

日本原子力学会標準

浅地中処分の安全評価手法 の改定案

LLW処分安全評価分科会

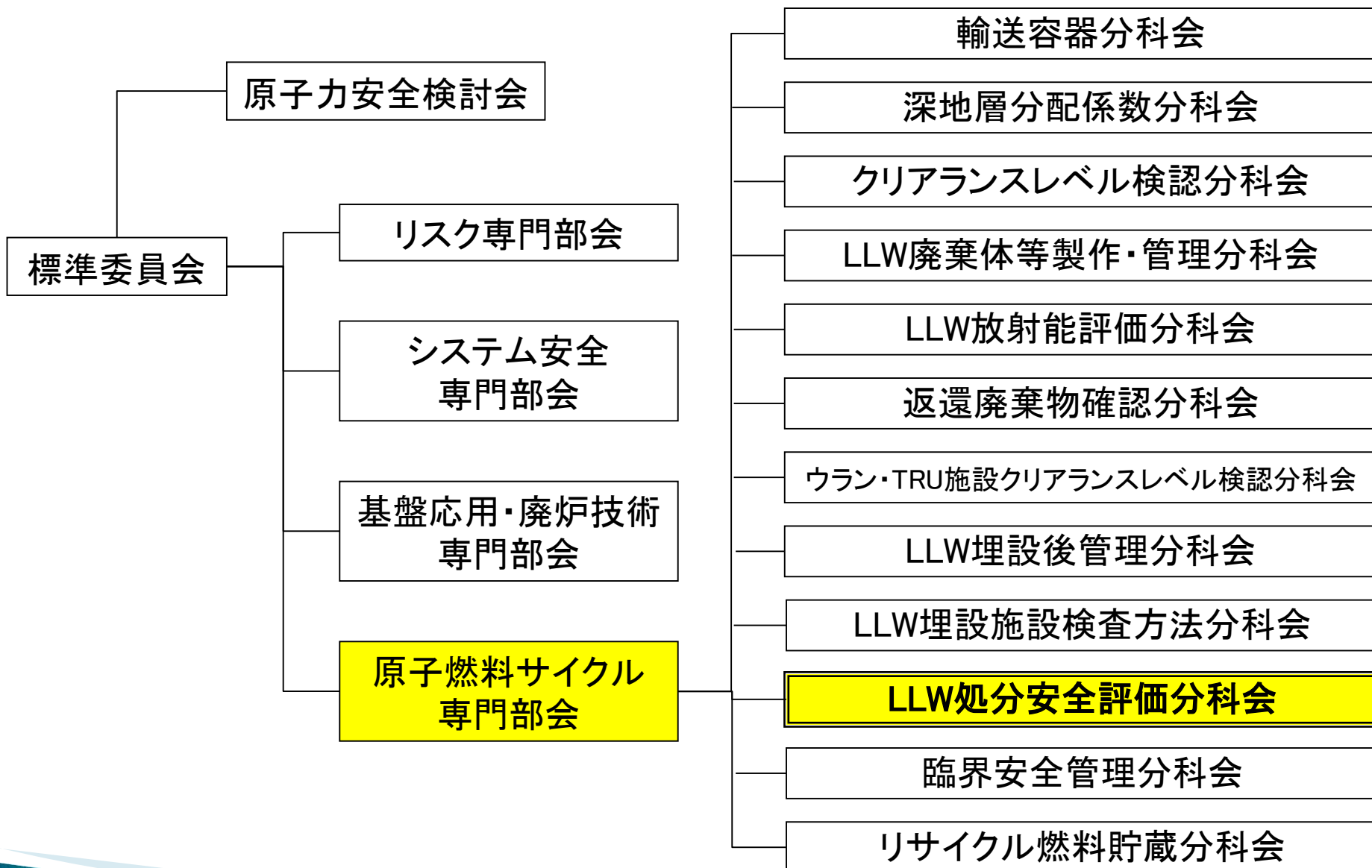
主査：川上泰(原子力安全研究協会)

副主査：新堀雄一(東北大学)

幹事：山本正史(原子力環境整備促進・資金管理センター)

委員：○中居邦浩(日揮)，黒沢満(三菱マテリアル)，
吉原恒一(原子力安全推進協会)

日本原子力学会 標準委員会 組織図



LLW処分安全評価分科会の委員

主査	川上 泰	(公財) 原子力安全研究協会
副主査	新堀 雄一	東北大学
幹事	山本 正史	(公財) 原子力環境整備促進・資金管理センター
委員	石田 圭輔	原子力発電環境整備機構
委員	石原 義尚	三菱重工業(株)
委員	大浦 正人	日立GEニュークリア・エナジー(株)
委員	門井 務	関西電力(株)
委員	黒沢 満	三菱マテリアル(株)
委員	小澤 孝	日本原燃(株)
委員	坂井 章浩	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
委員	坂本 義昭	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
委員	佐々木 隆之	京都大学
委員	三倉 通孝	(株) 東芝
委員	杉山 大輔	(一財) 電力中央研究所
委員	関口 高志	戸田建設(株)
委員	武田 聖司	国立研究開発法人 日本原子力研究開発機構
委員	中居 邦浩	日揮(株)
委員	新津 茂彦	東京電力(株)
委員	野口 裕史	日本原子力発電(株)
委員	吉原 恒一	(一社) 原子力安全推進協会

改定及び統合による標準の名称の変更

改定前

浅地中ピット処分の安全評価手法
:2012

浅地中トレンチ処分の安全評価手法
:2013

統合

改定後

浅地中処分の安全評価手法:
201X

改定検討中

余裕深度処分の安全評価手法
:2008



改定後の標準名称候補

中深度処分の安全評価手法
:201X

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
- 4 安全評価の考え方
 - 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 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
 - 5.2 評価期間
 - 5.3 管理期間内における考慮事項
 - 5.4 管理期間終了以後における考慮事項

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 状態設定において考慮する地質環境条件
- 6.3 埋設施設の状態設定に関して考慮する事象

7. 被ばく経路

- 7.1 生活環境の状態設定
- 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 操業中の安全評価
- 8.2 基本シナリオ
- 8.3 変動シナリオ
- 8.4 その他のシナリオ
- 8.5 評価パラメータ
- 8.6 地盤の変形, 地震, 津波及びその他の外部からの衝撃による損傷の防止に関連する評価への適用

9. 品質保証

標準の構成(附属書)

- | | | |
|------|------|--|
| 附属書A | (参考) | 浅地中処分の概念 |
| 附属書B | (参考) | 安全評価シナリオにおける不確かさの取り扱い |
| 附属書C | (参考) | 安全評価上重要な放射性核種 |
| 附属書D | (規定) | 処分システムにおける核種移行の評価方法 |
| 附属書E | (規定) | 被ばく経路の評価方法 |
| 附属書F | (参考) | 地下水移行経路における主要パラメータの感度解析例 |
| 附属書G | (参考) | ピット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) | ピット処分の基本FEPリスト |
| 附属書I | (参考) | 浅地中処分における廃棄物埋設地の状態変化の例 |
| 附属書J | (参考) | 生活環境の状態設定と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) | 接近シナリオの線量評価例 |
| 附属書N | (参考) | その他の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埋設施設パラメータ |
| 附属書P | (参考) | 地盤の変形, 地震, 津波及びその他の外部からの衝撃による損傷の防止に関連する評価例 |

主な改定ポイント

- ▶ 従来の標準の基礎としていた「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」が「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」及びその解釈(2013)に置き換えられたことに伴い、評価シナリオの区分、めやす線量等を改定。
- ▶ トレンチ処分とピット処分の安全評価手法を統合。
- ▶ 埋設後管理標準と用語の定義等を整合。
- ▶ 評価シナリオの区分の一部変更に伴い、附属書の線量評価例を改定。
- ▶ 外部被ばく線量換算係数を制動X線を含むものに変更。合わせて短半減期子孫核種の扱いを明確化。
- ▶ 表現をよりわかりやすく、様式に則った表記に改定
- ▶ 附属書Aにピット処分の事例を追加
- ▶ 附属書Bを大幅改定及び附属書Pを追加。

目的と適用範囲(序, 本体1)

▶ 目的

低レベル放射性廃棄物の浅地中処分(ピット処分及びトレンチ処分)の安全評価手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, 主として“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”(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”(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。)が適用される放射性廃棄物の浅地中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方法を規定する。

この標準の手法は, 定期的な評価等に用いることができる。

用語及び定義(本体3)

- 3.1 ピット処分
- 3.2 トレンチ処分
- 3.3 定期的な評価等
- 3.4 処分システム
- 3.5 被ばく経路

3.1 ピット処分

地上又は地表近くの地下に設置された廃棄物埋設地において、放射性 廃棄物を次のいずれかの埋設の方法によって最終的に処分すること。

- ・外周仕切設備を設置した廃棄物埋設地に放射性廃棄物を定置する方法
- ・外周仕切設備を設置しない廃棄物埋設地に放射性廃棄物を一体的に固型化する方法

注記1 “地表近くの地下”に関しては、現行の法令，“核燃料物質又は核燃料物質によって汚染された物の第二種廃棄物埋設事業に関する規則”(以下、事業規則という。)において、深さ50m未満と定められている。

注記2 ピット処分の例を附属書Aに示す。

3.2 トレンチ処分

地上又は地表近くの地下に設置された廃棄物埋設地において、放射性廃棄物をピット処分以外の方法によって最終的に処分すること。

注記1は、3.1に同じ。

注記2 トレンチ処分の例を附属書Aに示す。

3.3 定期的な評価等

事業の開始から廃止措置の開始までの間で、10年を超えない期間ごと及び放射能の減衰に応じた第二種廃棄物埋設についての保安のために講ずべき措置を変更しようとするときに、最新の技術的知見を踏まえて、核燃料物質等による放射線の被ばく管理に関する評価を行い、その評価の結果を踏まえて、廃棄物埋設施設の保全のために必要な措置を講じること。

用語及び定義(本体3) 続き

- 3.6 シナリオ
- 3.7 廃棄物埋設地
- 3.8 人工バリア
- 3.9 天然バリア
- 3.10 地質環境
- 3.11 生活環境
- 3.12 廃棄物埋設施設
- 3.13 管理期間
- 3.14 処分場
- 3.15 操業期間
- 3.16 FEP
- 3.17 トップダウン的手法
- 3.18 ボトムアップ的手法
- 3.19 状態設定モデル
- 3.20 地表水

3.6 シナリオ

放射性廃棄物が人間に及ぼす影響を評価する観点から、処分システムの処分直後の状態を基に、長期間のうちにその状態を変化させる可能性のある一連の現象を想定し、これらを組み合わせて処分システムの長期挙動を描いたもの。

注記 状態設定及び移行経路を含む基本シナリオ、変動シナリオ及びその他の自然現象及び人為事象に係るシナリオについては、本体に説明している。移行媒体、経路又は起因事象に着目して地下水、ガス、接近シナリオなどということもある。

3.7 廃棄物埋設地

放射性廃棄物を埋設するために又は人工バリアを設置するために土地を掘削した場所、及び放射性廃棄物を埋設し、埋め戻した場所。

注記1 単に埋設地ともいう。人工バリアを設置する場合は、その人工バリアを含む。

注記2 廃棄物埋設地の構成部位には、廃棄物自体及び／又は廃棄体も含まれる。

3.10 地質環境

処分場設置前の状況及び処分場の存在とその他の長期的変化による変動を含む、水文地質学的、岩石力学的、地球化学的などの環境における特性(Feature)とその時間的進展(Process)。

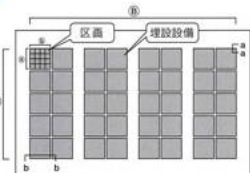
ピット処分の概念(1)(附属書A)

1号埋設設備

1号埋設設備

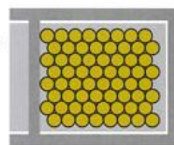
●全体平面図

- ①:約132m
- ②:約231m
- ③:約24m
- ④:約24m

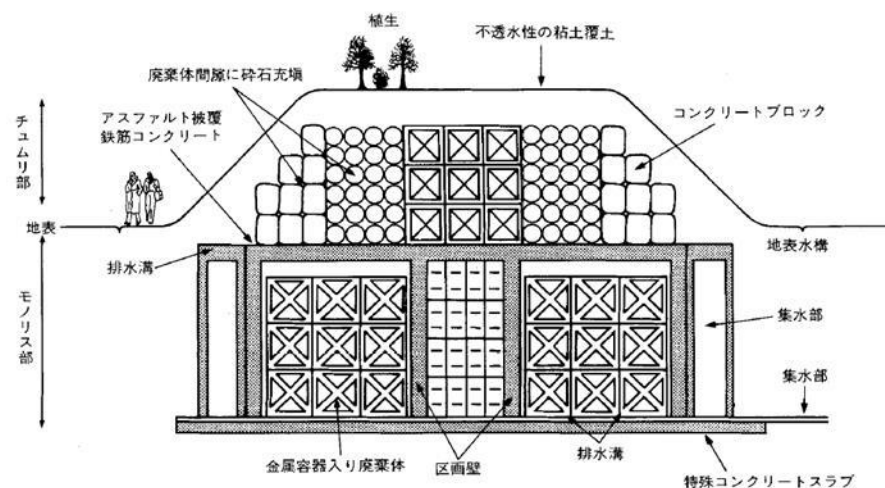
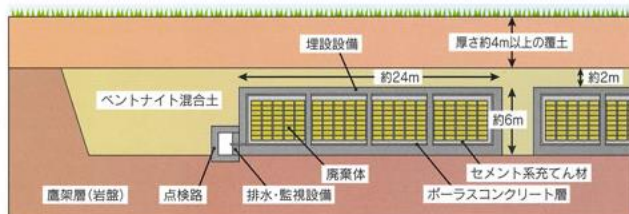


