
人エバリアの性能評価

(公財)原子力環境整備促進・資金管理センター
処分技術調査研究プロジェクト

大和田 仁

放射性廃棄物の種類と処分方策

処分形態と処分深度

発生源

①原子力発電所

- ・運転に伴って発生する廃棄物(冷却水、イオン交換樹脂など)
- ・原子炉の点検や解体等に伴って発生する廃棄物(炉心構造物等の放射化金属を含む)
- ・使用済み核燃料→我が国では全量を再処理する(廃棄物ではない)

②燃料加工施設

- ・ウラン燃料加工施設から発生するもの→ウラン廃棄物: 処分方策は検討中
- ・MOX燃料加工施設から発生するもの→いわゆるTRU廃棄物

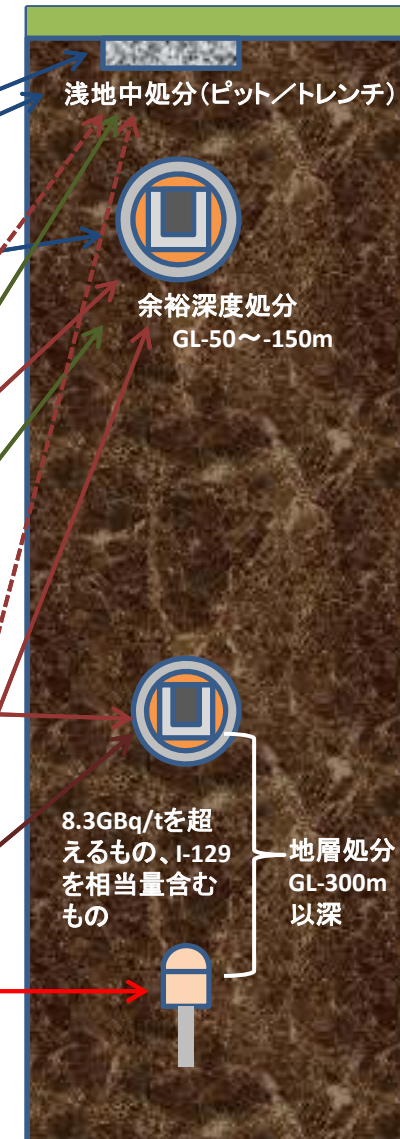
③再処理工場

- ・ガラス固化体以外の廃棄物(施設の解体廃棄物を含む)→いわゆるTRU廃棄物
- ・ガラス固化体→高レベル廃棄物

④放射性物質を使う研究機関

⑤放射性物質を使う医療機関

RI・研究所等廃棄物



放射性廃棄物の処分における安全確保

- ・ 処分場の建設から操業開始まで
 - 一般の工事と同様、作業における安全の確保、空洞の確保
- ・ 操業期間から埋め戻しまで
 - ① 放射線からの防護 : 必要な遮蔽を行う
 - ② 放射性物質の漏洩の防止 : 輸送容器、処分容器等による核種の閉じ込め
 - ③ 放射性物質の移行の防止 : 処分容器による核種の閉じ込め
- ・ 処分坑道の埋め戻しから閉鎖まで
 - ① 放射性物質の漏洩の防止 : 人工バリアによる核種の閉じ込め
 - ② 放射性物質の移行の防止 : 人工バリアによる核種の閉じ込め
 - ※ 少なくとも処分場の閉鎖までは再取り出しを考慮しなければならないが、処分容器のみで物理的に閉じ込める機能を持たせることを明確に要求しては居ない
- ・ 処分場閉鎖後
 - ① 生物圏(地表付近)からの隔離 : 十分な処分深度と移行距離*1
 - ② 放射性物質の移行の抑制 : 人工バリアおよび天然バリアによる核種の移行抑制*2

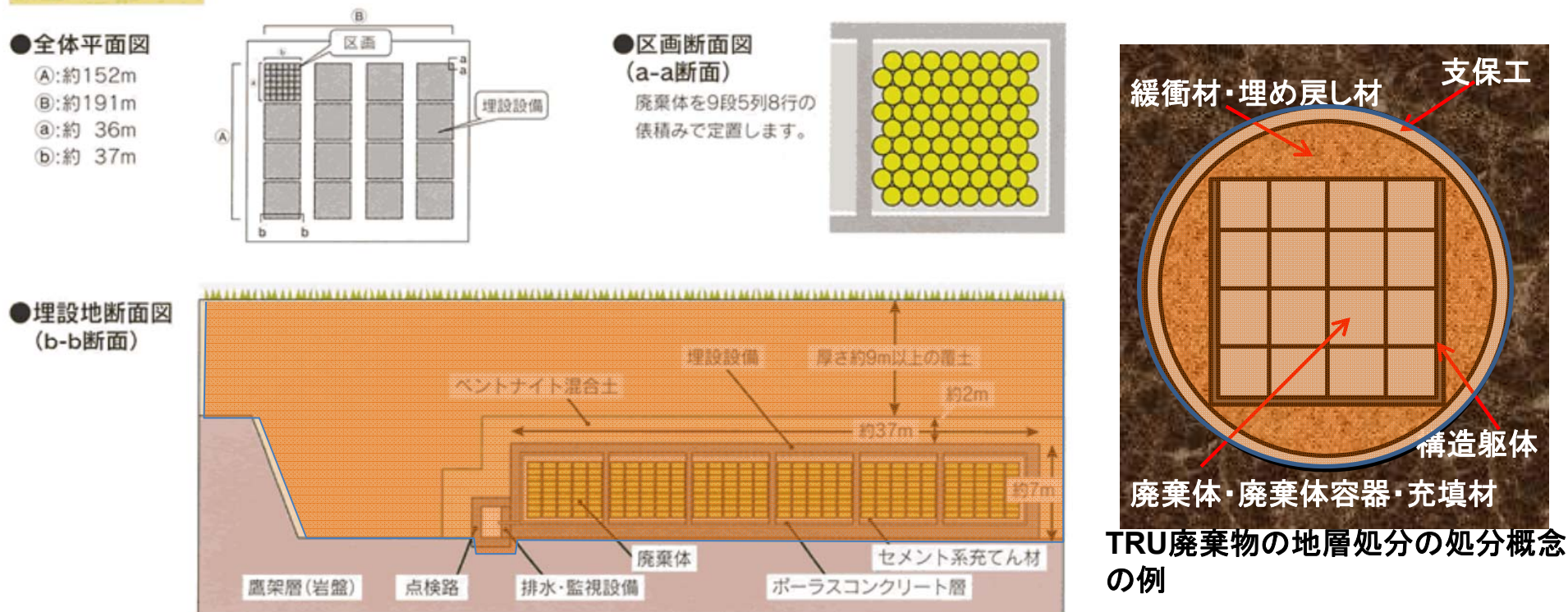
*1 移行距離とは、処分施設からもっとも近い断層等の移行経路までの距離のこと。高レベル廃棄物地層処分第2次とりまとめおよび第2次TRUレポートでは、最寄りの断層までの距離を100mと仮定している。

*2 核種の移行抑制には、地質媒体および人工バリア中の小さな拡散係数、小さな透水係数による抑制の他、人工バリア材や地質媒体への収着、地質媒体内への核種の拡散等が考えられている。

人工バリアとは？

- ・放射性物質を人間環境から隔離するために設けられる障壁のうち、最も内側にある機能 (Wikipedia)
- ・地下水によって放射性物質が人間環境に運ばれてくることを抑制するため人工的に設けられる障壁をいい、ガラス固化体、オーバパックおよび緩衝材をまとめていう。
(ATOMICA)

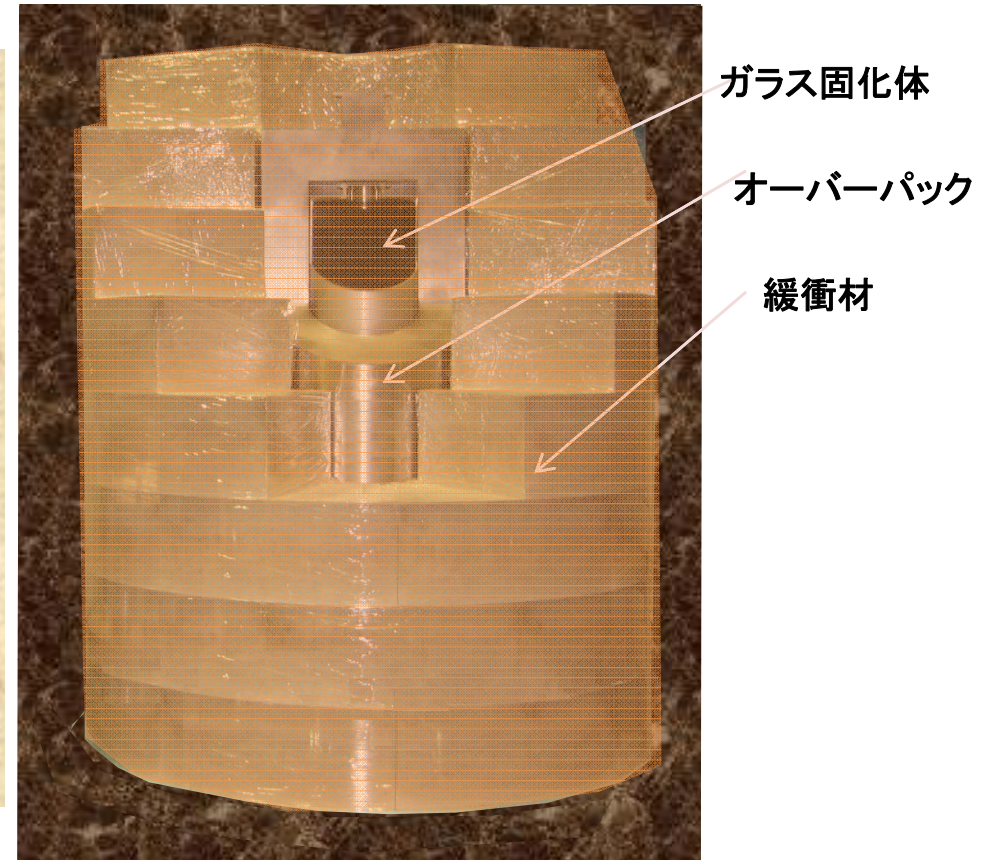
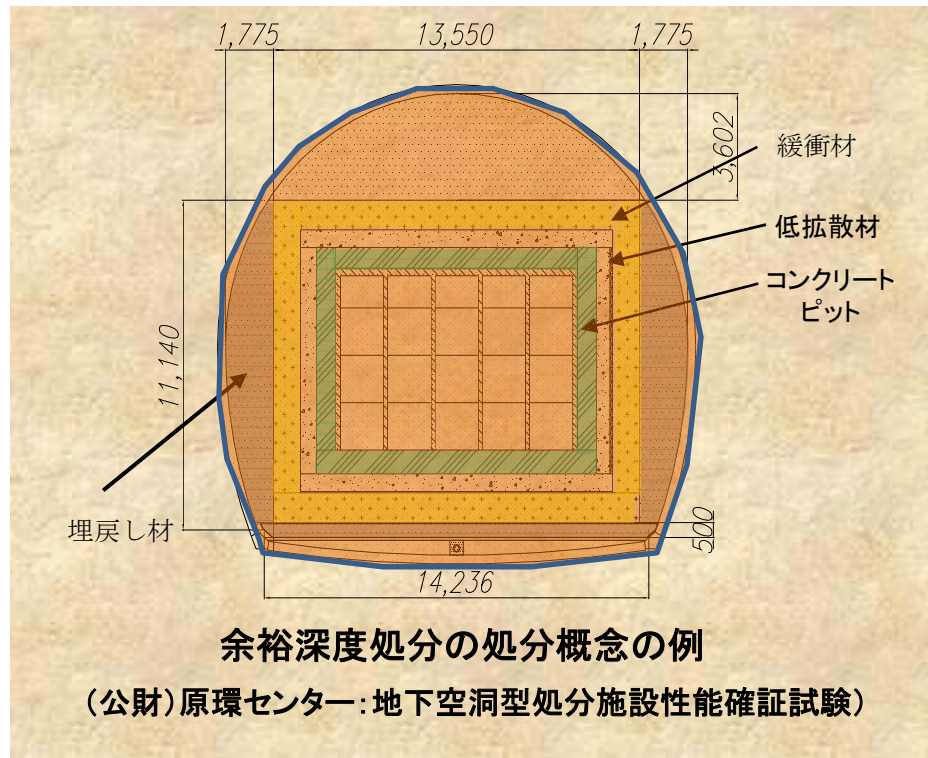
2号埋設設備



http://www.jnfl.co.jp/business-cycle/2_maisetsu/maisetsu_03/maisetsu_04/maisetsu_04_04.html

