

日本原子力学会 2024春の年会

委員会セッション

低レベル放射性廃棄物処分の安全確保に向けた
最新の標準策定の取り組みについて

(4) 改定標準の概要(L1安全評価手法)

低レベル放射性廃棄物処分施設の安全評価の実施方法
— 中深度処分編: 2023

2024年 3月26日

LLW処分安全評価分科会

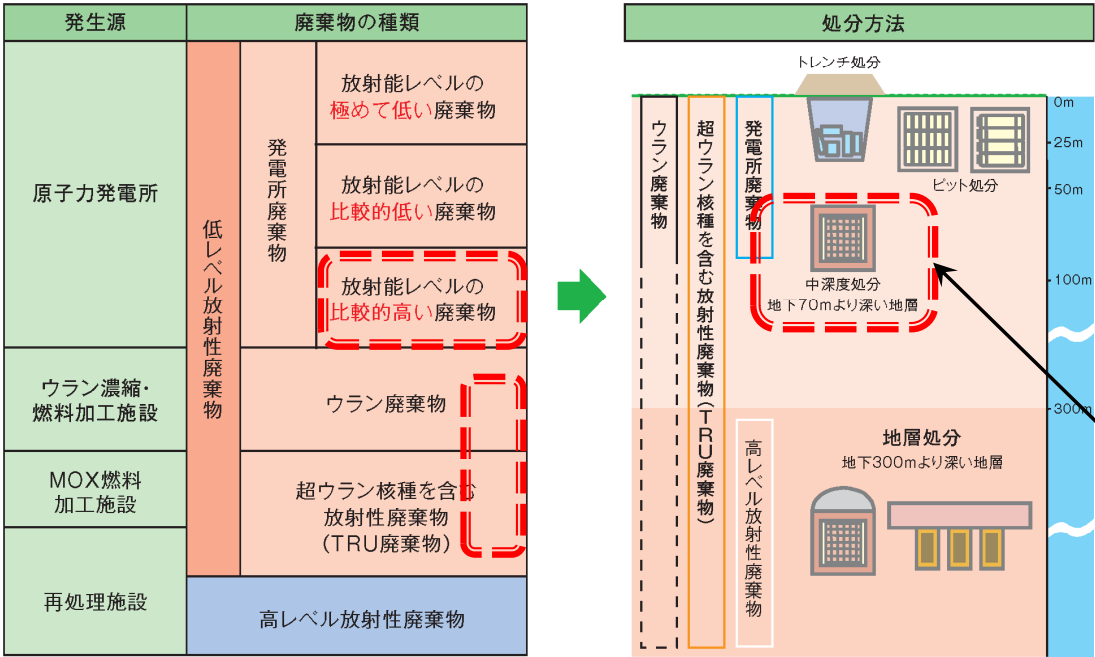
LLW処分安全評価分科会の委員(2023年7月現在)

主査	佐々木 隆之	京都大学
副主査	山本 正史	(公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター
幹事	竹内 博	日本エヌ・ユー・エス(株)
委員	石田 圭輔	原子力発電環境整備機構
委員	大浦 正人	日立GEニュークリア・エナジー(株)
委員	小澤 孝	日本原燃(株)
委員	坂井 章浩	(国研) 日本原子力研究開発機構
委員	島田 太郎	(国研) 日本原子力研究開発機構
委員	菅谷 敏克	(国研) 日本原子力研究開発機構
委員	杉山 大輔	(一財) 電力中央研究所
委員	鈴木 健介	東京電力ホールディングス(株)
委員	鈴木 龍二郎	日本原子力発電(株)
委員	関口 高志	戸田建設(株)
委員	中居 邦浩	日揮(株)
委員	中瀬 辰男	関西電力(株)
委員	宮本 真哉	東芝エネルギーシステムズ(株)
委員	村松 貴史	三菱重工業(株)
委員	山岡 功	(一社) 原子力安全推進協会

この標準の対象となる放射性廃棄物の種類と施設

放射性廃棄物の種類と処分の概要

放射能レベルに応じた深度や障壁（バリア）を選び、トレンチ・ピット処分、中深度処分、地層処分に分けて処分が行われる。



「中深度処分」とは、地表から深さ70m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。

中深度処分
(深さ70m以上の地下)

8-1-5

原子力・エネルギー図面集

出典：資源エネルギー庁ホームページより作成

低レベル放射性廃棄物で「放射能レベルの比較的高い廃棄物」並びに「ウラン廃棄物及び超ウラン核種を含む放射性廃棄物 (TRU廃棄物)」の一部

日本原子力文化財団, 原子力・エネルギー図面集, 【8-1-5】放射性廃棄物の種類と処分の概要 (2017年9月26日更新) より

概要(1)

1. 低レベル放射性廃棄物処分の安全評価の実施方法に関する原子力学会標準

- L3廃棄物のトレンチ処分：極めて放射能レベルの低い放射性廃棄物処分の安全評価手法 AESJ-SC-F007:2006
- L1廃棄物の余裕深度処分：余裕深度処分の安全評価手法 AESJ-SC-F012:2008
- L2廃棄物のピット処分：浅地中ピット処分の安全評価手法 AESJ-SC-F023:2012
- L3廃棄物のトレンチ処分：浅地中トレンチ処分の安全評価手法 AESJ-SC-F024:2013
- 原子力規制委員会が2013年11月にピット処分及びトレンチ処分に関する新しい基準を制定
- トレンチ処分とピット処分の二つの標準を統合・改定し，“浅地中処分の安全評価手法” AESJ-SC-F026:2016を制定。

2. 中深度処分の安全評価の実施方法の改定経緯

- 2014年10月：中深度処分に関する新規制基準の検討が開始（原子力規制委員会）
- 2018年3月13日：「余裕深度処分の安全評価手法：2008（AESJ-SC-F012:2008）」の改定検討を開始（LLW処分安全評価分科会）
- 2021年9月29日：中深度処分を含む第二種廃棄物埋設の許可基準規則・解釈改正
- 2022年4月20日：第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド（原子力規制委員会）
- 2022年8月：NRA技術ノート“中深度処分の規制基準の背景及び根拠”公表
- 2023年9月13日：標準委員会で制定決議
- 2023年12月：低レベル放射性廃棄物処分施設の安全評価の実施方法－中深度処分編：2023（AESJ-SC-F012:2023）

概要(2)

3. 主な変更内容

- 規制基準の状況
 - 余裕深度処分の安全評価手法:2008
 - 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)
 - 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(2013)(浅地中処分対象)
 - 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(2019)(浅地中処分対象)
 - 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(2021)(中深度処分を含めた改正)
 - 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(2021)(中深度処分を含む改正)
 - 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド(2022.4 原子力規制委員会)
 - NRA技術ノート“中深度処分の規制基準の背景及び根拠”(2022.8 前田ほか)
- 新規規制基準の特徴
 - 厳しい自然事象シナリオ, 人為事象(ボーリング)シナリオ, 10万年後の接近シナリオ
 - 設計プロセスへの要求(ALARA(保守的状态で概ね $100\mu\text{Sv/年}$ を下回る複数の設計オプションの最も可能性の高い状態での比較))
 - 自然事象シナリオで3つの状態設定(通常(最も可能性が高い), 通常(保守的) $100\mu\text{Sv/年}$, 厳しい状態 $300\mu\text{Sv/年}$)
 - 廃止措置開始前までの漏出の防止要求, 耐震重要度(Bクラス及びCクラス)
- 2013年の許可基準規則に対応した浅地中処分の安全評価手法:2016をもとに, 旧標準と2021年の許可基準規則・解釈, 審査ガイド, 技術ノート, 浅地中処分の安全審査, 審査指針等を参照して本体を改定
 - 附属書Aを中深度処分の事例に変更
 - 線量評価例を審査ガイド, 最近までの知見に基づき再評価し, 関連する附属書K, L, M, Nを改定
 - 本体及び附属書Jの評価対象者を浅地中処分の安全審査, 審査指針を踏まえて改定
 - 附属書B, Hを改定, 附属書P(確率論的アプローチ)及び附属書Q(耐震, 漏出の防止の評価への適用例)を追加
 - 本体の改定に沿って解説を改定

標準の構成(本体)

序文

1 適用範囲

2 引用規格

3 用語及び定義 (附属書A)

4 安全評価の考え方 (附属書B)

4.1 安全確保の考え方

4.2 安全評価の基本的考え方

4.3 安全評価の判断基準

4.4 安全評価の手法

4.5 安全評価の分類

4.6 廃止措置の開始後の安全評価シナリオの構成

5. 安全評価における考慮事項

5.1 評価対象核種の選定方法 (附属書C)

5.2 廃止措置の開始までの安全評価における考慮事項

5.3 廃止措置の開始後の安全評価における考慮事項 (附属書B, D, E, J)

6. 処分システムの状態設定

6.1 処分システムの状態設定の考え方

6.2 状態設定の手順 (附属書F, G, H, I)

6.3 処分システムの状態設定において考慮する事象・ 環境条件 (附属書B)

7. 生活環境の状態設定 (附属書J)

7.1 状態設定の考え方

7.2 被ばく経路の設定

8. 各シナリオの安全評価の実施手順

8.1 廃止措置の開始までの安全評価 (附属書D, E)

8.2 廃止措置の開始後の安全評価 (附属書D, E, G, H, I, K, L, M, N, P)

8.3 その他の評価 (附属書D, Q)

8.4 評価パラメータ (附属書O)

9. 品質保証

標準の構成(附属書)

- 附属書A (参考) 中深度処分の概念
- 附属書B (参考) 自然事象シナリオの考え方及び設定例
- 附属書C (参考) 安全評価上重要な放射性核種
- 附属書D (参考) 処分システムにおける放射性物質の移動の評価方法
- 附属書E (参考) 被ばく経路ごとの被ばく線量の評価方法
- 附属書F (参考) 地下水シナリオにおける主要パラメータの感度解析例
- 附属書G (参考) 中深度処分の主要なバリア機能に対する要因分析の例
- 附属書H (参考) 中深度処分の基本FEPリスト
- 附属書I (参考) 中深度処分における処分システムの状態変化の例
- 附属書J (参考) 生活環境の状態設定及び被ばく経路の設定例
- 附属書K (参考) 地下水シナリオの線量評価例
- 附属書L (参考) ガスシナリオの線量評価例
- 附属書M (参考) 廃棄物埋設地と公衆との接近を仮定したシナリオの線量評価例
- 附属書N (参考) ボーリングシナリオの線量評価例
- 附属書O (参考) 被ばく経路に関係する核種依存パラメータ及び線量評価試算に用いた廃棄物埋設地のパラメータ
- 附属書P (参考) 確率論的アプローチを活用した処分システムの性能評価の方法論
- 附属書Q (参考) その他の評価への適用例

標準の構成(解説)

1 制定, 改定の趣旨

2 制定, 改定の経緯

2.1 LLW処分安全評価分科会の設置

2.2 LLW処分安全評価分科会での検討経緯

2.3 専門部会での検討経緯

2.4 標準委員会での検討経緯

2.5 公衆審査での意見及び対応

2.6 最終制定に至る経緯のまとめ

3 審議中問題となった事項など

3.1 設計プロセスとの関係

3.2 最新知見の取り込み

3.3 標準の位置付け

3.4 処分の安全確保の全体像におけるこの標準の位置付け

4 適用範囲について

5 本体, 附属書の解説

5.1 用語及び定義

5.2 安全評価の考え方

5.3 安全評価における考慮事項

5.4 処分システムの状態設定

5.5 生活環境の状態設定

5.6 各シナリオの安全評価の実施手順

5.7 品質保証

6 懸案事項

7 その他の事項

7.1 国内における最近の動向

7.2 国外における最近の動向

序文、1. 適用範囲

▶ 序文(目的)