●区画断面図 (a-a断面)

廃棄体を8段5列8行の
依積みで設置します。



●埋設地断面図 (b-b断面)



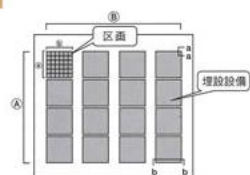
仏 マンシュ (Manche) 処分場

2号埋設設備

2号埋設設備

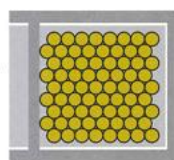
●全体平面図

- ①:約152m
- ②:約191m
- ③:約36m
- ④:約37m

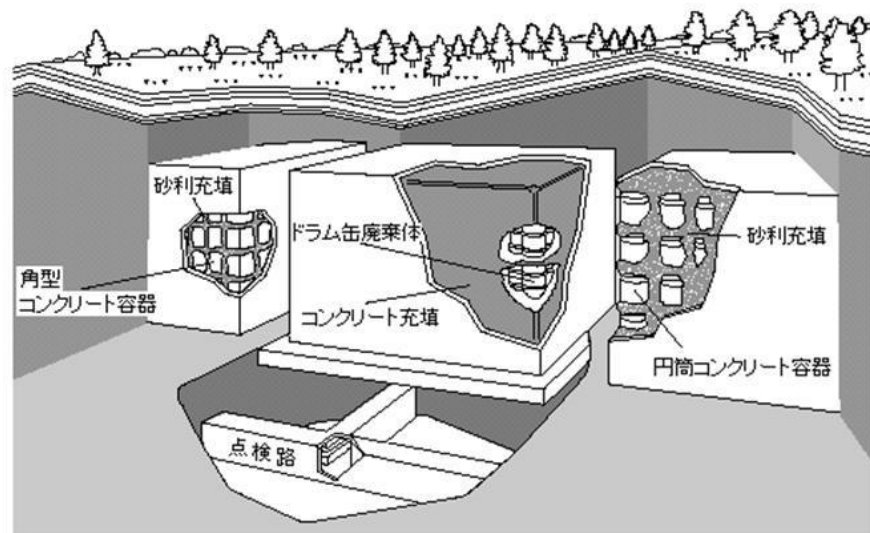
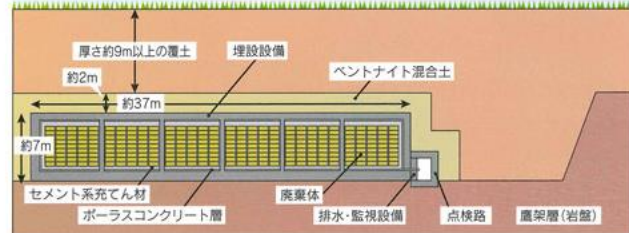


●区画断面図 (a-a断面)

廃棄体を9段5列8行の
依積みで設置します。



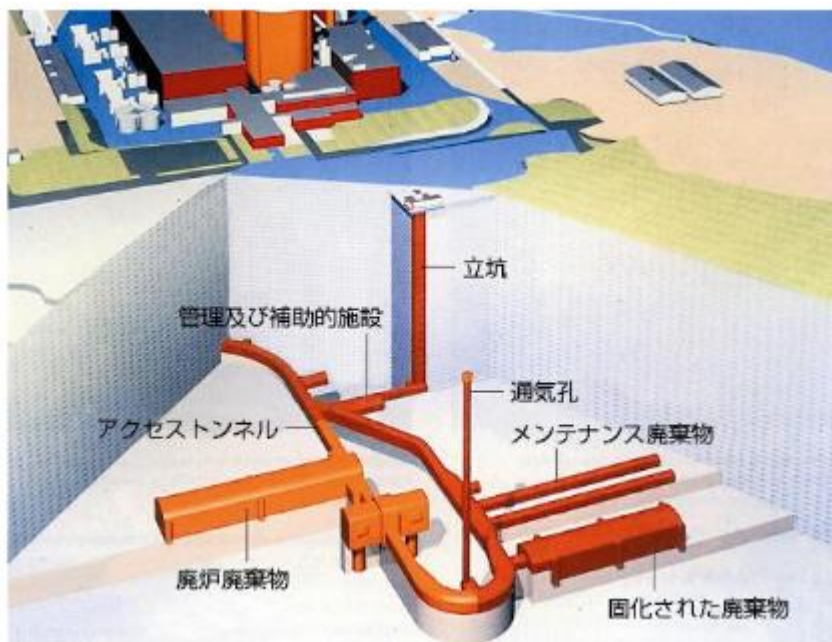
●埋設地断面図 (b-b断面)



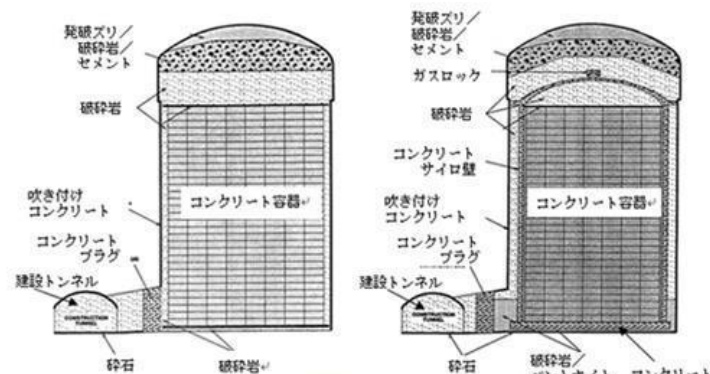
オーブ (Aube) 処分場

六ヶ所低レベル放射性廃棄物埋設センター

ピット処分の概念(2)(附属書A)