浅地中ピット処分の処分概念の例 (日本原燃六カ所埋設センター 2号埋設)

人工バリアとは？



高レベル廃棄物の処分概念の例
(公財)原環センター:実規模実証設備(幌延) 展示物

性能評価とは？

・性能評価と安全評価(ここでの定義)

性能評価(施設の性能を示すもの)

・処分場の置かれた環境、設計において、
処分場の性能を示すもの、処分場が想定した
機能を果たすかどうか確認するもの。

⇒ 必ずしも保守的な設定によらない

安全評価(安全性を示すもの)

・処分場の置かれた環境、設計において、
放射性核種の影響が十分に低く保たれることを
示すもの、方法。

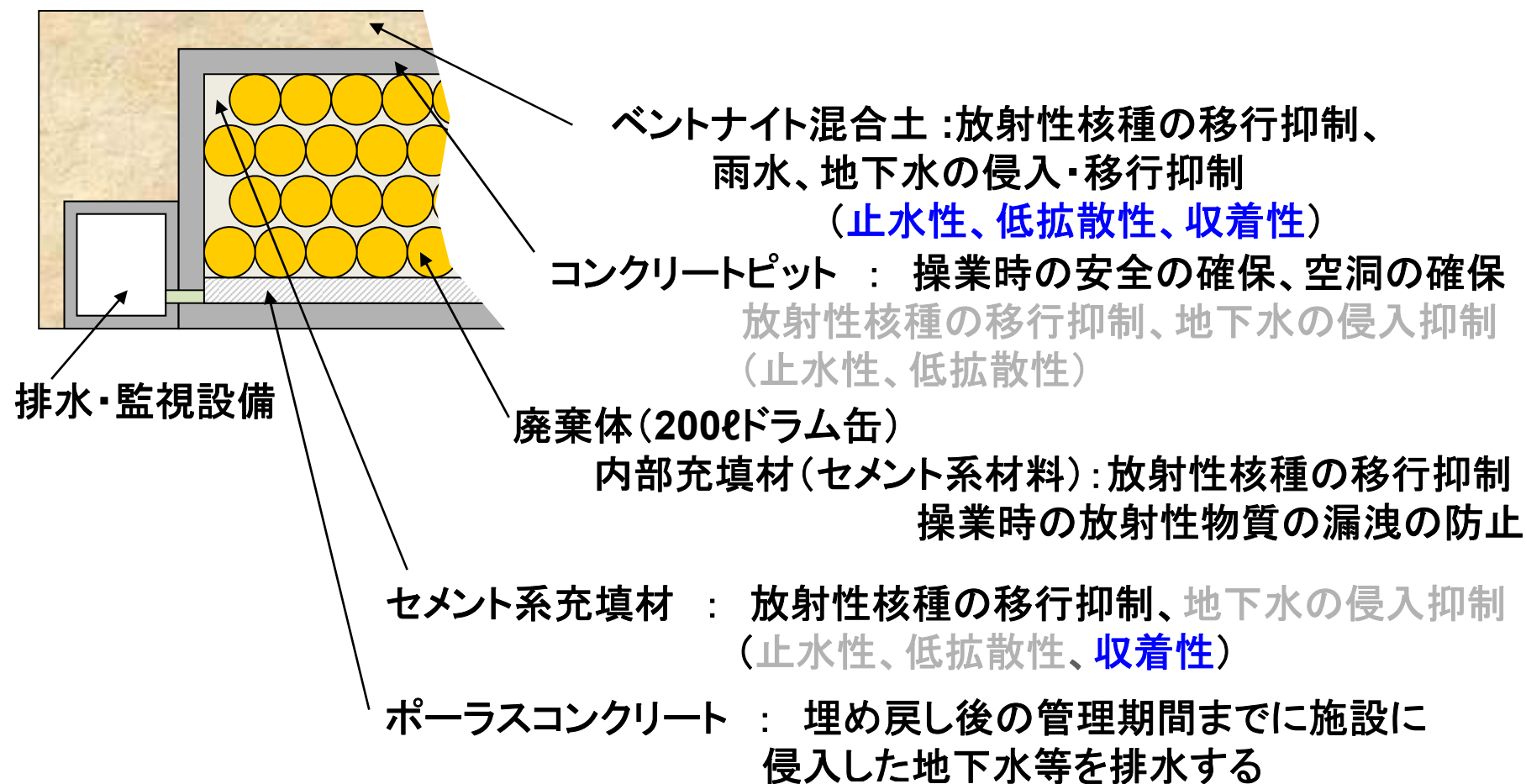
・設置許可申請等に伴って、施設の安全性が
担保されることを確認するもの、方法。

⇒ 不確実性を含む事象は保守的
な考え方をを用いて評価

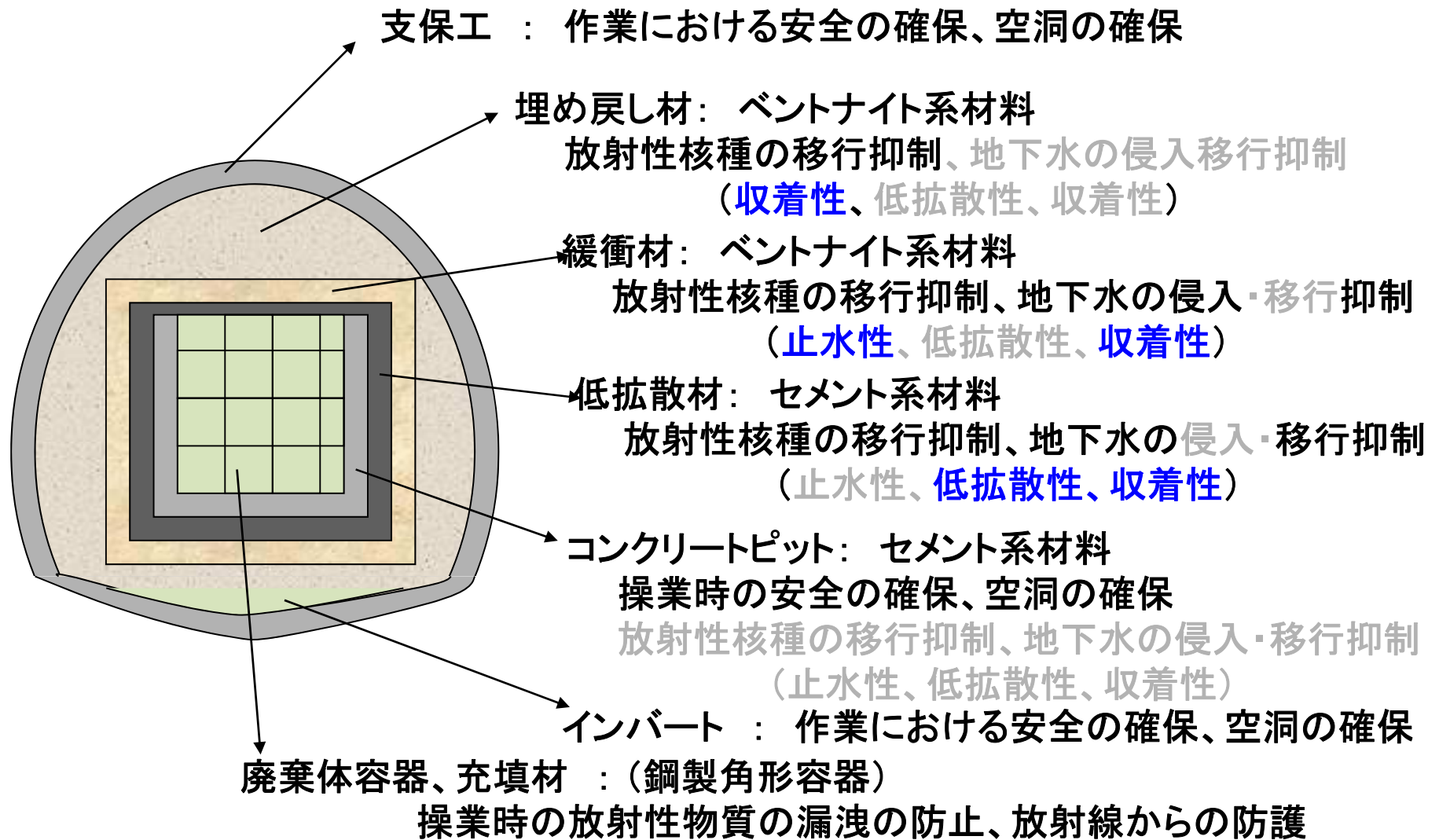
人工バリアの機能 ① 浅地中ピット処分(LLW)の場合

性能評価: 処分場が想定した機能を果たすかどうか確認するもの。

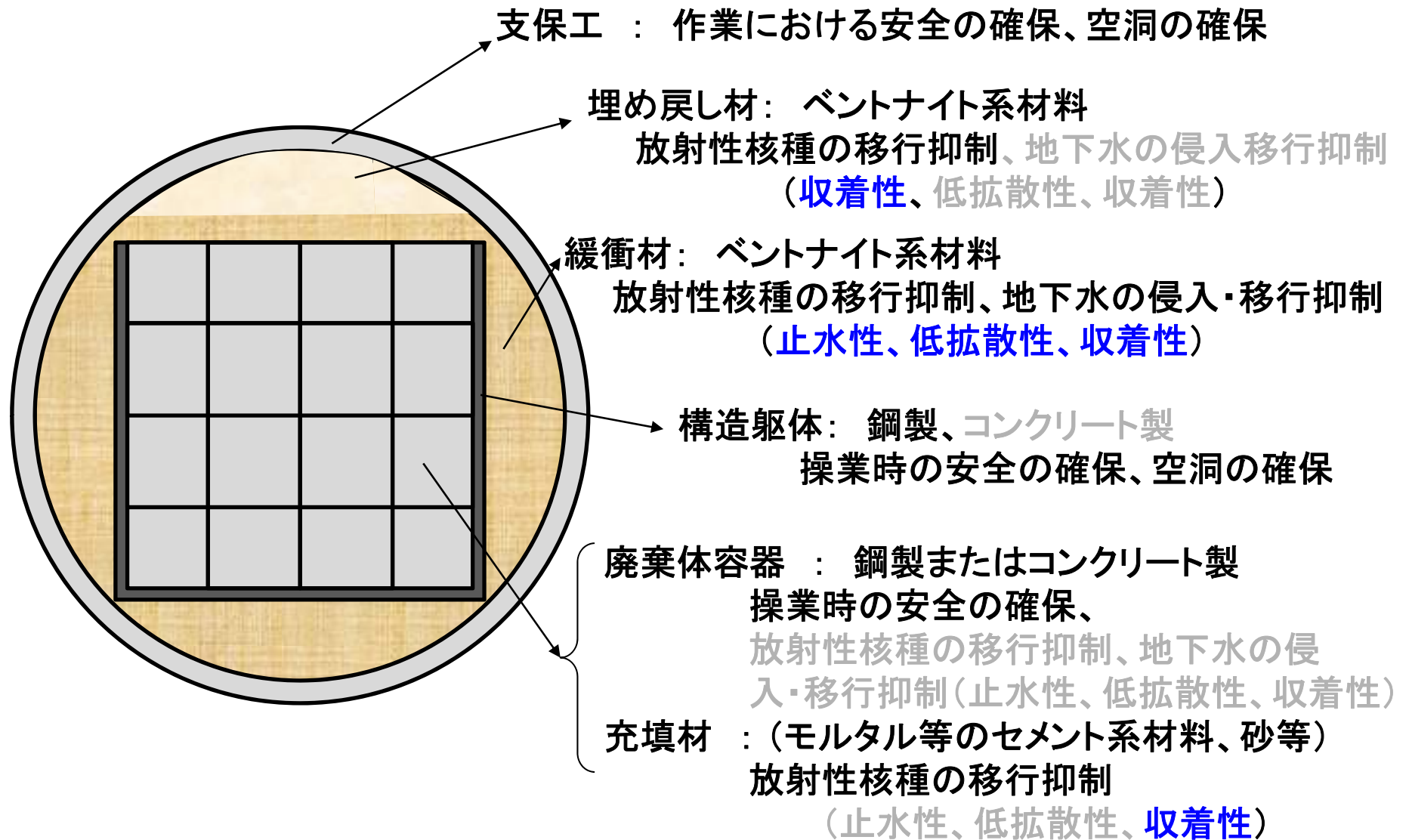
→人工バリアの機能



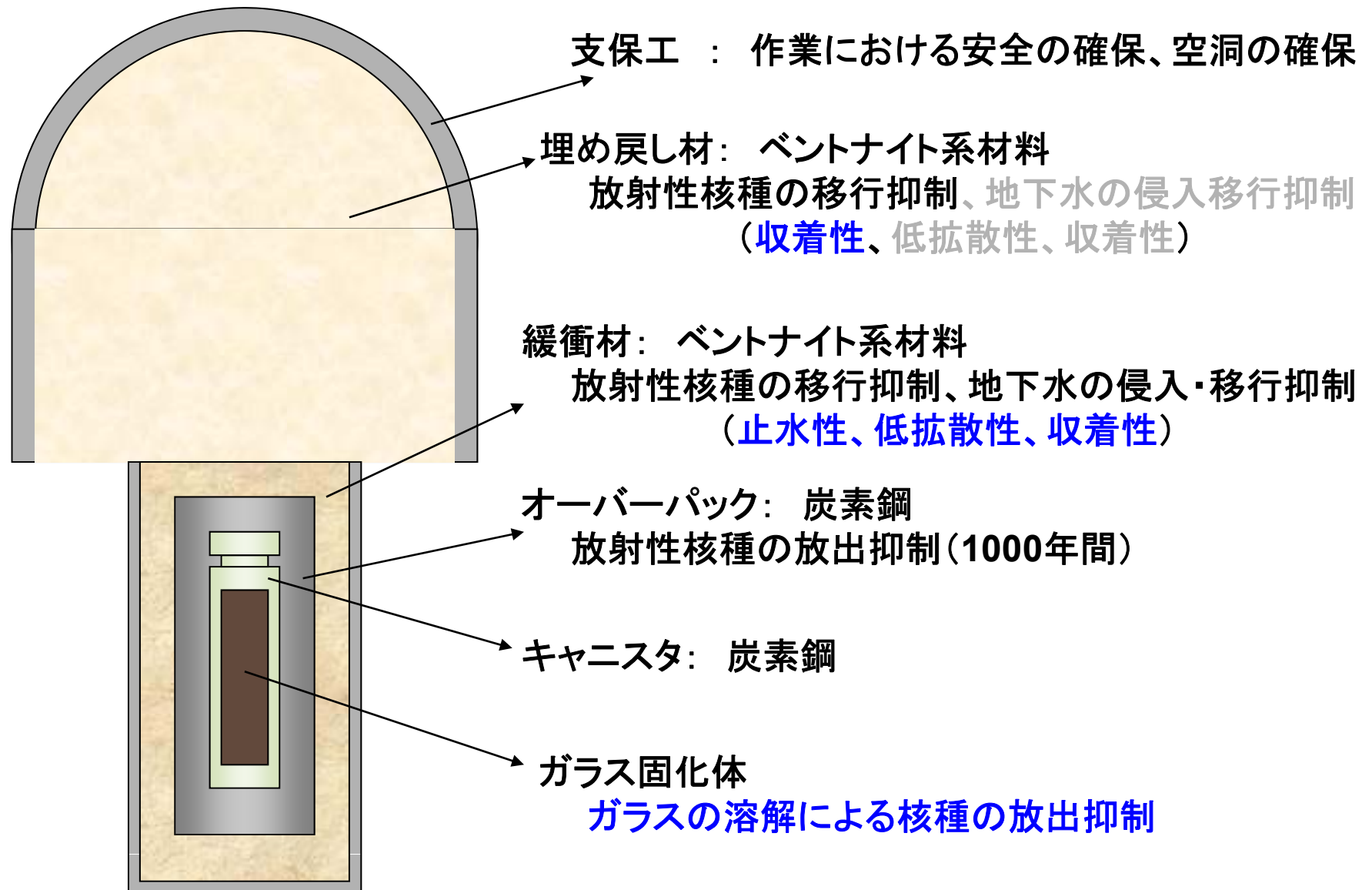
人工バリアの機能 ② 余裕深度処分(LLW)の場合



人工バリアの機能 ③ TRU廃棄物の地層処分の場合



人工バリアの機能 ④ 高レベル廃棄物の地層処分の場合



人工バリアの機能 ⑤各人工バリア材料に期待される機能

主に使われる材料は……

ベントナイト系材料 : 埋め戻し材(ベントナイト混合土)
緩衝材(ベントナイト、珪砂混合ベントナイト)

主に期待する機能 : 止水性、低拡散性、収着性
…処分場内を拡散場に保つとともに、収着によって
核種の移行を抑制する

セメント系材料 : 支保工、低拡散材、充填材、廃棄体容器、(容器内の充填材)

