

廃棄物埋設施設における
許可基準規則への適合性について

第十条 廃棄物埋設地のうち第四号

(廃止措置の開始後の評価)

線量評価パラメータ

-分配係数-

2020年4月

日本原燃株式会社

目 次

1. はじめに.....	1
2. 前提条件.....	2
(1) 廃棄体の仕様について.....	2
(2) 1号及び2号埋設設備のセメント系材料の仕様の実績.....	4
(3) JIS規格について.....	5
(4) 分配係数設定において対象とするバリア材料のデータ.....	6
(5) 分配係数設定において対象とする影響事象.....	10
(6) 対象とした放射性物質及び化学的類似性による元素のグループ分け.....	12
(7) 分配係数試験条件及び試験方法.....	13
3. 分配係数設定の考え方.....	20
(1) 初期状態の分配係数.....	20
(2) 分配係数低下係数.....	20
(3) 分配係数設定値.....	20
4. 初期状態の分配係数.....	21
(1) セメント系材料の初期状態の分配係数.....	21
(2) 難透水性覆土初期状態の分配係数.....	29
(3) 岩盤(鷹架層)初期状態の分配係数.....	30
5. 影響事象による各バリア材料への放射性物質の収着影響.....	32
(1) 放射性物質の収着性に影響すると考えられる事象.....	32
(2) 考慮する影響事象.....	33
(3) 確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方.....	34
(4) 収着影響の重量.....	34
(5) 炭酸の影響について.....	35
(6) 地下水との反応(塩)による収着影響.....	38
(7) 有機物による収着影響.....	42
(8) 微生物による収着影響.....	58
6. 分配係数低下係数の算出.....	59
(1) セメント系材料の分配係数低下係数.....	59
(2) 難透水性覆土の分配係数低下係数.....	63
7. 分配係数設定値.....	65
(1) 各廃棄物埋設施設における分配係数設定値.....	65
(2) 分配係数設定値の妥当性について.....	68
8. 分配係数の管理の考え方について.....	69
(1) 埋設設備(外周仕切設備、内部仕切設備、覆い及び充填材).....	69
(2) 廃棄体の固型化材.....	70
(3) 覆土(難透水性覆土、上部覆土).....	70
(4) 分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れについて.....	71

9. 参考文献..... 73

参考資料 1 分配係数試験に用いたセメント系材料の配合表

参考資料 2 化学混和剤の分配係数への影響について

1. はじめに

本資料は「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価)」のうち線量評価パラメータ(分配係数)を補足説明するものである。

各シナリオで用いる線量評価パラメータのうち、移行抑制機能である収着性に関するパラメータの分配係数は、影響事象の状態変化の評価及び状態設定を踏まえ、想定される廃棄物埋設施設の環境条件で取得した試験データ又は文献値により設定する。

設定した分配係数は、許可基準規則第十条第四号に求められる線量基準の要求事項に適合していることを確認するために行う線量評価に用いる線量評価パラメータである。

2. 前提条件

(1) 廃棄体の仕様について

1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設に埋設する充填固化体は、固体状の放射性廃棄物をセメント系充填材で一体に固型化したものである。分配係数の設定において、放射性廃棄物に含まれる有機物については、適切に分別除去されるが、僅かに残留する可能性を考慮し、その影響を考慮する。

1号廃棄物埋施設に埋設する均質・均一固化体は、廃液、使用済樹脂、スラッジ、焼却灰又はこれらをペレット化したものを、セメント、アスファルト又はプラスチックを用いて固型化したものである。分配係数の設定において、廃液については可溶性塩が含まれることから、その影響を考慮する。

廃棄体のセメント系材料を用いた固型化材料については、JIS R 5210(1992)又は JIS R 5211(1992)と同等以上の品質を有するセメントを使用しており、適切に品質管理がなされたものである。廃棄体の仕様を第1表に示す。

第1表 廃棄体の仕様

	3号廃棄物埋設施設	1号廃棄物埋設施設		2号廃棄物埋設施設
種類	充填固化体*1	均質・均一固化体	充填固化体*1	充填固化体*1
重量	1本あたり1,000kgを超えないもの	1本あたり500kgを超えないもの		1本あたり1,000kgを超えないもの
内容物	金属類、プラスチック類、保温材・フィルタ類	廃液、使用済樹脂、スラッジ、焼却灰	金属類、プラスチック類、保温材・フィルタ類、均質・均一固化体として製作されたセメント固化体を破砕したもの	金属類、プラスチック類、保温材・フィルタ類
固型化材料	セメント*2	セメント*2、アスファルト*3、プラスチック*4	セメント*2	セメント*2
搬出元	BWR*5、PWR*6	BWR*5、PWR*6、GCR*7	BWR*5、PWR*6	BWR*5、PWR*6、GCR*7
廃棄物発生からの経過期間	発生後6ヶ月以上経過したもの	固型化後6ヶ月以上経過したもの	発生後6ヶ月以上経過したもの	発生後6ヶ月以上経過したもの

*1：充填固化体の標準的な製作方法⁽¹⁾により製作。

*2：JIS R 5210(1992)若しくはJIS R 5211(1992)に定めるセメント又はこれと同等以上の品質を有するセメント。

*3：JIS K 2207(1990)に定める石油アスファルトで針入度が100以下のもの又はこれと同等以上の品質を有するアスファルト。

*4：スチレンに溶解した不飽和ポリエステル。

*5：沸騰水型軽水炉

*6：加圧水型軽水炉

*7：黒鉛減速ガス冷却炉

(2) 1号及び2号埋設設備のセメント系材料の仕様の実績

1号及び2号埋設設備に用いたセメント系材料の仕様を第2表及び第3表に示す。これまでにセメント系材料のうち混和材の仕様を変更した箇所は2号埋設設備のコンクリートのみであり、1号及び2号埋設設備の充填材のセメント種類は変更していない。

2号埋設設備のコンクリートは、5群以降(覆いは3群以降)で高炉スラグ(BF)混合の普通ポルトランドセメント(OPC)からフライアッシュ(FA)混合の中熟ポルトランドセメント(MPC)に変更している。

セメント(OPC、MPC)やポゾラン性混和材(BF、FA)の添加割合によって、水和生成物の割合は多少変化するものの、主要な水和生成物の種類やセメント間隙水が高アルカリ性を示すといった収着性に係るセメント系材料の化学環境特性には大きな変化は想定されない。そのため、このコンクリート材料の仕様変更による分配係数への影響は軽微なものと考えられる。

2号埋設設備のコンクリート仕様変更時には、仕様変更後のコンクリートを用いて、収着機構が異なると考えられる主要な放射性核種(Ni-63、Cs-137)の分配係数を取得し、廃棄物埋設事業変更許可申請書に記載されている分配係数に対して、仕様変更後のコンクリートでの試験結果を用いた場合でも線量へ与える影響はみられないことを確認している。

本変更申請における2号埋設設備のコンクリートの分配係数設定においても、このコンクリート材料の仕様変更を考慮した値を初期健全時のセメント系材料の分配係数値として設定している。

第2表 1号埋設設備のセメント系材料仕様

使用設備		セメント種類 (セメントと混和材の混合比)	化学混和剤(減水剤)
充填材	1群から6群	中熟ポルトランドセメント +高炉スラグ(1:9)	・リグニンスルホン酸系 ・メラミン系
コンクリート	側壁	1群から6群	・ヒドロキシ系 ・リグニンスルホン酸系
	底版	1群から6群	
	内部仕切	1群から6群	
	覆い	1群から6群	
		普通ポルトランドセメント +高炉スラグ(45:55)	

第3表 2号埋設設備のセメント系材料仕様

使用設備		セメント種類 (セメントと混和材の混合比)	化学混和剤(減水剤)	
充填材	1群から6群	中庸熟ポルトランドセメント +高炉スラグ(1:9)	・リグニンスルホン酸系 ・メラミン系	
コンクリート	側壁	1群から4群	普通ポルトランドセメント +高炉スラグ(45:55)	・ポリオール系
		5群から8群	中庸熟ポルトランドセメント +FA(7:3)	・ポリオール系
	底版	1群から4群	普通ポルトランドセメント +高炉スラグ(45:55)	・ポリオール系
		5群から8群	中庸熟ポルトランドセメント +FA(7:3)	・ポリオール系
	内部仕切	1群から8群	普通ポルトランドセメント	・リグニンスルホン酸系 ・ポリオール系
	覆い	1,2群	普通ポルトランドセメント +高炉スラグ(45:55)	・リグニンスルホン酸系
3群から8群		中庸熟ポルトランドセメント +FA(7:3)	・ポリオール系	

(3) JIS規格について

セメントのJIS規格であるJIS R 5210(1992)及びJIS R 5211(1992)には、セメントの品質として、比表面積、凝結(始発、終結時間)、安定性、圧縮強さ、水和熱及び化学組成(酸化マグネシウム、三酸化硫黄等)が規定されている。これまでに規格は数回改訂されているが、主な改訂の内容は第4表のとおりであり、セメント品質についての実質的な変更ではない。

化学組成の規格値の見直しについては、数%程度の少量混合成分の変更であり、分配係数への影響は軽微であると考えられ、他の影響事象(「2.(5)分配係数設定において対象とする影響事象」を参照)の評価に十分包含される。また、JIS規格では分配係数に影響を及ぼすと考えられるセメント種類の追加も行われているが、これまで埋設設備には追加されたセメントを用いていない。

第4表 セメントの JIS 規格の主な改訂内容

	JIS R 5210	JIS R 5211
1986年	・セメント中の全アルカリ 0.6%以下	—
1992年	・全アルカリ含有率 0.75%以下 ・塩化物イオン含有率 0.02%以下	同左
1997年	・圧縮強さの規格値の変更 ・低熱ポルトランドセメントの追加	同左
2003年	・普通ポルトランドセメントの塩化物イオン許容値引き上げ	同左
2009年	・低アルカリ型ポルトランドセメントの本体への規定 ・原材料の少量成分 4 種類規定 ・製造方法規定削除 ・三酸化硫黄の規格値見直し	・原材料の少量成分 3 種類規定 ・製造方法規定削除 ・高炉スラグの高炉水砕スラグへの改名

(4) 分配係数設定において対象とするバリア材料のデータ

影響事象分析(補足説明資料3「廃棄物埋設地の状態設定-影響事象分析- 2. (1) 各バリアに期待する性能」を参照)より、**収着性を期待するバリア材料は、セメント系材料(廃棄体固型化材、埋設設備)、難透水性覆土、上部覆土及び岩盤(鷹架層)を対象とする。**これらのバリア材料の収着性を期待することにより、**廃棄物埋設地からの放射性物質の漏出量を低減し、移行を遅延させる。**収着性を期待するバリア材料の仕様及び用いるデータは以下のとおりとする。

(i) 廃棄体

廃棄体固型化材は、1号及び2号廃棄物埋設施設に定置されている廃棄体の使用材料の仕様とする。各廃棄物埋設施設の埋設対象廃棄体は以下のとおりである。

- ・3号廃棄物埋設施設：充填固化体
- ・1号廃棄物埋設施設(1群から6群)：均質・均一固化体
- ・1号廃棄物埋設施設(8群：1基)：均質・均一固化体
- ・1号廃棄物埋設施設(7,8群：9基)：充填固化体
- ・2号廃棄物埋設施設：充填固化体

1号廃棄物埋設施設(7,8群)及び3号廃棄物埋設施設の廃棄体(充填固化体)については、2号廃棄物埋設施設の廃棄体のセメント系材料と同様の仕様とする。

ただし、充填固化体を埋設する 1 号廃棄物埋設施設の埋設設備 9 基のうち、1 基には均質・均一固化体として製作されたセメント固化体を破碎し、セメント系充填材で一体に固型化した充填固化体(以下「セメント破碎物充填固化体」という。)を埋設する。

なお、線量評価においては、均質・均一固化体を埋設する埋設設備とセメント破碎物を埋設する埋設設備をあわせて評価する。セメント破碎物は破碎前の均質・均一固化体と同じ分配係数となるが、充填モルタル(固型化材)と同じ値を設定する。

また、線量評価に用いる埋設設備内の各媒体の体積分率は、均質・均一固化体を埋設する埋設設備にはセメント固化体以外の廃棄体を制限なく埋設することを考慮し、廃棄物及びセメント系充填材(廃棄体):0.12、セメント系充填材(埋設設備):0.33、コンクリート:0.32 と設定する(詳細は、補足説明資料 9「線量評価パラメータ-パラメータ根拠集-第 4 表 廃棄物埋設地に関連する評価パラメータ 埋設設備内の媒体 j の体積分率」を参照。)

均質・均一固化体の固型化材は、セメント、アスファルト又はプラスチックである。固型化材がセメントのものには収着性を期待するが、アスファルト及びプラスチックのものには収着性を期待しないものとする。

ただし、プラスチック固化体は、BWR で発生するものであり、C-14 が無機形態である。そのため、仮にプラスチック固化体の廃棄体の分配係数を 0 としても、モルタル及びコンクリートの分配係数が大きく、有機形態の C-14 の試験結果から設定した埋設設備全体での平均的な分配係数を上回ることから、C-14 についてはセメント固化体と同等の性能があるものとして評価する。

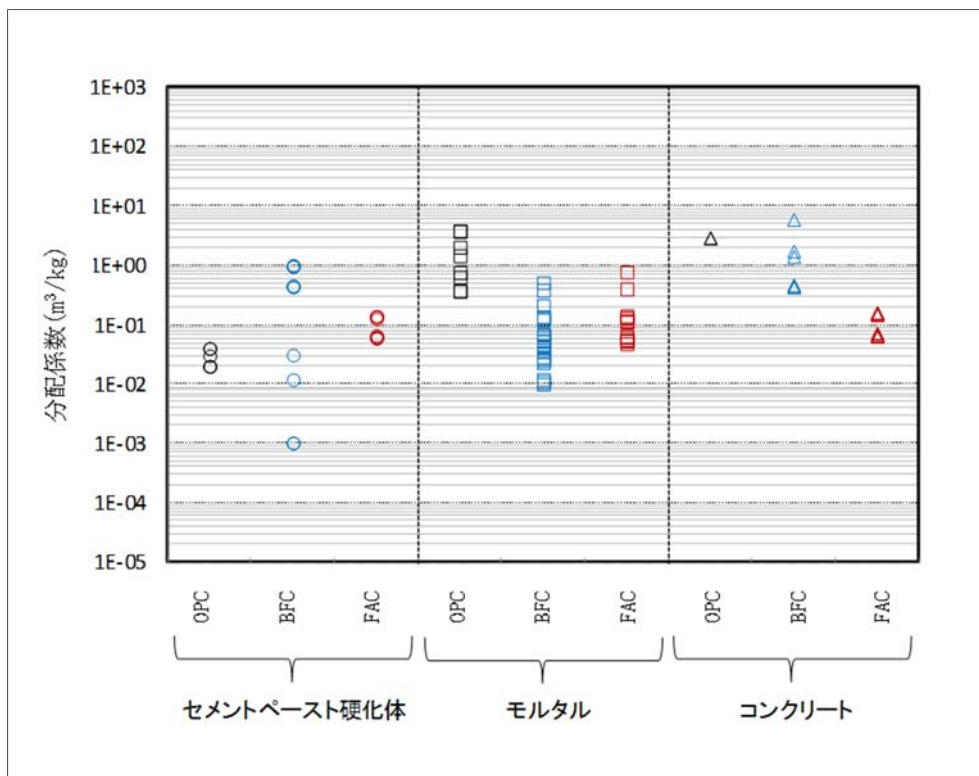
また、アスファルト固化体には物理的な閉じ込め性能が期待できると考えられ⁽²⁾、アスファルト固化体からの浸出による間隙水中の放射性核種の濃度が、セメント固化体の分配係数によって求められる間隙水中の放射性物質の濃度よりも下回ることから、プラスチック固化体と同様に、C-14 についてはセメント固化体と同等の性能があるものとして評価する。

なお、7,8 群については、セメント固化体以外の廃棄体を制限なく埋設することから、上述した廃棄体の体積分率を設定することで、性能を期待しない評価とする。

充填固化体の固型化材は、OPC(普通ポルトランドセメント)又は高炉スラグを用いたモルタルである。廃棄体によって固型化材の種類が異なるため、JAEA-SDB⁽³⁾の

セメントの分配係数データ（以下「JAEA-SDB の分配係数データ」という。）を用いてモルタルの収着性の傾向を比較した。分配係数にばらつきはあるが、分配係数の小さい高炉スラグを分配係数設定で用いる材料の種類とした。

一例として、セメント系材料の種類ごとの Ni の分配係数の比較を第 1 図に示す。なお、第 1 図における数値中の E は、指数表記における基数の 10 を示す（例えば、 $1E+02$ は 1×10^2 を示す。以下、同様。）。



注 1 : OPC : 普通ポルトランドセメント、BFC : 高炉セメント、FAC : フライアッシュセメント

第 1 図 セメント系材料の種類ごとの Ni の分配係数の比較

(ii) 充填材

埋設設備の充填材は、1号及び2号廃棄物埋設施設で使用した材料の仕様とする。材料は高炉スラグを混合したモルタルであるため、高炉スラグのデータを用いる。

(iii) コンクリート

埋設設備のコンクリートは、1号及び2号廃棄物埋設施設で使用した材料の仕様

とする。3号廃棄物埋設施設のコンクリートについては、2号廃棄物埋設施設のコンクリートと同様の仕様とする。

1号、2号及び3号廃棄物埋設施設(1号廃棄物埋設施設(1群から6群)を除く)のコンクリート仕様は、高炉スラグ又はフライアッシュ(FA)を混合したコンクリートである。また、1号廃棄物埋設施設(1群から6群)のコンクリート仕様は、高炉スラグを混合したコンクリートである。

高炉セメントやフライアッシュセメントにおいても、その水和生成物はこれまで主に研究が進められてきたOPCと同等の鉱物で構成されているが⁽⁴⁾、1号、2号及び3号廃棄物埋設施設(1号廃棄物埋設施設(1群から6群)を除く)と1号廃棄物埋設施設(1群から6群)では材料仕様が異なる。そのため1号、2号及び3号廃棄物埋設施設(1号廃棄物埋設施設(1群から6群)を除く)では高炉スラグ及びFAコンクリート、1号廃棄物埋設施設(1群から6群)では高炉スラグコンクリートのデータを用いる。

(iv) 難透水性覆土

難透水性覆土の仕様は、ベントナイトと細骨材を混合したものとし、Ca型30wt%配合、Na型30wt%配合、Na型20wt%配合及びNa型15wt%配合のデータを用いる。

(v) 上部覆土及び岩盤(鷹架層)

上部覆土及び岩盤(鷹架層)は、埋設設備から尾駁沼までの移行経路上の主な岩層とする。

上部覆土の収着性は、現地発生土を主体とするため、岩盤(鷹架層)の収着性と同じとし、岩盤(鷹架層)のデータを用いる。

分配係数設定において対象とする代表的なバリア材料の種類を第5表に示す。

第 5 表 分配係数設定において対象とする代表的なバリア材料の種類

廃棄物埋設施設			セメント系材料			難透水性覆土	岩盤(鷹架層)
			廃棄体	充填材	コンクリート		
3号廃棄物埋設施設			高炉スラグモルタル*1		高炉スラグコンクリート*3 FAコンクリート*4	Ca型30wt%配合 Na型30wt%配合 Na型20wt%配合 Na型15wt%配合	砂質軽石凝灰岩(Tspt2) 軽石質砂岩(Tpps2) 砂岩(Tcs12) 軽石凝灰岩(Tpt2)
1号廃棄物埋設施設	1群から6群	均質・均一固化体	高炉スラグセメント*2	高炉スラグモルタル	高炉スラグコンクリート		砂質軽石凝灰岩(Tspt2) 軽石質砂岩(Tpps2) 砂岩(Tcs12) 粗粒砂岩(Tcs11)
	7,8群		充填固化体	高炉スラグモルタル			
2号廃棄物埋設施設			高炉スラグモルタル		高炉スラグコンクリート FAコンクリート		