フィンランド ロヴィーサ (Loviisa) 処分場

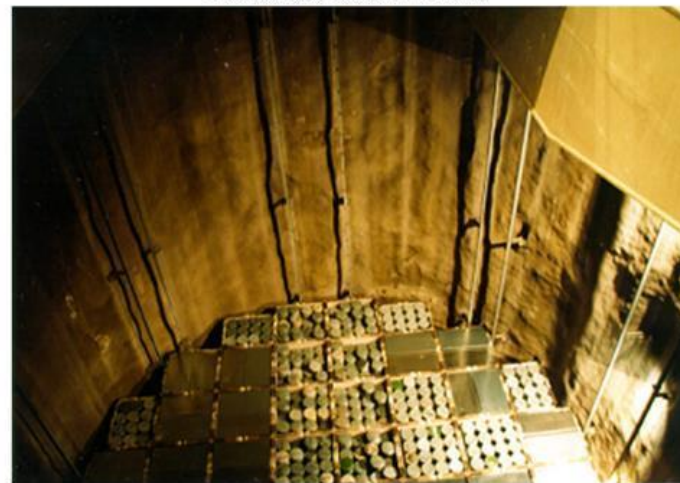


低レベル用処分サイロ

中レベル用処分サイロ

(注) 本図は処分完了後の断面図であり、現在はサイロ上部や建設トンネル等は埋め戻されていらない

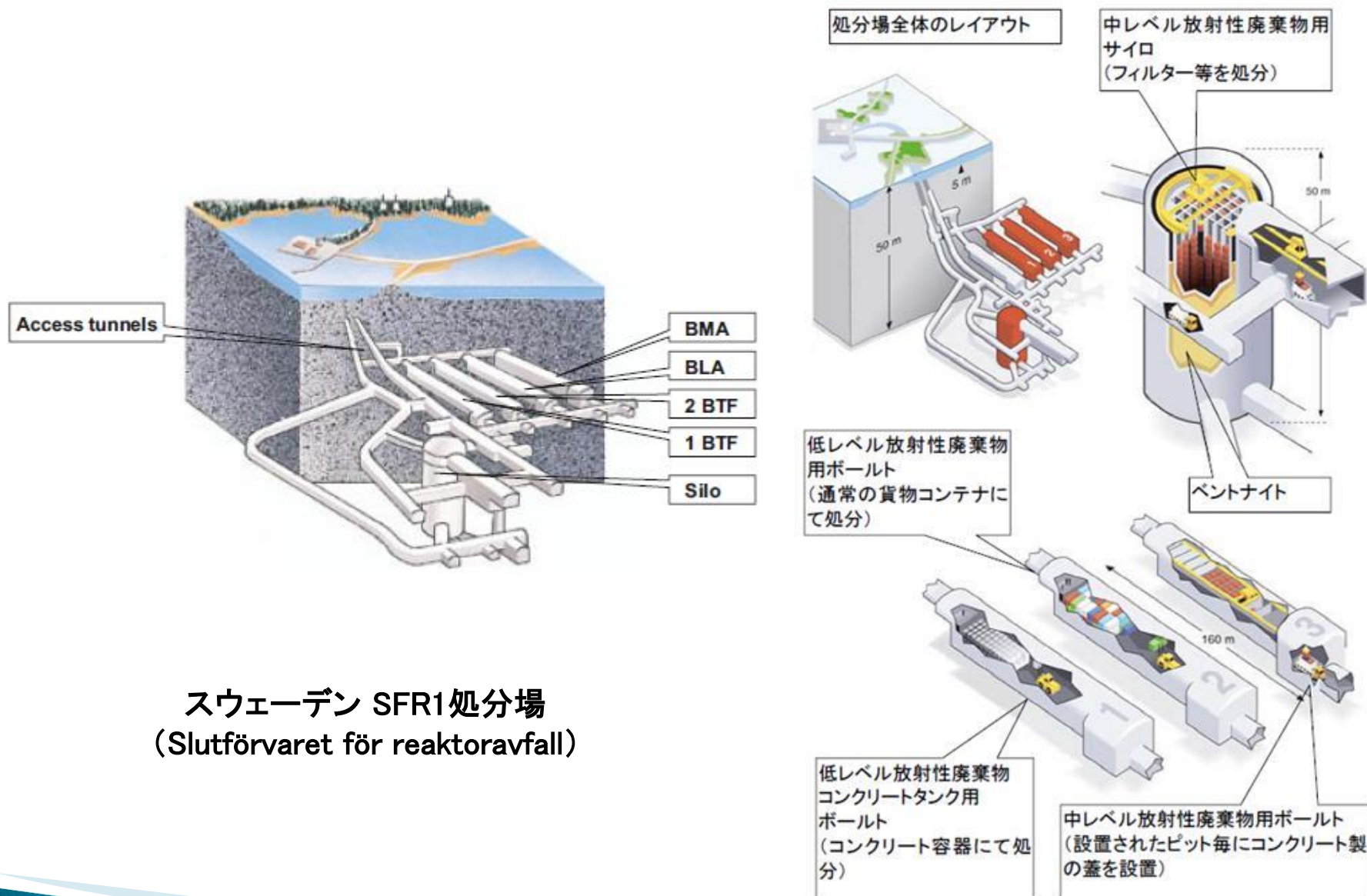
オルキオト処分場の処分サイロ断面図



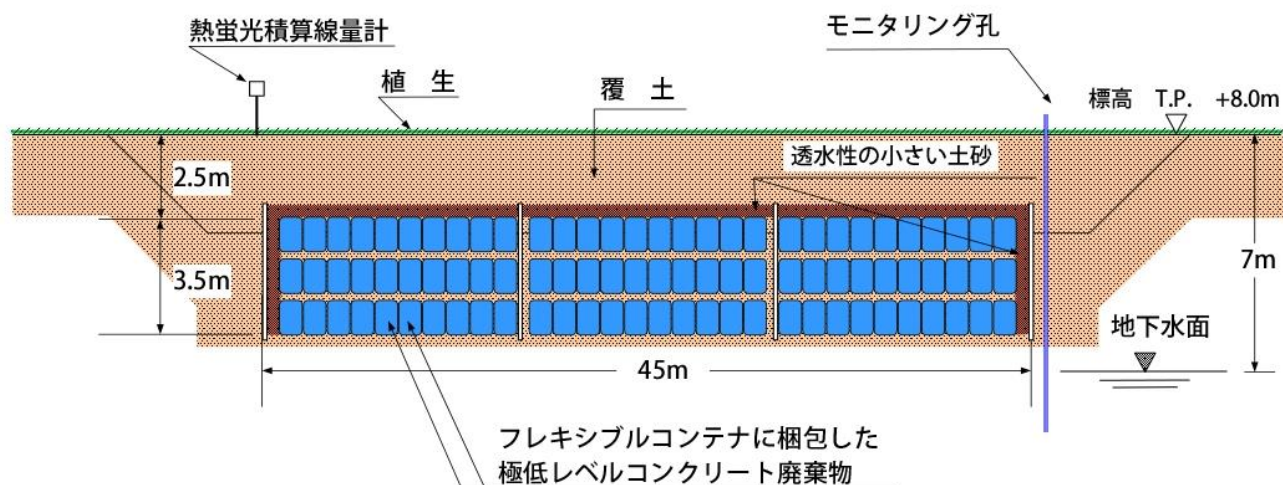
低レベル廃棄物用処分サイロ

フィンランド オルキオト (Olkiluoto) 処分場

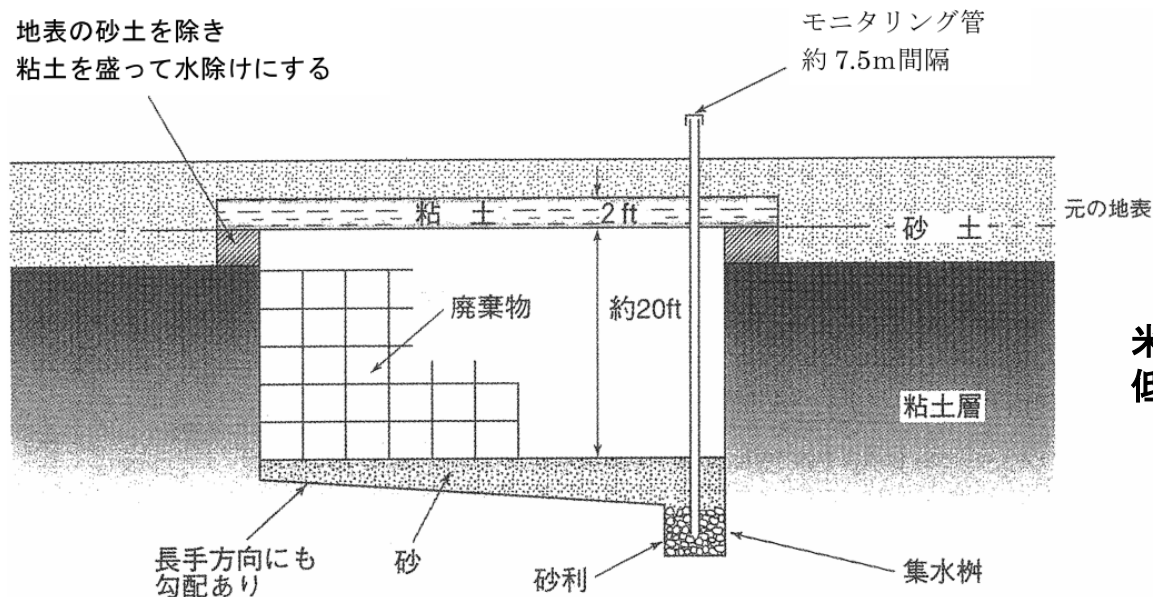
ピット処分の概念(3)(附属書A)



トレンチ処分の概念(1)(附属書A)

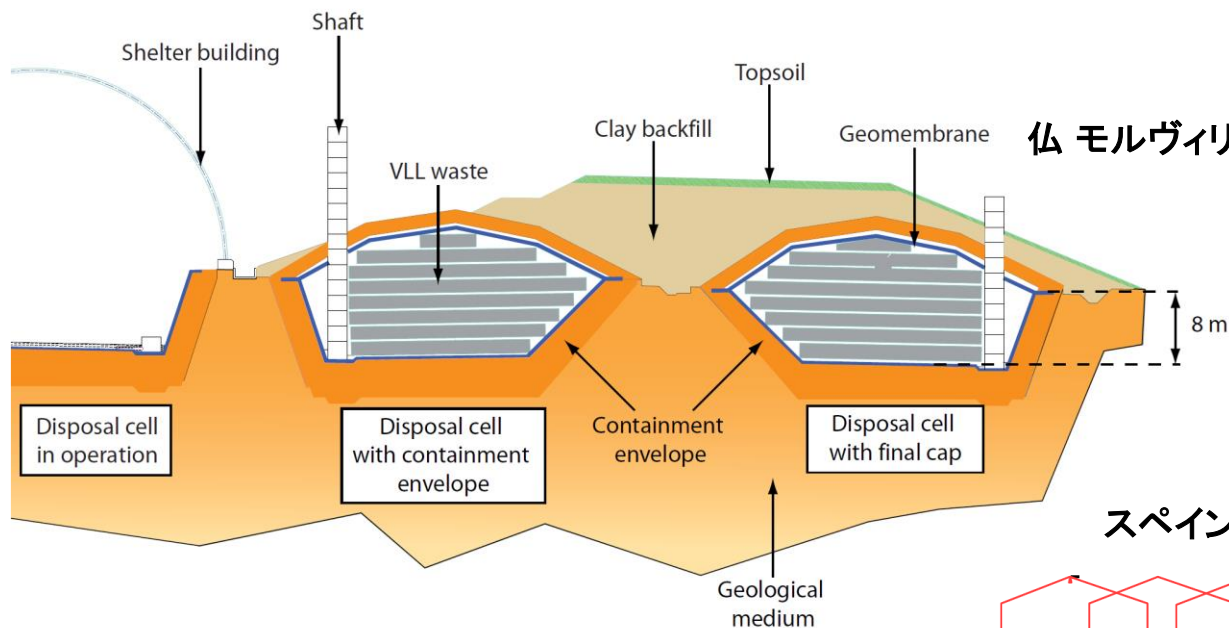


東海村 JAEA
廃棄物埋設施設



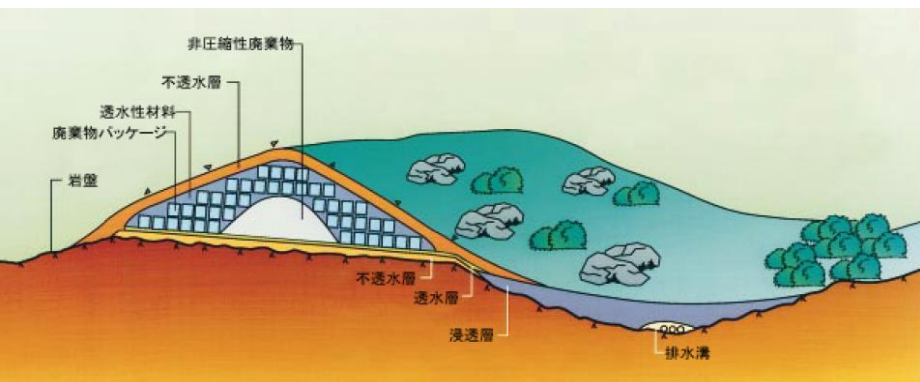
米 バーンウェル (Barnwell)
低レベル放射性廃棄物処分場

トレンチ処分の概念(2)(附属書A)

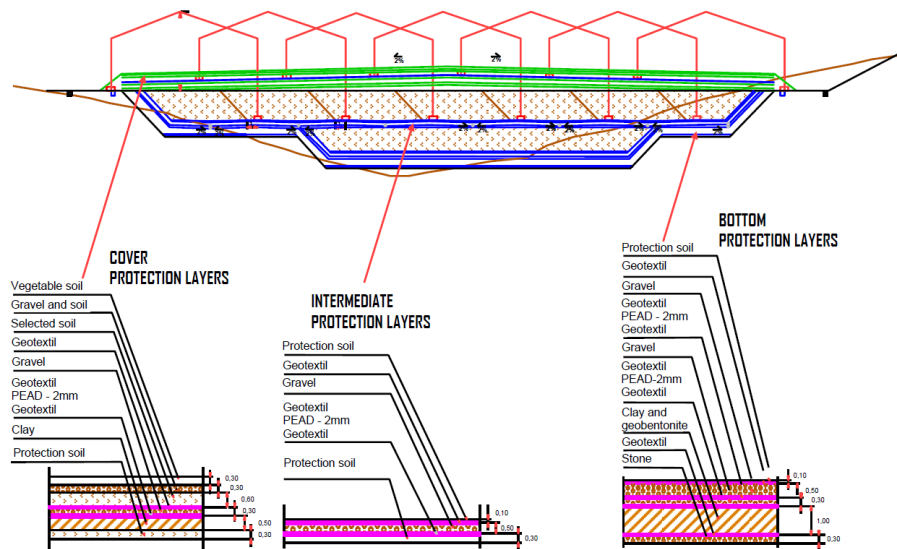


仏 モルヴィリエ (Morvilliers) VLLW処分場

スペイン エルカブリル (El Cabril) VLLW処分場



スウェーデン リングハルス (Ringhals) 処分場



管理期間終了以後考慮すべき安全評価シナリオ(本体4)

安全評価シナリオ		備 考
基本シナリオ		科学的に最も可能性が高いと考えられる状態設定のもとで、想定される被ばく経路として、地下水を介した放射性物質の移行、ガス状の放射性物質の移行、及び埋設地に残留する放射性物質と公衆の接近の可能性を考慮して、評価経路を選定し、可能性の高いパラメータ値で評価する。
変動シナリオ		基本シナリオに対する不確かさを網羅的に考慮した状態設定の下で、想定される被ばく経路として、地下水を介した放射性物質の移行、ガス状の放射性物質の移行、及び埋設地に残留する放射性物質と公衆の接近の可能性を考慮して、評価経路を選定し、科学的に合理的と考えられる範囲で最も厳しいパラメータ設定で評価する。
その他のシナリオ (サイト条件を勘案して想定されないものは考慮する必要はない。)	ボーリングによる移行経路短絡シナリオ	外周仕切設備、ベントナイト混合土などの移行経路がボーリング孔によって短絡して区画内部の放射性物質が流出するシナリオ。(ピット処分に限る。)
	廃棄物埋設地近傍井戸シナリオ	廃棄物埋設地近傍の取水可能な場所で井戸を想定し、廃棄物埋設地近傍の地下水を摂取するシナリオ。
	廃棄物埋設地掘削シナリオ	生活環境に近い浅地中処分において廃棄物埋設地に残留した放射性物質に起因する全ての被ばく状況を包含するものとして廃棄物埋設地全体を掘削するシナリオ。掘削土壌上での建設作業、居住、農畜産物摂取を考慮する。
	その他必要と考えられるシナリオ	上記以外でサイト条件を勘案して想定されるシナリオ。

安全評価における状態設定とめやす線量(本体4)

安全評価 シナリオ	地質環境	廃棄物埋設地	評価対象者	めやす 線量 ^{d)}
基本 シナリオ ^{a)}	基本設定	基本設定	一般的な生活様式 の公衆	10 μ Sv/年
変動 シナリオ ^{a)}	基本設定	変動設定	一般的な生活様式 の公衆	300 μ Sv/年
	変動設定	地質環境の変動に 対応した設定	一般的な生活様式 の公衆 ^{c)}	300 μ Sv/年
その他の シナリオ ^{b)}	発生前: 基本設定 発生後: 自然現象又は人為事象に対応した 保守的な想定		一般的な生活様式 の公衆	1mSv/年

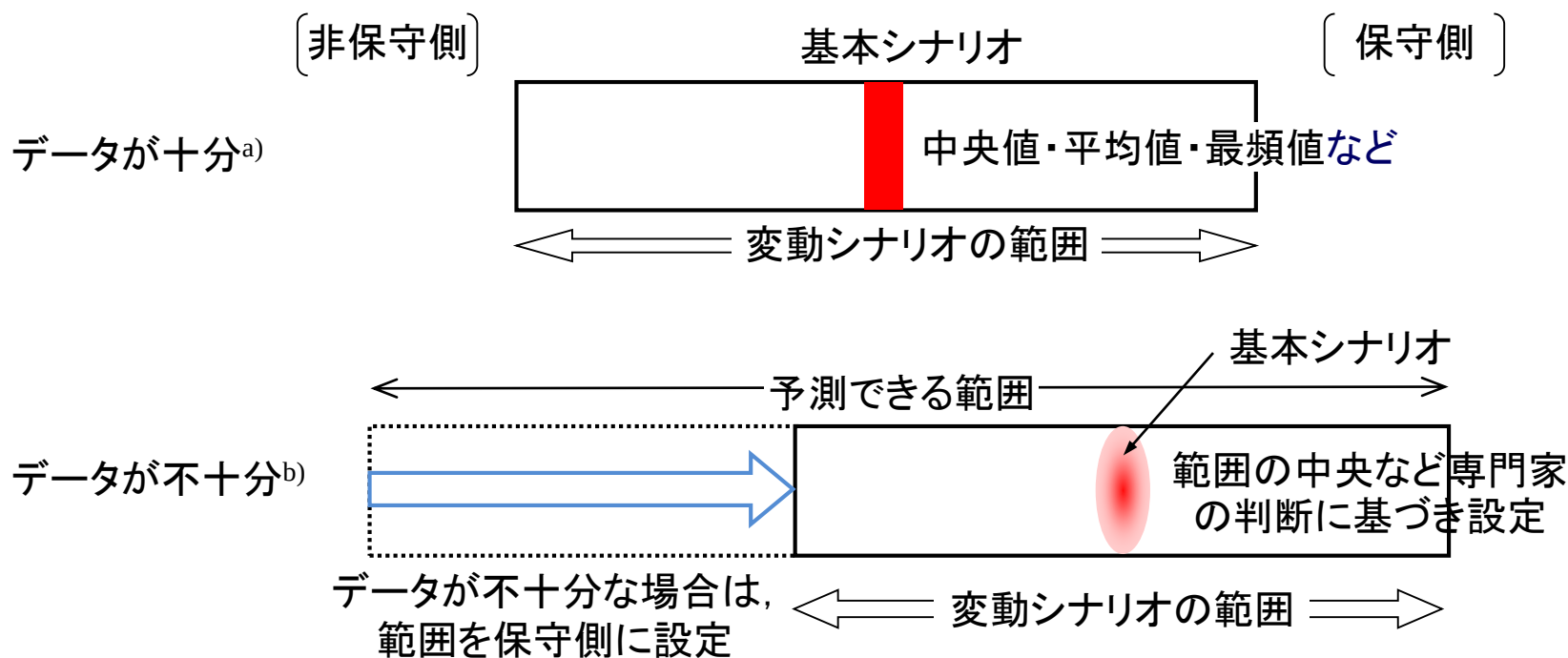
注 ^{a)} 基本シナリオ及び変動シナリオでは、地下水、ガス及び接近による被ばくを考慮する。

