



資料1

東海低レベル放射性廃棄物埋設事業所 第二種廃棄物埋設施設の位置、構造及び設備の 基準に関する規則等への適合性について

審査会合における指摘事項への回答

2025年4月28日

日本原子力発電株式会社

審査会合における指摘事項一覧(1/4)

審査日	資料指摘箇所	指摘事項	回答内容
2025/3/10	資料1-1	【管理番号41】 地盤の変形による廃棄物埋設地の安全機能への影響評価について、廃棄物埋設地の安全機能を担う中間覆土(遮蔽機能)や表面遮水(漏出低減機能)の位置付けを整理して説明すること。	地盤の変形による廃棄物埋設地の安全機能への影響評価に対する、中間覆土(遮蔽機能)や表面遮水(漏出低減機能)の位置付けを整理し、地盤の変形による各種安全機能への影響がないことを確認した(P5からP8参照)。
2024/12/26	資料5-1	【管理番号40】 スカイシャインガンマ線の評価において、Co-60のガンマ線のエネルギーは平均値を使用しているが、平均値を採用することはこういう分野では一般的なのか。	Co-60のガンマ線エネルギーについて、平均値を用いることは評価結果に大きな影響を与えるものではないことを確認した(P9からP11参照)。
2024/12/26	資料9	【管理番号39】 申請対象設備のうちどこまでを許可の範囲として、どこまでを後段規制とするのか、低透水性覆土以外の設備(表面遮水、植生など)についても整理すること。テントや雨養生は確認申請には入らないということだと思うが、後段規制を見据えて申請者と規制側の認識が合うように整理すること。	ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記・修正する(P12, P13参照)。
2024/10/28	資料1-1 P13	【管理番号31】 地質環境等の状態設定における「日本の海成段丘アトラスから算出した隆起速度」については、鉛直変動量としてプロットしているが、これにはエラーバーがつくはずであるため、エラーバーを含めても本図が合理的であることを説明すること。	ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記・修正する(P14からP27参照)。



審査会合における指摘事項一覧(2/4)

審査日	資料指摘箇所	指摘事項	回答内容
2024/10/28	資料1-1 P69, P70	【管理番号34】 原子力学会標準に従って収着分配係数を取得していると思うが、原子力学会標準では0.45 μ mの空隙のフィルタの使用やコロイドの影響を確認する際は限外濾過している。一般的にフィルタや限外濾過する場合、フィルタの上に吸着することで、収着分配係数が大きくなるため、非安全側となりリスクがあることから研究機関では使わない。研究では遠心分離や超遠心が増えているかもしれないため、実際の測定方法を確認すること。	ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記・修正する。(P28, P29参照)。
2024/10/28	資料1-1 P42	【管理番号32】 「C2:廃棄物層の金属腐食(放射性廃棄物と浸透水の反応)」は、一般的に還元性になれば収着は大きくなる傾向にあるということであるが、基本的に考慮されている核種は、ほとんど酸化還元にセンシティブではなく、そうでない場合も存在するかもしれないため、確認すること。	ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記・修正する。(P30, P31参照)。
2024/10/28	資料1-1 P43	【管理番号26】 「C4:バリア材料中でのコロイド生成」について、ベントナイトコロイドのみ言及しているが、天然バリア中でのコロイドによる影響も考えられるものの、その考察がないため、説明を拡充すること。また、その他の事象についても説明しきれているかどうか確認し、説明すること。	ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記・修正する。(P32からP35参照)。
2024/10/28	資料1-1 P43, P69	【管理番号33】 収着分配係数を測定する際のコロイドの影響については、コロイドが分散している場合は限外濾過をするか、超遠心をかけて分けることで固相に対しての核種の吸着が分かるが、コロイドの影響はこの段階で見えていない。コロイドの影響は、コロイドの表面の構造や、組成そのものが固相と違う場合があるため、この場合、収着分配係数は違ってくる。このため、コロイドに対しての収着分配係数がどれだけであるかというものを評価・想定をして、両方が共存するときになくなるかというのを見ないといけないが、そこまで検討した上で試験していることを確認すること。	

審査会合における指摘事項一覧(3／4)

審査日	資料指摘箇所	指摘事項	回答内容
2024／10／28	資料1－1 P43, P44	【管理番号38】 有機物や微生物の影響について、微生物の場合、C－14しか考えられていないが、なぜC－14だけなのか。例えばAmは微生物に付着しないのかも含めて少し気になっているため、詳細を説明すること。	ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記・修正する。(P36, P37参照)。
2024／10／28	資料1－1 P70	【管理番号37】 収着分配係数の設定値について、最も厳しい自然事象シナリオの設定値では廃棄物埋設地内土砂は1桁小さくしているのに対し、通気層土砂・帯水層土砂は2桁小さくしている。最も可能性が高い設定値はおそらく平均値を用いていると思うが、最も厳しい設定値は、極端に言えば0にすることもあり得る中で、こういう設定をすることの合理性を資料に記載すること。	ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記する。(P38, P39参照)。
2024／10／28	資料1－1 P70	【管理番号35】 70ページに記載の収着分配係数は単位を記載していないため、どういう大きさか分からない。 また、有効数字の数字が3か1しかないため、なぜ3か1しかないのかが分からない。これに限った話ではないが、生データまでさかのぼって確認すること。	単位は「 m^3/kg 」である。 ご指摘を踏まえて、関連する記載を追記する。(P40参照)。 他のデータについても単位の記載を確認した。
2024／10／28	資料1－1 P70	【管理番号36】 収着分配係数のうち全 α の設定値はAmで取得している。一般的にAmとEuの収着分配係数は、ほぼ近い値になっていると思うが、本設定は3倍違っているため、この理由を説明すること。	ご指摘を踏まえて、文献を用いて確認した。 関連する記載について追記する(P41参照)。



審査会合における指摘事項一覧(4／4)

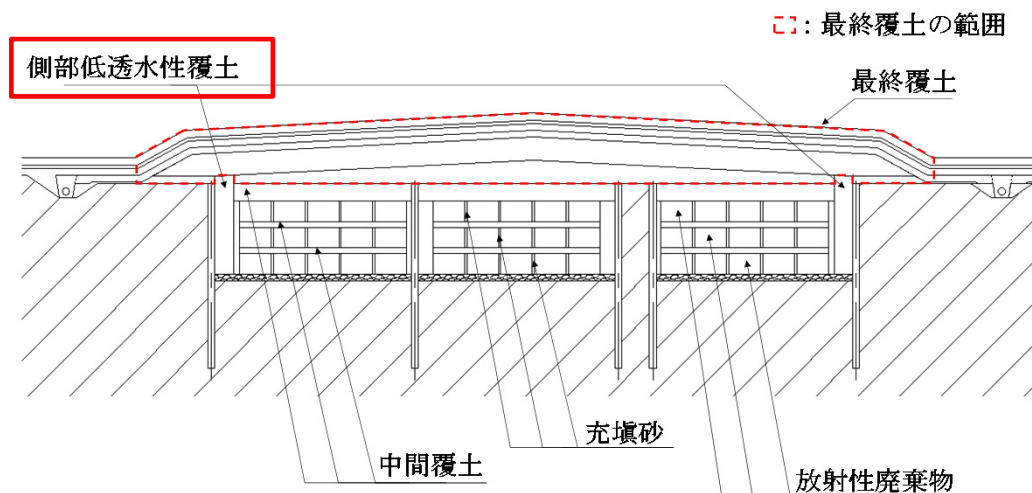
審査日	資料指摘箇所	指摘事項	回答内容
2025／3／10	資料6	【管理番号43】 技術的能力審査指針に基づく各項目について、許可段階で確認しなければならない内容と後段規制である保安規定段階で確認するものについて、整理して説明すること。	ご指摘を踏まえて、許可段階と後段規制での確認事項について整理した(P42, P43参照)。

■評価対象部位

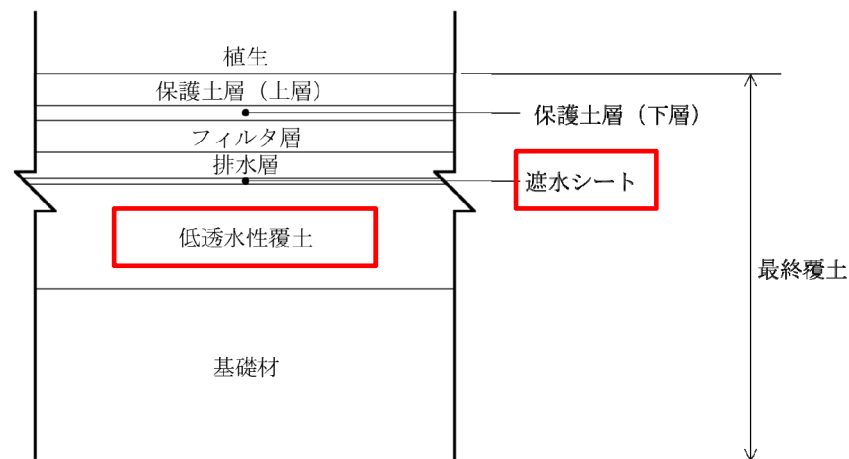
- ・ 廃棄物埋設地の安全機能は漏出低減機能及び遮蔽機能であり，漏出低減機能を有するものは低透水性覆土，側部低透水性覆土，遮水シート及び表面遮水であり，遮蔽機能を有するものは中間覆土である。
- ・ 本評価における**評価対象部位は，低透水性覆土，側部低透水性覆土及び遮水シート**とする。

■中間覆土と表面遮水に係る基本的な考え方

- ・ 安全機能のうち遮蔽機能を有する**中間覆土**については，地盤の変形が発生した場合においても，形状及び設置位置がおおむね維持されることから，安全機能は損なわれるおそれはない。
- ・ 安全機能のうち漏出低減機能を有する**表面遮水**は，埋設完了後から最終覆土の完了までの間に設置するものであり，点検及び補修が可能であることから，安全機能は損なわれるおそれはない。



覆土断面図(E-W断面:西側埋設トレンチ)



最終覆土構成

第1図 評価対象部位の位置

管理番号41 中間覆土の遮蔽機能維持に係る補足説明

【遮蔽計算】 遮蔽機能として考慮する中間覆土の評価条件(第八条)

- 遮蔽機能として考慮する中間覆土の評価条件(密度・厚さ)は、以下のとおりである。

第1表 中間覆土の遮蔽計算における評価条件

		単位	設定値	備考
乾燥密度		g／cm ³	1.3	中間覆土の土質試験結果より最小密度(最も緩い状態の乾燥密度)を切り下げて採用
厚さ	最上段	m	0.5	施工計画層厚を切り下げて設定
	1,2段目	m	0.2	施工計画層厚を切り下げて設定



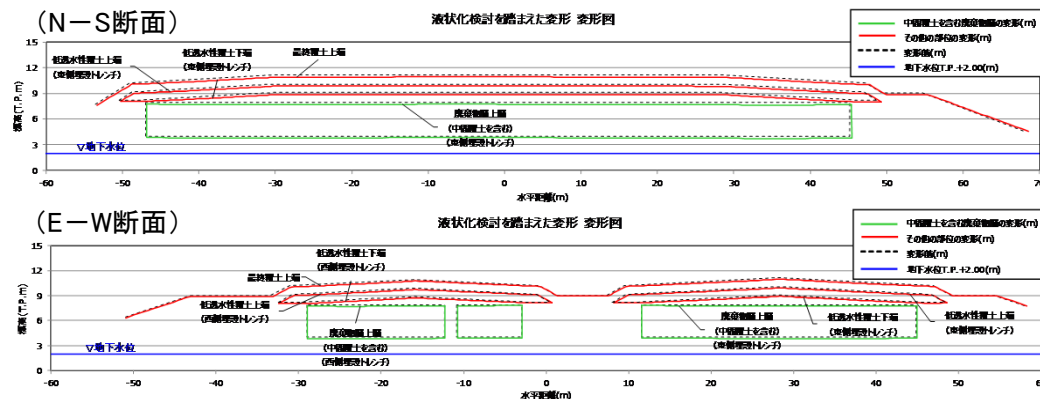
- 中間覆土として考慮する中間覆土の遮蔽条件は、実施工(施工計画値)を考慮しても保守的な設定となるように条件を設定している。

【安全機能への影響検討】 安全機能への影響検討に係る中間覆土の施工計画値と廃棄物埋設地の変形状況

- 安全機能への影響検討に係る中間覆土の施工計画値(密度・厚さ)と廃棄物埋設地の変形状況は、以下のとおりである。

第2表 中間覆土の施工計画値(密度・厚さ)

		単位	設定値	備考
乾燥密度		g／cm ³	1.68	施工計画に対応した値として，締固め度95%の乾燥密度を採用
厚さ	最上段	m	① 0.776 ② 0.710	①鉄箱上部 ②コンクリートブロック上部 における施工計画層厚
	1,2段目	m	0.25	施工計画層厚

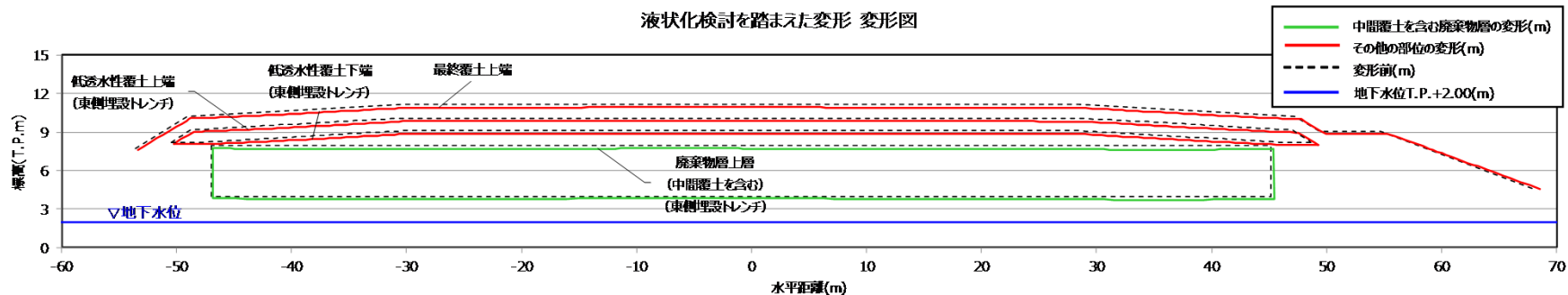


第2図 廃棄物埋設地の変形状況(液状化検討を踏まえた沈下発生後)※

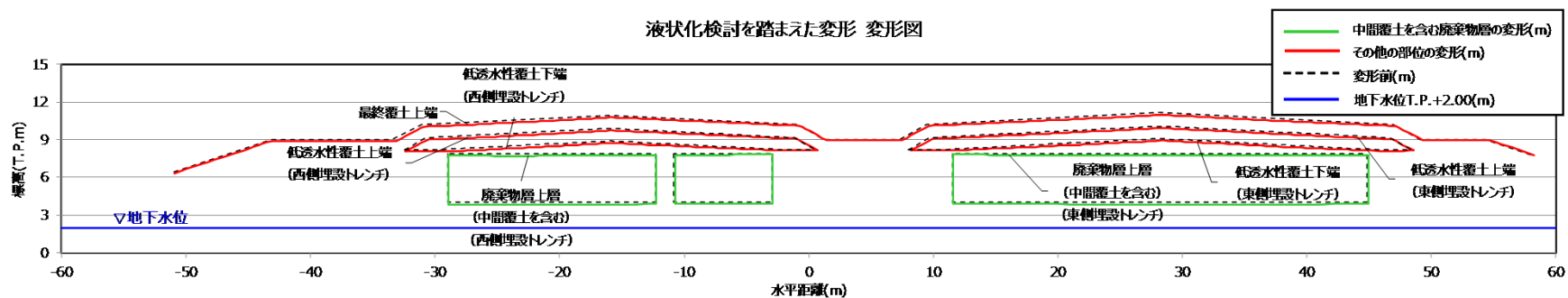
※次頁に拡大版を示す。

- 中間覆土を含む廃棄物層は、液状化検討を踏まえた沈下発生後においても位置及び形状がおおむね維持されている。
- 加えて、中間覆土は、遮蔽計算の評価条件(密度・厚さ)に対し施工計画値(密度・厚さ)に裕度があることを考慮し、その安全機能が損なわれるおそれはないと判断した。

(N-S断面)



(E-W断面)



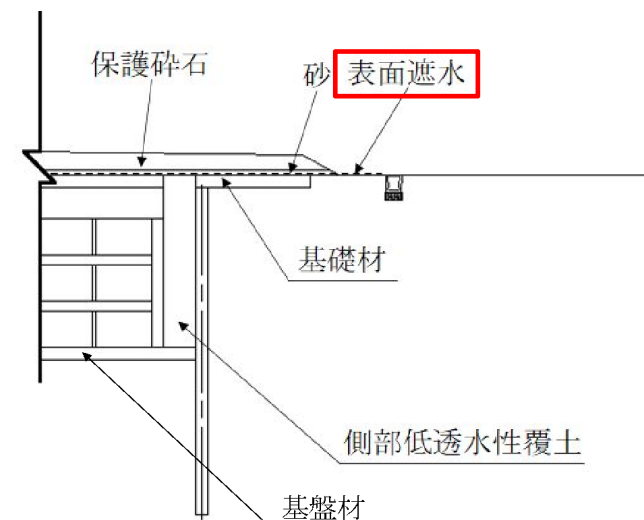
第2図 廃棄物埋設地の変形状況(液状化検討を踏まえた沈下発生後)(拡大版)