低レベル放射性廃棄物の中深度処分の安全評価の実施方法を示すことによって、合理的で信頼性のある安全評価を行うことができるようにすること

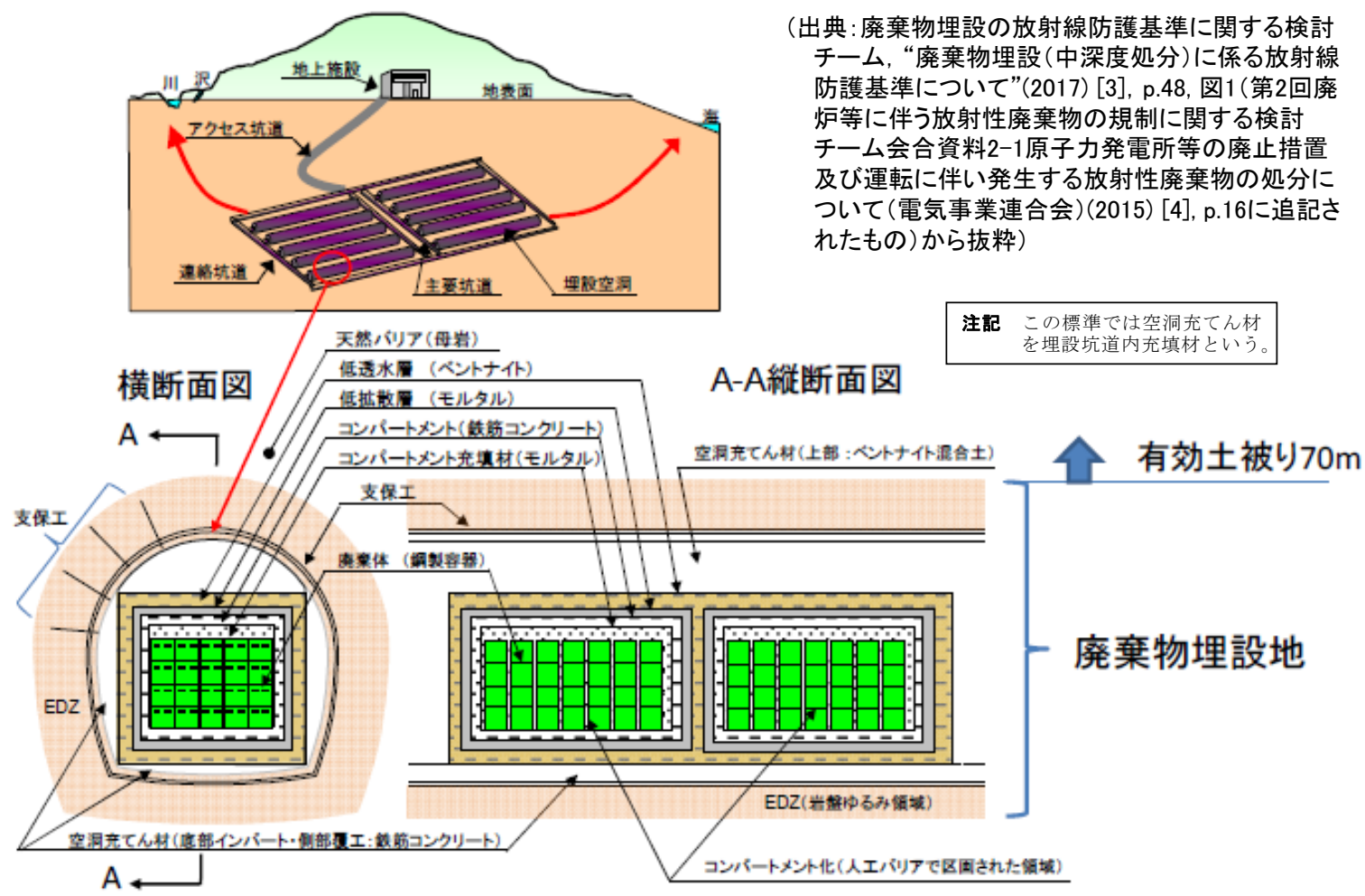
▶ 適用範囲

この標準は、“**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年原子力規制委員会規則第30号)、令和3年10月21日施行(令和3年原子力規制委員会規則第3号による改正)”[1](以下、許可基準規則という。)及び“**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の解釈**(制定 平成25年11月27日 原管廃発第1311277号 原子力規制委員会決定、改正 令和3年9月29日 原規規発第2109292号 原子力規制委員会決定)”[2](以下、許可基準規則解釈という。両者を指すときは許可基準規則・解釈という。)が適用される廃棄物埋設施設のうち、中深度処分に起因する公衆の被ばく線量を評価する場合に適用する。そのため、安全評価の考え方、安全評価における考慮事項、処分システムの状態設定、被ばく経路及び各シナリオの安全評価の実施手順をガイドとして示すものである。

この標準の手法は、定期的な評価等¹⁾にも適用することが可能である。

注¹⁾ 3.2に定義を記載

附属書A 中深度処分概念(1)



4.1 安全確保の考え方

- ▶ 炉内等廃棄物の処分を行うに当たっては、数万年を超える長期間にわたって炉内等廃棄物を起因とする放射線による影響から公衆及び生活環境を防護する。
- ▶ 数万年を超える長期間にわたって公衆及び生活環境を防護するための根幹的な対策として、廃棄物と公衆との離隔に有効と考えられる深度へ廃棄物を埋設し、自然事象及び人為事象による廃棄物へのじょう乱(擾乱)等を防ぐとともに、天然バリアが有する物理的及び化学的な特性、並びに天然バリアへの放射性物質の漏出の防止及び低減の機能を有する人工バリアを活用することによって、埋設された廃棄物からの放射性物質の漏出及び生活環境への移動を抑制する。炉内等廃棄物に必要となる離隔のための深度及び閉じ込めの程度は、総放射能、長半減期核種の濃度等に見合ったものとし、深度は浅地中処分よりも深いものとする。
- ▶ 人間侵入に対しては、深度の確保による廃棄物と公衆との離隔によって発生可能性を低減することが根幹的な対策であるが、更に国による特定行為の制限制度によって防止する。
- ▶ このような安全確保のために処分システムの構成要素に期待する安全機能は、漏出の防止・低減、移動抑制、離隔などに集約される。

4.2 安全評価の基本的考え方

- ▶ 放射性廃棄物処分に対する安全評価の基本は、サイト固有の条件、安全を確保するための人工バリア、保安措置などの対策を踏まえ、人間に健康影響を及ぼす可能性のある様々な現象を考慮した適切なシナリオを設定して評価を行い、その評価結果が、規制基準に定められた安全性の判断基準を満足していることを示すことである。
- ▶ また、放射性物質の移動を抑制する性能に優れた設計を評価するための手法としてこの安全評価手法を用いることが可能である。

4.5 安全評価の分類

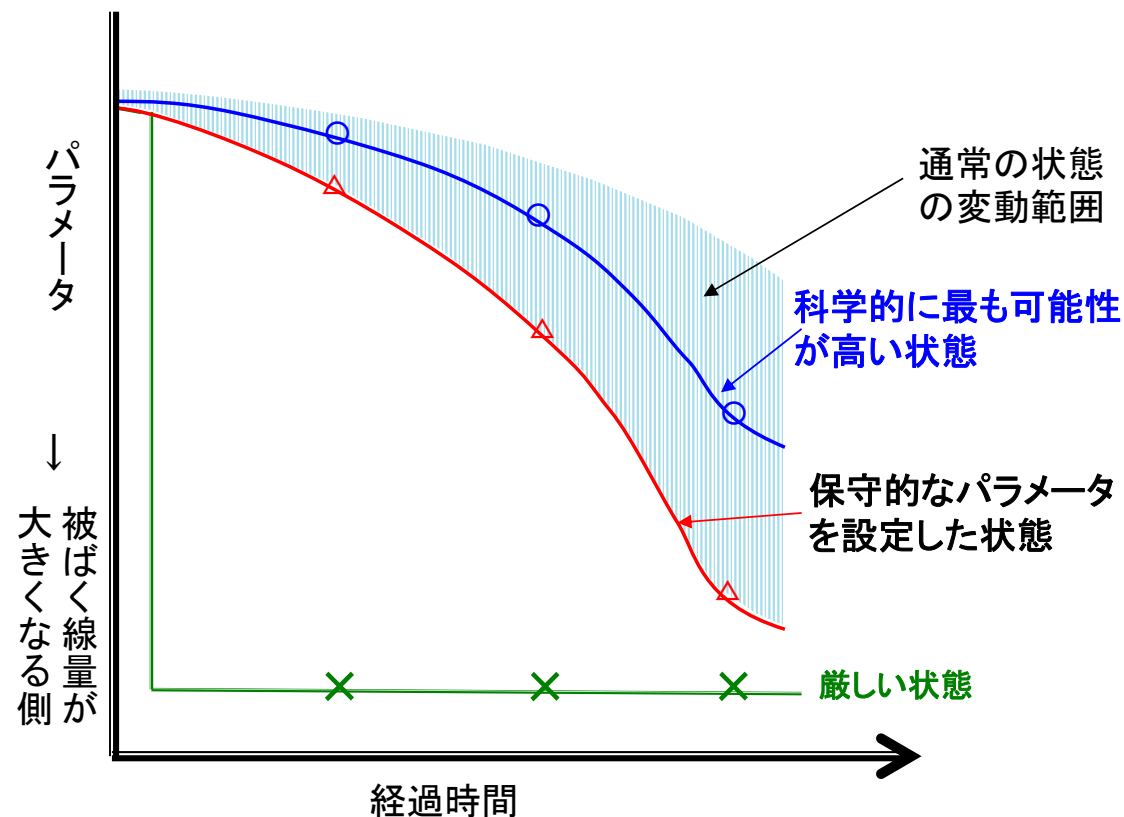
安全評価の区分		安全評価の概要
廃止措置の開始まで	平常時評価	平常時における廃棄物埋施設からの直接ガンマ線、スカイシャインガンマ線及び環境への放射性物質の放出によって公衆の受ける線量を評価する。(第8条第1項)
	異常時評価	廃棄物埋施設に異常が発生した場合においても事業所周辺の公衆に放射線障害を及ぼさないものであることを確認するために、異常時における公衆の受ける線量を評価する。(第11条第1項)
廃止措置の開始後	自然事象シナリオの評価	【厳しい状態】(第12条第8項) ① 被ばくに至る経路は、放射性廃棄物に含まれる主要な放射性物質が廃棄物埋設地の外へ移動し、更に天然バリア中を移動して生活環境に至るまでの経路及び生活環境において公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について、科学的に合理的な範囲において最も厳しいものを選定する。 ② 人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは、科学的に合理的な範囲における組み合わせのうち最も厳しい設定とする。 【通常の状態(保守的な状態)】(第12条第9項) ① 被ばくに至る経路は、放射性廃棄物に含まれる主要な放射性物質が廃棄物埋設地の外へ移動し、更に天然バリア中を移動して生活環境に至るまでの経路及び生活環境において公衆が被ばくするまでの主要な放射性物質の経路について、最も可能性が高い、又は保守的な設定とする。 ② 人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは、不確実性を考慮した上で科学的に通常起こり得る範囲(通常の状態)において保守的な設定とする。ただし、当該範囲を定められない場合は、科学的に合理的な範囲で最も厳しい設定とする。 【通常の状態(最も可能性が高い状態)】(第12条第9項) 通常の状態において、人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータの設定を最も可能性が高いものとする。
	人為事象シナリオ(ボーリングシナリオ)の評価	廃止措置の終了直後における一回の鉛直方向のボーリングによって廃棄物埋設地が損傷し、人工バリアによって区画された領域のうち、区画別放射エネルギーが最も多くなる区画の放射性物質が漏えいすることを仮定した設定に基づき、公衆の受ける線量を評価する。(第12条第8項)
	接近シナリオの評価	廃止措置の開始後から数10万年を経過するまでの間において海水準変動に伴う侵食の影響を受けるおそれがある場所に廃棄物埋設地を設置する場合には、廃止措置の開始後から10万年が経過した時点において、放射性廃棄物、人工バリア、土砂その他の廃棄物埋設地に埋設され、又は設置された物が混合したものと公衆との接近を仮定した設定に基づき、公衆の受ける線量を評価する。(第12条第8項)

