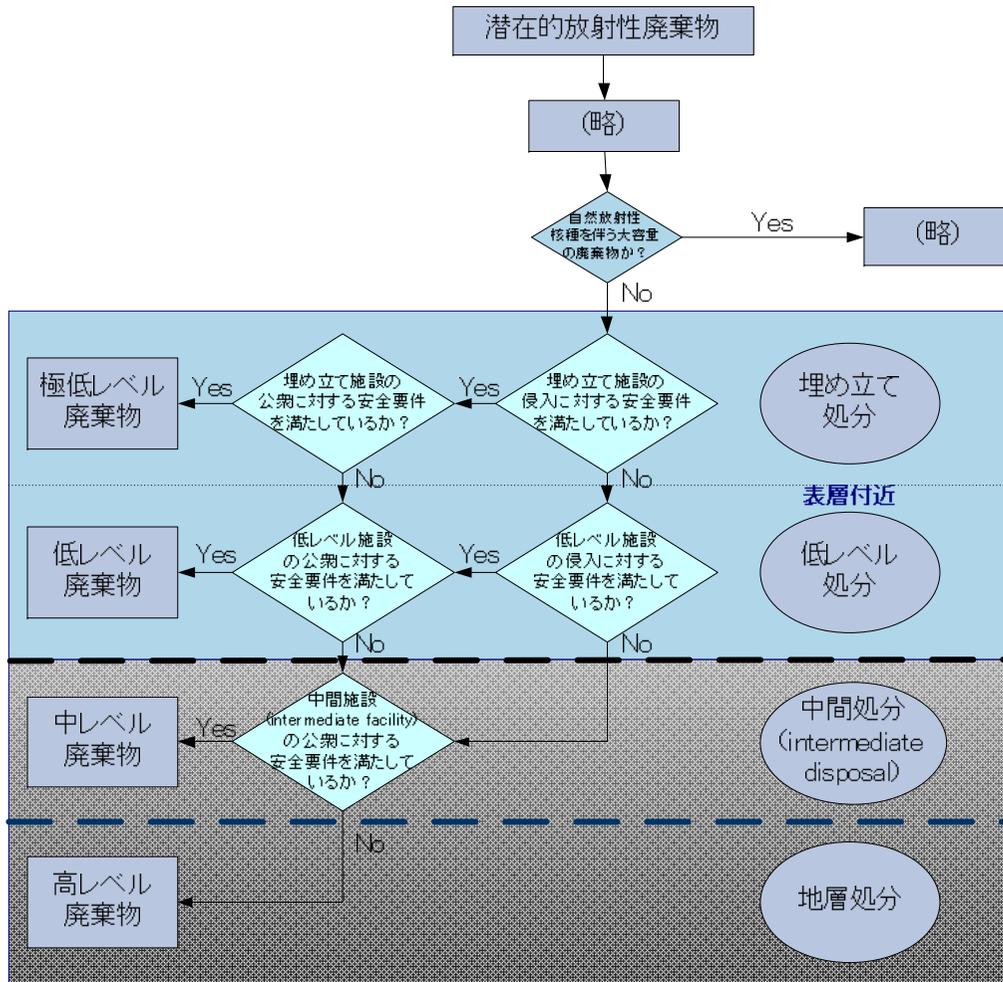
リスク論的考え方に基づく余裕深度処分・浅地中処分の安全確保の考え方の背景について



放射性廃棄物処分に固有のリスクと原子炉との差異



適切な埋設深度と人間侵入のリスク低減

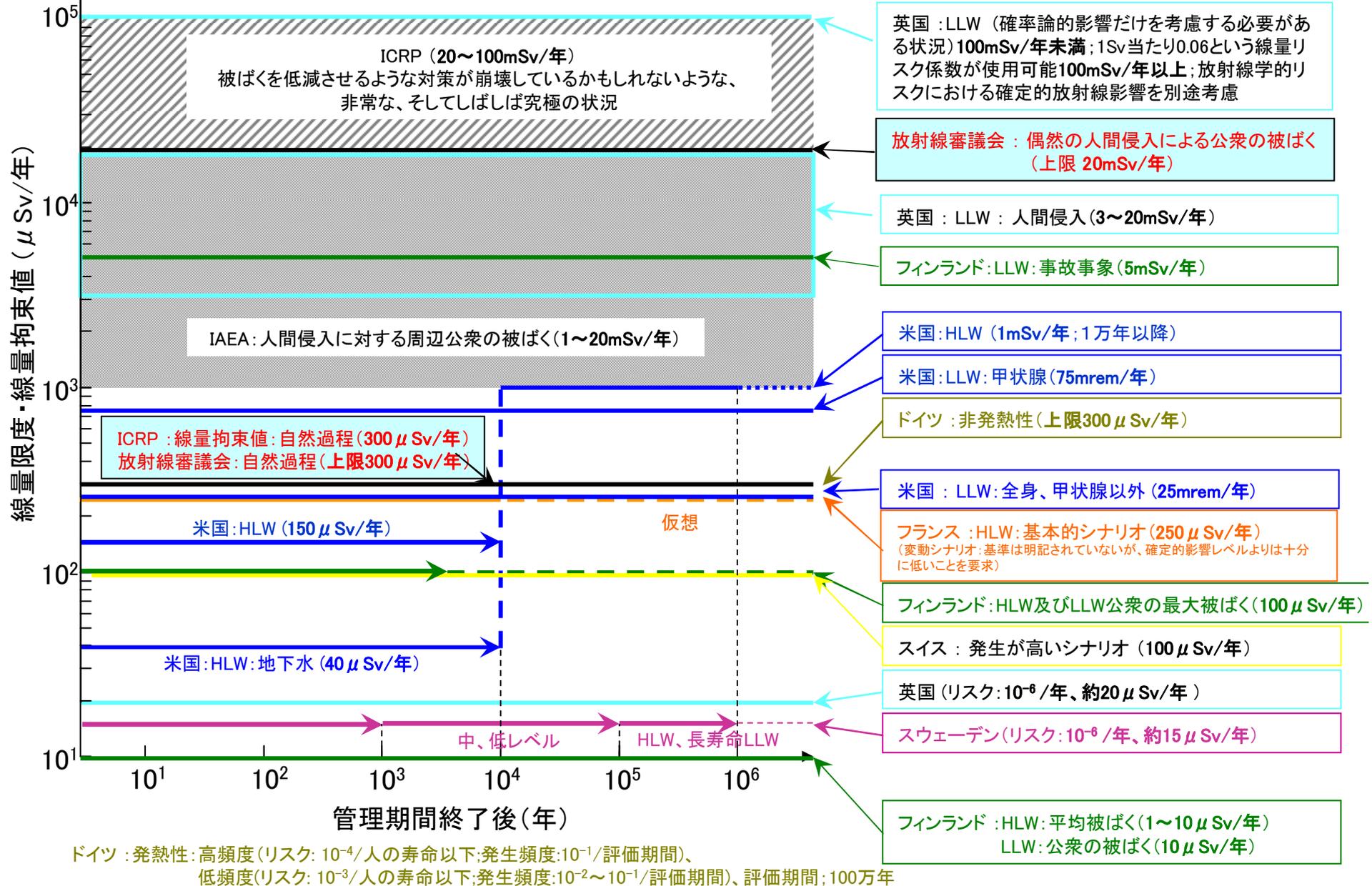


放射性廃棄物の潜在的危険性に応じて、人間侵入の可能性を低減するためにより深い深度に埋設

IAEA 安全指針「放射線廃棄物の分類」(GSG-1)

原子力安全・保安院ホームページ
<http://www.nisa.meti.go.jp/>

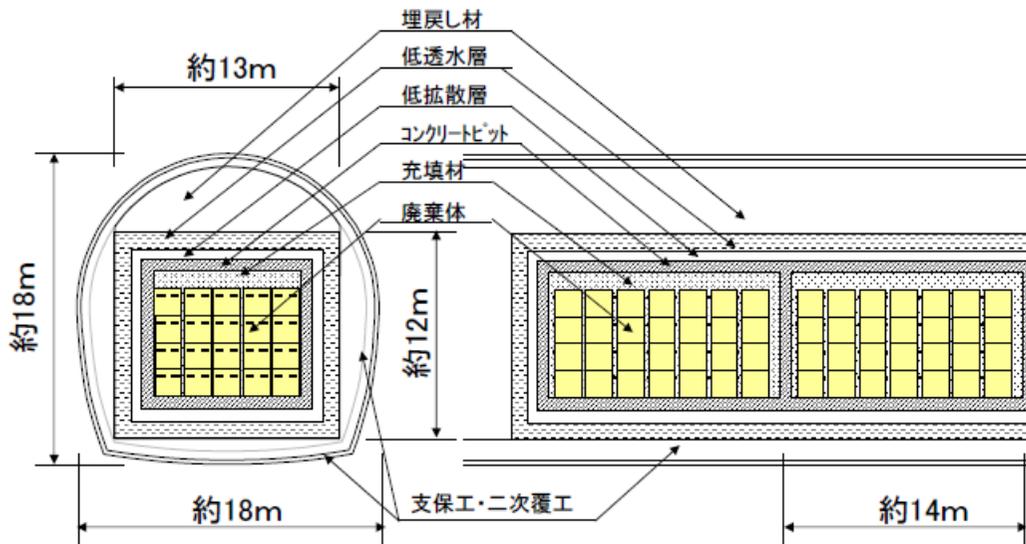
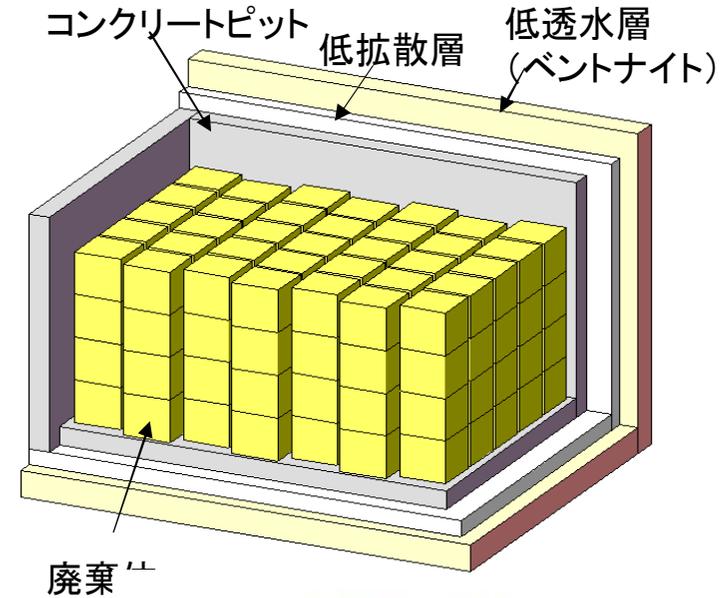
国際的に用いられている線量基準の比較



