

8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の下水汚泥焼却灰等及び浄水発生土の処分方法に関する方針（案）

平成23年12月2日

環境省

平成23年10月4日の国土交通省の第4回下水道における放射性物質対策に関する検討会、及び同11月15日の第9回災害廃棄物安全評価検討会等において、溶出性の低い下水汚泥焼却灰及びその溶融物等（以下、「下水汚泥焼却灰等」という。）や浄水発生土に関する知見が示されたところであり、こうした溶出性の低い8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の下水汚泥焼却灰等や浄水発生土の処分方法についての技術的な検討結果を以下のとおり取りまとめた。

1 溶出性の低い下水汚泥焼却灰等や浄水発生土に関する知見

(1) 下水汚泥焼却灰等や浄水発生土からの放射性セシウムの溶出特性

10月4日の国土交通省における第4回下水道における放射性物質対策に関する検討会では、下水汚泥焼却灰等の放射性セシウムの溶出試験（JISK0058）の結果について、次の知見（別添1：第4回下水道における放射性物質対策に関する検討会資料4及び参考資料6）が示されている。

- 下水汚泥の焼却炉の型式として最も一般的である流動床焼却炉8カ所（9検体）に加えて、それ以外の型式であるストーカー式焼却炉1カ所（1検体）の計9カ所の焼却灰試料10検体を調査した結果、流動床焼却炉5カ所（6検体）、ストーカー式焼却炉1カ所（1検体）の計6カ所（7検体）の焼却灰についてJIS攪拌試験（JISK0058）での溶出液の放射性セシウム濃度が検出下限以下であった。
- 残りの流動床焼却炉3カ所（3検体）の焼却灰の溶出率も0.5～2.7%（溶出量：検出下限以下～21Bq/L）と極めて低かった。
- 下水汚泥の溶融炉2カ所（2検体）について、溶融スラグを調査した結果、溶出液の放射性セシウム濃度が検出下限以下であった。

なお、8月10日の第5回災害廃棄物安全評価検討会においては、下水汚泥の焼却灰等（焼却灰、湿灰、スラグ、ばいじん（溶融飛灰）、焼却灰混練物）のJIS攪拌試験（JISK0058）の結果について、溶出量が検出下限以下～35Bq/Lと示されている（別添2）。また、国交省提供資料（自治体の測定事例）によれば、下水汚泥焼却灰混練物（3,900Bq/kg）の溶出量が検出下限以下と示されている（別添3）。

また、浄水発生土の放射性セシウムの溶出試験（JISK0058）の結果（3検体、試料中の放射性セシウム濃度6,130Bq/kg～100,800Bq/kg）について、いずれも

溶出液の放射性セシウム濃度が検出下限以下であることが報告されている（別添4：厚生労働省提出資料）。

さらに、11月15日の第9回災害廃棄物安全評価検討会において示された、国土交通省及び厚生労働省の協力により行われた下水汚泥焼却灰等や浄水発生土の逐次抽出試験による長期的な溶出性に関する知見は、次のとおりである（別添5：第9回災害廃棄物安全評価検討会資料4-1 逐次抽出試験による放射性Csの存在形態の推定）。

- ごみ焼却主灰（放射性セシウム濃度 15,200Bq/kg）、下水汚泥焼却灰（同 35,000 Bq/kg）、浄水発生土（同 13,820 Bq/kg）について、逐次抽出試験によりセシウムの化学形態を推定したところ、難溶解性の残留態の割合が8割～9割程度と高かった。
- 一方、ごみ焼却飛灰（同 3,480 Bq/kg）については、溶解性の水溶性画分、イオン交換態の割合が7割～8割程度と高かった。

(2) 下水汚泥焼却灰等や浄水発生土を埋め立てた最終処分場での浸出水への影響

下水汚泥焼却灰等及び浄水発生土を埋め立てている東京都中央防波堤処分場における浸出液中の放射性セシウムは不検出となっている。（東京都ホームページ：都廃棄物埋立処分場での放射線量（γ線）等測定結果（平成23年5月～7月）、同（平成23年8月以降）、同（平成23年11月以降））

2 溶出性の低い廃棄物の埋立方法に関する基本的な考え方

特措法の処理基準（案）においては、処分に伴い生ずる排水の排出口において事故由来放射性物質の濃度を監視することにより、事業場周辺の公共用水域の水中の事故由来放射性物質の三月間の平均濃度について、以下の式(1)を満たすこととされている。

$$\frac{{}^{134}\text{Csの濃度 (Bq/L)}}{60 \text{ (Bq/L)}} + \frac{{}^{137}\text{Csの濃度 (Bq/L)}}{90 \text{ (Bq/L)}} \leq 1 \quad \dots (1)$$

式(1)に示す濃度限度を満たすために、溶出性の低い8,000Bq/kgを超え10万Bq/kg以下の廃棄物を埋立処分する場合には、以下の①～③の措置をとることが必要である。

① 廃棄物層の上部への不透水性土壌層（隔離層）の設置

廃棄物層の上部に不透水性土壌層^(注1) (隔離層) を設置し、廃棄物層への水の浸入を長期的に防止する。

② 廃棄物層の下部への土壌層の設置

仮に埋立場所に水が浸入しても放射性セシウムが排水中に流出するのを遅らせるために、埋立場所の下部には土壌の層 (厚さ 50cm 程度。) を設置する。

土壌層の設置の効果については、分配係数の高い土壌を廃棄物層の下部に設置すると、放射性セシウムの通過を大幅に遅延し、放射能の自然減衰の効果を期待できる (第 5 回災害廃棄物安全評価検討会資料 3-2)。

ここで、下水汚泥焼却灰等や浄水発生土の放射性セシウムの JIS 攪拌試験 (JISK0058) による溶出量がセシウム 137 で 150Bq/L^(注2) 以下である場合には、不透水性土壌層による廃棄物層への水の浸入の防止※とあわせ、土壌層の設置による遅延効果により、放射能濃度を濃度限度以下に抑えることが可能と試算される (別添 6)。

※ 燃え殻等を埋立処分する管理型最終処分場の平均維持管理年数は、約 25 年 (平成 18 年 4 月環境省「最終処分場維持管理積立金に係る維持管理費用算定ガイドライン」) であり、この間、不透水性土壌層を適切に設置し、管理を行うことにより、埋め立て後 25 年程度廃棄物層への水の浸入を防止するものと仮定する。

ここで、下水汚泥焼却灰等や浄水発生土に求められる溶出量 (セシウム 137 で 150Bq/L 以下) は、ごみ焼却飛灰をセメントで成形固化したものの溶出量と同等程度である。 (第 5 回災害廃棄物安全評価検討会資料 3-1)。

なお、上下水汚泥等の焼却灰を埋め立てる際には、飛散防止のため、水分を添加し、固型化し、こん包する等必要な措置を講ずることとする。

③ 浸出液処理水のモニタリング

①、②の措置をとったうえで、万が一、放射性セシウムが流出してきた場合の対応として、処分場からの排水等のモニタリングを行い、必要に応じて排水処理を行う。

(注1) 「不透水性土壌層」は、特措法省令事項素案 特定廃棄物の埋立処分基準 (第 20 条) (2) ②ニに示されたものを指す。

(注2) 放射性セシウム濃度が 10 万 Bq/kg (セシウム 137 が 5 万 Bq/kg) の場合、溶出率 3% に相当。

放射性セシウムの除去に対応した排水処理については、浸出水処理施設における活性炭吸着塔、キレート吸着塔等を利用したゼオライト処理により、放射性セシウム濃度が低減可能であることが報告されている（第9回災害廃棄物安全評価検討会資料4-2）。

3 事故由来放射性物質の溶出量が少ないものとして環境大臣が定める基準に適合すると環境大臣が認めた特定廃棄物（案）

(1) 溶出量が少ないものとして環境大臣が定める基準

溶出量が少ないものとして認められる廃棄物は、1で示された逐次抽出試験により、セシウムの難溶解性の残留態の割合が8割～9割程度と高く、かつJIS攪拌試験（JISK0058）により溶出量が低いもの（現時点では、下水汚泥焼却灰等^(注3)、浄水発生土）とすることが想定される。しかし、現時点で、これらの廃棄物が全て溶出量が少ないことを示すために十分なデータの蓄積がないことから、当面の間は、これらの廃棄物のうち、JIS攪拌試験（JIS K0058）により、セシウム137の溶出量が150Bq/L^(注2)以下であることが確認されたものとすることが適当である。

なお、確認の頻度については、今回溶出量が少ないものの対象となる廃棄物を排出する施設が、特措法第16条の事故由来放射性物質の測定対象義務の対象となる施設（上下水道施設等）であることから、その測定の頻度ごとに、溶出量について確認を行うことが望ましい。

(2) 溶出低減のための措置のうち、適用しないこととするもの

溶出量が150Bq/L^(注2)以下である8,000Bq/kgを超え100,000Bq/kg以下の下水汚泥焼却灰等や浄水発生土を埋め立てた場合、2に示されたとおり、特措法第20条に基づく埋立処分基準（案）のうち、(3)②ロ（特定廃棄物を環境大臣が定める方法により固形化すること）を適用しなくても、ごみ焼却飛灰をセメントで成形固化したものと同等程度の溶出量となると考えられる。

また、固形化を適用しないことにより、ハ（固化物を損傷しにくい容器に収納すること）が適用されないが、上下水汚泥等の焼却灰を埋め立てる際には、水分を添加し、固型化し、こん包する等飛散防止のための必要な措置を行うことにより、飛散防止を行うこととなる。