4.6 廃止措置の開始後の安全評価シナリオの構成

安全評価シナリオ	人工バリア	天然バリア	生活環境	評価対象個人 ^{b)}	目安線量
自然事象シナリオ ^{a)} (通常の状態(最も可能性が高い状態))	最も可能性が高い状態	最も可能性が高い状態	最も可能性が高い又は保守的な経路	一般的な生活様式の公衆(現実的な値)	— ^{c)}
自然事象シナリオ ^{a)} (通常の状態(保守的な状態))	保守的な状態	保守的な状態	最も可能性が高い又は保守的な経路	一般的な生活様式の公衆(現実的な値)	おおむね 100 μ Sv/年 ^{d)}
自然事象シナリオ ^{a)} (厳しい状態)	科学的に合理的な範囲における組合せのうち最も厳しい設定		最も厳しい経路	一般的な生活様式の公衆(保守的な値)	300 μ Sv/年 ^{e)}
ボーリングシナリオ ^{d)}	様式化された状態	様式化された状態	様式化された経路	様式化された公衆(保守的な値)	20 mSv/年 ^{e)}
接近シナリオ ^{d)}	様式化された状態		様式化された経路	様式化された公衆(保守的な値)	20 mSv/年 ^{e)}
注^{a)} 自然事象シナリオでは、地下水及びガスによる放射性物質の移動による被ばくを考慮する。 注^{b)} 自然事象シナリオの評価対象個人は、廃棄物埋設地周辺の人々の生活様式等を代表する一般的な生活様式の公衆とし、通常の状態では、統計等に基づき現実的な値を、厳しい状態では、統計等に基づき保守的な値を設定する。ボーリングシナリオ及び接近シナリオでは、様式化された評価対象個人とし、保守的な値を設定する。 注^{c)} 処分システムの科学的に可能性が高い状態の年当たりの線量が小さい設計を基本としつつ、設計の信頼性を考慮して選定するALARA (As Low As Reasonably Achievable) のための評価であるので、目安の数値はない。 注^{d)} 審査ガイド [7]による。様式化された状態、被ばく経路及び評価対象個人も同審査ガイド [7]に示されている。 注^{e)} 許可基準規則・解釈 [1],[2]による。					

附属書B 審査ガイド案における状態の定義

状態	定義
通常の状態	現在のデータ及び知見に基づき、長期間の評価における不確実性を考慮して、処分システムにおいて合理的と考えられる範囲で通常起こり得る種々の状態と定義する。
通常の状態 で 保守的にパラ メータを設定 した状態	通常の状態で保守的にパラメータを設定した状態は、事業者が、十分なデータ及び知見に基づき、設計、品質保証等によってこれより性能が劣化した状態にはならないことを示すものである。
厳しい状態	“通常の状態”で考慮した不確実性に加え、現在のデータ及び知見で不十分な点がある可能性を考慮して、処分システムにおいて合理的と考えられる範囲で起こり得る人工バリア構成要素及び天然バリアの中の一つのバリア性能の著しく劣化した状態と定義する。



5. 安全評価における考慮事項

5.1 評価対象核種の選定方法(附属書C)

- 1) 対象廃棄物中の放射性核種の網羅的な抽出
- 2) 抽出した放射性核種の対象廃棄物中の放射能濃度又は放射能の推定
- 3) 被ばく線量への影響度の推定
- 4) 重要な放射性核種の選定

5.2 廃止措置の開始までにおける考慮事項

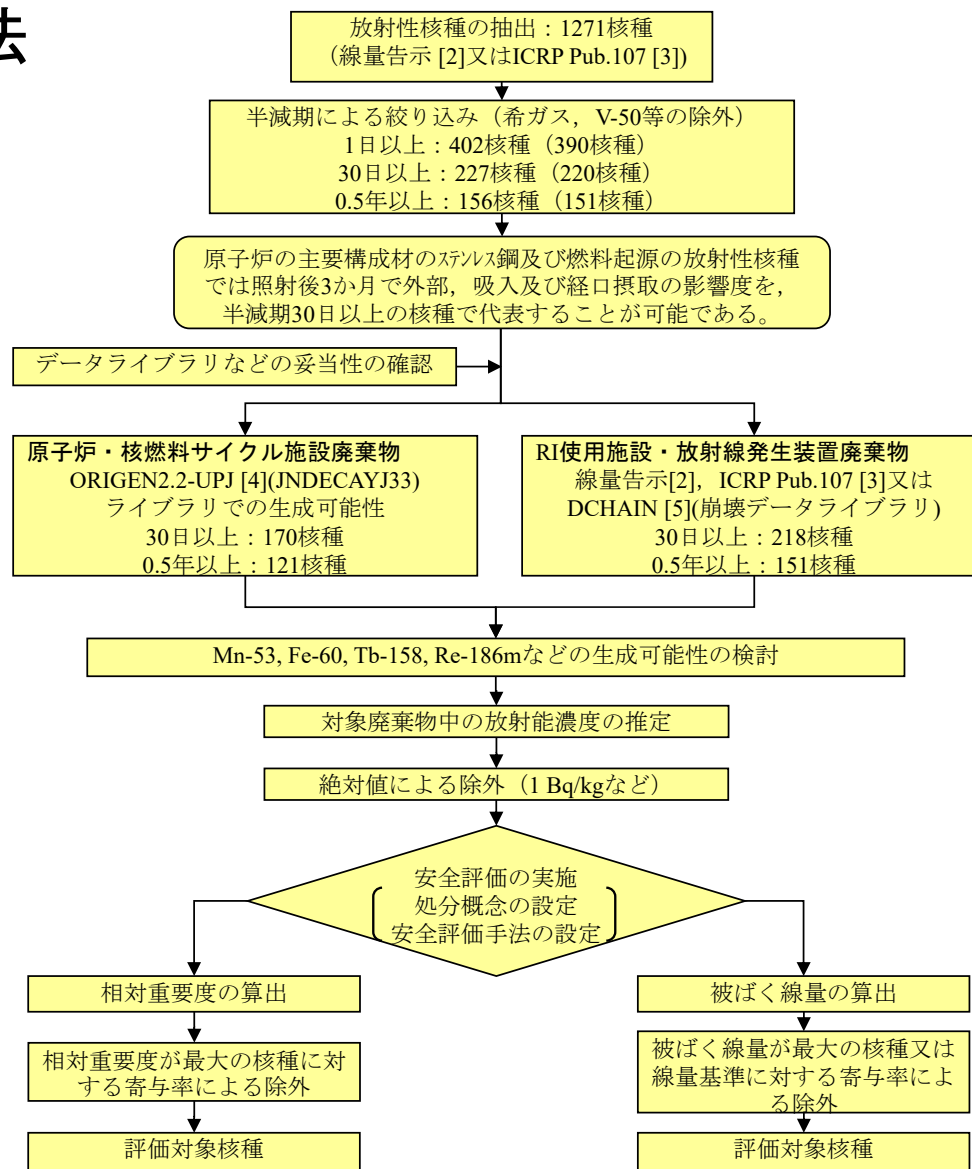
- 平常時評価
- 異常時評価

5.3 廃止措置の開始後における考慮事項(附属書B)

- 天然バリアの状態
- 人工バリアの状態
- 生活環境の状態
- 放射性物質の生活環境への移動(附属書D)
- 被ばく経路(生活環境, 被ばく形態, 職業)(附属書E)

附属書C 評価対象核種の選定方法

- 1) 対象廃棄物中の放射性核種の網羅的な抽出
- 2) 抽出した放射性核種の対象廃棄物中の放射能濃度又は放射能の推定
- 3) 被ばく線量への影響度の推定
- 4) 重要な放射性核種の選定



附属書D 処分システムにおける放射性物質の移動の評価方法

表D.1－適用する放射性物質の移動モデル

放射性物質の移動モデル	適用する主な移動経路
a)大気中の移動	・廃棄物埋施設からの排気による放射性物質の放出（放出がある場合） ・廃棄物からの放射性ガスの放出 ・力学的要因による廃棄物破損が原因の放射性物質の放出（廃棄物取扱い時の事故など） ・廃棄物の腐食又は分解によって生成した放射性ガスの移動 ・廃棄体内残存放射性ガスの移動
b)地下水による移動	・廃棄物埋設地からの地下水による移動
c)河川水などへの移動（河川水などの放射性物質の濃度）	・廃棄物埋施設からの排水による放射性物質の放出（放出がある場合） ・廃棄物埋設地からの地下水による移動 ・地表又は帯水層と廃棄物埋設地との短絡経路形成（ボーリング）
d)廃棄物埋設地内間隙水の生活環境への短絡	・地表又は帯水層と廃棄物埋設地との短絡経路形成（ボーリング）
e)河川水などから周辺土壌、沈殿物への移動	・河川岸などの土壌への放射性物質の移動 ・湖沼沈殿物への放射性物質の移動
f) ガスの生成	・廃棄物の腐食又は分解による放射性ガスの生成 ・廃棄物の腐食、分解又は水の放射線分解による水素ガスなどの生成
g)ガスの移動	・ガスの大気中への移動
h)ガスによる廃棄物埋設地の損傷、間隙水押出し	・水素ガスなどの発生による容器又は廃棄物埋設地の損傷及び間隙水の押出し
i) 混合土壌の放射能濃度	・接近シナリオの評価に用いる放射能濃度

附属書E 被ばく経路ごとの被ばく線量の評価方法

表E.1－放射性物質の移動及び被ばく線量評価モデル並びに適用する主な被ばく経路

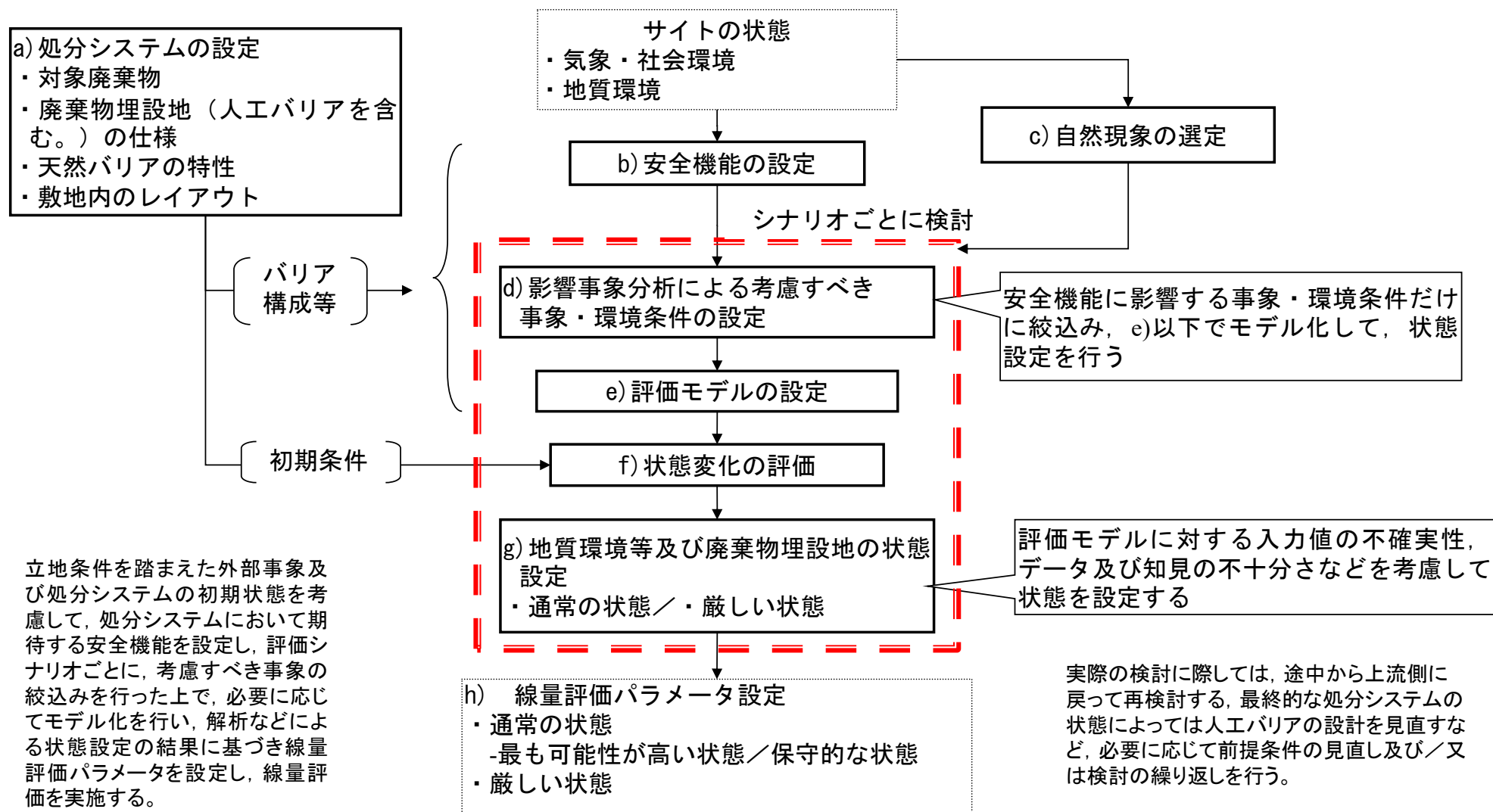
放射性物質の移動及び被ばく線量評価モデル	適用する主な被ばく経路
a) 大気中粒子の地表への沈着蓄積	・廃棄物からの排気による周辺居住者の被ばく
b) 大気中粒子の植物への沈着蓄積	・廃棄物埋設施設からの排気による周辺農畜産物摂取者の被ばく
c) かんがい水から土壌への移動	・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した河川水などのかんがい利用による農業者又は農作物摂取者の被ばく
d) 土壌から植物への移動	・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した河川水などのかんがい利用による農作物摂取者の被ばく ・土地利用における居住者の被ばく(家庭菜園) ・土地利用(農耕)における農作物摂取者の被ばく
e) 飼育水から畜産物への移動	・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した河川水などの飼育水利用による畜産物摂取者の被ばく
f) 植物から畜産物への移動	・廃棄物埋設施設からの排気による周辺農畜産物摂取者の被ばく
g) 河川水などから水産物への移動	・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した河川水などの水産物摂取者の被ばく
h) 土壌から大気中への移動	・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した河川水などのかんがいによる農業者の被ばく ・土地利用における建設作業者の被ばく ・土地利用における居住者の被ばく
i) 放射性ガスの大気中への移動	・放射性ガスの土壌からの放出による跡地居住者の被ばく
j) 直接線による外部被ばく	・廃棄物からの放射線による周辺居住者の被ばく
k) スカイシャインによる外部被ばく	・廃棄物からの放射線による周辺居住者の被ばく

