



補足説明資料5 添付資料1 収着分配係数

1. 収着分配係数設定における前提条件

線量評価パラメータのうち、収着性に関するパラメータの収着分配係数は、影響事象分析の評価を踏まえ、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から設定する。

設定した収着分配係数は、第二種埋設許可基準規則第十三条第1項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。

➤ 廃棄物の仕様

- 埋設する廃棄物は、東海発電所から発生する固体状の廃棄物であって、放射化又は放射性物質によって汚染された金属類及びコンクリート類である。
- 収着分配係数の設定において、埋設トレンチ内では、浸透水がコンクリート類の廃棄物との接触によって浸透水の水質が変化することから、その影響を考慮する。

➤ 収着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)から、収着性に関する影響事象分析の結果を第1表に示す。収着分配係数の設定においては、**廃棄物と浸透水の反応と津波の影響事象**を対象とする。

1. 収着分配係数設定における前提条件

➤ 分配係数の試験条件

- 試験方法の基本的考え方は「収着分配係数の測定方法-浅地中処分のバリア材を対象としたバッチ法の基本的手順:2002」に規定された測定方法に準じた。試験対象の核種は、線量評価の対象の核種に選定されている10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を除いたCo-60, Sr-85, Cs-137, Eu-152(Eu-154も同じ), Am-241を測定している。なお、Sr-85を測定しているのは、Sr-90の直接測定が困難なためである。また、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いAm-241の試験結果を用いて設定した。試験条件を第1表に示す。

第1表 分配係数取得試験の試験条件

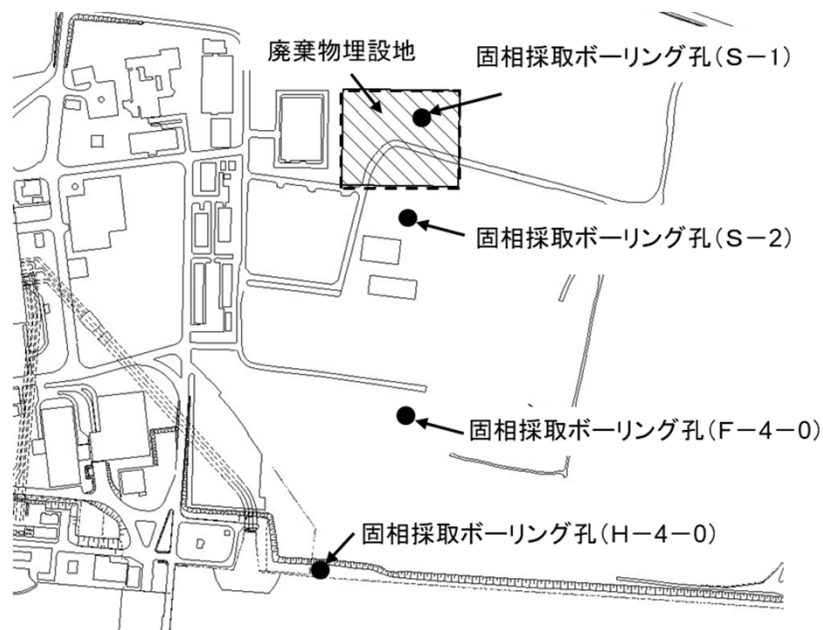
項目	条件
試験方法	バッチ試験
固相	廃棄物埋設地付近の帯水層土壌(du層)
液相	・現地地下水 ・人工海水 ・水酸化カルシウム溶液
核種	Co-60, Sr-85, Cs-137, Eu-152, Am-241
試験雰囲気	現地地下水, 人工海水:大気雰囲気 水酸化カルシウム溶液:脱炭酸雰囲気(調整, サンプルング時), 大気雰囲気(振とう, 攪拌時)
試験温度	25°C(振とう, 攪拌時)
固液比	10 ml/g(固相5 g, 液相50 ml)
浸せき期間	7日間
振とう方法	機械振とう(円振とう)

1. 収着分配係数設定においての前提条件

収着分配係数(補足説明資料5 添付資料1)

➤ 固相条件

- **固相は、通気層及び帯水層であるdu層**の土壤とした。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、土壤試料を採取した。
- 土壤試料を採取したボーリングコアは、埋設環境を考慮して廃棄物埋設地から海までの地下水の移行経路で想定されるS-1, S-2, F-4-0及びH-4-0を対象とした。ボーリング孔の位置図を第1図に示す。
- 採取した土壤試料は、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。固相の分析結果を第2表に示す。