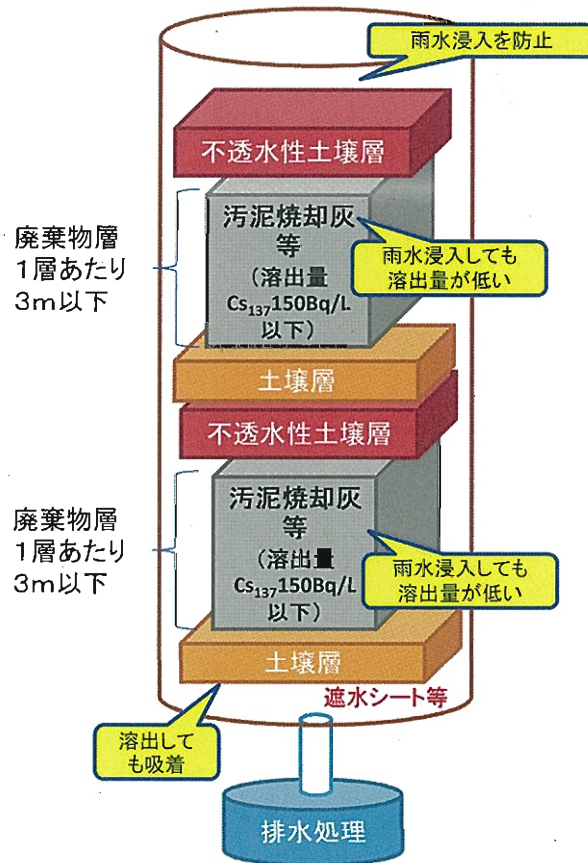
また、ニの一部（特定廃棄物の側面に不透水性土壌層を設置すること）を適用しなくても、廃棄物層の上部への不透水性土壌層の設置及び下部への土壌層の設置により、排水の濃度限度を満たすことが可能であると考えられる。

(注3) 8千Bq/kgを超え10万Bq/kg以下の有機性の下水汚泥については、上部への不透水性土壌層の設置により水の長期的な浸入防止を図りつつ、腐敗により発生するガスの排除を行う必要がある等の技術的課題があるため、現時点では対象から除外する。

さらに、8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の特定廃棄物の処理は、特措法に基づき国が行うこととなるため、国が処分場からの排水等のモニタリングを行い、必要に応じて排水処理を行う等の長期的な管理を徹底することにより、周辺への安全性を確保することとする。

8,000Bq/kg を超え 100,000Bq/kg 以下の下水汚泥焼却灰等及び浄水発生土の処分方法の概要

【一般廃棄物最終処分場（管理型最終処分場）での処理イメージ】



下水汚泥焼却灰等の放射性セシウムの溶出について

下水汚泥焼却灰および溶融スラグ（下水汚泥焼却灰等）について、放射性セシウムの溶出特性を、JIS 攪拌試験¹⁾により調査した。以下に、放射性セシウムの溶出試験結果の概要を示す。

- (1) 下水汚泥の焼却炉の型式として最も一般的である流動床焼却炉 8 カ所 (9 検体) に加えて、それ以外の型式であるストーカー式焼却炉 1 カ所 (1 検体) の計 9 カ所の焼却灰試料 10 検体を調査した結果、流動床焼却炉 5 カ所 (6 検体)、ストーカー式焼却炉 1 カ所 (1 検体) の計 6 カ所 (7 検体) の焼却灰について溶出液の放射性セシウム濃度が検出下限以下であった。
- (2) 残りの流動床焼却炉 3 カ所 (3 検体) の焼却灰の溶出率²⁾も 0.5~2.7%と極めて低かった。
- (3) 下水汚泥の溶融炉 2 カ所 (2 検体) について、溶融スラグを調査した結果、溶出液の放射性セシウム濃度が検出下限以下であった。

表 1 下水汚泥焼却灰等から放射性セシウムの溶出試験結果の概要

	炉型式	溶出液が検出下限以下 (試料数)	溶出率 (%及び試料数)	合計試料数	焼却灰等の放射性セシウム 濃度 (Bq/kg)
焼却灰	流動床炉	6	0.5~2.7(3試料)	9	2,790~23,100
	ストーカー炉	1	-	1	8,690
溶融スラグ	溶融炉	2	-	2	38及び17,800

以上より、下水汚泥焼却灰等は、水と接触しても放射性セシウムが溶出しにくいものがほとんどであると考えられる。

- 1) 「JIS K 0058-1:2005 スラグ類の化学物質試験方法—第 1 部：溶出試験方法」に規定する利用有姿による試験
- 2) 溶出試験前の下水汚泥焼却灰等に含まれる放射性セシウム量に対する、溶出試験後の溶出液に含まれる放射性セシウム量の割合

参考資料6
(第4回下水道における放射性物質対策に関する検討会)

下水汚泥焼却灰等の放射性セシウム溶出試験結果 (JIS機拌試験)

No.	処理場	排除方式	凝集剤	脱水方式	焼却炉タイプ	Cs-134		Cs-137		Cs計 (Cs-134 + Cs-137)		溶出率 %		
						溶出前試料 放射能[Bq/kg] (検出下限[Bq/kg])	溶出後溶出液 放射能[Bq/L] (検出下限[Bq/L])	溶出率 %	溶出前試料 放射能[Bq/kg] (検出下限[Bq/kg])	溶出後溶出液 放射能[Bq/L] (検出下限[Bq/L])	溶出率 %		溶出前試料 放射能[Bq/kg]	溶出後溶出液 放射能[Bq/L]
1	A 処理場 焼却灰	分流	高分子凝集剤	加圧ろ過 ベルトプレス スクリーンプレス	気泡塔式流動床炉	3,490 (3.34)	8 (3.29)	2.2	4,230 (2.72)	13 (3.43)	3.1	7,720	21	2.7
2	B 処理場 焼却灰	分流 一部合流	塩化第二鉄 消石灰 高分子凝集剤	加圧ろ過 遠心分離	循環式流動床炉	10,600 (8.69)	6 (3.21)	0.6	12,500 (6.48)	5 (3.59)	0.4	23,100	11	0.5
3	C 処理場 焼却灰	合流 一部分流	高分子凝集剤	遠心分離	気泡塔式流動床炉	3,430 (4.18)	4 (2.99)	1.2	4,110 (2.94)	ND (3.73)		7,540	4	0.6
4	D 処理場 焼却灰	分流 一部分合流	高分子凝集剤	遠心ろ過 加圧ろ過	循環式流動床炉	2,710 (8.65)	ND (6.46)		3,100 (7.11)	ND (6.76)		5,810	ND	
5	E 処理場 焼却灰	分流 一部分合流	高分子凝集剤	遠心分離	循環式流動床炉	1,430 (10.0)	ND (6.16)		1,630 (9.84)	ND (7.31)		3,060	ND	
6	F 処理場 焼却灰	合流 一部分流	塩化第二鉄 消石灰 高分子凝集剤	遠心分離	気泡塔式流動床炉	3,450 (5.83)	ND (3.38)		4,120 (4.80)	ND (3.78)		7,570	ND	
7	G 処理場 焼却灰	合流 一部分流	高分子凝集剤	遠心分離	乾燥段付流動床炉	4,300 (7.45)	ND (2.93)		5,170 (5.24)	ND (3.60)		9,470	ND	
8	H 処理場 焼却灰その1	分流 一部分合流	高分子凝集剤	ベルトプレス 遠心分離	気泡塔式流動床炉	1,350 (9.81)	ND (5.73)		1,540 (9.71)	ND (6.73)		2,890	ND	
9	H 処理場 焼却灰その2	分流 一部分合流	高分子凝集剤	ベルトプレス 遠心分離	気泡塔式流動床炉	1,310 (8.40)	ND (3.33)		1,480 (7.95)	ND (3.57)		2,790	ND	
10	I 処理場 焼却灰 (飛灰をわずかに含む)	分流 一部分合流	なし	真空ろ過	スターカーブ	3,950 (8.09)	ND (3.19)		4,740 (6.01)	ND (3.56)		8,690	ND	
11	J 処理場 溶融スラグ(人工骨材)	分流		遠心分離 ベルトプレス	スラグバス式	16 (5.43)	ND (5.70)		22 (6.30)	ND (7.09)		38	ND	
12	K 処理場 溶融スラグ	分流 一部分合流		加圧ろ過 遠心分離	旋回溶融炉	8,060 (10.7)	ND (3.14)		9,740 (7.92)	ND (3.94)		17,800	ND	

放射能の()中の数値は、検出下限値を示す。

焼却灰等からの放射性セシウムの 溶出挙動に関する検討

(独)国立環境研究所
資源循環・廃棄物研究センター

1

溶出試験の目的と試験項目

- 目的
 - 焼却灰等からの放射性物質溶出濃度と溶出挙動の把握
- 試験項目
 - JIS K 0058-1 の 5. 有姿攪拌試験
 - 都市ごみ焼却 (5 施設) 主灰 4, 原飛灰 5, 飛灰処理物 5, スラグ 1, 下水汚泥焼却灰 (2 施設)
 - 都市ごみ焼却主灰と飛灰処理物の混合物
 - シリアルバッチ試験 (迅速法)
 - 都市ごみ焼却主灰 1, 飛灰処理物 1

2

JIS K 0058-1 第 5 項 利用有姿による溶出量試験

利用有姿の状態:

- ◎ 粉塊状の試料
粉砕することなく, その粒径分布
に応じて縮分して調製
- ◎ 大型試料
コンクリート製品
100mmφ × 200mm 供試体
アスファルト成型体
100mmφ × 63.5mm 供試体
- ◎ 5 kg以下試料は, そのまま