管理番号41 表面遮水の漏出低減機能維持に係る補足説明

■表面遮水の漏出低減機能について

表面遮水の漏出低減機能については、以下のとおり設計する。

- 低透水性を有する設計とする。
- 埋設が完了した区画内への雨水等の浸入を抑制するために、最上段の中間覆土及び最終覆土のうち基礎材の一部を施工後、その上部に表面遮水を設置する(第3図参照)。
- 外部事象及び紫外線による劣化・損傷を考慮して砂及び保護碎石等の保護工により覆うことで、劣化・損傷に対する抵抗性を有する設計とする。(第3図参照)
- 定期点検及び地震、台風等の異常事態が発生した場合は臨時点検を行い、劣化・損傷が生じた場合、安全上支障のない期間内において速やかに修復することにより必要な機能を維持する設計とする。



第3図 表面遮水の設置例

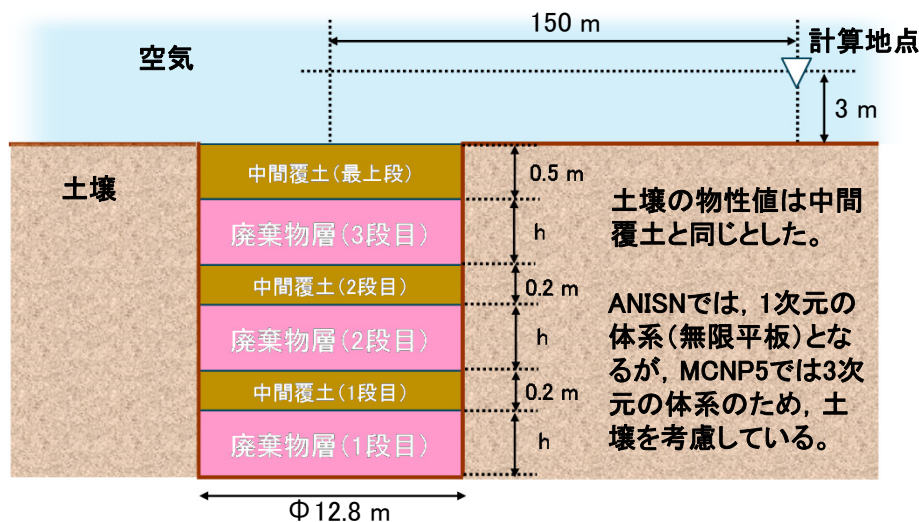
- 上述した表面遮水の漏出低減機能に係る設計方針(下線部)のとおり、仮に廃棄物埋設地が変形した場合においても、表面遮水については点検及び補修対応が可能であることから、安全機能が損なわれるおそれはない。

本施設のスカイシャインガンマ線の評価には、他施設における評価実績を有する一次元輸送計算コード(ANISN)及び一回散乱計算コードG33-GP2Rを用いている。一次元輸送計算コード(ANISN)の計算で使用する断面積ライブラリであるDLC-23の光子エネルギーの群構造(第3表参照)は18群であり、Co-60のガンマ線のエネルギーである1.17 MeV, 1.33 MeV, 平均値である1.25 MeVのような単色スペクトルの光子エネルギーを群構造に落とし込んで評価する。このため、これらのCo-60ガンマ線のエネルギーについては、同一の第10群であると考えられ、評価結果に大きな影響を与えるものではない。

また、具体的なCo-60ガンマ線のエネルギーの影響の確認のため、単色スペクトルを取り扱うことが可能なMCNP5を用いて比較評価を実施した。

比較評価は、審査資料「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第八条(遮蔽等)への適合性について」の「添付資料1-4 ANISN-G33及びQADによる計算の妥当性について」において実施しているMCNP5の評価(1.25 MeV(200 %)を用いた評価)について、ガンマ線エネルギーを1.17 MeV, 1.33 MeVに変更することで行った。

第4図にMCNP5の評価モデルを示す。



第4図 MCNP5の評価モデル

第3表 DLC-23の光子エネルギーの群構造

群番号	上限光子エネルギー(MeV)
1	1.000×10^1
2	8.000×10^0
3	6.500×10^0
4	5.000×10^0
5	4.000×10^0
6	3.000×10^0
7	2.500×10^0
8	2.000×10^0
9	1.660×10^0
10	1.330×10^0
11	1.000×10^0
12	8.000×10^{-1}
13	6.000×10^{-1}
14	4.000×10^{-1}
15	3.000×10^{-1}
16	2.000×10^{-1}
17	1.000×10^{-1}
18	5.000×10^{-2}
※	1.000×10^{-2}

※ 18群の下限エネルギー

(出典)日本原子力学会(2010):放射線遮へい計算のための線量換算係数:2010

比較評価の結果、1.25 MeV(200 %)と1.17 MeV及び1.33 MeVは、ほぼ同等の評価結果となり、ガンマ線エネルギーの影響は小さいことを確認した。第4表に10 μ Sv/h廃棄物によるスカイシャインガンマ線の評価結果を示す。

第4表 10 μ Sv/h廃棄物によるスカイシャインガンマ線の評価結果

ガンマ線エネルギー	金属類 (鉄箱)	コンクリートガラ (鉄箱)	コンクリートブロック
1.25 MeV(200 %)	3.77 μ Sv/y	3.86 μ Sv/y	3.84 μ Sv/y
1.17 MeV及び1.33 MeV	3.71 μ Sv/y	3.83 μ Sv/y	3.83 μ Sv/y

計算コードをANISN-G33, Co-60のガンマ線のエネルギーを平均値である1.25 MeV(200 %)を用いている許認可実績として、東海発電所の廃止措置計画書変更認可申請書(使用済燃料冷却池建屋でL1廃棄物を一時保管に係る直接線量・スカイシャイン線量の評価条件及び評価結果の変更, 2013年3月認可)がある。

また、日本国内のスカイシャイン計算コードの計算手法や計算精度の評価に使用されている「JAERI-M7288 スカイシャイン計算コード評価のための標準問題(1977年9月, 日本原子力研究所)」のCo-60ガンマ線源の計算条件のうち線源条件に平均値である1.25 MeVが記載されている例がある。

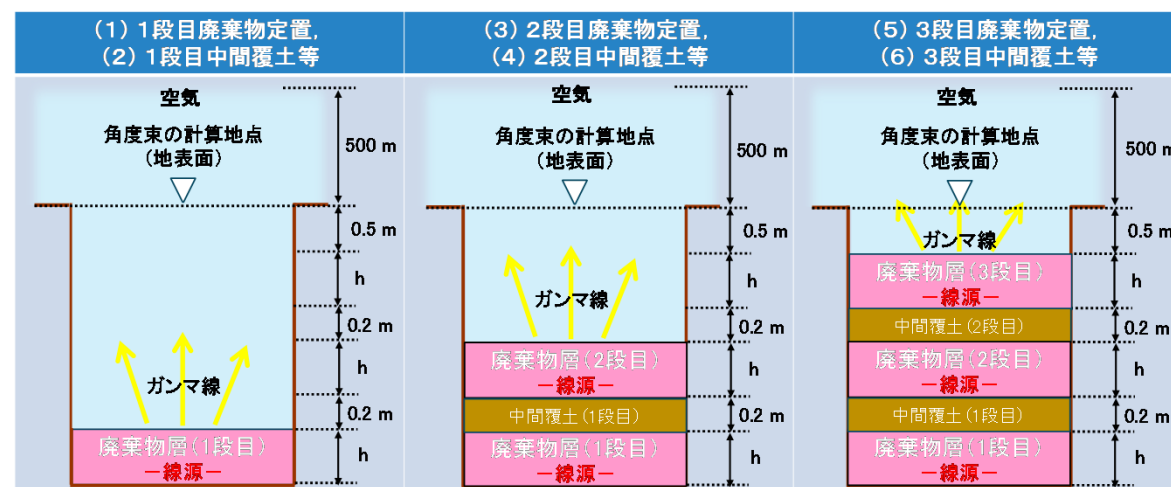
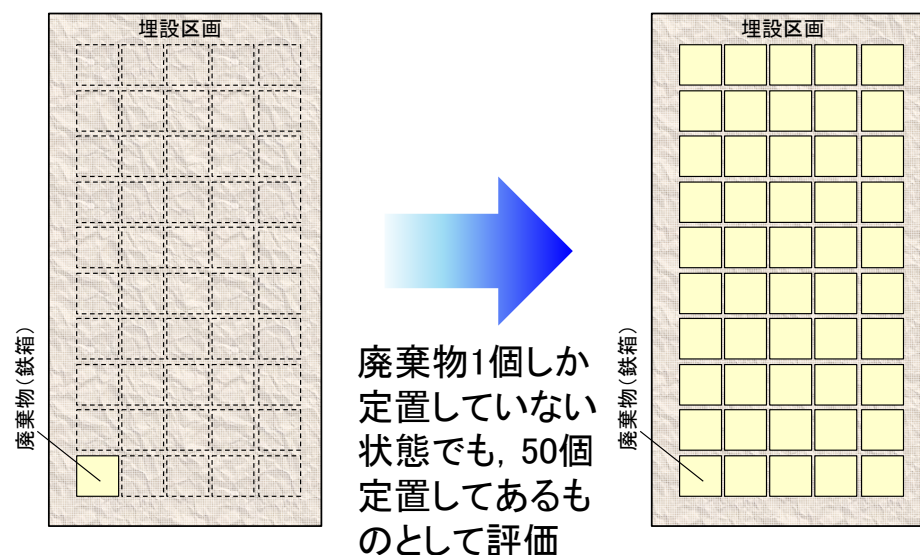
さらには、スカイシャイン線量評価ではないが、旧原子力安全委員会安全審査指針である「発電用軽水型原子炉施設の安全審査における一般公衆の線量評価について」の「放射性雲中の放射性物質の γ 線による外部全身被ばく」の評価に用いる粒子状の放射性物質の実効エネルギーとしては、平均エネルギー1.253 MeV/photonや、この平均エネルギーに放出割合1.999 photons/disを乗じた実効エネルギー2.504 MeV/disが記載されており、廃止措置計画の公衆被ばくの評価には、この指針に基づきガンマ線実効エネルギーとして2.50 MeV/disが一般的に使用されている例がある。

管理番号40 Co-60のガンマ線エネルギー(3/3)

なお、本施設のスカイシャインガンマ線の評価は、審査資料「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第八条(遮蔽等)への適合性について」の「添付資料1-4 ANISN-G33及びQADによる計算の妥当性について」に示すとおり、3次元の複雑な幾何学形状をそのまま取り扱うことができるほか、放射線のエネルギーを連続的に扱うことができるMCNP5による計算結果と比較することで、ANISN-G33による評価結果がMCNP5の計算結果に対して保守的な傾向となっていることを確認している。

また、ANISN-G33の評価条件についても、以下に示す内容を考慮することで、保守的な評価となるように配慮している。

- 遮蔽となる中間覆土の密度について、乾燥状態の砂の下限值側の値である 1.3 g/cm^3 としている。また、線源となる廃棄物層の平均密度は、充填する砂を考慮せず実際の密度より低くなるようにして設定している。
- 計算地点について、廃棄物埋設地の端から周辺監視区域境界までの最短距離である約170 mを保守的に丸めて150 mとしている。
- 埋設中のスカイシャインガンマ線は、1段ごとに状態設定することで、まだ定置していない廃棄物からのガンマ線を考慮※¹するとともに、埋設中の1年間は中間覆土による遮蔽を考慮せず、常に廃棄物が露出した状態※²としている。



埋設中は365日、(1)から(6)のいずれかの作業ステップとなるように状態設定しており、常に廃棄物が露出しているものとして評価

※¹ まだ定置していない廃棄物からのガンマ線を考慮するイメージ

※² 常に廃棄物が露出した状態のイメージ

管理番号39 事業許可申請と廃棄物埋設確認申請の整理

✓ 補正申請書及び審査資料の該当箇所について、下記の方針で追記・修正する。

注) 指摘を踏まえて記載を変更した箇所は青色で示す。

✓ 事業許可申請

- 事業許可申請においては、右記の廃棄物埋設地の仕様一覧に記載した内容を許可の範囲として明記
- 仕様一覧に記載した内容以外の、施工、検査、点検、補修の具体的な方法は、事業許可申請の範囲外

✓ 廃棄物埋設確認申請

- 廃棄物埋設地が許可を受けたところによる構造及び設備を有すること(事業規則第六条第一項第八号)を、事業許可申請における仕様一覧に準拠することを以って確認

✓ 雨水防止tent及び雨養生

- 廃棄物埋設施設の操業中、一時的に雨水防止tent及び雨養生を設置
- 雨水防止tent及び雨養生は、工事の際に準備する工事用資機材であり、廃棄物埋設施設ではないため、事業許可申請及び廃棄物埋設確認申請の対象外
- 雨水防止tent及び雨養生は、漏出低減機能を有する施設には非該当
- 雨水防止tent及び雨養生の運用については、関連法令及び基準に準拠し、QMS文書に基づく作業管理を実施

注1) 遮水シートは以下の関連法令及び基準に準拠する。

- 「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の一部改正について(旧厚生省)」
- 「一般廃棄物の最終処分場及び産業廃棄物の最終処分場に係る技術上の基準を定める命令の運用に伴う留意事項について(環境省)」
- 「JIS K 6922-1:2018 プラスチック ーポリエチレン(PE)成型用及び押出用材料ー 第1部:呼び方のシステム及び仕様表記の基礎」
- 「JIS K 6922-2:2018 プラスチック ーポリエチレン(PE)成型用及び押出用材料ー 第2部:試験片の作成方法及び特性の求め方」
- 「ごみ埋立地の設計施工ハンドブック しゃ水工技術(国際ジオシンセティックス学会日本支部・ジオメンブレン技術委員会)」
- 「遮水シート 日本遮水工協会自主基準(日本遮水工協会)」
- 「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領(全国都市清掃会議)」

注2) 表面遮水は以下の関連法令及び基準に準拠する。

- 「平成二十三年三月十一日に発生した東北地方太平洋沖地震に伴う原子力発電所の事故により放出された放射性物質による環境の汚染への対処に関する特別措置法施行規則」
- 「廃棄物関係ガイドライン 事故由来放射性物質により汚染された廃棄物の処理等に関するガイドライン(環境省)」
- 「仮置き場の管理について(環境省)」
- 「現場保管場所・仮置き場の上部シート(通気性防水シート・遮水シート)および下部シート等の自主基準(日本遮水工協会)」
- 「廃棄物最終処分場遮水シート取扱いマニュアル(日本遮水工協会)」
- 「ごみ埋立地の設計施工ハンドブック しゃ水工技術(国際ジオシンセティックス学会日本支部・ジオメンブレン技術委員会)」
- 「遮水シート 日本遮水工協会自主基準(日本遮水工協会)」
- 「廃棄物最終処分場整備の計画・設計・管理要領(全国都市清掃会議)」

廃棄物埋設地の仕様一覧

名称		仕様
最終覆土	保護土層(上層)	・厚さ0.3 m以上の粘性土又は火山灰質粘性土
	保護土層(下層)	・厚さ0.15 m以上の砂質土
	フィルタ層	・厚さ0.3 m以上のクラッシャーラン(C-20相当の粒度分布を有するもの)
	排水層	・厚さ0.3 m以上の単粒度碎石(S-30相当の透水係数及び粒度分布を有するもの)
	遮水シート 注1)	・厚さ1.5 mm以上の高密度ポリエチレン(HDPE) ・地震時のすべり安定性を有するもの
	低透水性覆土	・ 1.0×10^{-10} m/s以下の透水係数 ・ベントナイト混合率15 wt%以上のベントナイト混合土 ・厚さ1 m以上*
	基礎材	・厚さ0.3 m以上の粒度調整碎石
	側部低透水性覆土	・ 1.0×10^{-10} m/s以下の透水係数 ・ベントナイト混合率15 wt%以上のベントナイト混合土 ・厚さ0.8 m以上
	中間覆土	・厚さ0.5 m以上(最上段)及び厚さ0.2 m以上(最上段以外)の砂質土 ・ $1,300 \text{ kg/m}^3$ 以上の密度
	充填砂	・砂質土のうち流動性を期待できるもの
表面遮水 注2)		・厚さ1.5 mm以上の遮水シート
植生 注3)		・芝生・草花
排水設備		・暗渠排水
基礎材		・粒度調整碎石

※: 埋設トレンチ上部の厚さ

注3) 植生は以下の関連法令及び基準に準拠する。

- 「植栽基盤の整備手順(案)(国土交通省)」
- 「都市公園技術標準解説書(国土交通省監修・日本公園緑地協会)」
- 「植栽基盤整備技術マニュアル(国土交通省監修・日本緑化センター)」
- 「港湾緑地の植栽 設計・施工マニュアル(旧運輸省監修・港湾空間高度化センター・港湾・海域環境研究所)」
- 「道路土工 切土工・斜面安定工指針(日本道路協会)」

4. 低透水性覆土の施工における品質管理(案)(7/9)

【材料受入時データ】

- ・ベントナイト:ミルシート, モンモリロナイト含有率
- ・母材(洗砂): 粒度分布, 吸水率, 比重

【覆土材料製造時データ】

- ・ベントナイト混合率
- ・含水比(設定範囲内の確認)