第1図 固相採取ボーリング孔位置図

第2表 固相の分析結果

	S-1	S-2	F-4-0	H-4-0
対象層	du	du	du	du
含水率(%)	6.01	7.93	0.34	0.18
粒径状況 (2 mm以下の比率)(%)	99.1	100.0	80.6	85.6
pH (-)	6.16	8.23	4.41	9.31
酸化還元電位 (mV)※	0.143	0.197	0.171	0.15
電気伝導率 (mS/cm)	0.027	0.071	0.013	<0.001

※: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。

1. 収着分配係数設定においての前提条件

収着分配係数(補足説明資料5 添付資料1)

➤ 液相条件

- 試験対象とする液相は、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**」を対象とし、雨水等の浸透水がコンクリート廃棄物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「**水酸化カルシウム溶液**」を対象とした。また、津波によって一時的に海水の影響を受けることを確認するため「**人工海水**」を対象に加えた。実験水作成時の液相の成分分析結果を第3表に示す。

第3表 液相の分析結果

		現地地下水	人工海水	水酸化Ca
pH (—)		8.01	8.01	12.46
酸化還元電位 (mV)※1		153	161	—90
電気伝導率 (mS/cm)		0.4	56.6	7.4
水温 (°C)		24.3	22.5	21.2
イオン濃度 (mg/l)	Cl	16	23,000	—
	Na	19	11,000	—
	Ca	44	400	390※2
	Mg	5.5	1,200	—
	K	7.7	740	—
	SO ₄	17	2,700	—
	HCO ₃	170	56	—
	Sr	—	14	—
	F	<0.01	1.0	—
	Br	—	76	—
B	—	5.0	—	

※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。

※2: 水酸化カルシウム溶液は現地地下水を用いて調製しているため、Caイオン濃度のみ測定し、その他のイオンは現地地下水のデータで代表した。



1. 収着分配係数設定においての前提条件

収着分配係数(補足説明資料5 添付資料1)

- 放射性水溶液の調整
 - ・測定に使用する放射性水溶液は、放射性原液を所定の条件(放射能濃度等)になるように水で希釈・調整して用いた。
- 分配係数取得試験の初期濃度
 - ・試験対象とする液相である「現地地下水」、「人工海水」、「水酸化カルシウム溶液」の核種ごとの初期濃度を第4表に、元素濃度を第5表に示す。

第4表 核種ごとの初期濃度

第5表 元素濃度

	n数	初期濃度 (Bq/ml)				
		Co-60	Sr-85	Cs-137	Eu-152	Am-241
現地地下水	1	4.8×10^2	3.9×10^2	3.1×10^2	5.1×10^1	8.6×10^0
	2	4.9×10^2	3.9×10^2	3.1×10^2	5.0×10^1	8.6×10^0
	3	4.9×10^2	3.9×10^2	3.1×10^2	5.0×10^1	8.3×10^0
人工海水	1	4.7×10^2	3.8×10^2	3.2×10^2	5.1×10^1	8.7×10^0
	2	5.0×10^2	3.8×10^2	3.2×10^2	5.1×10^1	8.6×10^0
	3	4.8×10^2	3.8×10^2	3.2×10^2	5.2×10^1	8.9×10^0
水酸化Ca	1	5.2×10^1	3.5×10^2	3.3×10^2	5.2×10^1	8.6×10^0
	2	5.3×10^1	3.3×10^2	3.3×10^2	5.3×10^1	9.0×10^0
	3	5.3×10^1	3.1×10^2	3.4×10^2	5.1×10^1	8.4×10^0

	現地地下水	人工海水	水酸化Ca
	mol/l		
Co	2.2×10^{-8}		2.4×10^{-9}
Sr	7.3×10^{-9}		
Cs	7.0×10^{-8}		
Eu	9.0×10^{-10}		
Am	2.8×10^{-10}		

1. 収着分配係数設定においての前提条件

➤ 分配係数取得試験結果

- 測定に当たっては、固相を入れないブランク試験として、同じ試験条件で振とう・攪拌を行い、容器壁面への放射性核種の吸着について確認を行った。ブランク試験で放射能濃度の低下が生じた場合は、容器への核種の吸着及び沈殿が生じた可能性があるため、初期濃度を決定するに当たり、試験終了後に使用した容器を酸で洗浄するなどして、容器壁面への放射性核種の吸着を考慮した。
- ブランク試験の結果、Co-60については水酸化カルシウム溶液で、Eu-152, Am-241についてはほぼ全ての溶液で、液相中の放射能濃度の低下が確認され、反応容器への吸着等の可能性があった。
- Co-60に関しては、反応容器への核種の吸着を確認するため、反応容器の酸洗浄を実施した。その結果、固液混合試料ではほとんど核種の回収ができなかったことから、ブランク試験と比較して核種の吸着はほとんど生じていないと判断し、固液混合試料の反応前後における液相の放射能濃度から分配係数を算出した。
- Eu-152, Am-241に関しては、試験における大部分の固液混合試料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Eu-152又はAm-241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、反応終了時における固液混合試料の液相の濃度を検出限界値として分配係数を算出した。