*1：高炉スラグを混合したモルタル

*2：高炉スラグを混合したセメント

*3：高炉スラグを混合したコンクリート

*4：フライアッシュ(FA)を混合したコンクリート

(5) 分配係数設定において対象とする影響事象

影響事象分析(補足説明資料3「廃棄物埋設地の状態設定-影響事象分析-3. 検討結果」を参照)より、熱、水理、力学及び化学の観点から廃棄物埋設地に生ずる物理的・化学的現象の影響事象分析の結果を第6表に示す。分配係数設定は、影響事象分析で選定された収着性に関する影響事象(第6表の緑枠)を対象とする。

第6表 影響事象分析の結果

項	主要な影響事象	影響を与える移行抑制機能	影響 ^{*1}	影響評価結果
T (熱)	崩壊熱	低透水性 収着性	—	埋設する廃棄体に含まれる放射性物質の量が少ないことから、各部材の熱変質が生じる温度より十分に小さいため、影響事象として考慮しない。
	水和熱	低透水性 収着性	—	放射性物質の移行は水和熱が低下した後の覆土完了後に生じること及びセメント系材料の収着性は水和後の特性に期待していることから、影響事象として考慮しない。
	気温変化	低透水性 収着性	—	年間の気温の変化以上に廃棄物埋設地の温度が変化しないと考えられることから、影響事象として考慮しない。
H (水理)	地下水流動	低透水性	○	廃棄物埋設地周辺の地下水流速が十分に小さいため、直接的な影響は生じないと判断される。 (ただし、「C(化学)地下水との反応」において考慮する)。
		収着性	○	廃棄物埋設地周辺の地下水流速が十分に小さいため、直接的な影響は生じないと判断される。 (ただし、「C(化学)地下水との反応」において考慮する)。
M (力学)	金属腐食による膨張 (塩の影響を含む)	低透水性	○	金属腐食による体積膨張に伴い、各部材が変形・損傷し、低透水性に影響することが考えられる。
	ガス発生	低透水性	—	透水・透気試験の結果、ガス破過前後の透水係数にほとんど変化が生じなかったことから、難透水性覆土及び下部覆土の低透水性に影響は生じないものとする。
	地震	低透水性	—	力学的な変形は金属腐食に伴う埋設設備の変形量と比較して非常に小さい。液状化(覆土)は容易に生じないよう配慮した設計としていることから、覆土の低透水性に有意な影響は生じないものとする。
C (化学)	地下水との反応 (塩の影響を含む)	低透水性 収着性	○	モンモリロナイト及びケイ酸カルシウム水和物の溶解及び二次鉱物の生成による化学変質が考えられ、低透水性及び収着性に影響すると考えられる。
	有機物	収着性	△	セルロースはアルカリ性の環境下において分解し、生成したイソサッカリン酸が放射性物質と錯体を形成することによって、収着性に影響することが考えられる。
	金属腐食	収着性	△	廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食によって、酸化還元環境が変化し、収着性に影響する可能性がある。
	コロイドの形成	収着性	—	埋設設備の間隙水はセメント平衡水でありコロイドが安定に分散できる環境ではないと考えられることから、収着性に影響は生じないものとする。
	微生物	収着性	△	岩盤中では微生物活動によって有機物が無機化するため、収着性の設定に関して考慮する。
	降下火砕物	収着性	—	十分な厚さの上部覆土が設置され、変質の影響範囲は限定されることから、有意な影響は生じないものとする。

*1：○：影響有り(状態評価を実施する)
△：影響有り(パラメータ設定に際して考慮したもの)
—：有意な影響は生じない(状態評価不要と判断)

(6) 対象とした放射性物質及び化学的類似性による元素のグループ分け

分配係数設定において対象とした放射性物質は、埋設処分の観点で考慮すべき放射性物質(170種類(73元素))とする。

主要な放射性物質については、当社及び電気事業者が取得した分配係数(以下「当社分配係数」という。)の試験結果を基に設定し、主要な放射性物質以外で試験結果があるものについては、試験結果を基に分配係数を設定する。これら以外の放射性物質については、文献値^{(5)~(9)}又は主要な放射性物質の化学的類似性を基に分配係数を設定する。

元素の化学的類似性においては、収着機構(イオン交換、表面錯体)に着目して元素をグルーピングした。元素は一般的にイオンの電荷が等しく最外殻の電子の状態が似ていれば互いによく似た性質を示し、その上イオンの大きさが似ていれば更によく似た性質を示す⁽¹⁰⁾。各元素の化学形態及び周期表に基づく特徴を加味した化学的類似性を考慮した元素のグループ分けを第7表に示す。

第7表 化学的類似性を考慮した元素のグループ分け

グループ	特徴	元素*1	備考
A	水分子として存在	H	
B	イオン交換、アルカリ金属	Na, K, Rb, Cs	
C	イオン交換、アルカリ土類金属	Ca, Sr, Ba, Ra	
D-1	中性付近で炭酸錯体、高アルカリ性環境下で酸化物イオン	Y, La, Ce, Nd, Pm, Sm, Eu, Gd, Tb, Dy, Ho, Tm, Yb, Lu, Pb	グループ D-2 と同じ
D-2	二価のイオン、ヒドロキシ錯体	Tl, Mn, Ni, Zn, Cd, Hg, Po	
D-3	二価のイオン、ヒドロキシ錯体、酸化物の陰イオン	Be, Fe, Co	
E	ヒドロキシ錯体	Sc, In, Bi, Zr, Nb, Hf, Sb, V	
F	白金族	Pd, Ru, Rh, Os, Ir, Pt	文献値
G-1	ヒドロキシ錯体、炭酸錯体	U	実験値
G-2	中性付近で炭酸錯体、高アルカリ性環境下でヒドロキシ錯体	Ac, Am, Cm, Bk, Cf, Es	
G-3	ヒドロキシ錯体あるいは炭酸錯体	Th, Pa, Pu	
G-4	酸化物イオン、炭酸錯体、ヒドロキシ錯体	Np	実験値
H	一価の陰イオン	Cl, I	
I	酸化物の陰イオン	Mo, W, Tc, Ta, Re	Mo は実験値
J	塩素と錯体生成	Ag	グループ B と同じ
K-1	高アルカリ性環境下で二価の陰イオン	Si, S, Se, Sn, Te	文献値
K-2	高アルカリ性環境下で二価の陰イオン	C	

*1: □で囲われている元素は主要な放射性物質を示す。

さらに有機物影響を評価するに当たって、有機物の分解生成物が陰イオンであること⁽¹¹⁾を考慮し、第8表に有機物影響を評価するための化学的類似性を考慮した元素のグループ分けを示す。

第8表 有機物影響を評価するための化学的類似性を考慮した元素のグループ分け

グループ	特徴	元素
陽イオン	イオン交換	Sr, Cs
陰イオン	I 価の陰イオン	Cl, I, Tc
遷移金属	ヒドロキシ錯体(中性～アルカリ性)	Co, Ni, Nb
アクチノイド	ヒドロキシ錯体, 炭酸錯体	Am, Pu

(7) 分配係数試験条件及び試験方法

(i) 分配係数試験条件

分配係数を設定するに当たって、当社分配係数データ及び JAEA-SDB の分配係数データを用いた。JAEA-SDB の分配係数データは、材料の多様性を考慮し、セメント系材料の分配係数の設定において参照した(当社分配係数データと JAEA-SDB の分配係数データの比較は「4. (1)セメント系材料の初期状態の分配係数」を参照)。

それぞれの分配係数データ抽出の考え方は以下のとおりである。

a. 当社分配係数データ抽出の考え方

当社分配係数データに関しては、日本原子力学会標準⁽¹²⁾を参考に、第9表に示す標準的な試験条件かつ第10表に示す固相及び液相の種類で実施した試験のうち、埋設環境を模擬した適切な試験条件で取得されたデータを採用した。

また、一部のデータにおいて、固液比が 1/10 以外又は浸漬期間が 7 日以外の場合でも、個々のデータを精査し、データの充足を重視し採用した。

なお、明らかに試験操作に問題がある場合のデータを除外した。

第 9 表 標準的な試験条件

温度	40℃未満
固液分離	メンブランフィルタ (0.45 μ m)
固液比	1/10 (g/mL)
浸漬期間	7 日

第 10 表 固相及び液相の種類

固相	セメント系材料、難透水性覆土、岩盤(鷹架層)
液相	セメント平衡水、模擬地下水、純水

b. JAEA-SDB の分配係数データ抽出の考え方

JAEA-SDB の分配係数データに関しては、詳細な試験条件が不明なものもあるが、セメント系材料における分配係数の傾向を把握することを重視し、第 11 表の条件以外のデータは基本的に採用した。

第 11 表 JAEA-SDB の分配係数データを抽出するに当たって除外した条件

固相	<ul style="list-style-type: none"> ・ 一般的ではない材料 ・ セメント系材料以外
液相	<ul style="list-style-type: none"> ・ セメント平衡水又は純水以外の溶液
分離	<ul style="list-style-type: none"> ・ ろ過未実施
pH	<ul style="list-style-type: none"> ・ pH13 以上

(ii) 分配係数試験方法

分配係数設定において、実際の施設を構成するバリア材料の種類及び廃棄物埋設施設周辺から採取された実際の岩盤材料種類を使用し、想定される環境条件(温度、pH、地下水組成)に近い試験系で実測された分配係数を適用することが現実的かつ合理的な方法であると考えます。

C-14 以外の核種については、第 12 表の方法により分配係数を取得した。

第 12 表 C-14 以外の核種の分配係数取得方法について

測定対象の固相(バリア材)	試験方法
<ul style="list-style-type: none"> ・セメント系材料 (均質・均一固化体を除く) ・難透水性覆土 ・岩盤(鷹架層) 	<p>収着分配係数試験</p> <p>固相(バリア材)を液相に浸漬した後にトレーサを添加する試験方法</p>
<ul style="list-style-type: none"> ・セメント系材料 (均質・均一固化体) 	<p>脱着分配係数試験</p> <p>廃液をセメントと混練し製作される実際の廃棄体の性状・状態を考慮し、セメント系材料とトレーサを混練したセメント固相を粉砕し液相に浸漬する試験方法</p>

C-14 の分配係数の取得は、C-14 は多様な化学形態⁽¹³⁾⁽¹⁴⁾が存在するため、トレーサではなく実廃棄物を用いて分配係数試験を実施した。具体的には、均質・均一固化体は、濃縮廃液のセメント固型化物を粉砕した上で、液相に浸漬させる方法で分配係数(脱着分配係数)を評価した⁽¹⁵⁾。一方、充填固化体に収納する固体状廃棄物は原子炉冷却材が接触することにより表層が汚染した配管類といった廃棄物であり、核種が廃棄物全体に均一に分布していない可能性がある。このため、実廃棄物表層から核種を超音波照射により溶出させた均一な液相試料を作製し、これにセメント固相を浸漬させる試験方法で分配係数(収着分配係数)を評価した⁽¹³⁾。

(iii) 脱着分配係数試験の妥当性について

実際のセメント固化体の形状が健全な状態であれば、セメント固相内を拡散移行し、セメント固化体外に核種が漏えいするには相応の時間が必要となる。

一方で、脱着分配係数試験では、セメント系材料を砂程度に粉砕しているため、前述のようなセメント固化体中の拡散移行によるバリア効果はほぼ期待できない状態で試験を実施していると考えられる。したがって、実際の固化体の性状にあわせて浸漬試験を実施したとしても、セメント固化体の低拡散バリアにより脱着分配係数の方が収着分配係数に比較して著しく大きい値となることは考えられない。

Tits ら⁽¹⁶⁾のセメント系材料に対するユウロピウム(Eu)の収着・脱着試験による収着・脱着分配係数の比較を第2図に示す。Eu(III)のC-S-Hゲル(ケイ酸カルシウム水和物)(C/S=0.75, 1.25)に対する収着期間1日及び60日の試料を用いた脱離試験を実施した結果、両者の脱着分配係数は、収着期間に関わらず良く一致し、また、収着分配係数とも一致した。これより60日後でもC-S-Hゲルに対するEu(III)の収着は可逆的であると推察している。

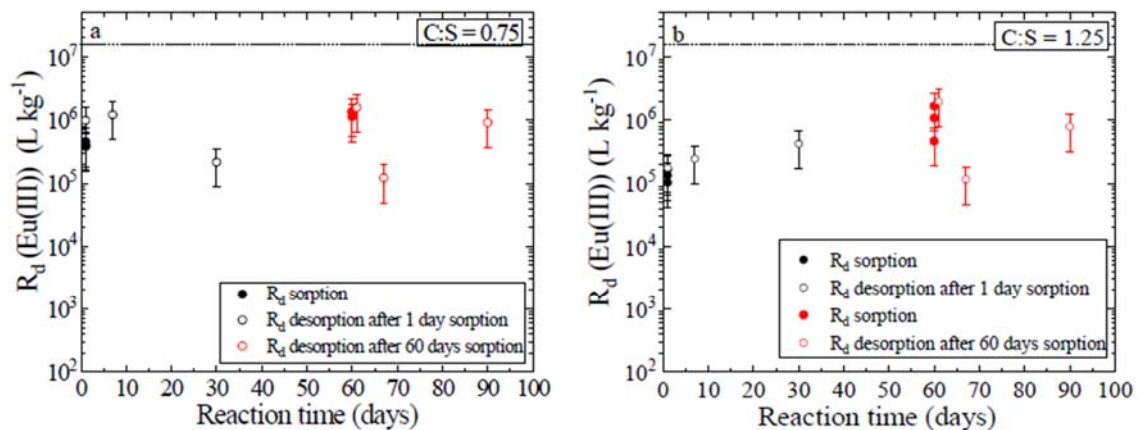


Fig. 10: Eu(III) desorption tests onto C-S-H phases in ACW at pH = 13.3 after one day and 60 days sorption. a) C:S = 0.75; b) C:S = 1.25. Experimental conditions: S:L = $2.5 \cdot 10^{-3} \text{ kg L}^{-1}$, $[Eu]_{tot} = 3.0 \cdot 10^{-8} \text{ M}$. The dashed lines represent the $R_{d,max}$ value.

第2図 セメント系材料に対するユウロピウム(Eu)の収着・脱着試験による
収着・脱着分配係数の比較

また、主要核種について脱着分配係数試験を7日以降も継続した場合の脱着分配係数の推移を第13表に示す。7日以降試験を継続しても脱着分配係数が大きく低下する事象は確認されなかった。そのため、脱着分配係数は7日で定常状態になっていると考えられる。

文献⁽¹⁷⁾によると、収着試験において粒子内拡散や鉱物化を除けば収着反応の主要機構であるイオン交換反応は、通常瞬時に定常状態に達するが、従来の実験では液相のトレーサ濃度に有意な変化が見られなくなるために数十分から1週間程度の固液接触時間を設定しており、原子力学会標準⁽¹⁸⁾においても、液相のトレーサ濃度に有意な変化が見られなくなる合理的な時間として1週間を設定している。

以上のことより、一般的なおおむね1週間以内に定常状態になると考えられ、第13表の脱着分配係数試験の7日のデータを用いることは妥当だと考える。

第13表 浸漬時間による脱着分配係数試験結果⁽¹⁵⁾

核種		分配係数 (m ³ /kg)			
		7日	18日	30日	48日
実 C-14①		0.31	—	0.43	—
実 C-14②		—	0.34	—	0.24
PWR 廃棄体	Pu	>53 >53	—	>53	—
	Am	43 52	—	>49	—
BWR 廃棄体	Pu	>53 >53	—	>56	—
	Am	>52 35	—	>52	—

脱着分配係数の試験方法は、上記のとおりセメント固化体中での低拡散性を期待しないよう粉砕して試験をしていること、7日間で液相濃度に変化が見られない定常状態になることから妥当であると考えられる。しかしながら、廃棄体のC-14のように、脱着分配係数が収着分配係数よりも大きな値になる場合がある。

脱着分配係数が大きくなる場合では、均質・均一固化体を製作する過程において、核種がセメント水和水と共にマトリクス内に取り込まれることや、脱着分配係数試

験で不可逆的な吸着が生じた可能性が考えられる⁽¹⁹⁾。

また、収着分配係数と脱着分配係数の試験に用いる C-14 試験液の調製方法は前述のとおり、均質・均一固化体では濃縮廃液をセメントで固型化した固相を粉砕して脱着分配係数を評価している⁽¹⁵⁾のに対し、充填固化体では固体状廃棄物から溶出しやすい C-14 成分のみを用いて収着分配係数を評価している⁽¹³⁾ことから、C-14 試験液の調製方法の違いにより廃棄体の C-14 分配係数の評価結果に差異が生じたものと考えられる。

(iv) 分配係数試験におけるセメント系材料の組成

分配係数設定で用いた当社分配係数データの分配係数試験におけるセメント系材料の組成を第 14 表に示す。また、分配係数試験に用いたセメント系材料の配合表を参考資料に示す。

第 14 表 分配係数試験におけるセメント系材料の組成

セメント系材料	組成		結合材比	データ数
廃棄体	PWR 濃縮廃液バーミキュライトセメント固化体		—	45
	BWR 濃縮廃液高炉 C セメント固化体		—	35
充填材	高炉スラグ	OPC+(BF+FA)+膨張材	3:7	38
		MPC+BF	1:9	42
			3:7	43
	フライアッシュ*1	MPC+FA	7:3	16
		LPC+FA+膨張材	7:3	41
		LPC+FA	7:3	24
コンクリート	高炉スラグ	OPC+BF	45:55	41
	フライアッシュ	MPC+FA	7:3	42

OPC：普通ポルトランドセメント、BF：高炉スラグ、FA：フライアッシュ

MPC：中庸熱ポルトランドセメント、LPC：低熱ポルトランドセメント

*1：コンクリートの分配係数設定において使用

(v) セメント系材料に含まれる化学混和剤について

セメント系材料に含まれる化学混和剤(減水剤)による分配係数への影響が考えら

れるが、分配係数は化学混和剤を含んだ実セメント系材料を使用して測定したデータを用いることを基本方針としているため、化学混和剤による影響が存在したとしても測定結果はその影響を包含したものである。(化学混和剤の相違における分配係数への影響については「参考資料 2 化学混和剤の分配係数への影響について」参照)

そのため、セメント系材料については、化学混和剤の種類を変更する場合に分配係数を測定し、「8. 分配係数の管理の考え方について」に従い、その化学混和剤に変更しても問題がないことを確認する。

3. 分配係数設定の考え方

分配係数設定の考え方は第3図に示すとおり、初期状態の分配係数に分配係数低下係数を乗じた値を分配係数設定値とする。

$$\boxed{\text{(1) 初期状態の分配係数}} \times \boxed{\text{(2) 分配係数低下係数}} = \boxed{\text{(3) 分配係数設定値}}$$

第3図 分配係数設定の考え方

初期状態の分配係数、分配係数低下係数及び分配係数設定値の説明を以下に示す。

(1) 初期状態の分配係数

バリア材料ごとに抽出した分配係数データの平均値。

(2) 分配係数低下係数

各影響事象の収着影響度*1を掛け合わせ、初期状態の分配係数の低下割合を示した係数⁽²⁰⁾。

*1：分配係数試験結果や文献から求めた影響事象ごとの収着影響の度合い。

(3) 分配係数設定値

初期状態の分配係数に分配係数低下係数を乗じ、分配係数が小さくなるよう切捨てした値。

なお、H-3に関しては、挙動が水と同じと考えられ収着性が期待できないことから、分配係数を0と設定する。

4. 初期状態の分配係数

初期状態の分配係数は、固相の仕様及び分配係数試験条件が把握できることから、当社分配係数の試験結果を用いる。セメント系材料においては材料の多様性を考慮し、当社分配係数データと JAEA-SDB の分配係数データを比較した(詳細は「4. (1) セメント系材料の初期状態の分配係数」を参照)。