放射性物質の移動及び被ばく線量評価モデル	適用する主な被ばく経路
l) 土壌からの外部被ばく	・廃棄物埋設施設からの排気による周辺居住者の被ばく ・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した河川水などのかんがい利用による農業者の被ばく ・土地利用における建設作業者の被ばく ・土地利用における居住者の被ばく
m) 吸入による内部被ばく	・廃棄物埋設施設からの排気による周辺居住者の被ばく ・廃棄物からの放射性ガスの放出による周辺居住者の被ばく ・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した河川水などのかんがい利用による農業者の被ばく ・土地利用における建設作業者の被ばく ・土地利用における居住者の被ばく
n) 食物/飲料水摂取による内部被ばく	・廃棄物埋設施設からの排気による周辺農畜産物摂取者の被ばく ・廃棄物埋設施設からの排水又は廃棄物埋設地から地下水によって放射性物質が移動した次の対象者の被ばく －河川水などの水産物摂取者の被ばく －河川水などの飲用者の被ばく －かんがい農作物摂取者の被ばく －飼育水利用による畜産物摂取者の被ばく ・土地利用における居住者の被ばく(家庭菜園) ・土地利用(農耕)における農作物摂取者の被ばく ・廃棄物埋設地近傍井戸水飲用者の被ばく

6.1 処分システムの状態設定の考え方

- ▶ 安全評価シナリオは、処分システム及び生活環境の状態設定に応じて構築する。
 - ▶ 処分システムの状態設定は、廃棄物埋設地周囲の環境の長期変動事象を踏まえた状態変化及び廃棄物埋設地の物理的・化学的状态の長期的な変化を考慮する。
 - ▶ 具体的には、立地点の環境並びに廃棄体及び廃棄物埋設地の特性を考慮し、将来の天然バリア及び人工バリアの物理的・化学的状态を数値解析などによって推定し、線量評価に用いる評価パラメータを設定するのがよい。
 - ▶ 安全評価モデルの構築及び安全評価パラメータの設定に際しては、その科学的蓋然性について考慮する。
 - ▶ 物理的・化学的状态の評価に当たっては、次に示す事象及び環境条件(温度(熱); Thermal, 水理; Hydraulic又はHydrological, 力学; Mechanical, 化学; Chemical及び放射線; Radiologicalの五つを併せてTHMCRという。)を考慮する。
- a) 温度(熱)(T)
 - ▶ 処分システムの温度の設定に当たっては、地表気温、地温勾配、廃棄物埋設地の深度などを踏まえつつ、廃棄体からの発熱も考慮して設定する。
 - b) 水理(H)
 - ▶ 処分システムの水理、すなわち地下水の流速・流向などの地下水の流動状況は、廃棄物埋設地周囲の水理地質構造、及び地形、地形変化、海水準、海水準変動、かん(涵)養量、降水量などに基づく広域の水理特性を踏まえて設定する。
 - c) 力学(M)
 - ▶ 処分システムの力学的な変化は、廃棄物埋設地に作用する外部応力、内部応力、地震動などを考慮して評価する。
 - d) 化学(C)
 - ▶ 処分システムの地下水の化学環境は、地下水の水質、特にpH、酸化還元電位並びに廃棄物埋設地構成材料の化学的変質に寄与する成分の有無及び量について設定することが望ましい。その際、廃棄物及び廃棄物埋設地自体の変化とともに、それらが地下水の化学的特性に及ぼす影響についても考慮する。
 - e) 放射線(R)
 - ▶ 廃棄物埋設地の放射線環境は、廃棄体の放射能及び廃棄物埋設地の構成を考慮して設定することが望ましい。放射線は、水素ガスの発生、地下水の水質などに影響を及ぼすことに留意する。

6.2 状態設定の手順(図1)



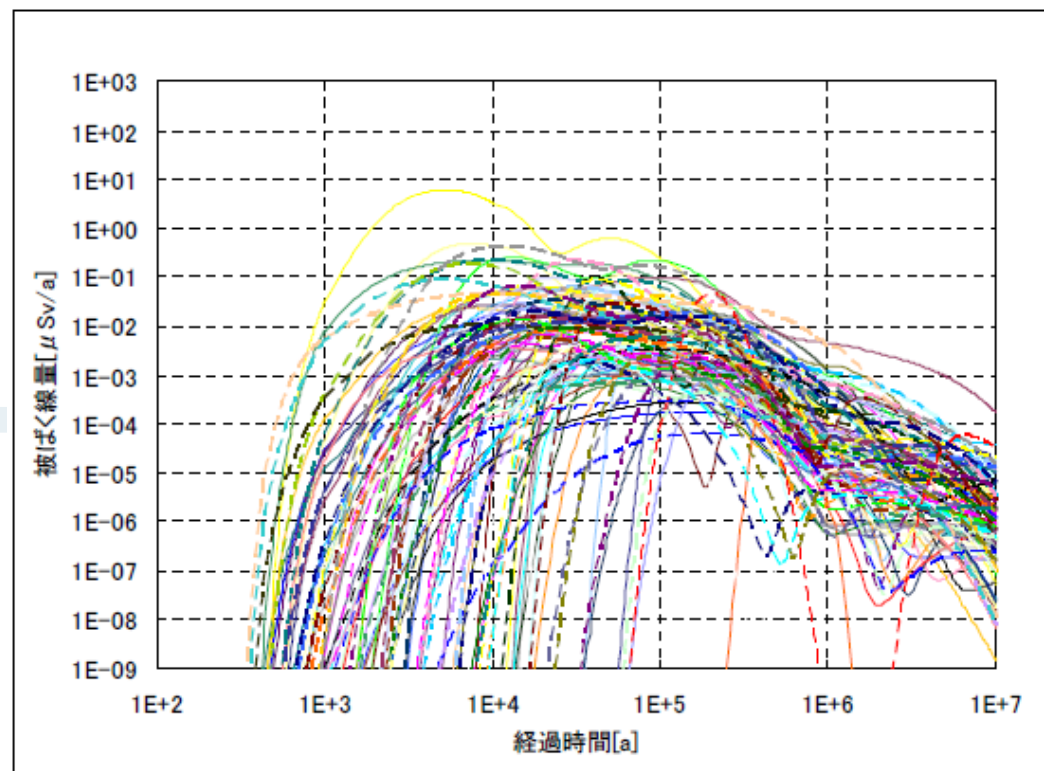
附属書F 地下水シナリオにおける主要パラメータの感度解析例(1)

表F.1－感度解析のための主要なパラメータの基準値

パラメータ		感度解析のための基準値	備考
施設浸入水量	m ³ /a	0.06	附属書Kによる
溶出率 (全廃棄物に一律に設定)	1/a	3.3×10^{-5}	溶出率を適用し難い廃棄物の存在を考慮し、附属書Kより1桁大きな値に設定
岩盤中移動距離	m	200	附属書Kにおける施設近傍の岩盤中の移動距離に設定
モルタル拡散係数	m ² /s	1×10^{-12}	附属書K参照 劣化部割合は拡散係数に含めて設定
地下水実流速	m/a	0.1	附属書K参照
廃棄体K _d	m ³ /kg	附属書K参照	事例評価のための設定値 なお、廃棄体、ピット、モルタルの分配係数はセメント系材料として一律に設定
コンクリートピットK _d	m ³ /kg		
モルタルK _d	m ³ /kg		
ベントナイトK _d	m ³ /kg		
岩盤K _d	m ³ /kg	附属書K参照	
地表水希釈水量	m ³ /a	1×10^8	附属書K参照

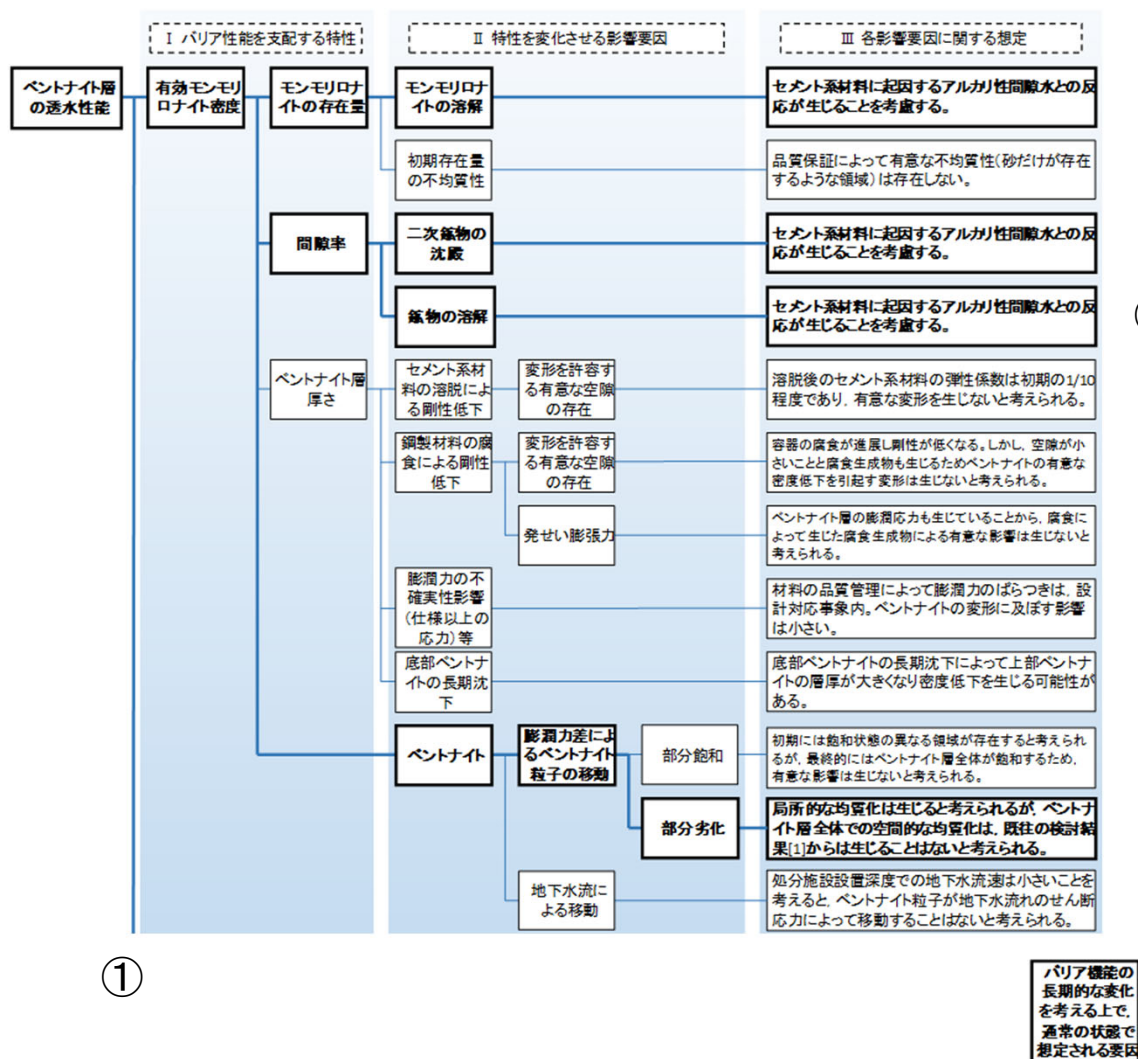
注記1 上記の主要なパラメータ以外の設定は附属書Kに示す一定の値とした。なお、分配係数については、附属書Kでの設定値が0の場合には、0.000 1を仮定した。

