

【研究報告】

薬剤固化飛灰・熔融スラグ中の 重金属溶出防止効果について

Heavy metal elution protective effect of chemical treated dust and molten slag

岸川栄二* 古保里俊夫* 広津義久* 松井康一* 岩永宏平*

Eiji KISHIKAWA, Toshio KOBORI, Yoshihisa HIROTSU, Kouichi MATSUI and Kouhei IWANAGA

キーワード：焼却飛灰、熔融飛灰、スラグ、キレート処理、溶出試験

1. はじめに

焼却炉や灰溶融炉から発生した集じん飛灰の薬剤固化物や熔融スラグからの重金属の溶出防止効果については、環境庁告示13号による溶出試験は多く実施されているが、長期にわたる重金属溶出特性や溶出防止効果の報告は少ない。そこで、今後も継続的に埋立処分されると予想されるバグフィルタ集じん飛灰（焼却炉、灰溶融炉）の薬剤固化物、熔融スラグの計3種類の試料について、薬剤の種類（熔融スラグは未処理）や試験溶媒のpH等の条件を設定し、主に鉛の溶出を指標として長期的な処理効果の安定性を確認した。その結果、幾つかの知見が得られたのでここに報告する。

2. 試験方法

1) 試料の調整及び鉛溶出特性

(1) 供試試料

本試験に用いた試料の採取条件を表1、環境庁告示13号による試料（未処理飛灰）の重金属溶出試験結果を表2に記す。

(2) 使用薬剤

キレート剤は市販されているものを用いる。

その概要を表3に示す。

(3) 試験用試料の調整方法

各飛灰に薬剤を添加後、発熱反応が終わるまで混練し、試験用試料とする。薬剤添加率は、表4の結果より、焼却飛灰は3w/w%（薬剤+水分=30w/w%）、熔融飛灰は30w/w%（薬剤+水分=50w/w%）とする。

熔融スラグは無調整で試験用試料とする。

(4) 溶出試験溶媒

- ① 酸性溶媒：硝酸でpH=4に調節
- ② 中性溶媒：蒸留水（pH=6程度）
- ③ アルカリ溶媒：消石灰でpH=12に調節

2) 試験方法

(1) シリアルバッチ試験

蓋付容器に試験用試料300gと溶媒300mℓ（固液比1）及び試験用試料50gと溶媒500mℓ（固液比10）を接触・静置させ24時間浸しておく。その後、メンブランフィルタを用いてろ過し、ろ液を検液とする。分離した試料は次の試験のため大気中に約1ヶ月間放置する。

表1 試料内容

施設	試料名	処理施設	有害ガス除去方法	内容
A施設	焼却飛灰	ストーカ炉	バグフィルタ＋乾式塩化水素除去	焼却飛灰、CaCl ₂ 、未反応Ca(OH) ₂
B施設	熔融飛灰	電気溶融炉	バグフィルタ＋乾式塩化水素除去	熔融飛灰、CaCl ₂ 、未反応Ca(OH) ₂
	熔融スラグ			焼却灰95%に焼却飛灰5%を加えて熔融した水砕スラグ

* (財) 日本環境衛生センター 西日本支局 環境工学部
Department of Environmental Engineering, West
Branch, Japan Environmental Sanitation Center

表2 未処理試料の重金属含有量・溶出試験結果

		焼却飛灰	溶融飛灰	溶融スラグ
含有試験	Cd (mg/kg)	15	51	0.05
	Pb (mg/kg)	540	18000	190
	As (mg/kg)	6.6	100	0.45
	Hg (mg/kg)	1.3	2.8	ND
	Se (mg/kg)	ND	ND	ND
溶出試験	pH	12.6	12.7	—
	Cd (mg/l)	ND	ND	ND
	Pb (mg/l)	5.0	500	ND
	As (mg/l)	ND	ND	ND
	Hg (mg/l)	ND	ND	ND
鉛の溶出率 (%)		9.3	27.8	0

備考：1) 溶出試験方法：昭和48年環境庁告示13号に準拠

2) 本実験で分析した重金属の定量下限については次のとおりである。

Hg (含有量)：0.001mg/kg以下、Se (含有量)：0.01mg/kg以下

Cd (溶出濃度)：0.005mg/l以下、Pb (溶出濃度)：0.01mg/l以下

As (溶出濃度)：0.01mg/l以下、Hg (溶出濃度)：0.0005mg/l以下

3) 鉛の溶出率は次式により算出した。

$$\text{溶出率}(\%) = \frac{\text{溶出総量}(\text{溶出濃度} \times \text{溶出液量})}{\text{含有量} \times \text{試料重量}} \times 100$$