^{b)} ボーリングによる移行経路短絡シナリオ、廃棄物埋設地近傍地下水摂取シナリオ及び廃棄物埋設地掘削シナリオなどを対象とする。

^{c)} 必要に応じて地質環境の変動設定に対応して設定する。

^{d)} 許可基準規則・解釈による。

基本／変動パラメータ設定の考え方の概念(附属書B)



a)統計処理ができるほどデータが十分である場合[データが十分]:

(基本シナリオ)統計学的手法によって得られる中央値, 平均値, 最頻値などから適切な数値を選択する。

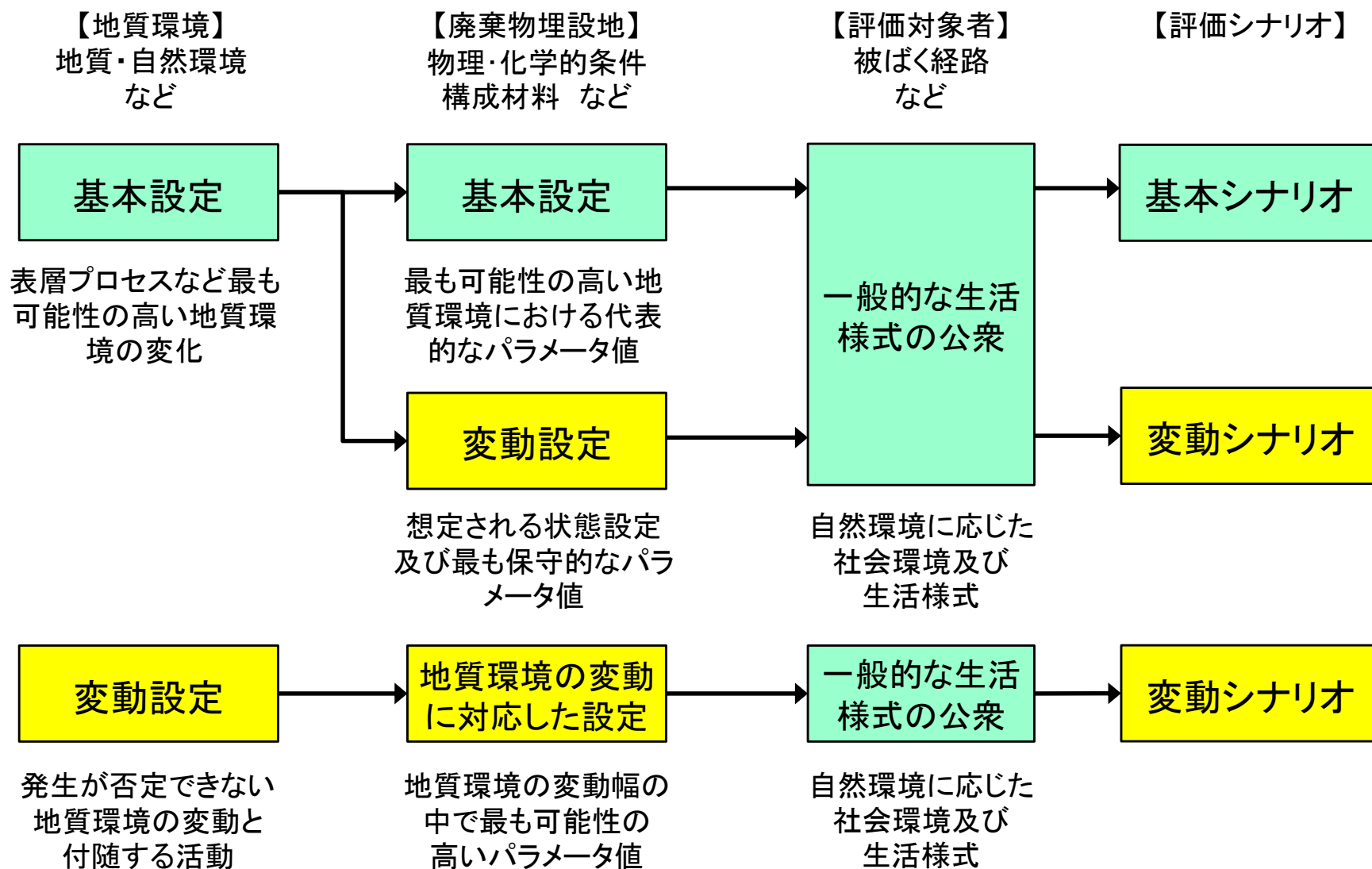
(変動シナリオ)データの質などを考慮した統計的な分析を行い設定する。例えば, 97.5%片側信頼区間の値を設定するなど。

b)統計処理ができるほどに十分なデータがない場合[データが不十分]:

(基本シナリオ)専門家の判断などに基づいて合理的なデータの範囲を予測し, 中央値など適切な値を設定する。範囲の予測では適切な保守性の確保の観点から, 非保守側の範囲を広く取りすぎないようにする。データ数が少ないほど想定範囲は保守的に設定する。

(変動シナリオ)専門家の判断などに基づいて合理的なデータの範囲を予測し, その範囲の中から最も保守的な値を設定する。

基本及び変動シナリオ構築の一例(附属書B)



安全評価における考慮事項(本体5)

- ▶ 評価対象核種の選定方法
- ▶ 評価期間
 - 最大値が出現するまで
- ▶ 管理期間内における考慮事項
 - 平常時評価
 - 事故時評価
- ▶ 管理期間終了以後における考慮事項
 - 地質環境の状態
 - 廃棄物埋設地の状態
 - 生活環境の状態
- ▶ 処分システムにおける放射性物質の移行
- ▶ 被ばく経路(生活環境, 被ばく形態, 職業)

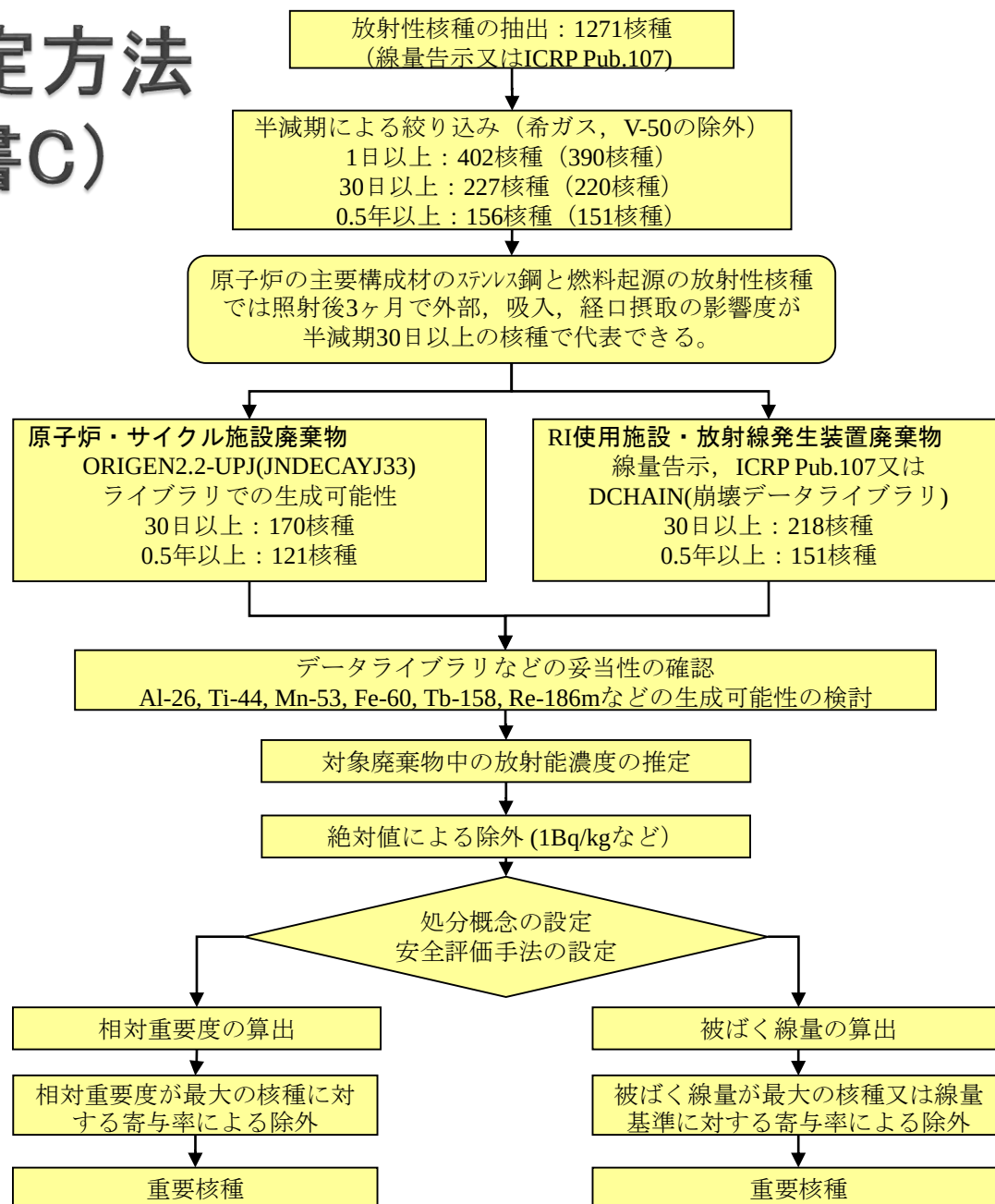
評価対象核種の選定方法 (附属書C)

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



安全評価で重要な放射性核種の例(附属書C)

▶ ピット処分における重要核種

H-3	Co-60	Mo-93	Cs-137	U-234	Pu-239	Am-243
C-14	Ni-59	Tc-99	Ho-166m	U-235	Pu-240	Cm-242
Cl-36	Ni-63	Ag-108m	Pa-231	U-238	Pu-241	Cm-243
K-40	Sr-90	Sn-126	U-232	Np-237	Am-241	Cm-244
Ca-41	Nb-94	I-129	U-233	Pu-238	Am-242m	

▶ トレンチ処分における重要核種

H-3	Ca-45	Mo-93	Eu-152	U-234	Pu-241	Cm-244
C-14	Co-60	Tc-99	Eu-154	U-238	Am-241	
Na-22	Ni-59	Ag-108m	Ho-166m	Np-237	Am-242m	
Cl-36	Ni-63	Sn-126	(Th-232)	Pu-238	Am-243	
(K-40)	Sr-90	I-129	Pa-231	Pu-239	Cm-242	
Ca-41	Nb-94	Cs-137	U-233	Pu-240	Cm-243	

管理期間内における考慮事項(本体5)

▶ 平常時

- 廃棄物又は廃棄体からの放射線の放出
- 排気などによる放射性物質の放出
- 排水などによる放射性物質の放出
- 廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出及び移行に伴う被ばく

▶ 事故・異常時

- 誤操作による廃棄物の落下等に伴う放射性物質の飛散
- 配管等の破損, 各種機器の故障等による放射性物質の漏出
- 自然現象による影響
- 外部人為事象(故意によるものを除く。), 火災・爆発, 電源喪失等による影響
- 自然現象, 外部人為事象(故意によるものを除く), 火災・爆発, 電源喪失等による廃棄物埋設施設からの放射線及び放射性物質の異常な放出又は漏出

管理期間終了以後の考慮事項(地質環境)

No.	考慮事項	ピット 処分	トレンチ 処分
1	基本シナリオにおける状態は、長期変動事象に関する過去の変動傾向とその要因を踏まえ、最も可能性が高いと考えられるものを設定する。	○	○
2	変動シナリオにおける状態は、長期変動事象に関する過去の変動傾向とその要因に関する不確かさを考慮したものを設定する。	○	○
3	プレート運動及び気候変動は、それらの過去の変動傾向とその要因が今後とも継続するとみなし、それらを外挿して設定することを基本とする。	○	
4	長期の不確かさは、変動シナリオで考慮する。	○	
5	将来にわたって現在のテクトニクスの変動傾向が変化しつつあるという知見が得られている地域では、基本シナリオにおいても変動傾向の変化を考慮して状態を設定する。	○	
6	プレート運動に起因する事象として、火山・火成活動、地震・断層活動、隆起・沈降運動、気候変動に起因する事象としては、海水準変動、気温・降水量変化、涵養量変化、プレート運動と気候変動の両者に起因する事象としては、地形変化、地下水流動、表流水流動を考慮する。	○	○
7	その他考慮すべき事象がある場合には、それらも適切に設定する。	○	○