分配係数データは、「2. (7) (i) 分配係数試験条件」で示した試験条件で取得されたデータの平均値とする。

(1) セメント系材料の初期状態の分配係数

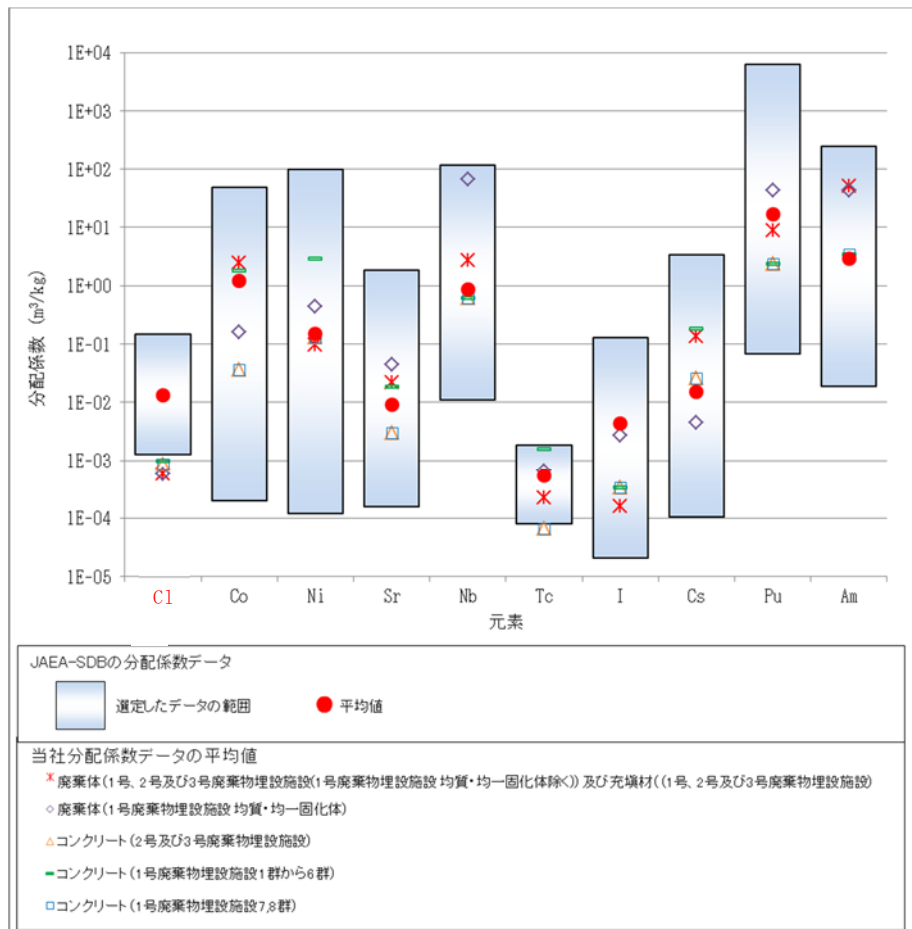
セメント系材料の分配係数は、セメント系材料が固液平衡になった状態を想定し設定するが、液相となるセメント平衡水の主な組成やセメント平衡水の化学平衡を支配する主要な水和生成物の鉱物種といった化学環境場は類似のため、健全なセメント系材料に対する分配係数のデータ群に大きな違いはないと考えられる⁽⁴⁾。線量評価パラメータとして分配係数を設定する際は、混和材の種類及びポゾラン反応の進展度の違い、測定試験のばらつきの不確実性を考慮して、セメントの混和材ごとにデータ群を整理し、平均値を比較した上で、平均値のうち最も小さい値を初期状態のセメント系材料の分配係数として設定した。

セメント系材料の分配係数の設定は、セメント系材料の仕様(混和材、化学混和剤、骨材)及び試験条件が把握できることから、基本的に当社分配係数データを用いた。

分配係数の設定に当たっては当社で用いるセメント種類に加え、国内外の多様なセメント系材料のデータが含まれる JAEA-SDB の分配係数データを参照した。

JAEA-SDB の分配係数データと当社分配係数データの平均値を比較したところ、当社分配係数データの平均値は JAEA-SDB の分配係数データの範囲内又は最大値を超えていないが、JAEA-SDB の分配係数データの平均値が当社分配係数データの平均値の 1/10 以下の場合、JAEA-SDB の分配係数データを用いることとした。

JAEA-SDB の分配係数データと当社分配係数データの比較を第 4 図に示す。



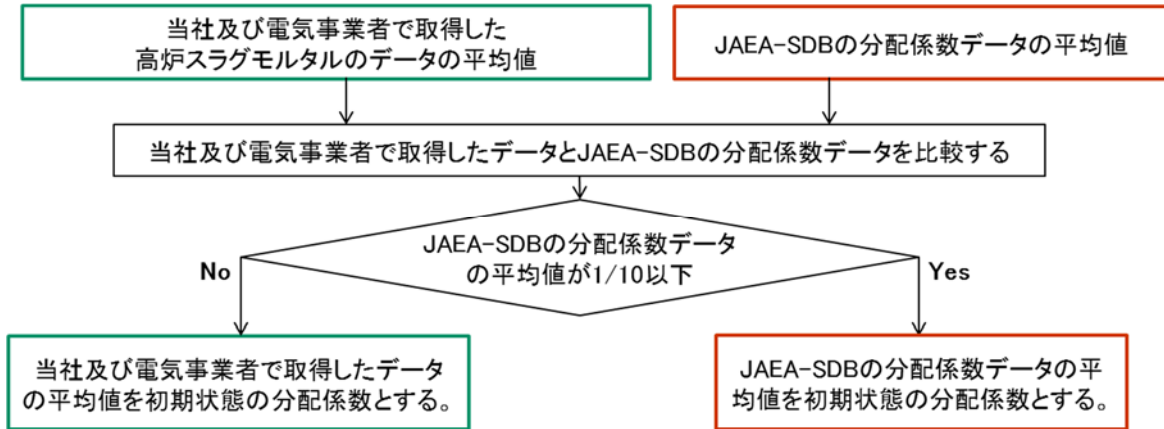
第 4 図 JAEA-SDB の分配係数データと当社分配係数データの比較

初期状態の分配係数を設定する際に考慮したセメント系材料の種類は第 5 表に示したとおりである。以下に各バリア材料における初期状態の分配係数の設定内容を示す。

- (i) 廃棄体及び充填材(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)

当社分配係数データの高炉スラグモルタルのデータと JAEA-SDB の分配係数データについて、元素ごとに平均値を求めて比較する。JAEA-SDB の分配係数データの平均値が当社分配係数データの平均値の 1/10 以下の場合には、JAEA-SDB の分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とし、1/10 より大きい場合には、当社分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とする。廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄

物理施設)を第 5 図に、廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)を第 15 表に示す。



第 5 図 廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数の考え方

(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)

第 15 表 廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数

(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)

元素	当社分配係数データ		JAEA-SDB の分配係数データ		廃棄体及び充填材の初期状態の分配係数 (m ³ /kg)
	高炉スラグモルタル		セメント		
	N* ³	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C* ¹	37	0.088	—	—	0.05
C* ²	15	0.0078	—	—	0.004
Cl	3	0.00057	7	0.013	0.00057
Co	3	2.5	46	1.214	2.5
Ni	20	0.098	302	0.15	0.098
Sr	3	0.022	90	0.0091	0.022
Nb	16	2.744	116	0.867	2.744
Tc	3	0.00022	13	0.00054	0.00022
I	3	0.00016	161	0.0044	0.00016
Cs	15	0.133	140	0.015	0.133
Pu	9	8.860	151	16.969	8.860
Am	2	52	85	2.877	2.877

*1：2号及び3号廃棄物埋設施設のCは、ばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め0.05m³/kgとする。

*2：1号廃棄物埋設施設のCは、廃棄体を除いた値とする。また、ばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め0.004m³/kgとする。

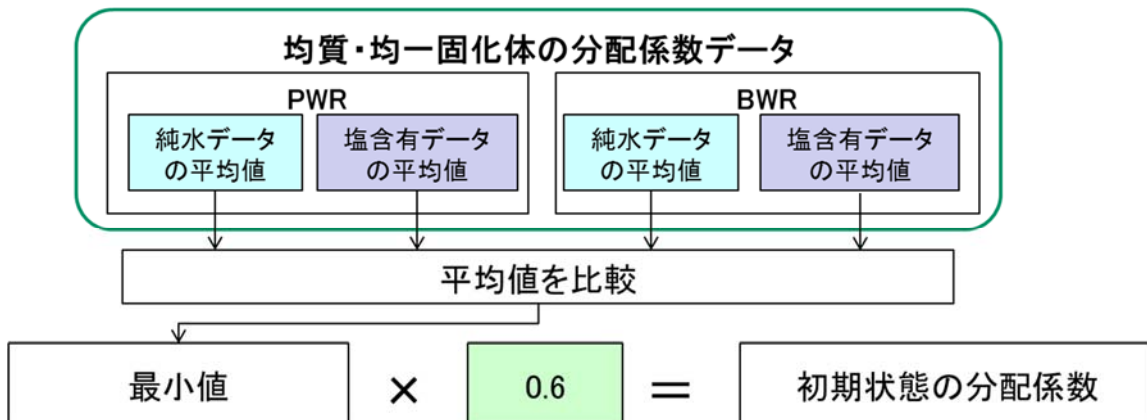
*3：データ数(以下同様)

(ii) 廃棄体(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)

- a. 1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体(1群から6群)の初期状態の分配係数の考え方

1群から6群については、セメント系材料で固型化した廃棄体の埋設割合を考慮する。均質・均一固化体の分配係数データについて、元素ごとに発電所(PWR、BWR)と液相(純水、塩含有)の4条件それぞれの平均値を求め比較し、最小値を選定する。選定した最小値に0.6^{*1}を乗じた値を初期状態の分配係数とする。廃棄体の初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体(1群から6群))を第6図に、廃棄体の初期状態の分配係数(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)を第16表に示す。

*1: セメント以外で固型化した廃棄体が1群から5群は2割を超えないよう(セメント固化体は8割以上)、6群は4割を超えないよう(セメント固化体は6割以上)定置の管理を行う。ただし、Cについてはアスファルト固化体が放射性物質の漏出を防止する機能を有すること⁽²⁾及びBWRのプラスチック固化体に含まれるC-14は無機形態であることから、セメント固化体と同等の性能を有するものとし、1と設定する。



第6図 廃棄体の初期状態の分配係数の考え方

(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体(1群から6群))

第 16 表 廃棄体の初期状態の分配係数(1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体)

元素	当社分配係数データ								最小値	均質・均一固化体	
	純水データ				塩含有データ					1群から6群	
	PWR		BWR		PWR		BWR			セメント 固化体 の割合	初期状態 の分配係 数(m ³ /kg)
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)			
C* ¹	12	0.557	3	7.767	1	0.35* ²	—	—	0.5	1	0.5
Cl* ³	—	—	—	—	—	—	—	—	0.00057	0.6	0.00034
Co	2	14.555	2	0.251	2	5.825	2	0.159	0.159		0.096
Ni	2	91.035	2	0.446	2	22.092	2	0.436	0.436		0.262
Sr	2	0.045	2	1.886	2	0.099	2	0.854	0.045		0.027
Nb	2	100	2	67.528	2	100	2	79.632	67.528		40.517
Tc	2	0.00066	2	1.016	—	—	—	—	0.00066		0.00040
I	2	0.124	2	0.0027	—	—	—	—	0.0027		0.0016
Cs	2	0.083	2	0.005	2	0.036	2	0.0045	0.0045		0.0027
Pu	2	53	2	53	2	46.13	2	42.988	42.988		25.793
Am	2	47.286	2	42.661	2	44.452	2	49	42.661		25.597

*1：PWRは有機C、BWRは無機Cの値である。Cの値は、PWRの有機Cの平均値を使用する。また、ばらつきを考慮し分配係数が小さくなるよう数値を丸め0.5m³/kgとする。

*2：同一サンプルを用いた純水データの試験結果(0.23m³/kg)よりも、塩含有データの方が高い値が得られており、塩含有による分配係数低下の影響がないと判断した。

*3：Clに関しては脱着分配係数のデータがないため、充填固化体の高炉スラグモルタルの収着分配係数データを使用する。

b. 1号廃棄物埋設施設 均質・均一固化体(8群)の初期状態の分配係数の考え方

1号廃棄物埋設施設のうち8群の均質・均一固化体については、セメント固化体以外が埋設されることを考慮し、分配係数を設定しない。

c. 1号廃棄物埋設施設 セメント破砕物充填固化体(8群)の初期状態の分配係数の考え方

1号廃棄物埋設施設のうち8群のセメント破砕物充填固化体については、「4.

(1)(i) 廃棄体及び充填材(1号廃棄物埋設施設(均質・均一固化体を除く)、2号及び3号廃棄物埋設施設)」と同じ考え方で設定する。

(iii) コンクリート

仕様変更があった2号廃棄物埋設施設のコンクリートについては、当社分配係数データのうち、高炉スラグコンクリートとFAコンクリートのデータの平均値を比較し、小さい方の値を設定した。1号廃棄物埋設施設のうち7,8群及び3号廃棄物

埋施設についても、2号廃棄物埋施設と同様の設定手法とした。また、1号廃棄物埋施設のうち1群から6群については、高炉スラグコンクリートの分配係数データを用いた。

コンクリートの初期状態の分配係数設定に当たり、FAモルタルのデータがある元素については、主要な水和生成物であるC-S-Hゲルの単位体積当たりの物質量に応じて分配係数が変化するものとし、C-S-Hゲルの単位体積当たりの物質量を基にFAモルタルのデータをFAコンクリート相当に換算し分配係数を小さくした値を用いる。

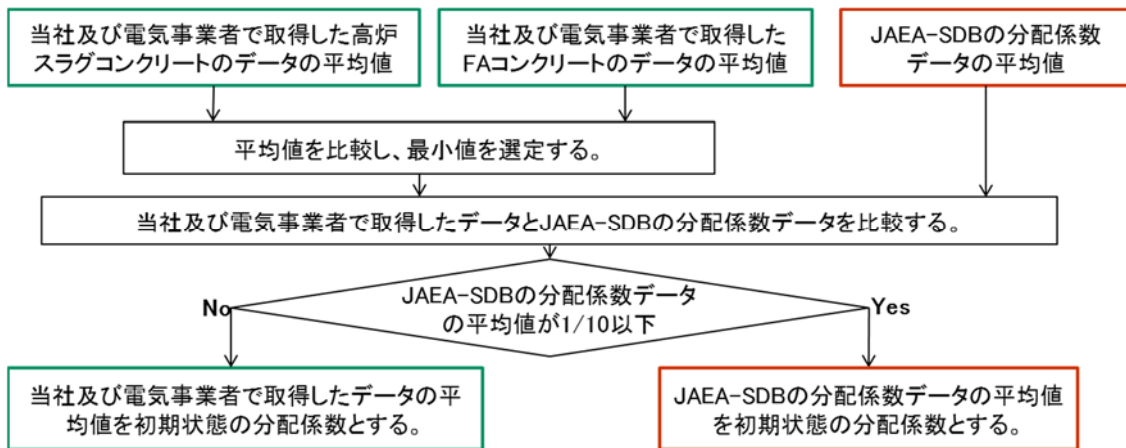
単位体積当たりの水和生成物(C-S-Hゲルで代表)生成量を求め、この比(FAコンクリートのC-S-Hゲル物質量/FAモルタルのC-S-Hゲル物質量)を換算係数とし、FAモルタルのデータに乗じた値をFAコンクリートの値として用いる。求めた換算係数を第17表に示す。

第17表 換算係数

材料種類	セメントペースト				C-S-Hゲル物質量		換算係数
	結合材 (kg/m ³)		水 (kg/m ³)	結合材 +水 (kg/m ³)	単位重量 当たり (mol/kg)	単位体積 当たり (mol/m ³)	
	セメント	FA					
FAコンクリート	233	100	155	488	0.91	444	0.44
FAモルタル	338	153	230	721	1.40	1,009	

a. コンクリート(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)

当社分配係数データのうち、高炉スラグコンクリート及びFAコンクリートのデータ(2種類)をそれぞれ元素ごとに平均値を求めて比較し最小値を選定する。その最小値とJAEA-SDBの分配係数データの平均値を比較し、JAEA-SDBの分配係数データの平均値が1/10以下の場合には、JAEA-SDBの分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とし、1/10より大きい場合には、当社分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とする。コンクリートの初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)を第7図に、コンクリートの初期状態の分配係数(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)を第18表に示す。



第7図 コンクリートの初期状態の分配係数の考え方

(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)

第18表 コンクリートの初期状態の分配係数

(1号廃棄物埋施設(7,8群)、2号及び3号廃棄物埋施設)

元素	当社分配係数データ								JAEA-SDBの分配係数データ		コンクリートの初期状態の分配係数 (m ³ /kg)
	高炉スラグコンクリート		FAコンクリート		FAモルタル				セメント		
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	換算係数	FAモルタル平均値 × 換算係数 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C* ¹	18	0.11	—	—	—	—	—	—	—	—	0.05* ²
C* ³	3	0.0039	—	—	—	—	—	—	—	—	0.003
Cl* ⁴	3	0.00099	—	—	8	0.00198	0.44	0.00087	7	0.013	0.00087
Co* ⁴	2	1.846	—	—	3	0.084		0.037	46	1.214	0.037
Ni	2	2.893	13	0.132	35	0.113		0.05	302	0.15	0.132
Sr* ⁴	2	0.019	—	—	3	0.0067		0.0029	90	0.0091	0.0029
Nb	2	0.62	3	2.22	—	—		—	116	0.867	0.62
Tc* ⁴	2	0.0016	—	—	8	0.00015		0.000066	13	0.00054	0.000066
I* ⁴	2	0.00033	—	—	8	0.0014		0.00062	161	0.0044	0.00033
Cs	5	0.184	13	0.026	18	0.0065		0.0028	140	0.015	0.026
Pu	—	—	3	2.358	1	3.7		1.628	151	16.969	2.358
Am* ⁴	—	—	—	—	1	7.727		3.4	85	2.877	3.4

*1：1号廃棄物埋施設(7,8群 充填固化体)、2号及び3号廃棄物埋施設

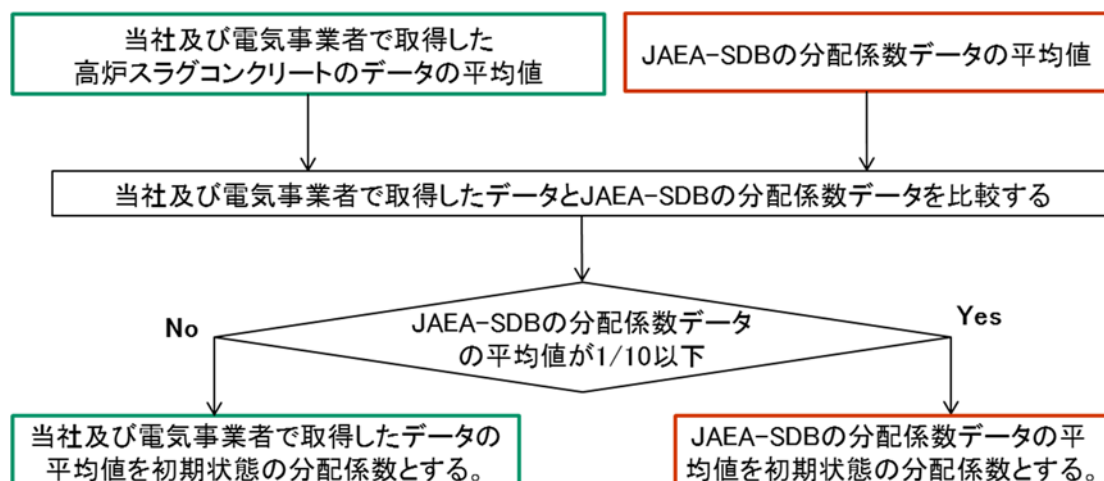
*2：Cはばらつきを考慮し、分配係数が小さくなるよう数値を丸め0.05m³/kgとする。

*3：1号廃棄物埋施設(8群 均質・均一固化体及びセメント破砕物充填固化体)