主に期待する機能 : 収着性 …収着によって核種の移行を抑制する
: 低拡散性(余裕深度処分でのみ期待)
… 核種の拡散を抑制することで移行を遅延させる

金属材料 : オーバーパック、キャニスタ、構造躯体

主に期待する機能 : 腐食によって開口するまでの期間(最低1000年間)、
放射性核種を内部に物理的に閉じ込める

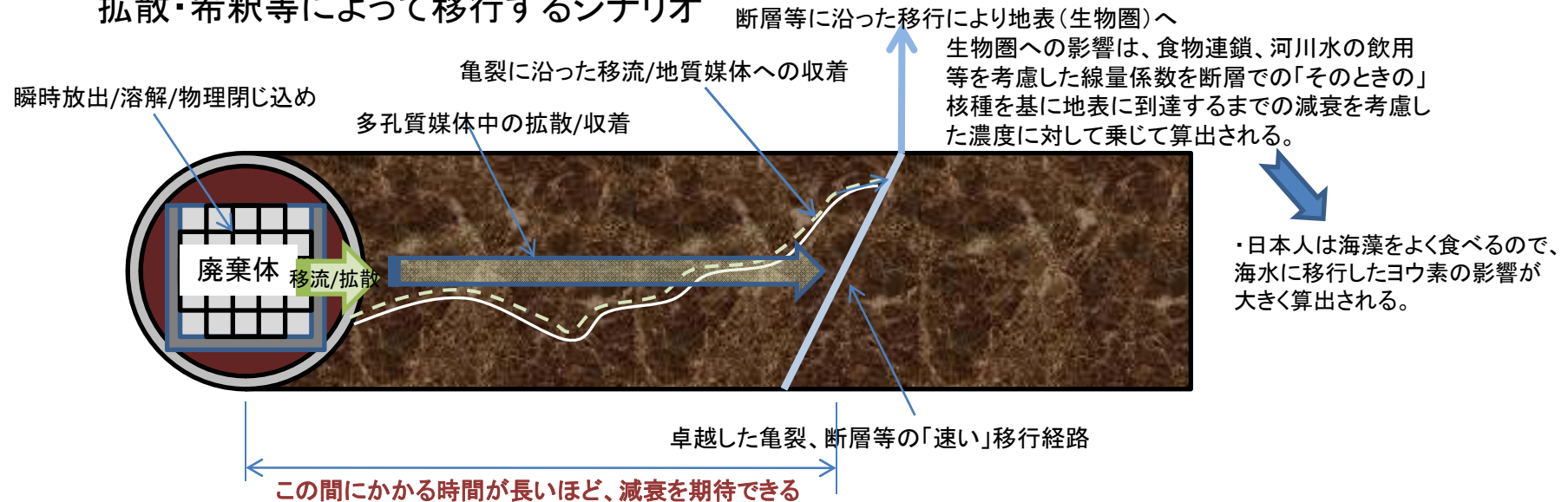
その他 : ガラス(ガラス固化体)

主に期待する機能 : ガラスの遅い溶解による核種の放出抑制

何をしなければならないか？

・地下水移行シナリオ

廃棄物に含まれる放射性核種が、地下水に溶け出し、地下水の流れに沿って移流・拡散・希釈等によって移行するシナリオ



・処分場が想定した機能を果たすかどうか確認するためには、評価対象とする期間、各バリア材料が十分機能することを示す必要がある。

・核種のソースタームを決めるとともに、その放出挙動や、移行経路でのバリア材による移行抑制効果を予測する。

→ そのためには、各バリア材料の性能がどのように発現するのかを理解し、機能が変化する場合にはその辺かも予測する必要がある。

人工バリアの性能(1) ソースターム-1

1. ソースターム

a. 高レベル廃棄物のソースターム

①ガラス固化体に含まれる核種の組成

②ガラス固化体からの核種の放出メカニズム

ガラス固化体の浸出試験の結果、固化体のマトリックスのホウケイ酸塩ガラスからのホウ素の溶出と調和的に核種が放出されるものとされた。

③オーバーパックの寿命

- ・単寿命核種がほぼ減衰し、その危険性が低くなる1000年間、オーバーパックによって物理的に核種を閉じ込める
- ・オーバーパックの材質となる金属(リファレンスでは炭素鋼)の腐食速度を基にしたオーバーパック厚さ: 40mm
- ・作業中の放射線安全(遮蔽)を考慮してオーバーパックの厚さ(190mm)が設定されている