表3 使用薬剤の性状

薬剤名	I	II	III
比重	1.1~1.2(25℃)	1.10~1.25(25℃)	1.2~1.4(25℃)
粘度	2~21mPa·s(25℃)	2~10mPa·s(20℃)	30~70mPa·s(25℃)
pH	10~12	10~12	11~12
平均分子量	300~600	—	3000~5000
空気安定性	安定	安定	安定
化学的組成、主成分等	ポリビニルピロリドンジチオカルバミン酸系化合物	ジチオカルバミン酸基を含む有機化合物	ジチオカルバミン酸基を官能基とする有機系高分子化合物

表4 キレート剤添加率と鉛溶出量

試料名		焼却飛灰	溶融飛灰		
薬剤	薬剤添加率 w/w%	3	10	20	30
	薬剤+水分 w/w%	30	50	50	50
薬剤I	溶出量(mg/l)	ND	370	10	ND
	pH	12.7	—	12.7	12.7
薬剤II	溶出量(mg/l)	ND	330	ND	ND
	pH	12.7	—	12.7	12.7
薬剤III	溶出量(mg/l)	ND	200	ND	ND
	pH	12.7	—	12.7	12.7
鉛溶出防止の有効性		◎(優)	×	△	◎(優)

備考：1) 溶出試験方法：昭和48年環境庁告示13号に準拠

2) ND：0.01mg/l以下

3) 鉛の埋立基準値：0.3mg/l

4) 未処理の飛灰からの鉛溶出状況は表3参照

再び乾燥した試料を前述と同量の溶媒と接触させ、24時間放置し、同様の操作で検液を

得る。これらの操作を9ヶ月間に9回繰り返す。
各試験毎の検体については、含有量も多く

一般的に問題となっている鉛濃度、及びpHの2項目（電気伝導率及び塩素イオン濃度も補完的に測定）を測定する。検体数については表5に示す42検体である。

3) 長期浸漬試験

蓋付容器に試料50gと溶媒500mlを加え（固液比=10）10ヶ月間浸漬させた後、メンブランフィルタを用いてろ過し、ろ液を検液とする。その後、検液についてはシリアルバッチ試験と同じ2項目を測定する。但し、溶融スラグは、溶融スラグに関わる再利用のための目標基準値が設定されているカドミウム、六価クロム、砒素、総水銀、セレンについても分析を行う。検体数については表5に示す21検体である。

表5 実施試験の検体数

項 目 条 件		シリアルバッチ試験			長期浸漬試験		
		固液比=1及び10			固液比=10		
試 料	薬 剤	酸性	中性	アルカリ	酸性	中性	アルカリ
焼却飛灰	薬剤Ⅰ	○	○	○	○	○	○
	薬剤Ⅱ	○	○	○	○	○	○
	薬剤Ⅲ	○	○	○	○	○	○
溶融飛灰	薬剤Ⅰ	○	○	○	○	○	○
	薬剤Ⅱ	○	○	○	○	○	○
	薬剤Ⅲ	○	○	○	○	○	○
溶 融 ス ラ グ		○	○	○	○	○	○

3. 試験結果

1) シリアルバッチ試験

(1) 焼却飛灰

① 鉛溶出状況

薬剤処理した焼却飛灰からの鉛溶出状況は表6のとおり、溶出操作の初期に若干検出されており、溶出操作1回目のアルカリ溶媒と接触（固液比1：実際の埋め立て地を想定）した溶媒からは薬剤Ⅰで0.16mg/l、薬剤Ⅱで0.13mg/lの濃度が検出された。それ以外は固液比1及び10ともに0.1mg/l以下の濃度で推移した。

実験開始から溶出操作を9回行い溶出した鉛の累積量は、0.010～0.136mg/kg-焼却飛灰（固液比1）、0.372～1.058mg/kg-焼却飛灰（固液比10）（但し、NDは0として計算）であり、含有量からみた溶出率は固液比1、10それぞれ0～0.03%、0.05～0.20%と低い値であった。このことからキレート処理によりほぼ鉛の溶出が抑制されているものと推測される。