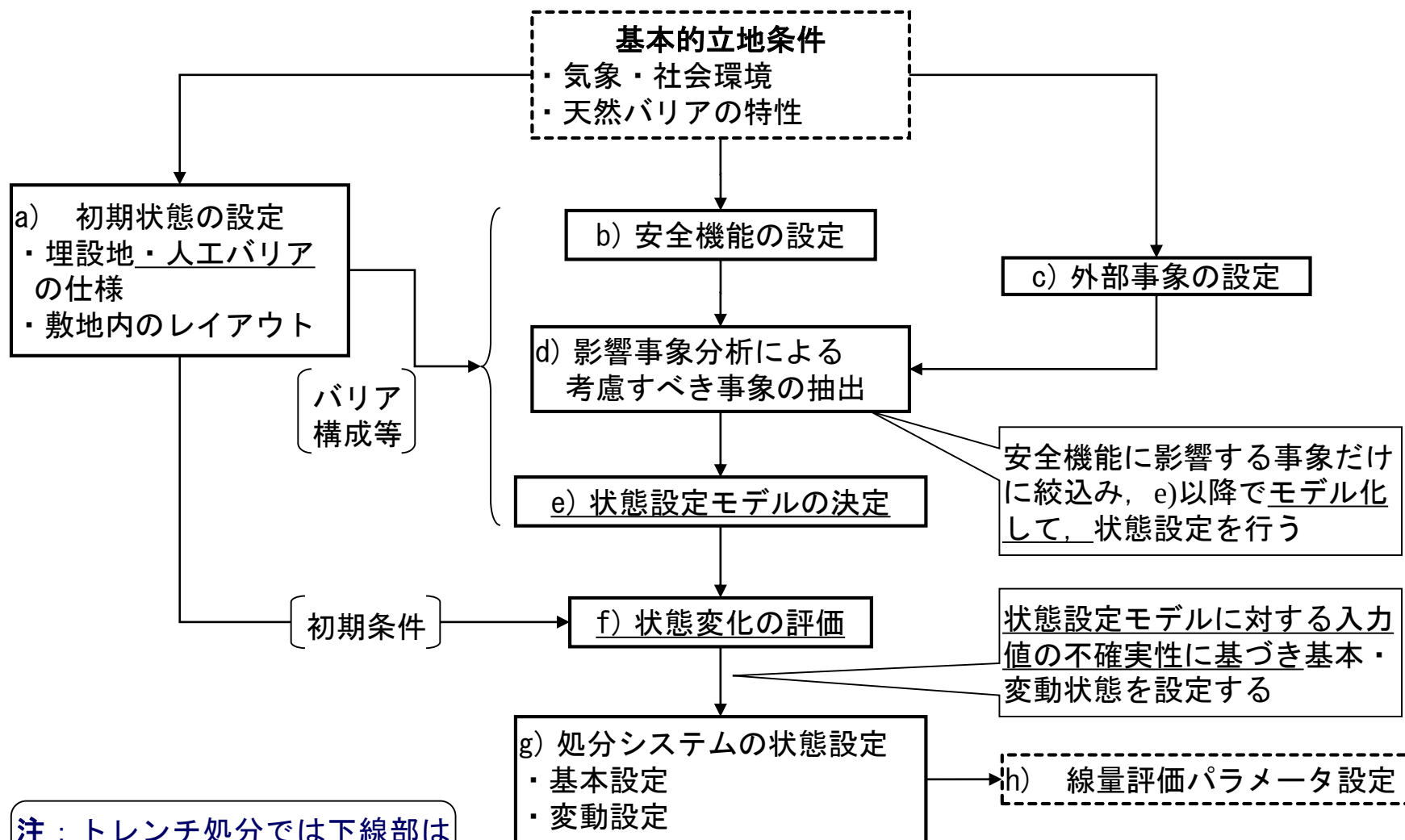
管理期間終了以後の考慮事項(廃棄物埋設地)

No.	考慮事項	ピット 処分	トレンチ 処分
1-1	廃棄物埋設地の構成部位がもつ低透水性, 低拡散性, 収着性, 廃棄体の低溶出性, その他の特性(掘削時の物理的抵抗性又は認知性)に着目して状態を設定する。	○	
1-2	廃棄物埋設地の構成部位がもつ透水性, 収着性, 廃棄物の低溶出性などに着目して状態を設定する。		○
2	考慮すべき物理的・化学的現象は, FEPの分析, 熱-水理-力学-化学にわたる複合的プロセスの評価・解析などによって, できるだけ網羅的, かつ, 体系的に抽出・整理を行い, 廃棄体, 人工バリア, 天然バリアなどとの相互の関連性を適切に評価する。	○	
3	廃棄物埋設地の状態設定は, 覆土前及び覆土後の二つの段階に分ける。覆土後の段階については, 評価の不確かさの程度及び廃棄物埋設地の状態によって, 必要に応じて更に適切な時間段階に区分する。	○	○
4	建設・施工及び操業期間に廃棄物埋設施設で行われる行為及び同期間において受ける地震などの自然現象の作用が, 廃棄物埋設地の長期的な状態に与える影響を考慮する。	○	○
5-1	ピット処分の廃棄物埋設地の状態設定に当たっては, 地震動が施設の物理的状态に与える影響を考慮する。地震動の影響は, 廃棄体及びそれを包含する人工バリア, 並びに周辺の岩盤又は地盤の相互作用を考慮した応答解析を実施し, その結果に基づき検討を行う。その際, 地震以外の現象による廃棄物埋設地の状態変化の影響を考慮する。なお, 解析に用いる地震動, 発生時期などについては, 人工バリアの移行抑制及び掘削に対する物理的抵抗性を期待する期間などを踏まえ設定するものとする。	○	
5-2	トレンチ処分の廃棄物埋設地の状態設定に当たっては, 地震動が廃棄物埋設地に与える影響を考慮する。その際, 地震以外の現象による廃棄物埋設地の状態変化の影響を考慮する。		○
6	放射化金属などの放射性廃棄物にあつて, 廃棄物からの放射性物質の溶出率を設定する場合には, 廃棄物埋設地内部の環境とその変遷を勘案して設定する。	○	○
7	廃棄体に含まれる化学成分などが, 安全機能に影響を与えられられる場合には, その影響を勘案して廃棄物埋設地の状態を設定するものとする。	○	○

管理期間終了以後の考慮事項(生活環境)

No.	考慮事項	ピット 処分	トレンチ 処分
1	将来の人間の生活様式については、現世代の人間の生活様式を前提に様式化する。	○	○
2	地質環境に係る長期変動事象(氷期-間氷期サイクルによる気候変化、隆起・侵食、及び海水準変動による地形変化など)の設定に応じて、生活様式、生活環境への放射性物質の流出地点、及びそこでの水量の変化を必要に応じて適切に考慮する。	○	
3	被ばく経路は、その起因事象が自然現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種類に分けて設定する。	○	
4	自然過程による被ばく経路の様式化は次の考え方にに基づき設定する。 i) 生活環境への放射性物質の移行経路ごとに被ばく経路を設定し、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する。 ii) 特定の個人は複数の移行経路から被ばくすることも想定されるが、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する際には、それぞれの移行経路において、年間を通して被ばくする可能性がある個人を代表として設定する。 iii) 生活環境の状態の時間的・空間的な変化を考慮して、移行経路を設定する。 iv) それぞれの移行経路ごとに、生活環境における重要な構成要素を特定するためにFEPの分析などを行い、合理的な範囲での保守性を考慮した被ばく経路を設定する。 v) 将来の人間の生活様式は、現在と環境条件などが類似していると想定される場合は同一の状態を想定してもよい。 vi) 各被ばく経路に様々な人間の生活様式に係る場合には保守性に配慮して、それらの重ね合わせを想定する。ただし、生活様式として同時に存在することの合理性がないものについては、こうした重ね合わせを考える必要はない。	○	○
5	人為過程による被ばく経路の様式化としては、埋設地の存在を認識できず偶発的に生じた行為の結果、地下水又は掘削され地上に運搬された掘削土などを介して公衆が被ばくする場合と、偶発的に地下にある放射性物質に接近した公衆が被ばくする場合を想定する。	○	

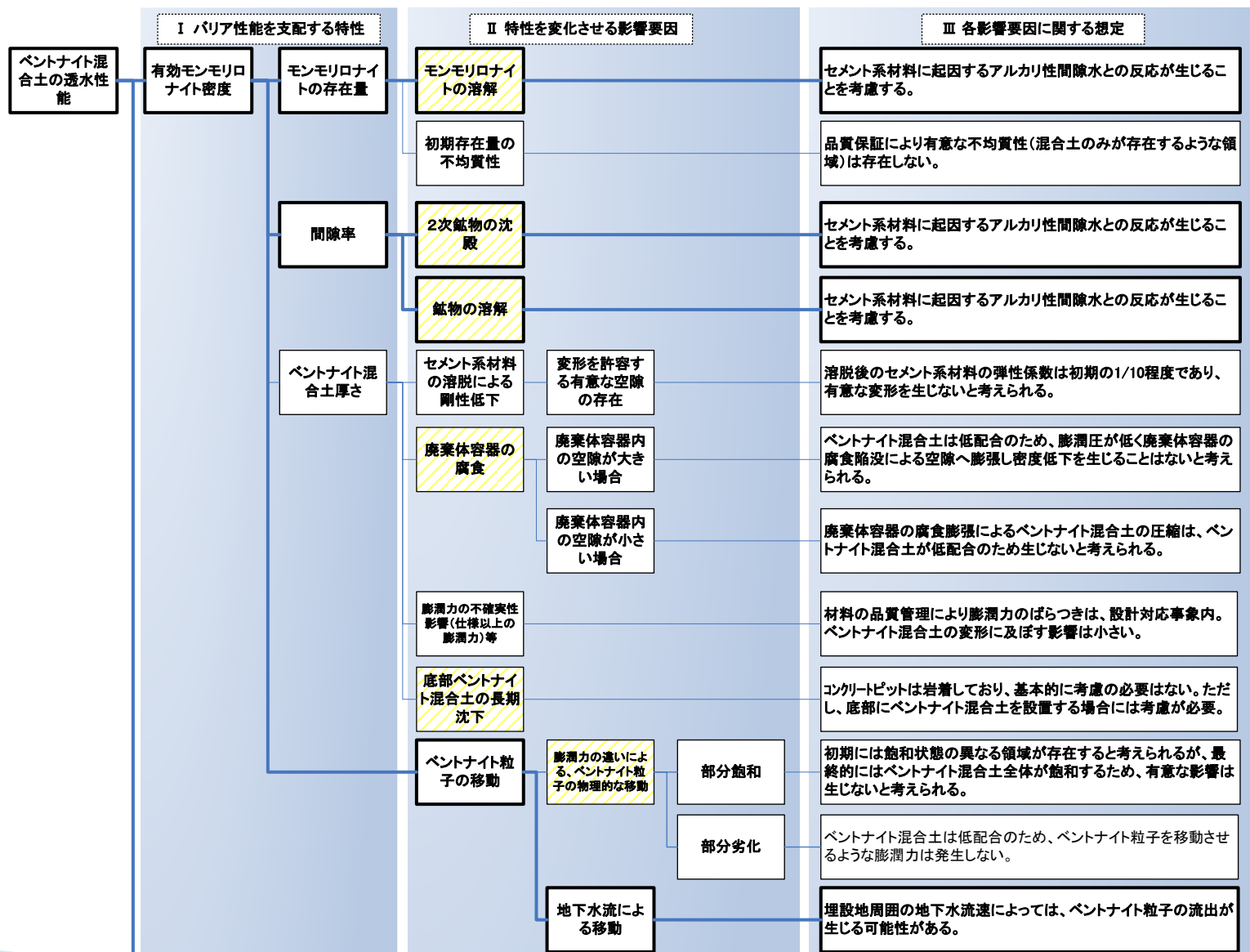
処分システムの状態設定に関する検討手順(本体6)



主要パラメータの感度解析例(附属書F)