表 5.3.1-2 ガラス固化体1本あたりの放射性核種および安定同位体のインベントリ (処分後1,000年時点)

元素	同位体	半減期 ^{*)} [y]	モル数 [mol]	放射能 [Bq]	元素	同位体	半減期 ^{*)} [y]	モル数 [mol]	放射能 [Bq]
Sc	79	6.50×10^{14}	8.04×10^{-2}	1.64×10^{10}	Th	229	7.34×10^4	2.51×10^{-6}	4.52×10^{10}
	Stable	—	6.86×10^{-1}	—		230	7.70×10^4	5.37×10^{-6}	9.23×10^{10}
Zr	93	1.53×10^{16}	8.54	7.39×10^{10}		232	1.41×10^{10}	6.50×10^{-6}	6.13
	Stable	—	4.74×10^{-1}	—	Pa	231	3.28×10^4	2.23×10^{-6}	8.99×10^{10}
Nb	93m	1.36×10^{11}	7.21×10^{-5}	7.02×10^{10}	U	233	1.59×10^4	1.17×10^{-5}	9.75×10^{10}
	94	2.03×10^{14}	2.80×10^{-4}	1.83×10^{10}		234	2.45×10^5	1.50×10^{-2}	8.14×10^{10}
	Stable	—	2.67×10^{-2}	—		235	7.04×10^8	1.46×10^{-1}	2.74×10^{10}
Tc	99	2.13×10^5	8.27	5.14×10^{11}		236	2.34×10^8	1.05×10^{-1}	5.94×10^{10}
Pd	107	6.50×10^{16}	2.04	4.16×10^{10}		238	4.47×10^9	1.31×10^{-1}	3.89×10^{10}
	Stable	—	1.18×10^{-1}	—	Np	237	2.14×10^6	3.74	2.31×10^{10}
Sn	126	1.00×10^{15}	2.25×10^{-1}	2.07×10^{10}	Pu	238	8.77×10^4	6.40×10^{-5}	9.70×10^{10}
	Stable	—	6.82×10^{-1}	—		239	2.41×10^4	1.60×10^{-1}	8.79×10^{10}
Cs	135	2.30×10^6	3.19	1.83×10^{10}		240	6.54×10^3	1.78×10^{-1}	3.59×10^{11}
	Stable	—	8.84	—		241	1.44×10^4	1.23×10^{-5}	1.13×10^{10}
Sm	151	9.00×10^{11}	3.20×10^{-5}	4.71×10^{10}		242	3.87×10^4	1.12×10^{-5}	3.82×10^{10}
	Stable	—	3.33	—	Am	241	4.32×10^3	1.88×10^{-1}	5.75×10^{11}
Pb	210	2.23×10^4	3.48×10^{-8}	2.07×10^{10}		242m	1.52×10^5	5.79×10^{-5}	5.04×10^{10}
	Stable	—	3.81×10^{-2}	—		243	7.38×10^4	4.01×10^{-1}	7.18×10^{11}
Ra	226	1.60×10^3	2.62×10^{-7}	2.16×10^{10}	Cm	245	8.50×10^3	7.26×10^{-1}	1.13×10^{10}
Ac	227	2.18×10^3	1.48×10^{-8}	8.98×10^{10}		246	4.73×10^3	8.29×10^{-1}	2.32×10^{10}

Stable: 安定同位体

*) : ORIGEN2.1コードのDECAYライブラリから引用した。この半減期データは、人工バリア、天然バリア、および生物圏の評価で共通に使用する。なお、Se-79の半減期については、最近の研究から、より長い半減期であることが示唆されている(たとえば、Li et al. (1997)では $(1.13 \pm 0.17) \times 10^6$ 年)、半減期が長くなったとしてもレファレンスケースの評価結果に大きな影響を及ぼすことはないことを確認している(石原ほか, 1999b)。

わが国における高レベル放射性廃棄物地層処分の技術的信頼性 — 地層処分研究開発第2次取りまとめ — 第3分冊 p.V-29

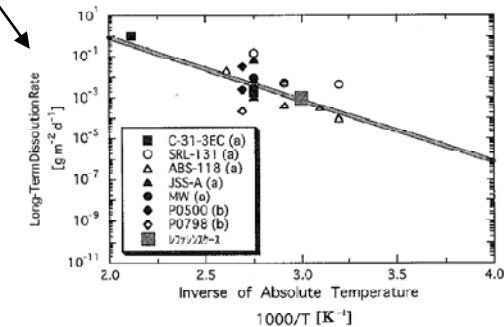


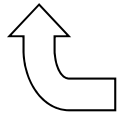
図 5.3.1-4 長期浸出試験における各種ガラス固化体の溶解速度

Ohno et al. (1991) のアレニウスプロットで用いられているデータ (図中(a)) に、石原・増田 (1990) のデータ (図中(b)) を加え、回帰直線を求め直したもの。

人工バリアの性能(1) ソースターム-2

b. その他の廃棄物のソースターム

基本的に、放射性核種は処分場が地下水によって飽和した時点で瞬時に廃棄体定置領域に放出されるものとして設定されている。



- ・廃棄体(ドラム缶等)の寿命、廃棄体内部充填材等のセメント系材料のひび割れ発生等を予測することが困難。
- ・廃棄物の形態が多種多様 (液体や粉体をセメント固化したものや雑固体、付着物など)

例外: TRU廃棄物のグループ2(ハル・エンドピース)からの核種の放出
ハル・エンドピース(ジルカロイ)に含まれる放射性核種

① 表面への付着(FP)及びジルカロイの酸化被膜に含まれるC-14

→ 瞬時放出を仮定

- ・酸化被膜からの放出メカニズムが明らかでない
- ・付着した核種は速やかに地下水に放出されるものと考えられる

② ジルカロイ中の放射化生成核種

→ ジルカロイの腐食速度を仮定し、調和的に核種が放出される

人工バリアの性能(2) 各材料の性能

1. ベントナイト系材料の性能

主に期待する機能は、止水性、
低拡散性、収着性

ベントナイト系材料の**拡散係数**および
透水係数は、**有効スメクタイト密度**の関数
として表す事ができる。

→処分場の設計に当たっては、長期的
な変化も考慮して、緩衝材厚さおよび配合
を設定している。

→性能評価では有効スメクタイト密度
の変化を考慮した拡散係数、透水係数の
設定が必要となる場合がある。

長期的に考慮すべき事象

セメント系材料から浸出する**高アルカリ水**の
影響、イライト化、疑クロライト化 ……

→ **有効スメクタイト密度の変化の
原因**

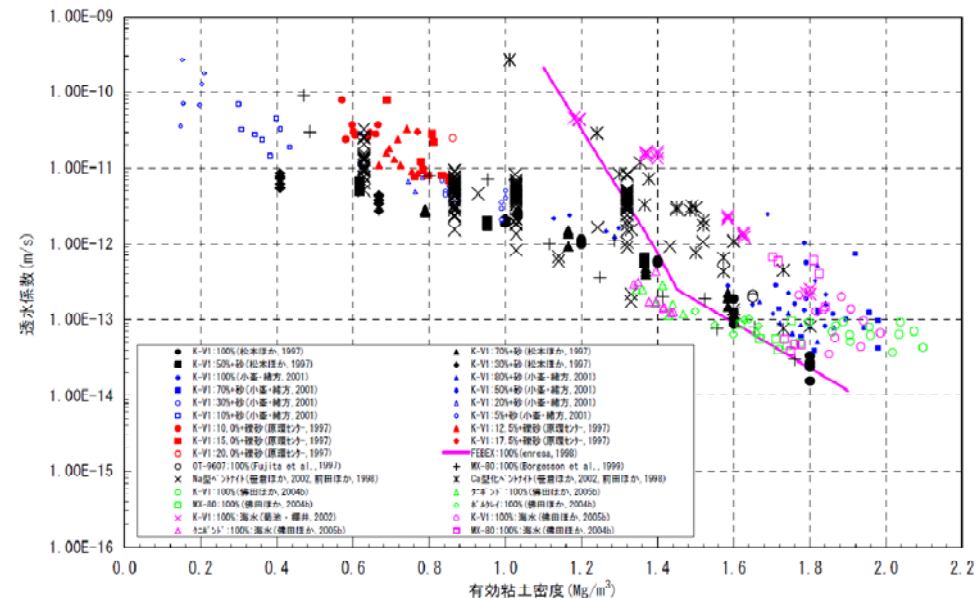


図 3.2.1.2-4 各種ベントナイトの有効粘土密度と透水係数の関係

$$De^{HTO} = \theta \times (\theta^{2.22fs^{0.13}}) D^*$$

$$De^{Cs} = \theta \times (\theta^{1.80fs^{0.13}}) D^*$$

$$De^I = \theta \times (\theta^{4.72fs^{0.13}}) D^*$$

中性核種 (HTO)、陽イオン核種、陰イオン核種の実行拡散係数の算出式
 θ : 間隙率 De : 実行拡散係数 Fs : 有効スメクタイト密度 D^* : 自由水中の拡散係数

人工バリアの性能(2) 各材料の性能

2. セメント系材料の性能

主に期待する機能は収着性。

- ・潜在的には止水性や低拡散性を期待できるが、ひび割れの発生等による性能低下の予測が困難なことから、積極的に期待する機能とはされていない。
- ・この場合透水係数は砂なみとして評価される

余裕深度処分では低拡散性に期待。

- ・外側の緩衝材層で拡散場を維持することで、ひび割れの発生等の影響を回避し、密実なセメント系材料で低透水層を施工することで、核種の拡散を抑制

⇒ 長期評価において、セメント系材料への核種の分配係数はその効果成分であるC-S-Hの量を考慮して設定する。
拡散係数の変化は、変質(右図)にともなう空隙率の変化の関数。