II. 安全評価の対象とする余裕深度処分埋設施設の概念

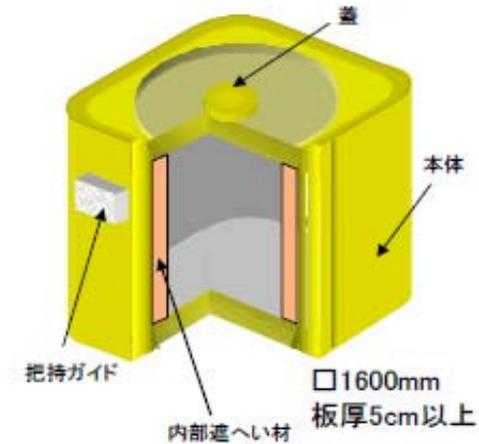


廃棄物埋設施設の地下部分の概略図



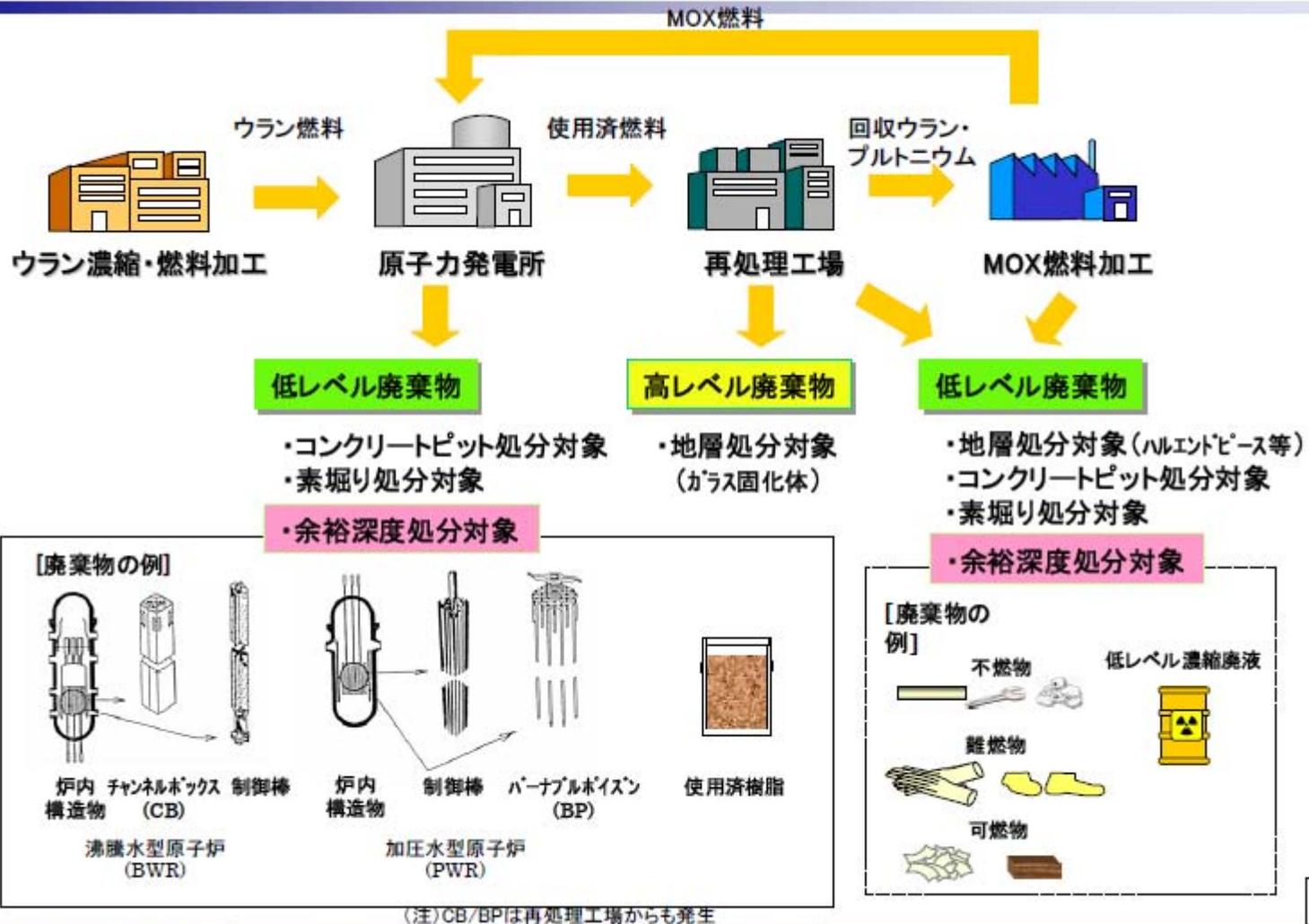
断面図

縦面図

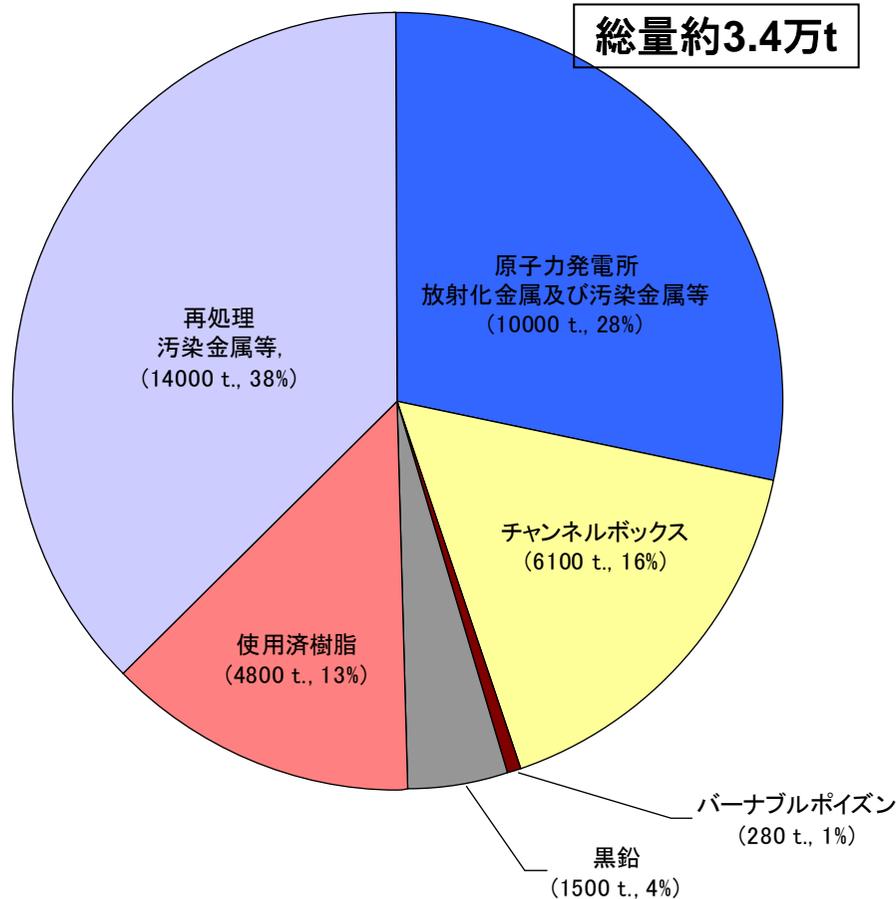


廃棄体

余裕深度処分対象廃棄物



余裕深度処分対象廃棄物の物量 とその特徴

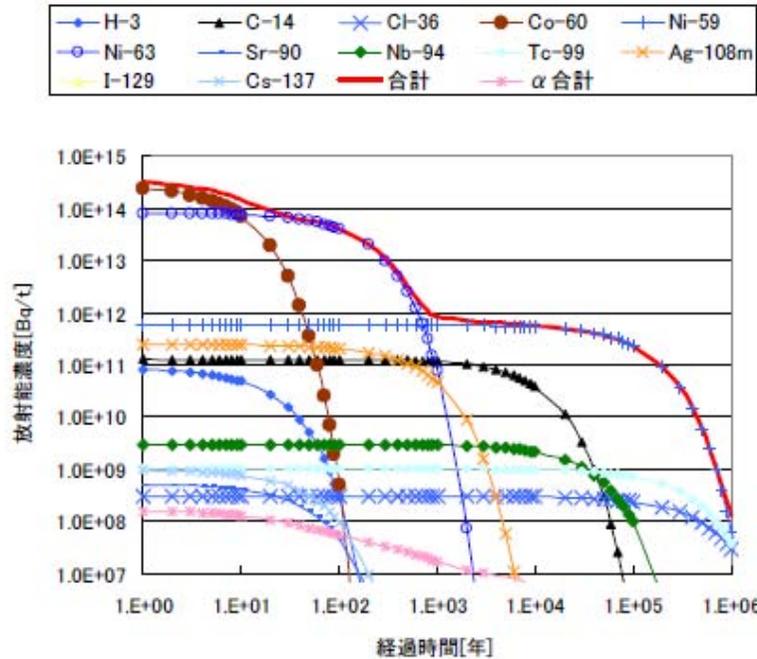


対象廃棄物の特徴	代表例
放射化金属等が多い	<ul style="list-style-type: none"> ・チャンネルボックス (BWR) ・制御棒 (PWR制御棒、ハフニウム型制御棒) ・炉内構造物 (BWR / PWR) ・GCRの黒鉛
長半減期核種を有意な量含む	代表的核種 C-14: 5.73E+03年 Cl-36: 3.01E+05年 Ni-59: 7.6E+04年 Nb-94: 2.03E+04年
ガスの発生量が多い	<ul style="list-style-type: none"> ・金属の腐食に伴うガスの発生 ・水の放射線分解による水素ガスの発生 ・有機物の分解によるガスの発生
人工バリアに対する影響物質を含む	硝酸塩、硫酸塩
重要核種に難測定核種が多い	Co-60以外の大部分の核種

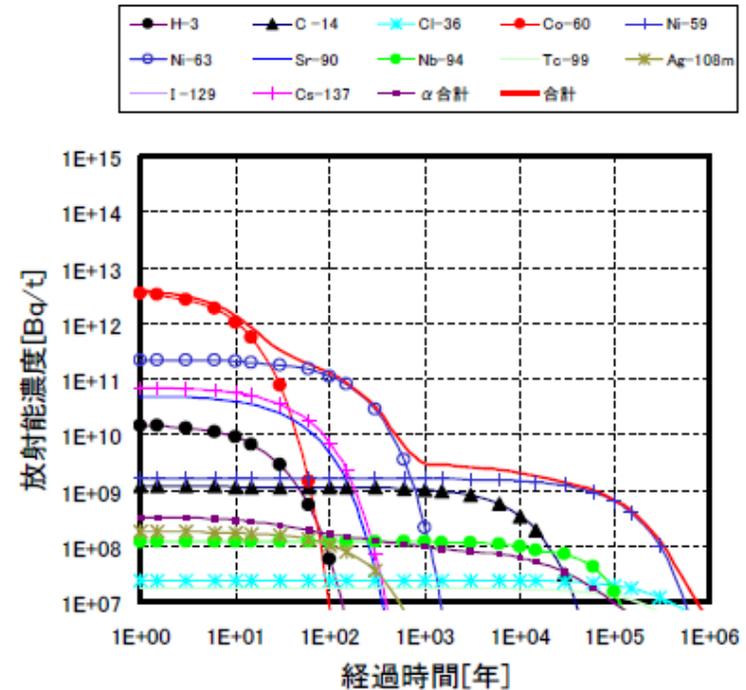
電気事業連合会: 余裕深度処分対象となる廃棄物の物量及び放射能濃度について、原子力安全委員会第二種廃棄物埋設分科会 二分第11-1号を基に作成

余裕深度処分廃棄物の放射能濃度の経時変化

発電所運転廃棄物(放射化金属)



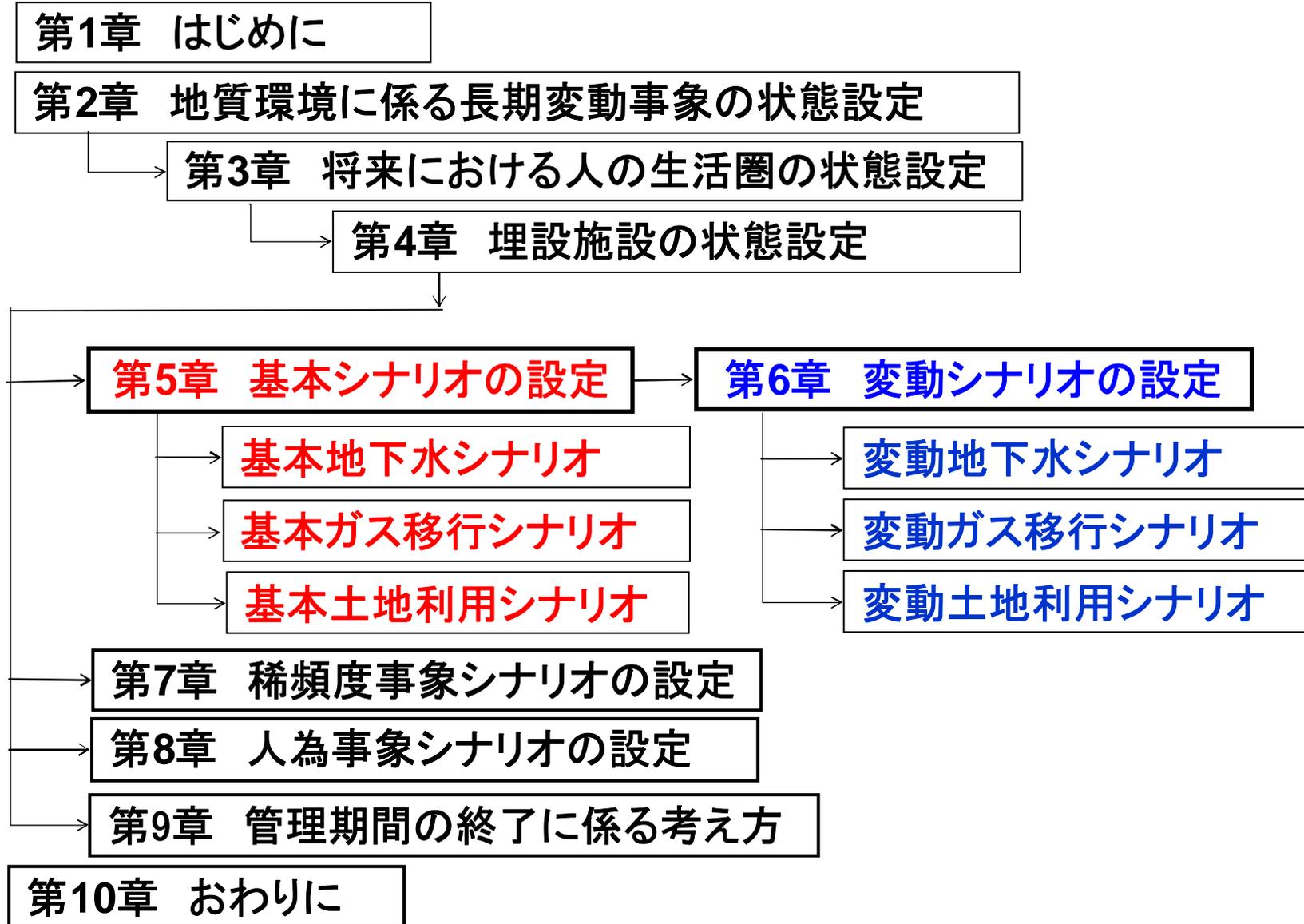
JNFL廃棄物



余裕深度処分廃棄物は、長半減期核種を有意な量含むので、埋設施設の安全性を確認するためには長期に亘る安全評価が必要

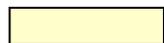
特に、隆起・侵食、海水準変動が長期的に生じる蓋然性が高い地域においては、これも加味した安全評価が重要。

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(案)－報告書の構成

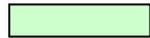


安全評価シナリオの区分と評価目的

シナリオ区分	評価の目的	めやす(第9章)
基本シナリオ (第5章)	<p>発生の可能性が高く、通常考えられるシナリオ</p> <p>過去及び現在の状況から、処分システム及び被ばく経路の特性並びにそれらにおいて将来起こることが確からしいと予見される一連の変化を考慮したものである。</p> <p>処分システムの基本設計及びその方針について、その影響である線量が可能な限り低く抑えられるように配慮されているかどうかを評価するために用いられる。</p>	10 μ Sv/年
変動シナリオ (第6章)	<p>発生の可能性は低い、安全評価上重要な変動要因を考慮したシナリオ</p> <p>処分システムの設計が様々な不確かさに対応しうるものであるか否かを確認するために用いられる。</p> <p>地質環境等の特性の不確かさも含め、いわゆる安全評価上の不確かさに係る考慮はこの変動シナリオに含まれる。</p>	300 μ Sv/年
稀頻度事象 シナリオ (第7章)	<p>発生の可能性が著しく低い自然現象シナリオ</p> <p>発生の可能性が低いと考えられるシナリオを想定してもなお残る不確かさの存在を勘案し、それを考慮しても、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ために用いられる。</p>	10mSv/年~100mSv/年
人為事象 シナリオ (第8章)	<p>偶発的な人為事象シナリオ</p> <p>人間侵入の可能性低減の対策が行われ、被ばく線量が合理的に実現可能な範囲において十分低いものとなっていることを確認する。</p> <p>また、保守的な評価を行っても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ために用いられる。</p>	<p>周辺住民: 1mSv/年~10mSv/年</p> <p>作業者などの特定の接近者個人: 10mSv/年~100mSv/年</p>