なお、固化物の目視による状態としては、溶出操作2回目以降（1ヶ月放置後）には、セメント状の固い物質に変化していた。

表6 焼却飛灰からの鉛溶出状況

項 目 条 件		鉛 溶 出 濃 度 (mg/l)									鉛溶出量累計 (mg/kg)	溶出率 (%)
		1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回		
固 液 比 1	薬剤Ⅰ 酸性溶媒	0.02	ND	0.03	0.05	ND	ND	ND	0.02	ND	0.069	0.01
	薬剤Ⅰ 中性溶媒	0.03	0.04	0.04	0.02	ND	ND	ND	0.02	ND	0.090	0.02
	薬剤Ⅰ アルカリ溶媒	0.16	ND	0.06	0.02	ND	ND	ND	0.03	ND	0.136	0.03
	薬剤Ⅱ 酸性溶媒	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.010	0
	薬剤Ⅱ 中性溶媒	0.02	ND	ND	0.02	0.03	ND	ND	ND	ND	0.041	0.01
	薬剤Ⅱ アルカリ溶媒	0.13	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.050	0.01
	薬剤Ⅲ 酸性溶媒	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.011	0
	薬剤Ⅲ 中性溶媒	0.06	ND	0.03	ND	ND	ND	ND	0.07	ND	0.094	0.02
	薬剤Ⅲ アルカリ溶媒	0.04	ND	0.05	ND	ND	ND	ND	0.03	ND	0.073	0.01
固 液 比 10	薬剤Ⅰ 酸性溶媒	ND	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.372	0.07
	薬剤Ⅰ 中性溶媒	0.03	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.478	0.09
	薬剤Ⅰ アルカリ溶媒	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	ND	0.388	0.07
	薬剤Ⅱ 酸性溶媒	0.03	0.04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.646	0.12
	薬剤Ⅱ 中性溶媒	ND	0.04	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.368	0.07
	薬剤Ⅱ アルカリ溶媒	0.02	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	0.02	0.760	0.14
	薬剤Ⅲ 酸性溶媒	0.03	0.02	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.02	0.664	0.12
	薬剤Ⅲ 中性溶媒	0.03	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.294	0.05
	薬剤Ⅲ アルカリ溶媒	0.03	ND	0.02	ND	ND	ND	ND	0.06	ND	1.058	0.20

② 溶出液 pH

溶出液 pH については、酸性溶媒、中性溶媒に関わらず、固液の接触後には pH 9.1～13.0 とアルカリ性であった。(図 1 参照) これは飛灰中に含まれる未反応消石灰に影響を受けたものと推測される。

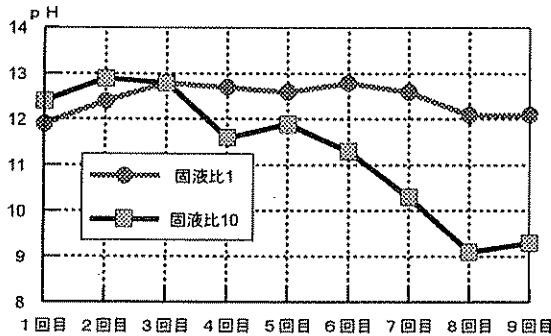


図 1 溶出液 pH の変化

条件：焼却飛灰、薬剤Ⅰ、酸性溶媒

(2) 溶融飛灰 (溶融対象物：焼却灰のみ)

① 鉛溶出状況

溶融飛灰の鉛溶出については、溶出操作を 9 回行った結果、薬剤Ⅰ及びⅡにおいては各溶媒で殆ど検出されなかったが、薬剤Ⅲでは表 7 のとおり高濃度の鉛が検出された。

先ず、薬剤Ⅲの固液比 1 では主に溶出操作の後半 (溶出操作 6 回目) から、固液

比 10 では前半 (溶出操作 2～5 回目) に鉛が検出されており、固液比により溶出状況が大きく異なることが確認された。また、溶出操作 9 回を終わった時点での鉛溶出量は、それぞれ 63.41～81.94 mg/kg - 飛灰、272.42～503.6 mg/kg - 飛灰であった。さらに、固液比 10 の溶出条件による鉛溶出量では、アルカリ溶媒の方が溶出量が多い (酸性溶媒の 1.8 倍程度、中性溶媒の 1.7 倍程度) 結果が得られた。

② 溶出液 pH

溶出液 pH については、酸性溶媒、中性溶媒に関わらず、固液接触後には焼却飛灰同様、試料中の未反応消石灰 (消石灰は等量比 4 で吹き込み) によりアルカリ性となった。(図 2 参照)