長期的に考慮すべき事象

- ・溶脱による高アルカリ地下水の供給→ソースターム
- ・溶脱に伴う空隙率の変化、C-S-H量の変化

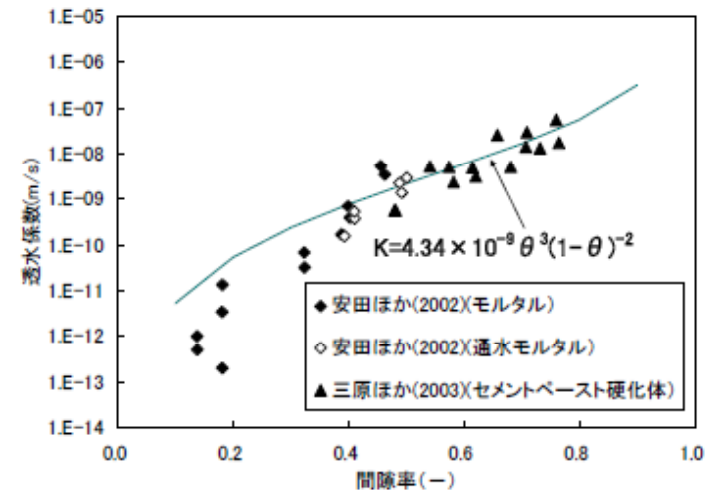


図 4.4.4-1 セメントペースト硬化体・モルタルの空隙率と透水係数との関係

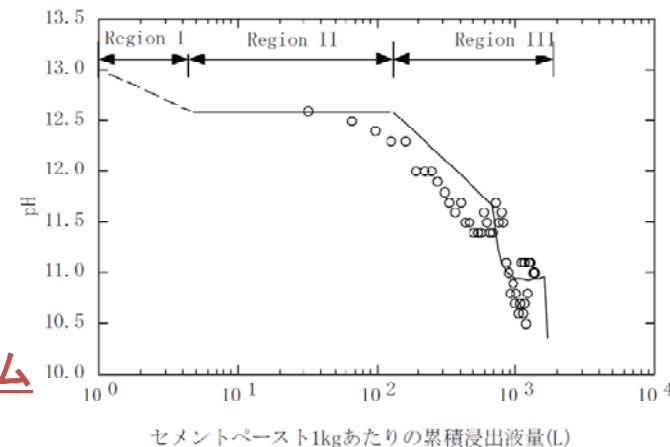
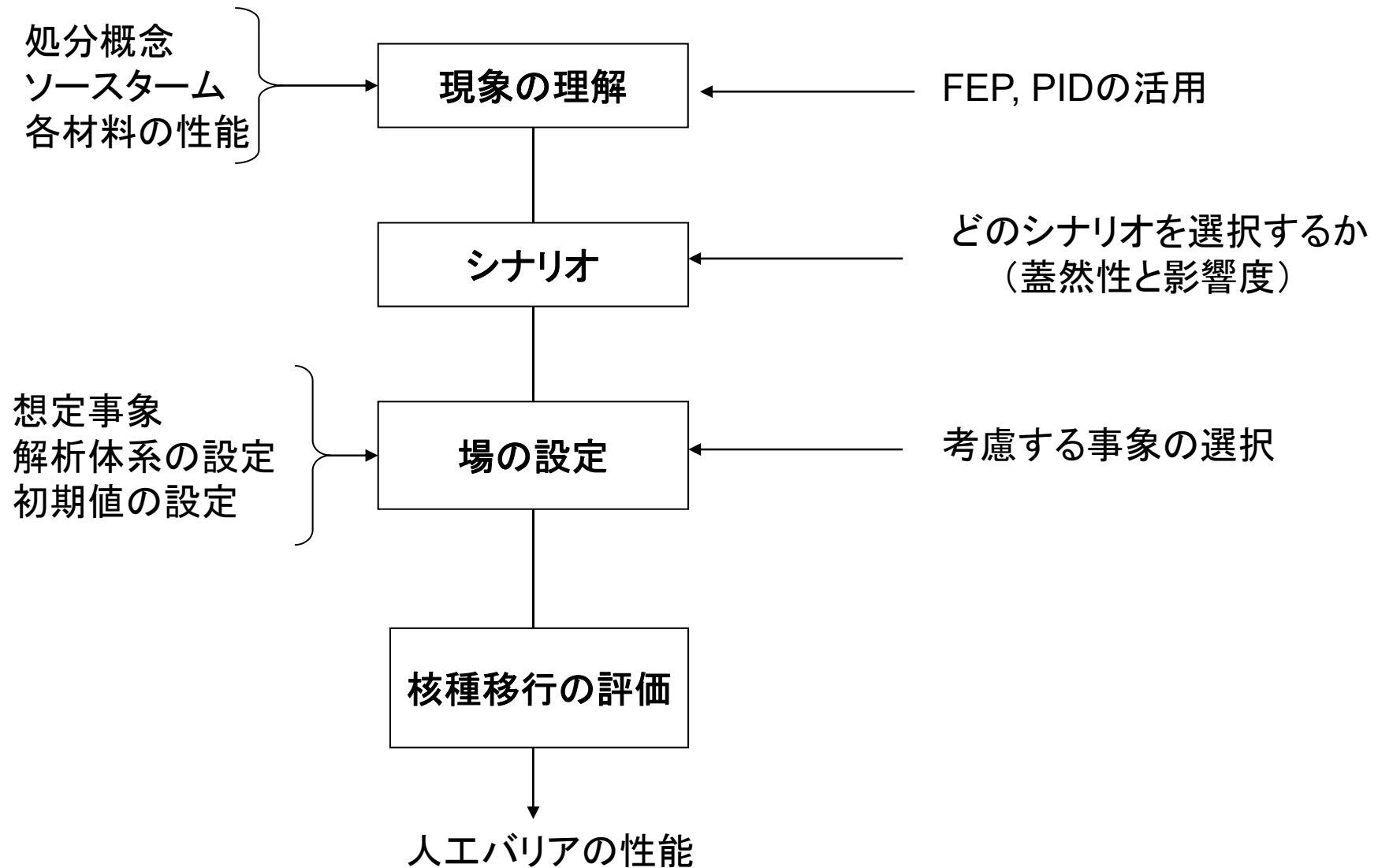


図 4.4.2-1 セメントと接触する溶液組成の変遷 (Atkinson, 1985)

人工バリアの性能評価(1) 性能評価の流れ



人工バリアの性能評価(2) 現象の理解

ここまで述べてきた 処分概念、ソースターム、各材料の性能とその変化等を理解し、処分場で起こる現象を推定、理解する。

・FEP (Feature, Event, Process)の活用

各部材(廃棄体、廃棄体容器、充填材、構造躯体、緩衝材、埋め戻し材、支保)ごとに、処分時および処分後に想定される現象について、その原因と影響(拡散係数や収着性の変化など)を記述したもの。

・PID (Process Influence Diagram)