- ◆ 10 倍量の水に浸漬
- ◆ 6 時間
- ◆ 回転数 200 回/分
- ◆ 0.45μmメンブレンフィルターでろ過

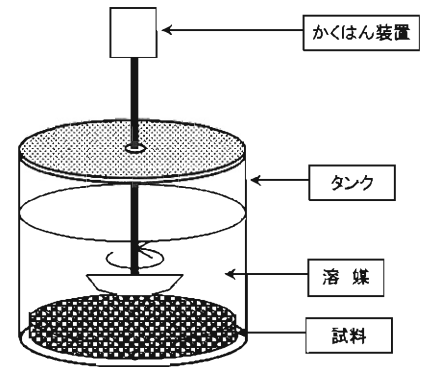


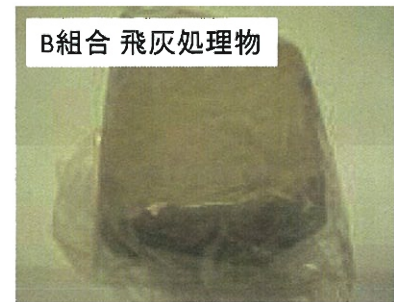
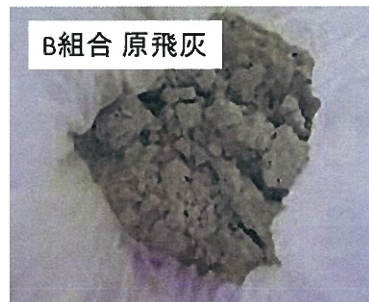
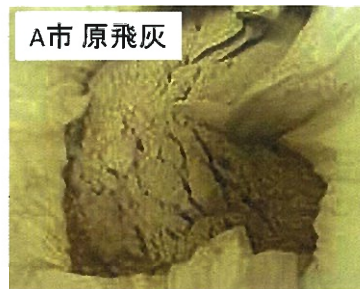
図 1 溶出量試験装置の概略図



試験実施機関: (株)環境管理センター

試料の一例

施設	主灰	原飛灰	飛灰処理物	スラグ
A		○	○	
B	○	○	○	
C	○	○	○	
D	○	○	○	
E	○	○	○	
F				○



※A施設は流動床焼却炉、B~Eはストーカー焼却炉、F施設は電気式灰溶融施設

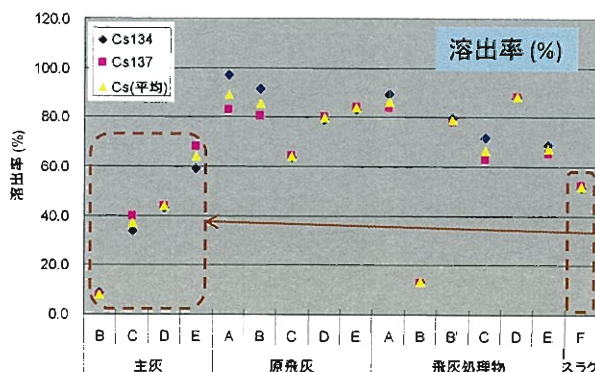
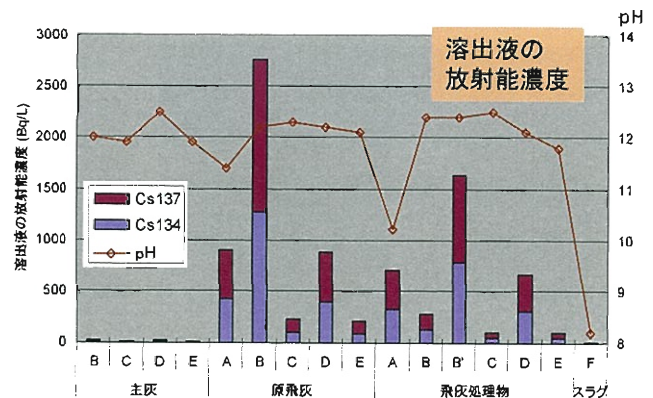
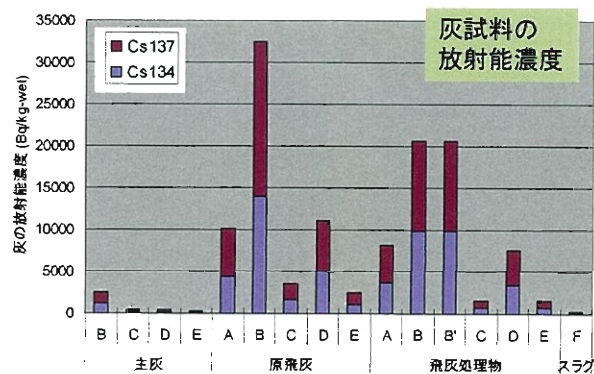
試験結果(都市ごみ焼却灰)

試験実施機関: (株)環境管理センター

		Cs (134+137) ※			pH	EC (mS/m)
		灰試料 (Bq/kg)	溶出液 (Bq/L)	溶出率 (%)		
A	原飛灰	10140	903	89.1	11.4	2510
	飛灰処理物	8170	705	86.3	10.2	1780
B	主灰	2450	<20	<8.2	12	401
	原飛灰	32400	2760	85.2	12.2	3830
	飛灰処理物	20600	270	13.1	12.4	3270
	(同・30mm粉砕)		1590	77.2	12.4	3240
	(同・2mm粉砕)		1630	79.1	12.4	3240
	主灰:飛灰=4:1混合		360	34.0	11.9	1000
C	主灰	371	<14	<37	11.9	385
	飛灰	3480	223	64.1	12.3	3850
	飛灰処理物	1520	101	66.4	12.5	2050
D	主灰	344	<15	<44	12.5	802
	飛灰	11000	875	79.5	12.2	6620
	飛灰処理物	7510	662	88.1	12.1	4700
E	主灰	212	<14	<64	11.9	349
	飛灰	2400	201	83.8	12.1	5570
	飛灰処理物	1520	102	67.1	11.8	2600
F	スラグ	280	<15	<52	8.2	3.9

※ Cs-134 と Cs-137 の結果から単純計算した値。

試験結果(都市ごみ焼却灰)



主灰4+飛灰1の混合灰⇒360 Bq/L (溶出率34%)
予測値 552 Bq/L の65%に減少

※主灰・スラグ溶出液の放射能濃度は全て
定量下限以下。主灰溶出率は B, C, D, E の順に
<8.2%, <37%, <44%, <64%。スラグ溶出率は<52%

試験結果(都市ごみ焼却灰)

主灰 4 試料

1. 灰試料: B (2450 Bq/kg) を除き, 数百 Bq/kg
2. 溶出液: 全て定量下限 (各Cs について 6~10 Bq/L) 以下
3. 溶出率: B 組合 8.2%以下。他は含有量が低いため, B 組合と同様に低いかどうかは不明 (37~64%以下までしか言えない)

原飛灰 5 試料

1. 灰試料: 2400 (C 市) ~ 32400 Bq/kg (B 組合)
2. 溶出液: 223 (C 市) ~ 2760 Bq/L (B 組合)。灰試料濃度にほぼ比例
3. 溶出率: 64~89%

飛灰処理物 5 試料

1. 灰試料: 1520 (C 市) ~ 20600 Bq/kg (B 組合)
2. 溶出液: 101~1630 Bq/L。B 組合の 2 mm 粉碎は有姿より 6 倍高い。
3. 溶出率: 66~88%。ただし B 組合の有姿は 13%

スラグ 1 試料

1. 試料 280 Bq/kg, 溶出液 定量下限 (各Cs について 7~9 Bq/L) 以下。

7

試験結果(下水汚泥)

試験実施機関: (株)環境管理センター

		Cs (134+137) ※			pH	EC (mS/m)
		試料 (Bq/kg)	溶出液 (Bq/L)	溶出率 (%)		
A	焼却灰	35000	30	0.9	6.9	164
	湿灰	22000	35	1.6	6.7	353
	スラグ	24000	<15	<0.6	7.5	0.8
	ばいじん	35000	29	0.8	7.9	287
B	焼却灰	7200	<15	<2.1	6.8	194
	焼却灰混練物	4400	<15	<3.4	9.9	125

※ Cs-134 と Cs-137 の結果から単純計算した値。

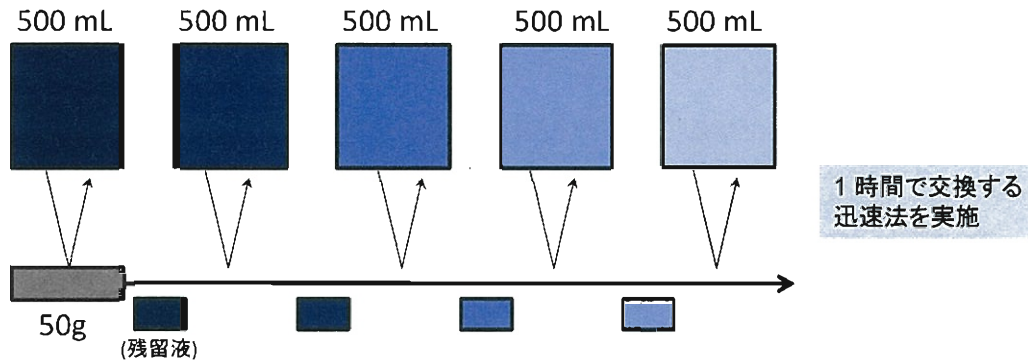
1. 灰試料: 4400~35000 Bq/kg
2. 溶出液: 数十 Bq/L 以下
3. 溶出率: 4%以下