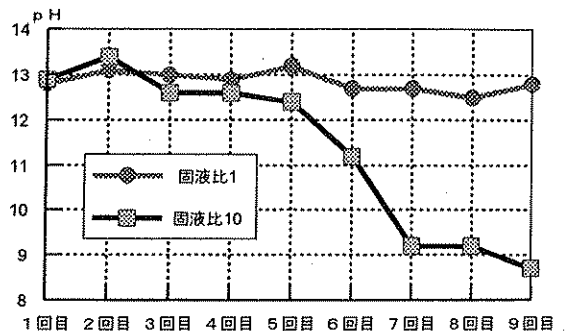


図 2 溶出液 pH の変化

条件：溶融飛灰、薬剤Ⅲ、中性溶媒

表 7 溶融飛灰からの鉛溶出状況

条 件	項 目	鉛 溶 出 濃 度 (mg/l)									鉛溶出量累計 (mg/kg)	溶出率 (%)
		1回	2回	3回	4回	5回	6回	7回	8回	9回		
薬 剤 Ⅰ	固 液 1	酸性溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 1	中性溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 1	アルカリ溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 10	酸性溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 10	中性溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 10	アルカリ溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
薬 剤 Ⅱ	固 液 1	酸性溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 1	中性溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 1	アルカリ溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 10	酸性溶媒	ND	0.06	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0.57	0
	固 液 10	中性溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
	固 液 10	アルカリ溶媒	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	ND	0	0
薬 剤 Ⅲ	固 液 1	酸性溶媒	ND	0.02	ND	1.8	3.7	19	17	29	80.99	0.04
	固 液 1	中性溶媒	ND	0.16	0.14	0.23	1.8	18	9.8	19	63.41	0.04
	固 液 1	アルカリ溶媒	ND	0.05	0.17	0.06	0.15	23	23	30	81.94	0.05
	固 液 10	酸性溶媒	ND	18	5.5	4.3	0.88	ND	ND	0.02	272.42	0.15
	固 液 10	中性溶媒	ND	18	7.2	5.3	1.1	0.02	0.02	ND	298.48	0.17
	固 液 10	アルカリ溶媒	ND	26	13	7.0	2.0	1.2	0.8	1.4	503.6	0.28

(3) 溶融スラグ

中性溶媒による試験では、鉛の溶出は9回の溶出試験を通じてほぼ定量下限(0.01mg/L)以下であった。しかし、溶媒の性状が酸性またはアルカリ性の場合には、鉛の溶出が認められた。実際の埋立地を想定した固液比1の条件下の酸性溶媒を用いた試験では、1回目、2回目には溶出液pHが弱アルカリ性～中性であったため溶出していないが、酸性に変化した3回目以降には鉛が検出された。特に溶出操作3回目の鉛溶出濃度は0.51mg/L (pH5.8)、4回目は0.33mg/L (pH5.8)で溶融スラグの再利用に係わる指針値のみならず埋め立て基準値までも上回る溶出結果となった。(図3参照)

2) 長期浸漬試験

(1) 焼却飛灰及び溶融飛灰

① 鉛溶出状況

焼却飛灰については、表8のとおり各薬剤とも若干鉛の溶出(0.02～0.07mg/L)が認められた。薬剤別ではIでの溶出率が僅かに高かったが、いずれも埋立基準値内であった。

溶融飛灰については、シリアルバッチ試験同様、薬剤I及び薬剤IIでの鉛溶出量は定量下限以下であったが、薬剤IIIでは鉛が検出された。但し、その濃度は0.02～0.04mg/Lであり、シリアルバッチ試験に比べ低い状況であった。

② 浸漬後のpH

焼却飛灰及び溶融飛灰の溶出液pHは、シリアルバッチ試験と同様にアルカリ性(pH

12.4～12.9)を呈していた。

(2) 溶融スラグの重金属イオン溶出

溶融スラグについては、酸性溶媒及び中性溶媒中では定量下限以下であるが、アルカリ溶媒中では0.78mg/Lとなり埋立基準値及びシリアルバッチ試験での最高濃度(0.51mg/L)を上回る結果が得られた。但し、カドミウム、六価クロム、砒素、総水銀、セレンについては表9に示すとおり各重金属とも定量下限以下であった。