FEP等に記述された現象について、その発端事象から、その結果生じる事象とを結び、それぞれのつながりを明らかにしたもの

表 4.3.1-1 TRU 廃棄物地層処分における包括的 FEP リスト

	廃棄体	充填材	構造躯体	緩衝材	埋め戻し材・支保	周辺
物理・特性	WT-01 廃棄体の物理特性 WT-02 廃棄体の温度 WT-03 廃棄体の熱膨張 WT-04 廃棄体の変形	MT-01 充填材の物理特性 MT-02 充填材の温度 MT-03 充填材の熱膨張 MT-04 充填材の変形	ST-01 構造躯体の物理特性 ST-02 構造躯体の温度 ST-03 構造躯体の熱膨張 ST-04 構造躯体の変形	BT-01 緩衝材の物理特性 BT-02 緩衝材の温度 BT-03 緩衝材の熱膨張 BT-04 緩衝材の変形	XT-01 付帯設備の物理特性 XT-02 付帯設備の温度 XT-03 付帯設備の熱膨張 XT-04 付帯設備の変形	RT-01 周辺の物理特性 RT-02 周辺の温度 RT-03 周辺の熱膨張 RT-04 周辺の変形
化学的・環境・特性	HA-01 廃棄体の化学特性 HA-02 廃棄体の放射能 HA-03 アスファルト固化体の放射能 HA-04 アスファルト固化体の放射能 HA-05 アスファルト固化体の放射能 HA-06 廃棄体中の放射能 HA-07 廃棄体中の放射能 HA-08 廃棄体中の放射能 HA-09 廃棄体中の放射能 HA-10 外部環境の放射能	MA-01 充填材の化学特性 MA-02 充填材の放射能 MA-03 充填材の放射能 MA-04 充填材の放射能 MA-05 充填材の放射能 MA-06 充填材の放射能 MA-07 充填材の放射能 MA-08 充填材の放射能 MA-09 充填材の放射能 MA-10 外部環境の放射能	SA-01 構造躯体の化学特性 SA-02 構造躯体の放射能 SA-03 構造躯体の放射能 SA-04 構造躯体の放射能 SA-05 構造躯体の放射能 SA-06 構造躯体の放射能 SA-07 構造躯体の放射能 SA-08 構造躯体の放射能 SA-09 構造躯体の放射能 SA-10 外部環境の放射能	BA-01 緩衝材の化学特性 BA-02 緩衝材の放射能 BA-03 緩衝材の放射能 BA-04 緩衝材の放射能 BA-05 緩衝材の放射能 BA-06 緩衝材の放射能 BA-07 緩衝材の放射能 BA-08 緩衝材の放射能 BA-09 緩衝材の放射能 BA-10 外部環境の放射能	XA-01 付帯設備の化学特性 XA-02 付帯設備の放射能 XA-03 付帯設備の放射能 XA-04 付帯設備の放射能 XA-05 付帯設備の放射能 XA-06 付帯設備の放射能 XA-07 付帯設備の放射能 XA-08 付帯設備の放射能 XA-09 付帯設備の放射能 XA-10 外部環境の放射能	RA-01 周辺の化学特性 RA-02 周辺の放射能 RA-03 周辺の放射能 RA-04 周辺の放射能 RA-05 周辺の放射能 RA-06 周辺の放射能 RA-07 周辺の放射能 RA-08 周辺の放射能 RA-09 周辺の放射能 RA-10 外部環境の放射能
力学・特性	MC-01 廃棄体の力学特性 MC-02 廃棄体の力学特性 MC-03 廃棄体の力学特性 MC-04 廃棄体の力学特性 MC-05 廃棄体の力学特性 MC-06 廃棄体の力学特性 MC-07 廃棄体の力学特性 MC-08 廃棄体の力学特性 MC-09 廃棄体の力学特性 MC-10 廃棄体の力学特性 MC-11 廃棄体の力学特性 MC-12 廃棄体の力学特性	MA-01 充填材の力学特性 MA-02 充填材の力学特性 MA-03 充填材の力学特性 MA-04 充填材の力学特性 MA-05 充填材の力学特性 MA-06 充填材の力学特性 MA-07 充填材の力学特性 MA-08 充填材の力学特性 MA-09 充填材の力学特性 MA-10 充填材の力学特性 MA-11 充填材の力学特性 MA-12 充填材の力学特性	SA-01 構造躯体の力学特性 SA-02 構造躯体の力学特性 SA-03 構造躯体の力学特性 SA-04 構造躯体の力学特性 SA-05 構造躯体の力学特性 SA-06 構造躯体の力学特性 SA-07 構造躯体の力学特性 SA-08 構造躯体の力学特性 SA-09 構造躯体の力学特性 SA-10 構造躯体の力学特性 SA-11 構造躯体の力学特性 SA-12 構造躯体の力学特性	BA-01 緩衝材の力学特性 BA-02 緩衝材の力学特性 BA-03 緩衝材の力学特性 BA-04 緩衝材の力学特性 BA-05 緩衝材の力学特性 BA-06 緩衝材の力学特性 BA-07 緩衝材の力学特性 BA-08 緩衝材の力学特性 BA-09 緩衝材の力学特性 BA-10 緩衝材の力学特性 BA-11 緩衝材の力学特性 BA-12 緩衝材の力学特性	XA-01 付帯設備の力学特性 XA-02 付帯設備の力学特性 XA-03 付帯設備の力学特性 XA-04 付帯設備の力学特性 XA-05 付帯設備の力学特性 XA-06 付帯設備の力学特性 XA-07 付帯設備の力学特性 XA-08 付帯設備の力学特性 XA-09 付帯設備の力学特性 XA-10 付帯設備の力学特性 XA-11 付帯設備の力学特性 XA-12 付帯設備の力学特性	RA-01 周辺の力学特性 RA-02 周辺の力学特性 RA-03 周辺の力学特性 RA-04 周辺の力学特性 RA-05 周辺の力学特性 RA-06 周辺の力学特性 RA-07 周辺の力学特性 RA-08 周辺の力学特性 RA-09 周辺の力学特性 RA-10 周辺の力学特性 RA-11 周辺の力学特性 RA-12 周辺の力学特性
放射線学的・特性	RC-01 廃棄体の放射線特性 RC-02 廃棄体の放射線特性 RC-03 廃棄体の放射線特性 RC-04 廃棄体の放射線特性 RC-05 廃棄体の放射線特性 RC-06 廃棄体の放射線特性 RC-07 廃棄体の放射線特性 RC-08 廃棄体の放射線特性 RC-09 廃棄体の放射線特性 RC-10 廃棄体の放射線特性 RC-11 廃棄体の放射線特性 RC-12 廃棄体の放射線特性	MA-01 充填材の放射線特性 MA-02 充填材の放射線特性 MA-03 充填材の放射線特性 MA-04 充填材の放射線特性 MA-05 充填材の放射線特性 MA-06 充填材の放射線特性 MA-07 充填材の放射線特性 MA-08 充填材の放射線特性 MA-09 充填材の放射線特性 MA-10 充填材の放射線特性 MA-11 充填材の放射線特性 MA-12 充填材の放射線特性	SA-01 構造躯体の放射線特性 SA-02 構造躯体の放射線特性 SA-03 構造躯体の放射線特性 SA-04 構造躯体の放射線特性 SA-05 構造躯体の放射線特性 SA-06 構造躯体の放射線特性 SA-07 構造躯体の放射線特性 SA-08 構造躯体の放射線特性 SA-09 構造躯体の放射線特性 SA-10 構造躯体の放射線特性 SA-11 構造躯体の放射線特性 SA-12 構造躯体の放射線特性	BA-01 緩衝材の放射線特性 BA-02 緩衝材の放射線特性 BA-03 緩衝材の放射線特性 BA-04 緩衝材の放射線特性 BA-05 緩衝材の放射線特性 BA-06 緩衝材の放射線特性 BA-07 緩衝材の放射線特性 BA-08 緩衝材の放射線特性 BA-09 緩衝材の放射線特性 BA-10 緩衝材の放射線特性 BA-11 緩衝材の放射線特性 BA-12 緩衝材の放射線特性	XA-01 付帯設備の放射線特性 XA-02 付帯設備の放射線特性 XA-03 付帯設備の放射線特性 XA-04 付帯設備の放射線特性 XA-05 付帯設備の放射線特性 XA-06 付帯設備の放射線特性 XA-07 付帯設備の放射線特性 XA-08 付帯設備の放射線特性 XA-09 付帯設備の放射線特性 XA-10 付帯設備の放射線特性 XA-11 付帯設備の放射線特性 XA-12 付帯設備の放射線特性	RA-01 周辺の放射線特性 RA-02 周辺の放射線特性 RA-03 周辺の放射線特性 RA-04 周辺の放射線特性 RA-05 周辺の放射線特性 RA-06 周辺の放射線特性 RA-07 周辺の放射線特性 RA-08 周辺の放射線特性 RA-09 周辺の放射線特性 RA-10 周辺の放射線特性 RA-11 周辺の放射線特性 RA-12 周辺の放射線特性
環境・特性	EC-01 廃棄体の環境特性 EC-02 廃棄体の環境特性 EC-03 廃棄体の環境特性 EC-04 廃棄体の環境特性 EC-05 廃棄体の環境特性 EC-06 廃棄体の環境特性 EC-07 廃棄体の環境特性 EC-08 廃棄体の環境特性 EC-09 廃棄体の環境特性 EC-10 廃棄体の環境特性 EC-11 廃棄体の環境特性 EC-12 廃棄体の環境特性	MA-01 充填材の環境特性 MA-02 充填材の環境特性 MA-03 充填材の環境特性 MA-04 充填材の環境特性 MA-05 充填材の環境特性 MA-06 充填材の環境特性 MA-07 充填材の環境特性 MA-08 充填材の環境特性 MA-09 充填材の環境特性 MA-10 充填材の環境特性 MA-11 充填材の環境特性 MA-12 充填材の環境特性	SA-01 構造躯体の環境特性 SA-02 構造躯体の環境特性 SA-03 構造躯体の環境特性 SA-04 構造躯体の環境特性 SA-05 構造躯体の環境特性 SA-06 構造躯体の環境特性 SA-07 構造躯体の環境特性 SA-08 構造躯体の環境特性 SA-09 構造躯体の環境特性 SA-10 構造躯体の環境特性 SA-11 構造躯体の環境特性 SA-12 構造躯体の環境特性	BA-01 緩衝材の環境特性 BA-02 緩衝材の環境特性 BA-03 緩衝材の環境特性 BA-04 緩衝材の環境特性 BA-05 緩衝材の環境特性 BA-06 緩衝材の環境特性 BA-07 緩衝材の環境特性 BA-08 緩衝材の環境特性 BA-09 緩衝材の環境特性 BA-10 緩衝材の環境特性 BA-11 緩衝材の環境特性 BA-12 緩衝材の環境特性	XA-01 付帯設備の環境特性 XA-02 付帯設備の環境特性 XA-03 付帯設備の環境特性 XA-04 付帯設備の環境特性 XA-05 付帯設備の環境特性 XA-06 付帯設備の環境特性 XA-07 付帯設備の環境特性 XA-08 付帯設備の環境特性 XA-09 付帯設備の環境特性 XA-10 付帯設備の環境特性 XA-11 付帯設備の環境特性 XA-12 付帯設備の環境特性	RA-01 周辺の環境特性 RA-02 周辺の環境特性 RA-03 周辺の環境特性 RA-04 周辺の環境特性 RA-05 周辺の環境特性 RA-06 周辺の環境特性 RA-07 周辺の環境特性 RA-08 周辺の環境特性 RA-09 周辺の環境特性 RA-10 周辺の環境特性 RA-11 周辺の環境特性 RA-12 周辺の環境特性
システム・特性	SC-01 廃棄体のシステム特性 SC-02 廃棄体のシステム特性 SC-03 廃棄体のシステム特性 SC-04 廃棄体のシステム特性 SC-05 廃棄体のシステム特性 SC-06 廃棄体のシステム特性 SC-07 廃棄体のシステム特性 SC-08 廃棄体のシステム特性 SC-09 廃棄体のシステム特性 SC-10 廃棄体のシステム特性 SC-11 廃棄体のシステム特性 SC-12 廃棄体のシステム特性	MA-01 充填材のシステム特性 MA-02 充填材のシステム特性 MA-03 充填材のシステム特性 MA-04 充填材のシステム特性 MA-05 充填材のシステム特性 MA-06 充填材のシステム特性 MA-07 充填材のシステム特性 MA-08 充填材のシステム特性 MA-09 充填材のシステム特性 MA-10 充填材のシステム特性 MA-11 充填材のシステム特性 MA-12 充填材のシステム特性	SA-01 構造躯体のシステム特性 SA-02 構造躯体のシステム特性 SA-03 構造躯体のシステム特性 SA-04 構造躯体のシステム特性 SA-05 構造躯体のシステム特性 SA-06 構造躯体のシステム特性 SA-07 構造躯体のシステム特性 SA-08 構造躯体のシステム特性 SA-09 構造躯体のシステム特性 SA-10 構造躯体のシステム特性 SA-11 構造躯体のシステム特性 SA-12 構造躯体のシステム特性	BA-01 緩衝材のシステム特性 BA-02 緩衝材のシステム特性 BA-03 緩衝材のシステム特性 BA-04 緩衝材のシステム特性 BA-05 緩衝材のシステム特性 BA-06 緩衝材のシステム特性 BA-07 緩衝材のシステム特性 BA-08 緩衝材のシステム特性 BA-09 緩衝材のシステム特性 BA-10 緩衝材のシステム特性 BA-11 緩衝材のシステム特性 BA-12 緩衝材のシステム特性	XA-01 付帯設備のシステム特性 XA-02 付帯設備のシステム特性 XA-03 付帯設備のシステム特性 XA-04 付帯設備のシステム特性 XA-05 付帯設備のシステム特性 XA-06 付帯設備のシステム特性 XA-07 付帯設備のシステム特性 XA-08 付帯設備のシステム特性 XA-09 付帯設備のシステム特性 XA-10 付帯設備のシステム特性 XA-11 付帯設備のシステム特性 XA-12 付帯設備のシステム特性	RA-01 周辺のシステム特性 RA-02 周辺のシステム特性 RA-03 周辺のシステム特性 RA-04 周辺のシステム特性 RA-05 周辺のシステム特性 RA-06 周辺のシステム特性 RA-07 周辺のシステム特性 RA-08 周辺のシステム特性 RA-09 周辺のシステム特性 RA-10 周辺のシステム特性 RA-11 周辺のシステム特性 RA-12 周辺のシステム特性

FEPリストの例(第2次TRUレポート)