▶ 媒体ごとの試験結果採用の考え方

(1) 埋設地内土砂

埋設地内土砂は、鉄箱内充填砂、廃棄物間の充填砂、廃棄物と矢板間の充填砂、中間覆土が対象となる。現地地下水、水酸化カルシウム溶液を使用した試験結果から設定した。廃棄物にはコンクリート廃棄物が含まれるため、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、埋設地内土砂の収着分配係数の設定に当たっては、水酸化カルシウム溶液を使用した試験結果についても考慮して設定した。

(2) 帯水層土壌

現地地下水を使用した試験結果から設定したが、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、最も厳しい自然事象シナリオの設定においては、人工海水を利用した試験結果を用いる。なお、廃棄物にはコンクリート廃棄物が含まれるが、浸透水が帯水層に到達すれば、上流からの地下水によって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。そのため、水酸化カルシウム溶液を使用した試験結果については考慮しない。

(3) 通気層土壌

現地地下水、水酸化カルシウム溶液を使用した試験結果から設定した。廃棄物にはコンクリート廃棄物が含まれるため、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、水酸化カルシウム溶液を使用した試験結果についても考慮して設定した。また、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、最も厳しい自然事象シナリオの設定においては、人工海水を利用した試験結果を用いる。

2. 収着分配係数設定の考え方

➤ 収着分配係数設定方法

- Co, Sr, Cs, Eu, 全 α (Am)については、試験結果を液相ごとに算術平均又は幾何平均し、さらにこれらの値を保守的に有効数字2桁で切り下げた値を設定した。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いAm-241の試験結果を用いて設定している。
- 試験結果を液相ごとに幾何平均又は算術平均した結果を第6表のとおり整理した。値を小さく設定したほうが保守的となるため、幾何平均の値を用いる(算術平均より幾何平均の方が小さくなるため)。
- 埋設地内土砂は現地地下水及び水酸化カルシウム溶液の試験結果から、最も小さい値を1桁目が1か3になるように小さい方に丸めた値を設定した。帯水層土壌は、現地地下水による試験結果から、値を1桁目が1か3になるように小さい方に丸めた値を設定した。通気層土壌は、現地地下水及び水酸化カルシウム溶液の試験結果から、最も小さい値を1桁目が1か3になるように小さい方に丸めた値を設定した。(それぞれの設定値は、第7表及び第8表参照。)

第6表 液相の平均値

液相条件		Co-60	Sr-85	Cs-137	Eu-152	Am-241
水酸化Ca溶液	幾何平均	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	5.4×10^{-1}	1.5×10^0	4.0×10^{-1}
	算術平均	4.2×10^{-2}	3.9×10^{-3}	7.3×10^{-1}	1.5×10^0	4.0×10^{-1}
現地地下水	幾何平均	3.9×10^{-1}	8.1×10^{-3}	5.3×10^{-1}	9.7×10^{-1}	2.6×10^{-1}
	算術平均	4.0×10^{-1}	8.1×10^{-3}	5.4×10^{-1}	1.1×10^0	3.2×10^{-1}
人工海水	幾何平均	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-4}	1.0×10^{-2}	1.3×10^0	4.0×10^{-1}
	算術平均	2.0×10^{-2}	3.9×10^{-4}	1.0×10^{-2}	1.4×10^0	4.0×10^{-1}

m^3/kg

2. 収着分配係数設定の考え方

➤ 収着分配係数設定方法

試験結果の採用値と評価に使用する収着分配係数設定値は最も可能性が高い自然事象及び最も厳しい自然事象で、第7表及び第8表のとおりとなる。なお、最も厳しい自然事象では、統計的なばらつきを考慮して、採用値を10分の1倍し、1桁目が1か3になるように小さい方に丸めた値としている。

第7表 試験結果の採用値と評価に使用する収着分配係数設定値(最も可能性が高い自然事象) (m³/kg)