溶出液pHは表8に示すとおり、酸性溶媒、中性溶媒の溶出液は中性の状態、アルカリ溶媒の溶出液はアルカリ性状態であった。

4. 考 察

1) キレート剤固化処理による鉛溶出抑制効果

今回用いた焼却飛灰については、各薬剤とも添加率3%で処理し、環境庁告示13号にて溶出試験を行った結果、鉛の溶出濃度は定量下限(0.01mg/L)以下となり、この添加率で鉛の溶出を抑制できることがわかった。

一方、溶融飛灰については、薬剤を10%添加し溶出操作を試みたが、鉛の溶出を抑えることが出来なかった。薬剤Iでは添加率20%でも不十分であり、30%の添加が必要であった。従ってキレートの種類(主成分等)によっては適正添加率に差があり、かつ多量に必要となることがわかった。

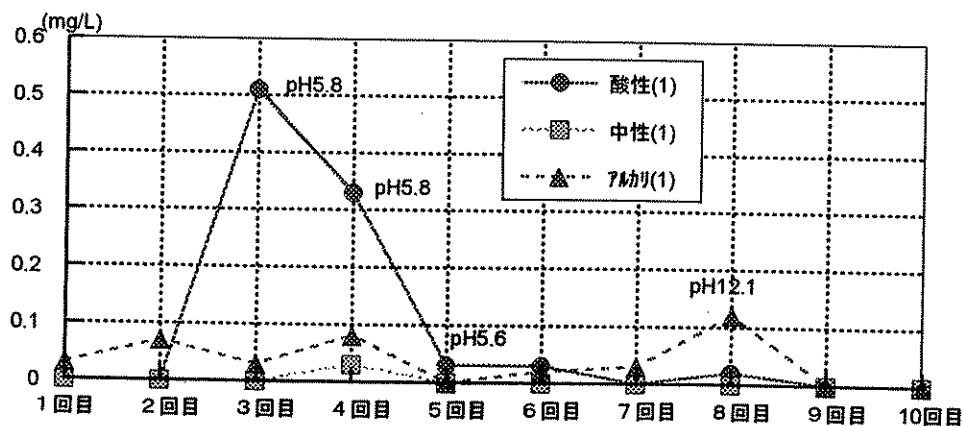


図3 溶融スラグからの鉛の溶出状況 固液比1

表8 長期浸漬試験による鉛の溶出状況

条件			項目	溶出液pH (-)	鉛濃度 (mg/l)	鉛溶出量 (mg/kg)	溶出率 (%)
焼 却 飛 灰	薬剤Ⅰ	酸 性 溶 媒		12.5	0.07	0.602	0.11
	薬剤Ⅰ	中 性 溶 媒		12.5	0.05	0.43	0.08
	薬剤Ⅰ	アルカリ溶媒		12.5	0.07	0.602	0.11
	薬剤Ⅱ	酸 性 溶 媒		12.5	0.03	0.252	0.05
	薬剤Ⅱ	中 性 溶 媒		12.6	0.04	0.344	0.06
	薬剤Ⅱ	アルカリ溶媒		12.5	0.05	0.42	0.08
	薬剤Ⅲ	酸 性 溶 媒		12.4	0.02	0.172	0.03
	薬剤Ⅲ	中 性 溶 媒		12.5	0.02	0.174	0.03
	薬剤Ⅲ	アルカリ溶媒		12.5	0.02	0.172	0.03
溶 融 飛 灰	薬剤Ⅰ	酸 性 溶 媒		12.9	ND	ND	0
	薬剤Ⅰ	中 性 溶 媒		12.9	ND	ND	0
	薬剤Ⅰ	アルカリ溶媒		12.9	ND	ND	0
	薬剤Ⅱ	酸 性 溶 媒		12.8	ND	ND	0
	薬剤Ⅱ	中 性 溶 媒		12.8	ND	ND	0
	薬剤Ⅱ	アルカリ溶媒		12.9	ND	ND	0
	薬剤Ⅲ	酸 性 溶 媒		12.8	0.02	0.186	0
	薬剤Ⅲ	中 性 溶 媒		12.8	0.04	0.376	0
	薬剤Ⅲ	アルカリ溶媒		12.8	0.02	0.188	0
溶融スラグ			酸 性 溶 媒	6.8	ND	ND	0
			中 性 溶 媒	7.7	ND	ND	0
			アルカリ溶媒	12.2	0.78	7.488	3.94

表9 長期浸漬試験による溶融スラグからの重金属溶出状況(mg/l)