※B 施設を対象に, 試験前後の試料中の放射能濃度を測定したところ, ほぼ変化無し

8

シリアルバッチ試験

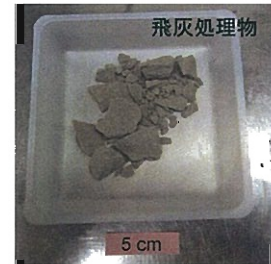
ある廃棄物からの溶出パターンを知る。
⇒ 溶媒を交換していく。



9

シリアルバッチ試験結果

液固比10 L/kg
毎回 1 時間反復振とう (50 回/分でゆるやかに振とう)
⇒ ろ過後の試料で溶出を繰り返す



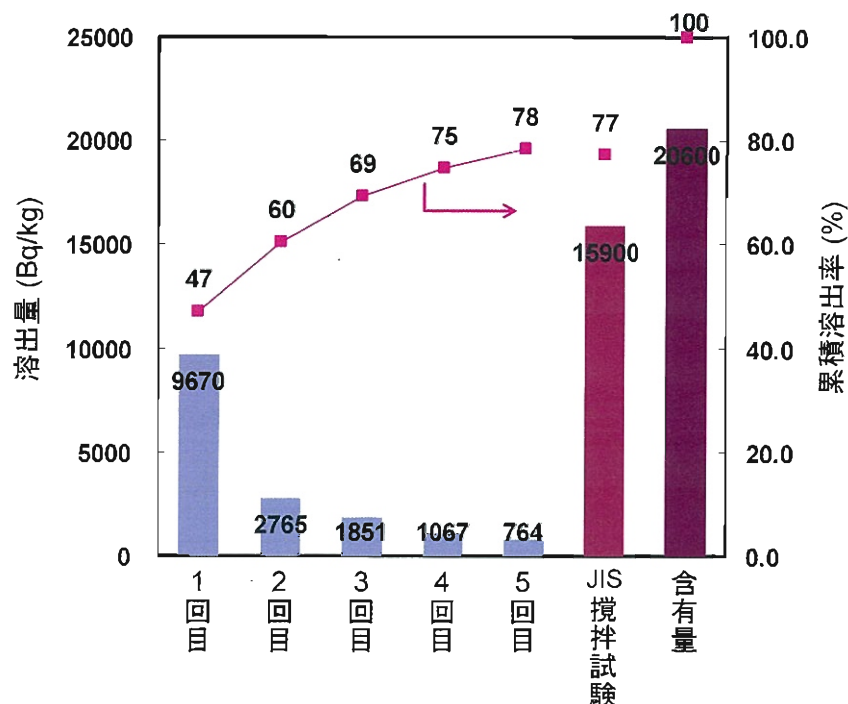
試験実施機関: (株)環境管理センター

試料名	分画	溶出液 (Bq/L)					試験前	試料	ろ過後	
		Cs134	Cs137	Cs合計	pH	EC (mS/m)	液量 mL	投入量 g	液量 mL	
B	主灰	JIS攪拌試験	<10	<10	-	12.0	401	2000	200	-
		1回目	<7	<7	-	11.7	235	500	50	488
		2回目	<7	<8	-	11.3	80.8	488	-	480
		3回目	<8	<8	-	11.2	60.0	480	-	475
		4回目	<7	<8	-	11.2	58.7	475	-	470
		5回目	<7	<8	-	11.0	47.1	470	-	465
	飛灰処理物 (0.5-30mm)	JIS攪拌試験*	712	881	1590	12.4	3240	2000	200	-
		1回目	443	524	967	12.1	1850	500	50	485
		2回目	140	175	315	11.9	738	485	-	480
		3回目	88.1	108	196	11.8	495	480	-	475
		4回目	46.2	68.2	114	11.7	339	475	-	470
	5回目	30.7	51.8	82.5	11.6	271	470	-	465	

* 試験粒度 (5-30 mm) による溶出試験 (JIS K 0058 準拠) の結果

10

シリアルバッチ試験結果



液固比10 L/kg
毎回 1 時間反復振とう
(50 回/分でゆるやかに
振とう) ⇒ 5 回後の試
料で溶出を繰り返し



初期に高濃度, 次第に
濃度低下。

5 回の繰り返しにより,
JIS 有姿攪拌試験とほ
ぼ同量溶出。

拡散律速勾配の範囲
外であった (-0.85)
※溶出率から考えてほ
ぼ涸渇状態

図. 飛灰処理物のシリアルバッチ試験結果

11

溶出試験に関するまとめ

- 1) 都市ごみ焼却主灰の溶出液は全て定量下限以下 (JIS 攪拌試験, シリアルバッチ試験)
- 2) 焼却飛灰は成型固化した状態で溶出率13%だが, 原飛灰ならびに粉状を含む処理物では64~88%と高い (JIS攪拌試験)
- 3) シリアルバッチ試験では, 溶出量は初期に多く次第に減少 (溶解度支配ではない)
- 4) 焼却主灰と飛灰を混合した場合, 溶出率は飛灰からの溶出を仮定した予測値に対して65%に減少 (JIS攪拌試験), 主灰への吸着の可能性有り
- 5) 下水汚泥焼却灰の溶出率は4%未満 (JIS攪拌試験)

12

焼却灰の溶出試験について（放射能）

1 測定対象

焼却灰（処理場またはプラント A、B、C、D、E）、及び混練物、計 6 検体

2 測定手順

① 蒸留水 1 k g に焼却灰 1 0 0 g を加え、6 時間攪拌後、ろ過して測定用試料を作成。

② 測定用試料の放射能を測定。

※ 第 5 回災害廃棄物安全評価検討会資料 3-1 に記載の「JIS K 0058-1 第 5 項
利用有姿による溶出量試験」の方法により測定を実施

3 測定結果

（単位：Bq/kg）

	A	B	B 混練	C	D	E
採取日	10/11	10/6	10/7	10/11	10/12	10/11
焼却灰						
セシウム 134	3200	1600	1700	8700	4500	2400
セシウム 137	4100	2200	2200	11000	5900	3000
溶出液						
セシウム 134	ND(12)	ND(9.6)	ND(13)	ND(9.6)	ND(12)	ND(12)
セシウム 137	ND(8.3)	ND(9.2)	ND(8.3)	ND(10)	ND(12)	ND(10)

注：ND のカッコ内は、検出限界濃度。放射能測定：ゲルマニウム半導体検出器付測定装置
測定時間：1,000 秒

4 参考

今回測定した焼却灰は、いずれも流動焼却炉（燃焼温度 850℃）から発生したものである。

別添4

浄水汚泥溶出試験

(独)国立環境研究所資源循環・廃棄物研究センター
厚生労働省健康局水道課

○試験方法
溶出液の調製はJISK0058の有姿試験による攪拌式溶出試験に準じる。(固液比1:10)

○結果

試験名称	元の汚泥(Bq/kg有姿ベース)			溶出液(Bq/L)			溶出後汚泥(Bq/kg 有姿ベース)						
	Cs134	Cs137	Cs合計	含水率%	Cs134	Cs137	Cs合計	pH	EC(mS/m)	Cs134	Cs137	Cs合計	含水率%
9月16日A市浄水発生土	6310	7510	13820	59.4	<8.34	<7.89	-	7.4	6.6	6920	8320	15240	66.2
9月17日B県浄水発生土	2780	3350	6130	60.2	<6.64	<9.38	-	7.1	45.4	2250	2680	4930	65.4
9月22日C市浄水発生土	45900	54900	100800	66.2	<8.05	<8.32	-	7.1	7.4	37200	45600	82800	70.2

別添5

第9回災害廃棄物安全評価検討会資料4-1

逐次抽出試験による放射性Csの 存在形態の推定

(独)国立環境研究所
資源循環・廃棄物研究センター

逐次抽出試験による評価方法

抽出能力の異なる溶媒で試料を逐次抽出することによりCs等の化学形態を推定

試料 (125 μ m以下に粉碎して適用)

一般廃棄物焼却主灰M(ストーカ式)
一般廃棄物焼却飛灰C(ストーカ式) ⇒ 報告
下水汚泥焼却飛灰G(流動床式)

浄水発生土I
土壌(森林土壌N, 公園土壌O)

⇒ Cs134, Cs137のみ報告

分析項目

Cs134, Cs137,
安定Cs,
Na, K, Rb,
Mg, Ca, Sr, Ba

(含有量, JIS 溶出量とも比較)

分析:(株)環境管理センター

方法

F1 水溶性画分

試料10 gを秤量し、精製水100 mLを入れ、6時間反復振とう後、遠心分離し、上澄み液と残渣をそれぞれ採取する。

F2 酢酸アンモニウム抽出画分(イオン交換態と呼ばれる)

F1の残渣を1M酢酸アンモニウム100 mLを入れ、18時間反復振とう後、遠心分離し、上澄み液と残渣をそれぞれ採取する。

F3 酢酸ナトリウム抽出画分(炭酸塩態と呼ばれる)

F2の残渣を105°Cで2-3時間乾燥させ、酢酸でpH5に調整した1M酢酸ナトリウム100 mLを入れ、18時間反復振とう後、遠心分離し、上澄み液と残渣をそれぞれ採取する。

F4 ヒドロキシルアミン抽出画分(酸化物態と呼ばれる)

F3の残渣を105°Cで2-3時間乾燥させ、体積で酢酸を25%含む0.2M塩酸ヒドロキシルアミン溶液100 mLを入れ、約85°Cの恒温振とう機で18時間反復振とう後、遠心分離し、上澄み液と残渣をそれぞれ採取する。

F5 過酸化水素水抽出画分(有機物・硫化物態と呼ばれる)(浄水発生土と土壌のみ適用)

F4の残渣を105°Cで2-3時間乾燥させ、30%過酸化水素水(0.02M硝酸でpH 2に調整したもの)50 mLを入れ、約85°Cの恒温振とう機で2時間振とうする。冷却後、体積で硝酸を11.1%含む1.78M酢酸アンモニウム溶液100 mLを加え、30分室温で振とう後、遠心分離し、上澄み液と残渣をそれぞれ採取する。

F6 残渣残留画分(残留物態と呼ばれる)

F5の残渣を105°Cで2-3時間乾燥させ、0.5 gを秤量し、濃硝酸2.5 mLと濃塩酸7.5 mLを順に加え、時計皿で覆い120°Cに加熱し反応が終了するまで分解する。5Bろ紙で固液分離し上澄み液を採取する。

含有量(全量), JIS 溶出量, 溶出率

	含有量(全量)		
	Cs134 Bq/kg	Cs137 Bq/kg	Cs合計 Bq/kg
一廃焼却主灰M	6800	8400	15200
一廃焼却飛灰C	1570	1910	3480
下水汚泥焼却灰G	16000	19000	35000
浄水発生土I	6310	7510	13820
森林土壌N	7430	9340	16770
公園土壌O	6240	8010	14250