【覆土施工時データ】

- ・乾燥密度
⇒施工単位で規定数を計測

個々のデータ:有効モンモリロナイト乾燥密度管理値以上

Yes

No

再転圧後, 有効モンモリロナイト乾燥密度管理値以上

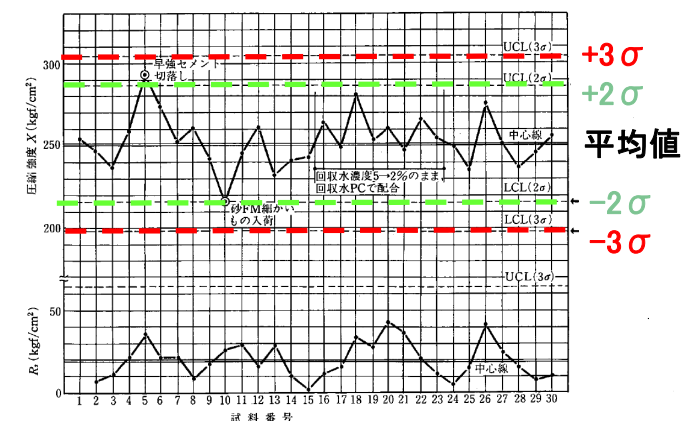
Yes

No

有効モンモリロナイト乾燥密度データは $\pm 3\sigma$, $\pm 2\sigma$ を管理値とし数値のばらつきを管理する。ばらつきに異常がある場合, 製造を止め材料を再検討, 製造方法及び施工方法を改善し, ばらつきを最小化する。

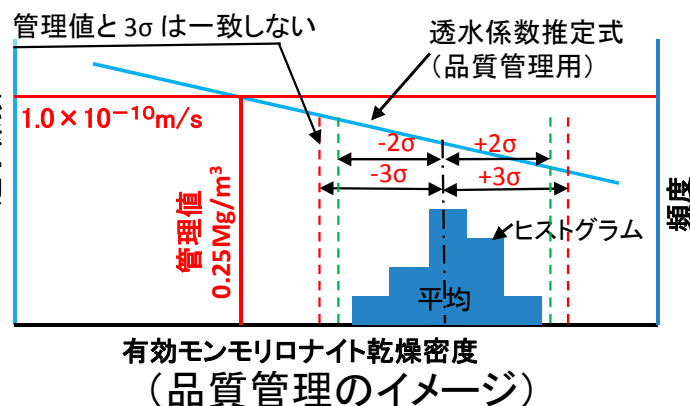
Yes

次層の施工へ



X-Rs管理図の例
コンクリートの品質管理指針・同解説,
日本建築学会, 1991年版抜粋

施工した層を撤去し
再施工
(施工単位毎)



第17図 低透水性覆土の性能判断フロー(案)

✓ 補正申請書及び審査資料の該当箇所について、下記の方針で追記・修正する。

注) 指摘を踏まえて記載を変更した箇所は青字で示す。

第5表 敷地周辺の段丘面の標高、海水準、被覆層厚さ、年代、変動量(日立地域)

地域名	地点番号	地点		変動基準			変動基準 の年代 (万年)	海水準 高度 (m)	垂直 変動量 (m)	垂直変動 速度 (m/万年)	文献	
		標高 (m)	※ 精度	種類	被覆層の厚さ (m)	高度 (m)						
日立地域	1	127	C	mT ₉ の旧汀線アングル	不明	127	32.8	5	122	3.7	鈴木	(1987MS)
	2	135	C	mT ₉ の旧汀線アングル	不明	135	32.8	5	130	4	鈴木	(1987MS)
	3	126	C	mT ₉ の旧汀線アングル	不明	126	32.8	5	121	3.7	鈴木	(1987MS)
	4	128	C	mT ₉ の旧汀線アングル	不明	128	32.8	5	123	3.8	鈴木	(1987MS)
	5	130	C	mT ₉ の旧汀線アングル	不明	130	32.8	5	125	3.8	鈴木	(1987MS)
	6	58	A	mT _{5c} の旧汀線アングル	1	57	12.5	5	52	4.2	鈴木	(1989)
	7	60	B	mT _{5c} の旧汀線アングル	不明	60	12.5	5	55	4.4	鈴木	(1987MS)
	8	69	B	mT _{5c} の旧汀線アングル	不明	69	12.5	5	64	5.1	鈴木	(1987MS)
	9	63	B	mT _{5c} の旧汀線アングル	不明	63	12.5	5	58	4.6	鈴木	(1987MS)
	10	59	A	mT _{5c} の旧汀線アングル	3	56	12.5	5	51	4.1	鈴木	(1989)
	11	27	A	mT _{5c} の旧汀線アングル	2	25	10	-15	40	4	Suzuki	(1989)
	12	32	B	mT _{5c} の旧汀線アングル	不明	32	10	-15	47	4.7	鈴木	未公表
	13	30	B	mT _{5c} の旧汀線アングル	不明	30	10	-15	45	4.5	鈴木	未公表

※:精度A:誤差±0.1 m程度, 精度B:誤差±1 m程度, 精度C:誤差±10 m程度

文献⁽¹⁾に一部加筆

第6表 敷地周辺の段丘面の標高、海水準、被覆層の厚さ、年代、変動量(那珂湊南地域)

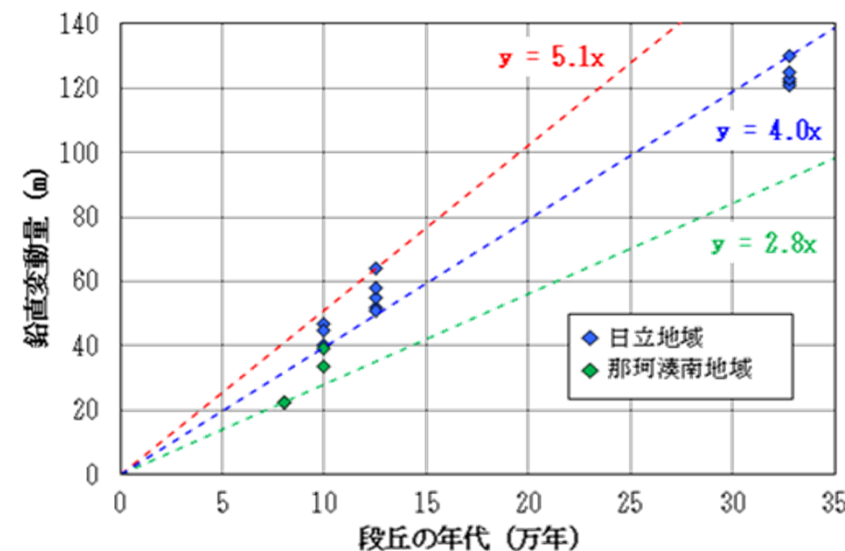
地域名	地点番号	地点	段丘区分	段丘区分	年代	海水水準現在比	被覆層の厚さ (m)	標高 (m)	変動量 (m)	隆起速度 (m/万年)
那珂湊南地域	14	十三奉行	海成段丘	mT5c	10	-15	4	22.4	33.4	3.3
	15	総合運動公園南 (UM)	海成-河成段丘	mT5c-fT5c	10	-15	4	28.3	39.3	3.9
	16	ひたちなか市中根 (HN)	河成段丘	FT5a	8		3	22.5	22.5	2.8

注:第6表については、文献値に精度の記載はない。

段丘区分、年代、海水水準現在比は文献⁽¹⁾を参照

隆起・沈降の設定

- ✓ 文献⁽¹⁾に基づき、敷地周辺における段丘面の標高・海水準・年代・被覆層厚さ・変動量(第5表及び第6表)から、隆起量を設定(第5図)する。
- ✓ 段丘面の標高は、精度に由来する誤差(赤枠部分)を有するが、隆起速度の設定に当たっては、文献⁽¹⁾に記載されている変動量(青枠部分)を引用する。なお、誤差を考慮して、最も厳しい設定において、隆起速度が最も大きい5.1 m/万年に保守性を見込み、5.5 m/万年と設定する。



第5図 算出した隆起量

(1)小池一之、町田洋編(2001):日本の海成段丘アトラス、東京大学出版会

- ✓ 本施設の廃止措置の開始後の評価において、バリア材料の物性として着目するのは、「低透水性」及び「収着性」である。
- ✓ これらの物性は、廃止措置の開始後の評価における線量評価パラメータのうち、「年間浸透水量」及び「収着分配係数」が該当する。
- ✓ これらの線量評価パラメータが評価において重要となることから、これらを例に、設定におけるエラーバー(不確定性)の考え方を説明する。

【線量評価パラメータの設定の考え方】

- ✓ 第二種埋設許可基準解釈では、最も可能性が高い自然事象シナリオは、「人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは、最も可能性が高い設定とする。」ことが要求されている。また、最も厳しい自然事象シナリオは、「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。」ことが要求されている。
- ✓ 廃止措置の開始後の評価に用いる線量評価パラメータについて、処分システムに基づき設定する線量評価パラメータと生活環境に基づき設定する線量評価パラメータに大別して整理し、処分システムに基づき設定する線量評価パラメータについては、さらに3つの分類に整理し、以下の4つの分類に整理した。

分類①: 実測値等に基づいて科学的に合理的な範囲を定めたうえで設定するもの

分類②: 科学的に合理的な範囲が定められないことから、想定しうる最大の範囲を考慮して最も保守的となる値に設定するもの

分類③: 施設設計等の内容及び根拠となる文献等に基づき値を設定するもの

分類④: 現在の本施設周辺の生活環境に基づき値を設定するもの

- ✓ 分類①の線量評価パラメータが、第二種埋設許可基準解釈で要求されるシナリオに応じた設定の変更の主な対象となると考え、被ばく線量への感度が大きい線量評価パラメータ又は設定の不確かさが大きいと判断した線量評価パラメータについて、最も可能性が高い設定と最も厳しい設定を設定した。対象となる線量評価パラメータに、「収着分配係数」が含まれる。
- ✓ また、分類③の線量評価パラメータのうち、「年間浸透水量」については、バリア機能である低透水性に係る状態を踏まえ、最も可能性が高い設定と最も厳しい設定を設定した。

【収着分配係数の設定におけるエラーバーの考え方(1/6)】

- ✓ 収着分配係数は、影響事象分析の評価を考慮した想定される廃棄物埋設地の環境条件で取得した試験データ又は文献値等から設定する。
- ✓ 本施設の廃止措置の開始後の評価における評価対象核種である、H-3, C-14, Cl-36, Ca-41, Co-60, Sr-90, Cs-137, Eu-152, Eu-154, 全 α を対象に収着分配係数を設定した。収着分配係数の設定の考え方は第7表のとおり。

第7表 収着分配係数の設定の考え方

核種	設定の考え方
H-3	水を構成する主要元素であり、一般的に吸着は期待できないと考えられるため、設定値を0と設定する。
C-14	有機形態、無機形態などの化学形態によって媒体への吸着能は大きく変化する。放射性廃棄物からの放出時のC-14の化学形態については未確認であることなど、不確実な要素があるため、保守的に設定値を0と設定する。
Cl-36	地下水等においては、単独で陰イオンであることが多く、吸着性は低いことが知られていることから、設定値を0と設定する。
Ca-41	化学的に類似(アルカリ土類金属)のSr-90と同じ設定値を設定する。
Co-60	- 収着分配係数取得試験により取得した試験データを基に最も可能性が高い設定及び最も厳しい設定を設定する。 - 収着分配係数取得試験では、廃棄物埋設地付近の土壌(固相)及び想定される環境条件(液相)を用いる。 - 想定される環境条件は、廃棄物埋設地の周辺の地盤における地下水の水質の影響を考慮して「現地地下水」及び雨水等の浸透水がコンクリート類との接触によってカルシウム成分が溶脱し、間隙水のpHが変化することで、収着性に影響を与えることを考慮して「水酸化カルシウム水溶液」を用いることとし、収着分配係数を設定する土壌に応じて、試験結果を選択した。 - また、最も厳しい設定では、津波によって一時的に海水の影響を受ける可能性も考えられるため「人工海水」を用いた試験結果を考慮した。
Sr-90	
Cs-137	
Eu-152	
Eu-154	
全 α	

【収着分配係数の設定におけるエラーバーの考え方(2/6)】

- ✓ 収着分配係数取得試験の試験結果には、複数の試験結果の算術平均値又は幾何平均値を算出し、更にこれらの値のうち最も小さい値を試験結果として取り扱うこととした(第8表～第10表参照)。
- ✓ 収着分配係数取得試験には放射能測定における計測誤差が含まれるため、試験結果、算術平均値及び幾何平均値の誤差を同表に示す。計測誤差を考慮しても試験結果が桁で変わることはない。

第8表 分配係数取得試験結果(液相:現地地下水)

固相		液相	分配係数(m ³ ／kg)									
ボー リ ン グ	地 層		Co－60	Co－60 誤差	Sr－85	Sr－85 誤差	Cs－137	Cs－137 誤差	Eu－152	Eu－152 誤差	Am－241	Am－241 誤差
S－1	du	現 地 地 下 水	3.6×10 ^{－1}	±3.8×10 ^{－2}	8.4×10 ^{－3}	±3.6×10 ^{－4}	6.1×10 ^{－1}	±7.6×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
S－1			4.6×10 ^{－1}	±5.7×10 ^{－2}	7.7×10 ^{－3}	±3.4×10 ^{－4}	6.1×10 ^{－1}	±7.6×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
S－1			4.1×10 ^{－1}	±4.8×10 ^{－2}	8.1×10 ^{－3}	±3.5×10 ^{－4}	6.7×10 ^{－1}	±8.8×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
S－2			3.1×10 ^{－1}	±3.0×10 ^{－2}	7.8×10 ^{－3}	±3.4×10 ^{－4}	6.6×10 ^{－1}	±8.6×10 ^{－2}	3.1×10 ^{－1}	±1.5×10 ^{－1}	7.6×10 ^{－2}	±3.9×10 ^{－2}
S－2			2.9×10 ^{－1}	±2.7×10 ^{－2}	7.9×10 ^{－3}	±3.5×10 ^{－4}	6.9×10 ^{－1}	±9.2×10 ^{－2}	3.4×10 ^{－1}	±1.7×10 ^{－1}	6.7×10 ^{－2}	±3.2×10 ^{－2}
S－2			2.6×10 ^{－1}	±2.4×10 ^{－2}	7.8×10 ^{－3}	±3.5×10 ^{－4}	6.7×10 ^{－1}	±8.9×10 ^{－2}	3.1×10 ^{－1}	±1.5×10 ^{－1}	7.0×10 ^{－2}	±3.4×10 ^{－2}
F－4－0			2.6×10 ^{－1}	±2.4×10 ^{－2}	8.4×10 ^{－3}	±3.6×10 ^{－4}	4.4×10 ^{－1}	±4.4×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
F－4－0			3.9×10 ^{－1}	±4.3×10 ^{－2}	8.5×10 ^{－3}	±3.6×10 ^{－4}	4.3×10 ^{－1}	±4.4×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
F－4－0			4.5×10 ^{－1}	±5.4×10 ^{－2}	8.4×10 ^{－3}	±3.6×10 ^{－4}	3.7×10 ^{－1}	±3.5×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
H－4－0			6.6×10 ^{－1}	±1.0×10 ^{－1}	8.3×10 ^{－3}	±3.6×10 ^{－4}	4.4×10 ^{－1}	±4.4×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
H－4－0			5.0×10 ^{－1}	±6.4×10 ^{－2}	8.2×10 ^{－3}	±3.5×10 ^{－4}	4.4×10 ^{－1}	±4.5×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
H－4－0			4.9×10 ^{－1}	±6.2×10 ^{－2}	8.3×10 ^{－3}	±3.6×10 ^{－4}	4.5×10 ^{－1}	±4.7×10 ^{－2}	1.4×10 ⁰ ※1	—※2	4.0×10 ^{－1} ※1	—※2
試験結果の幾何平均			3.9×10 ^{－1}	±1.3×10 ^{－2}	8.1×10 ^{－3}	±1.0×10 ^{－4}	5.3×10 ^{－1}	±1.8×10 ^{－2}	9.7×10 ^{－1}	±2.8×10 ^{－1} ※3	2.6×10 ^{－1}	±7.4×10 ^{－2} ※3
試験結果の算術平均			4.0×10 ^{－1}	±1.5×10 ^{－2}	8.1×10 ^{－3}	±1.0×10 ^{－4}	5.4×10 ^{－1}	±1.9×10 ^{－2}	1.1×10 ⁰	±9.1×10 ^{－2} ※3	3.2×10 ^{－1}	±2.0×10 ^{－2} ※3

※1: 試験結果における反応後の放射能濃度が、検出限界以下となっていることから、分配係数を検出限界値から算出した。

※2: 検出限界値のため、誤差は不明であるため「—」とした。

※3: 測定が実施できた3点の算術平均又は幾何平均の誤差を示す。

 : 試験結果として取り扱う値

【収着分配係数の設定におけるエラーバーの考え方(3/6)】

第9表 分配係数取得試験結果(液相:水酸化Ca水溶液)