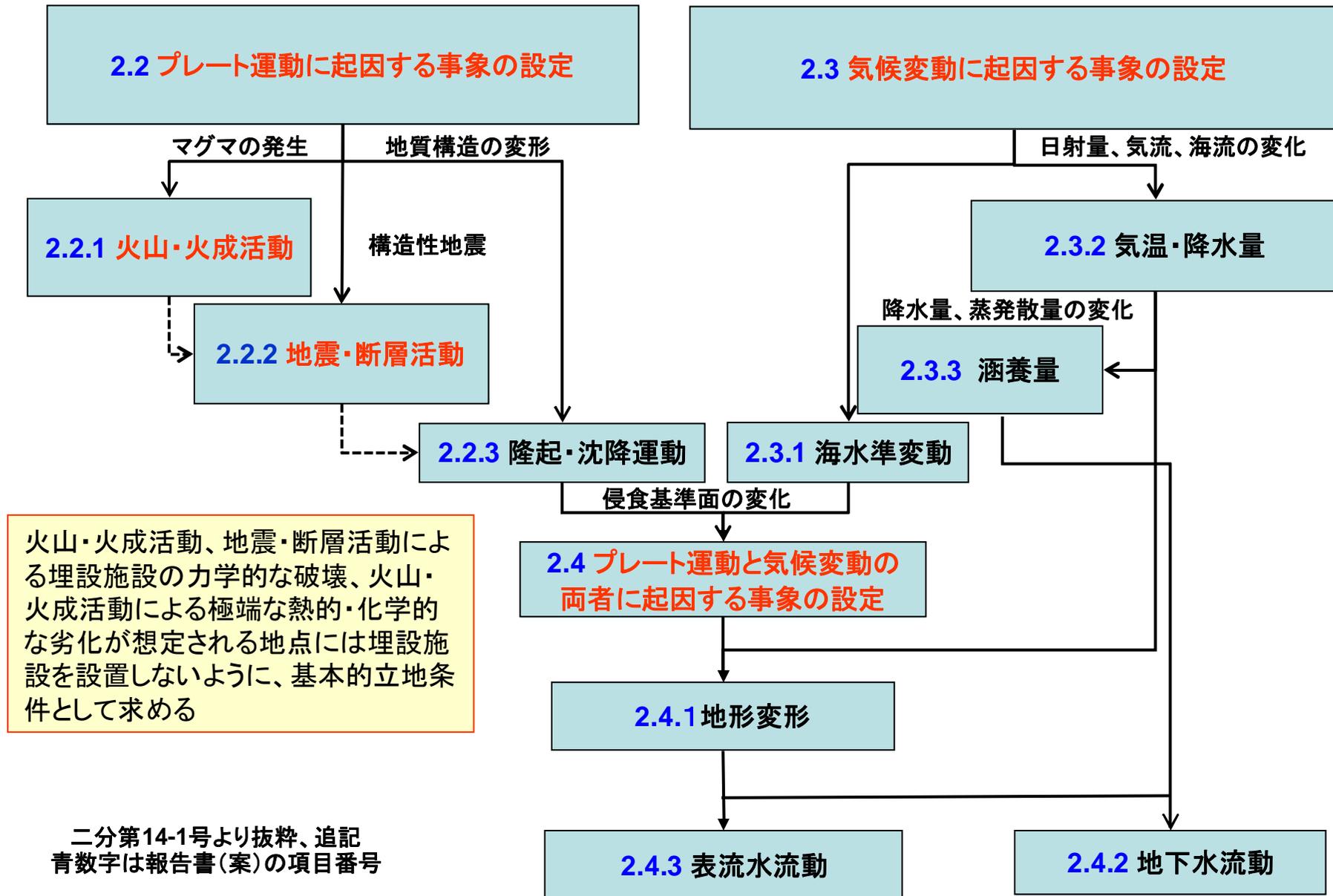


基本シナリオ、変動シナリオの区分は原子力安全委員会「低レベル放射性廃棄物埋設に関する安全規制の基本的考え方(中間報告)」(H19.7.12)と同じ



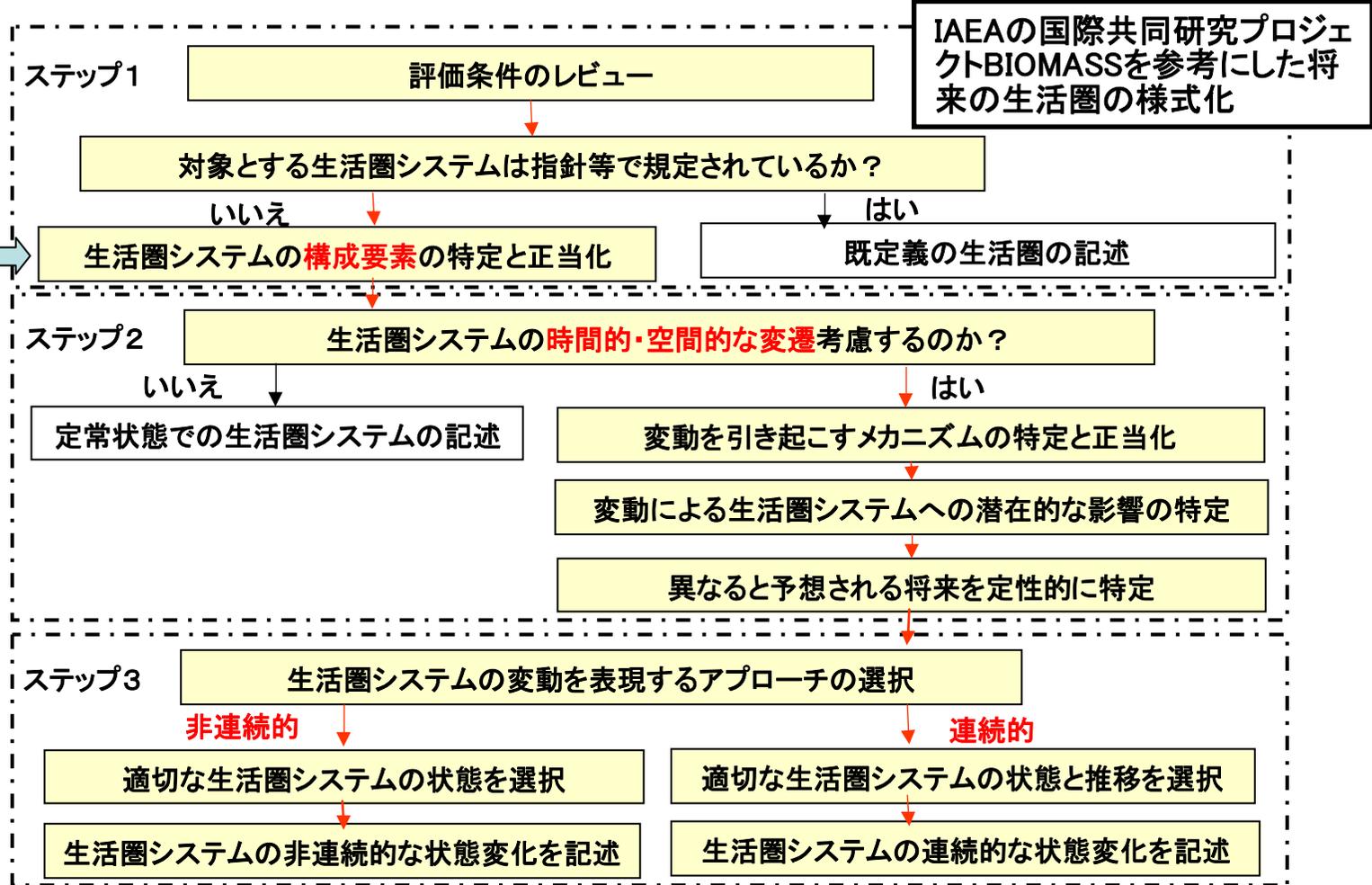
稀頻度事象と人為事象については中間報告の人為・稀頻度事象を区分して更に詳細化

第2章 地質環境に係る長期変動事象の状態設定



第3章 将来における人の生活圏の状態設定

主要構成要素
気候と大気
地理的広がり
場所
地形
人間の地域社会
地表付近の岩相層序
水系
生物

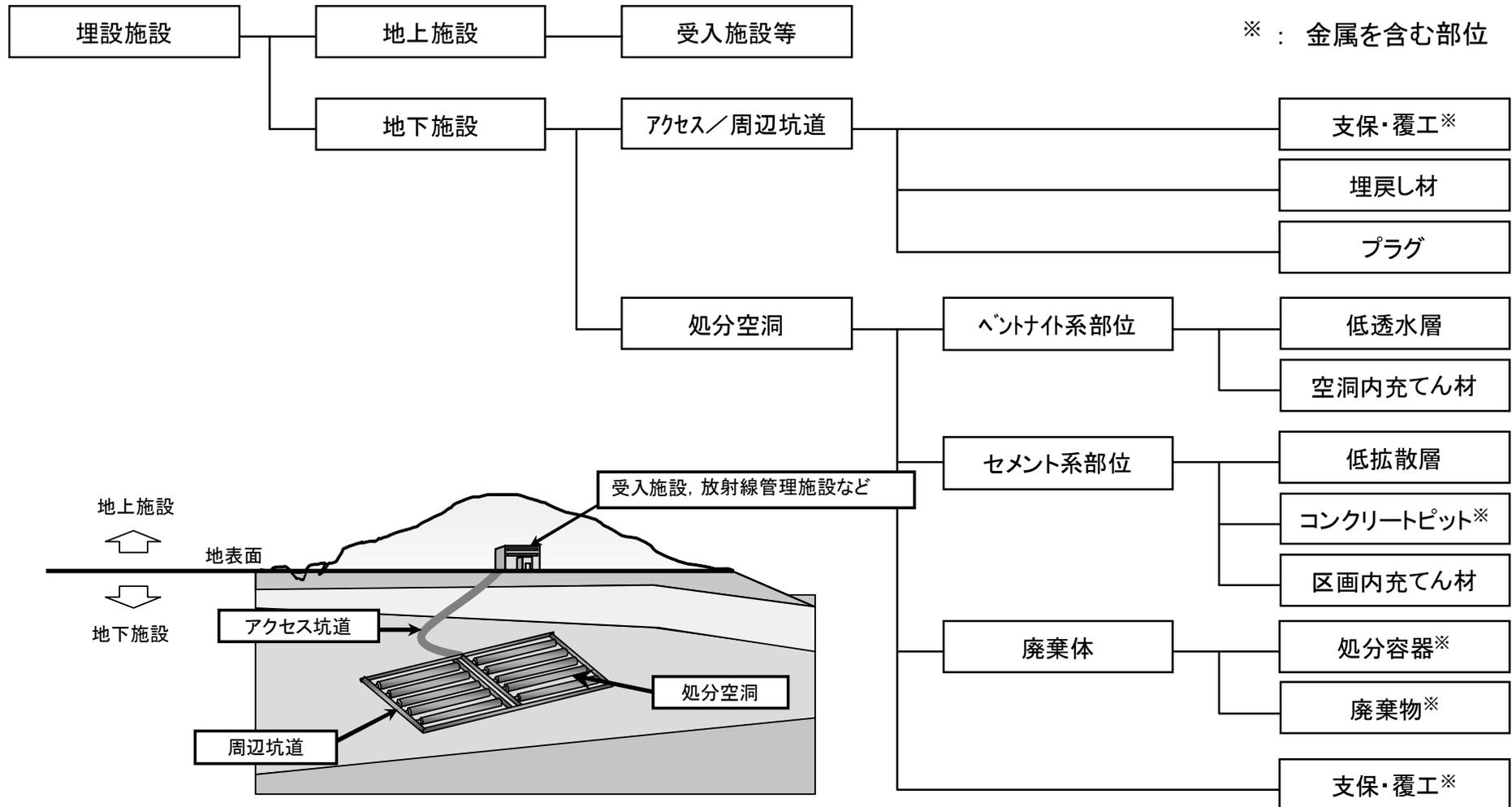


IAEAの国際共同研究プロジェクトBIOMASSを参考にした将来の生活圏の様式化

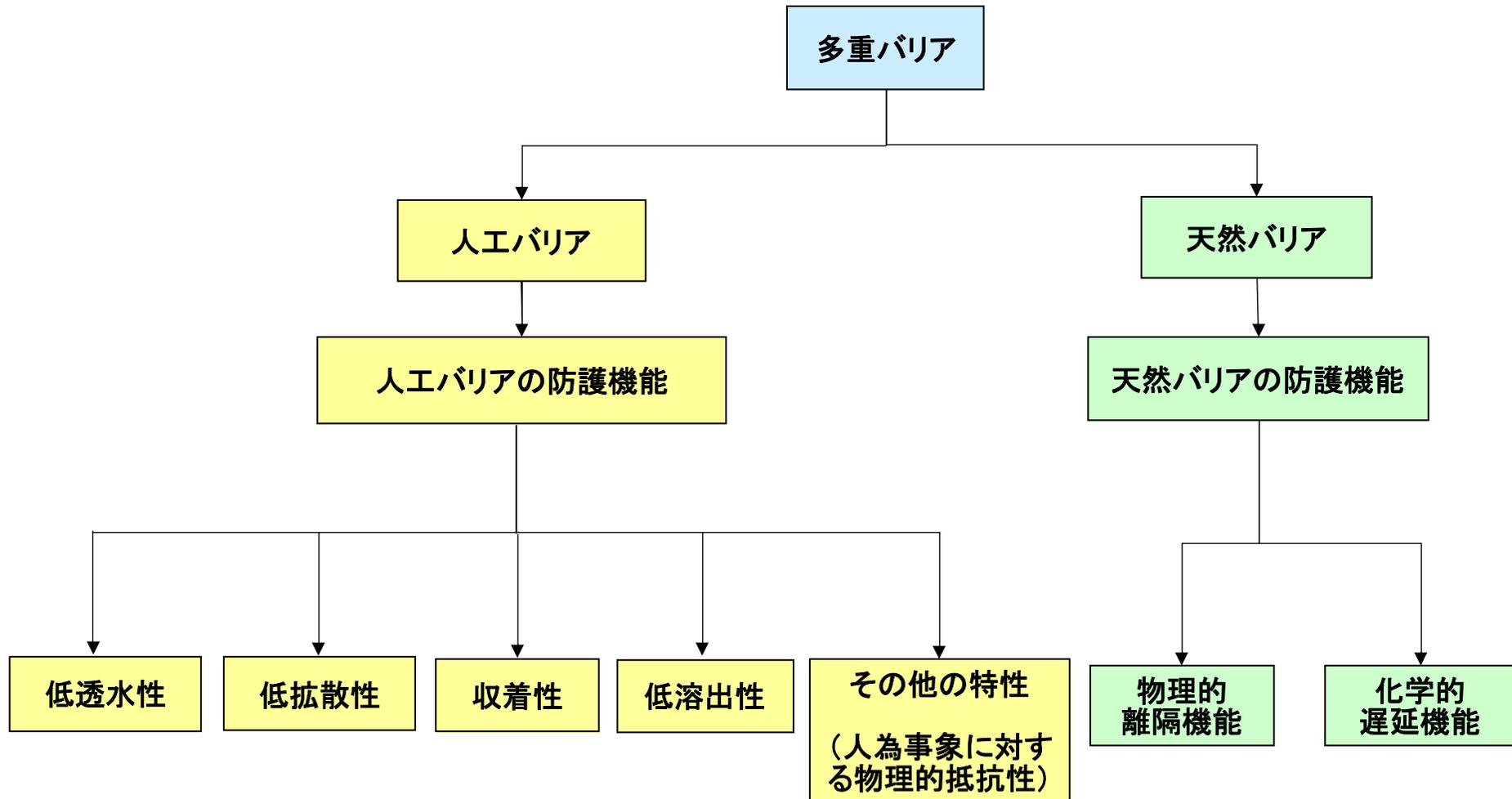
人為過程による被ばく経路の様式化
 ①周辺住民(自然過程と同じ)
 ②特定の接近者個人(個別に設定)

自然過程による被ばく経路の様式化
 ①河川水等利用被ばく経路
 (湖沼水、河川水、沢水利用)
 ②土地利用被ばく経路
 (河川周辺、河川土砂堆積地、湖沼枯渇跡地、地下施設近接時の地表等)
 -土地利用被ばく経路(居住); -土地利用被ばく経路(建設)

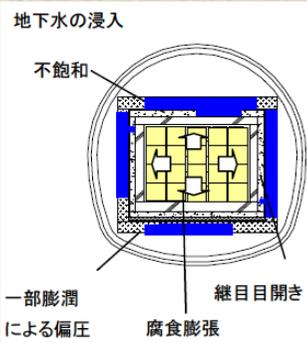
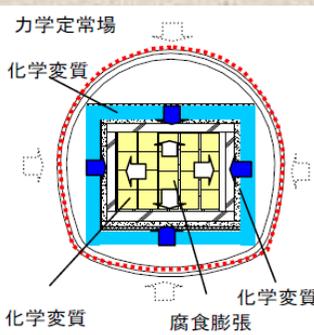
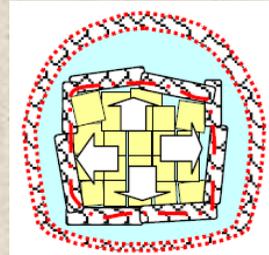
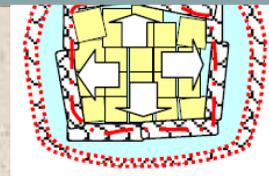
第4章 埋設施設の状態設定 埋設施設の構成と部位



余裕深度処分埋設施設の多重バリアの構成と防護機能の考え方



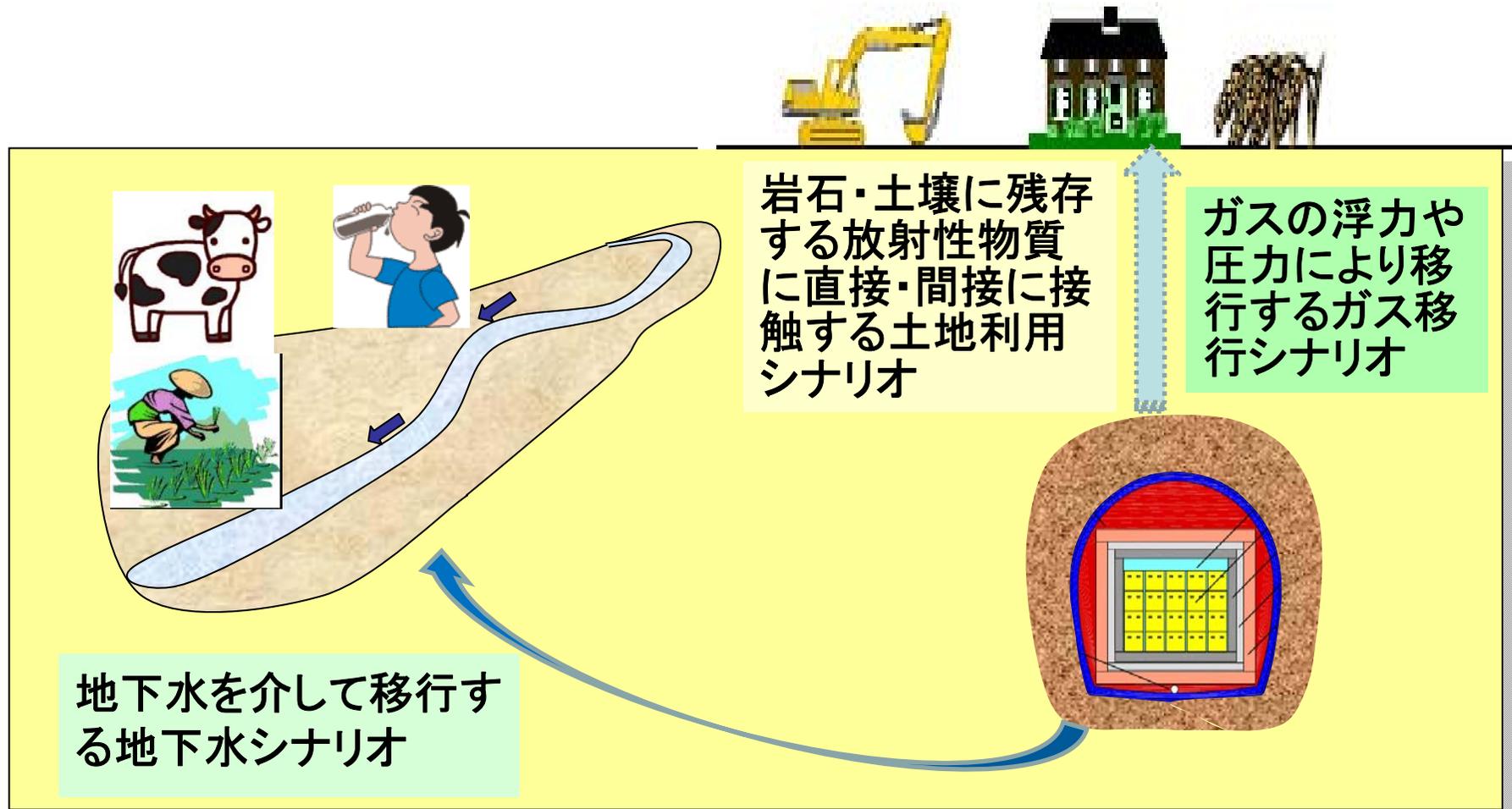
時間段階における状態設定の考え方

		閉鎖後段階			
期間	人工バリアの防護機能 / 特性と環境条件	<p>過渡的な期間</p> <p>埋設施設及び周辺の地質環境の状態変化が安定的な状態に移行する期間</p>	<p>多重バリア機能に期待する期間</p> <p>長期的に安定な地質環境のもと、埋設施設の状態変化が緩慢に変遷していく期間</p>	<p>主に天然バリア機能に期待する期間</p> <p>埋設施設の状態設定において、排除・低減が難しい内的・外的要因による影響が顕在化する期間</p>	<p>埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間</p> <p>隆起・侵食、海水準変動に伴い埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間</p>
状態設定の考え方	人工バリアの防護機能 ・核種移行抑制機能 ・人為事象に対する物理的抵抗性	<p>・不均一な過渡変化を勘案しても、人工バリアの損傷、性能低下が抑制されるように配慮すること</p>  <p>地下水の浸入 不飽和 一部膨潤による偏圧 継目目開き 腐食膨張</p>	<p>・科学技術的知見に基づく外挿。</p>  <p>力学定常場 化学変質 化学変質 腐食膨張</p>	 <p>・バリア材に固有の物性として期待できる特性や、天然バリアが本来的に有する機能に基づくとともに不確かさに対する保守性を考慮した状態を設定すること</p>	 <p>・地表付近の地質環境の状態設定に応じた状態を設定すること</p>
	<p>人工バリアの特性</p> <ul style="list-style-type: none"> ・低透水性 ・低拡散性 ・収着生 ・低溶出性 ・その他の特性 <p>力学特性</p> <p>環境条件の設定</p> <ul style="list-style-type: none"> ・温度（熱） ・水理 ・力学 ・化学 				