	JIS K0058溶出量 (試料重量当たりに換算)*		
	Cs134 Bq/kg	Cs137 Bq/kg	Cs合計 Bq/kg
一廃焼却主灰M	386	461	847
一廃焼却飛灰C	999	1230	2230
下水汚泥焼却灰G	140	160	300
浄水発生土I	<83.4	<78.9	<162.3
森林土壌N	<88.0	<83.8	<171.8
公園土壌O	<85.1	<83.8	<168.9

*例えばごみ焼却主灰の386 Bq/kgの場合は、JIS K0058に基づく溶出液の濃度は38.6 Bq/L

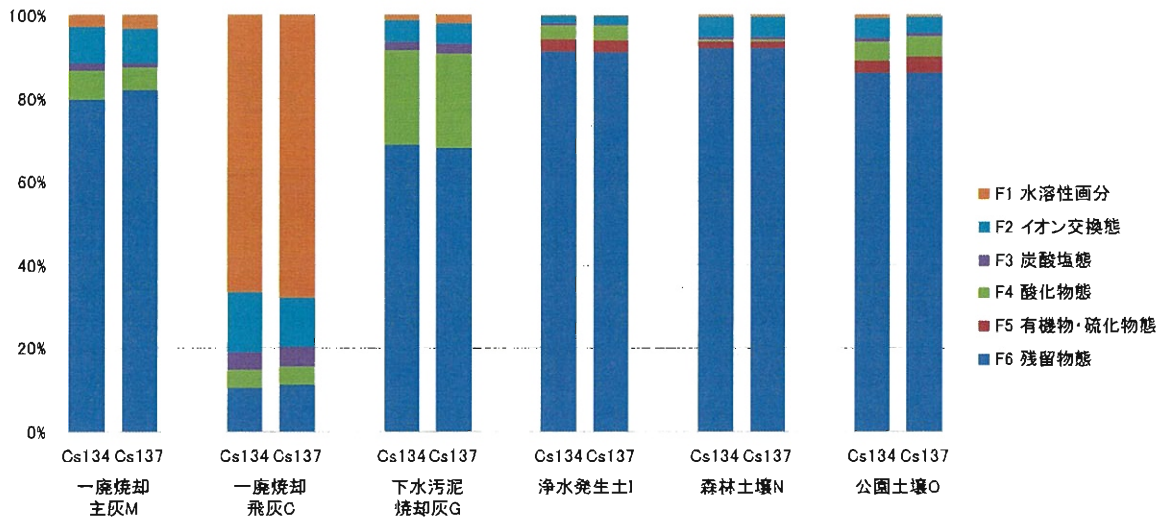
	JIS K0058 溶出率		
	Cs134 %	Cs137 %	Cs合計 %
一廃焼却主灰M	5.7	5.5	5.6
一廃焼却飛灰C	63.6	64.4	64.1
下水汚泥焼却灰G	0.9	0.8	0.9
浄水発生土I	<1.3	<1.1	<1.2
森林土壌N	<1.2	<0.9	<1.0
公園土壌O	<1.4	<1.0	<1.2

逐次抽出試験結果

		Cs134 Bq/kg	Cs137 Bq/kg	Cs合計 Bq/kg	安定Cs mg/kg
一廃焼却主灰M	F1 水溶性画分	190	240	430	0.05
	F2 イオン交換態	570	610	1180	0.1
	F3 炭酸塩態	<230	<130	<360	0.03
	F4 酸化物態	450	410	860	0.08
	F6 残留物態	5200	6000	11200	0.76
	Total	(6600)	(7400)	(14000)	1.0
一廃焼却飛灰C	F1 水溶性画分	1140	1200	2340	1.7
	F2 イオン交換態	250	210	460	0.3
	F3 炭酸塩態	<140	<170	<310	0.17
	F4 酸化物態	<150	<150	<300	0.13
	F6 残留物態	<360	200	<560	0.35
	Total	(2000)	(1900)	(3900)	2.7
下水汚泥焼却灰G	F1 水溶性画分	220	360	580	0.02
	F2 イオン交換態	800	860	1660	0.12
	F3 炭酸塩態	350	400	750	0.14
	F4 酸化物態	3600	4000	7600	0.01
	F6 残留物態	11000	12000	23000	1.7
	Total	16000	17000	33000	(2.0)

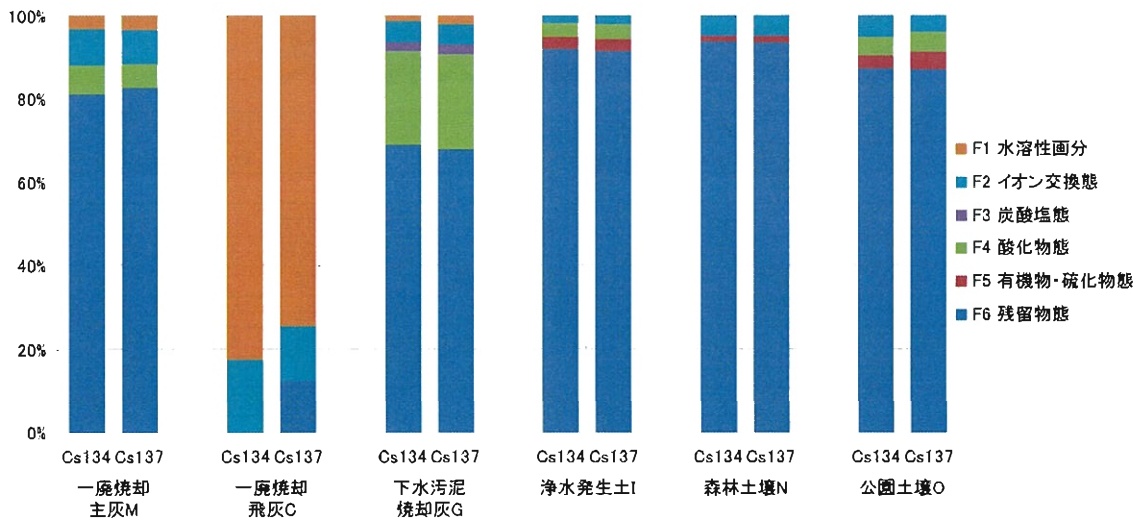
		Cs134 Bq/kg	Cs137 Bq/kg	Cs合計 Bq/kg
浄水発生土I	F1 水溶性画分	<100	<120	<220
	F2 イオン交換態	300	430	730
	F3 炭酸塩態	<160	<100	<260
	F4 酸化物態	570	690	1260
	F5 有機物態	470	580	1050
	F6 残留物態	15000	18000	33000
	Total	(17000)	(20000)	(37000)
森林土壌N	F1 水溶性画分	<100	<120	<220
	F2 イオン交換態	380	480	860
	F3 炭酸塩態	<90	<87	<180
	F4 酸化物態	<98	<110	<210
	F5 有機物態	120	150	270
	F6 残留物態	7400	9200	16600
	Total	(8200)	(10000)	(18302)
公園土壌O	F1 水溶性画分	<110	<98	<210
	F2 イオン交換態	350	330	680
	F3 炭酸塩態	<100	<130	<230
	F4 酸化物態	310	400	710
	F5 有機物態	210	330	540
	F6 残留物態	6000	7200	13200
	Total	(7100)	(8500)	(15600)

注) 赤文字は定量下限以下(数値は定量下限値),
F5(有機物態)は浄水発生土と土壌のみ実施。
有効数字2桁で四捨五入。



	一廃焼却主灰M		一廃焼却飛灰C		下水汚泥焼却灰G		浄水発生土I		森林土壌N		公園土壌O	
	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137
F1 水溶性画分	2.9	3.3	66.6	67.7	1.4	2.1	<0.3	<0.3	<0.6	<0.6	<0.8	<0.6
F2 イオン交換態	8.7	8.3	14.3	11.9	5.0	4.9	1.8	2.1	4.7	4.9	5.0	3.9
F3 炭酸塩態	<1.7	<0.9	<4.2	<4.8	2.2	2.3	<0.5	<0.3	<0.6	<0.4	<0.7	<0.8
F4 酸化物態	6.9	5.6	<4.3	<4.3	22.5	22.8	3.4	3.5	<0.6	<0.5	4.5	4.8
F5 有機物・硫化物態	-	-	-	-	-	-	2.7	2.9	1.4	1.5	3.0	3.9
F6 残留物態	79.7	81.9	<10.6	11.4	68.9	68.0	91.3	90.9	92.0	92.1	86.1	86.0
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

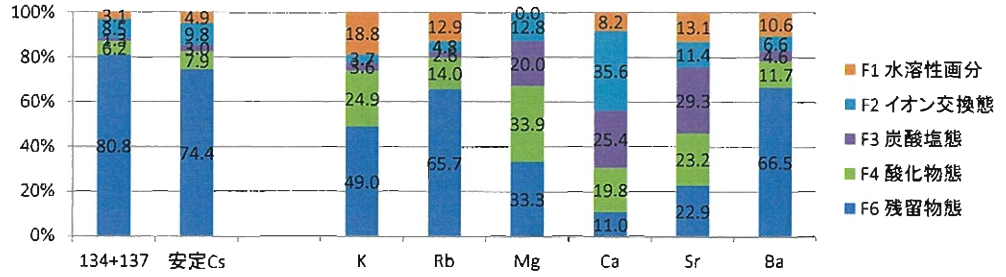
赤字は定量下限以下(数値は定量下限値×0.5として計算)