注記2 aはannum(年)を意味し、y(year)と同義である。被ばく線量の計算においては1年を365日、365.242 2日、365.25日などとするが、計算に用いた数値を明記する。

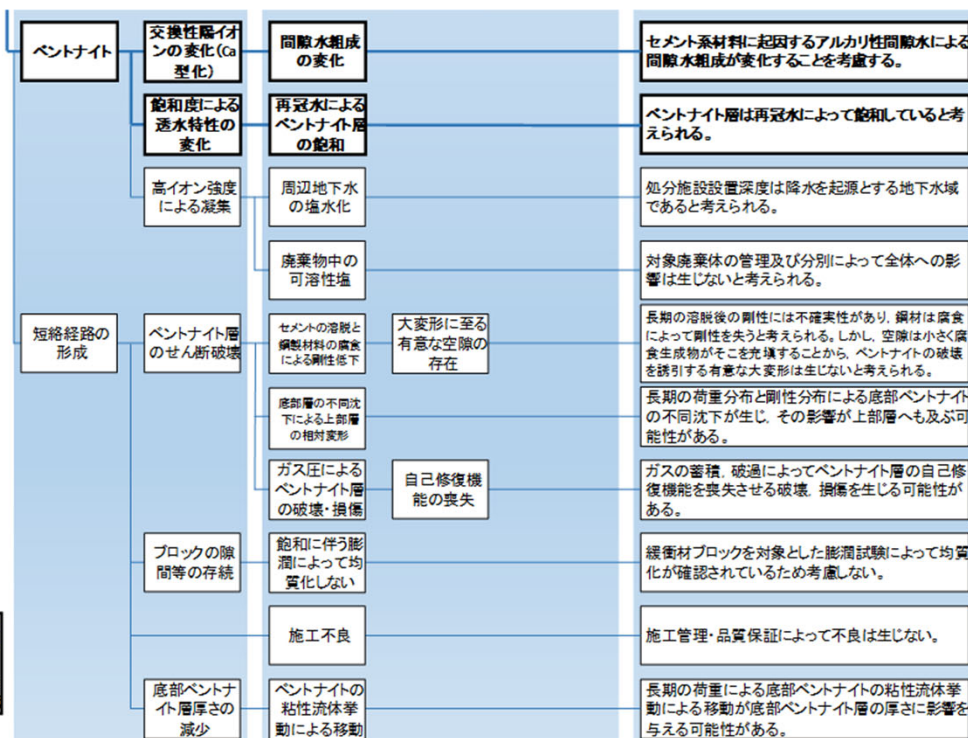


注記 1.0E+01は 1.0×10^1 ，1.0E-02は 1.0×10^{-2} を意味する。
図F.1－確率論的解析手法を用いた線量評価の感度解析結果の一部

附属書G 中深度処分の主要なバリア機能に対する要因分析の例



①から続く

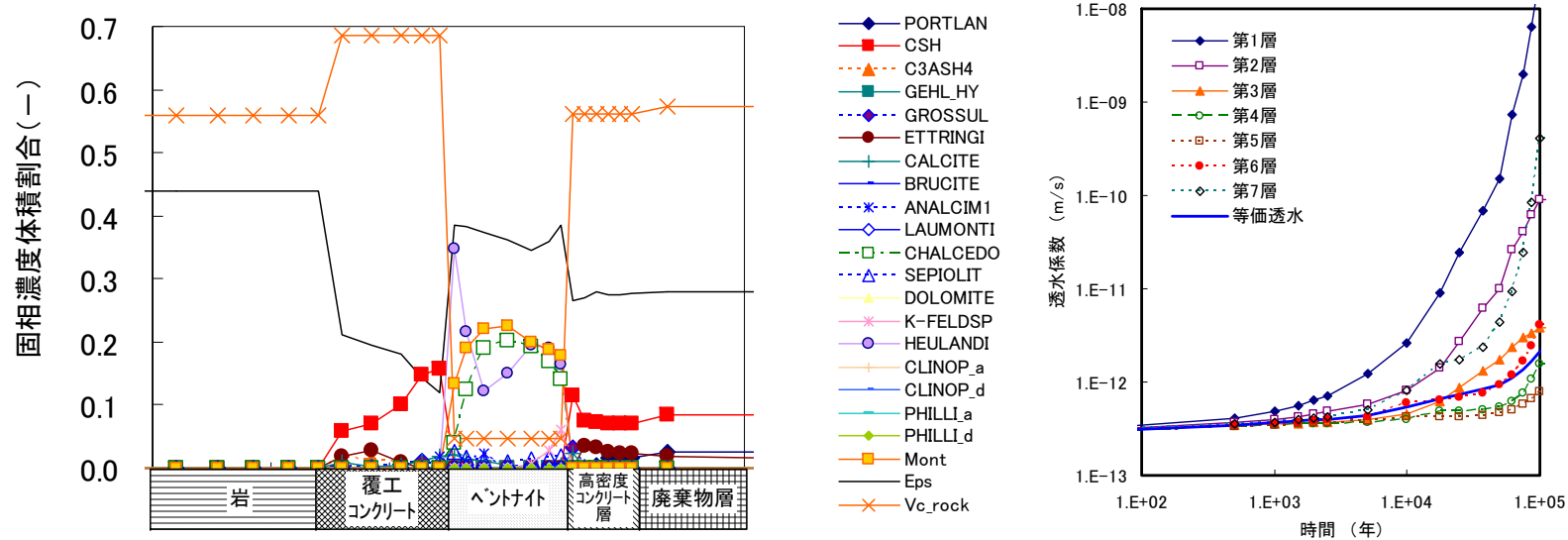
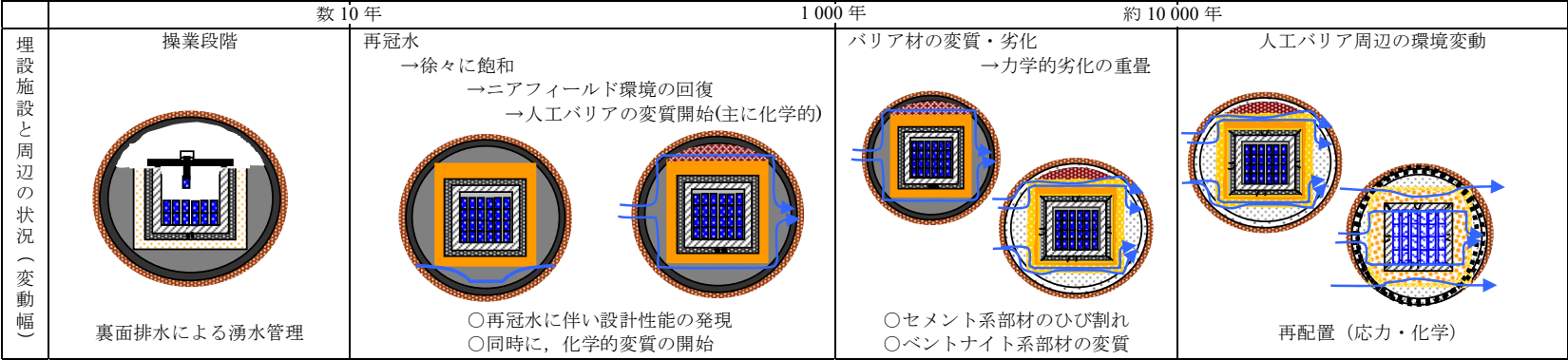


附属書H 中深度処分の基本FEPリスト

表H.1－中深度処分における人工バリアに関する基本FEPリストの例

特性	構成要素		
	廃棄体	セメント系バリア	ベントナイト系バリア
温度	W1.1 熱特性 W1.2 温度 W1.3 崩壊熱	CM1.1 熱特性 CM1.2 温度 CM1.3 水和熱	B1.1 熱特性 B1.2 温度
水理	W2.1 水理特性 W2.2 地下水流動 W2.3 飽和	CM2.1 水理特性 CM2.2 地下水流動 CM2.3 飽和	B2.1 水理特性 B2.2 地下水流動 B2.3 飽和
力学	W3.1 力学特性 W3.2 応力 W3.3 破壊及びひび割れ W3.4 変形	CM3.1 力学特性 CM3.2 応力 CM3.3 破壊及びひび割れ CM3.4 変形	B3.1 力学特性 B3.2 応力 B3.3 膨潤 B3.4 変形 B3.5 流出
化学	W4.1 化学特性 W4.2 地下水化学 W4.3 地下水との反応 W4.4 化学的変質 W4.5 微生物の影響 W4.6 有機物の影響 W4.7 コロイドの形成 W4.8 ガスの発生・影響 W4.9 塩の蓄積 W4.10 腐食生成物の生成	CM4.1 化学特性 CM4.2 地下水化学 CM4.3 地下水との反応 CM4.4 化学的変質 CM4.5 微生物の影響 CM4.6 有機物の影響 CM4.7 コロイドの形成 CM4.8 ガスの発生・影響 CM4.9 塩の蓄積 CM4.10 腐食生成物の生成	B4.1 化学特性 B4.2 地下水化学 B4.3 地下水との反応 B4.4 化学的変質 B4.5 微生物の影響 B4.6 有機物の影響 B4.7 コロイドの形成 B4.8 ガスの発生・影響 B4.9 塩の蓄積
放射線	W5.1 核種の放射性崩壊 W5.2 地下水の放射線分解	CM5.1 核種の放射性崩壊 CM5.2 地下水の放射線分解	B5.1 核種の放射性崩壊 B5.2 地下水の放射線分解
物質移動	W6.1 インベントリ W6.2 物質移動特性 W6.3 幾何形状・間隙構造 W6.4 放射性物質の移動 W6.5 化学成分の移動	CM6.1 物質移動特性 CM6.2 幾何形状・間隙構造 CM6.3 放射性物質の移動 CM6.4 化学成分の移動	B6.1 物質移動特性 B6.2 幾何形状・間隙構造 B6.3 放射性物質の移動 B6.4 化学成分の移動