*4：FAコンクリートの分配係数データがない元素については、FAモルタルの分配係数データをFAコンクリート相当に換算した値を用いる。

b. コンクリート(1号廃棄物埋施設(1群から6群))

当社分配係数データのうち、高炉スラグコンクリートのデータ(1種類)及びJAEA-SDBの分配係数データについて、元素ごとに平均を求めて比較する。当社分配係数データの平均値と比較し、JAEA-SDBの分配係数データの平均値が1/10以下の場合には、JAEA-SDBの分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とし、1/10より大きい場合には、当社分配係数データの平均値を初期状態の分配係数とする。コンクリートの初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋施設(1群から6群))を第8図に、コンクリートの初期状態の分配係数(1号廃棄物埋施設(1群から6群))を第19表に示す。



第8図 コンクリートの初期状態の分配係数の考え方(1号廃棄物埋施設(1群から6群))

第 19 表 コンクリートの初期状態の分配係数(1号廃棄物埋設施設(1群から6群))

元素	当社分配係数データ								JAEA-SDB の分配係数データ		コンクリートの初期状態の分配係数 (m ³ /kg)
	高炉スラグ		FA		FA				高炉スラグ		
	コンクリート		コンクリート		モルタル						
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	換算係数	FA モルタル平均値 × 換算係数 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C ^{*1}	3	0.0039	—	—	—	—	—	—	—	—	0.003
Cl	3	0.00099	—	—	8	0.00198	0.44	0.00087	7	0.013	0.00099
Co	2	1.846	—	—	3	0.084		0.037	46	1.214	1.846
Ni	2	2.893	13	0.132	35	0.113		0.05	302	0.15	0.15
Sr	2	0.019	—	—	3	0.0067		0.0029	90	0.0091	0.019
Nb	2	0.62	3	2.22	—	—		—	116	0.867	0.62
Tc	2	0.0016	—	—	8	0.00015		0.000066	13	0.00054	0.0016
I	2	0.00033	—	—	8	0.0014		0.00062	161	0.0044	0.00033
Cs	5	0.184	13	0.026	18	0.0065		0.0028	140	0.015	0.015
Pu ^{*2}	—	—	3	2.358	1	3.7		1.628	151	16.969	2.358
Am ^{*3}	—	—	—	—	1	7.727		3.4	85	2.877	3.4

*1：ばらつきを考慮し、分配係数が小さくなるよう数値を丸め 0.003m³/kg とする。

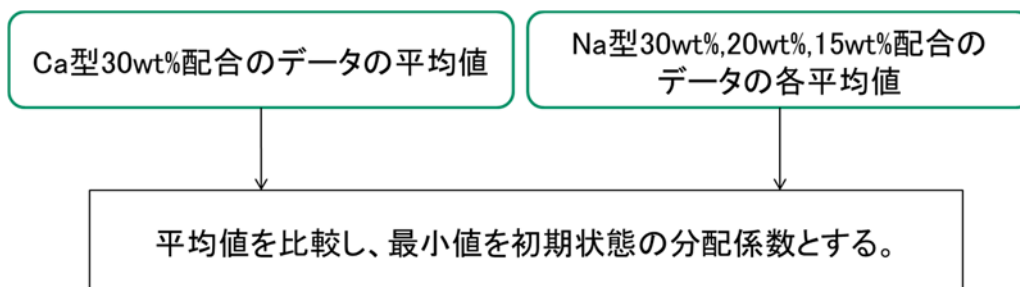
*2：Pu は高炉スラグコンクリートのデータがないため、FA コンクリートのデータを用いる。

*3：Am は高炉スラグコンクリートのデータがないため、FA モルタルのデータを FA コンクリート相当に換算した値を用いる。(高炉スラグモルタルより FA モルタルの分配係数の方が小さいため、FA モルタルのデータを用いる。)

(2) 難透水性覆土初期状態の分配係数

当社分配係数データのうち、候補材料である Ca 型 30wt%配合の平均値と Na 型 30wt%配合、20wt%配合、15wt%配合のデータの平均値を比較し、最小値を初期状態の分配係数とする。ただし Na 型のデータについては、難透水性覆土の配合仕様を考慮し、30wt%配合のデータを優先する。難透水性覆土の初期状態の分配係数の考え方を第 9 図に、難透水性覆土の初期状態の分配係数を第 20 表に示す。

なお、Na 型を用いた場合を考慮し、Na 型 30wt%配合、20wt%配合及び 15wt%配合のデータを用いて初期状態の分配係数を設定すると、Ni と Cs の分配係数が第 20 表の値に比べて小さくなるが、他の元素については Ca 型と同等である。



第 9 図 難透水性覆土の初期状態の分配係数の考え方

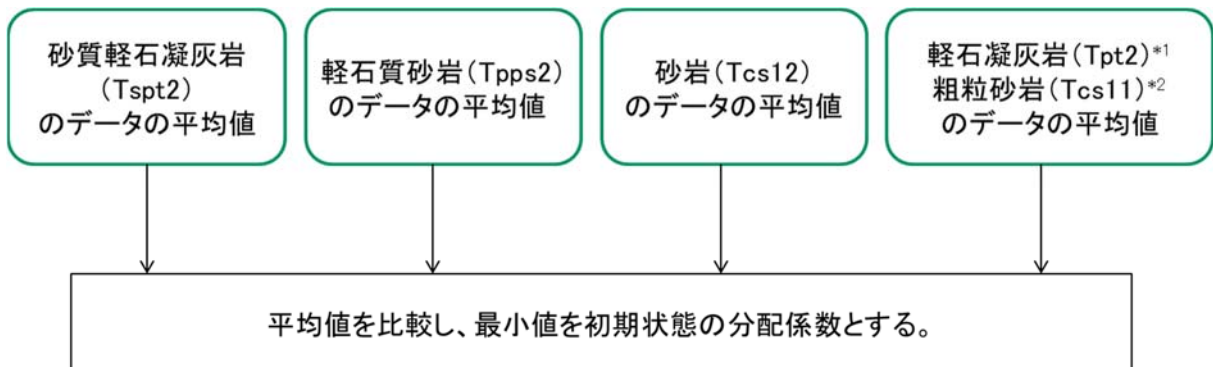
第 20 表 難透水性覆土の初期状態の分配係数

元素	Na 型						Ca 型		難透水性覆土の初期状態の分配係数 (m ³ /kg)
	15wt%配合		20wt%配合		30wt%配合		30wt%配合		
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C*1	3	0.0012	—	—	—	—	—	—	0
Cl	3	0.00021	—	—	3	0	5	0	0
Co	2	0.051	2	0.04	—	—	5	2.543	0.04
Ni	2	0.056	2	0.04	3	0.799	5	1.802	0.799
Sr	2	0.251	2	0.192	—	—	5	0.389	0.192
Nb	—	—	—	—	3	0.547	5	0.542	0.542
Tc	2	0	2	0	—	—	5	0.00025	0
I	2	0	2	0	—	—	5	0.00049	0
Cs	5	0.482	2	0.147	3	1.343	5	1.721	1.343
Pu	2	1.149	—	—	—	—	8	0.03	0.03
Am	—	—	—	—	3	6.479	5	8.29	6.479

*1 : C は難透水性覆土による収着を見込まない。

(3) 岩盤(鷹架層)初期状態の分配係数

当社分配係数データのうち、埋設設備から尾駈沼までの移行経路上の主な岩層のデータについて、それぞれ元素ごとに平均値を求めて比較し、最小値を初期状態の分配係数とする。岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数の考え方を第 10 図に、岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(3号廃棄物埋設施設)を第 21 表に、岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(1号及び2号廃棄物埋設施設)を第 22 表に示す。



*1 : 3号廃棄物埋設施設

*2 : 1号及び2号廃棄物埋設施設

第10図 岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数の考え方

第21表 岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(3号廃棄物埋設施設)

元素	凝灰岩				砂岩				岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数 (m ³ /kg)
	砂質軽石凝灰岩 (Tspt2)		軽石凝灰岩 (Tpt2)		軽石質砂岩 (Tpps2)		砂岩 (Tcs12)		
	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	N	平均値 (m ³ /kg)	
C*1	3	0.0016	—	—	—	—	—	—	0.0001
Co	—	—	67	0.332	15	0.206	3	0.19	0.19
Ni	46	0.276	119	0.239	19	0.184	29	0.726	0.184
Sr	83	0.328	67	0.165	29	0.924	53	0.347	0.165
Nb	3	0.024	10	5.5	10	0.022	3	2.115	0.022
Tc	14	0.00016	29	0.00013	19	0.0001	11	0.002	0.0001
I	8	0.00009	22	0.00014	9	0.00003	11	0.00037	0.00003
Cs	89	1.896	169	0.923	32	2.851	53	1.981	0.923
Pu	10	0.309	5	0.222	3	0.028	3	0.027	0.027
Am	—	—	10	0.151	3	1.453	3	1.6	0.151

*1 : Cは微生物影響による無機化を考慮し0.0001m³/kgとする。

第 22 表 岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(1号及び2号廃棄物埋設施設)

元素	凝灰岩		砂岩						岩盤(鷹架層)の初期状態の分配係数(m ³ /kg)
	砂質軽石凝灰岩(Tspt2)		軽石質砂岩(Tpps2)		砂岩(Tcs12)		粗粒砂岩(Tcs11)		
	N	平均値(m ³ /kg)	N	平均値(m ³ /kg)	N	平均値(m ³ /kg)	N	平均値(m ³ /kg)	
C*1	3	0.0016	—	—	—	—	3	0.0023	0.0001
Cl	9	0.00012	16	0.000067	3	0.00029	6	0.00012	0.000067
Co	—	—	15	0.206	3	0.19	—	—	0.19
Ni	46	0.276	19	0.184	29	0.726	49	0.444	0.184
Sr	83	0.328	29	0.924	53	0.347	85	0.243	0.243
Nb	3	0.024	10	0.022	3	2.115	—	—	0.022
Tc	14	0.00016	19	0.0001	11	0.002	10	0.00026	0.0001
I	8	0.00009	9	0.00003	11	0.00037	7	0.00016	0.00003
Cs	89	1.896	32	2.851	53	1.981	88	1.35	1.35
Pu	10	0.309	3	0.028	3	0.027	2	4.543	0.027
Am	—	—	3	1.453	3	1.6	2	36.332	1.453

*1：Cは微生物影響による無機化を考慮し0.0001m³/kgとする。

5. 影響事象による各バリア材料への放射性物質の収着影響

(1) 放射性物質の収着性に影響すると考えられる事象

「2.(5) 分配係数設定において対象とする影響事象」の影響事象分析を基に抽出された影響事象を第23表に示す。これらの影響事象について、分配係数試験結果や文献から収着影響度*1を求め、影響事象の比較及び重畳を考慮し、分配係数低下係数を求める。

なお、岩盤(鷹架層)については、地下水との反応(溶脱)、有機物及び地下水との反応(塩)の影響が埋設設備近傍の領域に限られるため収着影響はないものとする。

*1：収着影響が大きいほど収着影響度の数値は小さくなる。

第 23 表 影響事象分析で抽出された影響事象

影響事象		バリア材料	内容
地下水との反応	溶脱	セメント系材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 主要鉱物が地下水との接触により溶脱し、収着性が低下し得る。 ・ 地下水浸入量が大きいほど影響が大きい。 ・ 溶脱に伴い C-S-H ゲルの電荷が正から負に変化することにより収着性が変化する。
	塩	セメント系材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 均質・均一固化体中の塩物質(硫酸塩、ほう酸塩)が、放射性物質の収着性に影響を及ぼす可能性がある。
難透水性覆土			
金属腐食	セメント系材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄体に含まれる金属及び容器の腐食によって、酸化還元環境が変化し、収着性に影響する可能性がある。 	
	難透水性覆土		
有機物	セメント系材料	<ul style="list-style-type: none"> ・ 廃棄物埋施設設中(埋設設備、廃棄体)の有機物が、放射性物質と錯体を形成することにより収着性が低下する。 	
	難透水性覆土		
微生物	難透水性覆土	<ul style="list-style-type: none"> ・ 微生物の活動により、炭素が無機化することにより収着性が低下すると考えられる。 	
	岩盤(鷹架層)		

(2) 考慮する影響事象

影響事象については、地下水との反応(溶脱、塩)、金属腐食、有機物及び微生物の収着影響がある。

地下水との反応(溶脱)は、非調和的な溶解が緩慢に進展するもので長期的な変化であると想定されることから、評価期間 1,000 年では収着影響は考慮しないものとする。

金属腐食は、廃棄物埋施設設周辺は酸化雰囲気であること、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⁽²¹⁾があることから、核種の還元が生じるような金属腐食の収着影響は考慮しないものとする。

微生物は、炭素の初期状態の分配係数について微生物の影響を考慮しているため、収着影響としては考慮しないものとする。

影響事象ごとの各バリア材料への収着影響の考慮の有無を第 24 表に示す。

第 24 表 影響事象ごとの各バリア材料への収着影響の考慮の有無

影響事象		バリア材料	収着影響の考慮の有無	
			2号及び3号 廃棄物埋設施設	1号廃棄物埋設施設
地下水との反応	溶脱	セメント系材料	—	—
	塩*1	セメント系材料	—	○
		難透水性覆土	—	○
金属腐食		セメント系材料	—	—
		難透水性覆土	—	—
有機物		セメント系材料	○	○
		難透水性覆土	○	○
微生物		難透水性覆土	—	—
		岩盤(鷹架層)	—	—

○：収着影響を考慮する

—：収着影響を考慮しない

*1：1号廃棄物埋設施設のみ

(3) 確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方

影響事象による収着影響として、確からしい設定及び厳しい設定で異なるものは、有機物では、セルロースの分解率とした。確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方を第 25 表に示す。

第 25 表 確からしい設定及び厳しい設定における収着影響の考え方

影響事象	確からしい設定	厳しい設定
地下水との反応(塩)	共通	
有機物	セルロースの 分解率 5%を想定 ⁽²²⁾	セルロースの 分解率 30%を想定 ⁽²²⁾

(4) 収着影響の重畳

1号廃棄物埋設施設における収着影響は、地下水との反応(塩)による収着影響を考慮するため、有機物の収着影響との重畳を考慮する。具体的には、有機物による収着影響度と地下水との反応(塩)による収着影響度を掛け合わせる。

(5) 炭酸の影響について

炭酸の影響については、埋設設備の環境条件によっては、地下水中に含まれる重炭酸イオンが 4 元素 (Co, Ni, Pu, Am) と炭酸錯体を生成し、収着性が変化することが懸念される。埋設設備の環境条件であるが、酸化還元環境は酸化性地下水 (FOHP)⁽²³⁾ と同等か、鉄の腐食反応により還元的であり、pH についてはセメント環境中であり pH12 程度である。

埋設設備の環境条件での化学形態を推定するため、地球化学計算コード PHREEQC (Ver. 3.4.0) を用いた化学平衡計算を行った。計算には、熱力学データベース 140331c0.tdb (JAEA-TDB 2014 年 3 月版) を用いた。

また、計算において地下水組成は、FOHP を参照した (第 26 表)。Cl、Co、Ni、Sr、Nb、Tc、I、Cs、Pu 及び Am の 10 元素を対象とし、各元素の濃度は、Cl のみ FOHP の Cl 濃度とし、それ以外の元素は 1×10^{-10} mol/L とした。化学形態の pH 依存性については、FOHP の pH (8.64) を起点とし、酸性側 (\leq pH 8.6) は HCl (Cl のみ H₂SO₄)、塩基性側 (\geq pH 8.7) は NaOH を添加することにより所定の pH となるように設定した。このとき、想定される埋設環境では、地下水は覆土により大気とは遮断された状態であり、全重炭酸イオン濃度は初期値から変化しないものとした。

第 26 表 FOHP の組成

pH	8.46
pe	8.00
Na (mol/L) *1	3.22×10^{-3}
K (mol/L)	5.79×10^{-5}
Ca (mol/L)	1.01×10^{-4}
Mg (mol/L)	6.50×10^{-5}
C (mol/L)	3.54×10^{-3}
S (mol/L)	1.00×10^{-6}
Cl (mol/L)	4.40×10^{-6}
Al (mol/L)	3.61×10^{-7}
Si (mol/L)	3.40×10^{-4}

*1: 電荷バランスを調整

計算により求めた各元素の溶存種の化学形態に基づくと、Co 及び Ni は、中性～pH11 程度では炭酸錯体が生成するが pH11 以上では水酸化物が支配的となる。また、Pu に

については、中性～pH11 ではヒドロキソ炭酸錯体 ($\text{Pu}(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2^{2-}$) が pH11 以上では水酸化物 ($\text{Pu}(\text{OH})_4$) が支配的となる(「5. (7) (ix) 有機物による収着影響度(セメント系材料)まとめ」参照)。Am については、中性～pH11 では炭酸錯体 (AmCO_3^+ 、 $\text{Am}(\text{CO}_3)_3^{3-}$)、pH11 以上では水酸化物 ($\text{Am}(\text{OH})_3$) が支配的となる。

そのため化学計算においては、埋設設備内で化学形態は炭酸錯体ではなく、水酸化物であると想定されるため、炭酸による影響は考え難い。

廃棄物埋設施設で想定される元素の化学形態(pH11 以上)を第 27 表に示す。

一方で、分配係数試験では核種だけではなく、液相や固相への炭酸影響を考慮して試験を実施する必要がある。覆土完了後に廃棄物埋設地に地下水が浸入した場合に埋設環境は、地下水中の重炭酸イオンが埋設設備内のセメント系材料と反応し炭酸カルシウムが沈殿し⁽²⁴⁾、化学平衡に至った環境条件と想定される。そのため分配係数の試験条件では、廃棄物埋設地周辺の地下水中の炭酸成分(補足説明資料足 7「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号(廃止措置の開始後の評価) 線量評価パラメータ-埋設設備からの流出水量- 第 3 表 水質試験結果」)を考慮した模擬地下水とセメントの平衡水を液相に用いて分配係数を取得した。また、セメント固相は、固相表面に大気中の二酸化炭素との反応による炭酸カルシウムの生成を避けるため、雰囲気制御したグローブボックス内で粉砕等の前処理を実施した。試験中は覆土後の大気と遮断された状態を想定し、容器を密閉した状態(グローブボックスを用いずに大気雰囲気下で実施)で反応させ、試験中における大気からの炭酸の影響を排除し分配係数を取得した。なお、第 28 表に示した試験前後の pH の値から、試験中において大気からの炭酸の影響は排除できたと考えられるが、Pu の価数については確認ができていない。さらに試験においては、第 29 表に示すように液相中に炭酸成分が含まれているが炭酸錯体が生成した場合のような分配係数の大きな低下はないと考えられる(参考資料 2 第 3 表参照)。

第 27 表 廃棄物埋設施設で想定される元素の化学形態 (pH11 以上)

元素	化学形態
C	多様な化学形態
Cl	Cl ⁻
Co	Co(OH) ₂ (aq)
Ni	Ni(OH) ₃ ⁻
Sr	Sr ²⁺
Nb	Nb(OH) ₆ ⁻
Tc	TcO ₄ ⁻
I	I ⁻
Cs	Cs ⁺
Pu	Pu(OH) ₄ (aq)
Am	Am(OH) ₃

第 28 表 浸漬試験前後の液相の pH 測定結果

	pH(試験前)	pH(試験後)
配合 1 *1	12.03	12.01
配合 2 *1	12.04	12.00
配合 3 *1	12.40	12.39

*1: 充填モルタルの 3 種類の候補材料(参考資料 2 を参照)

第 29 表 炭酸成分の濃度の比較

配合	(mg/L)			
	最小値		最大値	平均値
第四紀層*1	5.6	～	30.6	16.4
配合 1 *2	12.6	～	22.2	15.6
配合 2 *2	37.8	～	48.0	41.4
配合 3 *2	3.5	～	7.2	5.2

*1: 補足説明資料 7 「添付 4 「事業所敷地の水質試験結果 第 3 表」を参照

*2: 充填モルタルの 3 種類の候補材料(参考資料 2 を参照)