第5章 基本シナリオの設定

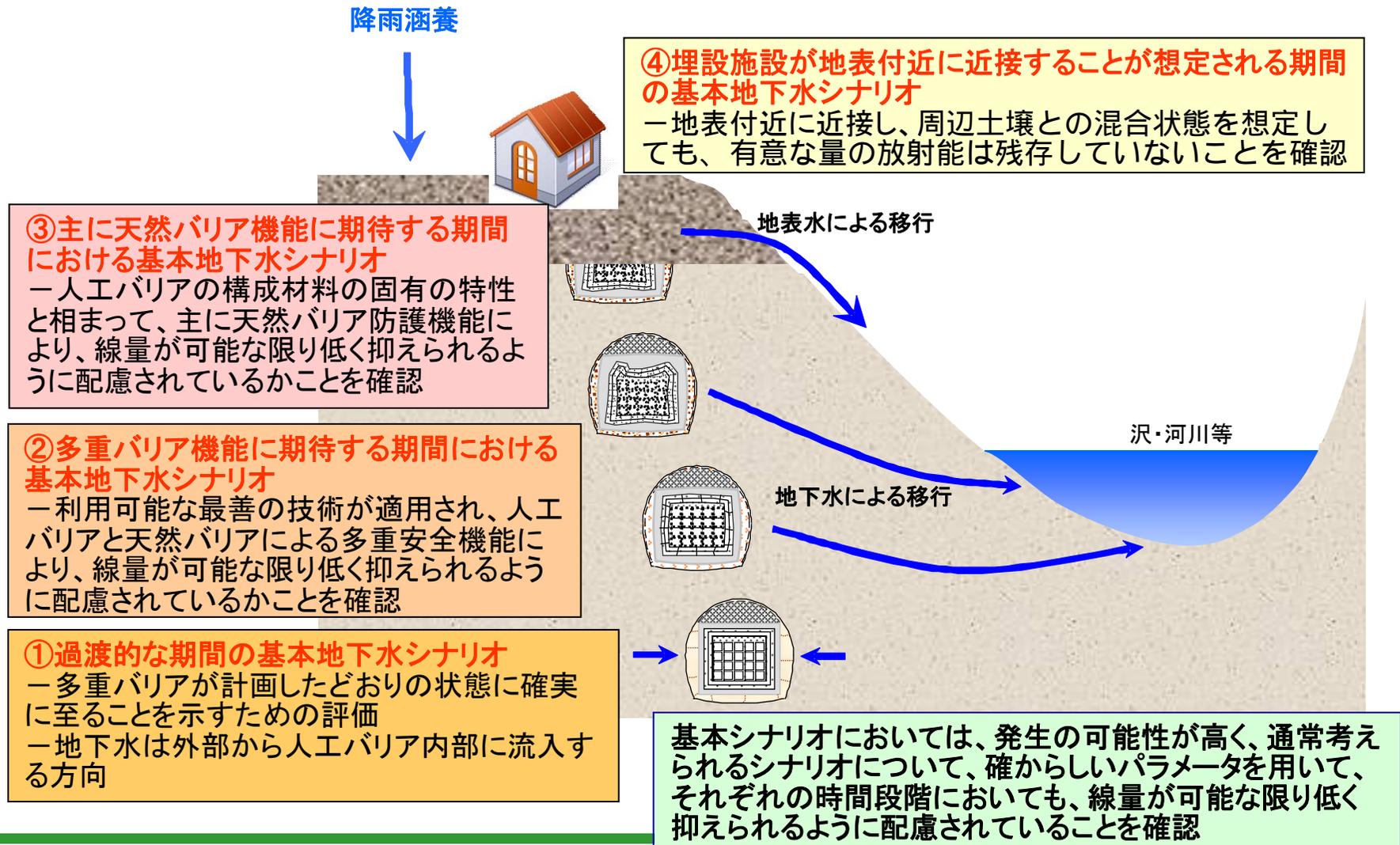
	過渡的な期間	多重バリア機能に期待する期間	主に天然バリア機能に期待する期間	埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間
基本地下水シナリオ	(多重バリアが計画したどおりの状態に確実に至ることを示すための評価)	<u>基本地下水シナリオ</u> 人工と天然バリアによる防護機能の頑健性評価	<u>基本地下水シナリオ</u> 主に天然バリア防護機能の頑健性評価	<u>基本地下水シナリオ</u> 周辺土壌との混合状態での風化・侵食の影響評価
基本ガス移行シナリオ	<u>基本ガス移行シナリオ</u> (廃棄体に閉じ込め性がない場合) 放射性ガス発生、放射線分解ガス発生と移行の影響評価 (廃棄体が閉じ込め性を有する場合) ・なし	<u>基本放射性ガス移行シナリオ</u> 放射性ガス発生、移行の影響評価 <u>基本水素ガス移行シナリオ</u> 放射線分解ガス発生、金属腐食ガス発生と移行の影響評価	<u>基本ガス移行シナリオ</u> 人工バリアの物理的損傷や化学的環境の変化に伴うガス発生量の変化を考慮した影響評価	(ラドンに関する影響を別途評価)
基本土地利用シナリオ	【現状地形の場合】 <u>基本土地利用シナリオ</u> (流出先である河川あるいは湖沼周辺に汚染された土地利用可能な領域が存在する場合) 【海水準変動にともなう地形変化を考慮した場合】 <u>基本土地利用シナリオ</u> 流出先湖沼の陸地化にともなう建設居住の影響評価 【隆起・侵食にともなう土砂堆積地の場合】 <u>基本土地利用シナリオ</u> 隆起・侵食にともなう土砂堆積地での建設居住の影響評価			【埋設施設が地表付近に近接することが想定される場合】 <u>基本土地利用シナリオ</u> 汚染された土壌における建設居住の影響評価

放射性物質の生活圏への移行経路とシナリオ分類



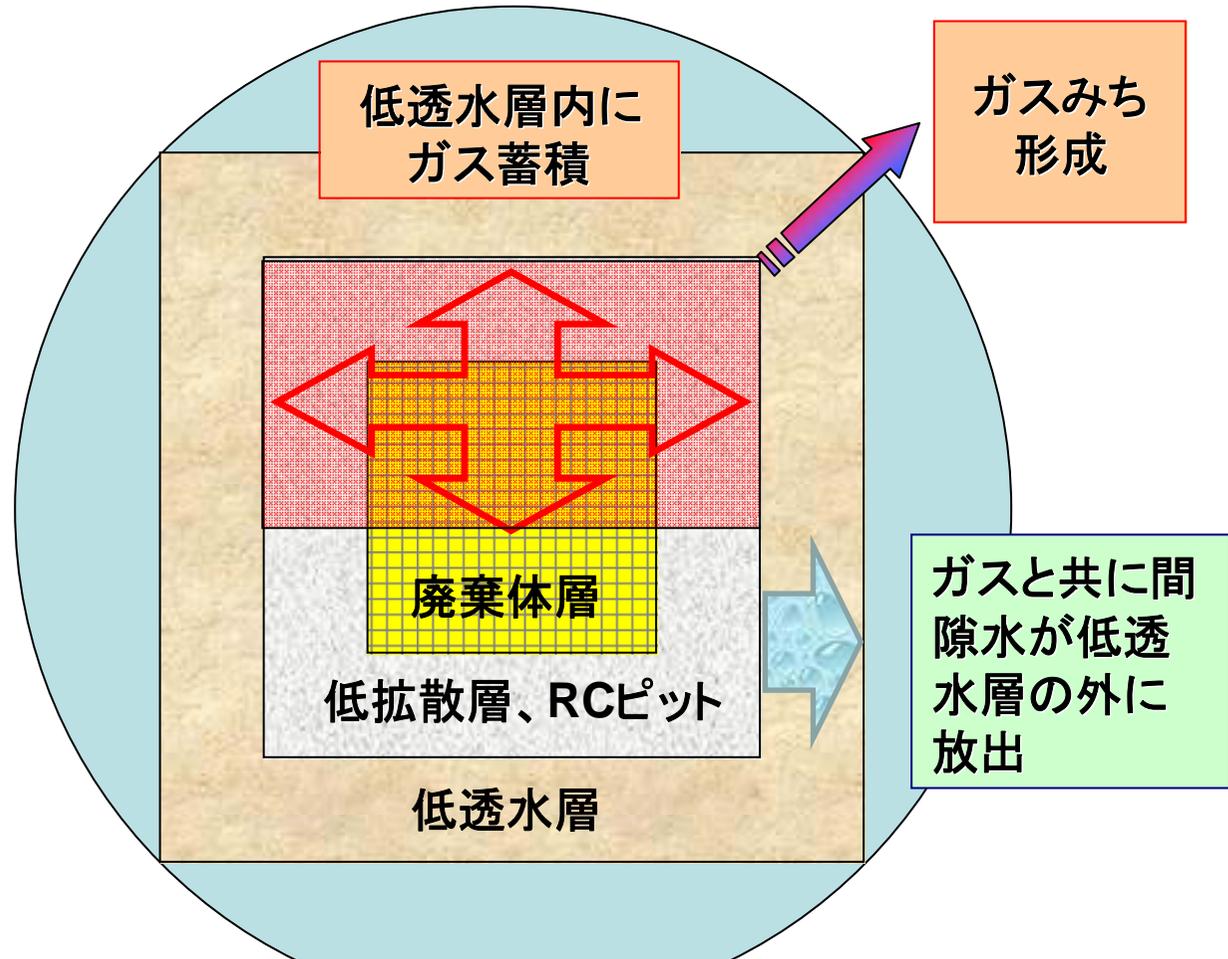
放射性物質の生活圏に至る全ての経路(液体、気体、固体)を考慮

基本地下水シナリオの時間的変遷



基本ガス移行シナリオの時間的変遷

- ①過渡的な期間：
放射性ガス発生、放射線分解ガス発生と移行の影響評価
- ②多重バリア機能に期待する期間：
i 放射性ガス発生、移行の影響評価
ii 放射線分解ガス発生、金属腐食ガス発生と移行の影響評価
- ③主に天然バリア機能に期待する期間：
人工バリアの物理的損傷や化学的環境の変化に伴うガス発生量の変化を考慮した影響評価
- ④埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間：
(ラドンに関する影響を別途評価)



余裕深度処分の廃棄体には放射性ガスは微量のトリチウムあるいはメタンガス以外は含まれないと想定されるが、多量の金属を内蔵するため、この腐食に伴う水素ガスが人工バリアの性能に及ぼす影響や地表近接状態ではウラン系列の子孫核種であるラドンの影響を評価する必要がある。

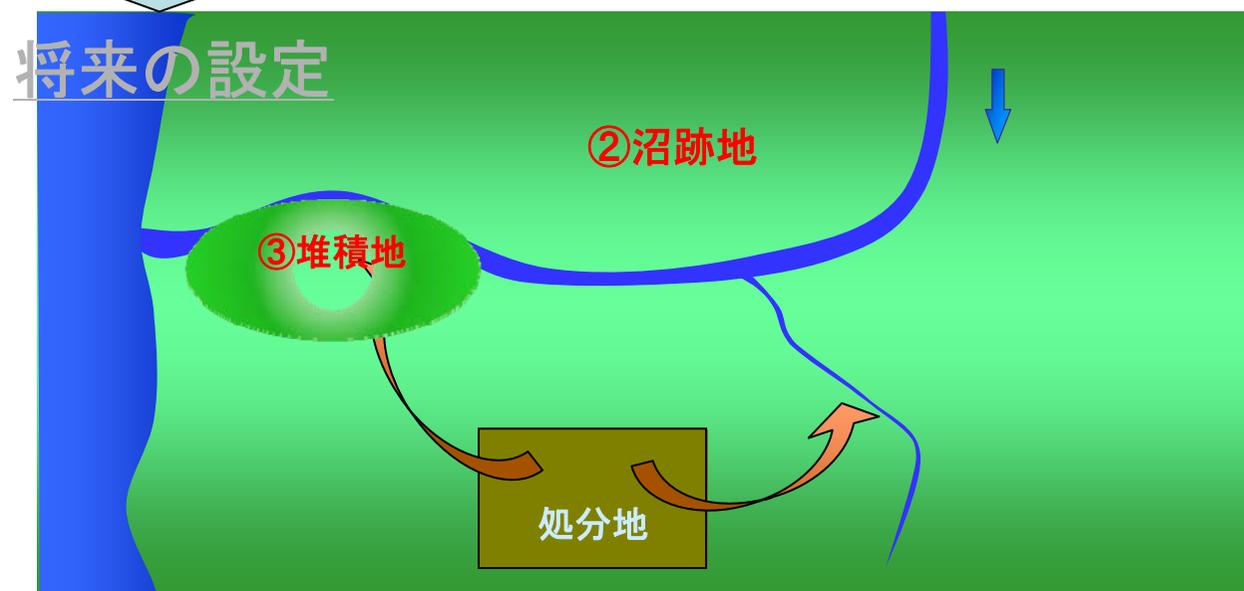
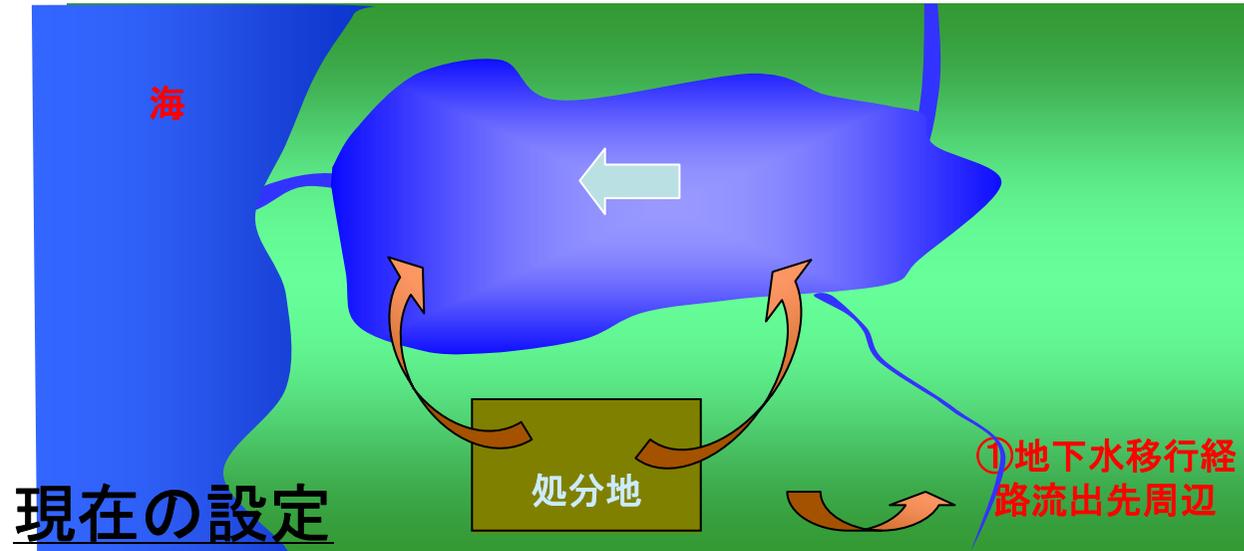
基本土地利用シナリオの時間的変遷

①現状地形の場合
 (流出先である河川あるいは湖沼周辺に汚染された土地利用可能な領域が存在する場合)

②海水準変動にともなう地形変化を考慮した場合
 流出先湖沼の陸地化にともなう建設居住の影響評価

③隆起・侵食にともなう土砂堆積地の場合
 隆起・侵食にともなう土砂堆積地での建設居住の影響評価

④埋設施設が地表付近に近接することが想定される場合
 汚染された土壌における建設居住の影響評価

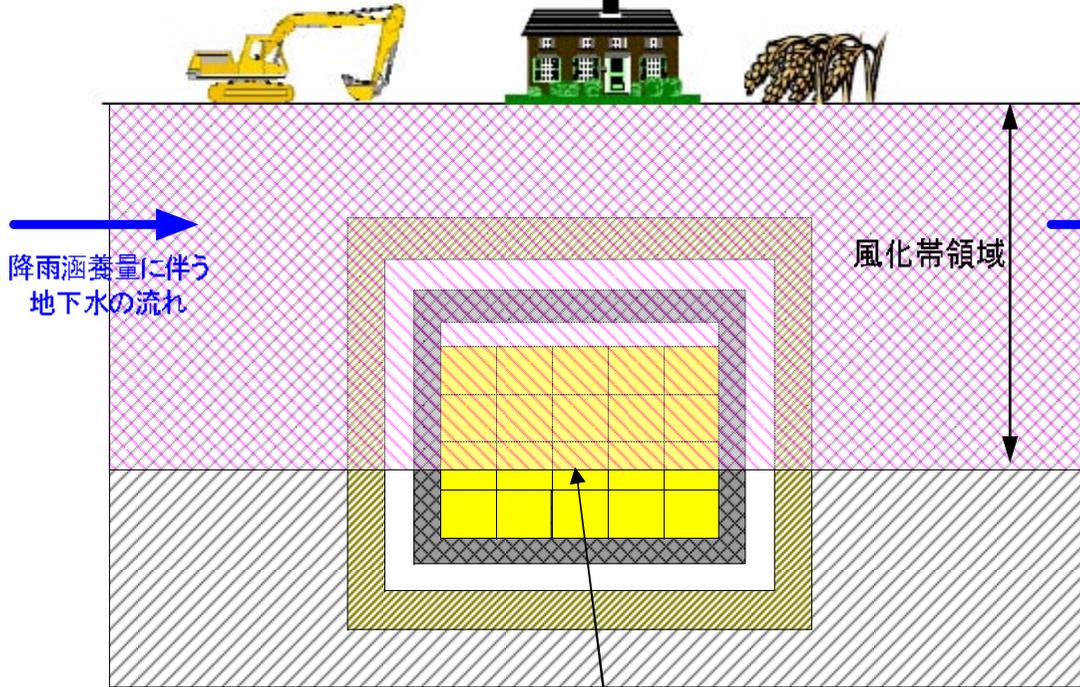


隆起・侵食、海水準変動に伴う地表面近接状態の評価

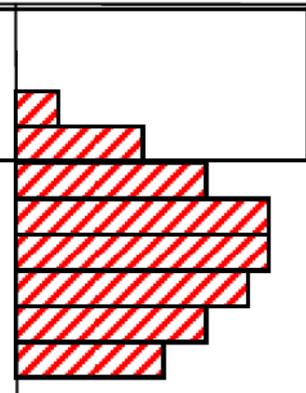
跡地建設
 ・掘削土壌からの直接線
 ・掘削土壌粉塵の吸入

跡地居住
 ・掘削土壌からの直接線
 ・掘削土壌粉塵の吸入

農作物摂取
 ・農作物を摂取
 (跡地居住で考慮)