附属書I 中深度処分における処分システムの状態変化の例



7 生活環境の状態設定 7.1 状態設定の考え方

生活環境の中の自然環境は、処分システムの状態設定との整合性を考慮して設定する。

最も厳しい自然事象シナリオでは、現在の生活様式を考えて**合理的に保守的でもっともらしい仮定**に基づく人間活動を設定する。ここで、“現在の生活様式”は、最新の統計、調査及び文献（以下「統計等」という。）に基づくことを基本とし、過去の統計等によって傾向、特異点の有無等も考慮する。人間活動に係るパラメータ設定は、**統計等に基づき保守的な値を設定**するものとし、当該パラメータを統計等に基づいて設定することが困難な場合は、線量が最も厳しくなる保守的な値を用いる。（原子力規制庁審査方針[9]）

最も可能性が高い自然事象シナリオでは、現在の生活様式を考えて**現実的でもっともらしい仮定**に基づく人間活動を設定する。また、人間活動に係るパラメータ設定は、**統計等に基づき現実的な値を設定**するものとし、当該パラメータを統計等に基づいて設定することが困難な場合は、当該パラメータの特性を踏まえて現実的と考えられる値を用いることを原則とする。（原子力規制庁審査方針[9]）

保守的な自然事象シナリオでは、**最も可能性が高い自然事象シナリオ又は最も厳しい*自然事象シナリオの人間活動及びパラメータ**を設定する。*

ボーリングシナリオ及び接近シナリオでは、様式化された公衆を評価対象個人とする。

（解説）

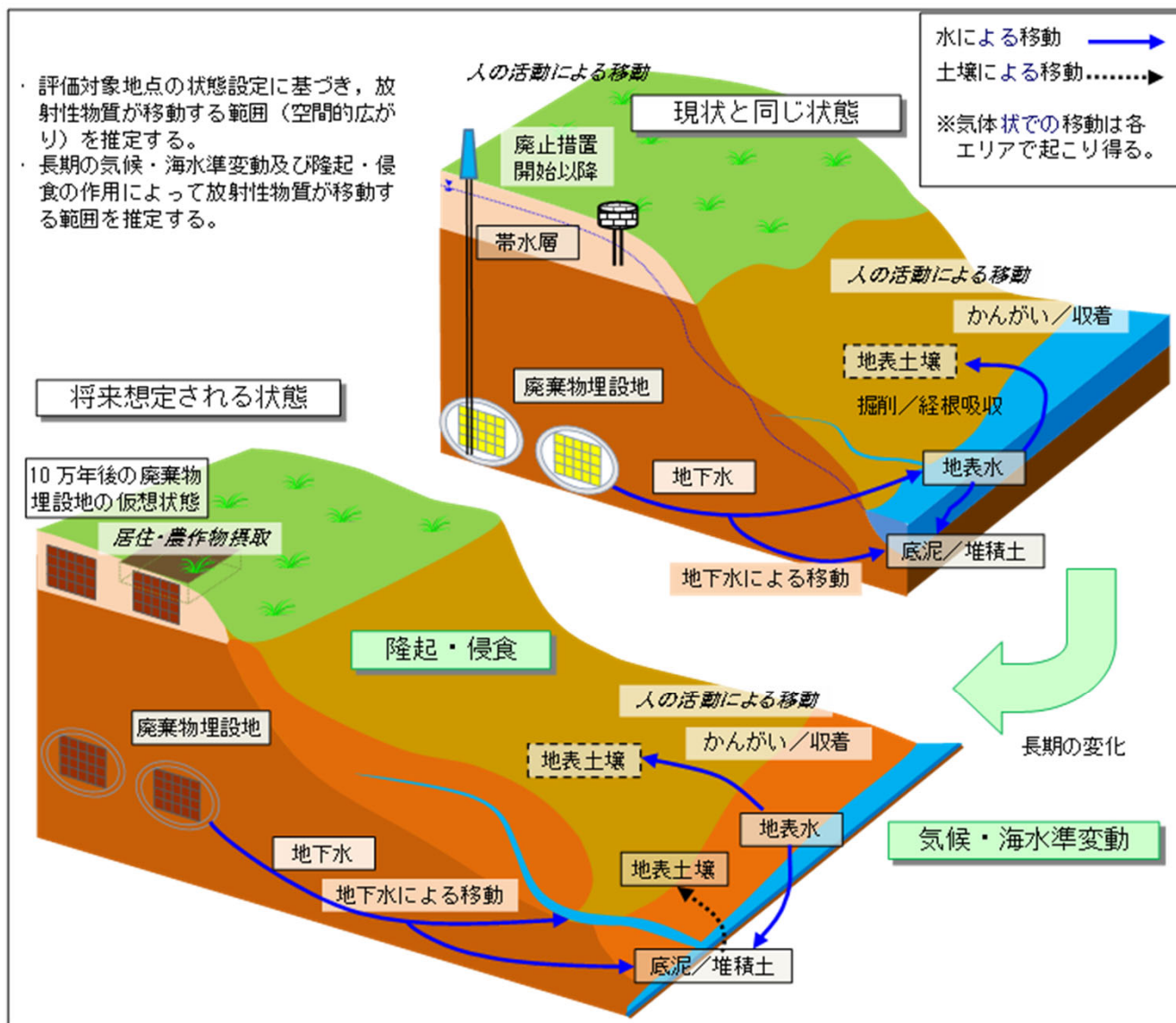
“一つの設計案について、保守的な状態で放射性物質の移動を評価し、最も可能性が高い又は保守的な被ばく経路の評価対象個人の被ばく線量を評価するのがよい。”において、被ばく経路について“最も可能性が高い又は保守的な”の二つの選択肢を示しているのは、許可基準規則解釈[2]第12条9の記載に合わせたものである。この評価は中深度処分の廃止措置終了後の線量評価の不確実性が大きい

ことを踏まえ、実行可能な範囲でできる限り低減することを目的として、複数の設計の案を比較検討し、放射性物質の移動を抑制する性能に優れた設計を策定するために実施するものである。被ばく経路は埋設施設の設計とは必ずしも直接関係しないので、原則として最も可能性が高い被ばく経路を設定すればよいが、その設定が難しい場合は保守的に設定すればよいと解釈した。[9],[29]”

[9] 前田敏克，大村哲臣，青木広臣，木嶋達也，田中知，“中深度処分の規制基準の背景及び根拠”，NRA 技術ノート，NTEN-2022-0001，(2022)。

[29] 原子力規制庁，“中深度処分に係る規制基準等における要求事項に対する科学的・技術的意見の募集の結果について”，令和2 年度第40回原子力規制委員会資料1，令和2 年11 月25 日，pp.18-20，(2020)。

附属書J 生活環境の状態設定及び被ばく経路の設定例



図J.4－放射性物が移動する範囲

8 各シナリオの安全評価の実施手順

8.1 廃止措置の開始までの安全評価

附属書D 処分システムにおける放射性物質の移動の評価方法

附属書E 被ばく経路ごとの被ばく線量の評価方法

8.2 廃止措置の開始後の安全評価

a) 自然事象シナリオ

中深度処分における廃棄物埋設地の廃止措置後の保全に関する措置を必要としないための設計プロセス及び公衆の被ばく線量評価に係る審査ガイド骨子案”[13](規制要求及びその考え方)

箇条6 処分システムの状態設定

附属書B 自然事象シナリオの考え方及び設定例

附属書G 中深度処分の主要なバリア機能に対する要因分析の例

附属書H 中深度処分の基本FEPリスト

附属書I 中深度処分における処分システムの状態変化の例

箇条7 生活環境の状態設定

附属書J 生活環境の状態設定及び被ばく経路の設定例

附属書D 処分システムにおける放射性物質の移動の評価方法

附属書E 被ばく経路ごとの被ばく線量の評価方法

附属書K 地下水シナリオの線量評価例

附属書L ガスシナリオの線量評価例

附属書P 確率論的アプローチを活用した処分システムの性能評価の方法論

b) ボーリングシナリオ（附属書N ボーリングシナリオの線量評価例）

c) 接近シナリオ（附属書M 廃棄物埋設地と公衆との接近を仮定したシナリオの線量評価例）

8.3 その他の評価（附属書Q その他の評価への適用例）

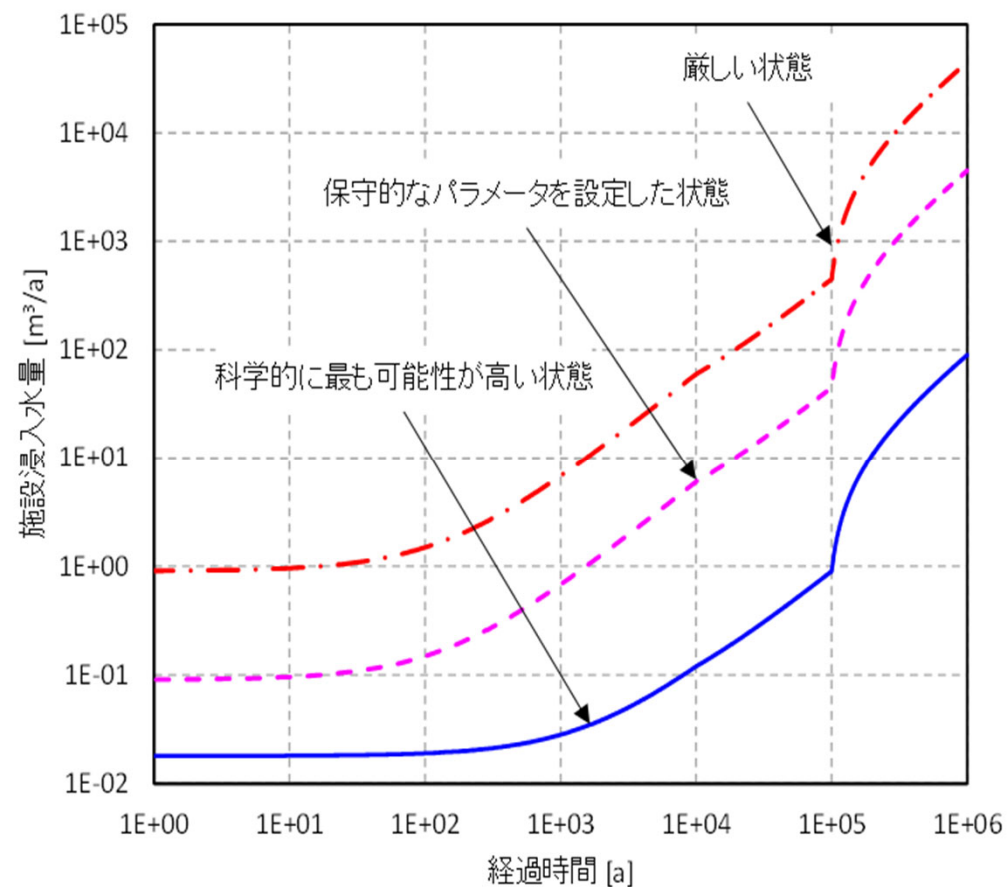
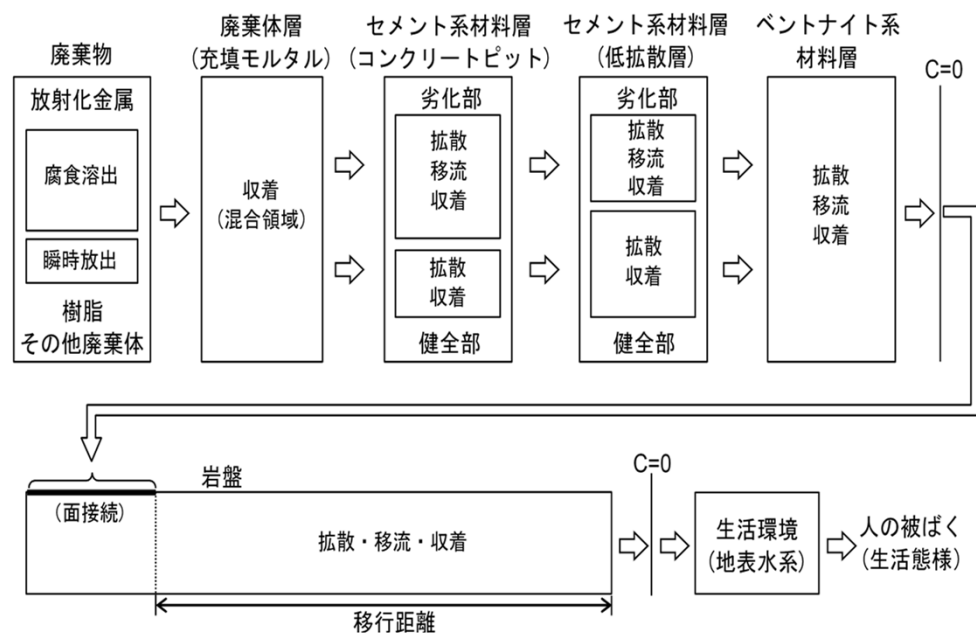
a) 放射性物質の漏出を防止する機能に係る評価