(6) 地下水との反応(塩)による収着影響

(i) 塩による収着影響について

塩による収着影響は、1号廃棄物埋設施設の均質・均一固化体に含まれる塩を対象とし、分配係数試験のデータを用いて評価する。均質・均一固化体に含まれる可溶性塩の量を第30表に示す。

第30表 均質・均一固化体に含まれる可溶性塩の量

	平均重量(kg/本)*1	備考
硫酸塩	約 21	硫酸塩は、主に BWR 廃棄体に含まれている(BWR 廃棄体 1 本当たり、約 15kg～約 120kg 含まれている)。
ほう素 (ほう酸塩)	約 3.0	ほう素(ほう酸塩)は、主に PWR 廃棄体に含まれている(PWR 廃棄体 1 本当たり、約 3.0kg～約 18kg 含まれている)。

*1：これまでの埋設実績から、炉型の区別をせずに廃棄体 1 本あたりに含まれる平均重量を算定。

均質・均一固化体に関しては、実廃棄体を用いた塩による収着影響を含んだデータのため、収着影響度を考慮しない。ただし、C1 に関しては、実固化体を用いた分配係数試験データがないことから、塩を用いた充填材の収着分配係数試験データを用いて収着影響度を評価する。

塩による収着影響は、影響が 0 年から高濃度のまま長期間に生じることを考慮し、確からしい設定と厳しい設定で共通とする。

埋設設備内の塩の濃度は、均質・均一固化体中の塩量を基に、廃棄体からの塩の溶出挙動及び地下水の流れを考慮し、「各種バリア材の分配係数について」⁽¹⁵⁾で設定された濃度(硫酸塩 3%、ほう酸塩 0.1%)とする。

(ii) 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度

a. セメント系材料(廃棄体(充填固化体)及び充填材)

塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(廃棄体(充填固化体)及び充填材)を第 31 表に示す。

塩を添加した場合の分配係数を塩なしの場合の分配係数で除し、それぞれ元素ごとに収着影響度を求める(除した値が 1 以上の場合は収着影響度を 1 とする)。

Pu 及び Am 以外の元素については、最も収着影響が大きい(緑枠の中で収着影響度の数値が最も小さい)値を丸めた値を収着影響度とする。

Pu 及び Am に関しては収着影響度が 1 未満となるものもあるが、分配係数の値が大きく、収着する割合は誤差レベルとなるため収着影響度は 1 とする。データのない Cl、Tc 及び I に関しては、第 7 表のグループ分けからの類推は困難であるが、第 27 表で示すようにアルカリ環境では Ni 及び Nb と同じ陰イオン元素であるため、Ni 及び Nb と同じ収着影響度とした。また、Cl、Tc 及び I は、比較的分配係数が小さいため、仮に収着影響度の値が 0.1 より大幅に小さいとしても線量結果に大きく影響はないと考える。

第 31 表 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度
(廃棄体(充填固化体)及び充填材)

元素	分配係数試験結果 (m ³ /kg)			各塩による収着影響度		塩による収着影響度
	塩なし	3.0%硫酸塩	0.1%ほう酸塩	3.0%硫酸塩	0.1%ほう酸塩	
C	0.0078	0.01	—	1	—	1
Cl	0.00198	—	—	—	—	0.1
Co	4.96	0.771	3.669	0.16	0.74	
Ni	3.754	1.338	1.296	0.36	0.35	
	0.076	0.1	—	1	—	
Sr	0.027	0.039	0.02	1	0.74	
Nb	2.869	0.656	0.664	0.23	0.23	
Tc	0.00031	—	—	—	—	
I	0.00037	—	—	—	—	
Cs	0.115	0.036	0.06	0.31	0.52	
Pu	58	53	48	0.91	0.83	1
Am	52	61	56	1	1	

b. セメント系材料(コンクリート)

塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(コンクリート)を第 32 表に示す。

塩を添加した場合の分配係数を塩なしの場合の分配係数で除し、それぞれ元素ごとに収着影響度を求める(除した値が 1 以上の場合は収着影響度を 1 とする)。

Pu 及び Am 以外の元素については、最も収着影響が大きい(緑枠の中で収着影響

度の数値が最も小さい) 値を丸めた値を収着影響度とする。

Pu 及び Am に関しては収着影響度が 1 未満となっているが、分配係数の値が大きく、収着する割合は誤差レベルとなるため収着影響度は 1 とする。

第 32 表 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(コンクリート)

元素	分配係数試験結果 (m ³ /kg)			各塩による収着影響度		塩による収着影響度
	塩なし	3.0% 硫酸塩	0.1% ほう酸塩	3.0% 硫酸塩	0.1% ほう酸塩	
C	0.0039	0.0082	—	1	—	1
Cl	—	—	—	—	—	0.02
Co	1.846	0.154	0.415	0.084	0.22	
Ni	2.9	0.498	0.079	0.17	0.027	
Sr	0.019	0.037	0.0096	1	0.51	
Nb	0.62	0.09	0.234	0.15	0.38	
Tc	0.0015	—	—	—	—	
I	0.00033	—	—	—	—	
Cs	0.065	0.033	0.046	0.51	0.71	
Pu	61	54	34.943	0.89	0.57	1
Am	72	58	48	0.81	0.67	

c. 難透水性覆土

塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(難透水性覆土)を第 33 表に示す。

難透水性覆土への塩による収着影響については、塩を用いた分配係数試験結果から、塩を添加した場合の分配係数を健全試料の分配係数で除し、それぞれ塩による収着影響度を求め、最も影響が大きい値を丸め、塩による収着影響度とする。

また、難透水性覆土には C に対するで収着性を期待しない。

第 33 表 塩を用いた分配係数試験結果及び塩による収着影響度(難透水性覆土)

元素	分配係数試験結果 (m ³ /kg)		硫酸塩による 収着影響度	塩による 収着影響度
	健全試料	0.5M(7%) Na ₂ SO ₄		
C	—	—	—	0.07
Cl	—	—	—	
Co	—	—	—	
Ni	1.803	0.133	0.074	
Sr	—	—	—	
Nb	0.539	0.046	0.085	
Tc	—	—	—	
I	—	—	—	
Cs	1.696	0.127	0.075	
Pu	—	—	—	
Am	8.289	1.766	0.21	

(iii) 塩による収着影響度まとめ

塩による収着影響度(確からしい設定・厳しい設定共通)を第 34 表に示す。

第 34 表 塩による収着影響度(確からしい設定・厳しい設定共通)

元素	塩による収着影響度				
	廃棄体		充填材	コンクリート	難透水性覆土
	均質・均一 固化体*1	充填固化体			
C	1	1	1	1	—
Cl	1×10 ^{-1*2}	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Co	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Ni	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Sr	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Nb	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Tc	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
I	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Cs	1	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	7×10 ⁻²
Pu	1	1	1	1	7×10 ⁻²
Am	1	1	1	1	7×10 ⁻²

*1：均質・均一固化体に関しては、塩による収着影響の評価を含むデータのため、収着影響度を考慮しない。

*2：充填材の収着影響度を用いる。

(7) 有機物による収着影響

有機物は、放射性物質と錯体を形成することが想定され、錯体を形成する場合には収着性に影響すると考えられる。

有機物による収着影響については、有機物の分解生成物を用いた分配係数試験の結果を用いて評価する。

埋設設備に使用される有機物の種類及び量は、1号及び2号廃棄物埋設施設の使用実績を考慮する。

廃棄体に含まれる有機物の種類及び量は、「低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽²⁴⁾を考慮する。

(i) 有機物を用いた収着影響の評価

有機物の分解生成物のうち、イソサッカリン酸(ISA)は既往知見⁽⁴⁾⁽²⁵⁾より、金属元素と錯体を形成して金属元素のバリア材料への収着性を低下させ、ISAの濃度が高いほど収着影響が大きいことが知られている。

また、ISA以外の分解生成物についても収着性を低下させる可能性が考えられる。収着影響については、廃棄物埋設施設中の分解生成物濃度(計算値)を基に、分解生成物の飽和濃度及び分解生成物の収着性、液固比(廃棄物埋設施設)を考慮した濃度条件で試験を行い、セメント系材料及び難透水性覆土の有機物による収着影響を評価する。

Cについては既往知見⁽⁴⁾⁽²⁵⁾より有機物の分解生成物による収着影響がみられないと考えられるため、有機物による収着影響はないこととする。

(ii) 廃棄物埋設施設中の有機物及びその量について

廃棄物埋設施設中の有機物は、埋設設備に使用されるものと廃棄体に含まれるものがある。埋設設備に使用される主な有機物は、補修材のウレタン樹脂及びエポキシ樹脂、埋設設備構築のためのポリ塩化ビニル樹脂(シート)である。廃棄体に含まれる有機物は、ポリ塩化ビニル樹脂及びセルロースである。これら有機物はそのままの状態では収着性に影響しないが、これら有機物の埋設環境下での分解生成物が、収着性に影響すると考えられる。

ウレタン樹脂はジアミノトルエン(DAT)が、エポキシ樹脂やポリ塩化ビニル樹脂中の可塑剤はフタル酸が、セルロースはISAが主な分解生成物であるため、これらの影響を評価する。

なお、埋設設備の充填材にはセルロース系の化学混和剤(増粘剤)が用いられているが、長期的なセルロースの分解によって生じる ISA が収着性に大きく影響を及ぼすと考えられる。ISA の影響は、廃棄体に含まれるセルロースの分解生成物の全量を ISA とする評価をしており、埋設設備の充填材におけるセルロース系の化学混和剤(増粘剤)の影響はこの評価に包含される。

a. 3号廃棄物埋設施設

埋設設備に使用される有機物は、1号及び2号廃棄物埋設施設の使用量(実績)を基に、廃棄体に含まれる有機物は、「低レベル放射性廃棄物処分廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽²⁴⁾を基に3号廃棄物埋設施設の埋設廃棄体211,200本分への換算により各施設の有機物量を試算し、いずれかの施設で有機物量の大きい値を3号廃棄物埋設施設の有機物量とした。3号廃棄物埋設施設の有機物量の算出に用いたデータを第35表に示す。

- ・主な分解生成物が DAT であるウレタン樹脂については、有機物量を1号廃棄物埋設施設と2号廃棄物埋設施設で比較して、量の多い2号廃棄物埋設施設の有機物量を用いる。
- ・主な分解生成物がフタル酸であるものには、エポキシ樹脂とポリ塩化ビニル樹脂があるが、エポキシ樹脂については、有機物量を1号廃棄物埋設施設と2号廃棄物埋設施設で比較して、量の多い1号廃棄物埋設施設の有機物量を用いる。ポリ塩化ビニル樹脂については、2号廃棄物埋設施設の有機物量と充填固化体の有機物量の合計量を用いる。
- ・主な分解生成物が ISA であるセルロースについては、充填固化体にのみ存在するため、この有機物量を用いる。

第 35 表 3 号廃棄物埋設施設の有機物量の算出に用いたデータ

	廃棄物埋設施設	有機物	有機物量 (g)	分解生成物
埋設設備	1 号廃棄物埋設施設	ウレタン樹脂	3.0×10^6	DAT
		エポキシ樹脂	1.3×10^7	フタル酸
	2 号廃棄物埋設施設	ポリ塩化ビニル樹脂	4.7×10^4	フタル酸
		ウレタン樹脂	3.9×10^6	DAT
		エポキシ樹脂	8.3×10^6	フタル酸
廃棄体	2 号廃棄物埋設施設	セルロース	3.1×10^7	ISA
		ポリ塩化ビニル樹脂	1.2×10^9	フタル酸

b. 1 号廃棄物埋設施設

埋設設備に使用される有機物であるウレタン樹脂、エポキシ樹脂及びポリ塩化ビニル樹脂について、1 号廃棄物埋設施設及び 2 号廃棄物埋設施設の使用量(実績)をそれぞれ 8 群分に換算し、それぞれ量の多い廃棄物埋設施設の有機物量を用いる。廃棄体に含まれる有機物は、「低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽²⁴⁾を基に、1 号廃棄物埋設施設 8 基分の埋設廃棄体 40,960 本分に換算して、廃棄体に含まれる有機物量とした。1 号廃棄物埋設施設の有機物量の算出に用いたデータを第 36 表に示す。

- ・主な分解生成物が DAT であるウレタン樹脂については、有機物量を 1 号廃棄物埋設施設と 2 号廃棄物埋設施設で比較して、量の多い 2 号廃棄物埋設施設の有機物量を用いる。
- ・主な分解生成物がフタル酸であるものには、エポキシ樹脂とポリ塩化ビニル樹脂があるが、エポキシ樹脂については、有機物量を 1 号廃棄物埋設施設と 2 号廃棄物埋設施設で比較して、量の多い 1 号廃棄物埋設施設の有機物量を用いる。ポリ塩化ビニル樹脂については、2 号廃棄物埋設施設の有機物量と充填固化体 40,960 本分の有機物量の合計量を用いる。
- ・主な分解生成物が ISA であるセルロースについては、充填固化体 40,960 本分の有機物量を用いる。

第 36 表 1 号廃棄物埋設施設の有機物量の算出に用いたデータ

	廃棄物埋設施設	有機物	有機物量 (g)	分解生成物
埋設設備	1 号廃棄物埋設施設	ウレタン樹脂	3.0×10^6	DAT
		エポキシ樹脂	1.3×10^7	フタル酸
	2 号廃棄物埋設施設	ウレタン樹脂	3.9×10^6	DAT
		エポキシ樹脂	8.3×10^6	フタル酸
		ポリ塩化ビニル樹脂	4.7×10^4	フタル酸
廃棄体	2 号廃棄物埋設施設	セルロース	6.0×10^6	ISA
		ポリ塩化ビニル樹脂	2.3×10^8	フタル酸

c. 2 号廃棄物埋設施設

埋設設備に使用される有機物は、2 号廃棄物埋設施設の使用量(実績)を基に、廃棄体に含まれる有機物は、「低レベル放射性廃棄物処分廃棄体製作技術について(各種固体状廃棄物)」⁽²⁴⁾を基に、207,360 本分に換算して埋設設備に使用される有機物量とした。2 号廃棄物埋設施設の有機物量の算出に用いたデータを第 37 表に示す。

第 37 表 2 号廃棄物埋設施設の有機物量の算出に用いたデータ

	有機物	有機物量 (g)	分解生成物
埋設設備	ポリ塩化ビニル樹脂	4.7×10^4	フタル酸
	ウレタン樹脂	3.9×10^6	DAT
	エポキシ樹脂	8.3×10^6	フタル酸
廃棄体	セルロース	3.1×10^7	ISA
	ポリ塩化ビニル樹脂	1.2×10^9	フタル酸

(iii) 有機物の分解率

有機物から生成する分解生成物は、濃度が高いほど分配係数への影響が大きいと考えられるため、セルロースの分解率を基に有機物影響を評価する。

Glaus らの報告によるセルロースの分解率⁽²⁰⁾を第 11 図に示す。この図からセルロース(紙)の分解率(第 11 図の PaperC3)は、分解速度が最も大きい 2 年程度の間において 0.05 を超えないが、セルロースの分解率は長期的に徐々に増加しているため、外挿した場合には 0.05 を超える可能性はある。実際には、埋設設備内の分解生成物の間隙濃度は、セルロースの分解速度及び廃棄物埋設施設に浸入する地下水に

よる液交換の速度で決まるため、分解率が長期的に微増しても、分解率が 0.05 での濃度を大きく超えることは考え難い。そのため、確からしい設定におけるセルロースの分解率は 0.05 とする。一方で厳しい設定においては、セルロースの分解率は 0.3 を超えないことから、分解率を 0.3 と設定した。

また、核種移行評価における分配係数の設定では、上記の分解率で瞬時に有機物から分解生成物が生成し分配係数が低下する影響を考慮した分配係数値を全評価期間で設定している。そのため長期の影響を十分に包含していると言える。

ポリ塩化ビニル樹脂(可塑剤)、ウレタン樹脂及びエポキシ樹脂は、瞬時に全量分解するものとし、確からしい設定と厳しい設定ともに分解率を 1 とした。

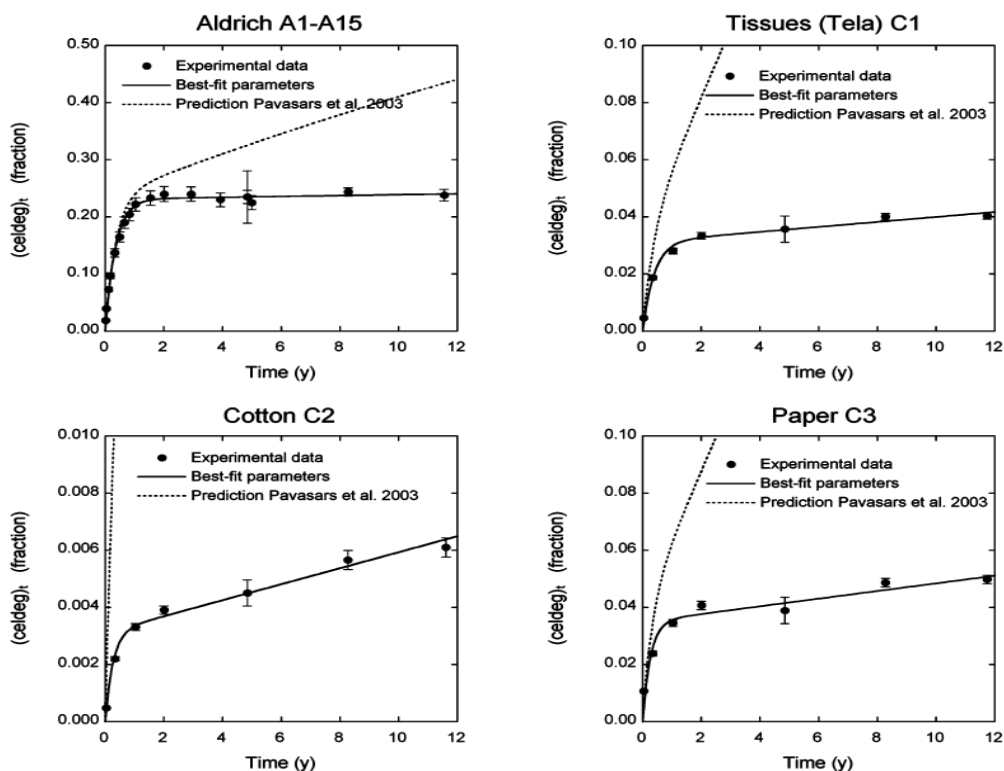


FIGURE 3. Extent of cellulose degradation based on ISA data as a function of time during degradation of various cellulose types in ACW-I. Comparison of the prediction of Pavasars et al. (16) with the best-fit parameters for eq 3 given in Table 2.