④ 地表面近傍での一般的土地利用を想定



建設工事による掘り返し
 風化帯における濃度分布を考慮

① 隆起・侵食、海水準変動による地表面近傍の風化帯への接近

② 風化帯においては、周辺土壌と混然一体になると想定。隆起速度に伴い、施設部から風化帯へ核種が放出

③ 風化帯から降雨涵養によって河川・沢へ放出され、流出先における河川産物摂取、河川水・沢水利用による被ばく経路を想定

基本地下水シナリオの他に、地表面近傍での一般的土地利用を基本シナリオで想定し、有意な放射能が残存していないことを確認

第6章 変動シナリオの設定

	過渡的な期間	多重バリア機能に期待する期間	主に天然バリア機能に期待する期間	埋設施設が地表付近に近接することが想定される期間
変動地下水シナリオ	(初期施工状態の変動要因の評価)	<p>代表的な変動地下水シナリオ</p> <p>バリアの機能一部喪失シナリオ 多重バリアの頑健性評価及び個々の防護機能の重要度評価の観点から、機能の一部喪失を想定した頑健性評価</p>	<p>代表的な変動地下水シナリオ</p> <p>バリアの機能一部喪失シナリオ</p>	<p>代表的な変動地下水シナリオ</p> <p>代替変動地下水シナリオ 風化帯代替モデル</p> <p>不確かさに関する安全裕度評価シナリオ</p>
変動ガス移行シナリオ	代表的な変動ガス移行シナリオ	<p>変動放射性ガス移行シナリオ</p> <p>変動水素ガス移行シナリオ</p>	代表的な変動ガス移行シナリオ	(ラドンに関する影響を別途評価)
変動土地利用シナリオ	<p>【現状の土地の利用】 代表的な変動土地利用シナリオ</p> <p>【海水準変動に伴い利用可能となった土地の利用】 代表的な変動土地利用シナリオ バリアの機能一部喪失シナリオ</p> <p>【埋設施設の下流域に再堆積した土地の利用】 代表的な変動土地利用シナリオ バリアの機能一部喪失シナリオ</p>			<p>【埋設施設が地表付近に近接した際の土地の利用】 代表的な変動土地利用シナリオ</p> <p>代替変動地下水シナリオ 風化帯代替モデル</p> <p>不確かさに関する安全裕度評価シナリオ</p>

変動シナリオは処分システムの設計が様々な不確かさに対応しうるものであるか否かを確認するために、発生の可能性は低いですが、基本シナリオの安全評価上重要な変動要因を考慮しても、その影響は限定的であることに十分な合理性があり、処分システムが頑健性を有していることを確認するために用いられるシナリオ群。

地質環境等の特性の不確かさも含め、いわゆる安全評価上の不確かさに係る考慮はこの変動シナリオに含まれる。

変動シナリオに対する安全評価の考え方

基本シナリオの変動要因の分析

・ひとつの基本シナリオに対して複数の変動シナリオの想定

変動要因の網羅性

・FEPの分析等を用いて変動要因を把握し状態設定

変動要因の蓋然性と科学的合理性

・十分な統計的データが存在する場合には、これらを用いてその範囲を97.5%片側信頼区間の値に設定

・長期的な安全評価における不確かさについて、十分な統計的データが整備されていない場合には、得られている科学技術的知見を最大限活用し、適切な保守性を持たせるように設定

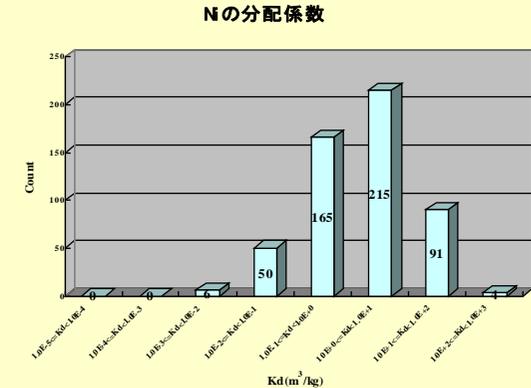
・複数のパラメータが結果に重要な影響を及ぼす場合には、これらのパラメータの不確かさを確率的に評価し、条件設定の妥当性を確認する方法もひとつの有効な方法

処分システムの頑健性の評価

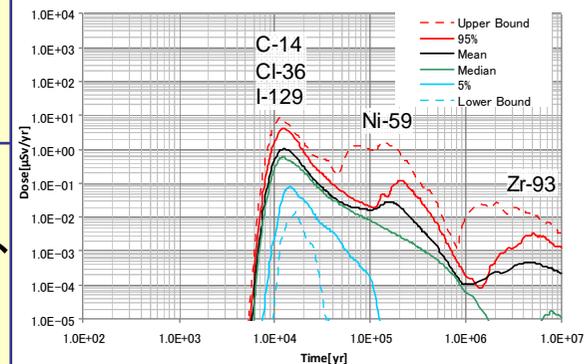
・ひとつの安全機能に過度に依存していないことを確認するために、一部の安全機能を見捨てて評価

・ただし、既に十分な信頼性が実証されているものや材料等の固有の特性で環境の変化等を勘案しても十分信頼できるような材料特性までも無視する必要はなく、長期的な安全評価の不確かさとの関連において設定

分配係数の統計的データの例



確率論的な評価に基づく妥当性の説明例



青木ら：余裕深度処分の安全評価パラメータの不確かさの取扱い（Ⅲ）安全評価パラメータの不確かさを反映した安全評価試算例，日本原子力学会2009年秋の大会予稿集M19

多重バリア機能に期待する期間における 変動地下水シナリオにおいて評価すべきシナリオの例

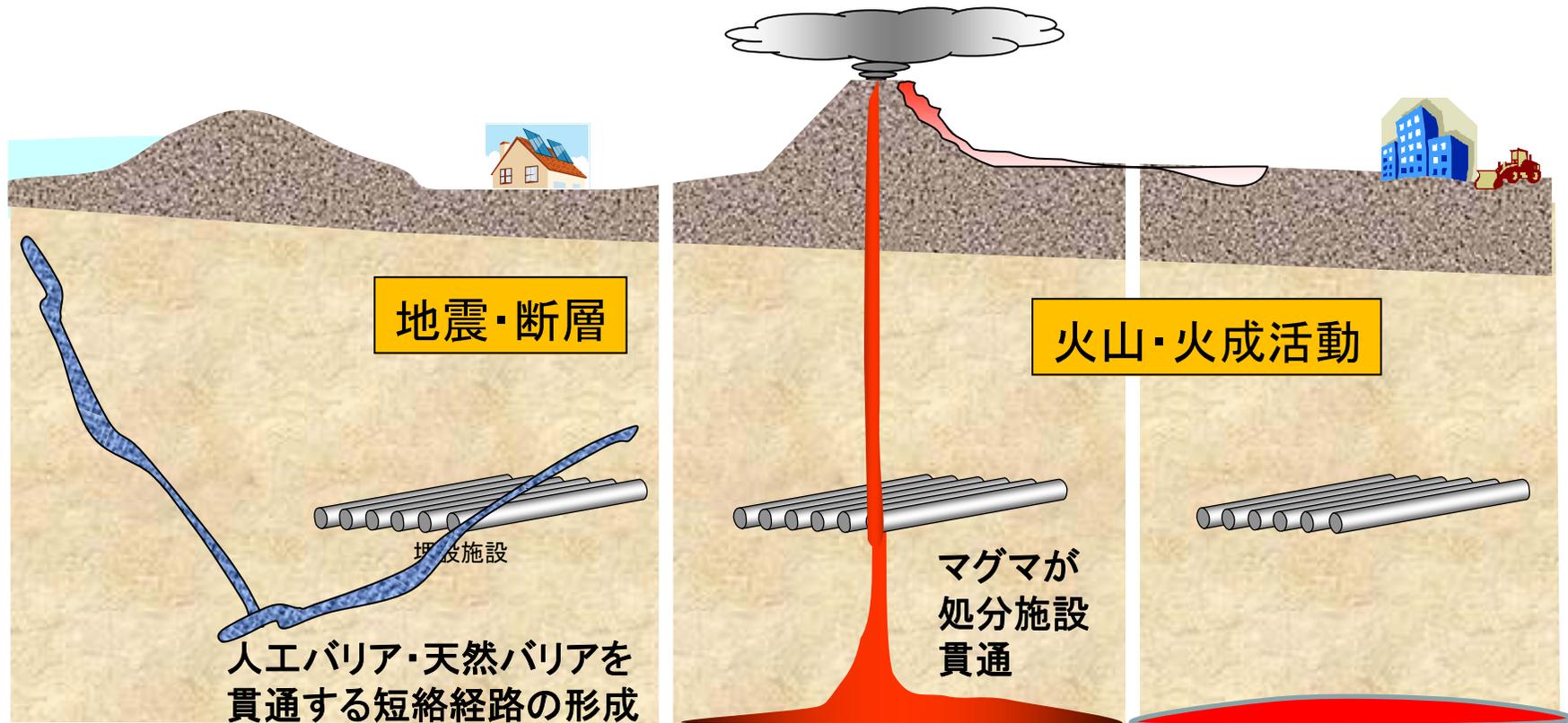
	廃棄体	人工バリア			天然バリア		生活圏
	溶出率	低透水性	低拡散性	遅延機能	物理的 離隔機能	化学的 遅延機能	希釈水量 等
基本地下水シナリオ							
代表的な変動地下水シナリオ							
人工バリアの機能一部 喪失シナリオ							
天然バリアの機能一部 喪失シナリオ							

○: 基本地下水シナリオの設定

△: 発生の可能性は低い及安全評価上重要な変動要因を考慮して設定

▼: 頑健性の確認を目的とし、機能喪失を想定した保守的設定(具体の埋設施設に係るFEP分析等に基づき、安全上重要な放射性物質及びそれに対する防護機能について評価)

第7章 稀頻度事象シナリオの設定



地震・断層活動により力学的な破壊の影響評価

火山・火成活動による力学的な破壊の影響評価

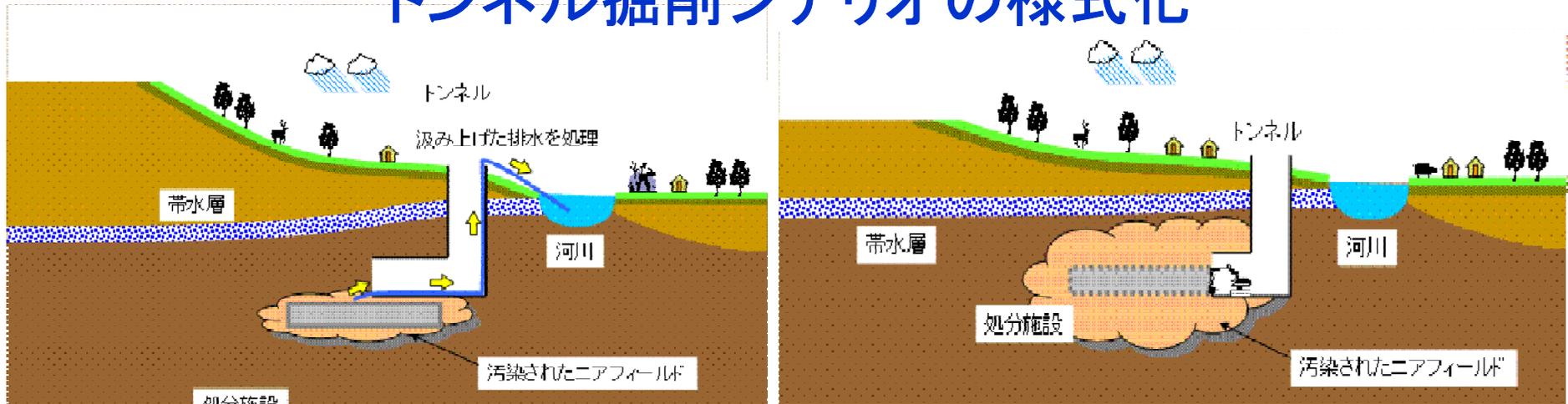
火山・火成活動による熱的・化学的な劣化の影響評価

発生の可能性が低いと考えられるシナリオを想定しても、なお残る不確かさの存在を勘案しそれを考慮しても、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

第8章. 人間侵入シナリオの設定

シナリオ名	ボーリングシナリオ			トンネル掘削シナリオ		大開発土地利用シナリオ
	直接掘削コア観察シナリオ	移行経路短絡シナリオ	埋設施設近接掘削ボーリング孔地下水摂取シナリオ	埋設施設近傍トンネル掘削シナリオ	埋設施設貫通トンネル掘削シナリオ	
目的	<ul style="list-style-type: none"> ・廃棄体単位の放射能濃度の妥当性を確認すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・処分空洞単体に埋設される放射能インベントリの妥当性を確認すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・処分空洞に埋設される放射能インベントリ及び人工バリアによる放射性物質の移行抑制機能の妥当性を確認すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリアによる放射性物質の移行抑制機能とその機能を有する期間の妥当性を確認すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・人工バリアの物理的抵抗性とその機能を有する期間の妥当性を確認すること 	<ul style="list-style-type: none"> ・地表近接を想定しても、長半減期の放射性物質の放射能インベントリ(放射能濃度)の影響がめやすを越えないレベルであることを確認すること
<p>偶発的な人為事象シナリオ</p> <ul style="list-style-type: none"> ・人間侵入の可能性低減の対策が行われ、被ばく線量が合理的に実現可能な範囲において十分低いものとなっていることを確認。また、保守的な評価を行っても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。 ・周辺住民の安全を確保する観点から、人間の行為と関連して生じる自然過程の事象についてはできるだけ確からしい設定に基づく評価を行い、その影響緩和の蓋然性を確認。余裕深度処分の妥当性判断のためには、不確かさを考慮した保守的な評価を行っても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。 ・特定の接近者個人についても、一定の様式化のもとで、できるだけ確からしい想定のもとに評価することに加えて、保守的な想定のもとに最大の被ばくを評価し、必ずしも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。 						

トンネル掘削シナリオの様式化



シナリオ名	埋設施設近傍トンネル掘削シナリオ	埋設施設貫通トンネル掘削シナリオ
人間侵入の様式化	<ul style="list-style-type: none"> ・評価対象：処分空洞群と直角方向の最も保守的と考えられる位置にトンネルが掘削されるものと想定 ・トンネルからの排水中の放射性物質の濃度；トンネルに近接する処分空洞から放出される放射性物質がすべてトンネルのへ集められるものとして評価 	<ul style="list-style-type: none"> ・評価対象：一本の処分空洞の掘削を想定。ただし、複数の処分空洞が同一深度で直線上に近接して配列されているような場合は、これらの処分空洞の長さの総計 ・掘削時期：人工バリアの認知性が喪失した段階 ・掘削の方法：現状の知見に基づき、評価対象地点の地質（特に岩石）から想定される一般的に合理的な掘削方法 ・掘削土置き場の形状等；現状における掘削土置き場での安全確保のための形状を参考に設定
低減化措置妥当性確認の評価条件	トンネルが上部に掘削された場合の動水勾配や人工バリアの固有の特性について確からしく設定して評価する場合	腐食の影響等による物理的抵抗性の変化を確からしく評価して人工バリアの認知性が喪失する時期を設定する場合
余裕深度処分妥当性確認の評価条件	より多くの放射性物質が移行するように動水勾配や人工バリアの固有の特性を保守的に設定して評価する場合	環境変化による腐食の進展等を保守的に評価し、早めの時期に認知性が喪失する場合
被ばく経路と被ばく対象の周辺住民	トンネルからの排水は直接河川等に放出されるものとし、河川等の水を利用する周辺住民の被ばく	掘削土に浸透した降雨水が流入する河川等の水を利用する周辺住民の被ばく
被ばく経路と被ばく対象の偶発的な接近者		トンネル掘削作業者の外部被ばく及び内部被ばく

第9章 管理期間の終了に係る考え方

基本シナリオ	<p>申請者は、処分システムの基本設計及びその方針について、リスクが10^{-6}/年以下、すなわち影響が$10\mu\text{Sv}/\text{年}$以下になる可能性が十分にあることに関する科学的蓋然性を、基本シナリオに基づく安全評価により示すこと。</p>
変動シナリオ	<p>申請者は、その基本シナリオ設定に当たっての不確かさを考慮した変動シナリオについて安全評価を行い、その影響が$300\mu\text{Sv}/\text{年}$以下であることを示すこと。</p>
稀頻度事象シナリオ	<p>申請者は、また、念のために考慮すべき稀頻度事象シナリオについても敢えて安全評価を行い、その影響が基本的に$10\text{mSv}/\text{年}$を超えず、最大でも$100\text{mSv}/\text{年}$を超えることがないことを示すこと、すなわち、そのような状況においても、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は至らないことを示すこと。</p>
人為事象シナリオ	<p>申請者は、さらに、人為事象シナリオについても、様式化等によるシナリオ設定を行い、その周辺住民への影響については、$1\text{mSv}/\text{年} \sim 10\text{mSv}/\text{年}$の範囲を超えないこと、特定の接近者個人に対する影響は基本的に$10\text{mSv}/\text{年}$を超えず、最大でも$100\text{mSv}/\text{年}$を超えることがないことを示すこと。</p>
管理期間終了段階への移行	<p>以上の区分評価の結果を総合して、計画された埋設事業は、規制を要しない管理期間終了段階に移行できる可能性について、科学的根拠はあるものと判断する。</p>

IV. 余裕深度処分規制支援研究の進め方

これまでのJNESの原子力安全委員会支援解析等

電気事業連合会「浅地中処分に関する政令濃度上限値を超える発電所廃棄物の物量と放射能濃度について」(埋分第2-2-1号、H17.10.21)

JNES、原環センター「リスク論的考え方に基づく安全評価シナリオの分類例について」(埋分第5回参考資料1、H18.6.22)

JNES「低レベル放射性廃棄物処分施設の代表的な安全評価シナリオの解析例」(埋分第6-1号、H18.9.19)

原子力安全委員会「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」(H19.5)等を反映した埋分第6-1号の更新