固相		液相	分配係数 (m ³ /kg)									
ボー リ ン グ	地 層		Co-60	Co-60 誤差	Sr-85	Sr-85 誤差	Cs-137	Cs-137 誤差	Eu-152	Eu-152 誤差	Am-241	Am-241 誤差
S-2	du	水酸化 Ca 水溶液	4.0 × 10 ⁻²	±9.9 × 10 ⁻³	3.8 × 10 ⁻³	±2.7 × 10 ⁻⁴	2.9 × 10 ⁻¹	±8.4 × 10 ⁻³	1.5 × 10 ⁰ ※1	—※2	4.0 × 10 ⁻¹ ※1	—※2
S-2			4.5 × 10 ⁻²	±1.1 × 10 ⁻²	4.0 × 10 ⁻³	±2.7 × 10 ⁻⁴	1.6 × 10 ⁰	±1.4 × 10 ⁻¹	1.5 × 10 ⁰ ※1	—※2	4.0 × 10 ⁻¹ ※1	—※2
S-2			4.2 × 10 ⁻²	±1.0 × 10 ⁻²	4.0 × 10 ⁻³	±2.7 × 10 ⁻⁴	3.5 × 10 ⁻¹	±1.1 × 10 ⁻²	1.5 × 10 ⁰ ※1	—※2	4.0 × 10 ⁻¹ ※1	—※2
試験結果の幾何平均			4.2 × 10 ⁻²	±6.0 × 10 ⁻³	3.9 × 10 ⁻³	±1.6 × 10 ⁻⁴	5.4 × 10 ⁻¹	±1.8 × 10 ⁻²	1.5 × 10 ⁰	—※2	4.0 × 10 ⁻¹	—※2
試験結果の算術平均			4.2 × 10 ⁻²	±6.0 × 10 ⁻³	3.9 × 10 ⁻³	±1.6 × 10 ⁻⁴	7.3 × 10 ⁻¹	±4.6 × 10 ⁻²	1.5 × 10 ⁰	—※2	4.0 × 10 ⁻¹	—※2

第10表 分配係数取得試験結果(液相:人工海水)

固相		液相	分配係数(m ³ /kg)									
ボーリング	地層		Co-60	Co-60 誤差	Sr-85	Sr-85 誤差	Cs-137	Cs-137 誤差	Eu-152	Eu-152 誤差	Am-241	Am-241 誤差
F-4-0	du	人工海水	1.9×10 ⁻²	±6.0×10 ⁻⁴	3.8×10 ⁻⁴	±1.3×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻²	±3.7×10 ⁻⁴	1.4×10 ^{0※1}	—※2	4.0×10 ^{-1※1}	—※2
F-4-0			2.0×10 ⁻²	±6.1×10 ⁻⁴	4.1×10 ⁻⁴	±1.3×10 ⁻⁴	1.0×10 ⁻²	±3.8×10 ⁻⁴	1.4×10 ^{0※1}	—※2	4.0×10 ^{-1※1}	—※2
F-4-0			2.1×10 ⁻²	±6.6×10 ⁻⁴	3.9×10 ⁻⁴	±1.2×10 ⁻⁴	9.5×10 ⁻³	±3.6×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁰	±2.1×10 ⁰	4.0×10 ^{-1※1}	—※2
試験結果の幾何平均			2.0×10 ⁻²	±3.6×10 ⁻⁴	3.9×10 ⁻⁴	±7.2×10 ⁻⁵	1.0×10 ⁻²	±2.1×10 ⁻⁴	1.3×10 ⁰	±2.1×10 ^{0※3}	4.0×10 ⁻¹	—※2
試験結果の算術平均			2.0×10 ⁻²	±3.6×10 ⁻⁴	3.9×10 ⁻⁴	±7.2×10 ⁻⁵	1.0×10 ⁻²	±2.1×10 ⁻⁴	1.4×10 ⁰	±2.1×10 ^{0※3}	4.0×10 ⁻¹	—※2

※1:試験結果における反応後の放射能濃度が, 検出限界以下となっていることから, 分配係数を検出限界値から算出した。

※2:検出限界値のため, 誤差は不明であるため「—」とした。

※3:測定が実施できた1点の誤差を示す。

 :試験結果として取り扱う値

【収着分配係数の設定におけるエラーバーの考え方(4/6)】

- ✓ 収着分配係数を設定する対象に応じて、以下の考えで試験結果として取り扱う値を比較し、試験結果の採用値を設定する(第11表参照)。

第11表 試験結果の採用の考え方

対象	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
廃棄物埋設地内土砂	- 現地地下水を使用した試験結果に加えて、放射性廃棄物にはコンクリート類が含まれることから、一部の領域が現地地下水よりもpHが高くなる可能性があるため、水酸化カルシウム水溶液を使用した試験結果を考慮する。 2種類の液相の試験結果を比較し、小さい値を採用値と設定する。	廃棄物埋設地への津波は到達しないため、人工海水を使用した試験結果は考慮しない。
通気層土壌	- 現地地下水を使用した試験結果に加えて、放射性廃棄物にはコンクリート類が含まれることから、一部の領域は現地地下水よりもpHが高くなる可能性があるため、水酸化カルシウム水溶液を使用した試験結果を考慮する。 2種類の液相の試験結果を比較し、小さい値を採用値と設定する。	- 津波によって一時的に海水の影響を受ける可能性が考えられるため、最も可能性が高い設定に人工海水を使用した試験結果を加える。 3種類の液相の試験結果を比較し、小さい値を採用値と設定する。
帯水層土壌	- 現地地下水を使用した試験結果から採用値を設定する。 - なお、廃棄物埋設地の浸透水が帯水層に到達すれば、上流からの地下水で十分に希釈されるため、pHの変動の可能性は極めて小さいことから、水酸化カルシウム水溶液を使用した試験結果は考慮しない。	- 津波によって一時的に海水の影響を受ける可能性が考えられるため、最も可能性が高い設定に人工海水を使用した試験結果を加える。 2種類の液相の試験結果を比較し、小さい値を採用値と設定する。

【収着分配係数の設定におけるエラーバーの考え方(5/6)】

- ✓ 最も可能性が高い設定の収着分配係数設定値は、試験結果の採用値を1桁目が1又は3になるように小さい方に丸めた値を設定した。
- ✓ 最も厳しい設定の収着分配係数設定値は、試験結果の採用値を10分の1倍し、1桁目が1又は3になるように小さい方に丸めた値を設定した。

第12表 対象土壌ごとの試験結果の採用値

対象	区分	分配係数(m ³ /kg)				
		Co-60	Sr-85	Cs-137	Eu-152	Am-241
廃棄物埋設地内土砂	最も可能性が高い設定	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
	最も厳しい設定	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
通気層土壌	最も可能性が高い設定	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
	最も厳しい設定	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-4}	1.0×10^{-2}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
帯水層土壌	最も可能性が高い設定	3.9×10^{-1}	8.1×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
	最も厳しい設定	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-4}	1.0×10^{-2}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}

第13表 評価に使用する収着分配係数設定値

対象	区分	分配係数(m ³ /kg)				
		Co-60	Sr-85	Cs-137	Eu-152	Am-241
廃棄物埋設地内土砂	最も可能性が高い設定	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}
	最も厳しい設定	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-4}	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}
通気層土壌	最も可能性が高い設定	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}
	最も厳しい設定	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}
帯水層土壌	最も可能性が高い設定	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}
	最も厳しい設定	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}

【収着分配係数の設定におけるエラーバーの考え方(6/6)】

- ✓ 収着分配係数取得試験の試験結果には、計測誤差なども含まれるが、廃止措置の開始後の評価に使用する設定値の設定プロセスにおける保守的な切り下げ処理の範囲に含まれると考えている。
- ✓ また、廃止措置の開始後の評価において、被ばく線量の寄与が大きいCI-36の設定値については、収着しにくいことを踏まえ0と設定しているため、一般的に収着しやすいことが知られている他の核種の設定値が多少変動を受けたとしても、基準値を上回るような被ばく線量の変動となることは考えにくい。
- ✓ これらを踏まえ、収着分配係数の設定値は妥当な設定であるとする。

【年間浸透水量の設定におけるエラーバーの考え方(1/3)】

- ✓ 年間浸透水量は、解析コードDtransu2D-ELを用いて、浸透流解析を実施した結果より設定する。
- ✓ 浸透流解析の解析モデルは、廃棄物埋設地の設計内容を基に作成した。
- ✓ 解析モデルの上部境界には、地質環境等の状態設定で設定した1,000年後の温暖期継続ケースにおける年間降水量及び蒸発散量の状態設定値、文献より設定する表面流出割合を用いて降雨境界を設定した。
- ✓ また、浸透流解析に用いる対象の飽和透水係数の設定については、文献値(文献を用いた計算結果含む)、試験結果又は設計値より設定した(第14表参照)。
- ✓ **本浸透流解析では、遮水シート及び低透水性覆土により、廃棄物埋設地への浸透水量を計算により確認するものである。**
- ✓ **そのため、それ以外の部材の飽和透水係数の設定については、浸透流解析の結果に大きな影響を及ぼすものではないことから、透水試験を実施した結果の算術平均等から設定することとしている。**
- ✓ **一方で、低透水性覆土の飽和透水係数の設定は、最も可能性が高い設定と最も厳しい設定に分けて設定している。**
- ✓ **最も厳しい設定では、廃棄物埋設地の状態設定を踏まえて飽和透水係数を大きく設定することで、浸透流解析の結果が保守的な設定となるような条件を設定している。**
- ✓ **また、遮水シートの飽和透水係数は、米国のRisk Reduction Engineering Laboratory で開発された計算コードThe Hydrologic Evaluation of Landfill Performance model(以下「HELP」という。)及びJAEA(2014)⁽¹⁾の考え方を用いて設定した。HELPでは、遮水シートからの漏れい量の評価において遮水シートの上下層の透水性、遮水シートと下層との接触状態及び遮水シートの損傷状態を考慮しており、遮水シートを施工したとしても一部の浸透を考慮することとしている。**
- ✓ **評価した結果については、廃止措置の開始後の評価で用いる年間浸透水量を設定する際には、切り上げ処理を実施した値を設定している(第15表参照)。**
- ✓ **本浸透流解析で最も重要となる遮水シート及び低透水性覆土の飽和透水係数の設定について、保守性を踏まえた適切な設定が行えていると考えている。**
- ✓ **そのため、年間浸透水量の設定値は妥当な設定であると考える。**

【年間浸透水量の設定におけるエラーバーの考え方(2/3)】

第14表 浸透流解析に用いる飽和透水係数の設定値及び設定根拠

対象			飽和透水係数 (m／s)	根拠
保護土層(上層)			2.84×10^{-5}	文献より設定※1
保護土層(下層)			1.04×10^{-4}	透水試験結果の最も透水係数が高い結果より設定※1
フィルタ層			1.32×10^{-3}	透水試験結果の算術平均値より設定※1
排水層			5.0×10^{-2}	透水試験結果より透水係数が小さくなるように設定※2
遮水シート	低透水性覆土上	最も可能性が高い	8.64×10^{-15}	HELP及び文献を参考にして設定
		最も厳しい	1.72×10^{-14}	
	基礎材上	最も可能性が高い	1.17×10^{-9}	
		最も厳しい	1.60×10^{-9}	
低透水性覆土		最も可能性が高い	1.0×10^{-10}	設計値
		最も厳しい	2.0×10^{-10}	廃棄物埋設地の状態設定を踏まえて設定
基礎材			1.22×10^{-4}	透水試験結果の算術平均値より設定※1
側部低透水性覆土			1.0×10^{-10}	設計値
中間覆土			4.73×10^{-4}	透水試験結果の算術平均値より設定※1
地盤			3.23×10^{-4}	揚水試験結果より設定
基盤材			1.22×10^{-4}	透水試験結果の算術平均値より設定※1

※1: 遮水シートまたは低透水性覆土よりも上の物性については、浸透流解析結果に大きな影響を及ぼすことは無いため、算術平均値等を用いることで解析結果への影響はない。

※2: 排水層は、透水係数が小さくなると、覆土外への排水量が低減されることになり、浸透量は多くなるため、透水試験結果から小さくなるように設定することで解析結果への影響はない。

※3: 廃棄物埋設地内の物性について、遮水シート及び低透水性覆土により低減された浸透水量の評価となるため、浸透流解析結果に大きな影響を及ぼすことは無いため、算術平均値等を用いることで解析結果への影響はない。

【年間浸透水量の設定におけるエラーバーの考え方(3/3)】

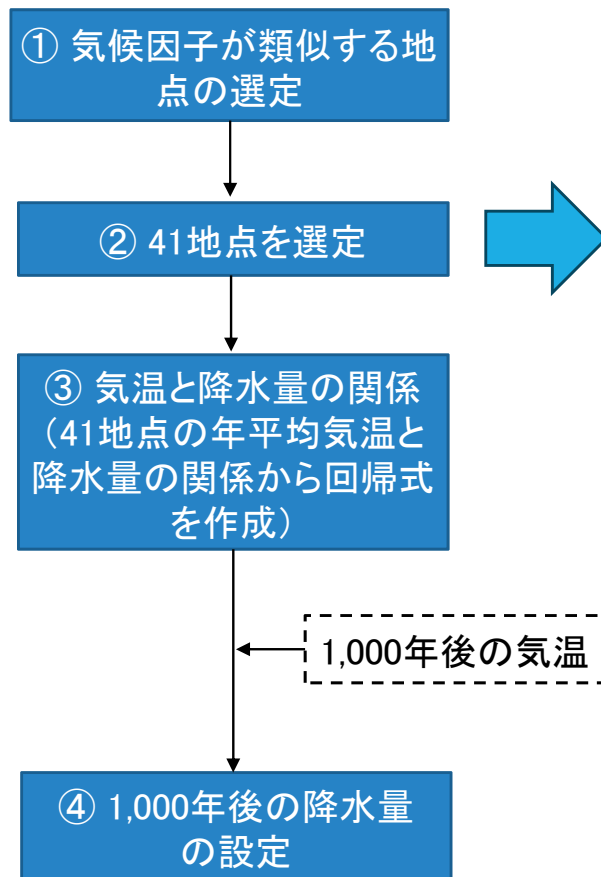
第15表 浸透流解析の解析結果と年間浸透水量の設定値

区分	浸透流解析の解析結果		年間浸透水量の設定値	
	遮水シートによる浸透水 低減を考慮する場合	遮水シートによる浸透水 低減を考慮しない場合	遮水シートによる浸透水 低減を考慮する場合	遮水シートによる浸透水 低減を考慮しない場合
	$\text{m}^3 / (\text{m}^2 \cdot \text{y})$			
最も可能性が高い設定	0.002661	0.012390	3.0×10^{-3}	1.3×10^{-2}
最も厳しい設定	0.003920	0.022031	4.0×10^{-3}	2.3×10^{-2}

【降水量のエラーバーの考え方(1/2)】

降水量の設定

- 降水量は、気温及び気候因子と相関がある。
- 気候因子の影響を排除すれば、気温と降水量の相関が得られる。
- 気候因子の影響を排除するため、気候因子が敷地周辺と類似した地点を下記のとおり選定する。
 - 気象庁のホームページから過去30年間(1991年～2020年)における63地点のデータを収集。
 - 廃棄物埋設地周辺の水戸地方気象台の観測地点と地形的に大きく異なる地点を排除し、41地点を選定。
- 選定した41地点の年平均気温と年降水量の平年値を整理し(第16表)、年平均気温と年降水量の関係を指数回帰式で表し(第7図)、1,000年後の気温における降水量を算出。

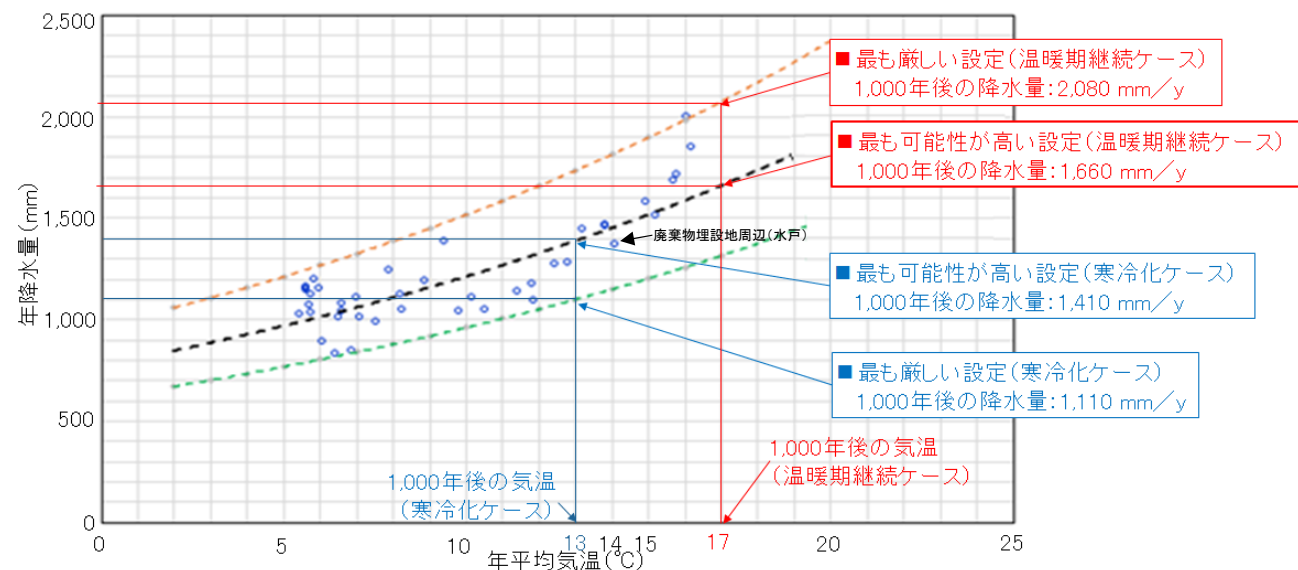


第6図 降水量設定の流れ

第16表 廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ地点の気温と降水量

	地点	年平均気温(℃)	年降水量(mm/y)
1	北海道 宗谷岬	6.4	827.8
2	北海道 稚内	7.0	1109.2
3	北海道 網走	6.9	844.2
4	北海道 標津	5.6	1148.0
5	北海道 別海	6.0	1148.4
6	北海道 根室	6.6	1040.4
7	北海道 厚床	5.7	1158.8
8	北海道 榑町	5.8	1035.2
9	北海道 太田	5.9	1195.2
10	北海道 白糠	5.8	1124.8
11	北海道 釧路	6.6	1080.1
12	北海道 池田	6.1	890.9
13	北海道 浦幌	6.5	1005.9
14	北海道 糠内	5.4	1022.9
15	北海道 大津	5.7	1066.2
16	北海道 大樹	5.6	1146.0
17	北海道 苫小牧	7.9	1239.2
18	北海道 鶴川	7.1	1010.6
19	北海道 室蘭	8.9	1188.9
20	北海道 日高門別	7.6	983.7
21	北海道 静内	8.3	1043.3
22	北海道 浦河	8.2	1118.3
23	青森県 六ヶ所	9.4	1383.3
24	青森県 三沢	10.2	1110.2
25	青森県 十和田	9.8	1038.0
26	青森県 八戸	10.5	1045.1
27	宮城県 鹿島台	11.4	1134.5
28	宮城県 石巻	11.9	1091.3
29	宮城県 塩釜	11.8	1175.0
30	宮城県 仙台	12.8	1276.7
31	宮城県 亘理	12.4	1272.2
32	福島県 小名浜	13.8	1461.2
33	茨城県 北茨城	13.2	1444.3
34	茨城県 水戸	14.1	1367.7
35	茨城県 鉾田	13.8	1468.5
36	茨城県 鹿嶋	14.9	1576.6
37	千葉県 銚子	15.8	1712.4
38	千葉県 横芝光	15.2	1509.4
39	千葉県 茂原	15.7	1682.4
40	千葉県 勝浦	16.0	1999.2
41	千葉県 館山	16.2	1845.9