第 11 図 セルロースの分解率

(iv) 分解生成物の物質質量

a. 3号廃棄物埋設施設

1号及び2号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量及び有機物の分解率から、3号廃棄物埋設施設における分解生成物の物質量を求める。分解生成物の物質量(3号廃棄物埋設施設)を第38表に示す。

第38表 分解生成物の物質量(3号廃棄物埋設施設)

分解生成物	有機物	設定	有機物量(g)	分解率	係数	分解生成物量(g)	分解生成物の分子量(g/mol)	物質量(mol)
フタル酸	ポリ塩化ビニル樹脂	共通	1.2×10^9	1	0.4^{*1}	$4.8 \times 10^{8*2}$	390.5^{*3}	1.3×10^6
	エポキシ樹脂	共通	1.3×10^7	1	1	1.3×10^7	148.1	
DAT	ウレタン樹脂	共通	3.9×10^6	1	1	3.9×10^6	122.1	3.2×10^4
ISA	セルロース	確からしい設定	3.1×10^7	0.05	1.1^{*4}	1.7×10^6	180.15	9.5×10^3
		厳しい設定	3.1×10^7	0.3	1.1^{*4}	1.0×10^7	180.15	5.7×10^4

*1: ポリ塩化ビニル樹脂中にフタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))として40%添加されているものとした。

*2: フタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))の量。

*3: フタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))の分子量。

*4: セルロースからISAが生成する際の加水分解に伴う分解生成物量の増加を考慮し1.1とした。

b. 1号廃棄物埋設施設

1号及び2号廃棄物埋設施設に存在する有機物の存在量及び有機物の分解率から、1号廃棄物埋設施設における分解生成物の物質量を求める。分解生成物の物質量(1号廃棄物埋設施設)を第39表に示す。

第 39 表 分解生成物の物質量(1号廃棄物埋施設)

分解生成物	有機物	設定	有機物量 (g)	分解率	係数	分解生成物量 (g)	分解生成物の分子量 (g/mol)	物質量 (mol)
フタル酸	ポリ塩化ビニル樹脂	共通	2.3×10^8	1	0.4 ^{*1}	$9.2 \times 10^{7*2}$	390.5 ^{*3}	3.3×10^5
	エポキシ樹脂	共通	1.3×10^7	1	1	1.3×10^7	148.1	
DAT	ウレタン樹脂	共通	3.9×10^6	1	1	3.9×10^6	122.1	3.2×10^4
ISA	セルロース	確からしい設定	6.0×10^6	0.05	1.1 ^{*4}	3.3×10^5	180.15	1.8×10^3
		厳しい設定	6.0×10^6	0.3	1.1 ^{*4}	2.0×10^6	180.15	1.1×10^4

*1: ポリ塩化ビニル樹脂中にフタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))として 40% 添加されているものとした。

*2: フタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))の量。

*3: フタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))の分子量。

*4: セルロースから ISA が生成する際の加水分解に伴う分解生成物量の増加を考慮し 1.1 とした。

c. 2号廃棄物埋施設

2号廃棄物埋施設に存在する有機物の存在量及び有機物の分解率から、2号廃棄物埋施設における分解生成物の物質量を求める。分解生成物の物質量(2号廃棄物埋施設)を第 40 表に示す。

第 40 表 分解生成物の物質量(2号廃棄物埋施設)

分解生成物	有機物	設定	有機物量 (g)	分解率	係数	分解生成物量 (g)	分解生成物の分子量 (g/mol)	物質量 (mol)
フタル酸	ポリ塩化ビニル樹脂	共通	1.2×10^9	1	0.4 ^{*1}	$4.8 \times 10^{8*2}$	390.5 ^{*3}	1.3×10^6
	エポキシ樹脂	共通	1.3×10^7	1	1	1.3×10^7	148.1	
DAT	ウレタン樹脂	共通	3.9×10^6	1	1	3.9×10^6	122.1	3.2×10^4
ISA	セルロース	確からしい設定	3.1×10^7	0.05	1.1 ^{*4}	1.7×10^6	180.15	9.5×10^3
		厳しい設定	3.1×10^7	0.3	1.1 ^{*4}	1.0×10^7	180.15	5.7×10^4

*1: ポリ塩化ビニル樹脂中にフタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))として 40% 添加されているものとした。

*2: フタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))の量。

*3: フタル酸系の可塑剤(フタル酸ビス(2-エチルヘキシル))の分子量。

*4: セルロースから ISA が生成する際の加水分解に伴う分解生成物量の増加を考慮し 1.1 とした。

(v) 各廃棄物埋設施設の間隙体積

廃棄体、充填材、コンクリートそれぞれの全体積に影響物質の濃度が高くなるように保守側の間隙率(0.2)を乗じ間隙体積を求める。

廃棄体の上部空隙は、廃棄体 1 本当たり、10L(200L×5%)とし、3号廃棄物埋設施設は 211,200 本、1号廃棄物埋設施設は 204,800 本、2号廃棄物埋設施設は 207,360 本を乗じて求めた。

充填材は、ドラム缶の体積を除いた値を用いた。各廃棄物埋設施設の間隙体積を第 41 表に示す。

第 41 表 各廃棄物埋設施設の間隙体積

	全体積 (m ³)				間隙率	間隙体積 (m ³)		
	3号廃棄物埋設施設	1号廃棄物埋設施設		2号廃棄物埋設施設		3号廃棄物埋設施設	1号廃棄物埋設施設	2号廃棄物埋設施設
		均質・均一固化体	充填固化体					
廃棄体	21,120	21,504	5,018	20,736	0.2	4,224	5,304	4,147
廃棄体上部空隙	(2,112)* ¹	(1,587)* ¹	(461)* ¹	(2,074)* ¹	1.0	2,112	2,048	2,074
充填材(ドラム缶体積除く)	38,619	37,574	10,909	48,124	0.2	7,724	9,697	9,625
コンクリート(鉄筋体積除く)	33,816	36,098	10,480	47,260	0.2	6,763	9,316	9,452
合計	93,555	95,176	26,406	116,120	—	20,823	26,365	25,298

*1：空隙のため合計値には含まない。

(vi) 分解生成物濃度の設定

分解生成物の物質量を各廃棄物埋設施設の間隙体積で除して求めた分解生成物濃度を基に、有機物の溶解度及びセメント系材料への収着性、液固比(試験条件、施設)を考慮して求めた廃棄物埋設施設中の分解生成物濃度を第 42 表に示す。

分解生成物濃度を求めるに当たり、最も濃度が高い 3 号廃棄物埋設施設の濃度を使用した。

第 42 表 廃棄物埋施設中の分解生成物濃度

分解生成物	設定	分解生成物の物質量を各廃棄物埋施設の間隙体積で除して求めた分解生成物濃度 (mol/L)				分解生成物濃度 (mol/L)
		3号廃棄物埋施設	1号廃棄物埋施設		2号廃棄物埋施設	
			1群から6群	7,8群		
フタル酸	共通	6.4×10^{-2}	1.3×10^{-2}	1.3×10^{-2}	5.2×10^{-2}	1×10^{-2}
DAT	共通	1.6×10^{-3}	1.3×10^{-3}	1.3×10^{-3}	1.3×10^{-3}	2×10^{-3}
ISA	確からしい設定	4.6×10^{-4}	-	7.5×10^{-5}	3.8×10^{-4}	1×10^{-5}
	厳しい設定	2.8×10^{-3}	-	4.5×10^{-4}	7.7×10^{-3}	2×10^{-3}

第 42 表で示した分解生成物濃度の設定の考え方は以下のとおり。

- ・ フタル酸の分解生成物濃度は、第 42 表の各廃棄物埋施設の分解生成物濃度及びフタル酸カルシウムの飽和溶解度 ($2 \times 10^{-2} \text{mol/L}$) を考慮し、 $1 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ とした。可塑剤が瞬時に分解しフタル酸が生成するものとし、確からしい設定と厳しい設定で分解生成物濃度を共通とした。
- ・ DAT の分解生成物濃度は、第 42 表の各廃棄物埋施設の分解生成物濃度から $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ とした。ウレタン樹脂が瞬時に分解し DAT が生成するものとし、確からしい設定と厳しい設定で分解生成物濃度を共通とした。
- ・ フタル酸、DAT に関しては、廃棄物埋施設への収着は考慮しないが、ISA に関してはセメント系材料への収着に関する知見⁽⁴⁾があるため、これを基に廃棄物埋施設のセメント系材料への ISA の収着を考慮し、確からしい設定及び厳しい設定の分解生成物濃度を設定した。
- ・ ISA の確からしい設定の分解生成物濃度は、第 42 表の各廃棄物埋施設の分解生成物濃度から $1 \times 10^{-5} \text{mol/L}$ とした。厳しい設定の分解生成物濃度は、飽和溶解度 ($1.8 \times 10^{-2} \text{mol/L}$) を考慮し $2 \times 10^{-3} \text{mol/L}$ とした。

(vii) 有機物を用いた分配係数試験結果(セメント系材料)

有機物影響による分配係数試験の有機物濃度を「5. (7) (vi) 分解生成物濃度の設定」で求めた分解生成物濃度とするが、Cs、Ni 及び Nb における ISA の有機物濃度に関しては、より高い濃度を設定し、確からしい設定で $3 \times 10^{-4} \text{mol/L}$ 、厳しい設定で $1 \times 10^{-2} \text{mol/L}$ の試験結果を用いた。セメント系材料における有機物を用いた分配係数試験結果を第 43 表に示す。

第 43 表 有機物を用いた分配係数試験結果(セメント系材料)

元素	分配係数 (m ³ /kg)						
	有機物なし	フタル酸 1×10 ⁻² (mol/L)	DAT 5×10 ⁻³ (mol/L)	ISA			
				確からしい設定		厳しい設定	
			3×10 ⁻⁴ (mol/L)	1×10 ⁻⁵ (mol/L)	1×10 ⁻² (mol/L)	2×10 ⁻³ (mol/L)	
Cs	0.1	0.113	0.111	0.13	—	0.125	—
Ni	0.144	0.113	0.017	0.1	—	0.079	—
Nb	>4.923	>0.06	>5.268	5.803	—	0.322	—
Pu	>9.857	>6.067	>15.193	—	—*1	—	0.0013

*1 : Pu の 1×10⁻⁵mol/L は TRU2 次レポート⁽²⁵⁾ から収着影響度を設定する。

放射性物質は有機物と錯体を形成することにより、バリア材料への収着性が低下する。1 個の放射性物質は、1 個の有機物と錯体を形成するため、複数の有機物による収着影響は重畳しないものとし、有機物による収着影響は、収着影響が最も大きい有機物で代表することで他の有機物の収着影響を包含できると考える。

各有機物を添加した場合の分配係数を、有機物を添加しない場合の分配係数で除した値を丸め、元素ごとにそれぞれの有機物について収着影響度を求め(除した値が 1 以上の場合は収着影響度を 1 とする)、その中でも影響が最も大きいものをそれぞれの元素における有機物による収着影響度とする。

(viii) 有機物による収着影響度(セメント系材料)

第 43 表に示した有機物を用いた分配係数試験結果から、有機物を添加した場合の分配係数を、有機物を添加しない場合の分配係数で除し、丸めた値を有機物による収着影響度とする。

a. 2 号及び 3 号廃棄物埋設施設

セメント系材料における 2 号及び 3 号廃棄物埋設施設の有機物による収着影響度を第 44 表に示す。

第 44 表 2 号及び 3 号廃棄物埋設施の有機物による収着影響度(セメント系材料)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度	
	フタル酸	DAT	ISA			
	共通	共通	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定
Cs	1	1	1	1	1	1
Ni	1	1×10^{-1}	5×10^{-1}	5×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1	1	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}
Pu	1	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-2}

第 44 表で示した有機物影響による収着影響度は以下の考え方で設定した。

- ・ フタル酸は計算上では収着影響度が 1 未満になる元素もあるが、装置の検出限界の問題であり、収着性の観点ではフタル酸による収着影響はないものとし、全て 1 とした。
- ・ Ni の ISA による収着影響度は、計算上では確からしい設定 0.69、厳しい設定 0.55 だが、確からしい設定と厳しい設定で ISA による収着影響に差異はないものとし確からしい設定、厳しい設定ともに 5×10^{-1} とした。
- ・ Nb の厳しい設定における ISA による収着影響度は計算上では 0.065 となり、これを丸め 5×10^{-2} とした。
- ・ Pu の確からしい設定における ISA による収着影響度は、TRU2 次レポート⁽²⁵⁾から 5×10^{-2} とした。
- ・ Pu の厳しい設定における ISA による収着影響度は計算上 0.026 となり、これを丸め 1×10^{-2} とした。

b. 1 号廃棄物埋設施

有機物を用いた分配係数試験結果から求めたセメント系材料における 1 号廃棄物埋設施の有機物による収着影響度を第 45 表に示す。

第 45 表 1 号廃棄物埋設施設の有機物による収着影響度(セメント系材料)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度		
	施設(1群から8群)		廃棄体(1群から6群では考慮しない)		1群から6群	7,8群	
	フタル酸	DAT	ISA				
	共通	共通	確からしい設定	厳しい設定	共通	確からしい設定	厳しい設定
Cs	1	1	1	1	1	1	1
Ni	1	1×10^{-1}	5×10^{-1}	5×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1	1	5×10^{-2}	1	1	5×10^{-2}
Pu	1	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}

第 45 表で示した有機物影響による収着影響度は以下の考え方で設定した。

- ・ 有機物による収着影響は、1群から6群に関しては、埋設設備に使用される有機物のみ(フタル酸及び DAT)を考慮し、ISA の収着影響は考慮しない。一方で、7,8群に関しては、廃棄体に含まれる有機物もあるため、埋設設備に使用される有機物に加えて ISA の収着影響も考慮する。
- ・ フタル酸は計算上では収着影響度が 1 未満になる放射性物質もあるが、装置の検出限界の問題であり、収着性の観点ではフタル酸による影響はないものとし、全て 1 とした。
- ・ Ni の ISA による収着影響度は、計算上では確からしい設定 0.69、厳しい設定 0.55 だが、確からしい設定と厳しい設定で ISA による収着影響に差異はないものとし確からしい設定、厳しい設定ともに 5×10^{-1} とした。
- ・ Nb の厳しい設定における ISA による収着影響度は、計算上では 0.065 となり、これを丸め 5×10^{-2} とした。
- ・ Pu の確からしい設定における ISA による収着影響度は、TRU2 次レポート⁽²⁵⁴⁾から収着影響度を 5×10^{-2} とした。
- ・ Pu の厳しい設定における ISA による収着影響度は、計算上 0.026 となり、これを丸め 1×10^{-2} とした。

(ix) 有機物による収着影響度(セメント系材料)まとめ

Cl、Co、Sr、Tc、I 及び Am に関しては、以下のとおり収着影響度を設定した。

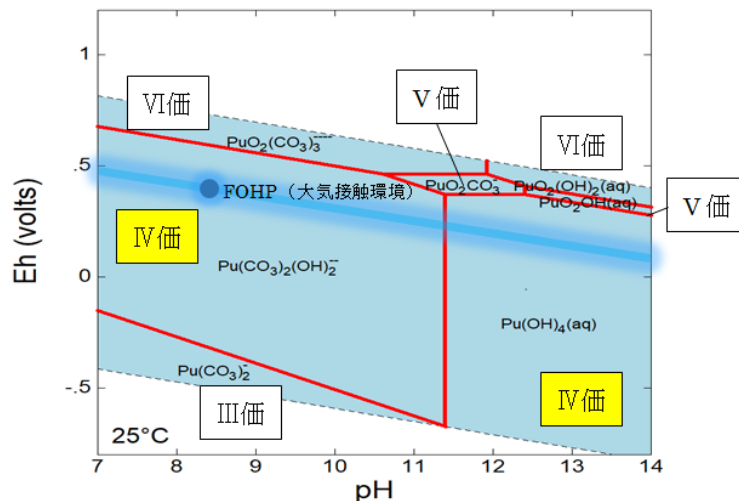
- ・ Co は、同じ遷移金属である Ni、Nb の結果を比較し、収着影響が大きい方(収

着影響度の数値が小さい方)とした。

- ・ Sr は同じ陽イオンの Cs と同じとした。
- ・ 陰イオン(Cl、Tc、I)は、セメント系材料への収着性が小さいこと、また、フタル酸や ISA は液相中では解離して負に帯電しており、陰イオンとの錯体形成による収着影響は小さいと想定されることから有機物による収着影響はないものとした。
- ・ Am は、TRU2 次レポート⁽²⁵⁾に基づき Pu と収着影響度を同じとした。

TRU2 次レポート⁽²⁵⁾では、III 価及びIV 価のアクチノイドについては、溶解度上昇に及ぼす有機物(ISA)の影響が同程度であり、収着影響度は溶解度上昇の影響と等しいとの仮定のもと、Pu(IV)と Am(III)の収着分配係数の影響割合は同じ値が設定されている。計算から求めた Pu の pH-Eh 図を第 12 図に示す。Pu の酸化数は pH 及び酸化還元電位によって、III 価から VI 価の酸化数となる。地中の埋設設備の酸化還元環境は、FOHP と同等か、鉄の腐食反応により還元的であること、埋設設備はセメント環境中で pH12 程度であることから、Pu はIV 価(溶存化学種 $\text{Pu}(\text{OH})_4$)が支配的となると推定される。そのため、Am の有機物による収着影響度については、Pu(IV)と同じとした。

なお、図中に示した大気平衡の線は、大気接触環境における FOHP の電位を示している。



第 12 図 Pu の pH-Eh 図

以上のことから求めたセメント系材料における有機物による収着影響度を第 46 表に示す。

第 46 表 有機物による収着影響度(セメント系材料)

元素	有機物による収着影響度				
	2号及び3号 廃棄物埋施設		1号廃棄物埋施設		
			1群から6 群	7,8群	
	確からしい 設定	厳しい 設定	共通	確からしい 設定	厳しい 設定
Cl	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1	1
Nb	1	5×10^{-2}	1	1	5×10^{-2}
Tc	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1	1
Pu	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}

(x) ISA を用いた分配係数試験結果及び ISA による収着影響度(難透水性覆土)

ISA を添加した場合の分配係数を、有機物なしの場合の分配係数で除した値を分数に丸め、ISA による収着影響度とする(除した値が 1 以上の場合は 1 とする)。難透水性覆土における ISA を用いた分配係数試験結果及び ISA による収着影響度を第 47 表に示す。

第 47 表 ISA を用いた分配係数試験結果及び ISA による収着影響度(難透水性覆土)

元素	分配係数試験結果(m ³ /kg)			ISA による収着影響度	
	有機物なし	ISA*1			
		1.5×10 ⁻³ (mol/L)	1×10 ⁻² (mol/L)	確からしい 設定	厳しい 設定
Ni	1.802	1.753	0.751	1*2	3.3×10 ⁻¹
Nb	0.542	0.570	0.128	1	2×10 ⁻¹
Pu	0.059	0.547	0.567	1	1
Am	8.290	8.538	3.239	1	3.3×10 ⁻¹

*1：確からしい設定に 1.5×10⁻³mol/L のデータを、厳しい設定に 1×10⁻²mol/L のデータを使用する。

*2：Ni の ISA による確からしい設定の収着影響度は、計算上では 0.97 となるが、測定誤差と考えられることから、収着影響度は 1(影響なし)とした。

(xi) 有機物による収着影響度(難透水性覆土)

a. 2号及び3号廃棄物埋設施設

難透水性覆土におけるフタル酸及び DAT による収着影響度については、セメント系材料における有機物による収着影響度を用いる。

各有機物による収着影響が最も大きいもの(収着影響度の数値が最も小さいもの)をそれぞれの元素における有機物による収着影響度とする。求めた 2号及び3号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における有機物による収着影響度を第 48 表に示す。

第 48 表 2号及び3号廃棄物埋設施設の有機物による収着影響度(難透水性覆土)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度	
	フタル酸	DAT	ISA			
	共通	共通	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定
Cs	1	1	—	—	1	1
Ni	1	1×10 ⁻¹	1	3.3×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹
Nb	1	1	1	2×10 ⁻¹	1	2×10 ⁻¹
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	—	—	1	3.3×10 ⁻¹	1	3.3×10 ⁻¹

b. 1号廃棄物埋設施設

難透水性覆土におけるフタル酸及び DAT による収着影響度については、セメント系材料における有機物による収着影響度を用いる。

各有機物による収着影響が最も大きいもの(収着影響度の数値が最も小さいもの)をそれぞれの元素における有機物による収着影響度とする。求めた 1 号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における有機物による収着影響度を第 49 表に示す。

第 49 表 1 号廃棄物埋設施設の有機物による収着影響度(難透水性覆土)

元素	各有機物による収着影響度				有機物による収着影響度		
	7, 8 群				1 群から 6 群	7, 8 群	
	1 群から 6 群		ISA				
	フタル酸	DAT	ISA		共通	確からしい設定	厳しい設定
	共通	共通	確からしい設定	厳しい設定			
Cs	1	1	—	—	1	1	1
Ni	1	1×10^{-1}	1	3.3×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1	1	2×10^{-1}	1	1	2×10^{-1}
Pu	1	1	1	1	1	1	1
Am	—	—	1	3.3×10^{-1}	1	1	3.3×10^{-1}