JNES「低レベル放射性廃棄物処分施設の代表的な安全評価シナリオの解析例について」(二分第3-2-2号、H20.2.8)及び委員のコメントを反映した追加解析を含む更新(二分第7-1号 参考資料、H20.5.2)

電気事業連合会「余裕深度処分対象となる廃棄物の物量及び放射能濃度について」(二分第11-1号、H20.9.24)

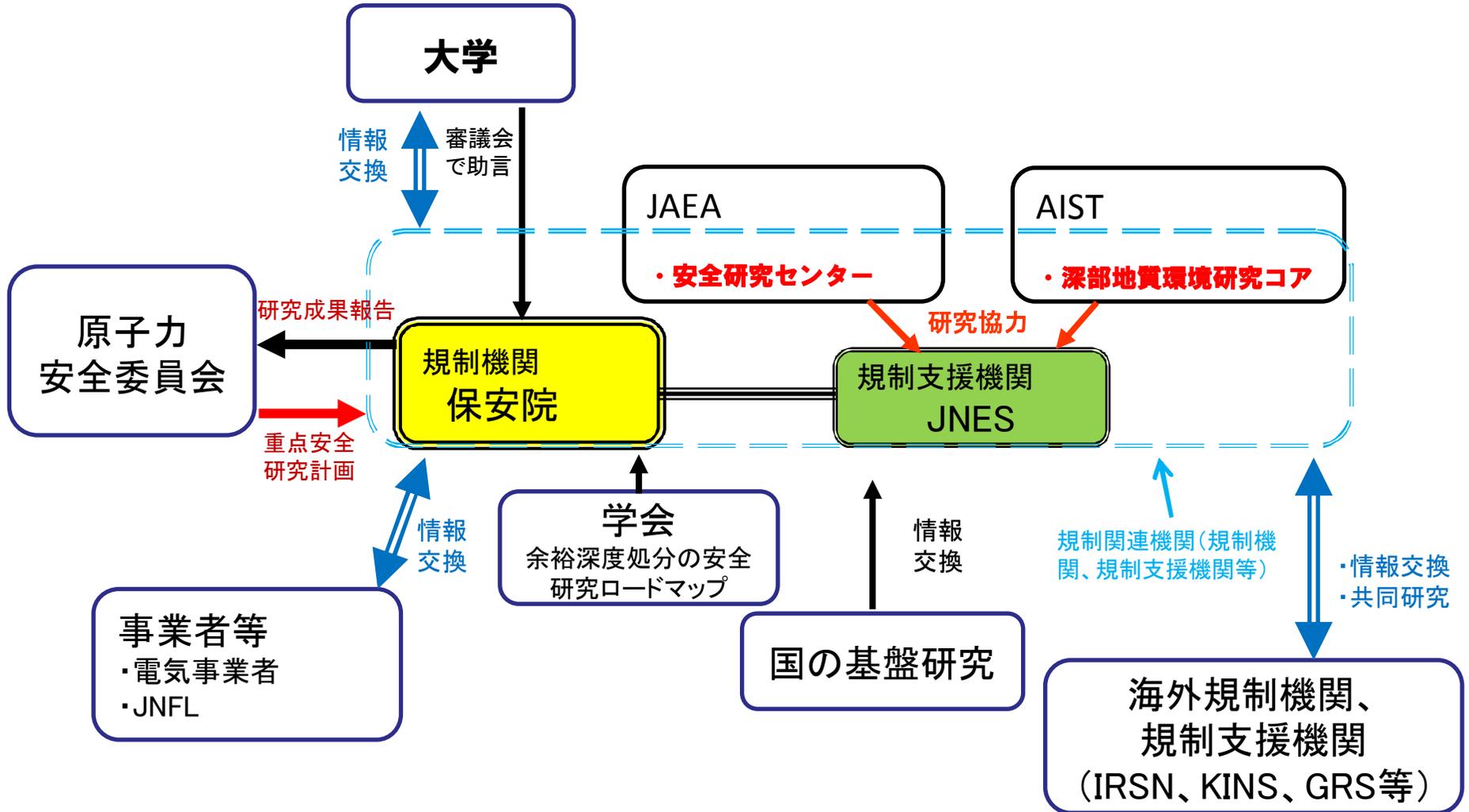
JNES「代表的な安全評価シナリオの解析例の再解析について」(二分第11-2号、H20.9.24)

余裕深度処分・浅地中処分の保安院のニーズ

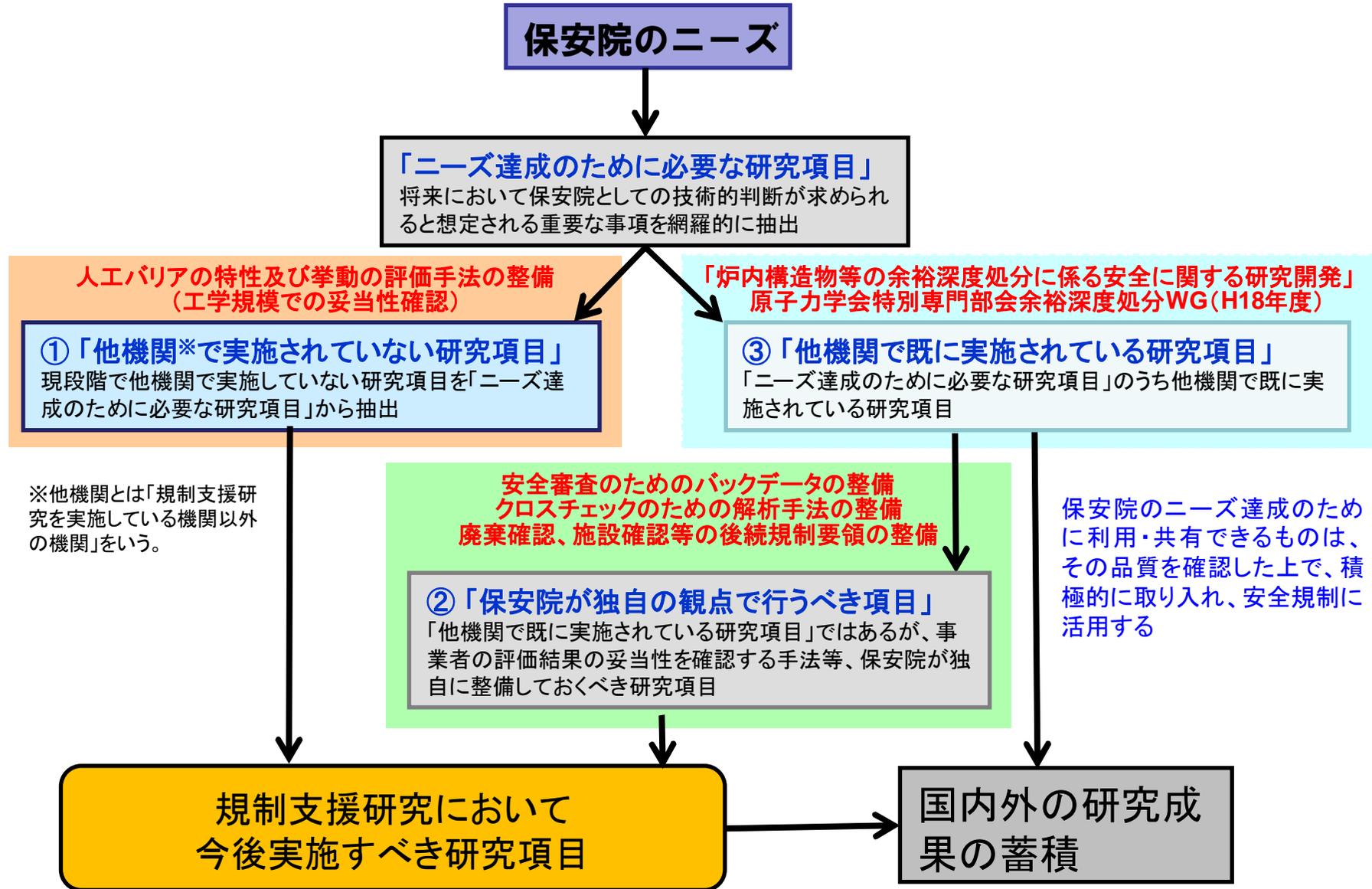
年度	～H21	H22	H23	H24	H25	H26～	
浅地中処分	浅地中処分に係る 法定行為	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 事業許可申請・安全審査 </div>					※研究施設等廃棄物、ウラン廃棄物等については、今後提示される事業者の計画を踏まえ、具体的な検討を行う。
	浅地中処分に関する調査 ・安全審査に用いる解析手法の整備	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 安全審査に用いる解析手法の整備 </div>					
	・トレンチ・ピット処分に関する安全性能確認のための要領整備	(ピット処分) 均質・均一固化体及び充填固化体の廃棄のための確認方法の整備済 <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 施設確認要領の策定 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 廃棄確認要領の策定(JNES) </div> 今後提示される事業者の計画、新規廃棄体等の仕様を踏まえ、具体的な検討を行う。					
余裕深度処分	余裕深度処分に係る 法定行為	<div style="border: 1px solid red; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;"> 原安委 安全審査指針策定 </div>	<div style="border: 1px solid blue; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;"> (必要に応じて) 審査の判断指標策定 </div>	<div style="border: 1px solid blue; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;"> 埋設施設確認 </div>	<div style="border: 1px solid blue; border-radius: 10px; padding: 2px; display: inline-block;"> 定期安全レビュー </div>		
	余裕深度処分に関する調査 ・安全審査の確認項目の整理、解析手法の整備	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 安全審査の確認項目の整理 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 安全審査に用いる解析手法の整備 </div>					
	・安全性能確認のための要領整備	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 施設確認要領の策定 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> モニタリング要領の策定 </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> 廃棄体の確認要領の策定(JNES) </div> 今後提示される事業者の計画を踏まえ、具体的な検討を行う。					

原子力安全・保安部会廃棄物安全小委員会「放射性廃棄物処理・処分に係る規制支援研究(平成22年度～平成26年度)について」(平成21年10月19日)

余裕深度処分に係る今後の規制支援研究実施体制



規制支援研究において「今後実施すべき研究項目」の選定



V. 余裕深度処分のこれまでの主な安全研究と 重点研究課題について

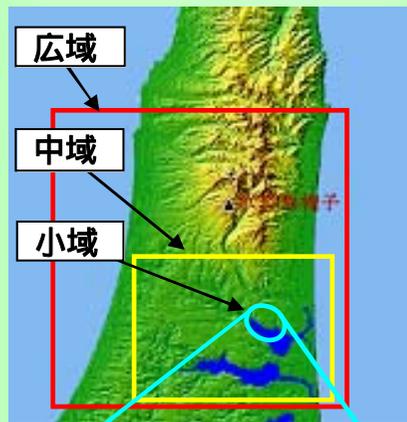
1. 地下水流動評価に関する安全研究
2. 核種移行評価に関する安全研究
3. 人工バリアの防護機能の評価に関する安全研究

IV.1 地下水流動評価に関する安全研究

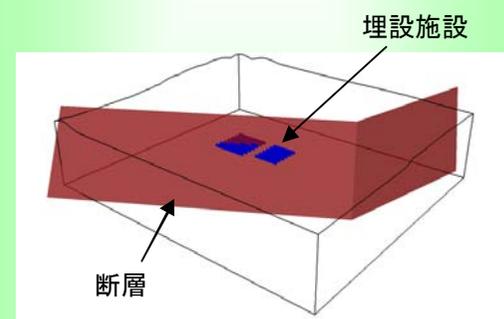
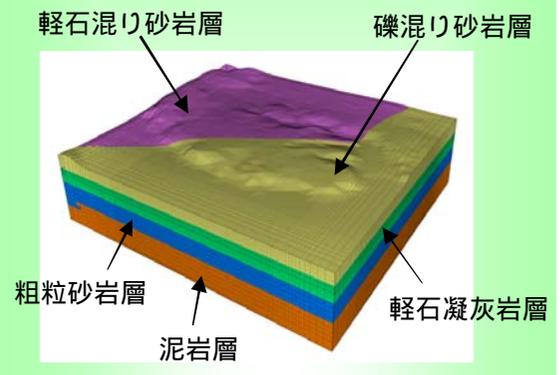
評価対象	解析コード	安全研究
広域多次元地下水流動評価	汎用多次元流動解析コード TOUGH2、Dtransu、MODFLOW	<ul style="list-style-type: none"> ・JNESにてクロスチェック解析用に整備中 ・JNESにてクロスチェック解析の信頼性確保を目指して「解析支援システム及び品質保証支援システム」を整備中
処分場地域の多次元地下水流動評価	同上	
隆起・侵食、海水準変動と連成した地下水流動	隆起・侵食、海水準変動を考慮した地下水流動解析コード 3D-SEEP	<ul style="list-style-type: none"> ・主として地層処分の安全評価を対象に、NISAの委託でJAEA安全研究センターが開発中。 ・現在JAEAの幌延深地層研究センタを活用した同解析コードの検証試験をJAEA、AIST、JNESで共同研究実施中。

汎用多次元流動解析コードによる評価

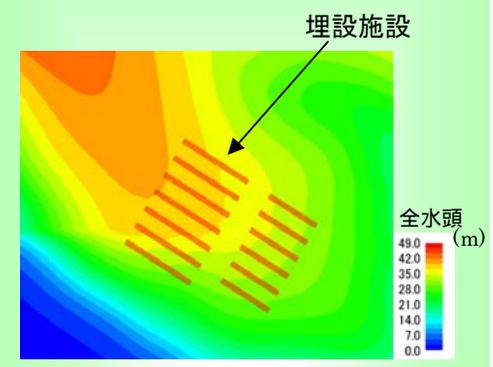
解析対象領域、断層及び埋設施設位置の設定



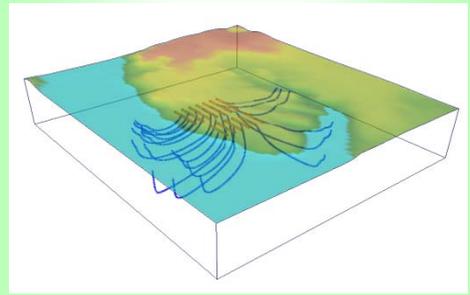
解析領域の水理地質モデル及び境界条件等の設定



地下水流動解析及び地下水移行距離・移行時間の解析

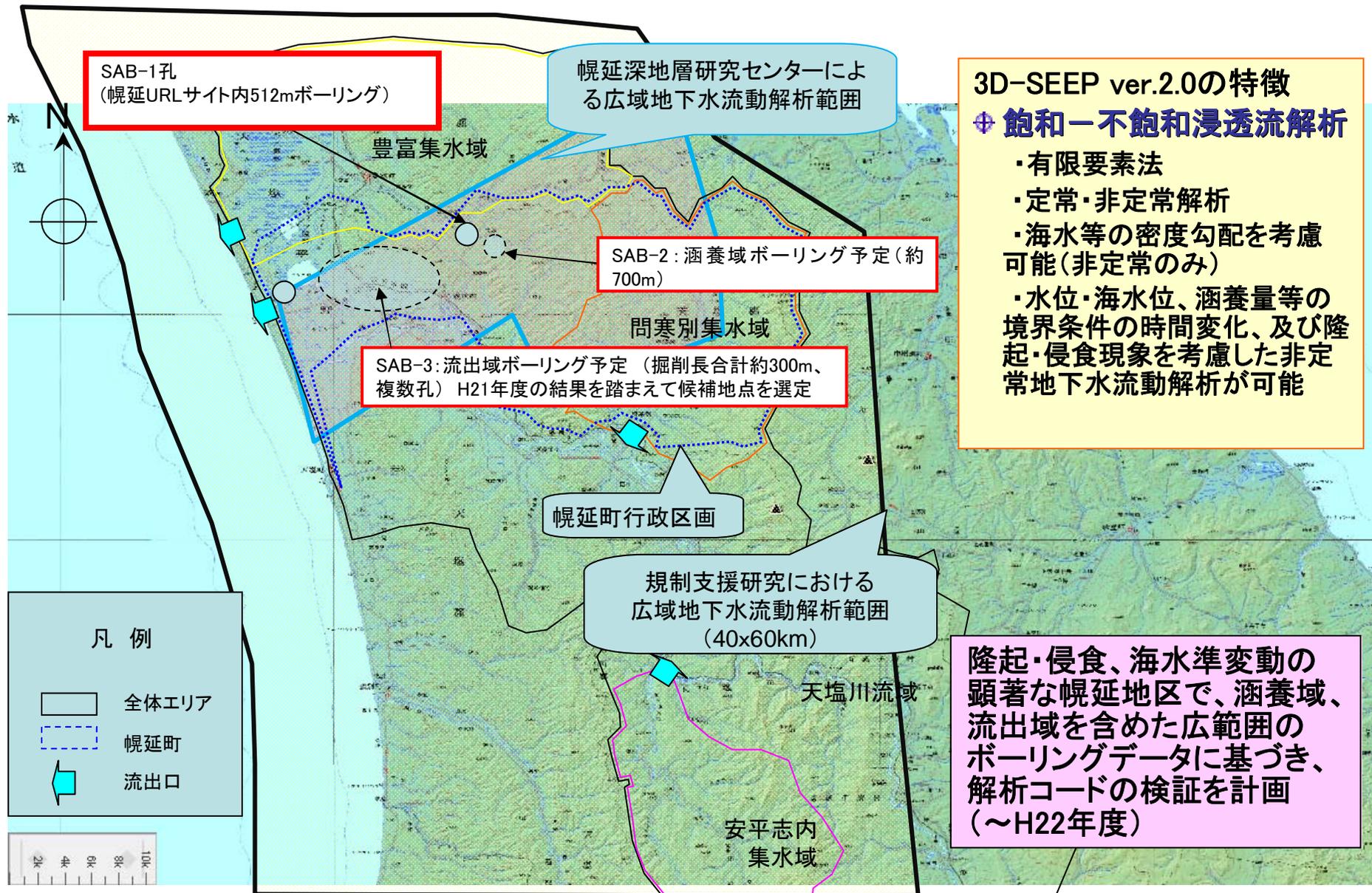


地下水流動解析結果の例 (EL-89mでの断面)