表 4. 3. 1-1 TRU 廃棄物地層処分における包括的 FEP リスト

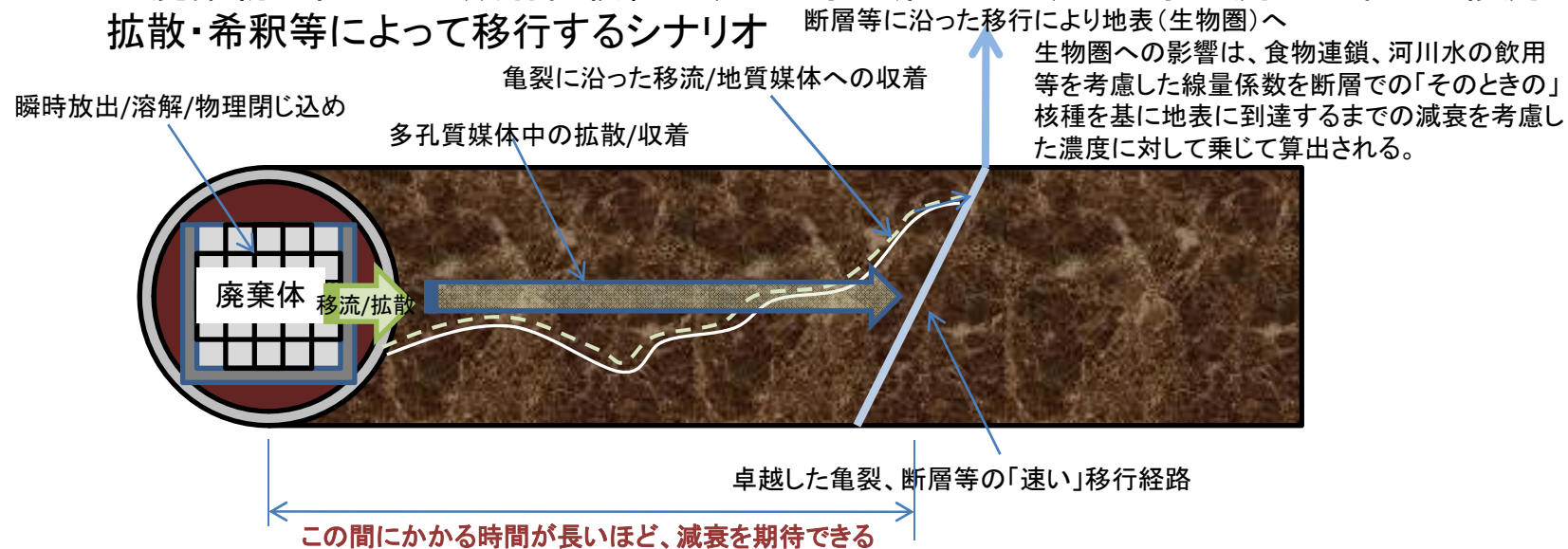
	廃棄体	充填材	構造躯体	緩衝材	フック/クワッド/支保/埋戻材 (付帯設備)	母岩
熱的 現象・特性	WT-01 廃棄体の熱物性 WT-02 廃棄体の温度 WT-03 廃棄体の熱膨張 WT-04 崩壊熱の発生	MT-01 充填材の熱物性 MT-02 充填材の温度 MT-03 充填材の熱膨張 MT-04 廃棄体からの γ 線吸収熱の発生 MT-05 水和熱の発生	ST-01 構造躯体の熱物性 ST-02 構造躯体の温度 ST-03 構造躯体の熱膨張 ST-04 廃棄体からの γ 線吸収熱の発生 ST-05 水和熱の発生	BT-01 緩衝材の熱物性 BT-02 緩衝材の温度 BT-03 緩衝材の熱膨張	XT-01 付帯設備の熱物性 XT-02 付帯設備の温度 XT-03 付帯設備の熱膨張 XT-04 水和熱の発生	RT-01 母岩の熱物性 RT-02 母岩の温度 RT-03 母岩の熱膨張
水理学的 現象・特性	WH-01 廃棄体の水理特性 WH-02 廃棄体の飽和 WH-03 廃棄体での地下水流動	MH-01 充填材の水理特性 MH-02 充填材の飽和 MH-03 充填材での地下水流動	SH-01 構造躯体の水理特性 SH-02 構造躯体の飽和 SH-03 構造躯体での地下水流動	BH-01 緩衝材の水理特性 BH-02 緩衝材の飽和 BH-03 緩衝材での地下水流動	XH-01 付帯設備の水理特性 XH-02 付帯設備の飽和 XH-03 付帯設備での地下水流動	RH-01 母岩の水理特性 RH-02 母岩の飽和 RH-03 母岩での地下水流動
力学的 現象・特性	WM-01 廃棄体の力学特性 WM-02 廃棄体の応力 WM-03 アスファルト固化体の影響 WM-04 アスファルト固化体の変形 WM-05 アスファルト固化体の流出 WM-06 廃棄体での亀裂発生 WM-07 廃棄体の移動・沈下 WM-08 金属廃棄物の腐食膨張 WM-09 外部容器の破損 WM-10 外部容器の腐食膨張	MM-01 充填材の力学特性 MM-02 充填材の応力・変形 MM-04 充填材での亀裂発生	SM-01 構造躯体の力学特性 SM-02 構造躯体の応力・変形 SM-04 構造躯体での亀裂発生 SM-05 構造躯体の移動・沈下 SM-06 鉄筋の腐食膨張	BM-01 緩衝材の力学特性 BM-02 緩衝材の応力・変形 BM-03 緩衝材の影響 BM-05 緩衝材の流出	XM-01 付帯設備の力学特性 XM-02 付帯設備の応力・変形 XM-03 付帯設備の影響 XM-05 付帯設備の流出 XM-06 付帯設備での亀裂発生 XM-07 ロックボルトの腐食膨張	RM-01 母岩の力学特性 RM-02 母岩の応力 RM-03 母岩のクリープ
化学的 現象・特性	WC-01 廃棄体の化学特性 WC-02 廃棄体での溶質移動 WC-03 廃棄体と地下水の反応 WC-04 廃棄体の化学的変質(腐食を除く) WC-05 廃棄体の腐食 WC-06 廃棄体での有機物影響 WC-07 廃棄体での微生物影響 WC-08 廃棄体でのコロイド影響 WC-09 廃棄体での硝酸塩影響 WC-10 廃棄体での硫酸塩影響 WC-11 廃棄体でのガスの発生と影響 WC-12 廃棄体での塩の蓄積	MC-01 充填材の化学特性 MC-02 充填材での溶質移動 MC-03 充填材と地下水の反応 MC-04 充填材の化学的変質 MC-05 充填材での有機物影響 MC-06 充填材での微生物影響 MC-07 充填材でのコロイド影響 MC-08 充填材での硝酸塩影響 MC-09 充填材での硫酸塩影響 MC-10 充填材でのガスの発生と影響 MC-11 充填材での塩の蓄積	SC-01 構造躯体の化学特性 SC-02 構造躯体での溶質移動 SC-03 構造躯体と地下水の反応 SC-04 構造躯体の化学的変質 SC-05 構造躯体での有機物影響 SC-06 構造躯体での微生物影響 SC-07 構造躯体でのコロイド影響 SC-08 構造躯体での硝酸塩影響 SC-09 構造躯体での硫酸塩影響 SC-10 構造躯体でのガスの発生と影響 SC-11 構造躯体での塩の蓄積	BC-01 緩衝材の化学特性 BC-02 緩衝材での溶質移動 BC-03 緩衝材と地下水の反応 BC-04 緩衝材の化学的変質 BC-05 緩衝材での有機物影響 BC-06 緩衝材での微生物影響 BC-07 緩衝材でのコロイド影響 BC-08 緩衝材での硝酸塩影響 BC-09 緩衝材での硫酸塩影響 BC-10 緩衝材でのガスの発生と影響 BC-11 緩衝材での塩の蓄積	XC-01 付帯設備の化学特性 XC-02 付帯設備での溶質移動 XC-03 付帯設備と地下水の反応 XC-04 付帯設備の化学的変質 XC-05 付帯設備での有機物影響 XC-06 付帯設備での微生物影響 XC-07 付帯設備でのコロイド影響 XC-08 付帯設備での硝酸塩影響 XC-09 付帯設備での硫酸塩影響 XC-10 付帯設備でのガスの発生と影響	RC-01 母岩の化学特性 RC-02 母岩での溶質移動 RC-03 母岩と地下水の反応 RC-04 母岩の化学的変質 RC-05 母岩での有機物影響 RC-06 母岩での微生物影響 RC-07 母岩でのコロイド影響 RC-08 母岩での硝酸塩影響 RC-09 母岩での硫酸塩影響 RC-10 母岩でのガスの発生と影響
放射線学的 現象・特性	WR-01 廃棄体での核種の崩壊・生成 WR-02 廃棄体間隙水での放射線分解 WR-03 廃棄体の放射線損傷	MR-01 充填材での核種の崩壊・生成 MR-02 充填材間隙水での放射線分解 MR-03 充填材の放射線損傷	SR-01 構造躯体での核種の崩壊・生成 SR-02 構造躯体間隙水での放射線分解 SR-03 構造躯体の放射線損傷	BR-01 緩衝材での核種の崩壊・生成 BR-02 緩衝材間隙水での放射線分解 BR-03 緩衝材の放射線損傷	XR-01 付帯設備での核種の崩壊・生成 XR-02 付帯設備間隙水での放射線分解 XR-03 付帯設備の放射線損傷	RR-01 母岩での核種の崩壊・生成 RR-02 母岩間隙水での放射線分解 RR-03 母岩の放射線損傷
核種移行 現象・特性	WN-01 廃棄体の物質移動特性 WN-02 多孔質マトリクスからの核種放出 WN-03 不透水マトリクスからの核種放出 WN-04 外部容器がある場合の核種放出 WN-05 核種の収着 WN-06 核種の沈殿・溶解 WN-07 コロイド形態による核種移行 WN-08 ガス形態による核種移行 WN-09 硝酸塩による核種存在形態の変化	MN-01 充填材の物質移動特性 MN-02 核種の移流・分散 MN-03 核種の拡散 MN-04 核種の収着 MN-05 核種の沈殿・溶解 MN-06 コロイド形態による核種移行 MN-07 ガス形態による核種移行 MN-08 硝酸塩による核種存在形態の変化	SN-01 構造躯体の物質移動特性 SN-02 核種の移流・分散 SN-03 核種の拡散 SN-04 核種の収着 SN-05 核種の沈殿・溶解 SN-06 コロイド形態による核種移行 SN-07 ガス形態による核種移行 SN-08 硝酸塩による核種存在形態の変化	BN-01 緩衝材の物質移動特性 BN-02 核種の移流・分散 BN-03 核種の拡散 BN-04 核種の収着 BN-05 核種の沈殿・溶解 BN-06 コロイド形態による核種移行 BN-07 ガス形態による核種移行 BN-08 硝酸塩による核種存在形態の変化	XN-01 付帯設備の物質移動特性 XN-02 核種の移流・分散 XN-03 核種の拡散 XN-04 核種の収着 XN-05 核種の沈殿・溶解 XN-06 コロイド形態による核種移行 XN-07 ガス形態による核種移行 XN-08 硝酸塩による核種存在形態の変化	RN-01 母岩の物質移動特性 RN-02 核種の移流・分散 RN-03 核種の拡散 RN-04 核種の収着 RN-05 核種の沈殿・溶解 RN-06 コロイド形態による核種移行 RN-07 ガス形態による核種移行 RN-08 硝酸塩による核種存在形態の変化 RN-09 臨界
システム擾乱と なりうる現象	WQ-01 廃棄体の製作・施工不良	MQ-01 充填材の製作・施工不良	SQ-01 構造躯体の製作・施工不良	BQ-01 緩衝材の製作・施工不良	XQ-01 付帯設備の製作・施工不良	RQ-01 ボーリング孔に孔の シール不良/変質
				NP-01 地震・断層活動 NP-02 火山・火成活動 NP-03 隆起・侵食 NP-04 気候・海水準変動 NP-05 鉱石の落下		
				HA-01 ボーリング(探査、探鉱、地下空間利用、土木工事) HA-02 地表環境(人間活動) HA-03 掘削・探鉱・その他地下行為(人間侵入) HA-04 井戸の掘削・採水 HA-05 水の管理(貯水、ダム)		

人工バリアの性能評価(3) シナリオ

起こる可能性が高い(蓋然性が高い)シナリオ

・地下水移行シナリオ

廃棄物に含まれる放射性核種が、地下水に溶け出し、地下水の流れに沿って移流・拡散・希釈等によって移行するシナリオ



・ガス移行シナリオ

廃棄物に含まれるガス状の放射性核種が、ガスの状態で地質媒体中を移行するシナリオ

その他のシナリオ

- ・人間浸入シナリオ／ボーリングシナリオ：ボーリング等によって処分施設が貫かれ、そのボーリングコアの観察者が被爆する際の影響を評価するシナリオ
- ・火山影響シナリオ：活火山の噴火が処分場を直撃した場合の影響を評価するシナリオ
- ・隆起浸食シナリオ：氷河期の到来等による海水準変動に伴い、処分場周囲の岩盤が浸食され、処分場が地表に露出するシナリオ

人工バリアの性能評価(4) 場およびその変化の設定(環境解析)