核種 (半減期 [a])	H-3 (1.23E+1)	C-14 (5.70E+3)	Ni-59 (1.01E+5)	Nb-94 (2.03E+4)	Tc-99 (2.11E+5)	I-129 (1.57E+7)
埋設施設 K_d	-0.05	-0.95	-0.85	-0.78	-0.68	-0.82
地下水流入量	0.73	0.88	0.72	0.66	0.87	0.91
地下水流出割合(土)	0.25	0.04	0.19	0.26	0.04	-0.06
ベントナイト D_e	0.12	0.36	0.23	0.21	0.37	0.30
ベントナイト K_d	-0.05	-0.11	-0.13	-0.22	-0.03	-0.04
地下水流出幅(土)	-0.34	-0.05	-0.08	-0.17	-0.03	-0.05
地下水流速(土)	0.36	0.06	0.26	0.28	0.06	0.12
土壌 K_d	-0.03	-0.12	-0.27	-0.30	-0.04	-0.16
地下水流出幅(岩)	-0.31	-0.14	-0.19	-0.18	-0.25	-0.17
地下水流速(岩)	0.48	0.29	0.35	0.32	0.41	0.31
岩盤 K_d	-0.03	-0.27	-0.43	-0.40	-0.29	-0.09
移行距離	-0.74	-0.30	-0.46	-0.50	-0.34	-0.28
埋設施設 K_d 地下水流入量 地下水流出割合(土) ベントナイト D_e ベントナイト K_d 地下水流出幅(土) 地下水流速(土) 土壌 K_d 地下水流出幅(岩) 地下水流速(岩) 岩盤 K_d 移行距離	:埋設施設内の分配係数 :埋設施設へ流入する地下水流量 :土壌へ流出する地下水流量の割合 :ベントナイト混合土の実効拡散係数 :ベントナイト混合土の分配係数 :土壌へ流出する地下水流量の流出幅 :土壌中の地下水流速 :土壌の分配係数 :岩盤へ流出する地下水流量の流出幅 :岩盤中の地下水流速 :岩盤の分配係数 :土壌中及び岩盤中の核種の移行距離					偏順位相関係数の 絶対値が0.5以下 偏順位相関係数の 絶対値が0.1以下

要因分析図の例(附属書G)

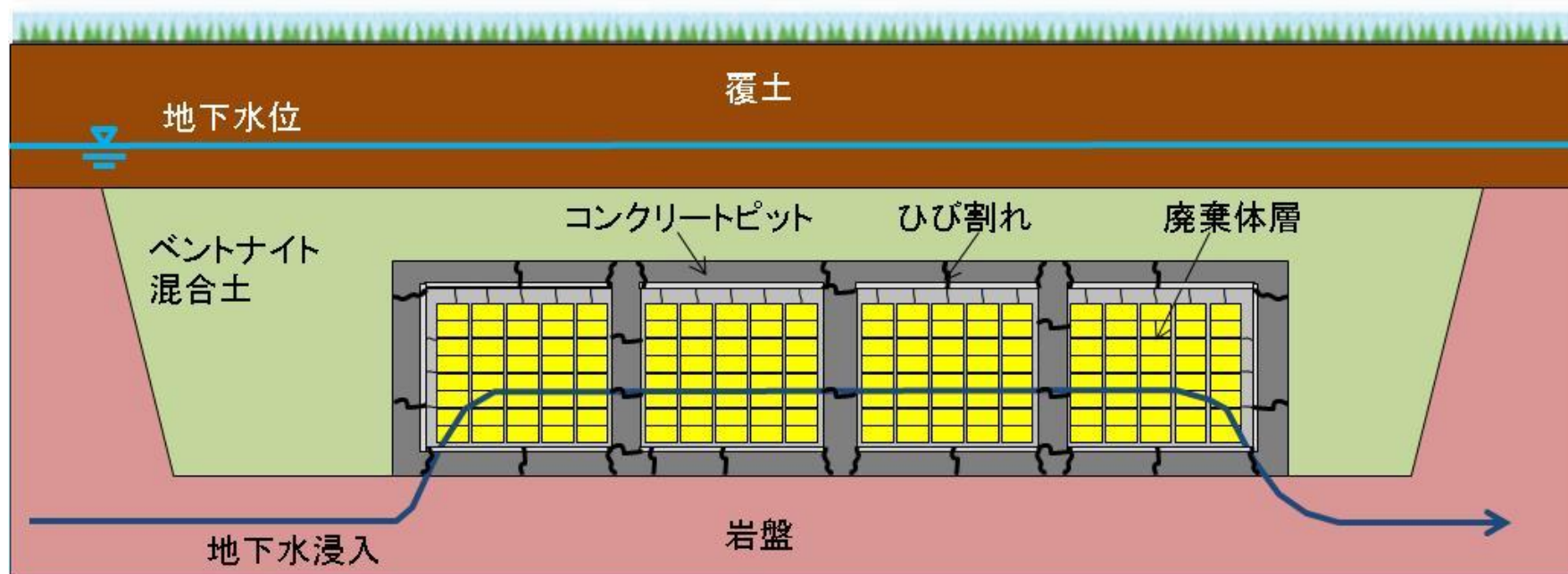


基本FEPリスト(附属書H)

特性	構成材料		
	廃棄体	セメント系材料	ベントナイト系材料
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 破壊とひび割れ W3.4 変形	CM3.1 力学特性 CM3.2 応力 CM3.3 破壊とひび割れ 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
核種移行	W6.1 核種インベントリ W6.2 物質移動特性 W6.3 幾何形状・間隙構造 W6.4 核種移行 W6.5 化学成分の移行	CM6.1 物質移動特性 CM6.2 幾何形状・間隙構造 CM6.3 核種移行 CM6.4 化学成分の移行	B6.1 物質移動特性 B6.2 幾何形状・間隙構造 B6.3 核種移行 B6.4 化学成分の移行

ピット処分の状態変化の例(附属書I)

主に天然バリア機能に期待する期間



埋設施設の状態変化の概況

- コンクリートピット等ではひび割れの発生が顕著になり、物理的なバリア機能は低下、収着等の化学的なバリア機能は維持
- ベントナイト混合土の化学的変質の進展

安全機能(核種収着性, 透水性)に影響を与える主な状態変化

ベントナイト混合土

- ・ベントナイト粒子の流出
- ・交換性陽イオンの変化
- ・モンモリロナイトの溶解
- ・2次鉱物の沈殿
- ・鉱物の溶解

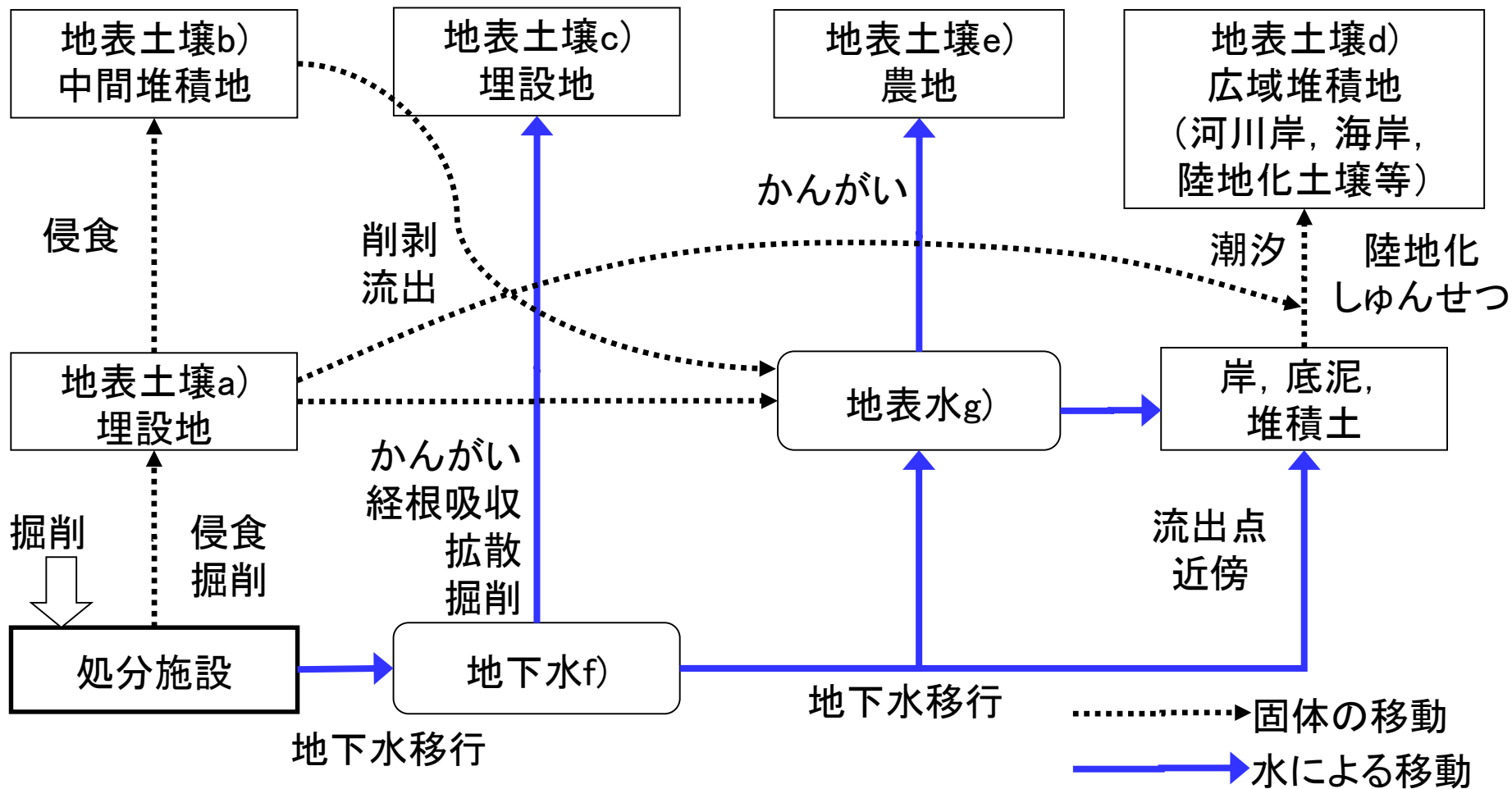
コンクリートピット

- ・ひび割れの生成, 進展(顕著)
- ・セメント水和物の溶脱(全体)
- ・2次鉱物の生成

トレンチ処分の状態変化の例(附属書I)

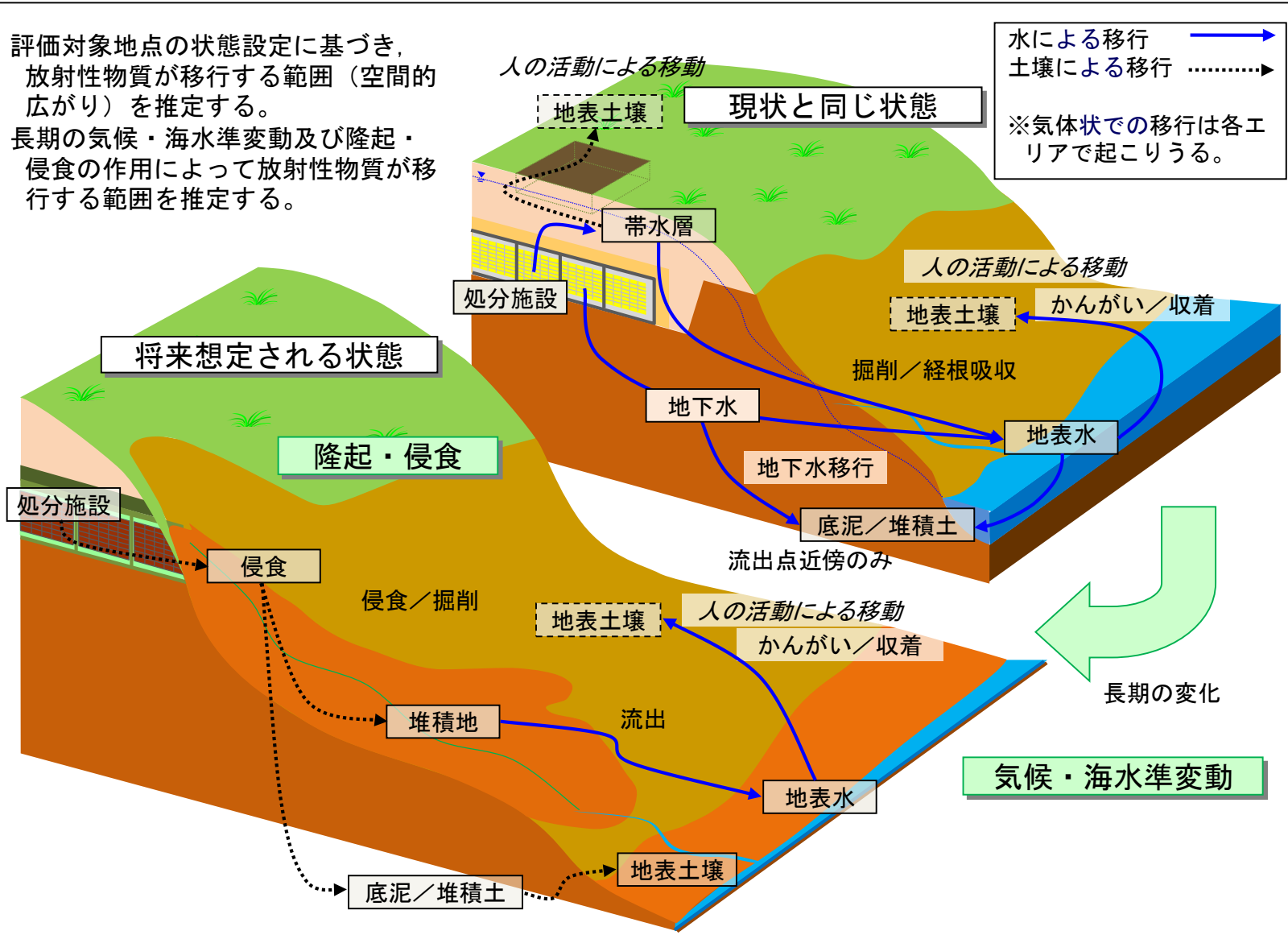
地下 地下水面が低い場合	地下 地下水面が高い場合
覆土完了までの手順と状態:地下を掘削し、トレンチ内がドライな状態で放射性廃棄物を定置。トレンチ内に浸入した雨水は排水。地下水面が高い場合は、地下水位低下工法などの対策を行い、トレンチ内をドライな状態に維持(上の右図参照)。放射性廃棄物の埋設完了後、地表面まで覆土。 覆土完了後の状態:雨水の浸透に伴い、覆土の飽和度が変化。地下水面が高い場合には、地下水の水位が回復して施設へ地下水が浸入し、覆土の飽和度が変化。覆土は徐々に安定化。	
地上	覆土完了までの手順と状態:地表面がドライな状態で放射性廃棄物を定置。廃棄物埋設地内に浸入した雨水は排水。放射性廃棄物の埋設完了後、地表面上で覆土。 覆土完了後の状態:雨水の浸透に伴い、覆土の飽和度が変化。覆土は徐々に安定化。