地下水移行経路解析結果の例 (移行距離・移行時間の算出)

隆起・侵食、海水準変動を考慮した地下水流動解析コード(3D-SEEP)の検証



3D-SEEP ver.2.0の特徴

⊕ 飽和-不飽和浸透流解析

- ・有限要素法
- ・定常・非定常解析
- ・海水等の密度勾配を考慮可能(非定常のみ)
- ・水位・海水位、涵養量等の境界条件の時間変化、及び隆起・侵食現象を考慮した非定常地下水流動解析が可能

隆起・侵食、海水準変動の顕著な幌延地区で、涵養域、流出域を含めた広範囲のボーリングデータに基づき、解析コードの検証を計画 (~H22年度)

IV.2 核種移行評価に関する安全研究

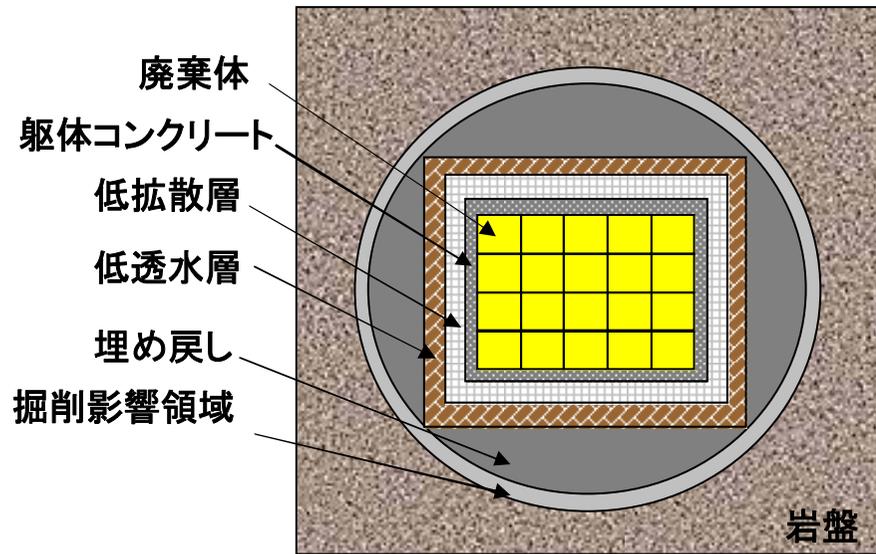
核種移行評価の手法	評価の目的	安全研究
地下水シナリオにおける4因子公式	<ul style="list-style-type: none"> 核種の移流拡散方程式から導出される簡略式 被ばく評価に影響を及ぼす重要因子の定性的、半定量的理解 	<ul style="list-style-type: none"> 鈴木ら「多重人工バリアシステムを有する放射性廃棄物処分施設の安全性能評価手法に関する考察」原子力バックエンド研究, Vol.15 No.2, pp.87-98
人工バリアの経年劣化を考慮した地下水シナリオの1次元核種移行モデル	<ul style="list-style-type: none"> パラメータの種々の不確かさと安全評価に重大な影響を及ぼすパラメータの経年劣化を考慮した安全評価モデル 	<ul style="list-style-type: none"> JNES「代表的な安全評価シナリオの解析例の再解析について」(二分第11-2号)
天然バリアの移行経路の変化を考慮した1次元核種移行モデル	<ul style="list-style-type: none"> 隆起・侵食、海水準変動に伴う移行経路、移行時間の時間変化を考慮した安全評価モデル 	<ul style="list-style-type: none"> JNES「代表的な安全評価シナリオの解析例の再解析について」(二分第11-2号)
多次元核種移行モデル	<ul style="list-style-type: none"> 多次元体系の核種挙動を1次元モデルに保守的に置き換えるための詳細解析 	<ul style="list-style-type: none"> JNES「平成19年度 放射性廃棄物処分に関する調査(余裕深度処分に関する調査)報告書」平成20年9月 鈴木ら「局所不連続ガラーキン法による放射性廃棄物処分施設を対象とした地下水流動・核種移行解析の高度化」土木学会論文集 Vol.65 No.3, 703-715, 2009.8

地下水シナリオにおける4因子公式

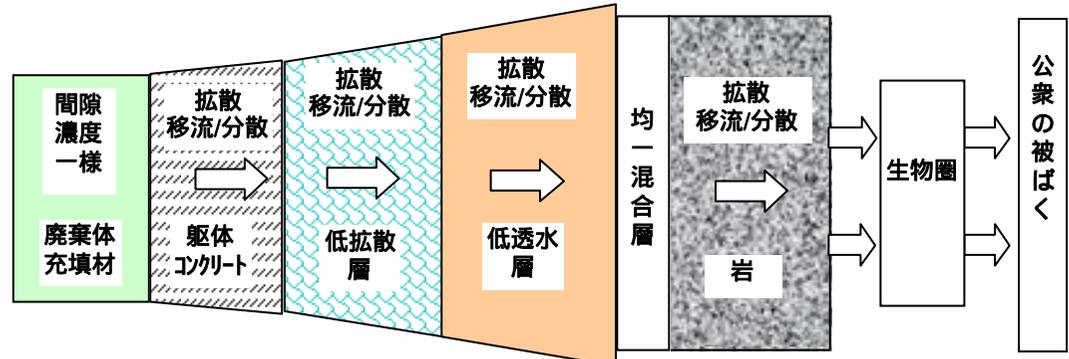
$$D_i = Q_i \times E_i \times G_i \times B_i$$

D_i 被ばく線量 (Sv/y)	Q_i 放射能インベ ントリ (Bq)	E_i 人工バリアの核種移行抑 制に係る性能指標 (1/y)	G_i 天然バリアの隔離に係 る性能指標 (-)	B_i 生活圏における線 量換算指標 (Sv/Bq)
被ばく線量を決定 する4つの因子 ①埋設放射能イ ンベントリ ②人工バリアの 核種移行抑制性 能 ③天然バリアの 隔離性能 ④生活圏での生 活形態	Q_i : 総放射能量 [Bq]	$E_i = f(\zeta, \eta_i, \lambda_i)$ ζ : 溶出率 [-/y] η_i : 移行率 [-/y] λ_i : 崩壊定数 [-/y] $\eta_i = \frac{Fa + Fd_i}{Fr_i}$ Fa : 移流パラメータ [-/y] Fd_i : 拡散パラメータ [-/y] Fr_i : 遅延パラメータ [-]	$G_i = \left(\frac{1}{2}\right)^{\frac{T_{eff}}{T_{1/2}}} g(D)$ $T_{eff,i}$: 実効トラベルタイム [y] $T_{1/2,i}$: 半減期 [y] $g(D)$: 分散長の補正項	$B_i = \mu_i \cdot C_{B,i}$ μ_i : 線量換算係数 [Sv/Bq] $C_{B,i}$: 生活圏移行経 路における希釈・濃 縮等の補正係数[-]
重要パラメータ	①廃棄物の種 類	① 放射化物の溶出率 ② 低透水層の透水係数 ③ 低拡散層の実効拡散 係数 ④人工バリアの分配係数 ⑤人工バリアの移行率	① 天然バリアの分配 係数 ② 移行距離 ③ 実流速 ④ 分散長	① 希釈水量 ② 沼・河川水産物 の濃縮係数 ③ 農産物等の移行 係数

人工バリアの経年劣化を考慮した地下水シナリオの1次元核種移行モデル



- 廃棄体層から岩盤間までのそれぞれの領域では、核種は移流・分散及び拡散により移行する
- 安全評価モデルはGoldSimにより一次元で表し、躯体コンクリート、低拡散層及び低透水層は想定した施設形状の体積を保存する条件でモデル化
- 均一混合層は低透水層外側の埋め戻し、支保・覆工及び掘削影響領域を一括して扱う領域として設定



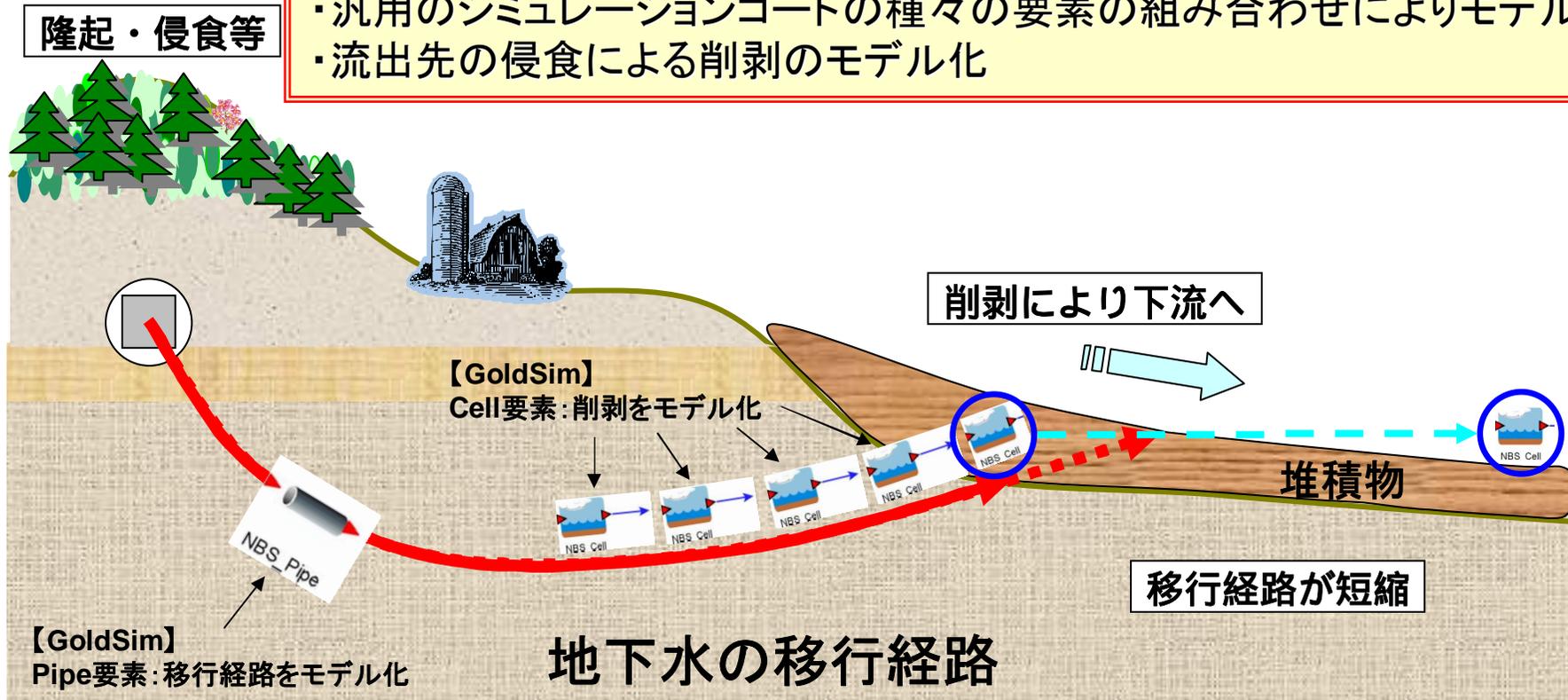
地下水シナリオにおける1次元核種移行モデルの課題

- ・2次元断面を移流・拡散する核種移行を等価的・保守的に1次元化する手法
- ・人工バリアの特性の経年劣化やコンクリートひび割れのモデル化

天然バリアの移行経路の変化を考慮した1次元核種移行モデル

天然バリアの移行経路の変化を考慮した1次元核種移行モデルの課題

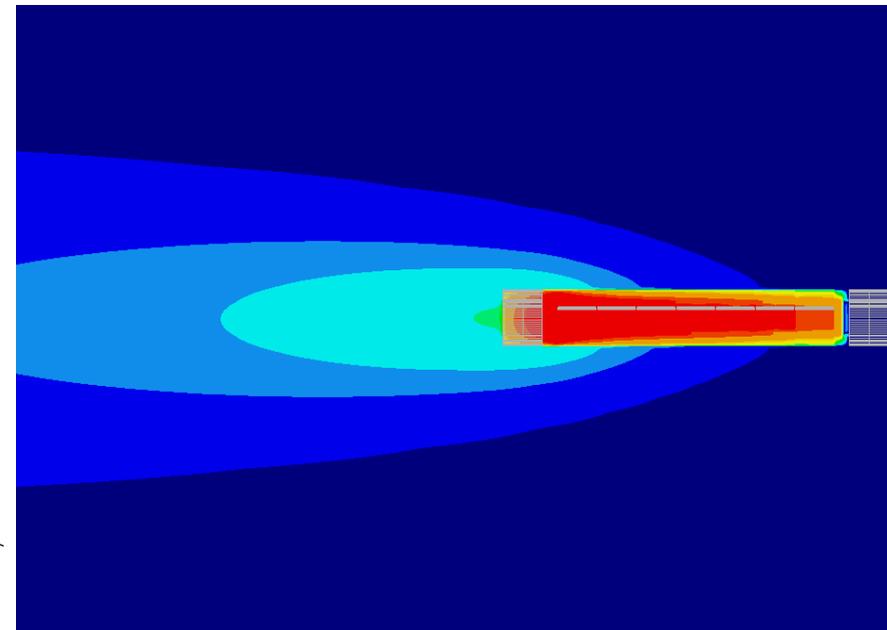
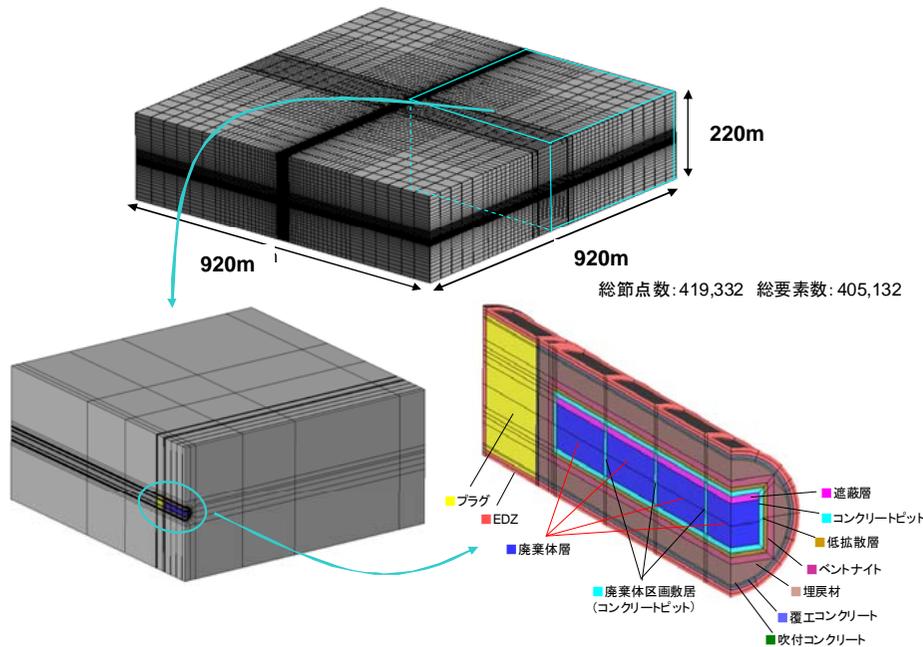
- ・天然バリアの移行経路の空間的变化と移行経路の短縮を天然バリア中の移行経路長(トラベルタイム)を変化させることでモデル化
- ・汎用のシミュレーションコードの種々の要素の組み合わせによりモデル化
- ・流出先の侵食による削剥のモデル化



多次元核種移行モデル

多次元核種移行モデルの課題

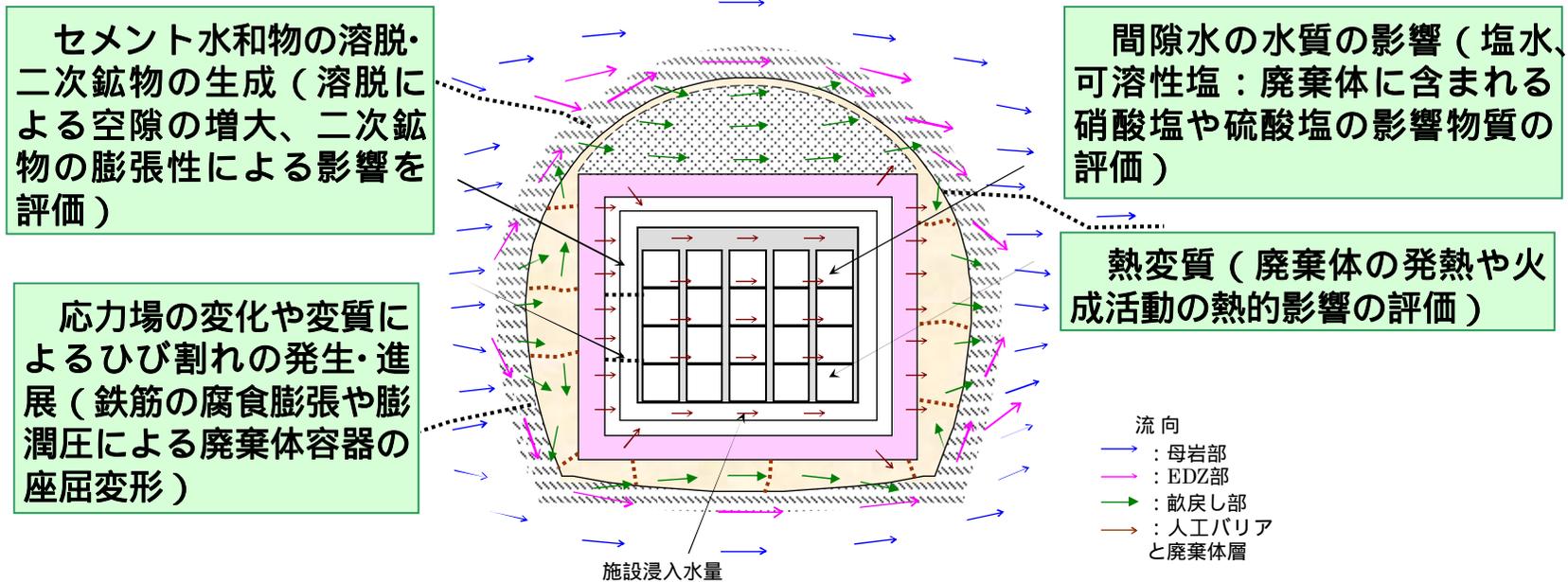
- ・数値解法上の精度向上(数値拡散・分散を抑えたアルゴリズム)
- ・動水勾配が処分空洞軸に直行でない場合の1次元モデルの妥当性
- ・処分空洞全体の評価(各処分空洞の独立性の評価—掘削影響領域による連結の可能性とプラグの性能評価)