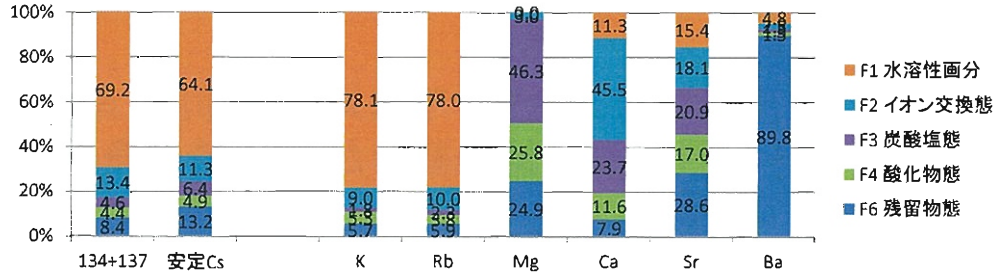
	一廃焼却主灰M		一廃焼却飛灰C		下水汚泥焼却灰G		浄水発生土I		森林土壌N		公園土壌O	
	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137	Cs134	Cs137
F1 水溶性画分	3.0	3.3	82.3	74.5	1.4	2.1	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F2 イオン交換態	8.9	8.4	17.7	13.0	5.0	4.9	1.8	2.2	4.8	4.9	5.1	4.0
F3 炭酸塩態	0.0	0.0	0.0	0.0	2.2	2.3	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
F4 酸化物態	7.0	5.6	0.0	0.0	22.5	22.8	3.4	3.5	0.0	0.0	4.5	4.9
F5 有機物・硫化物態	-	-	-	-	-	-	2.8	3.0	1.5	1.5	3.0	4.0
F6 残留物態	81.1	82.6	0.0	12.5	68.9	68.0	92.0	91.4	93.7	93.5	87.4	87.2
Total	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0

赤字は定量下限以下(定量下限データをゼロとして計算)

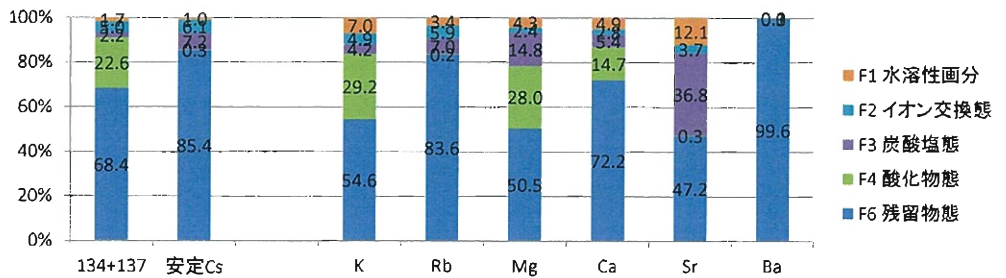
一廃焼却
主灰M



一廃焼却
飛灰C

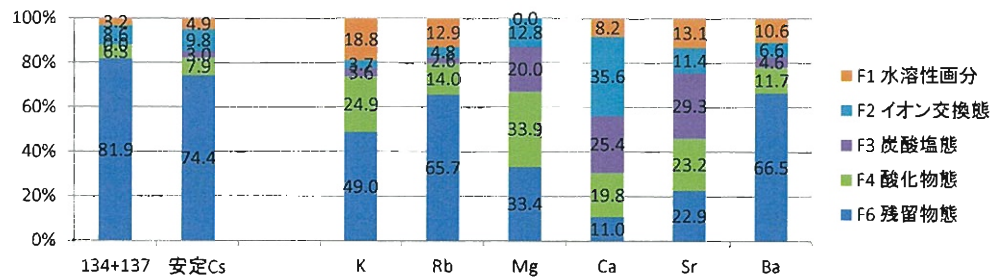


下水汚泥
焼却灰G

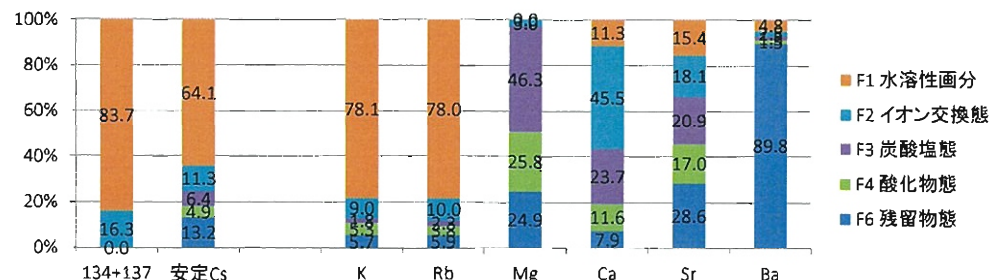


(定量下限値以下は定量下限値×0.5を採用)

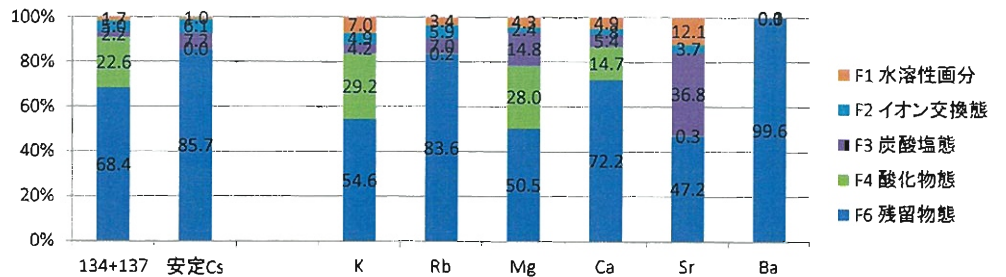
一廃焼却
主灰M



一廃焼却
飛灰C



下水汚泥
焼却灰G



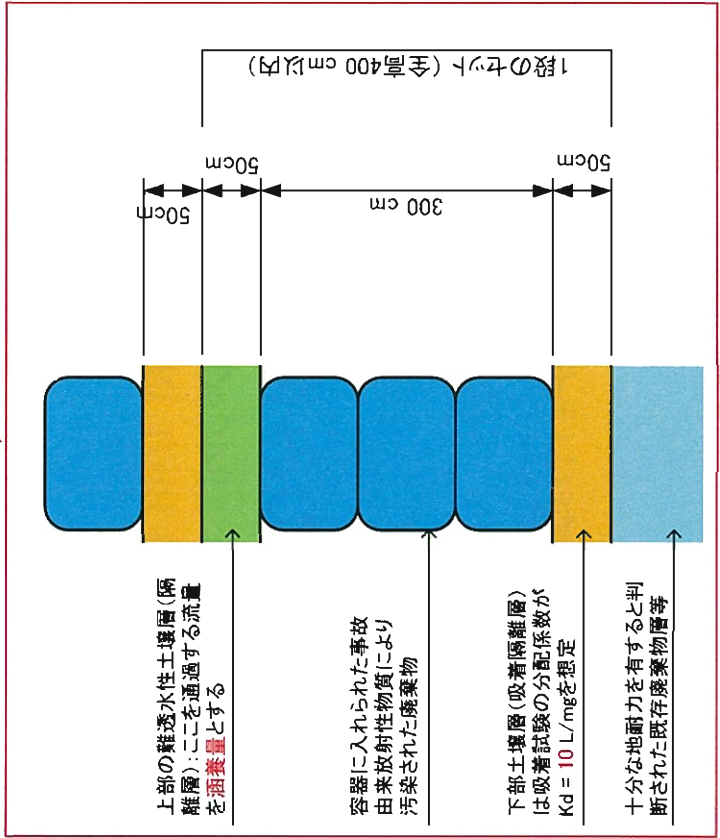
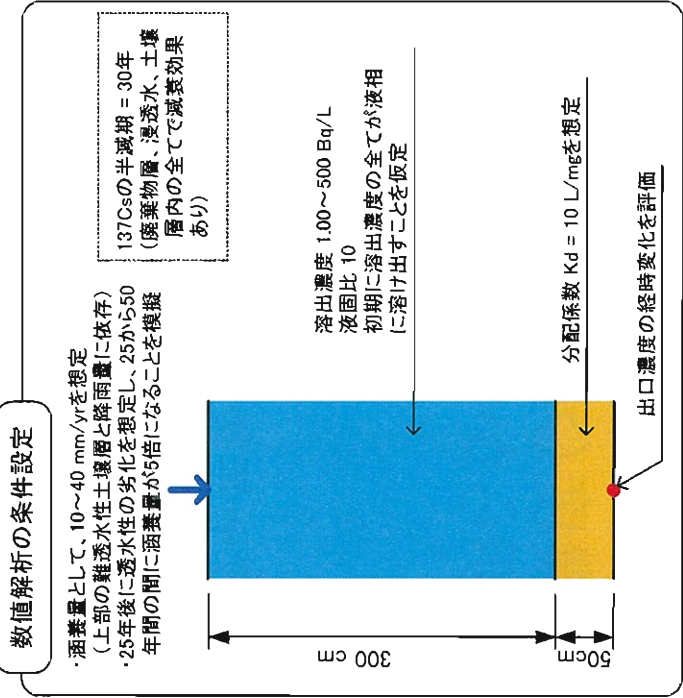
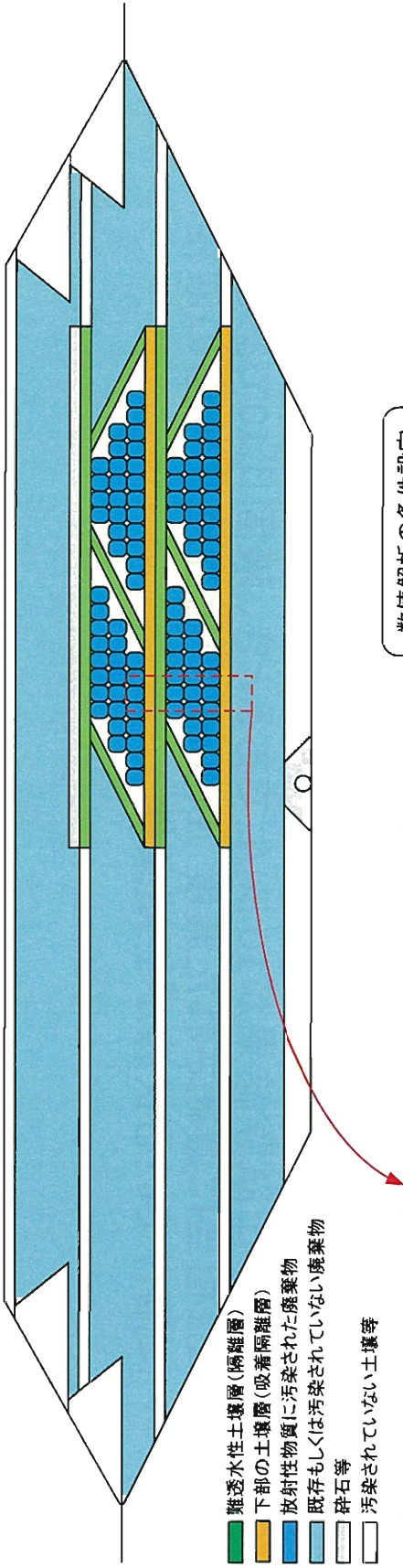
(定量下限値以下はゼロとして計算)