主要な汚染源への核種移行経路(本体7)



放射性物質が移行する範囲(附属書J)

評価対象地点の状態設定に基づき、
放射性物質が移行する範囲（空間的
広がり）を推定する。
長期の気候・海水準変動及び隆起・
侵食の作用によって放射性物質が移
行する範囲を推定する。



各汚染源に対する主要な被ばく経路(本体7)

評価対象者	廃棄物埋設地a), b), c)	広域堆積地 d)	地表水など e), f), g)
漁業従事者		●河川岸活動 △農作物, △畜産物	●魚介類, △飲料水, △かんがい利用農作物 △飼育水利用畜産物
農業従事者1 (廃棄物埋設地利用)	▲農作物・農耕	△畜産物	△魚介類, △飲料水, △飼育水利用畜産物
農業従事者2 (地表水など利用)		△畜産物	●かんがい農作物・農耕 △魚介類, △飲料水, △飼育水利用畜産物
農業従事者3 (広域堆積地利用)		●農作物・農耕 △畜産物	△魚介類, △飲料水, △飼育水利用畜産物
畜産業従事者1 (廃棄物埋設地利用)	▲畜産物・牧畜	△農作物	△魚介類, △飲料水, △かんがい利用農作物
畜産業従事者2 (地表水など利用)		△農作物	●飼育水利用畜産物 △魚介類, △飲料水, △かんがい利用農作物
畜産業従事者3 (広域堆積地利用)		●畜産物・牧畜 △農作物	△魚介類, △飲料水, △かんがい利用農作物
建設業従事者1 (廃棄物埋設地)	●建設作業	△農作物 △畜産物	△魚介類, △飲料水 △かんがい利用農作物, △飼育水利用畜産物
建設業従事者2 (広域堆積地)		●建設作業 △農作物, △畜産物	△魚介類, △飲料水 △かんがい利用農作物, △飼育水利用畜産物
一般居住者1 (廃棄物埋設地)	●居住	△農作物 △畜産物	△魚介類, △飲料水 △かんがい利用農作物, △飼育水利用畜産物
一般居住者2 (広域堆積地)		●居住 △農作物, △畜産物	△魚介類, △飲料水 △かんがい利用農作物, △飼育水利用畜産物
一般居住者3 (非汚染地)		△農作物 △畜産物	△魚介類, △飲料水 △かんがい利用農作物, △飼育水利用畜産物

●は評価対象者の主たる被ばく経路を示し、想定される摂取量などをそのまま考慮する。▲は評価対象者の主たる被ばく経路であるが、領域が限定されるため、市場希釈などを考慮することが適切と考えられる被ばく経路を示す。△は主たる被ばく経路と重なる可能性のある被ばく経路を示し、市場希釈などを考慮する。

地下水シナリオの線量評価例(本体8, 附属書K)

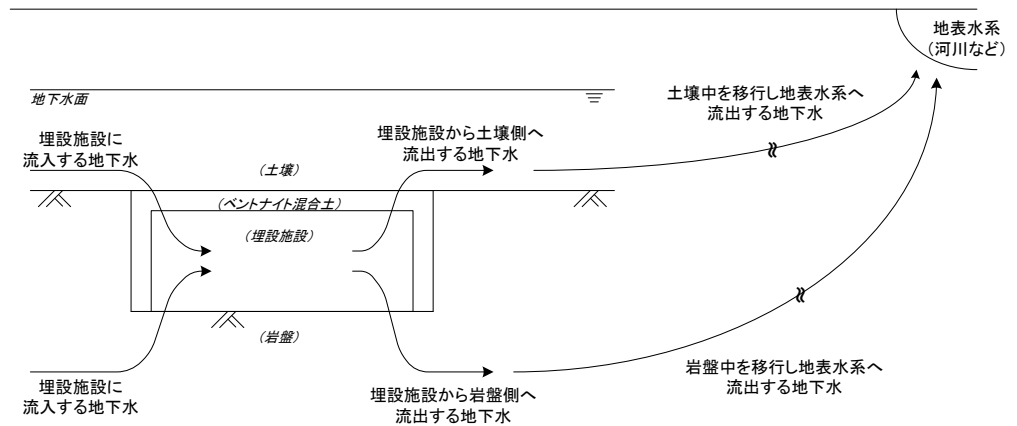
基本シナリオ

a)河川水のかんがい利用

- ①農作物の摂取
- ②農耕作業

b)河川水の摂取等

- ①飲用
- ②水産物の摂取
- ③畜産物の摂取



変動シナリオ評価例1

地質環境: 基本設定

埋設地: 変動設定

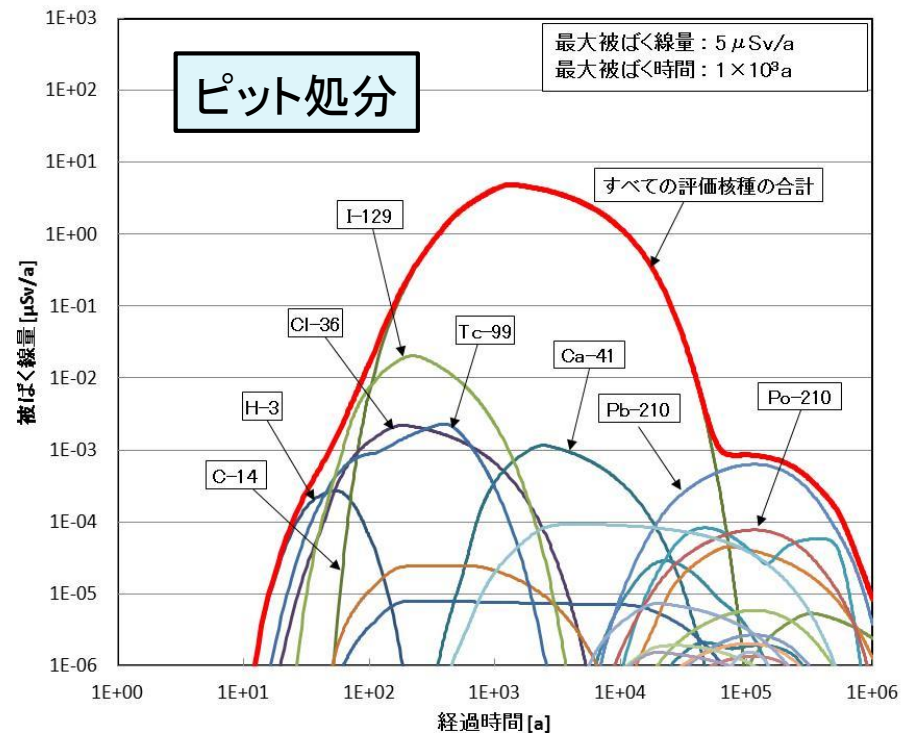
変動シナリオ評価例2

地質環境: 変動設定

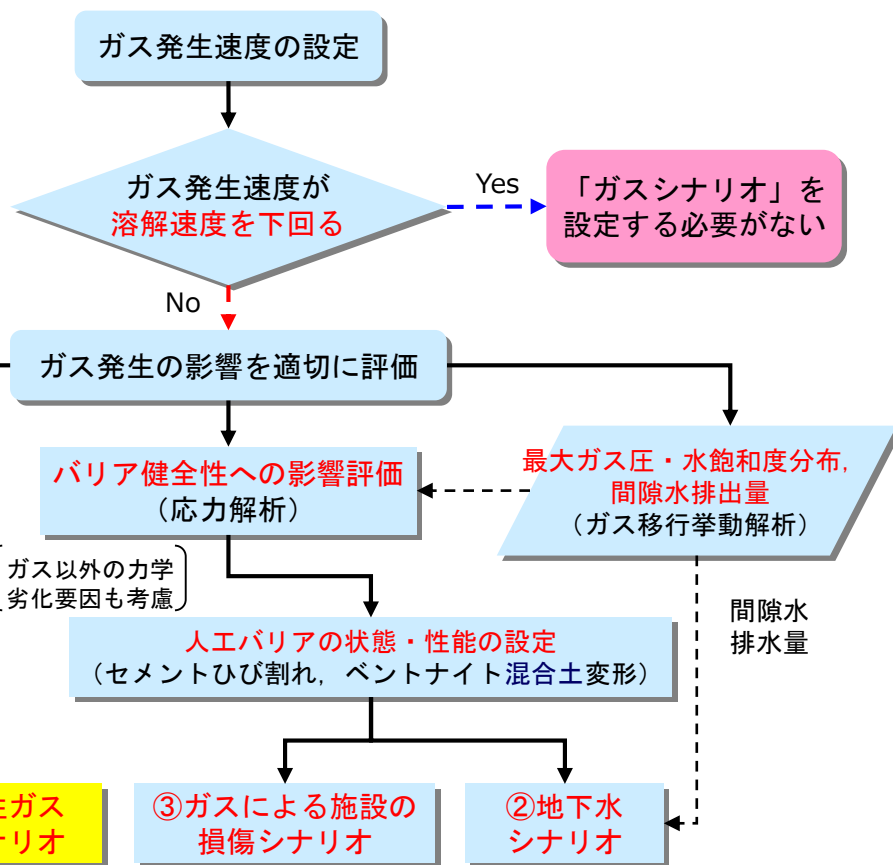
埋設地: 地質環境の変動設定
に対応した確からしい設定

その他のシナリオ評価例

化学的環境の変化による埋
設地の収着性喪失

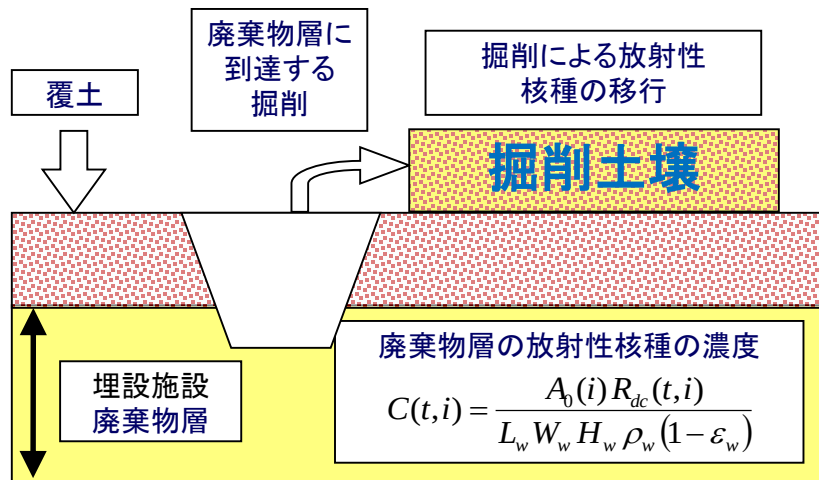


ガスシナリオの線量評価例(本体8, 附属書L)



核種	放射性核種の移行形態	ケース	最大線量 ($\mu\text{Sv/a}$)
H-3	廃棄物から直接大気に移行	基本シナリオ	4.1E-09
		変動シナリオ	4.8E-06
C-14	地下水によって埋施設外へ移行した放射性核種が大気に移行	基本シナリオ(基本地下水シナリオと同条件)	9.2E-04
		変動シナリオ 評価例1【廃棄物埋設地: 変動設定】(ベントナイト混合土の止水性低下→埋施設への浸入水量10倍)	5.5E-03
		評価例2【地質環境: 変動設定】(動水勾配2倍→埋施設への浸入水量2倍, 周辺地下水流速2倍)	1.5E-03
		その他のシナリオ【埋設地の収着性喪失シナリオ】(廃棄物埋設地の収着性能喪失)	1.9E-02
Rn-222	地表付近のRa-226の崩壊で大気に移行	(参考評価) (接近シナリオと同条件(埋施設の地表接近シナリオ))	5.0E+00

接近シナリオの線量評価例(本体8, 附属書M)