【降水量のエラーバーの考え方(2/2)】



第7図 廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ地点の年平均気温と年降水量の関係

第17表 1,000年後の降水量

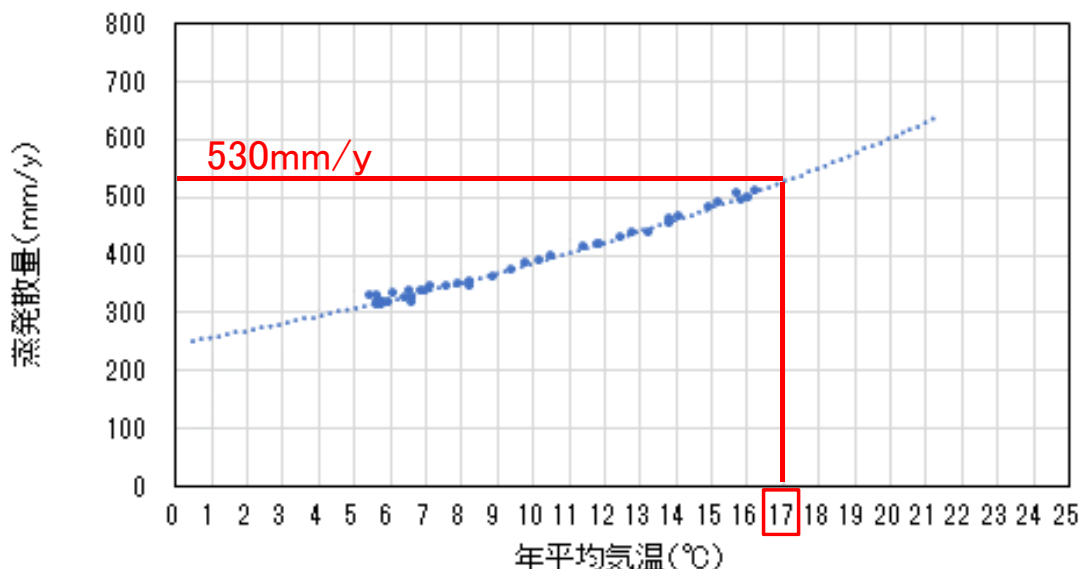
寒冷化ケース		温暖期継続ケース	
最も可能性が高い設定	最も厳しい設定	最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
1,410(mm/y)	1,110(mm/y)	1,660(mm/y)	2,080(mm/y)

エラーバーの考え方

- 降水量の設定に用いる「廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ地点の気温と降水量(第16表)」は、**気象庁のホームページより収集した平年値であり、利用可能なエラーバーはないため、以下のとおり不確定性を考慮して、降水量を設定している。**
 - ✓ 気温と降水量の関係は土地固有のものであり、指数回帰式により降水量は一義的に定まる。また、廃棄物埋設地周辺の降水量は、指数回帰式(中央)付近である。このため、**廃棄物埋設地周辺の降水量は「最も可能性が高い設定」程度と考えられる。**
 - ✓ 「最も厳しい設定」については、廃棄物埋設地周辺の状態設定としては考えられないものの、廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ**41地点の平年値**を用いた指数回帰式(上側及び下側)に基づき設定することにより、**最大限の不確定性を考慮している。**
 - ✓ 指数回帰線は平年値に基づいているため、短期の異常変動も踏まえて安定性・均質性が考慮されている。

蒸発散量の設定

- 年間浸透水量の設定に用いるため、蒸発散量を設定する。
- ソーンズウェイト法を用いて、廃棄物埋設地周辺と気候因子が類似した41地点の年平均気温と蒸発散量の関係式を得る(第8図)。
- この関係式にて、降水量の設定で用いた気温(17℃)を用いて、蒸発散量を設定する。



第8図 廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ地点の年平均気温と蒸発散量の関係

第18表 1,000年後の蒸発散量

温暖期継続ケース	
最も可能性が高い設定	最も厳しい設定
530(mm/y)	530(mm/y)

エラーバーの考え方

- 蒸発散量の設定に用いる「廃棄物埋設地周辺と類似する気候因子を持つ地点の年平均気温と蒸発散量(第8図)」は、**気象庁のホームページより収集した年平均気温の平年値と、年平均気温を用いてソーンズウェイト法に基づき算出した蒸発散量であり、利用可能なエラーバーはないため、以下のとおり不確定性を考慮して、蒸発散量を設定している。**
 - ✓ 年間浸透水量の設定には降水量と蒸発散量を用いるが、降水量が支配的となる。このため、**降水量の設定で用いた気温(17℃)を、蒸発散量の設定に用いており、気温の不確定性はない。**
 - ✓ 蒸発散量の設定は、ソーンズウェイト法で算出される**可能蒸発散量を文献※に基づき0.6倍することで年間浸透水量が多くなり、保守的な設定となっている。**

※ 地域分析のための熱・水収支水文学, 新井正, 古今書店

- 管理番号34の指摘を踏まえ、実施した分配係数取得試験の概要を示す。

分配係数取得試験の方法及び条件

- ✓ 分配係数取得試験は、固液混合試料による「本試験」と、液相のみの「ブランク試験」を並行して実施した(第9図参照)。
- ✓ 分配係数取得試験の試験条件は、廃棄物埋設地及びその周辺環境を想定した適切な試験条件で実施した(第19表参照)。

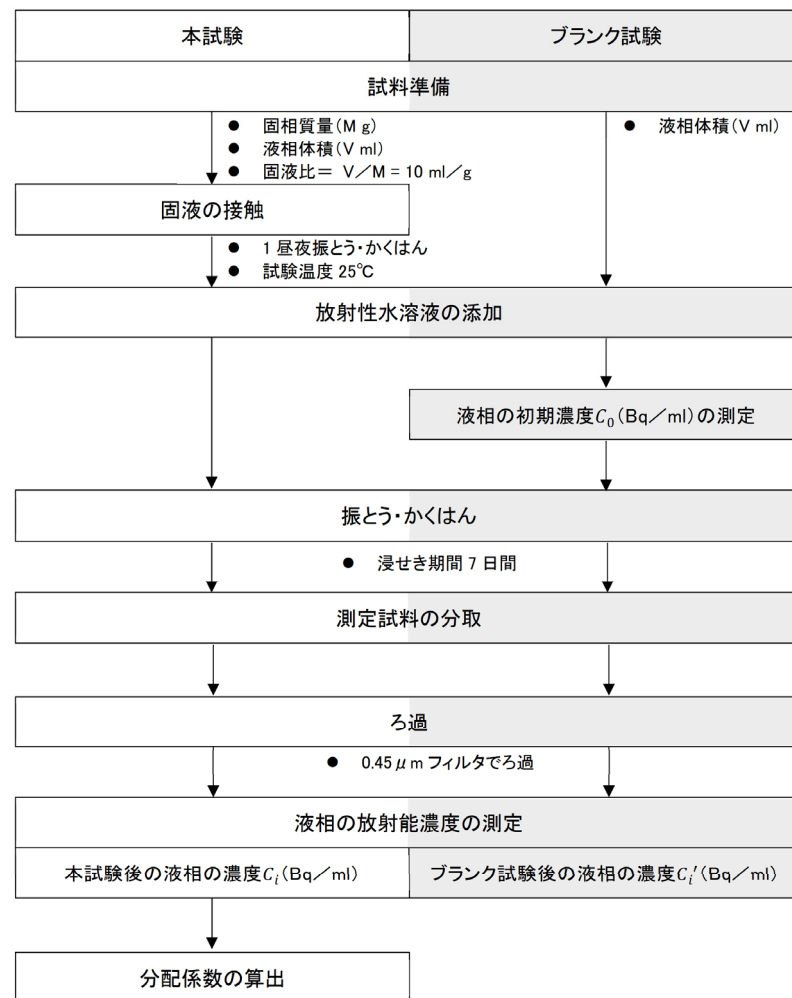
試料準備(固相及び液相)の詳細を以下に示す。

○ 固相

- ✓ 固相は、ボーリング調査において掘削されたボーリングコア試料から、土壌試料を採取した。採取した土壌試料は、風乾処理を施した後に粉碎し、2 mmのふるいでふるい分け、通過分を固相試料として用いた。

○ 液相

- ✓ 現地地下水：
採取した地下水を0.45 μ mフィルタを用いてろ過を行ったもの。
- ✓ 水酸化カルシウム水溶液：
現地地下水に水酸化カルシウムを加えて0.023 mol/lにしたもの。
- ✓ 人工海水：
潤滑油一さび止め性能試験方法(JIS K 2510)を参考に調製したもの。



第9図 分配係数取得試験のフロー

分配係数の算出

- ✓「ブランク試験」の液相の初期濃度 C_0 及び「本試験」後の液相の濃度 C_i を用いて以下の式を用いて分配係数を算出した。

$$K_d = \frac{V}{M} \cdot \frac{(C_0 - C_i)}{C_i} \times 10^{-3}$$

K_d : 分配係数(m^3/kg)

V : 液相の体積(ml)

M : 固相の質量(乾燥質量)(g)

C_0 : 反応開始時の液相中の放射性核種初期濃度(Bq/ml)

C_i : 反応終了時の液相中の放射性核種濃度(Bq/ml)

- ✓ 分配係数の算出に際して、「本試験」後の液相の濃度 C_i が検出限界値未満の場合は検出限界値を用いて分配係数を算出した。
- ✓「ブランク試験」後の液相の濃度 C_i' を測定し、液相濃度の低下が生じている場合は、フィルタ及び容器壁面への吸着の影響が「本試験」に生じていないかを確認している。

第19表 分配係数取得試験の試験条件

項目	条件
固相	廃棄物埋設地付近の帯水層土壌(du層)
液相	・現地地下水 ・人工海水 ・水酸化カルシウム水溶液
核種※1	Co-60, Sr-85, Cs-137, Eu-152, Am-241※2
試験雰囲気	・ 現地地下水, 人工海水: 大気雰囲気 ・ 水酸化カルシウム水溶液 : 脱炭酸雰囲気(調製, サンプルング時) : 大気雰囲気(振とう, かくはん時)
試験温度	25°C(振とう・かくはん時)
固液比	10 ml/g(固相5 g, 液相50 ml)
浸せき期間	7日間
振とう方法	機械振とう(円振とう)

※1: 廃止措置の開始後の評価の対象核種のうち、文献値から設定したH-3及びCl-36, 不確実な要素があることから保守的に設定したC-14, 化学的類似性から設定したCa-41については、測定は実施していない。

※2: 全 α については、核種選定において相対重要度が1%を超える核種はないため、最も相対重要度が大きく、測定が容易なAm-241の試験結果を用いた。

管理番号32 C2:廃棄物層の金属腐食(放射性廃棄物と浸透水の反応)(1/2)

- 管理番号32の指摘を踏まえ、本施設の対象核種の酸化還元反応に対する感度を確認して影響を整理する。

- ✓ 廃棄物層の金属腐食(放射性廃棄物と浸透水の反応)による影響評価を以下に示す。 注)指摘を踏まえて記載を変更した箇所は青字で示す。

第535回核燃料施設等の新規制基準適合性に係る審査会合 (審査日:2024/10/28)

再整理後の影響評価

埋設トレンチ内の酸化還元環境は、金属腐食によって還元的となることが想定されるが、還元雰囲気下の分配係数は、酸化雰囲気下と比較して大きな値となる傾向がある。被ばく線量の評価においては、収着分配係数は小さい値に設定したほうが保守的な設定となり、本影響は非保守的な設定への影響であることから、影響事象として考慮しない。

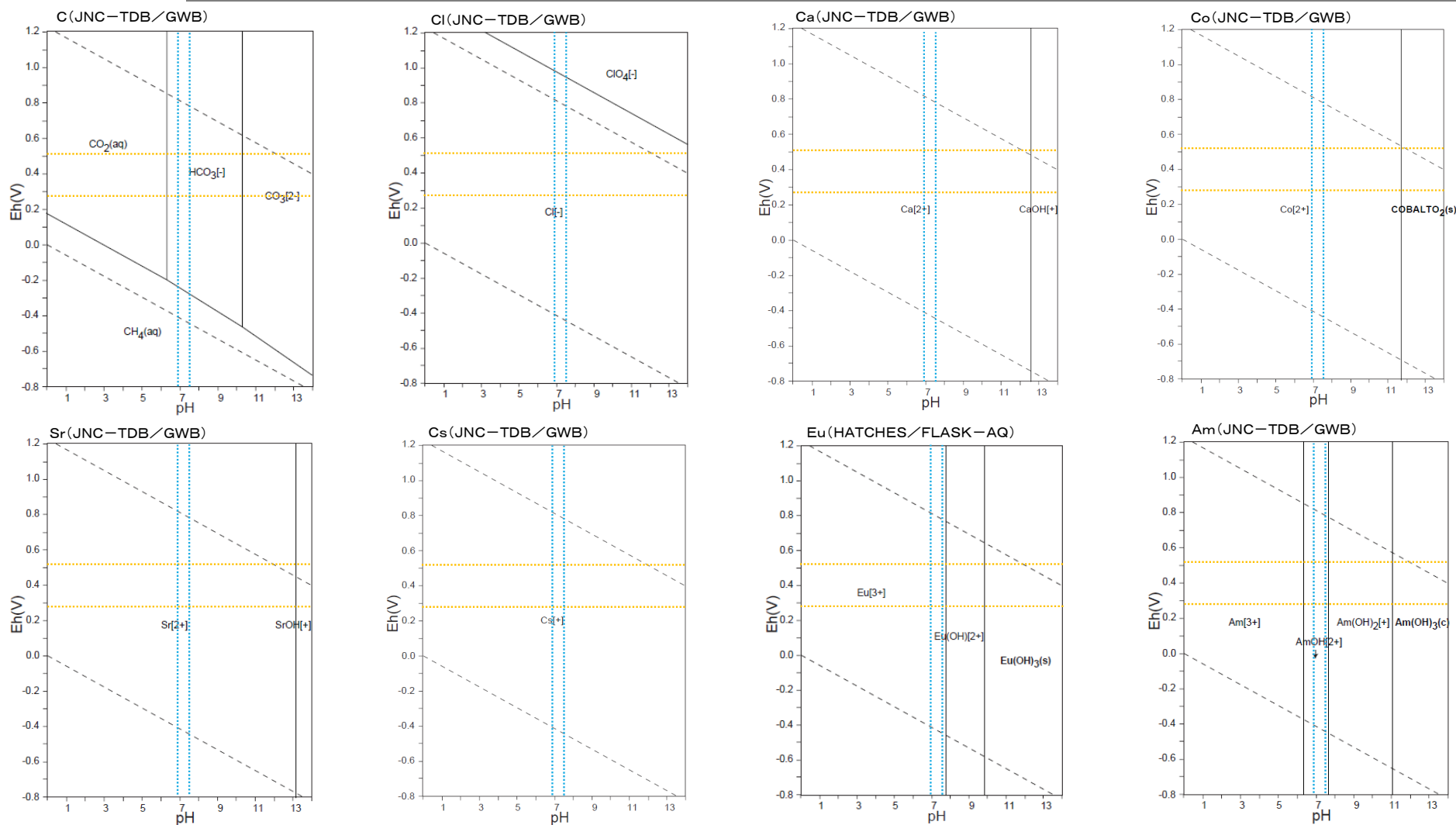
埋設トレンチ内の酸化還元環境は、金属腐食によって酸化還元電位(Eh)が変動し、収着性に影響を与える可能性があるが、本施設における廃止措置の開始後の評価の対象核種の元素については、Eh-pH図⁽¹⁾より、各元素の価数は酸化還元の影響を受けにくく、酸化還元に対する感度が小さいと考えられることから、影響事象として考慮しない。