処分空洞と平行に地下水が流れる場合の放射性物質の移行挙動

処分空洞内に仕切が無い場合には、移流・拡散によって処分空洞端部の放射性濃度が高くなる可能性が考えられる。

V.3 人工バリアの防護機能の評価に関する安全研究 セメント系部位の劣化評価



土木学会「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」(2008.6)等の活用

人工バリアの防護機能の評価に関する安全研究 ベントナイト系部位の劣化評価



ベントナイト系部位で考慮すべき劣化挙動

① 隆起・浸食等による地圧の低下に伴うベントナイト層の密度低下と低透水性能の低下

→ JNESでは、露頭したベントナイト鉱床におけるベントナイト層の諸特性の調査(ナチュラルアナログ調査)を実施

② ベントナイトが化学的に変質(Ca型化)することに伴う低透水性能の低下

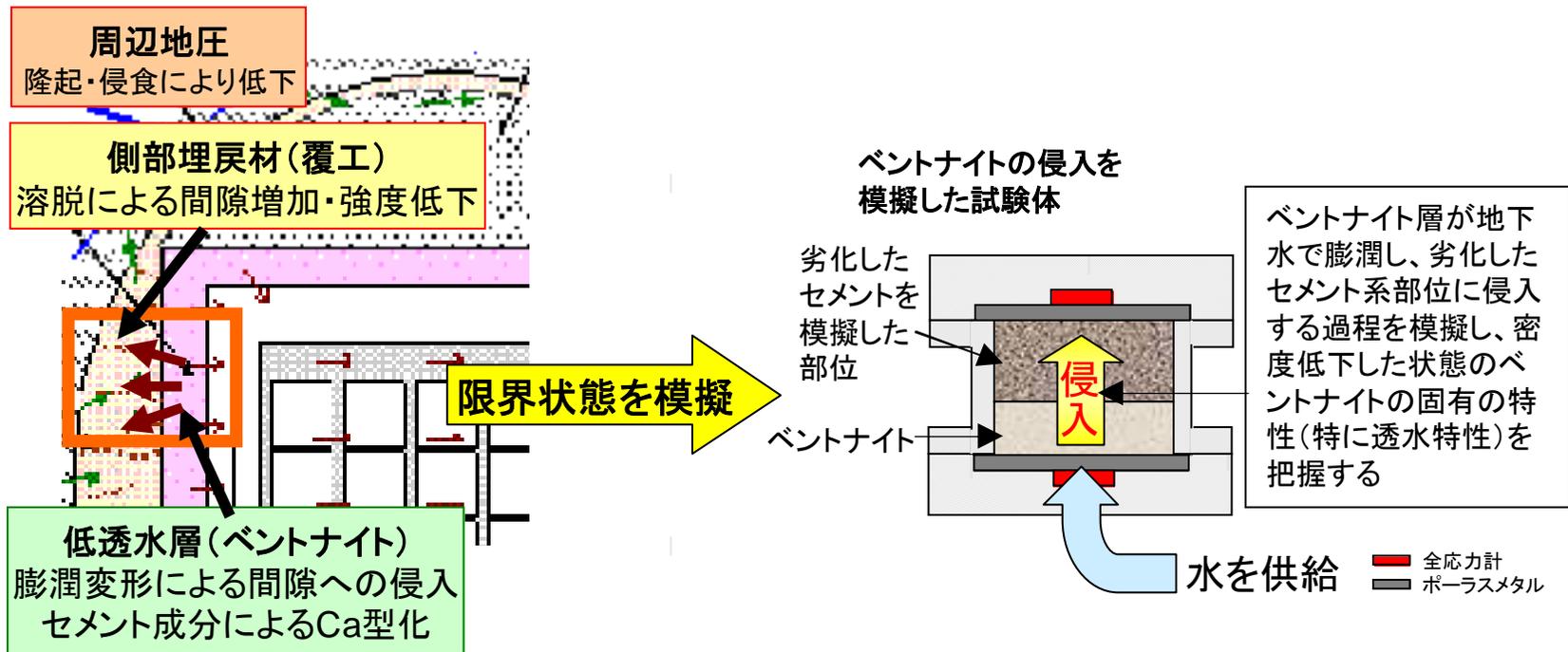
写真: ナチュラルアナログ調査を実施するベントナイト鉱床

人工バリアの防護機能の評価に関する安全研究 セメントとベントナイトの終局特性の把握

終局特性=想定される複数の劣化状態を組み合わせた状態においても期待できるベントナイトの固有の特性

- ベントナイトが劣化したセメント系部位の間隙に侵入し密度が低下した状態
- 隆起・侵食に伴いベントナイトの膨潤圧を拘束する土圧が低下した状態
- ベントナイトが化学的に劣化(Ca型化)した状態

(JNESにてコラム試験をH21～H22年度実施中)

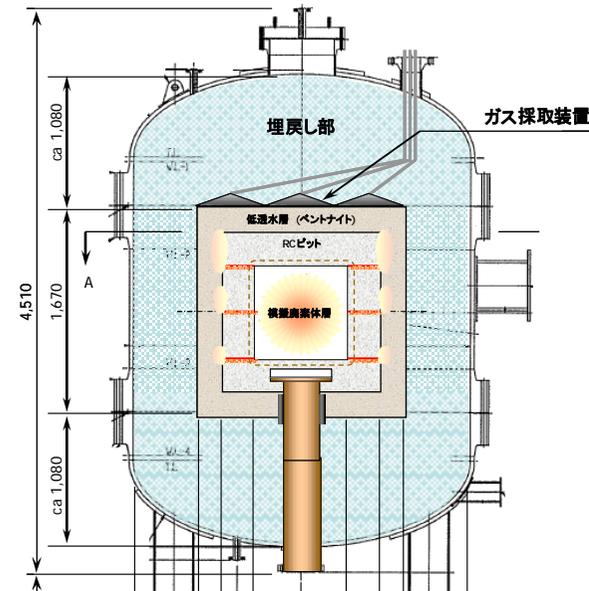


人工バリアの過渡的な期間の性能評価 人工バリアの安全裕度確認試験

- ・1/5程度の工学規模モデル(約100年以上→約2年)
- ・低透水層の再冠水挙動とガス移行挙動の把握



試験体の全景(塗装前)



3次元試験体(1/5縮小モデル)のイメージ

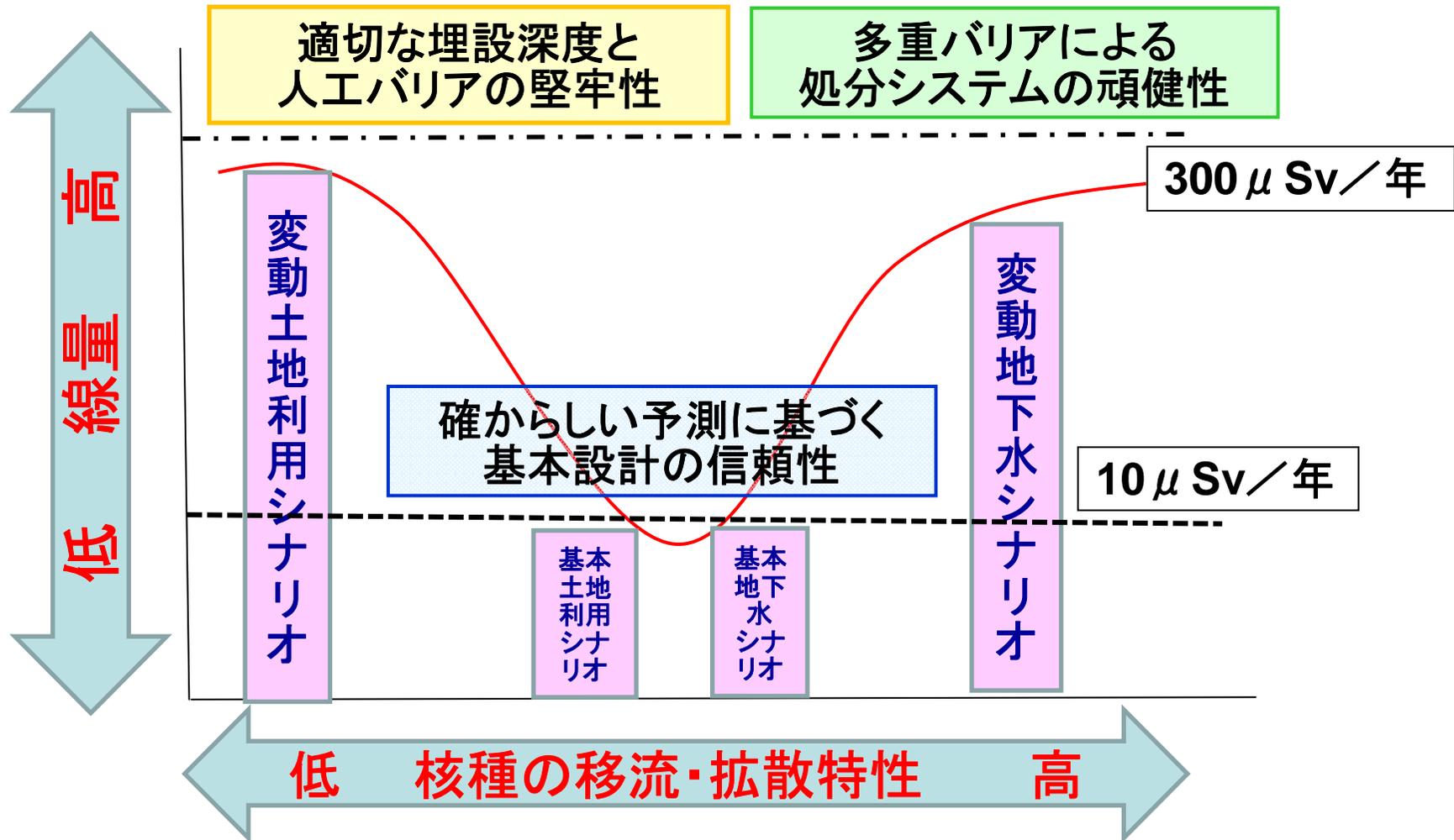
工学的規模の人工バリア安全裕度確認試験において以下の想定事象を確認

1. 安定した低透水性能の確認
→ 全体が均一に膨潤し、局所的な特性にあまり依存しない形で所定の低透水性能を発揮することを工学規模で確認する。
2. ガス圧上昇に伴うガス移行経路の形成
→ ガス圧による応力が低透水層の隅角部に集中し、比較的低い圧力で破過する気道が形成され、人工バリアに悪影響を及ぼさないことを確認する。
3. ガス放出後の低透水性能の回復
→ ベントナイトの自己シール性によって気道が閉塞し、止水性能が回復することを確認する。

VI. 今後の規制支援研究の展望について

1. 廃棄物の潜在的危険性に応じた安全規制
2. 基本設計の信頼性と処分システムの頑健性
3. 天然バリアの性能に応じた総合的な安全確保
4. 安全審査の後続規制に向けて

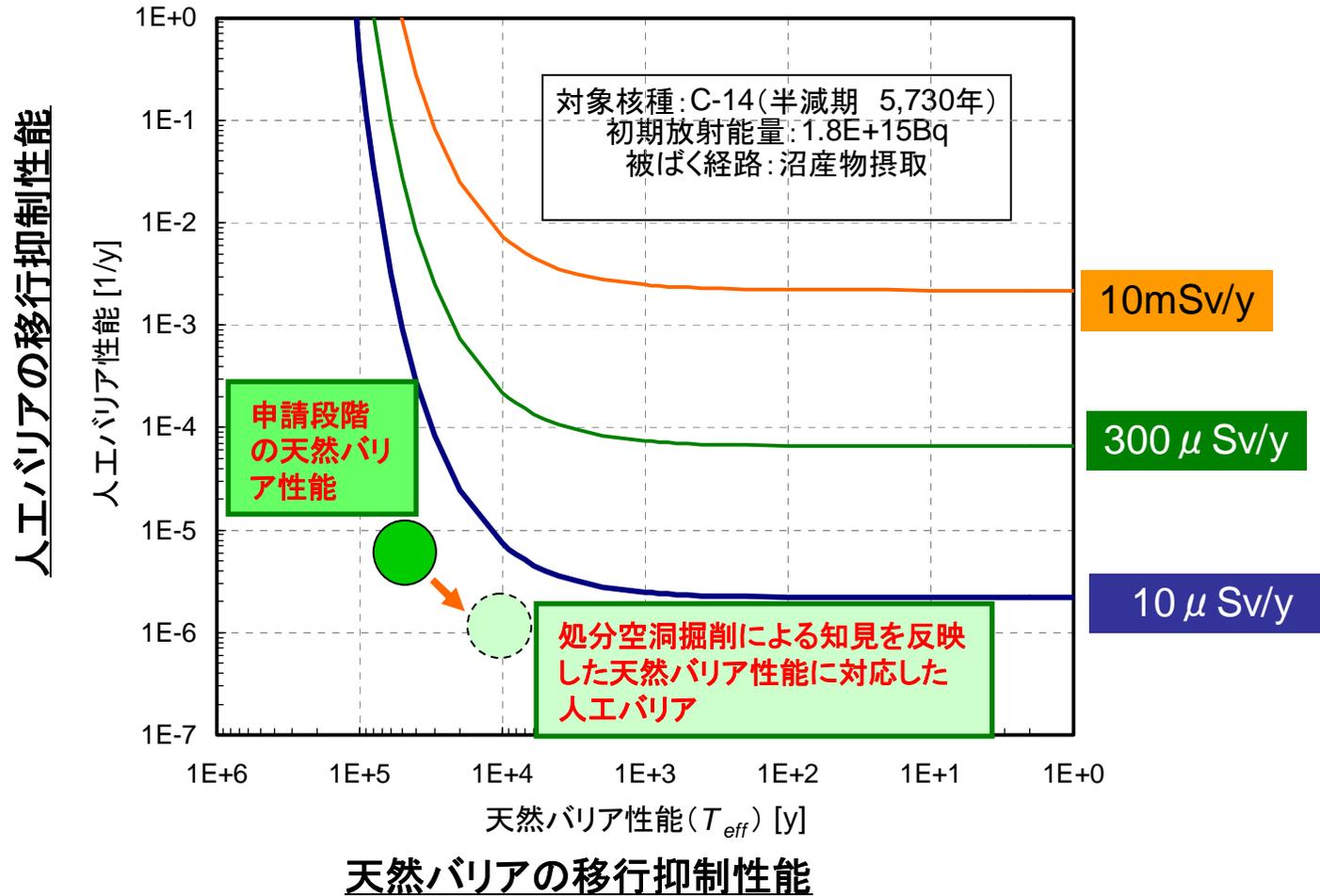
基本設計の信頼性と処分システムの頑健性



発生確率の高い通常考えられる事象について、確からしい予測に基づき基本設計を行い、これに対して両面からの保守性を加味して全体の安全を確保する。

天然バリアの性能に応じた総合的な安全確保

めやすを満足する人工バリア性能・天然バリア性能の組合せと総合的な安全性確認の例



安全審査の後続規制に向けて

	廃棄体	人工バリア	天然バリア	生活圏
安全性能指標	総放射能インベントリ— Q_i (Bq)	人工バリアの核種移行抑制性能 E_i (1/y)	天然バリアの離隔性能 G_i (—)	生活圏における線量換算係数 B_i (Sv/Bq)
安全性能を左右する主要な要因	放射能インベントリ ・総放射エネルギー ・放射能濃度	廃棄物特性 ・溶出率 人工バリアの移行抑制機能 ・拡散抑制機能, 遮水機能, 遅延機能	移行抑制機能 ・地下水の移行時間 ・遅延機能	線量換算 ・線量換算係数 ・生活圏の移行経路における希釈・濃縮等の補正係数 特定の行為の禁止等 ・段階管理
国による確認	廃棄確認 (JNES)	施設確認 (NISA,一部JNES)	施設確認 (NISA,一部JNES)	保安規定の認可 (NISA)
確認要領	・ 廃棄確認要領書	・ 施設確認要領書	・ 施設確認要領書	・ モニタリング要領書

END

ご清聴ありがとうございました。