(xii) 有機物による収着影響度(難透水性覆土)まとめ

Cl、Co、Sr、Tc 及び I は、以下の考え方により有機物による収着影響度を設定した。

- ・ Co は、同じ遷移金属である Ni、Nb の結果を比較し、収着影響が大きい方(収着影響度の数値が小さい方)と同じとした。
- ・ Sr は同じ陽イオンの Cs と同じとした。
- ・ 陰イオン(Cl、Tc、I)は、セメント系材料への収着性が小さいこと、また、フタル酸や ISA は液相中では解離して負に帯電しており、陰イオンとの錯体形成による収着影響は小さいと想定されることから有機物による収着影響はないものとした。
- ・ 1 群から 6 群の Am は、TRU2 次レポート⁽²⁵⁾より Pu と収着影響度を同じとした。

以上のことから求めた難透水性覆土における有機物による収着影響度を第 50 表に示す。

第 50 表 有機物による収着影響度(難透水性覆土)

元素	有機物による収着影響度					
	2号及び3号 廃棄物埋設施設		1号廃棄物埋設施設			
	確からしい 設定	厳しい 設定	1群から6群		7,8群	
			確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定
Cl	1	1	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1	1	1
Nb	1	2×10^{-1}	1	1	1	2×10^{-1}
Tc	1	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1	1	1
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	3.3×10^{-1}	1	1	1	3.3×10^{-1}

(8) 微生物による収着影響

微生物の活動により、固相、液相及び化学形態が変化するため収着性に影響すると考えられるが、セメント系材料は、高 pH 環境のため、微生物の活性は低く⁽⁴⁾収着性に影響しないものとする。

難透水性覆土及び岩盤(鷹架層)は、微生物の活動により、炭素が無機化⁽²⁶⁾するが、収着影響を包含した初期状態の分配係数を用いるため考慮しない。

6. 分配係数低下係数の算出

(1) セメント系材料の分配係数低下係数

(i) 2号及び3号廃棄物埋設施設

2号及び3号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における収着影響は、有機物による影響のみを考慮するため、有機物による収着影響度が分配係数低下係数となる。セメント系材料の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋設施設)を第51表に示す。

第51表 セメント系材料の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋設施設)

元素	確からしい設定		厳しい設定	
	収着影響度	分配係数低下係数	収着影響度	分配係数低下係数
	①有機物	①	②有機物	②
Cl	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	5×10^{-2}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1
Nb	1	1	5×10^{-2}	5×10^{-2}
Tc	1	1	1	1
I	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1
Pu	5×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1×10^{-2}

(ii) 1号廃棄物埋設施設

セメント系材料における収着影響については、有機物による収着影響度に塩による収着影響度を乗じたものが分配係数低下係数となる。

1号廃棄物埋設施設のセメント系材料における分配係数低下係数を第52表～第58表に示す。

セメント破砕物充填固化体については、充填材の初期状態の分配係数(第15表)に塩及び有機物の影響を考慮して分配係数を設定する必要があるため、セメント破砕物充填固化体の分配係数低下係数(第53表)については、充填材の分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 7,8群)(第56表)と同じ分配係数低下係数を用いる。

第 52 表 廃棄体(均質・均一固化体)の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Cl	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Co	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}
Ni	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1	1	1
Nb	1	1	1	1	1	1
Tc	1	1	1	1	1	1
I	1	1	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1	1	1
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	1	1	1	1	1

第 53 表 廃棄体(セメント破砕物充填固化体)の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Cl	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

第 54 表 廃棄体(充填固化体)の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Cl	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

第 55 表 充填材の分配係数低下係数(1号廃棄物埋施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Cl	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	1	1	1	1	1

第 56 表 充填材の分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Cl	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-2}
Sr	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Nb	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	5×10^{-2}	1×10^{-1}	5×10^{-3}
Tc	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
I	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Cs	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

第 57 表 コンクリートの分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Cl	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Co	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}
Sr	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Nb	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Tc	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
I	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Cs	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Pu	1	1	1	1	1	1
Am	1	1	1	1	1	1

第 58 表 コンクリートの分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
C	1	1	1	1	1	1
Cl	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Co	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	1×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}	1×10^{-1}	2×10^{-2}	2×10^{-3}
Sr	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Nb	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	5×10^{-2}	2×10^{-2}	1×10^{-3}
Tc	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
I	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Cs	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}	1	2×10^{-2}	2×10^{-2}
Pu	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}
Am	5×10^{-2}	1	5×10^{-2}	1×10^{-2}	1	1×10^{-2}

(2) 難透水性覆土の分配係数低下係数

(i) 2号及び3号廃棄物埋設施設

2号及び3号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における収着影響は、有機物による影響のみを考慮するため、有機物による収着影響度が分配係数低下係数となる。

難透水性覆土の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋設施設)を第59表に示す。

第 59 表 難透水性覆土の分配係数低下係数(2号及び3号廃棄物埋設施設)

元素	確からしい設定		厳しい設定	
	収着影響度	分配係数低下係数	収着影響度	分配係数低下係数
	①有機物	①	②有機物	②
Cl	1	1	1	1
Co	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Ni	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}	1×10^{-1}
Sr	1	1	1	1
Nb	1	1	2×10^{-1}	2×10^{-1}
Tc	1	1	1	1
I	1	1	1	1
Cs	1	1	1	1
Pu	1	1	1	1
Am	1	1	3.3×10^{-1}	3.3×10^{-1}

(ii) 1号廃棄物埋設施設

1号廃棄物埋設施設の難透水性覆土における収着影響については、有機物による収着影響度に塩による収着影響度を乗じたものが分配係数低下係数となる。1号廃棄物埋設施設における難透水性覆土の分配係数低下係数を第60表及び第61表に示す。

第60表 難透水性覆土の分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 1群から6群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
Cl	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Co	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Sr	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Nb	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Tc	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
I	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Cs	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Pu	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Am	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}

第61表 難透水性覆土の分配係数低下係数(1号廃棄物埋設施設 7,8群)

元素	確からしい設定			厳しい設定		
	収着影響度		分配係数低下係数	収着影響度		分配係数低下係数
	①有機物	②塩	①×②	③有機物	④塩	③×④
Cl	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Co	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Ni	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}	1×10^{-1}	7×10^{-2}	7×10^{-3}
Sr	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Nb	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	2×10^{-1}	7×10^{-2}	1.4×10^{-2}
Tc	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
I	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Cs	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Pu	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}
Am	1	7×10^{-2}	7×10^{-2}	3.3×10^{-1}	7×10^{-2}	2.3×10^{-2}

7. 分配係数設定値

(1) 各廃棄物埋施設における分配係数設定値

初期状態の分配係数に、分配係数低下係数を乗じ、有効数字1桁(端数切捨て)とした値を分配係数設定値(評価期間は0年及び1,000年後)とする。各廃棄物埋施設の分配係数設定値を第62表～第66表に示す。

第62表 3号廃棄物埋施設の分配係数設定値(0年、1,000年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)						
	セメント系材料				難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体・充填材		コンクリート		確からしい 設定	厳しい 設定	
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定			共通
H-3	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	0	0	1×10 ⁻⁴
Co-60	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻³	1×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁰	1×10 ⁻¹	6×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	5×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²
Tc-99	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	0	0	0	0	0
I-129	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁰	1×10 ⁰	9×10 ⁻¹
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	6×10 ⁰	2×10 ⁰	1×10 ⁻¹

第 63 表 1 号廃棄物埋施設 (1 群から 6 群) の分配係数設定値 (0 年、1,000 年後)

核種	分配係数設定値 (m ³ /kg)								
	セメント系材料						難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体*1		充填材		コンクリート				
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	共通
H-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻¹	5×10 ⁻¹	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻⁴
Cl-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co-60	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	1×10 ⁻¹
Ni-59	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-63	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹
Nb-94	1×10 ¹	1×10 ¹	2×10 ⁻¹	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	2×10 ⁻²
Tc-99	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	0	0	0	0	0	0	0
I-129	1×10 ⁻³	1×10 ⁻³	0	0	0	0	0	0	0
Cs-137	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	9×10 ⁻²	9×10 ⁻²	1×10 ⁰
Pu-239	1×10 ¹	1×10 ¹	8×10 ⁰	8×10 ⁰	2×10 ⁰	2×10 ⁰	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ¹	1×10 ¹	2×10 ⁰	2×10 ⁰	3×10 ⁰	3×10 ⁰	4×10 ⁻¹	4×10 ⁻¹	1×10 ⁰

*1 : 均質・均一固化体

第 64 表 1 号廃棄物埋施設 (8 群 : 2 基) の分配係数設定値 (0 年、1,000 年後)

核種	分配係数設定値 (m ³ /kg)								
	セメント系材料						難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体*1		充填材		コンクリート				
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	共通
H-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-14	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	4×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻⁴
Cl-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co-60	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	0	0	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	6×10 ⁻⁴	3×10 ⁻²	7×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Tc-99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-129	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	9×10 ⁻²	9×10 ⁻²	1×10 ⁰
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁰

*1 : 充填固化体 (セメント破砕物充填固化体)

第 65 表 1号廃棄物埋施設(7,8群:8基)の分配係数設定値(0年、1,000年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)								
	セメント系材料						難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体*1		充填材		コンクリート		確からしい 設定	厳しい 設定	共通
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定			
H-3	0	0	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	0	0	1×10 ⁻⁴
Cl-36	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Co-60	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁻²	0	0	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	9×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	5×10 ⁻³	5×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	0	0	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	6×10 ⁻⁴	3×10 ⁻²	7×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Tc-99	0	0	0	0	0	0	0	0	0
I-129	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	9×10 ⁻²	9×10 ⁻²	1×10 ⁰
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	4×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	1×10 ⁰

*1: 充填固化体(セメント破砕物充填固化体を除く)

第 66 表 2号廃棄物埋施設の分配係数設定値(0年、1,000年後)

核種	分配係数設定値(m ³ /kg)						
	セメント系材料				難透水性覆土		岩盤 (鷹架層)
	廃棄体・充填材		コンクリート		確からしい 設定	厳しい 設定	共通
	確からしい 設定	厳しい 設定	確からしい 設定	厳しい 設定			
H-3	0	0	0	0	0	0	0
C-14	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	5×10 ⁻²	0	0	1×10 ⁻⁴
Cl-36	5×10 ⁻⁴	5×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁴	8×10 ⁻⁴	0	0	0
Co-60	2×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻³	1×10 ⁻³	3×10 ⁻³	3×10 ⁻³	1×10 ⁻¹
Ni-59	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Ni-63	9×10 ⁻³	9×10 ⁻³	1×10 ⁻²	1×10 ⁻²	7×10 ⁻²	7×10 ⁻²	1×10 ⁻¹
Sr-90	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	2×10 ⁻³	2×10 ⁻³	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻¹
Nb-94	2×10 ⁰	1×10 ⁻¹	6×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	5×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²
Tc-99	2×10 ⁻⁴	2×10 ⁻⁴	0	0	0	0	0
I-129	1×10 ⁻⁴	1×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	3×10 ⁻⁴	0	0	0
Cs-137	1×10 ⁻¹	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	2×10 ⁻²	1×10 ⁰	1×10 ⁰	1×10 ⁰
Pu-239	4×10 ⁻¹	8×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	3×10 ⁻²	3×10 ⁻²	2×10 ⁻²
Am-241	1×10 ⁻¹	2×10 ⁻²	1×10 ⁻¹	3×10 ⁻²	6×10 ⁰	2×10 ⁰	1×10 ⁰

(2) 分配係数設定値の妥当性について

現状の分配係数設定値のうち、大きな相違があるものについて、その妥当性について以下に整理した。

Pu と Am については同じアクチノイド系であるが、難透水性覆土の分配係数設定値が大きく異なる(2 オーダー)。Pu や Am などの主要な放射性物質は試験値から得られた値を用いているが、難透水性覆土の初期状態の分配係数は、Pu は $0.03\text{m}^3/\text{kg}$ 、Am は $6.5\text{m}^3/\text{kg}$ と 200 倍以上の違いがある。Pu の試験結果が Am と比べ小さくなった理由は、ブランク試験(固相試料が入らない状態で、測定条件と同様に実施する試験)における濃度低下によって液相濃度が検出下限値未満となったためであり、実際の Pu の分配係数は $0.03\text{m}^3/\text{kg}$ より大きくなると考えられる。また、Nb の廃棄体(1号廃棄物埋施設 均質・均一固化体)の分配係数設定値は、他の放射性物質や Nb の廃棄体(1号廃棄物埋施設 均質・均一固化体)以外の分配係数設定値に比べて大きな値となっている。Nb の初期状態の分配係数において、第 4 図の JAEA-SDB 分配係数データと当社分配係数データの比較で示したように、Nb の廃棄体(1号廃棄物埋施設 均質・均一固化体)の当社分配係数データ ($68\text{m}^3/\text{kg}$) は JAEA-SDB 分配係数データの最大値 ($120\text{m}^3/\text{kg}$) を超えていないため、ばらつきの範囲内として妥当であると考えられる。

8. 分配係数の管理の考え方について

現状の分配係数設定値は、前項までに示したように、混和材や化学混和剤を含む実セメント系材料及び候補となる覆土材料で取得した分配係数の試験結果に基づき材料種類ごとの平均値又は文献値の最小値を抽出し、廃棄体含有塩、有機物及びセメント溶脱の影響による長期状態変化を考慮して安全率(分配係数低下係数)を乗じた値を設定している。したがって、セメント系材料及び覆土材料の施工単位の品質変動が分配係数に与える影響は十分に包含していると考えられる。また、海外においても、事前に分配係数の確認を行ない、それを評価に用いており、埋設設備の施工や廃棄体の製作の観点から事前に確認する現在の考え方と同様と考えている。

しかしながら、従来の品質管理で十分かどうかの判断に足るデータが十分にあると言い切れないため、データの蓄積及び廃棄物埋設施設の更なる安全管理の充実のために、各材料の分配係数については、以下に示すように適切な条件及び頻度^{*1}で分配係数データを取得することにより、廃棄物埋設施設の安全性を確保できる状態であることを確認することとし、最適な管理方法を検討する。

なお、前述のとおり分配係数は最小値を使用しており、実測データのばらつきの影響により、今回申請した値以下となることも想定されることから、それを考慮しても問題ないような最適な管理方法についても検討を行う。

*1：実廃棄物を用いた測定は、サンプル採取の可否及びサンプル採取時の作業者の被ばく低減の観点を考慮する。また、分配係数データの蓄積状況に応じて測定頻度を設定する。

(1) 埋設設備(外周仕切設備、内部仕切設備、覆い及び充填材)

屋外で施工する埋設設備については、周辺環境の影響及び打設ロット間の品質変動が分配係数に与える影響を考慮し、打設の際に試験体を採取し、分配係数を取得することによりデータの蓄積を図るとともに、安全性が確保できる状態であることを管理する。

分配係数の取得に際しては、種々の分配係数への影響因子を試験及び文献により事前に把握した上で、適切な条件(材料仕様、対象とする核種等)及び頻度(分配係数データの蓄積状況により設定)で分配係数データを取得し、分配係数データの取得が困難な場合は代替指標となるデータを取得する。また、廃棄物埋設施設の安全性は、廃棄体の固型化材を含めて廃棄物埋設地全体の収着性が確保できることを確認すること

より管理する。

なお、セメントの配合変更などを行う場合は、その都度分配係数データを取得・管理する。

(2) 廃棄体の固型化材

充填固化体は、固体状の放射性廃棄物を収納した廃棄体容器にモルタルを注入し製作されるため、埋設設備を充填するモルタルと材料は基本的に同様である。均質・均一固化体は、廃液等の放射性廃棄物をセメントと混練し製作するため、セメント固化体の種類によって適切に区分し分配係数を管理する。

埋設する廃棄体は、埋設設備と異なり周辺環境の影響を受け難い屋内設備で製作されること及び固型化条件も設備の運転条件として一定に管理されており頻繁に変更になることはない。また、廃棄体の種類もこれまでに埋設した廃棄体と同様であることから、これまでに取得した分配係数データに加え、今後数年間に分配係数データを取得・蓄積し、埋設する廃棄体の分配係数の管理方法を検討していく。その管理方法に基づいて、埋設する廃棄体の固型化材の分配係数が種々の分配係数への影響因子を踏まえて適切に評価、設定されていることを廃棄体の受入れ前に確認する。

なお、廃棄体の分配係数データ取得は、埋設設備と異なり高線量となる実廃棄物(均質・均一固化体など)を取り扱うことで作業者の過度な被ばくが懸念されるため、並行して実施する埋設設備側の知見及び文献も取り入れながら代替となるデータ取得も視野に入れて検討する。

これにより、埋設設備を含めて廃棄物埋設地全体の収着性が確保できる状態であることを確認・管理する。また、これまでと同様に充填固化体に充填するモルタルの種類又は均質・均一固化体のうちセメント固化体の種類(廃棄物の種類、セメント系材料)が新しく追加される場合^{*1}には、その都度分配係数データを取得し、固型化方法の違いが分配係数に与える影響を確認する。

*1: 分配係数に影響を及ぼすと考えられる廃棄物の種類の追加・変更(例: 廃棄物の化学的性状の変更)及びセメント系材料仕様の追加・変更(例: セメント種類の変更)とする。なお、均質・均一固化体と化学的性状の異なるセメント破砕物充填固化体は含まない。

(3) 覆土(難透水性覆土、上部覆土)

埋設設備と同様に、施工時の品質変動などが分配係数に与える影響を考慮し、施工

の際に採取した試験体を用いて分配係数を取得することにより分配係数データの蓄積を図るとともに、安全性が確保できる状態であることを管理する。

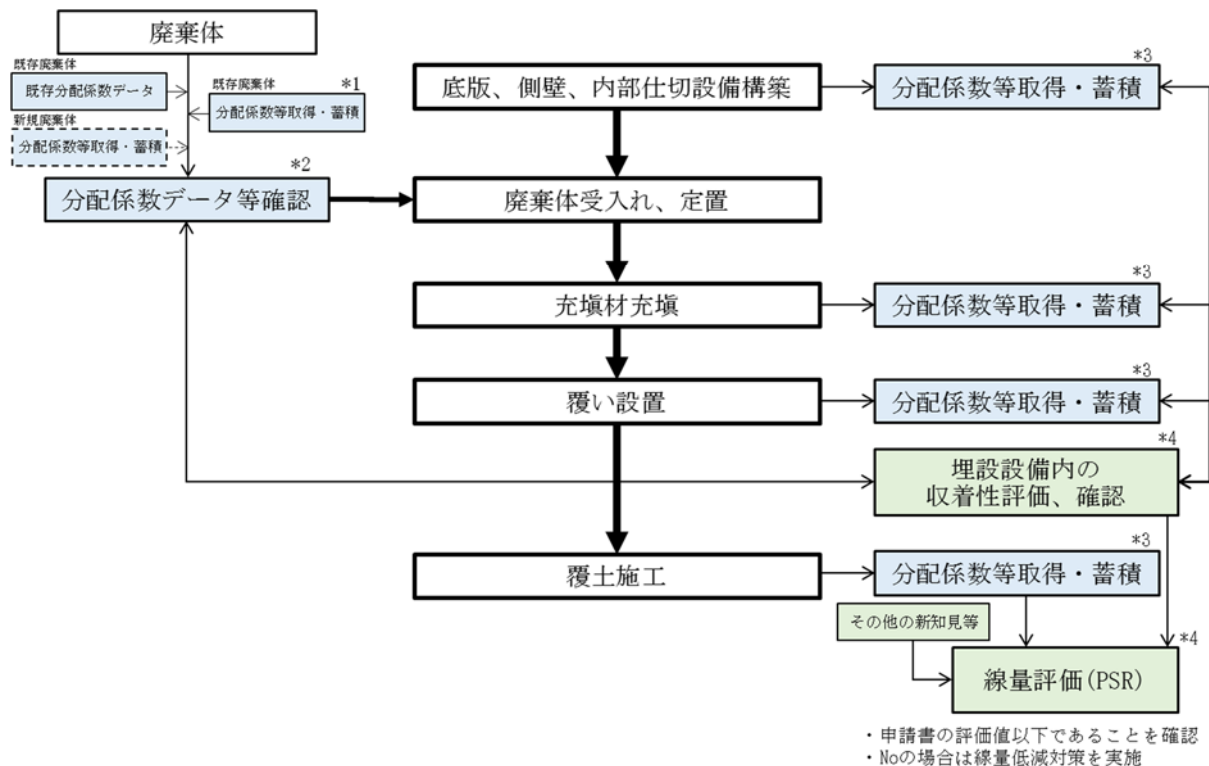
分配係数の取得に際しては、種々の分配係数への影響因子を試験及び文献により事前に把握した上で、適切な条件(材料仕様、対象とする核種等)及び頻度(データの蓄積状況により設定)で分配係数データを取得し、分配係数データの取得が困難な場合は代替指標となるデータを取得する。また、廃棄物埋設施設の安全性は、覆土全体の収着性が確保できることを確認することにより管理する。