- ✓ 本施設の対象核種の酸化還元反応に対する感度は、「Eh-pH図アトラス 熱力学データベースの相互比較」⁽¹⁾のEh-pH図により確認した(第10図参照)。
- ✓ Eh-pH図により酸化還元反応に対する感度を確認した元素は、C, Cl, Ca, Co, Sr, Cs, Eu, Amである。
- ✓ 図の縦軸が酸化還元電位(Eh)であるが、酸化還元反応により、酸化還元電位(Eh)に変動があったとしても、価数が変化する元素はほぼなく、酸化還元反応による感度が小さいと判断した(第10図参照)。なお、廃止措置の開始後の評価において、H-3、C-14及びCl-36は、分配係数を0に設定している。
- ✓ 文献⁽¹⁾に掲載されている7つのデータベースから作成された図のうち、第10図では基本的にJNC-TDB^{*1}/GWB^{*2}から作成された図を用いている(EuのみHATCHES^{*1}/FLASK-AQ^{*2})⁽¹⁾が、他のデータベースから作成された図においても、同様の整理となる。

※1:データベース名

※2:使用ソフトウェア名

(1)竹野直人(2005): Eh-pH図アトラス 熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集No.419



【補足1】
図を左上から右下に横切る2本の破線の間が298.15 K, 10^5 Paでの水の安定領域である。

【補足2】
廃棄物埋設地及びその周辺の地下水条件の範囲を各図に示す。
 : Ehの範囲 (0.287 V~0.515V)
 : pHの範囲 (6.9~7.5)

第10図 Eh-pH図の例(1)に一部加筆

(1) 竹野直人(2005): Eh-pH図アトラス 熱力学データベースの相互比較, 地質調査総合センター研究資料集No.419

- 管理番号26の指摘を踏まえ、帯水層に含まれる地下水コロイドを追加した。その上で、管理番号33の指摘を踏まえ、コロイド生成による収着性への影響は、比較的分配係数が高く、コロイド生成による分配係数の影響が顕著となるCs-137を対象に実施したコロイド確認試験の結果から判断することとした。
- ✓ 以下に影響評価を示し、コロイド確認試験の内容についてはP33からP35に示す。

注) 指摘を踏まえて記載を変更した箇所は青字で示す。

第535回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合
(審査日: 2024/10/28)

再整理後の影響評価

金属腐食に伴う鉄酸化物及び鉄水酸化コロイドの生成による放射性物質の移動挙動の変化やベントナイト混合土のモンモリロナイト成分等を起源とした浸透水との反応によるコロイド生成が収着性に影響を与える可能性がある。

地下水移行において被ばく線量寄与の大きい放射性物質のうち、H-3、Cl-36については収着性を期待せず、C-14についても保守的に収着性を期待していないことから、影響事象として考慮しない。

また、地下水中にベントナイトコロイドが分散するには、 $10^{-5} \text{ m/s} \sim 10^{-4} \text{ m/s}$ の地下水流速が必要とされているが、 10^{-5} m/s より低流速条件下においてもベントナイトコロイドの生成が確認されており、流速の低下にともなって、生成されるコロイド量も減少する傾向であるとされている。本施設では低透水性土層及び側部低透水性覆土の透水係数を $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ と設定しており、埋設トレンチ内を流下する浸透水の流れは極めて遅いことに加え、本施設のベントナイト混合土の内側は不飽和であり、ベントナイトコロイドは地下水中に分散し難いことから、影響事象として考慮しない。

金属腐食に伴う鉄酸化物及び鉄水酸化コロイドの生成による放射性物質の移動挙動の変化やベントナイト混合土のモンモリロナイト成分等を起源とした浸透水との反応によるコロイド生成^{※1}及び帯水層に含まれる地下水コロイド^{※2}が収着性に影響を与える可能性がある。

比較的分配係数が高く、コロイド生成による分配係数の影響が顕著となるCs-137を対象にコロイド確認試験を実施した結果から、コロイドの生成による核種移行への影響は小さいと考えられる。加えて、本施設は、地下水面より上に位置し、上部と側部はベントナイト混合土を設置することから内側には降雨等の浸入はわずかな不飽和土壌であるため、生成したコロイドは地下水中に分散し難いと考えられる。

また、一般的に海水では液相中でのコロイド濃度が低下する傾向である⁽¹⁾と考えられることから、海水を考慮しても影響は小さいと考えられる。

以上のことから、バリア材料中でのコロイド生成は影響事象として考慮しない。

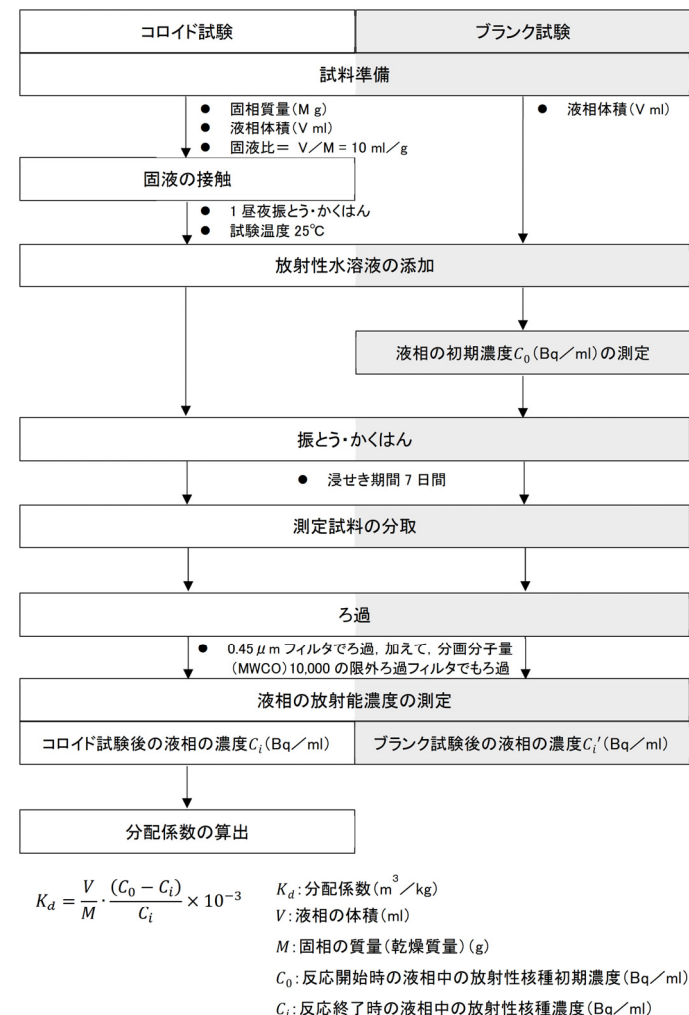
※1: 地下水中にベントナイトコロイドが分散するには、 $10^{-5} \text{ m/s} \sim 10^{-4} \text{ m/s}$ の地下水流速が必要とされている。ただし、 10^{-5} m/s より低流速条件下においてもベントナイトコロイドの生成が確認されているが、流速の低下にともなって、生成されるコロイド量も減少する傾向であるとされている。本施設では低透水性覆土及び側部低透水性覆土の透水係数を $1.0 \times 10^{-10} \text{ m/s}$ と設定しており、埋設トレンチ内を流下する浸透水の流れは極めて遅い。

※2: 天然の地下水中にもともと存在するコロイド粒子で、無機分子、有機分子及び微生物等から構成される。

(1) 岩田・喜田(1998): 土のコロイド現象の基礎と応用(その1)ー今、何故、コロイド科学なのかー, 農業土木学会誌 第66巻 第1号

コロイド確認試験の概要

- ✓ コロイド確認試験のフローを第11図, 試験条件を第20表に示す。
- ✓ 試料準備(固相及び液相)の詳細を以下に示す。
- ✓ 固相は, du層の土壌とした。ボーリング調査において掘削されたボーリングコア試料から, 土壌試料を採取した。採取した土壌試料は, 風乾処理を施した後に粉碎し, 2 mmのふるいでふるい分けを行い, 通過分を固相試料として用いた。
- ✓ 液相は現地土壌平衡水, 水酸化カルシウム水溶液, 現地地下水を用いた。
- ✓ 現地土壌平衡水は, 純水(JIS K 0557に規定されたA-3レベル以上の水)と対象固相を試験の固液比(10 ml/g)で混合し, 1昼夜振とう・かくはんした後に0.45 μ mフィルタでろ過したもの。
- ✓ 水酸化カルシウム水溶液は, 現地土壌平衡水に水酸化カルシウムを加えて0.023 mol/lとしたもの。
- ✓ 現地地下水は, 廃棄物埋設地内に設置している地下水採水ボーリング孔より採水した地下水を, 0.45 μ mフィルタでろ過したもの。
- ✓ 試験に用いる液相は, 注入前に成分分析を実施した(第21表参照)。



第11図 コロイド確認試験フロー

第20表 試験条件

項目	条件
試験方法	バッチ試験
固相	du層
液相※1	現地土壌平衡水, 水酸化カルシウム水溶液, 現地地下水
核種※2	Cs-137
試験雰囲気	大気雰囲気
試験温度	25℃
固液比	10 ml/g(固相5 g, 液相50 ml)
浸せき期間	7日間
振とう方法	機械振とう(円振とう)

※1: 現地土壌平衡水及び現地地下水を用いるのは, 両方の測定結果を比較し, 実験水の影響を確認することを目的としている。

※2: ホット試験で実施。

第21表 液相の成分分析結果

項目	現地土壌 平衡水	水酸化 カルシウム 水溶液	現地 地下水
pH(—)	6.55	12.56	8.01
酸化還元電位(V)※1	0.15	—0.12	0.15
電気伝導率(S/m)	0.00	0.70	0.04
水温(℃)	22.2	23.6	24.3

※1: 酸化還元電位は, 飽和カロメル電極を用いた測定値を示す。



第12図 ブランク試験結果

第22表 コロイド確認試験結果

液相※1	固相	分配係数 (m ³ ／kg)		a／b
		0.45 μ mろ過後 (a)	限外ろ過後 (b)	
現地土壌 平衡水	du層	0.298	0.303	0.98
		0.278	0.270	1.03
		0.340	0.340	1.00
0.161		0.166	0.97	
0.149		0.155	0.96	
0.142		0.149	0.95	
現地地下水		0.246	0.243	1.01
		0.232	0.238	0.97
		0.224	0.224	1.00

※1: 現地土壌平衡水及び現地地下水の測定結果は、最大でも約1.5倍の差であったことから、実験水の影響は小さいと考えられる。

- ✓ ブランク試験において放射性核種濃度の低下は確認されなかったこと(第12図参照)から、反応容器等への吸着及び沈殿は生じていないと判断した。
- ✓ コロイド確認試験における0.45 μ mフィルタろ過後のろ液の放射能濃度から算出した分配係数と限外ろ過後のろ液の放射能濃度から算出した分配係数を比較した(第22表参照)。いずれも両者は同等の分配係数となったことから、本施設付近の土壌においては、コロイドの生成による収着性への影響は小さいと考えられる。



管理番号38 「C5:バリア材料中の有機物」と「C6:バリア材料中の微生物」(1/2)

C5:バリア材料中の有機物

- 管理番号38の指摘を踏まえ、「C5:バリア材料中の有機物」の影響評価の記載を拡充した。
- ✓ 廃棄物起源の有機物は、埋設する放射性廃棄物が金属類及びコンクリート類であることから考慮不要であるが、コンクリートブロックをこん包するためのプラスチックシートに用いるポリエチレン等がある。
- ✓ 天然起源の有機物は、地下水中に有機物及びその分解生成物が存在する可能性がある。
- ✓ バリア材料中の有機物による影響評価を以下に示す。

注) 指摘を踏まえて記載を変更した箇所は青字で示す。

第535回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合 (審査日:2024/10/28)

再整理後の影響評価

埋設トレンチ内に含まれる有機物は、主にプラスチックシートに用いるポリエチレン等であり、固相として存在する有機物が放射性物質を収着する媒体として核種移行を遅延する可能性がある。一方で、有機物及びその分解生成物が浸透水中に存在する場合には、放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響する可能性がある。有機物の影響が大きいものとして挙げられるものは、主に遷移元素及び α 核種であるが、これらの放射性物質は被ばく線量寄与が小さいことから、影響事象として考慮しない。

埋設トレンチ内に含まれる有機物は、主にプラスチックシートに用いるポリエチレン等であり、固相として存在する有機物が放射性物質を収着する媒体として核種移行を遅延する可能性がある。また、有機物及びその分解生成物が地下水中に存在する場合には、放射性物質と錯体を形成し、収着性に影響する可能性があるが、現地土壌及び現地地下水を用いた分配係数取得試験を実施しているため影響は包含されることから、影響事象として考慮しない。なお、有機物の影響が大きいものとして挙げられるものは、主に遷移元素及び α 核種であるが、これらの放射性物質は被ばく線量寄与が小さい。

- ✓ 人工海水を液相とした場合、現地地下水を用いていないため、試験結果に有機物の影響が包含されていないと考えられる。
- ✓ しかしながら、まず、最も可能性が高い状態の分配係数の設定の妥当性を、国際的な文献の設定値と比較して、同等又は保守的になっていることを確認していること、最も厳しい状態の設定では、人工海水の影響を加えた上で、さらに1桁下げた設定にしていることから、線量評価に用いる設定値としては保守的な設定であると考えている。

C6:バリア材料中の微生物

- 管理番号38の指摘を踏まえ、「C6:バリア材料中の微生物」の影響評価の記載を拡充した。
 - ✓ 微生物影響については、微生物の活動によって、有機物が無機化することで収着性が低下することが考えられる。
 - ✓ 管理番号38の指摘のうち、微生物がAmの分配係数に与える影響に関しては、研究が実施されてきた地層処分における微生物の影響を調査することで有益な情報の有無を確認できると考え、過去の研究成果が取りまとめられているウェブサイト※1、※2を調査範囲として文献調査を実施した。その結果、調査範囲においては微生物がAmの収着性に与える影響を明確に示すものはなかった。なお、Amを含む試験結果から分配係数を設定した核種については、廃棄物埋設地及びその周辺環境を想定した適切な試験条件で取得した試験結果を用いていることから、微生物の影響は試験結果に含まれていると考えている。
 - ✓ バリア材料中の微生物による影響評価を以下に示す。
- ※1: CoolRep (JAEAが開発した知識マネジメントシステム)のうち、「CoolRepR4カーネル」の「2.2.6 微生物の影響」
※2: 資源エネルギー庁が取りまとめている高レベル放射性廃棄物・TRU廃棄物地層処分関係の報告書
- 注) 指摘を踏まえて記載を変更した箇所は青字で示す。

第535回核燃料施設等の新規規制基準適合性に係る審査会合
(審査日: 2024/10/28)

再整理後の影響評価

廃棄物埋設地近傍に存在する微生物の活動によって、有機物が無機化し、収着性が低下することが考えられる。
無機化によって影響を受けるC-14の収着性については、保守的に収着分配係数を0と設定しており、微生物の影響を考慮しても収着性は変わらないことから、影響事象として考慮しない。

廃棄物埋設地近傍に存在する微生物の活動によって、有機物が無機化し、収着性が低下することが考えられる。
無機化によって影響を受けるC-14の収着性については、保守的に収着分配係数を0と設定しており、微生物の影響を考慮しても収着性は変わらない。**また、現地土壌及び現地地下水を用いた分配係数取得試験を実施しているため影響は包含されることから、影響事象として考慮しない。**

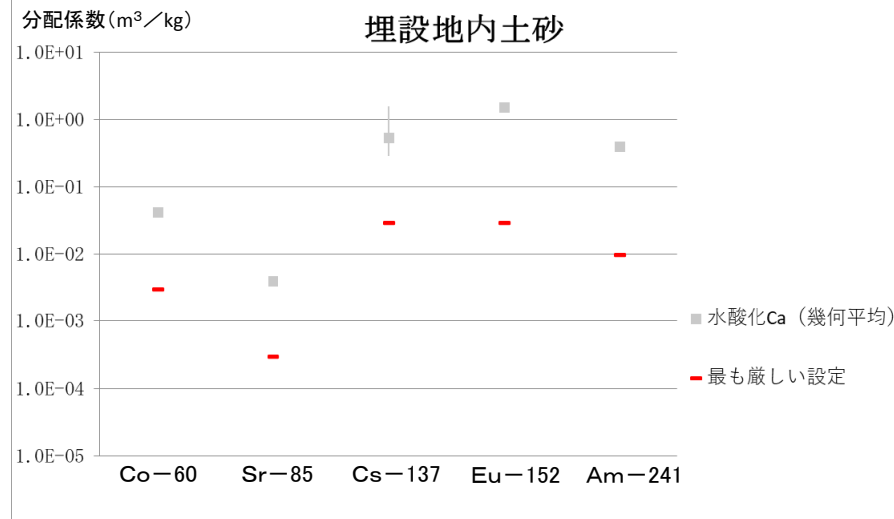
- ✓ 人工海水を液相とした場合、現地地下水を用いていないため、試験結果に微生物の影響が包含されていないと考えられる。
- ✓ しかしながら、まず、最も可能性が高い状態の分配係数の設定の妥当性を、国際的な文献の設定値と比較して、同等又は保守的になっていることを確認していること、最も厳しい状態の設定では、人工海水の影響を加えた上で、さらに1桁下げた設定にしていることから、線量評価に用いる設定値としては保守的な設定であると考えている。