結果のまとめ

- 1) 一般廃棄物焼却飛灰は、溶解性の水溶性画分、イオン交換態の割合が多い。
 - 2) 一般廃棄物焼却主灰、下水汚泥焼却灰、浄水発生土、土壌は、難溶解性の残留態の割合が高く、特に浄水発生土と土壌で顕著である。
 - 3) 放射性Csの含有濃度(Bq/kg)が高い場合であっても、溶出性の低い廃棄物等は、溶出性に応じた合理的な保管や処分方法について検討していく必要があると考えられる。
-

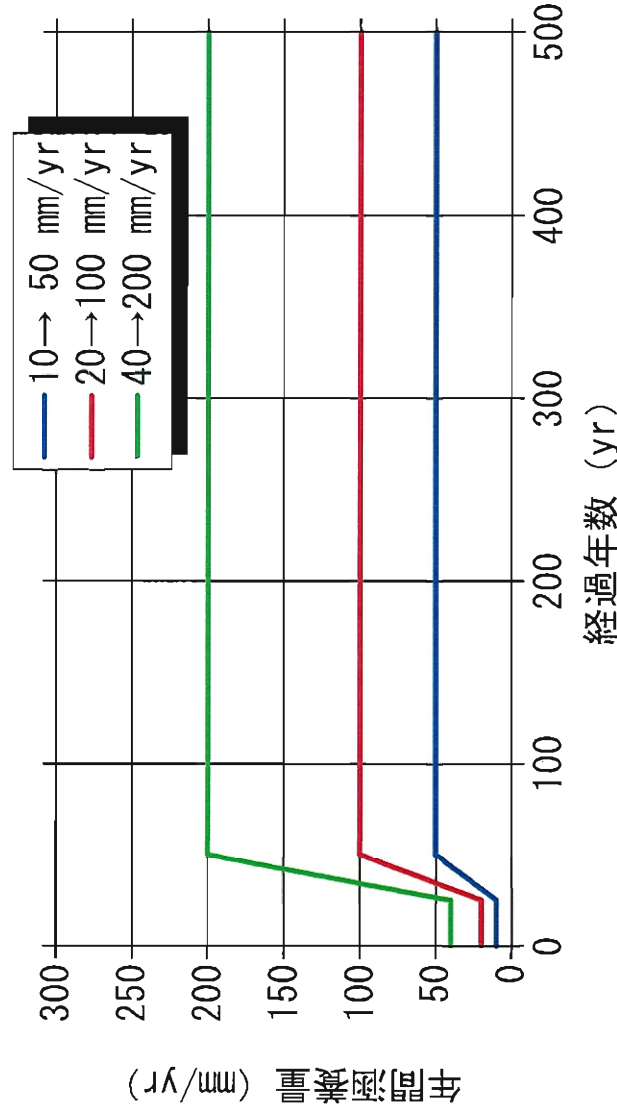
- 目的：溶出試験によって得られる濃度（水溶性 ^{137}Cs 濃度）の、浸出水に対する影響を明らかにすること。
- ^{137}Cs のみを考慮
 - － 理由： ^{134}Cs の半減期が2年と短いため、数十年後の浸出水中の濃度は 1 Bq/L 以下となるため。
- 液固比10の溶出試験から求められる溶出濃度が、初期に全て浸出水に溶出すると仮定
 - － 例：溶出試験結果が 10 Bq/L であるとき、液固比10であるので、液固比1相当に濃縮された濃度 100 Bq/L が埋立廃棄物層の液相に瞬時に溶けている状態が初期条件。

埋立状況のイメージと数値解析の条件設定



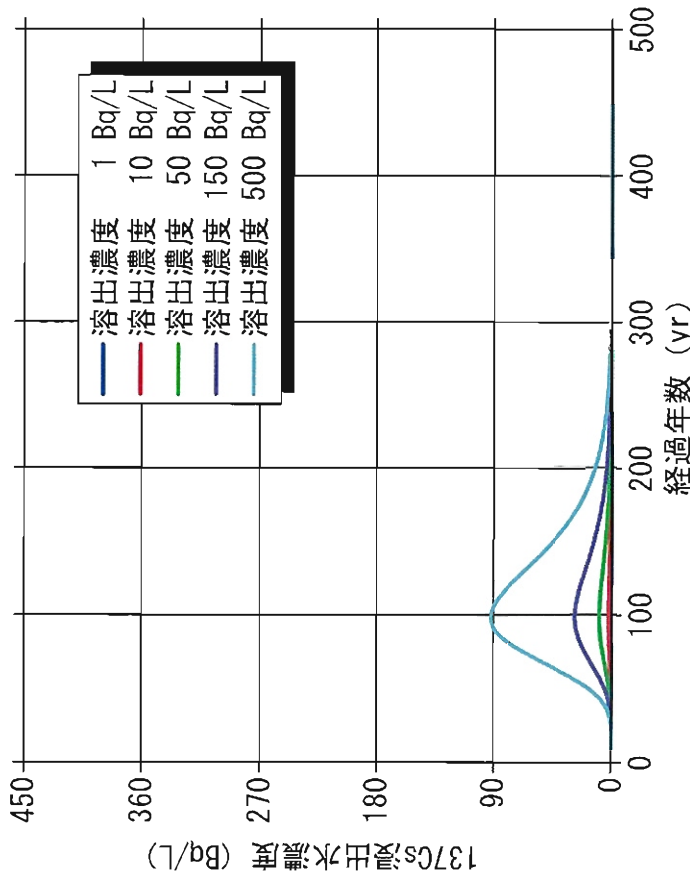
年間涵養量のパターン図

- 降雨条件
 - 0～25年：上部不透水性土壌層の機能あり
 - 25～50年：この25年間で機能劣化
 - 50～500年：劣化後の透水係数を維持
- 年間涵養量(上部不透水性土壌層を通過する量)は、上部不透水性土壌層と廃棄物層の透水係数、および年間降雨量に依存
- 涵養量 10 mm/yr は、降雨量 1,800 mm/yr の場合、透水係数 $10^{-6} \sim 10^{-8}$ cm/s に相当し、涵養量 30 mm/yr は透水係数 $10^{-6} \sim 10^{-7}$ cm/s 程度、涵養量 100 mm/yr は透水係数 $10^{-4} \sim 10^{-6}$ cm/s 程度に相当すると考えられる。



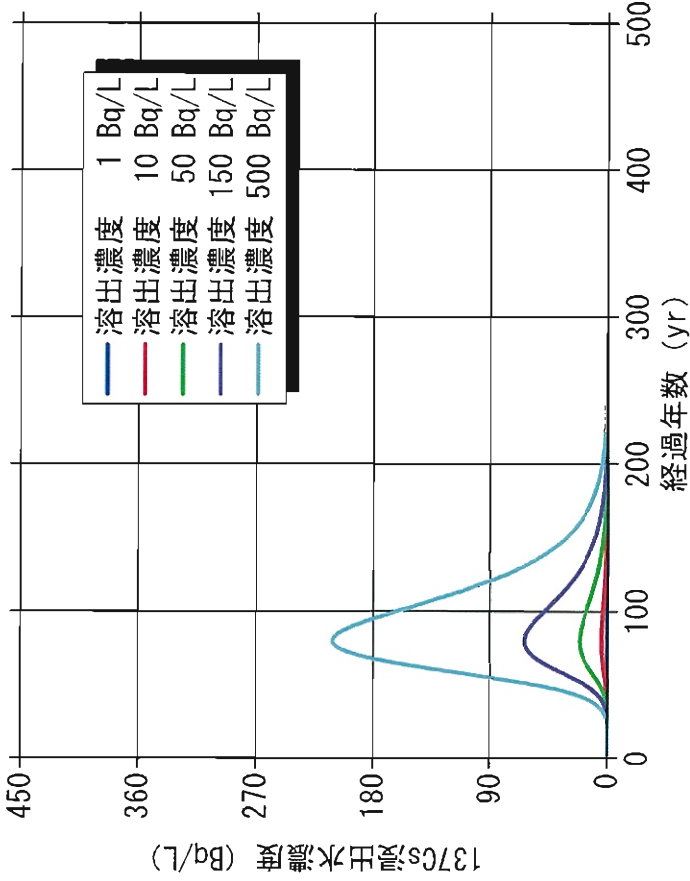
経過年数と137Cs濃度の関係(1)

涵養量：10→50 mm/yr



溶出濃度	ピーク濃度	ピーク出現年数
1 Bq/L	0.18 Bq/L	98年
10 Bq/L	1.83 Bq/L	98年
50 Bq/L	9.16 Bq/L	98年
150 Bq/L	27.5 Bq/L	98年
500 Bq/L	91.6 Bq/L	98年
750 Bq/L	137 Bq/L	98年