媒体	Co-60		Sr-85		Cs-137		Eu-152		Am-241	
	採用値	設定値	採用値	設定値	採用値	設定値	採用値	設定値	採用値	設定値
埋設地内土砂	4.2×10^{-2}	3.0×10^{-2}	3.9×10^{-3}	3.0×10^{-3}	5.3×10^{-1}	3.0×10^{-1}	9.7×10^{-1}	3.0×10^{-1}	2.6×10^{-1}	1.0×10^{-1}
帯水層土壌	3.9×10^{-1}	3.0×10^{-1}	8.1×10^{-3}	3.0×10^{-3}	5.3×10^{-1}	3.0×10^{-1}	9.7×10^{-1}	3.0×10^{-1}	2.6×10^{-1}	1.0×10^{-1}
通気層土壌	4.2×10^{-2}	3.0×10^{-2}	3.9×10^{-3}	3.0×10^{-3}	5.3×10^{-1}	3.0×10^{-1}	9.7×10^{-1}	3.0×10^{-1}	2.6×10^{-1}	1.0×10^{-1}

第8表 試験結果の採用値と評価に使用する収着分配係数設定値(最も厳しい自然事象) (m³/kg)

媒体	Co-60		Sr-85		Cs-137		Eu-152		Am-241	
	採用値	設定値	採用値	設定値	採用値	設定値	採用値	設定値	採用値	設定値
埋設地内土砂	4.2×10^{-2}	3.0×10^{-3}	3.9×10^{-3}	3.0×10^{-4}	5.3×10^{-1}	3.0×10^{-2}	9.7×10^{-1}	3.0×10^{-2}	2.6×10^{-1}	1.0×10^{-2}
帯水層土壌	2.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	3.9×10^{-4}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	9.7×10^{-1}	3.0×10^{-2}	2.6×10^{-1}	1.0×10^{-2}
通気層土壌	2.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	3.9×10^{-4}	3.0×10^{-5}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	9.7×10^{-1}	3.0×10^{-2}	2.6×10^{-1}	1.0×10^{-2}

2. 収着分配係数設定の考え方

➤ 分配係数取得試験を実施していない評価対象核種の設定

安全評価の評価対象核種で、分配係数取得試験の対象としていない核種は、**H-3**、**C-14**、**Cl-36**、**Ca-41**となる。これらの核種については、以下のとおり設定する。

(1) H-3

文献値としては、分配係数はIAEA-TECDOC-401では0、IAEA-TECDOC-1616では $1.0 \times 10^{-4} (\text{m}^3/\text{kg})$ と記載されている。H-3は、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、収着分配係数を0と設定する。

(2) C-14

C-14は、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。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、保守的に収着分配係数を0と設定する。

(3) Cl-36

Cl-36は、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。日本原子力研究所による分配係数試験(JAERI-M 93-113)では、固相が砂の条件で分配係数が0と記載されている。したがって、収着分配係数を0と設定する。

(4) Ca-41

Ca-41は、化学的に類似(アルカリ土類金属)のSr-85で取得した分配係数を使用する。

3. 収着分配係数設定値

➤ 収着分配係数の設定

安全評価における最も可能性が高い自然事象シナリオ及び最も厳しい自然事象シナリオに使用する収着分配係数の設定値は、第9表及び第10表のとおり設定する。

第9表 安全評価に使用する収着分配係数
(最も可能性が高い自然事象)

(m^3/kg)

放射性核種	埋設地内土砂	帯水層土壌	通気層土壌
H-3	0	0	0
C-14	0	0	0
Cl-36	0	0	0
Ca-41	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}
Co-60	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-2}
Sr-90	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}	3.0×10^{-3}
Cs-137	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}
Eu-152	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}
Eu-154	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}	3.0×10^{-1}
全 α	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}	1.0×10^{-1}

第10表 安全評価に使用する収着分配係数
(最も厳しい自然事象)

(m^3/kg)

放射性核種	埋設地内土砂	帯水層土壌	通気層土壌
H-3	0	0	0
C-14	0	0	0
Cl-36	0	0	0
Ca-41	3.0×10^{-4}	3.0×10^{-5}	3.0×10^{-5}
Co-60	3.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
Sr-90	3.0×10^{-4}	3.0×10^{-5}	3.0×10^{-5}
Cs-137	3.0×10^{-2}	1.0×10^{-3}	1.0×10^{-3}
Eu-152	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}
Eu-154	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}	3.0×10^{-2}
全 α	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}	1.0×10^{-2}