- 管理番号37の指摘を踏まえ、収着分配係数設定値の合理性について説明を追記する。
- ✓ 第二種埋設許可基準規則の解釈では、最も可能性が高いシナリオにおいては、「人工バリア及び天然バリアの状態に係るパラメータは、最も可能性が高い設定とする。」ことが要求されている。また、最も厳しいシナリオにおいては、「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。」ことが要求されている。
- ✓ 一般的に収着性がある核種については、廃棄物埋設地及びその周辺環境を想定した適切な試験条件で実施した試験で取得した試験データを用いて、線量評価パラメータとしての収着分配係数を設定することが合理的と考えている。なお、一般的に非収着性とされているH-3及びCl-36並びに不確実な要素があるC-14については、0で設定することが合理的であると考えている。
- ✓ 最も可能性が高い設定の収着分配係数については、IAEA TRS No. 364⁽¹⁾等の海外文献で示されている値と比較すると、同等又は保守的に設定されていることから、線量評価パラメータの設定として妥当なものであると判断した。
- ✓ 最も厳しい設定の収着分配係数については、設定に用いている試験データに現地起源の影響は含まれていると考えられるものの、明確に把握できていない影響要因があることも想定して、影響事象を考慮した試験結果を含めた上での最も小さい値から、さらに1桁小さくした設定することで妥当であると考えている。さらに、統計的なばらつきについて、分配係数取得試験の結果から95%信頼区間の下限値を有効数字2桁で四捨五入して求め、最も可能性が高い自然事象シナリオにおける設定値の10分の1倍と比較することで、1桁小さくする設定の妥当性を確認した。その結果、いずれの最も厳しい自然事象シナリオの設定値も95%信頼区間の下限値及び試験結果を下回る設定値であり、統計的なばらつきを考慮しても、保守的な設定である(第13図参照)。

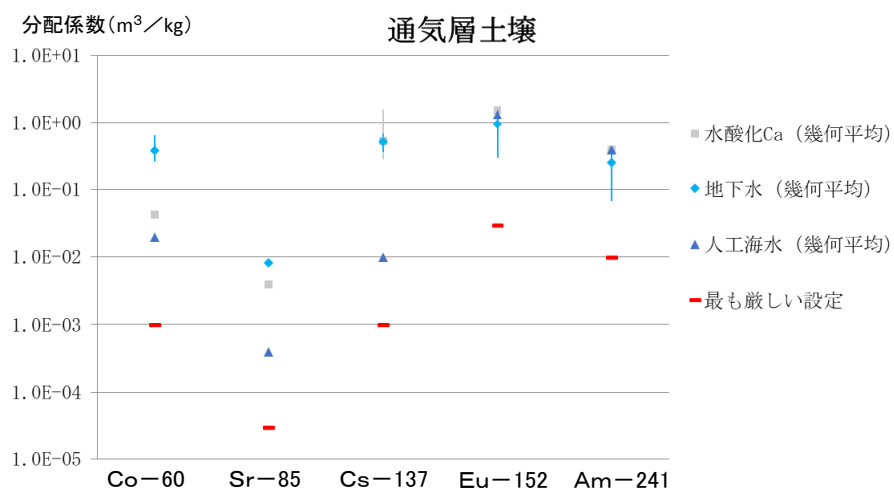
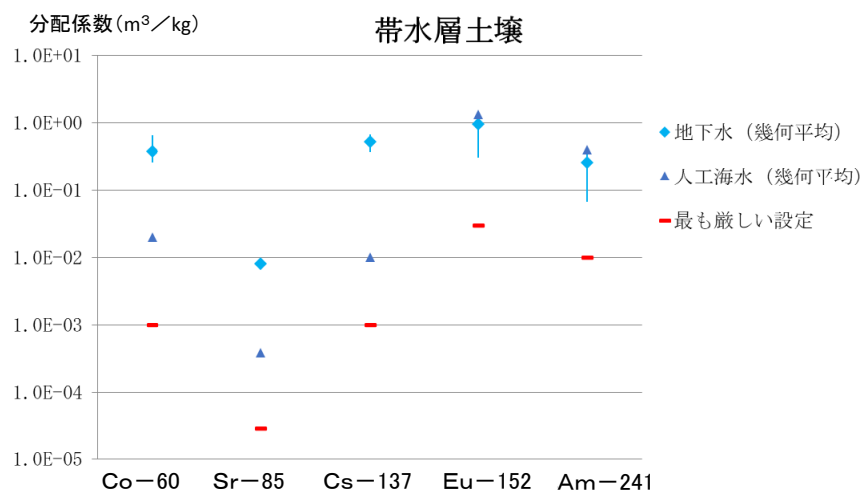
(1)International Atomic Energy Agency(1994): Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, IAEA TECHNICAL REPORTS SERIES No.364

管理番号37 線量評価パラメータ設定としての合理性(2/2)

項目		分配係数 (m ³ /kg)				
		Co-60	Sr-85	Cs-137	Eu-152	Eu-154
埋設地内土砂	最も厳しい自然事象の設定値	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-4}	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}
	95%信頼区間の下限値	3.85×10^{-2}	3.75×10^{-3}	1.19×10^{-1}	1.51×10^0	4.00×10^{-1}
帯水層土壌	最も厳しい自然事象の設定値	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}
	95%信頼区間の下限値	1.83×10^{-2}	3.70×10^{-4}	9.26×10^{-3}	2.66×10^{-2}	5.77×10^{-2}
通気層土壌	最も厳しい自然事象の設定値	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-3}	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}
	95%信頼区間の下限値	1.83×10^{-2}	3.70×10^{-4}	9.26×10^{-3}	2.66×10^{-2}	5.77×10^{-2}



※1: 95%信頼区間の下限値を求める際の平均及び標準偏差は、幾何平均を四捨五入した値及び幾何標準偏差を用いた。



第13図 95%信頼区間の下限値※1及び試験結果との比較

- 管理番号35の指摘を踏まえ、設定値の1桁目が1又は3で設定している処理の説明を追記した。

- ✓ 第23表及び第24表に各媒体における分配係数の試験結果の採用値を示す。
- ✓ 最も可能性が高い自然事象シナリオの評価に用いる収着分配係数は、第23表の採用値を1桁目が1又は3になるように小さい方に丸めた値を設定した。
- ✓ 最も厳しい自然事象シナリオの評価に用いる収着分配係数は、第24表の採用値を10分の1倍し、1桁目が1又は3になるように小さい方に丸めた値を設定した。
- ✓ 設定値の設定の際の丸め方については、現在の方法の他には、例えば、試験結果の採用値を有効数字2桁となるように切り下げて設定する方法が考えられる。しかし、最も可能性が高い自然事象シナリオの設定値として、より保守的な設定となるように考え、有効数字1桁となるように切り下げて設定を行うことを考えた。また、収着分配係数は、試験条件が変われば桁で変わる可能性がある設定値であることから、対数軸で示すことを考えた場合、二捨三入の対数丸めを行うこともできると考えた。保守的な設定の場合、二捨三入では保守的な設定にならない部分があるため、 3×10^x 未満を1に切り下げ、 $1 \times 10^{x+1} \sim 3 \times 10^x$ を 3×10^x に切り下げるという丸め方を採用した。なお、クリアランスレベルの設定の中では(IAEA (2005)⁽¹⁾)では、対数丸めとして二捨三入が使われている例もある。今回の設定については、丸め方に一般性はないものの、保守的な設定となっていることから設定自体は問題ないものと考えている。

第23表 各媒体における分配係数の試験結果の採用値
(最も可能性が高い自然事象)

媒体	Co-60	Sr-85	Cs-137	Eu-152	Am-241
	m^3/kg				
埋設地内土砂	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
帯水層土壌	3.9×10^{-1}	8.1×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
通気層土壌	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}

第24表 各媒体における分配係数の試験結果の採用値
(最も厳しい自然事象)

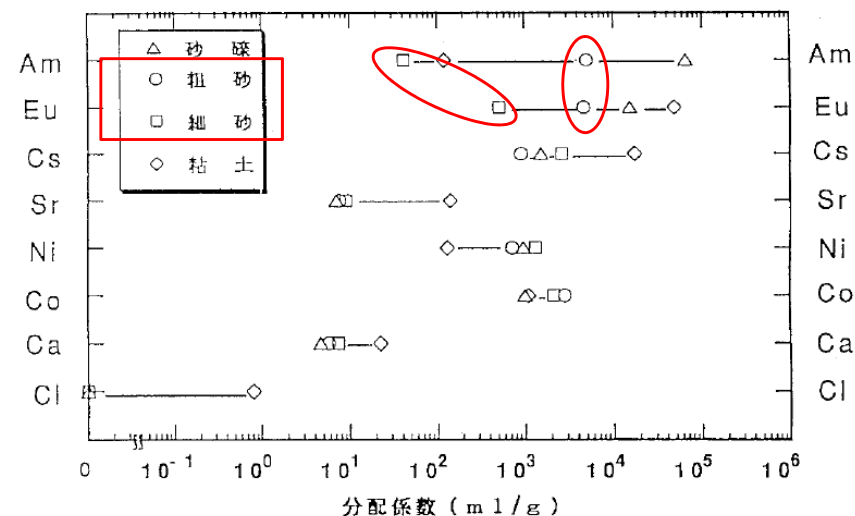
媒体	Co-60	Sr-85	Cs-137	Eu-152	Am-241
	m^3/kg				
埋設地内土砂	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
帯水層土壌	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-4}	1.0×10^{-2}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
通気層土壌	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-4}	1.0×10^{-2}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}

(1) International Atomic Energy Agency (2005): Derivation of Activity Concentration Values for Exclusion, Exemption and Clearance, Safety Reports Series No.44

- ✓ EuとAmの分配係数は線量評価パラメータとしては、Eu: $0.3 \text{ m}^3/\text{kg}$ 、Am: $0.1 \text{ m}^3/\text{kg}$ と設定している。また、分配係数取得試験は第25表で示す結果(平均値)となっており、EuとAmの分配係数は3倍～4倍異なっている。なお、EuとAmの分配係数は、試験結果における反応後の放射能濃度が、検出限界以下となっていることから、分配係数を検出限界値から算出した値が含まれる。
- ✓ まず、JAEA-SDBからEuとAmの分配係数データを調査した。次に調査したデータのうち、加藤・梁瀬(1993)⁽¹⁾で示される同一固相及び同一液相を対象とした試験結果を確認すると、分配係数は粗砂では同程度、細砂では1桁程度異なる結果となっていた(第14図参照)。
- ✓ なお、本文献で用いられた土壌は本施設近傍で採取された土壌を用いている。また、本文献で用いられた地下水は本施設周辺のEh及びpHの範囲内で、かつ、本施設周辺の地下水と同じ重炭酸カルシウム型である。
- ✓ EuとAmの分配係数が近い値になるものから1桁程度異なるものもあり、条件の変動によって容易に変化するものと推測される。したがって、本施設のEu及びAmの分配係数は、一般的な両者の相違と著しく異なるものではないと考えられる。

第25表 液相ごとの試験結果(平均値)

液相条件		Eu	Am	Eu／Am
		m ³ ／kg		
水酸化カルシウム 水溶液	幾何平均	1.5 × 10 ⁰	4.0 × 10 ⁻¹	3.75
	算術平均	1.5 × 10 ⁰	4.0 × 10 ⁻¹	3.75
現地地下水	幾何平均	9.7 × 10 ⁻¹	2.6 × 10 ⁻¹	3.73
	算術平均	1.1 × 10 ⁰	3.2 × 10 ⁻¹	3.43
人工海水	幾何平均	1.3 × 10 ⁰	4.0 × 10 ⁻¹	3.25
	算術平均	1.4 × 10 ⁰	4.0 × 10 ⁻¹	3.50



第14図 土壌に対する分配係数(1週間反応)⁽¹⁾に一部加筆

(1)加藤・梁瀬(1993):海岸土壌及びコンクリート粉に対するコンクリート廃棄物中放射性核種の分配係数, JAERI-M 93-113

技術的能力審査指針の項目	許可段階での確認事項	保安規定段階での確認事項
1. 組織	設計及び工事並びに運転及び保守を適確に遂行するに足りる、役割分担が明確化された組織を適切に構築する方針が示されていること。	本施設の保安規定において、以下の事項が規定されていること。 ➤ 保安に関する組織及び職務に関する事項が規定されていること。 ➤ 委員会の設置及び組織並びに審議事項に関する事項が規定されていること。 ➤ 廃棄物取扱主任者の選任及び職務等に関する事項が規定されていること。 ➤ 異常時等の体制の整備に関する事項が規定されていること。
2. 技術者の確保	設計及び工事並びに運転及び保守を行うために必要となる専門知識及び技術・技能を有する技術者を適切に確保する方針が示されていること。	本施設の保安規定において、品質マネジメント文書として、力量確保に関する規程が整備されていること。
3. 経験	第二種廃棄物埋設事業に係る同等又は類似の施設の設計及び工事並びに運転及び保守の経験が十分に具備されているか、又は経験を獲得する方針が適切に示されていること。	本施設の保安規定において、品質マネジメント文書として、力量確保に関する規程が整備されていること。

技術的能力審査指針の項目	許可段階での確認事項	保安規定段階での確認事項
4. 品質保証	設計及び工事並びに運転及び保守を適確に遂行するために必要な品質保証活動を行う体制が適切に構築される方針が示されていること。	本施設の保安規定において、品質保証に関する事項が規定されていること。
5. 教育・訓練	確保した技術者に対し、その専門知識及び技術・技能を維持・向上させるための教育・訓練を行う方針であることが示されていること。	本施設の保安規定において、保安教育に関する事項が規定されていること。
6. 有資格者等の選任・配置	第二種廃棄物埋設事業の遂行に際し法又は法に基づく規則により有資格者等の選任が必要となる場合、その職務が適切に遂行できるよう配置する方針が示されていること。	本施設の保安規定において、廃棄物取扱主任者の選任及び職務等に関する事項が規定されていること。

- 管理番号34の指摘を踏まえ、実施した分配係数取得試験の概要を示す。

分配係数取得試験の方法及び条件

- ✓ 分配係数取得試験は、固液混合試料による「本試験」及び液相のみの「ブランク試験」を並行して実施した。
- ✓ 「本試験」及び「ブランク試験」の試験フローを補一第1図に示す。
- ✓ 後述するように、液相に水酸化カルシウム水溶液を用いたCo-60の「ブランク試験」及び「本試験」では、反応容器壁面への吸着の影響確認を目的に、容器の酸洗浄を実施した。また、沈殿の影響を確認するために、7日間の浸漬期間の後に試料を分取する際に、ろ過する試料及びろ過しない試料を分取し、ろ過前後での液相の放射性核種濃度を測定した。
- ✓ また、Eu-152及びAm-241の「本試験」では、7日間の浸漬期間の後にろ過により固相を分取し、固相を直接測定することで固相に収着している放射性核種量を把握した。
- ✓ 分配係数取得試験の試験条件は、廃棄物埋設地及びその周辺環境を想定した適切な試験条件で実施した(補一第1表参照)。

試料準備(固相及び液相)の詳細を以下に示す。

○ 固相

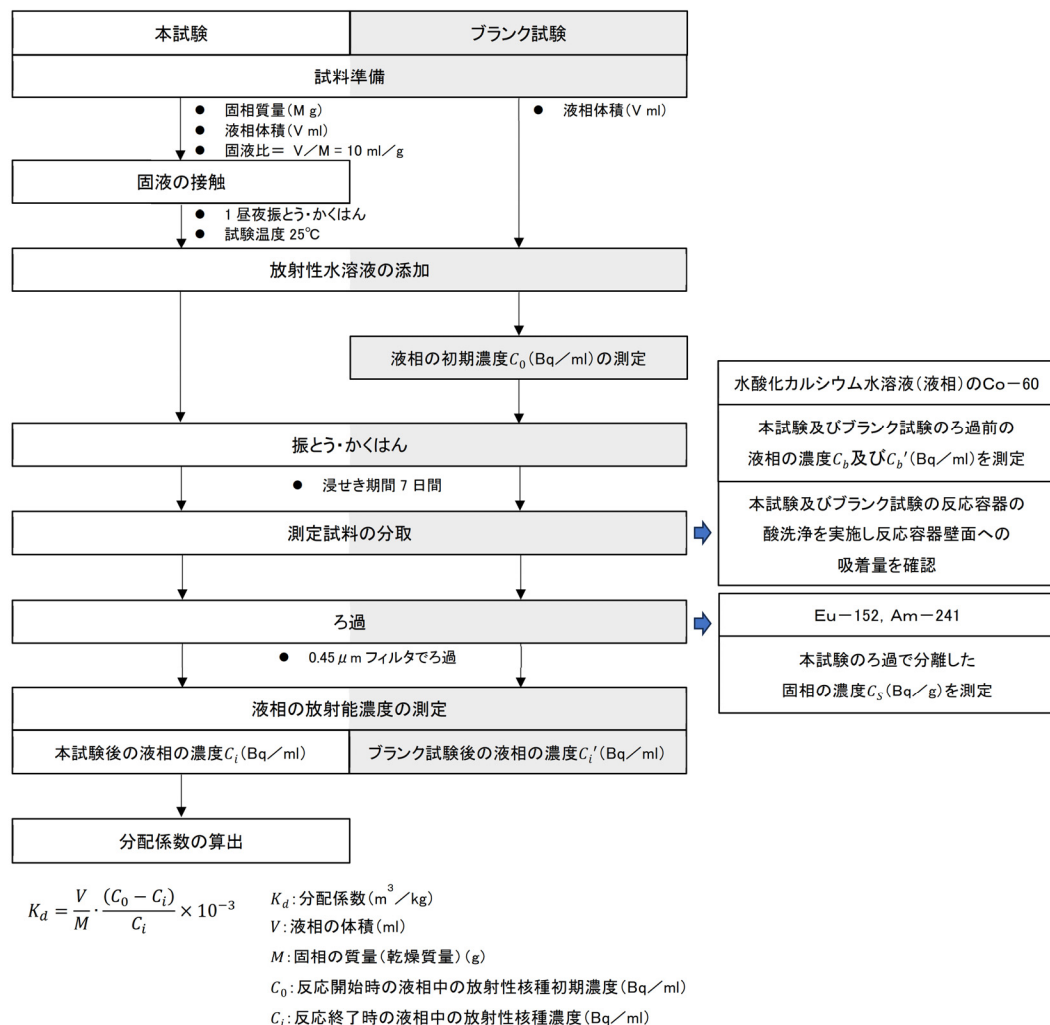
- ✓ ボーリング調査において掘削されたボーリングコア試料から、土壌試料を採取した。採取した土壌試料は、風乾処理を施した後に粉碎し、2 mmのふるいでふるい分け、通過分を固相試料として用いた。