涵養量：20→100 mm/yr

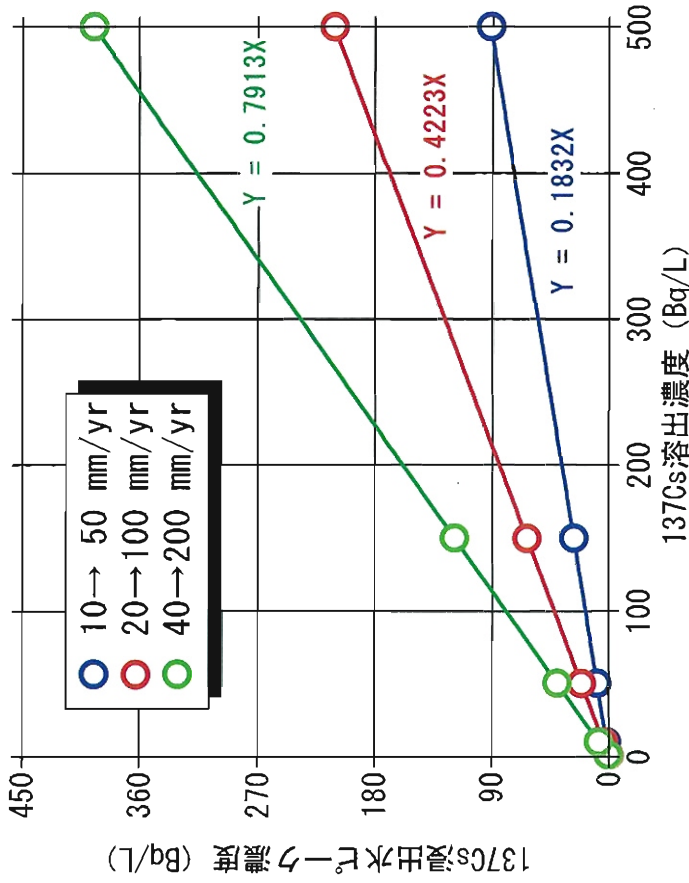
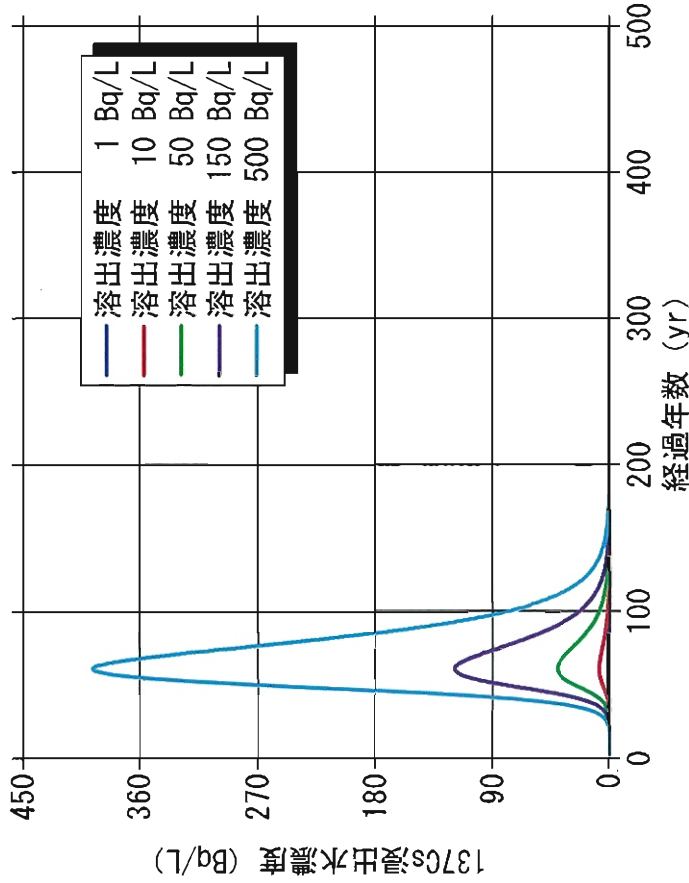


溶出濃度	ピーク濃度	ピーク出現年数
1 Bq/L	0.42 Bq/L	80年
10 Bq/L	4.22 Bq/L	80年
50 Bq/L	21.1 Bq/L	80年
150 Bq/L	63.3 Bq/L	80年
500 Bq/L	211 Bq/L	80年
750 Bq/L	316 Bq/L	80年



経過年数と¹³⁷Cs濃度の関係(2)

涵養量：40→200 mm/yr

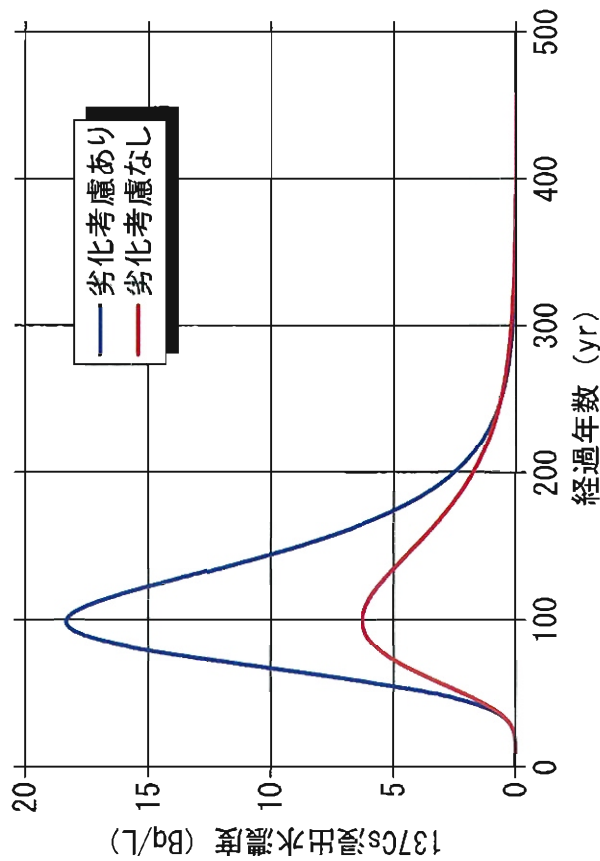
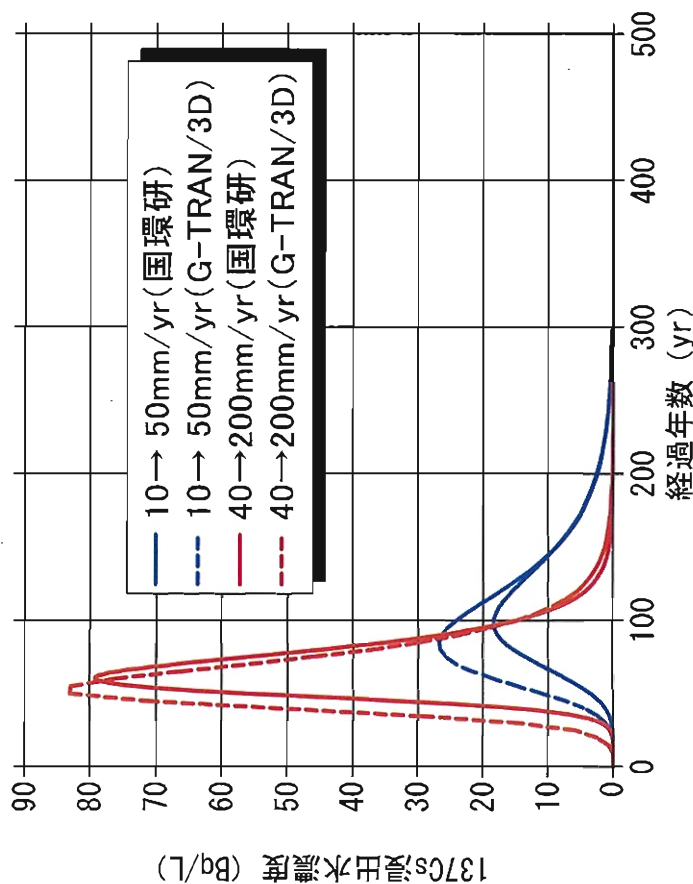


溶出濃度	ピーク濃度	ピーク出現年数
1 Bq/L	0.79 Bq/L	60年
10 Bq/L	7.91 Bq/L	60年
50 Bq/L	39.6 Bq/L	60年
150 Bq/L	118 Bq/L	60年
500 Bq/L	396 Bq/L	60年
750 Bq/L	593 Bq/L	60年

- ✓ 溶出濃度とピーク濃度は線形関係である (この降雨境界条件に限る)。
- ✓ ピーク濃度を90 Bq/L以下にするには、溶出濃度がそれぞれ、
 - 10→50mm/yr : 491 Bq/L
 - 20→100mm/yr : 213 Bq/L
 - 40→200mm/yr : 113 Bq/L
 以下であれば良い。

(参考資料) 遮水工の劣化の有無とクロスチェック結果

数値解析のクロスチェック結果



- ✓ 上部不透水性土壌の劣化を考慮することとで安全側の計算を実施している。
- ✓ 不透水性土壌層としていることから、遮水性能の劣化は瞬時に起こらず、徐々に進行することを想定（変形追随性を考慮）。

- ✓ クロスチェックの結果、国環研モデルの方がやや小さいピーク濃度となっているが、これはピーク濃度出現時間の違いによる（減衰効果の時間差に相当）。

- ✓ 国環研の計算はCOMSOL ver. 4.2を使用
- ✓ G-TRAN/3Dは汎用型の移流分散反応解析ソフトウェア（地層科学研究所）

- 浸出水濃度は、上部不透水性土壌層を通過する涵養量と溶出濃度に依存して変化する。
- 例えば、 ^{137}Cs の溶出試験結果が 150 Bq/L である場合、 ^{137}Cs 濃度が $50,000 \text{ Bq/kg}$ の廃棄物から3%の ^{137}Cs が溶出したことに相当する（液固比を10とした場合）。
- 溶出濃度が 150 Bq/L であるとき、涵養量として 28 mm/yr 以下にすることが求められるが、これは透水係数 $10^{-6} \sim 10^{-7} \text{ cm/s}$ 程度と推算されることから、技術的に十分に対応可能な不透水性土壌層といえる。