b) 耐震重要度分類に係る評価

8.4 評価パラメータ

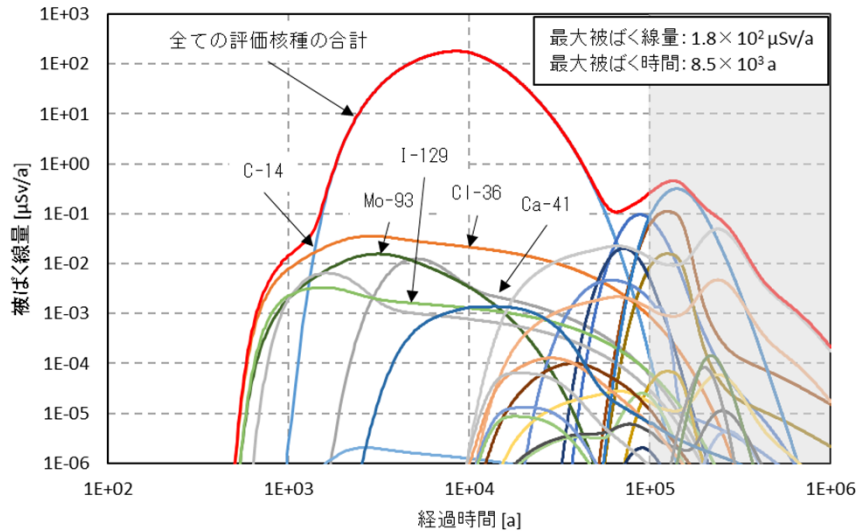
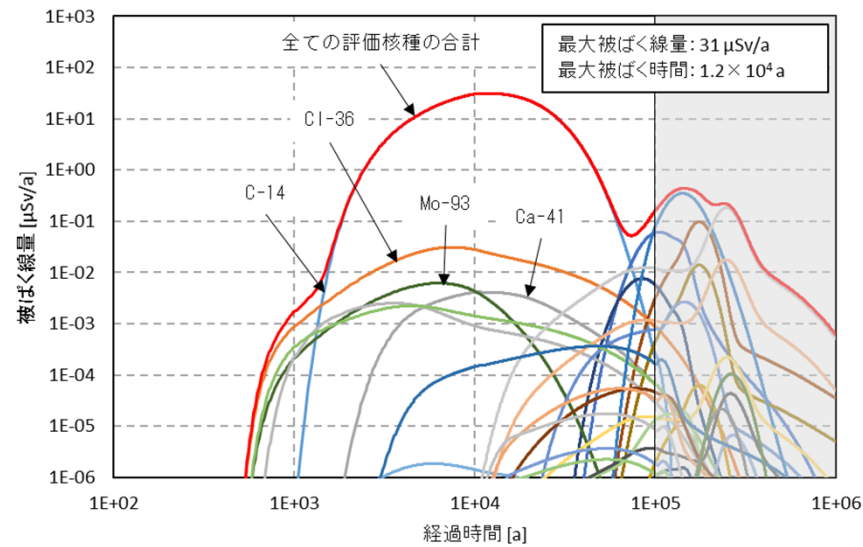
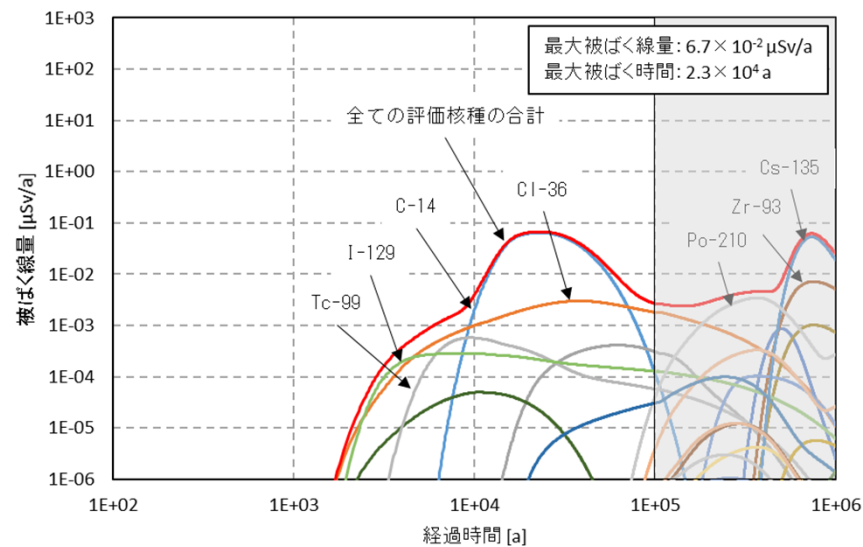
附属書O 被ばく経路に係る核種依存パラメータ及び線量評価試算に用いた廃棄物埋設地のパラメータ

附属書K 地下水シナリオの線量評価例



注記 1.0E+01は 1.0×10^1 , 1.0E-02は 1.0×10^{-2} を意味する。
 図K.3ー施設浸入水量の設定値の経時変化

附属書K 地下水シナリオの線量評価例



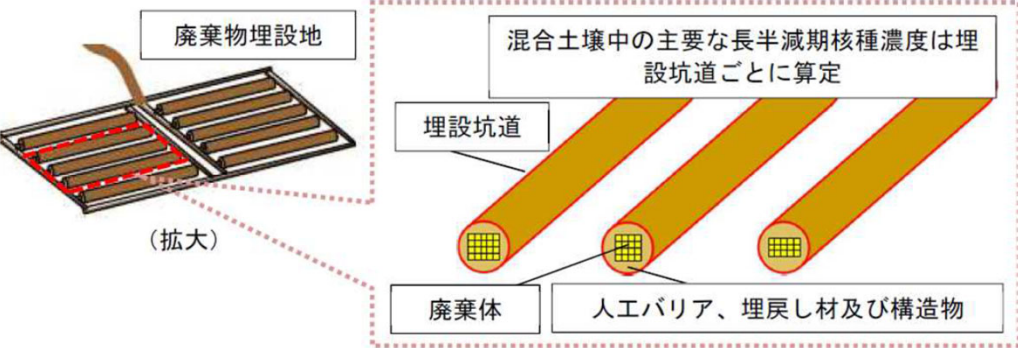
通常の状態
(科学的に最も可能性が高い状態)

通常の状態
(保守的なパラメータを設定した状態)

厳しい状態
(低透水層)

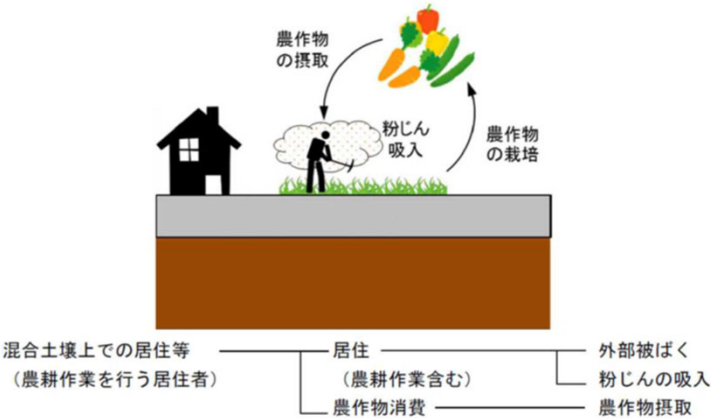
河川水産物摂取

附属書M 廃棄物埋設地と公衆との接近を仮定したシナリオの線量評価例



(出典:原子力規制委員会, 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド, (2022) [2], p.7 図2.1-1)

図M.1ー複数の埋設坑道から廃棄物埋設地が構成される場合のイメージ



(出典:原子力規制委員会, 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド, (2022) [2], p.7 図2.1-2)

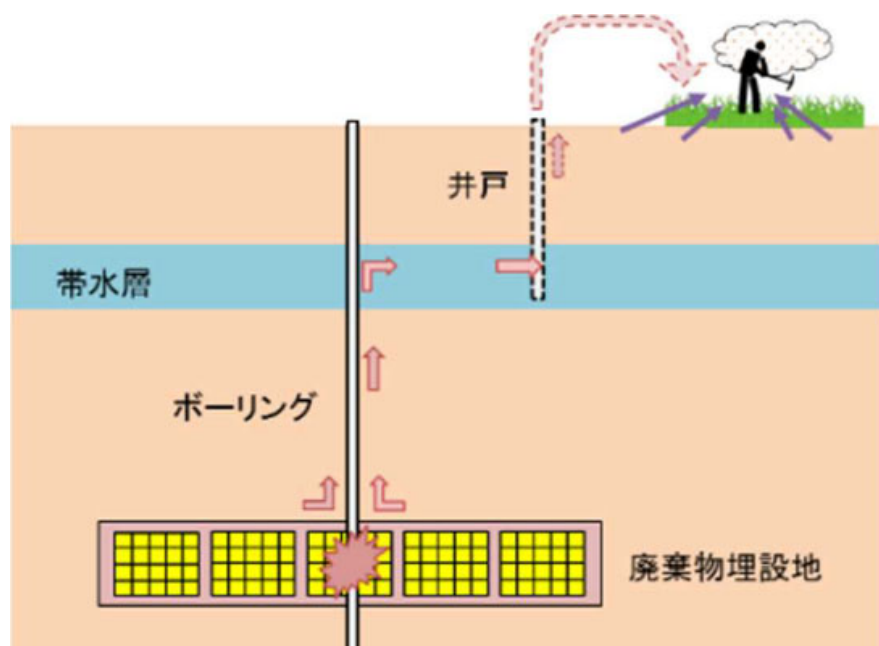
図M.2ー混合土壌上での居住等による被ばく状況

表M.2ー接近シナリオの線量評価結果

放射性核種	放射能 (Bq)	混合土 放射能濃度 (Bq/kg)	被ばく線量 (mSv/a)		
	1ピット分		居住		農作物
	10万年後		外部	吸入	経口
Cl-36	2.7E+10	3.8E+03	4.9E-04	9.9E-07	1.3E+00
Ni-59	2.3E+13	3.2E+06	1.6E-02	1.5E-05	7.3E-01
Se-79	3.6E+09	5.0E+02	4.9E-07	2.0E-08	1.1E-02
Nb-94	2.7E+10	3.7E+03	1.8E+00	1.5E-06	4.6E-03
Tc-99	7.7E+10	1.1E+04	5.6E-05	1.6E-06	2.5E+00
Sn-126	5.5E+08	7.8E+01	4.7E-02	8.0E-08	8.5E-03
Cs-135	4.6E+10	6.6E+03	9.2E-06	1.6E-07	3.8E-02
Hf-182	7.8E+08	1.1E+02	4.5E-02	1.3E-06	1.2E-04
合計	2.4E+13	3.4E+06	1.9E+00	2.9E-04	4.6E+00