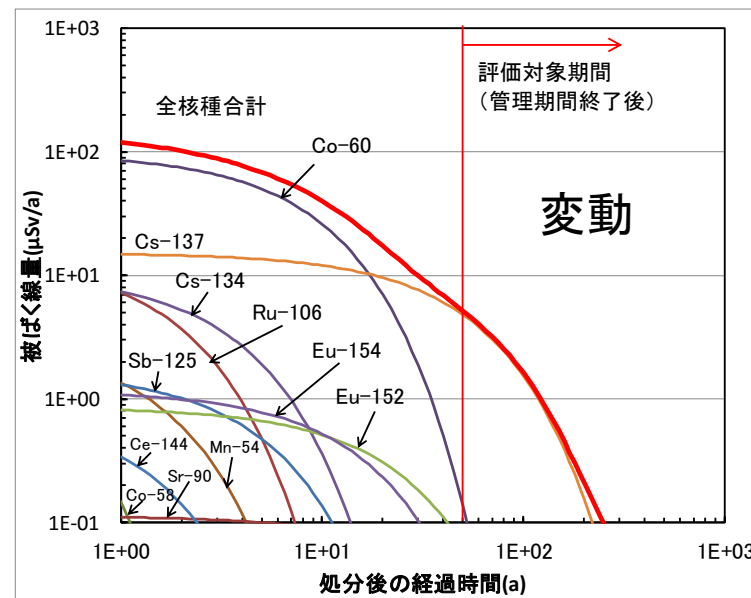
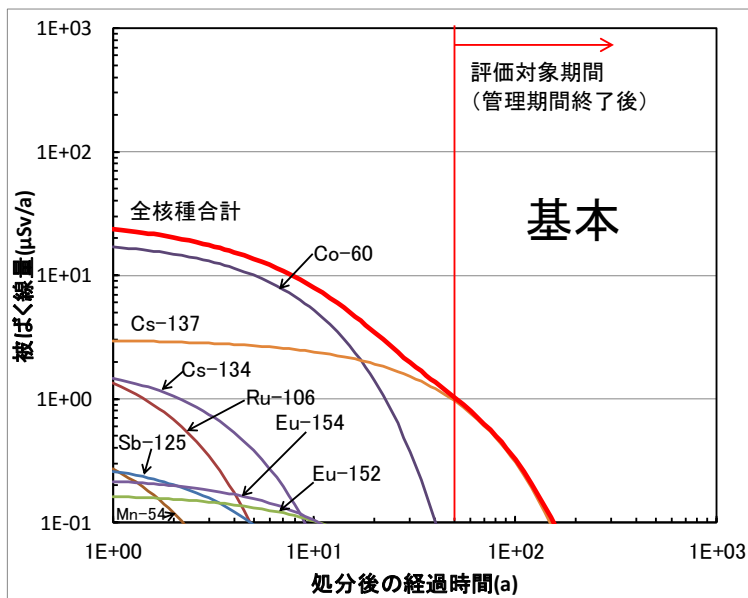


掘削土壌中の放射性核種の濃度

$$C_m(t,i) = C(t,i) G_c$$

$$= \frac{A_0(i) G_c R_{dc}(t,i)}{L_w W_w H_w \rho_w (1 - \varepsilon_w)}$$

トレンチ処分(掘削作業者)



その他シナリオの線量評価例(本体8, 附属書N)

a) 移行経路の短絡シナリオ(ボーリング) (ピット処分)

- ① 河川産物摂取による内部被ばく
- ② 河川水飲用による内部被ばく
- ③ 河川水かんがい利用による農作業による外部被ばく及び吸入被ばく
- ④ 河川水かんがい利用による農産物摂取による内部被ばく
- ⑤ 河川水飼育水利用による畜産物摂取による内部被ばく

b) 廃棄物埋設地近傍の井戸シナリオ (ピット処分)

- ① 地下水摂取による内部被ばく

c) 廃棄物埋設地の掘削シナリオ(ピット処分, トレンチ処分)

- ① 覆土の掘削による建設作業員の外部被ばく及び吸入被ばく
- ② 掘削土壌上での居住による外部被ばく及び吸入被ばく
- ③ 掘削土壌上での家庭菜園による居住者の農産物摂取での内部被ばく
- ④ 掘削土壌上での農耕による農産物摂取による内部被ばく

d) 埋設地の収着性喪失シナリオ(ピット処分, トレンチ処分)

附属書Kで評価

核種	最大線量(μ Sv/a)			
	ピット処分廃棄物埋設地の掘削			
	建設	居住	家庭菜園 農作物	農耕農作 物
C-14	1.8E-03	3.6E-04	8.3E+00	6.3E+01
Cl-36	3.1E-05	1.1E-05	3.8E-02	2.9E-01
Ca-41	6.9E-07	1.1E-07	1.4E-02	1.1E-01
Ni-59	2.7E-04	9.2E-05	6.0E-03	4.6E-02
Ni-63	6.1E-04	1.0E-04	2.8E-01	2.1E+00
Sr-90	4.2E-02	1.4E-02	8.0E+00	6.1E+01
Nb-94	5.7E+00	2.0E+00	7.4E-03	5.6E-02
Mo-93	7.6E-06	2.6E-06	7.6E-03	5.8E-02
Tc-99	1.2E-04	3.3E-05	1.4E+00	1.1E+01
Sn-126	3.3E-01	1.2E-01	3.0E-02	2.3E-01
I-129	2.0E-04	7.0E-05	2.1E-02	1.6E-01
Cs-137	7.8E+00	2.7E+00	8.6E-01	6.5E+00
Pu-239	3.5E+01	5.8E+00	5.3E+00	4.1E+01
Pu-240	3.3E+00	5.3E-01	4.9E-01	3.7E+00
Am-241	9.9E-03	1.7E-03	2.7E-03	2.0E-02
合計	5.3E+01	1.1E+01	2.5E+01	1.9E+02

被ばく経路に関する核種依存パラメータ及び線量評価試算に 用いた埋設施設パラメータ(附属書O)

土壌から農作物(米以外)への移行係数 ((Bq/kg-wet)/(Bq/kg-dry))

		①	②	③	④	⑤	⑥	⑦	⑧	⑨	①→⑥+Max(⑦⑧⑨)				
	元素	IAEA SRS No.19	IAEA SRS No.44	IAEA SS No.57	IAEA TRS No.364	IAEA TD-401	IAEA TD-1000	NUREG/ CR-3585	ORNL- 5786 (veg)	NCRP No.129	設定値	出典	Uchida 2007	IAEA TRS No.472 最小	IAEA TRS No.472 最大
1	H		1.0E+0			5.0E+0		4.8E+0			1.0E+0	IAEA SRS No.44			
4	Be								1.0E-2	4.0E-3	1.0E-2	ORNL-5786(veg)			
6	C		7.0E-1			1.0E-3		5.5E-1			7.0E-1	IAEA SRS No.44			
11	Na	5.0E-2	5.5E-2	5.0E-2		5.0E-2	5.0E-2	4.6E-3	7.5E-2	5.0E-2	5.0E-2	IAEA SRS No.19	2.3E-3	2.7E-3	2.4E-2
14	Si								3.5E-1	2.0E-2	3.5E-1	ORNL-5786(veg)	4.0E-5		
16	S	6.0E-1		6.0E-1		6.0E-1	6.0E-1	5.9E-1	1.5E+0	6.0E-1	6.0E-1	IAEA SRS No.19			
17	Cl		5.0E+0				5.0E+0	5.0E+0	7.0E+1	2.0E+1	5.0E+0	IAEA SRS No.44		2.2E+0	3.1E+1
19	K						4.0E-2		1.0E+0	3.0E-1	4.0E-2	IAEA TD-1000	3.3E-1	6.5E-1	6.5E-1
20	Ca		3.5E-1			3.0E-1	3.0E-1	3.6E-2	3.5E+0	5.0E-1	3.5E-1	IAEA SRS No.44	2.7E-2		
21	Sc							1.1E-3	6.0E-3	2.0E-3	6.0E-3	ORNL-5786(veg)			
23	V								5.5E-3	2.0E-3	5.5E-3	ORNL-5786(veg)	4.5E-5		
25	Mn	3.0E-1	3.0E-1	5.0E-1	3.0E-1	5.0E-1		1.2E-1	2.5E-1	3.0E-1	3.0E-1	IAEA SRS No.19	2.6E-3	9.9E-3	3.9E+0
26	Fe	1.0E-3	1.0E-3	7.0E-4			1.0E-3	4.2E-4	4.0E-3	1.0E-3	1.0E-3	IAEA SRS No.19	1.5E-4	8.9E-5	1.9E-4
27	Co	8.0E-2	8.0E-2	3.0E-2	2.4E-2	3.0E-2	8.0E-2	1.5E-1	2.0E-2	8.0E-2	8.0E-2	IAEA SRS No.19	5.1E-4	4.8E-3	4.4E-2
28	Ni	3.0E-1	3.0E-1	2.0E-2				2.1E-2	6.0E-2	5.0E-2	5.0E-2	NCRP No.129	3.0E-3	2.4E-2	2.4E-2
30	Zn	2.0E+0	2.0E+0	4.0E-1	2.6E-1			1.1E-1	1.5E+0	4.0E-1	2.0E+0	IAEA SRS No.19	3.3E-2	3.9E-2	1.6E+0
34	Se	1.0E-1	1.3E-1				1.0E-1	1.3E+0	2.5E-2	1.0E-1	1.0E-1	IAEA SRS No.19	4.4E-3		
37	Rb	2.0E-1	2.0E-1					1.3E-1	1.5E-1	2.0E-1	2.0E-1	IAEA SRS No.19	5.0E-2	5.5E-2	7.9E-1
38	Sr	3.0E-1	3.0E-1	3.0E-1	5.5E-1	3.0E-1	3.0E-1	7.5E-2	2.5E+0	3.0E-1	3.0E-1	IAEA SRS No.19	1.2E-2	1.7E-2	1.2E+0
39	Y	3.0E-3		2.0E-3			3.0E-3		1.5E-2	2.0E-3	3.0E-3	IAEA SRS No.19	1.2E-4	1.8E-4	4.4E-4
40	Zr	1.0E-3	1.0E-3	5.0E-3				7.7E-4	2.0E-3	1.0E-3	1.0E-3	IAEA SRS No.19		3.5E-4	8.7E-4
41	Nb	1.0E-2	1.0E-2	1.0E-2	4.3E-3			9.4E-3	2.0E-2	1.0E-2	1.0E-2	IAEA SRS No.19		7.5E-4	1.2E-2
42	Mo	2.0E-1	2.0E-1				2.0E-1	1.2E-1	2.5E-1	1.0E-1	2.0E-1	IAEA SRS No.19	4.7E-2	4.5E-2	7.0E-1
43	Tc	5.0E+0	5.0E+0	5.0E+0	2.1E+2		5.0E+0	1.1E+0	9.5E+0	5.0E+0	5.0E+0	IAEA SRS No.19		4.8E-2	1.6E+1

地盤の変形，地震，津波及びその他の外部からの衝撃による損傷の防止に関連する評価例（附属書P）

- ▶ 地盤の変形
 - 廃棄物埋設地は，変形した場合においてもその**安全性が損なわれるおそれがない**地盤に設けなければならない。
- ▶ 地震
 - 廃棄物埋設施設は，地震力に**十分に耐えることができるもの**でなければならない。
- ▶ 津波
 - 当該廃棄物埋設施設に大きな影響を及ぼすおそれがある津波に対して**安全性が損なわれるおそれがないもの**でなければならない。
- ▶ 地震及び津波を除く自然事象（洪水，風（台風），竜巻，凍結，降水，積雪，落雷，地滑り，火山の影響，地形及び陸水の変化，生物学的事象又は森林火災等），並びに故意によるものを除く人為によるもの（飛来物（航空機落下等），ダムの崩壊，爆発，近隣工場等の火災，有毒ガス，電磁的障害等）
 - 廃棄物埋設施設は，想定される自然現象（地震及び津波を除く。）が発生した場合においても**安全性を損なわないもの**でなければならない。廃棄物埋設施設は，事業所又はその周辺において想定される当該廃棄物埋設施設の安全性を損なわせる原因となるおそれがある事象であって人為によるもの（故意によるものを除く。）に対して**安全性を損なわないもの**でなければならない。
- ▶ 安全性が損なわれるおそれがない＝>閉じ込め，移行抑制又は遮蔽の機能が損なわれない
- ▶ “許可基準規則に定める技術的要件を満足する技術的内容は、本解釈に限定されるものではなく、当該規則に照らして十分な保安水準の確保が達成できる技術的根拠があれば、当該規則に適合するものと判断する。”＝>線量が小さい場合も必要か？

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」とその解釈に対応できることを目指した。
- ▶ トレンチ処分とピット処分の安全評価手法を統合。
- ▶ 近く公衆審査が開始される予定。

（今後の課題）

- ▶ 廃棄物埋設の放射線防護基準の検討結果の反映
- ▶ 中深度処分の規制内容との整合性
- ▶ 浅地中処分と中深度処分の安全評価手法の統合の判断
- ▶ パラメータ等に関する最新知見の反映
- ▶ 安全評価シナリオ，主要パラメータ設定方法等の標準化