○ 液相

- ✓ 現地地下水：
採取した地下水を0.45 μ mフィルタを用いてろ過を行ったもの。
- ✓ 水酸化カルシウム水溶液：
現地地下水に水酸化カルシウムを加えて0.023 mol/lにしたもの。
- ✓ 人工海水：
潤滑油ーさび止め性能試験方法(JIS K 2510)を参考に調製したもの。



参考資料 分配係数取得試験の補足(2／6)



補一第1図 分配係数取得試験のフロー

補一第1表 分配係数取得試験の試験条件

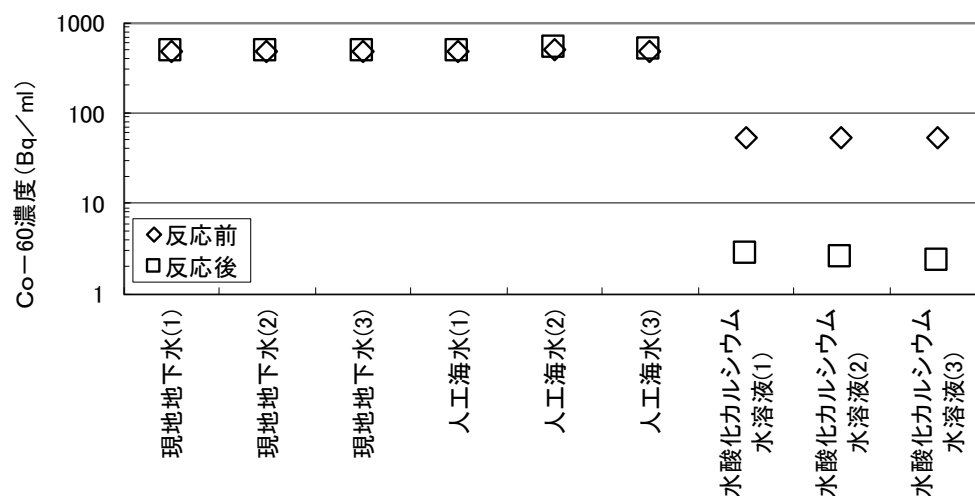
項目	条件
固相	廃棄物埋設地付近の帯水層土壌 (du層)
液相	・現地地下水 ・人工海水 ・水酸化カルシウム水溶液
核種※1	Co-60, Sr-85, Cs-137, Eu-152, Am-241※2
試験雰囲気	・ 現地地下水, 人工海水: 大気雰囲気 ・ 水酸化カルシウム水溶液 : 脱炭酸雰囲気 (調製, サンプルング時) : 大気雰囲気 (振とう, かくはん時)
試験温度	25℃ (振とう・かくはん時)
固液比	10 ml/g (固相 5 g, 液相 50 ml)
浸せき期間	7日間
振とう方法	機械振とう (円振とう)

※1: 廃止措置の開始後の評価の対象核種のうち、文献値から設定した H-3 及び Cl-36、不確実な要素があることから保守的に設定した C-14、化学的類似性から設定した Ca-41 については、測定は実施していない。

※2: 全 α については、核種選定において相対重要度が 1% を超える核種はないため、最も相対重要度が大きく、測定が容易な Am-241 の試験結果を用いた。

ブランク試験結果

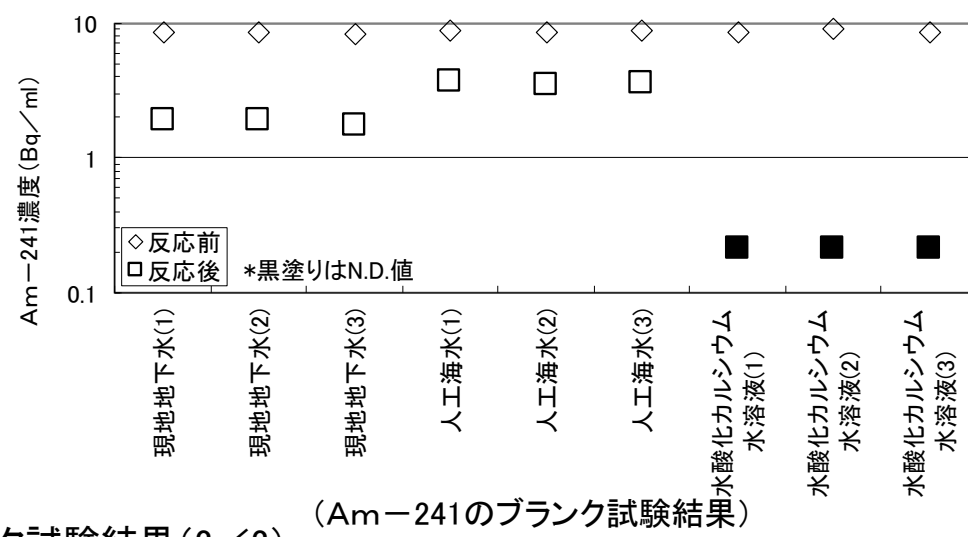
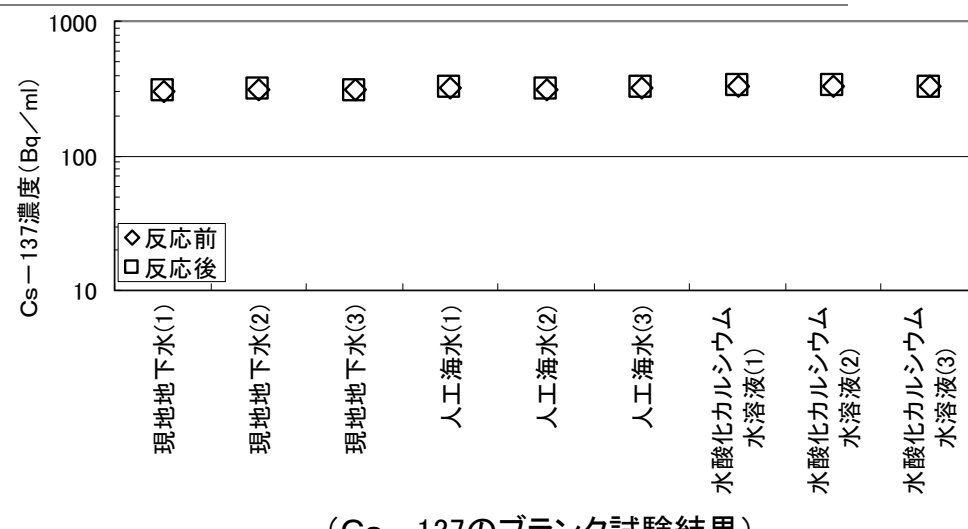
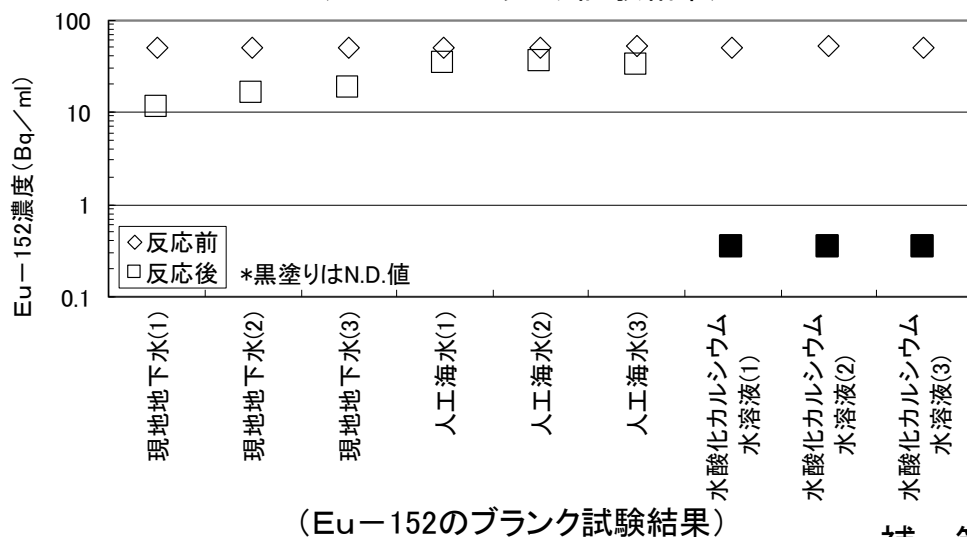
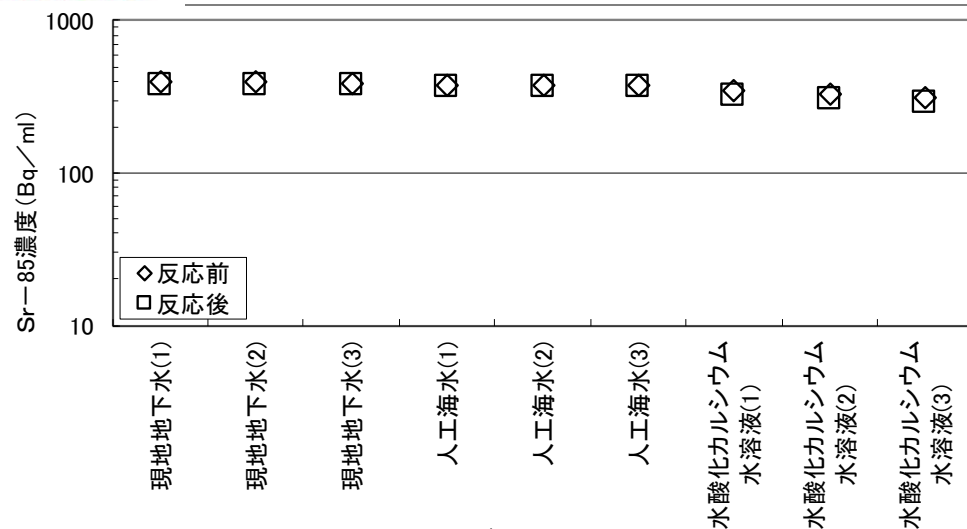
- ✓ 本試験及びブランク試験の実施に際し、予察試験を行い、濃度低下が生じる場合は、添加する放射性水溶液の濃度を調整した。
- ✓ ブランク試験の結果を補一第2図に示す。
- ✓ Co-60については現地地下水及び人工海水で、Sr-85及びCs-137については全ての水溶液で液相中の放射能濃度の低下が確認されなかったことから、反応容器等への吸着及び沈殿はなかったと判断した。なお、Co-60については水酸化カルシウム水溶液で、Eu-152及びAm-241についてはほぼ全ての水溶液で、液相中の放射能濃度の低下が確認され、反応容器等への吸着及び沈殿の可能性があった。
- ✓ Co-60の水酸化カルシウム水溶液について、反応容器等への吸着及び沈殿の影響を確認するため、反応容器の酸洗浄及びろ過前の放射性核種濃度を測定した。測定結果は本試験の結果に合わせて示す。



(Co-60のブランク試験結果)

補一第2図 ブランク試験結果(1／2)

参考資料 分配係数取得試験の補足(4/6)



補一第2図 blank試験結果(2/2)

本試験結果

- 「blank試験」において液相中の放射性核種濃度の低下が確認されなかった核種
 - ✓「blank試験」の結果, 反応後の液相中の放射性核種濃度の低下が確認されなかった核種(^{60}Co のうち現地地下水及び人工海水, ^{90}Sr , ^{137}Cs)については, 「blank試験」の液相の初期濃度 C_0 及び「本試験」後の液相の濃度 C_i を用いて分配係数を算出した。
- 「blank試験」において液相中の放射性核種濃度の低下が確認された核種
 - ✓ ^{60}Co (水酸化カルシウム水溶液)については, 反応容器への核種の吸着を確認するため, 「blank試験」及び「本試験」の反応容器の酸洗浄を実施した。その結果, 「blank試験」では核種が回収されたが「本試験」では核種の回収がなかったことから, 「本試験」では反応容器への核種の吸着は生じていないと判断した。
 - ✓ また, 沈殿を確認するため, 「本試験」及び「blank試験」のろ過前後の液相濃度を比較した。その結果, 「blank試験」ではろ過の前後で液相濃度に差が生じているのに対して, 「本試験」ではろ過前後で液相濃度に差が生じていないことから, 「本試験」では沈殿は生じていないと判断した。
 - ✓ したがって, ^{60}Co (水酸化カルシウム水溶液)については, 「blank試験」の液相の初期濃度 C_0 及び「本試験」後の液相の濃度 C_i を用いて分配係数を算出した。
 - ✓ ^{152}Eu 及び ^{241}Am については, 「本試験」における大部分の反応後濃度が検出限界以下であり, 沈殿及び容器吸着の確認が困難なため, 固液を分離し, 固相への収着放射エネルギーの直接測定を行った。その結果, 添加した ^{152}Eu 又は ^{241}Am のほとんどが固相に収着していることを確認したため, 沈殿及び容器への吸着の影響は小さいと判断し, 「blank試験」の液相の初期濃度 C_0 及び「本試験」後の液相の濃度 C_i として検出限界値を用いて分配係数を算出した。
 - ✓ なお, JAEA収着データベースにおいて, 固相条件がSandstoneで検索を行い, 高pHの液相条件の ^{60}Co 及び ^{241}Am のデータを確認した結果, $^{60}\text{Co}^{(1)}$ は本試験の結果と比較して同等, $^{241}\text{Am}^{(2)}$ は本試験の結果と比較して大きな値となっていることを確認した。

(1) 武部慎一, 山本忠利(1988): ^{60}Co の砂質土壌への吸着に関する研究

(2) G M N BASTON, et al.(1995): SORPTION OF PLUTONIUM AND AMERICIUM ON REPOSITORY, BACKFILL AND GEOLOGICAL MATERIALS RELEVANT TO THE JNFL LOW-LEVEL RADIOACTIVE WASTE REPOSITORY AT ROKKASHO=MURA

参考資料 分配係数取得試験の補足(6／6)

- 「本試験」ではろ過前後での放射性核種濃度の差が生じなかったが、「blank試験」では生じていたため、「blank試験」での濃度差が「本試験」でも生じたと仮定した場合の影響を確認した。
- ✓ Co-60は、blank試験のろ過前後における放射性核種濃度の差が沈殿により生じていると仮定し、本試験の反応後の放射性核種濃度に加えた場合の収着分配係数を算出すると補-第2表のとおりとなる。
- ✓ 廃止措置の開始後の評価に用いる設定値と沈殿を仮定した幾何平均値を比較すると、桁は同じである。
- ✓ 幾何平均値の方が値は小さくなるものの、Co-60は廃止措置の開始後の評価における核種移行評価の最大被ばく線量に寄与する核種ではないことから被ばく線量への影響は小さい。

補-第2表 Coにおける沈殿を過程した分配係数の算出結果

固相 地層	液相	分配係数 (m ³ /kg)		
		Co-60	Co-60沈殿考慮	設定値
du	水酸化Ca水溶液	4.0×10^{-2}	2.4×10^{-2}	3.0×10^{-2}
		4.5×10^{-2}	2.7×10^{-2}	
		4.2×10^{-2}	2.5×10^{-2}	
		試験結果の幾何平均	2.5×10^{-2}	
	試験結果の算術平均	4.2×10^{-2}	2.5×10^{-2}	

- ✓ Eu-152及びAm-241は、反応後の放射性核種濃度が検出限界未満であることから、Co-60と同様な仮定を置いた評価は実施できない。ただし、現地地下水の結果では、反応後の放射性核種濃度が測定できているデータがあり、収着していることは確認できている。高pH条件では、沈殿が生じる可能性はあるが、沈殿が生じた場合は、埋設環境下においては、放射性核種の移動しにくい状態になると考えられる。
- ✓ また、Eu-152及びAm-241は廃止措置の開始後の評価における核種移行評価の最大被ばく線量に寄与する核種ではないことから被ばく線量への影響は小さい。