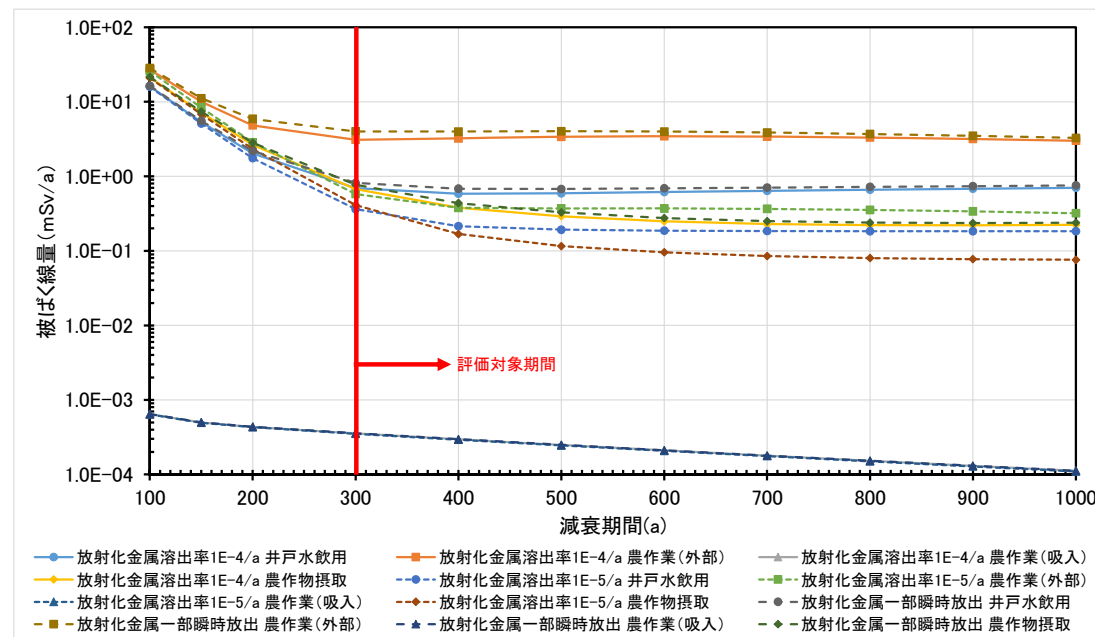
注記 被ばく線量が0.01 mSv/aを超える核種だけ記載した。太字は1 mSv/a以上。

附属書N ボーリングシナリオの線量評価例



(出典:原子力規制委員会, 第二種廃棄物埋設の廃棄物埋設地に関する審査ガイド, (2022)
[3], p.10 図2.2-2)

図N.2ーボーリングシナリオの被ばくシナリオ概念



図N.4ーボーリングシナリオ線量評価結果

附属書〇 被ばく経路に係る核種依存パラメータ及び線量評価試算に用いた廃棄物埋設地のパラメータ

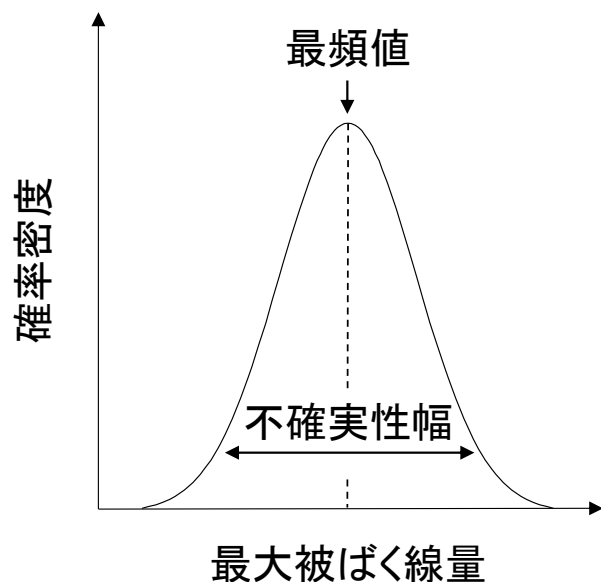
核種・元素依存パラメータ

- 1) 半減期 (a)
- 2) 吸入内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)
- 3) 経口摂取内部被ばく線量換算係数 (Sv/Bq)
- 4) 外部被ばく線量換算係数 ((Sv/h)/(Bq/kg))
- 5) 土壌から農作物(米)への移行係数 ((Bq/kg-wet)/
(Bq/kg-dry))
- 6) 土壌から農作物(野菜など)への移行係数 ((Bq/kg-wet)/
(Bq/kg-dry))
- 7) 土壌から農作物(飼料)への移行係数 ((Bq/kg-dry)/
(Bq/kg-dry))
- 8) 飼料・飼育水から畜産物(牛乳, 牛肉, 豚肉, 鶏肉, 鶏卵)
への移行係数 (d/kg)
- 9) 水産物(淡水魚類, 淡水貝類, 海水魚類, 海水無脊椎動
物, 海藻類)への濃縮係数 (L/kg)
- 10) 農耕土壌の収着分配係数 (m³/kg)
- 11) 帯水層土壌の収着分配係数 (m³/kg)
- 12) 河川岸土壌又は湖沼岸土壌の収着分配係数 (m³/kg)
- 13) 海岸土壌の収着分配係数 (m³/kg)

表0.19—廃棄物埋設地内の各要素のパラメータ (1ピット当たり)

	1ピット当 り廃棄物 埋設地内 の体積 (m ³)	廃棄物埋 設地内の 体積分率 (-)	間隙率 (-)	密度 (kg/m ³)	備考
廃棄体	573	0.161	0.68	7 800	1ピット140個埋設 嵩密度は2 500を想定
区画内充填材 (モルタル)	253	0.071	0.35	2 500	廃棄体層区画形状 8.4 m×7.4 m×13.3 m を想定
コンクリート ピット	381	0.107	0.20	2 600	厚さ0.7 m ピット間の仕切も想定
低拡散層 (モルタル)	333	0.093	0.20	2 600	厚さ0.6 mを想定
低透水層 (ベントナイト)	644	0.181	0.40	2 700	厚さ1 mを想定
埋設坑道内 充填材 (鉄筋コンクリート)	1 034	0.290	0.35	2 600	埋設坑道の側部及び 底部
埋設坑道内 充填材 (ベントナイト混合 土)	345	0.097	0.40	2 700	埋設坑道の上部, 低 透水層と同じ物性を想 定
合計	3 563	1.000	—	—	直径18 m, 長さ14 mを 想定

附属書P 確率論的アプローチを活用した処分システムの性能評価の基本的な考え方



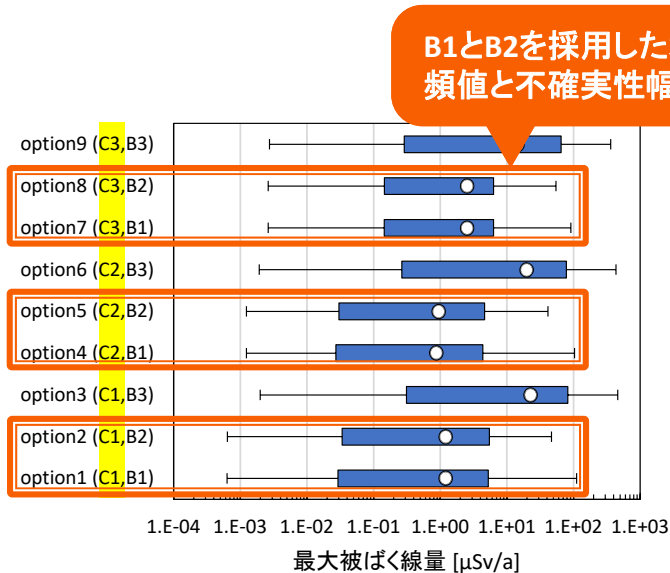
- **最頻値**: (公衆が)被ばくする可能性が高い線量
 - バリア性能を高めることで低減可能
- **不確実性幅**: (公衆が)被ばくする可能性のある線量範囲
 - 材料性能の品質管理の程度を向上させることで低減可能

図P.1—最大被ばく線量の確率分布の例

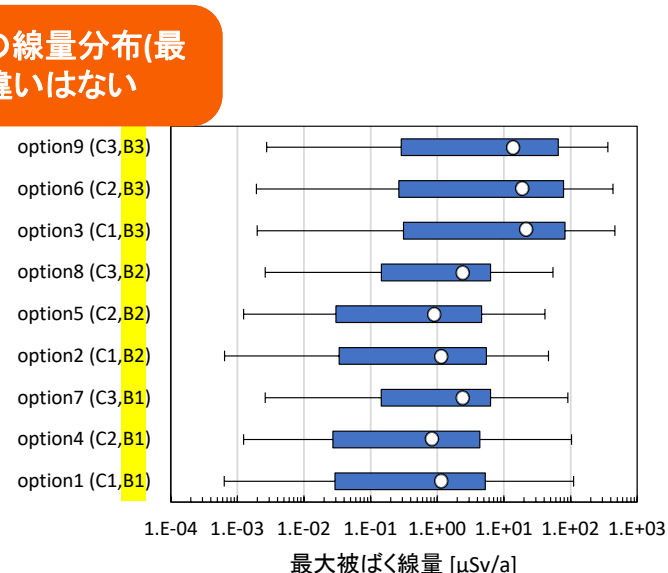
- 最適な処分システムを決定するためには、処分システムごとの線量（最頻値及び不確実性幅）と、材料性能やその品質管理に係る工学的・経済的負荷とのバランスを考えることが重要

附属書P 線量評価：最適化検討に向けた情報の整理

低拡散層のオプションに着目して整理



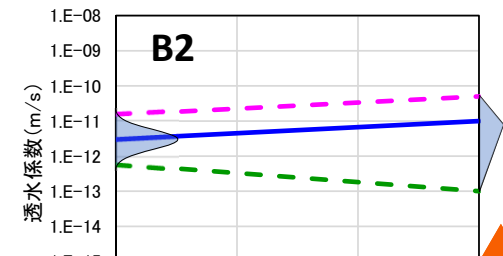
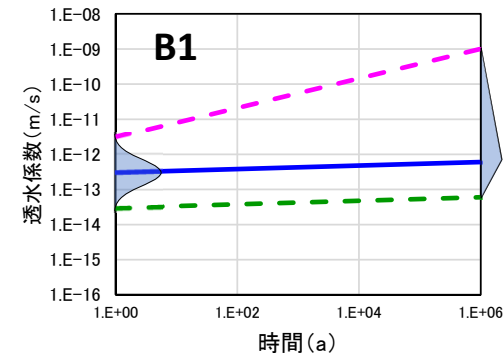
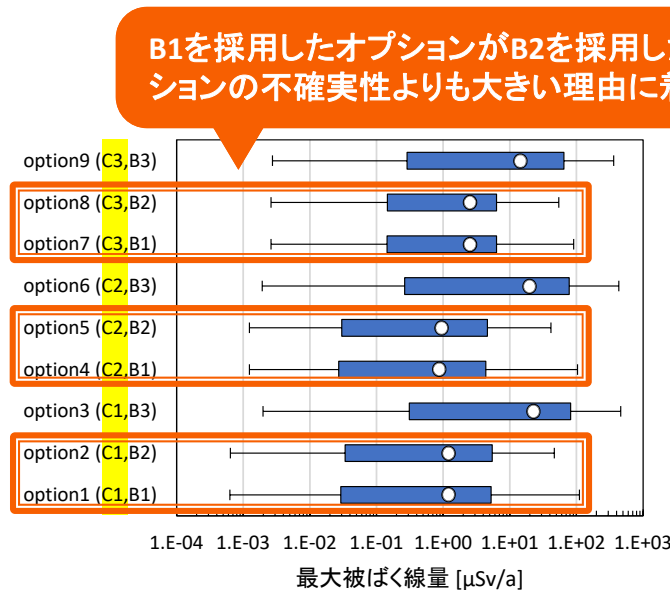
低透水層のオプションに着目して整理



(最適化検討の一例)

- 線量分布に大きな違いがないことから、工学的・経済的負荷の観点からB1よりもB2を採用するのが合理的と考えられる。

附属書P 線量評価：最適化検討に向けた情報の整理



B2よりもB1のほうが長期変動の不確実性が大きい

(最適化検討の一例)

- 工学的・経済的負荷に裕度があれば、透水係数に関する長期変動の不確実性を低減するために新たな知見・実験データを取得すること等によって、従来の施設設計よりも線量低減が可能な施設設計を新たに考案することが可能になる。

まとめ

- ▶ 「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」とその解釈及び関連する審査ガイドに対応することを目指した。

（今後の課題）

- ▶ 浅地中処分と中深度処分の安全評価手法の統合の判断
- ▶ 状態設定及び線量評価例の充実
- ▶ 中深度処分計画の進展と知見の蓄積に応じた標準の改定