- ・FEP、PIDを活用して、処分場で想定される事象をピックアップする。

例：セメント系材料の変質とそれに伴う緩衝材の変質

- ・処分概念を解析モデル化

例：1次元モデル、疑似1次元モデル

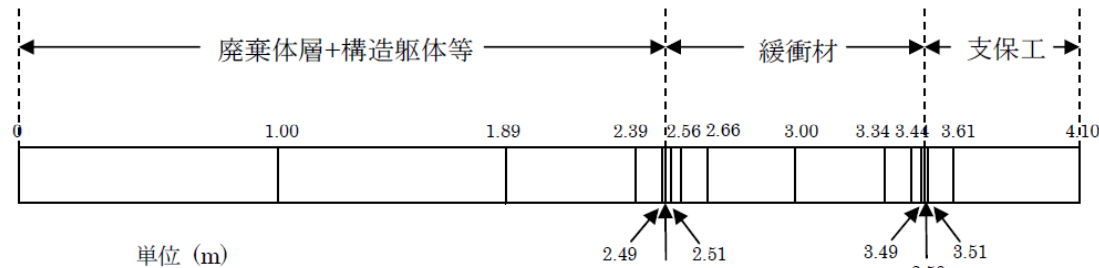


図 4.4.2-5 1次元解析モデル(差分メッシュの配置を合わせて示した)

- ・初期値の設定 (各部材の設計値等を用いて、初期の透水係数・拡散係数等を設定)

→ OHP No.13~16 参照

これらの設定に基づいて人工バリアの変化を予測

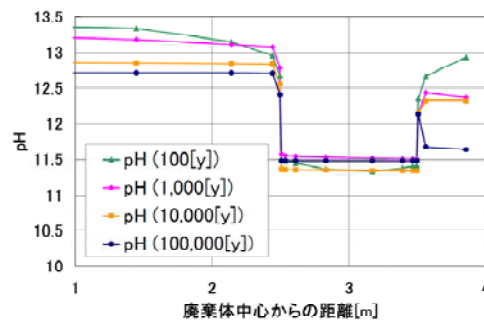


図 4.4.2-6 pH 分布の時間変化

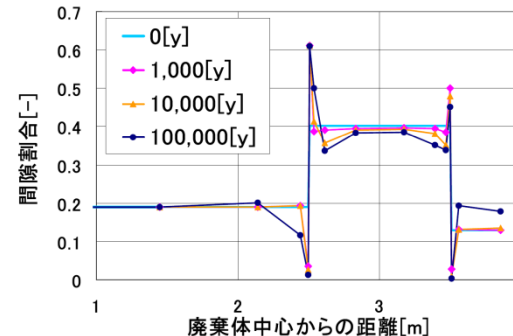


図 4.4.2-7 間隙割合分布の時間変化

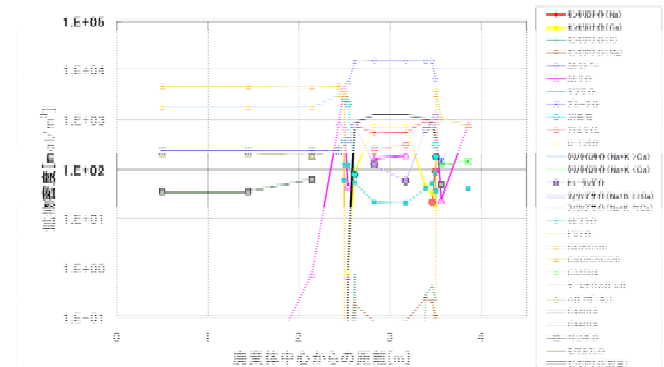


図 4.4.2-8 計算された物質分布 (100,000 年後)

(図中の $\text{SiO}_2(\text{CSH})$ と $\text{Ca}(\text{OH})_2(\text{CSH})$ は杉山モデルで表した C-S-H ゲルの端成分を表す。なお、モニタロナイト量の初期値は $1,465\text{mol/m}^3$)

人工バリアの性能評価(4) 核種移行計算

“場”を設定

- ・環境解析の結果を基に、**時間ごと、部材ごとの性能**(拡散係数、分配係数など)を設定する。
- ・環境解析と核種移行計算とを連成しない場合、どの時間帯にどの状態を設定するかがポイント

時間ごとに設定された“場”(拡散係数、分配係数など)をもとに核種の移行を計算

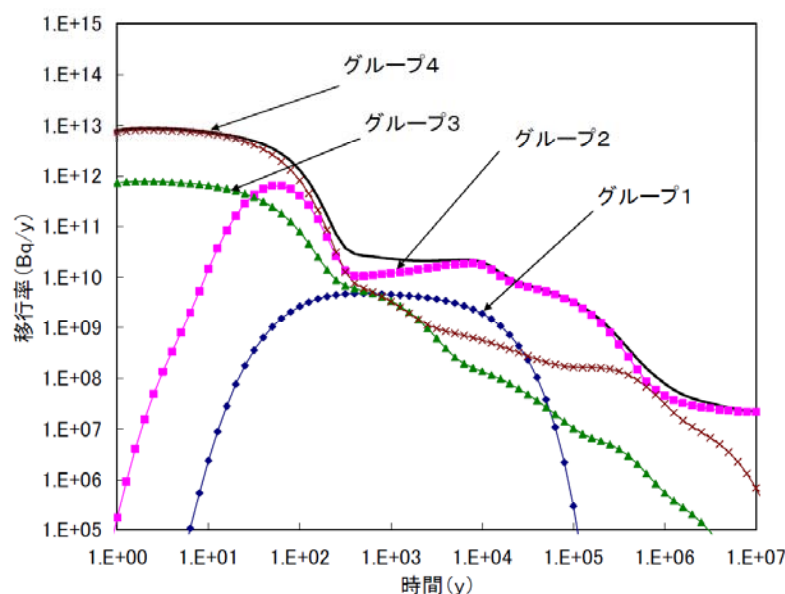


図 4.5.2-5 廃棄体グループごとの人工バリアからの核種の移行率

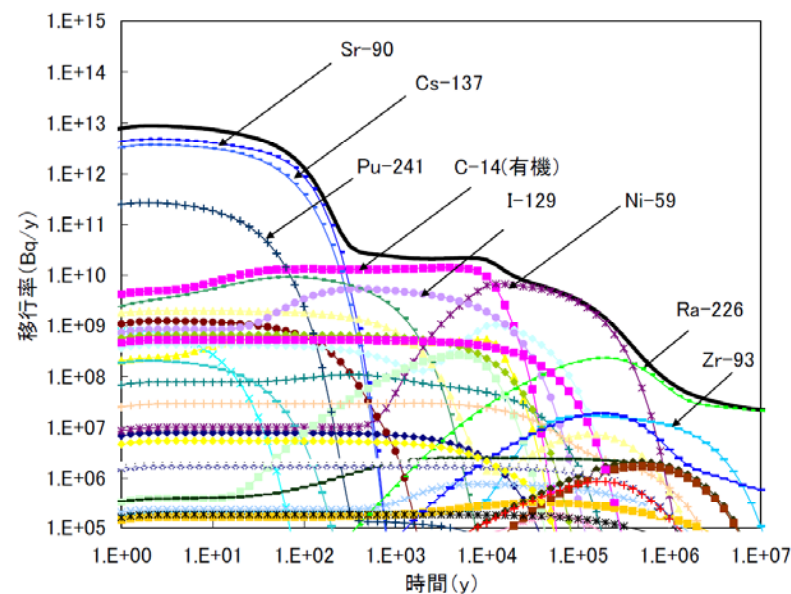


図 4.5.2-6 核種ごとの人工バリアからの核種の移行率

第2次TRULレポートの人工バリアからの核種の移行率の解析結果

人工バリアの性能評価(5) 人工バリアの評価と処分場の評価

人工バリアから移行した核種は、岩盤中の亀裂、空隙を移行して、断層等の「速い」移行経路に達し、そこから地表に運ばれる。その際の経過時間及び希釈、減衰を考慮し、線量換算係数を乗じることで、線量が算出される

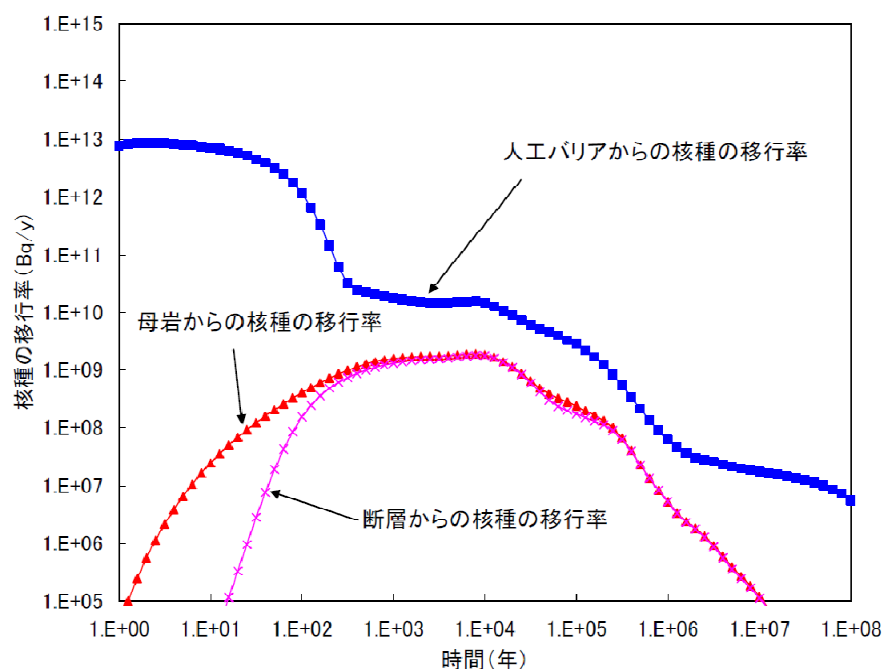


図 4.5.2-11 核種の各領域からの移行率

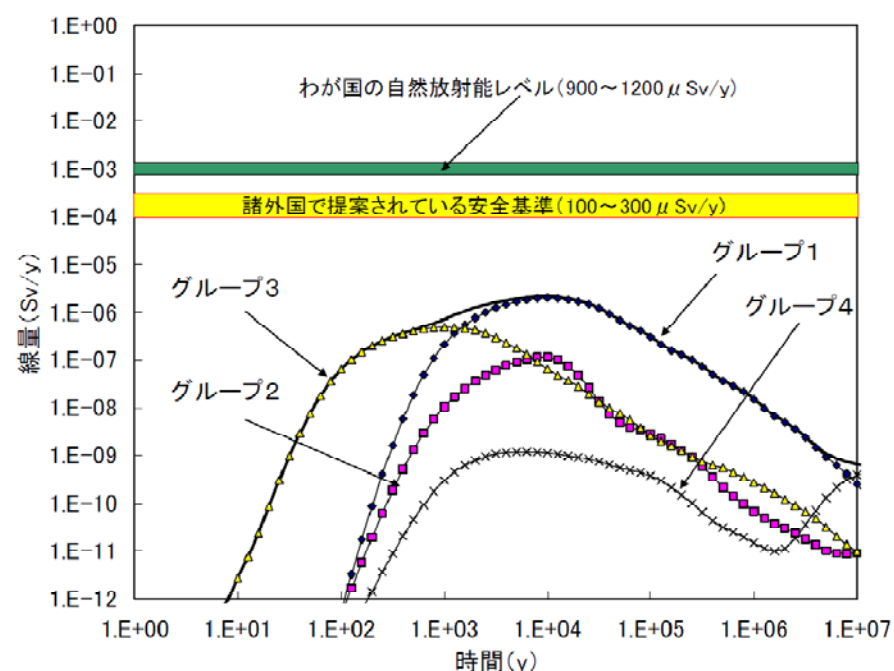


図 4.5.2-12 線量評価結果 (グループごと)