(4) 分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れについて

上述の分配係数の管理の考え方に基づいた、今後の分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れ(案)を第 13 図に示す。廃棄物埋設施設の構築ごとに分配係数データを取得・蓄積し、覆い設置段階では埋設設備内全体の収着性(埋設設備内の間隙水中の放射性物質濃度)、覆土施工段階では廃棄物埋設地全体で収着性が確保されていることを確認する。

また、分配係数の管理に当たり、数年間で分配係数データの取得・蓄積を図り、具体的な管理基準、新規に設置する 3 号廃棄物埋設施設、埋設する廃棄体の変更を行う 1 号廃棄物埋設施設の 7, 8 群及びこれらに埋設する廃棄体を対象に管理を行う。

なお、分配係数データ取得・蓄積によって得られた知見をもとに新たに適用する管理方法については、今後当社手順を定めて正式に運用する。ただし、本管理方法を適用するまでに構築された埋設設備、製作した廃棄体については遡及しての適用は困難であることから、従来 of 固型化材料の管理項目又は既存データ(申請書に用いた値)を用いた管理を行う。また、分配係数データの取得・蓄積の結果から、分配係数取得に替わる代替指標の検討を実施し、分配係数の管理に適用する。



- *1：今後数年間で、既存廃棄体（均質・均一固化体及び充填固化体）の固型化材（セメント系材料）の分配係数及び代替指標となるデータを取得・蓄積する。
- *2：既存分配係数データ及び新たに取得・蓄積されたデータにより定めた管理方法に基づき、廃棄体性状に応じて適切に分類された廃棄体種類ごとに分配係数が適切に評価、設定されていることを廃棄体の受入れ前に確認する。
- *3：埋設設備及び覆土については、あらかじめ所定の分配係数が得られる材料仕様であることを確認した上で、施工の際に試験体を採取し、データの蓄積を図る。
- *4：得られたデータを基に埋設設備内全体の収着性（間隙水中の放射性物質濃度）及び廃棄物埋設地全体の収着性（線量）を評価し、安全性が確保できることを定期的な評価（PSR）等において確認する。

第 13 図 分配係数のデータ取得・蓄積及び管理の流れ(案)

9. 参考文献

- (1) 北海道電力株式会社、東北電力株式会社、東京電力ホールディングス株式会社、中部電力株式会社、北陸電力株式会社、関西電力株式会社、中国電力株式会社、四国電力株式会社、九州電力株式会社、日本原子力発電株式会社(2016)：充填固化体の標準的な製作方法
- (2) 宮脇健太郎、鈴木泰博、本山光志(2018)：アスファルト固化体からの環境影響物質の長期浸出挙動と浸出機構
- (3) 陶山忠宏、舘幸男(2012)：「収着データベース (JAEA-SDB) の開発：土壌系及びセメント系を含む収着データの拡充」、JAEA-Data/Code 2011-022
- (4) 電気事業連合会 核燃料サイクル開発機構(2005)：TRU 廃棄物処分技術検討書－第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ－根拠資料集 分冊 3 FEP
- (5) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY(1994)：Handbook of Parameter Values for the Prediction of Radionuclide Transfer in Temperate Environments, TECHNICAL REPORTS SERIES No. 364
- (6) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY(1987)：EXEMPTION OF RADIATION SOURCES AND PRACTICES FROM REGULATORY CONTROL, IAEA-TECDOC-401
- (7) INTERNATIONAL ATOMIC ENERGY AGENCY(1998)：Clearance of materials resulting from the use of radionuclides in medicine, industry and research, IAEA-TECDOC-1000
- (8) C. F. Baes III, R. D. Sharp, A. L. Sjoreen and R. W. Shor(1984)：A Review and Analysis of Parameters for Assessing Transport of Environmentally Released Radionuclides through Agriculture, ORNL-5786
- (9) 日本エヌ・ユー・エス株式会社(2010)：塩素の土壌－農作物移行係数、社団法人日本原子力学会「2010 年春の年会」
- (10) 朽山修 他(1998)：核種移行モデルにおける収着分配係数の概念とその適用性、原子力バックエンド研究 Vol. 5 No. 1
- (11) JNC TN8400 2004-011 ハル・エンドピース廃棄物に含まれる有機物の放射性物質の溶解度及び収着に及ぼす影響について(研究報告)
- (12) 日本原子力学会(2003)：収着分配係数の測定方法－浅地中処分のバリア材料を対象としたバッチ法の基本手順－2002 年 10 月

- (13) (財)原子力環境整備センター、日揮(株)、三菱重工業(株)(平成8年)：固体状廃棄物のC-14分配係数について
- (14) (財)原子力環境整備促進・資金管理センター(平成16年)：金属廃棄物中の放射性化物(炭素14)の挙動等に関する国内外の情報調査
- (15) (財)原子力環境整備センター、(株)東芝、日揮(株)、三菱金属(株)、三菱重工業(株)(平成元年)：各種バリア材の分配係数について
- (16) Jan Tits and Erich Wieland(2018)：Actinide Sorption by Cementitious
- (17) (財)原子力環境整備センター(1990)：土壌と土壌溶液間の放射性核種の分配係数 環境パラメータ・シリーズ2 RWMC-90-P-13
- (18) (社)日本原子力学会(2006)：収着分配係数の測定方法 標準委員会技術レポート AESJ-SC-TR001:2006
- (19) B.Grambow et.al (2020)：Retention and diffusion of radioactive and toxic species on cementitious systems: Main outcome of the CEBAMA project
- (20) Yukio Tachi, Michael Ochs(2018):Sorption parameter setting approaches for radioactive waste disposal considering perturbation effects: sorption reduction factors for organics, Progress in Nuclear Science and Technology, Volume 5, pp.229-232
- (21) Erich Wieland, Luc R. Van Loon(2003):Cementitious Near-Field Sorption Data Base for Performance Assessment of an ILW Repository in Opalinus Clay, PSI Bericht Nr. 03-06
- (22) M. A. GLAUS et. al (2008):Degradation of Cellulose under Alkaline Conditions: New Insights from a 12 years Degradation Study, Env. Sci. & Tech., Vol.42, No.8, p.2906~2911
- (23) Tokai Works Japan Nuclear Cycle Development Institute(1999)：Groundwater Evolution Modeling for the Second Progress Performance Assessment (PA) Report JNC TN8400 99-030
- (24) 蔵重勲 他(平成18年)：地下水含有成分がセメント硬化体の溶脱に及ぼす影響 (4)一重炭酸イオンによる溶脱抑制現象のメカニズムー、土木学会第61回年次学術講演会予稿
- (25) (財)原子力環境整備センター(平成10年)：低レベル放射性廃棄物処分用廃棄体

製作技術について(各種固体状廃棄物)

- (26) 電気事業連合会(2005) : TRU 廃棄物処分技術検討書 - 第2次 TRU 廃棄物処分研究開発取りまとめ -
- (27) (財)電力中央研究所(平成22年) : 地下環境における有機態 14C の化学形態変化挙動に及ぼす微生物影響 - 13C 標識酢酸イオンを用いた原位置トレーサー試験 -

分配係数試験に用いた
セメント系材料の配合表

分配係数試験に用いたセメント系材料(コンクリート及び充填モルタル)の配合表を第 1 表及び第 2 表に示す。

第 1 表 コンクリートの配合

3号廃棄物埋設施設					
水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材*1	混和材*2	細骨材*3	粗骨材
47	155	333	60	729	1,019
1号廃棄物埋設施設					
水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材*4	混和材*2	細骨材*3	粗骨材
55	159	290	85	852	973
2号廃棄物埋設施設					
水セメント比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材*1	混和材*2	細骨材*3	粗骨材
47	155	333	60	729	1,019

*1：中庸熟ポルトランドセメント 70%及びフライアッシュ 30%の混合セメントとし、必要に応じて膨張材を置換する。また、施工時には所定のフレッシュ性状確保のため結合材料に比例して混和剤を添加する。

*2：石灰石微粉末

*3：陸砂と砕砂の混合品

*4：普通ポルトランドセメント 45%及び高炉スラグ微粉末 55%の混合セメントとし、必要に応じて膨張材を置換する。また、施工時には所定のフレッシュ性状確保のため結合材料に比例して混和剤を添加する。

第2表 充填モルタルの配合

3号廃棄物埋設施設					
水セメント 比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材		細骨材	
		中庸熱ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	砕砂	陸砂
55.0	252	131	307	872	582
1号廃棄物埋設施設					
水セメント 比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材		細骨材	
		中庸熱ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	砕砂	陸砂
67.1	283	42	380	877	585
2号廃棄物埋設施設					
水セメント 比 (%)	単位量 (kg/m ³)				
	水	結合材		細骨材	
		中庸熱ポルトランドセメント	高炉スラグ微粉末	砕砂	陸砂
67.1	283	42	380	877	585

以上

化学混和剤の分配係数への影響について

目 次

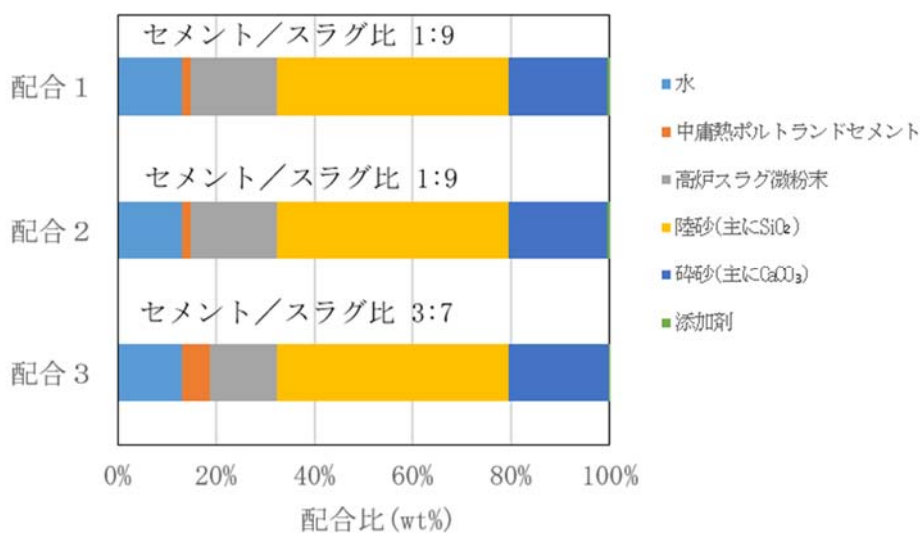
1 . はじめに.....	1
2 . 固相条件(充填モルタルの配合)	1
3 . 測定結果.....	2
(1) 液相分析結果.....	2
(2) 分配係数測定結果.....	3
4 . まとめ.....	4
5 . 参考文献.....	5

1. はじめに

分配係数の設定において、セメント系材料に含まれる化学混和剤の分配係数への影響を考慮する必要がある。本資料では、化学混和剤が異なる複数の充填モルタルの分配係数を取得し、化学混和剤の相違が分配係数へ与える影響を評価した。

2. 固相条件(充填モルタルの配合)

本試験(2017年)では、充填モルタルの3種類の候補材料(配合1、配合2、配合3)を用いて分配係数測定を行い、化学混和剤及びセメント/スラグ比の相違に係る影響検討を実施した。第1図に充填モルタル配合1~3の配合、第1表に化学混和剤の詳細及び第2表に化学混和剤の想定される主成分を示す。



第1図 充填モルタル配合1~3の配合比

第1表 化学混和剤の詳細

配合	化学混和剤	配合
配合1	水中不分離性混和剤	0.07wt%
	AE減水剤(No. 70)	0.04wt%
	高性能減水剤(レオパルト 4000)	0.29wt%
配合2, 3	水中不分離性混和剤	0.07wt%
	減水剤(No. 89)	0.04wt%
	高性能AE減水剤(SP8LS)	0.24wt%

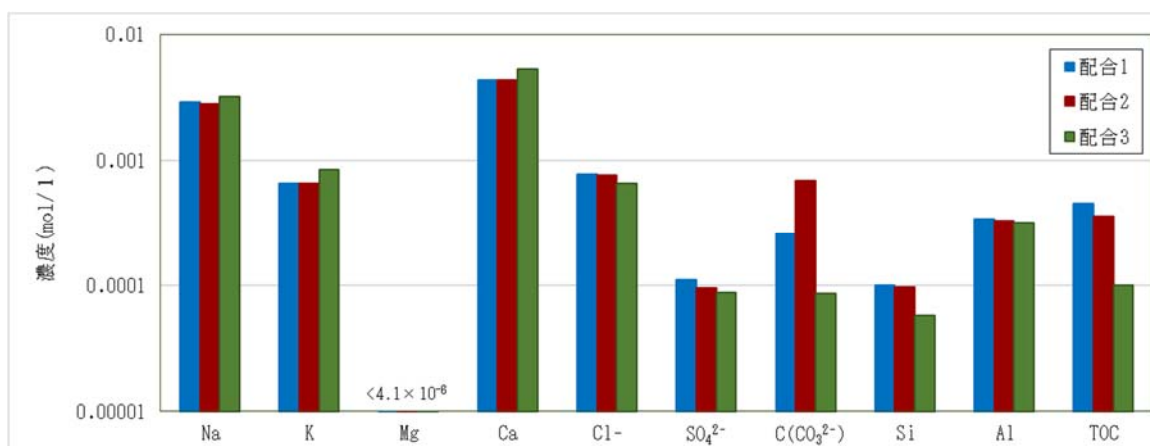
第 2 表 化学混和剤の想定される主成分

配合	化学混和剤	想定される主成分
配合 1	AE 減水剤 (No. 70)	リグニンスルホン酸化合物 ポリオールとの複合体
	高性能減水剤 (レオレト [®] 4000)	メラミンスルホン酸系化合物
配合 2, 3	減水剤 (No. 89)	変性リグニンスルホン酸化合物 オキシカルボン化合物の複合体
	高性能 AE 減水剤 (SP8LS)	ポリカルボン酸エーテル系化合物 配向ポリマーの複合体

3. 測定結果

(1) 液相分析結果

平衡水の分析結果を第 2 図に示す。分析結果から、いずれの元素及びイオンでも配合の相違による液相中濃度の違いは軽微であった。配合 1, 2 と配合 3 では Ca と Si に若干の濃度差が見られた。中庸熟ポルトランドセメントも高炉スラグも CaO と SiO₂ を主成分とするが、C/S は異なるため、セメント／スラグ比の相違 (1/9 と 3/7) によって、モルタルとして見たときの C/S が変化し、Ca と Si の溶出挙動が変化した可能性が考えられる。配合 1 と配合 2 で TOC 濃度の違いが軽微であったことから、本検討の添加量範囲内であれば、溶出有機成分濃度に顕著な違いがないことを確認した。配合 2 と配合 3 で若干の TOC 濃度の違いが見られたことから、セメントあるいはスラグに含まれる有機成分の物量の相違により、有機成分の溶出挙動が変化した可能性が考えられる。



第2図 平衡水の分析結果

(2) 分配係数測定結果

本試験の分配係数測定結果(2017年)を第3表及び第3図に示す。参考に文献(1989年)⁽¹⁾及び初期状態の分配係数設定値*1をこれらに記載した。分配係数測定結果(2017年)においては、NbとPuでは浸漬後濃度が検出下限以下となった。NbとPuでの各配合モルタルでの分配係数平均値のばらつきは、ブランク試料濃度の違いによるものであり、固相収着性は変化していないと考えられる。また、文献(1989年)⁽²⁾については、日本原子力学会標準⁽³⁾が制定される前の測定方法を用いた。分配係数測定(2017年)⁽¹⁾の結果と比較するとNiとPuについては差がみられるが、これらの結果も考慮して初期状態の分配係数設定値としている。

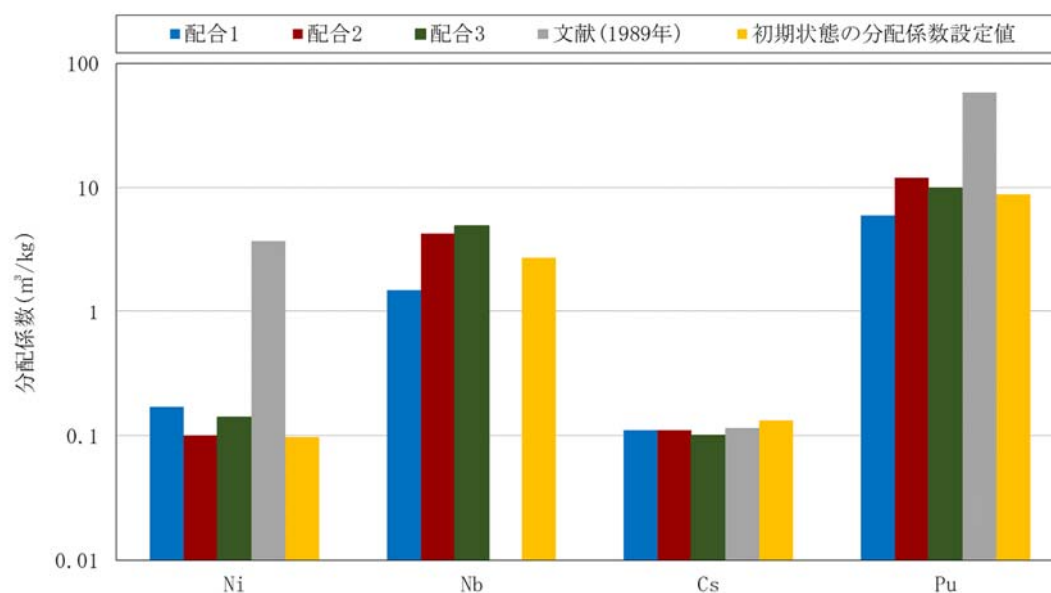
そのため、本試験で使用した固相試料の配合範囲内であれば、核種収着性に対する混和剤の種類・量の相違の影響に大きな違いがないと言える。

*1：補足説明資料8「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）線量評価パラメータ-分配係数- 第15表」参照

第3表 本試験の分配係数測定結果(2017年)、文献(1989年)及び初期状態の分配係数

元素	分配係数 (m ³ /kg)				
	本試験の分配係数測定結果(2017年)			文献(1989年)	初期状態の分配係数設定値*1
	配合1	配合2	配合3		
Ni	0.170	0.100	0.14	3.75	0.098
Nb	>1.50	>4.30	>4.90	-	2.744
Cs	0.110	0.110	0.10	0.115	0.133
Pu	>6.00	>12.0	>9.90	>58.0	8.86

*1：補足説明資料8「第十条 廃棄物埋設地のうち第四号（廃止措置の開始後の評価）線量評価パラメータ-分配係数- 第15表」から抜粋



第3図 分配係数測定結果

4. まとめ

化学混和剤の種類・量及び配合比の相違による分配係数への影響を評価した試験において、影響は軽微なものであり、本試験で用いた固相試料の配合の範囲内であれば分配係数への影響は軽微なものと考えられる。

5. 参考文献

- (1) (財)原子力環境整備センター、(株)東芝、日揮(株)、三菱金属(株)、三菱重工業(株)(平成元年)：各種バリア材の分配係数について
- (2) (社)日本原子力学会(2003)：収着分配係数の測定方法—浅地中処分のバリア材料を対象としたバッチ法の基本手順—2002年10月

以 上