	酸性溶媒	中性溶媒	アルカリ溶媒	溶出基準値
カドミウム	ND(0.005)	ND	ND	0.01
鉛	ND(0.01)	ND	0.78	0.01
六価クロム	ND(0.05)	ND	ND	0.05
砒 素	ND(0.005)	ND	ND	0.01
総 水 銀	ND(0.0005)	ND	ND	0.0005
セ レ ン	ND(0.005)	ND	ND	0.01

2) 溶出条件による影響

(1) シリアルバッチ試験

① 焼却飛灰

薬剤処理後の焼却飛灰からの鉛溶出状況は、固液比1のアルカリ溶媒の方が若干溶出しているが、埋立基準値（試験方法は異なる）を十分下回っており概ね鉛の溶出を抑制している。また、接触後の溶出液は溶出溶媒の性状に関わらずアルカリ性になっている。従って、固液比、溶媒pHなど溶出条件の違いによる鉛固定化に対する阻害は殆ど認められない。

また、乾式塩化水素除去装置設置施設から発生した飛灰は、多量の未反応消石灰を含ん

でいるので、埋立地には次々に焼却飛灰が投入されることより、酸性雨を考慮しても埋立地中の浸透水はアルカリ性になるものと思われる。このため、今回使用した処理後の焼却飛灰は、アルカリ条件下で安定しているため、最終処分した場合でも鉛の環境中へもたらす影響は少ないものと推測される。

② 溶融飛灰

薬剤Ⅰ及びⅡで処理した溶融飛灰は、固液比及び溶出溶媒の性状に関わらず、鉛の溶出を概ね抑制しており、処理効果が確認された。

薬剤Ⅲは予備試験（表4参照）の段階では、今回使用した溶融飛灰に最も適しているもの

と思われたが、溶出操作を繰り返し、多量の溶媒と接触させた結果、表7に示すように鉛を高濃度で溶出し、完全には鉛の溶出を抑制出来ないことがわかった。

溶出傾向については、表7のとおり固液比1と10では大きく異なっている。固液比1は鉛の溶出が溶出操作の後半（主に6回目以降）、固液比10の場合は初期（溶出操作2～5回目）に見られることより、鉛溶出量は接触液量に影響を受けるものと推測される。なお、薬剤Ⅲの固液比10では、溶出操作2回目に多量の鉛を溶出しているものの、6回目以降はほとんど溶出せず（図4参照）、溶出率累計も0.28%（表7参照）であったことより、易溶性鉛は一定量しか存在していないと判断できる。そのため、一部の鉛が溶出することはあっても、キレート処理により大部分の鉛は固定されているものと予測される。更に、固液比10の鉛溶出量の結果から、固液比1の条件下での試料中にはまだ易溶性鉛を含んでいると思われるため、今後も高濃度で鉛の溶出が続く恐れがある。

(2) 長期浸漬試験

① 焼却飛灰

焼却飛灰を同じ溶媒中に長期間（10ヶ月）浸漬させた結果、溶出溶媒性状（接触後はいずれの溶媒もpHは12.4～12.9の強アルカリである）による違いはなく、各試料とも低濃

度の鉛を溶出している。但し、これらの結果は、埋立基準値以下であり、シリアルバッチ試験同様、薬剤処理により鉛の溶出を概ね抑制している。

② 溶融飛灰

溶融飛灰を同じ溶媒中に長期間浸漬させた結果、薬剤Ⅰ及びⅡについては各溶出溶媒とも定量下限以下であり、長期間浸漬させた条件下でも鉛溶出の抑制効果が認められた。薬剤Ⅲにおいては低濃度の鉛が検出されているが、埋立基準値を十分満足している。これはシリアルバッチ試験と比較して接触液量が少ないためキレート効果が持続したものと思われる。

(3) 薬剤効果について

今回使用した溶融飛灰については、薬剤の種類、溶出条件により、鉛溶出防止効果の低下が認められた。特に、環境庁告示13号及び溶出操作1回目では鉛の溶出を抑制しているが、多量の溶媒と接触した後は鉛を固定できない薬剤もあることが確認できた。この点については、前述したように、多量の溶出液との接触を繰り返す中で、一時的に限られた量ではあるが、溶出してしまう鉛が存在していることを示している。

また、キレートの種類によっては、適正添加率に差があり多量にキレート剤を必要とすること、及び接触液量によりキレート効果・

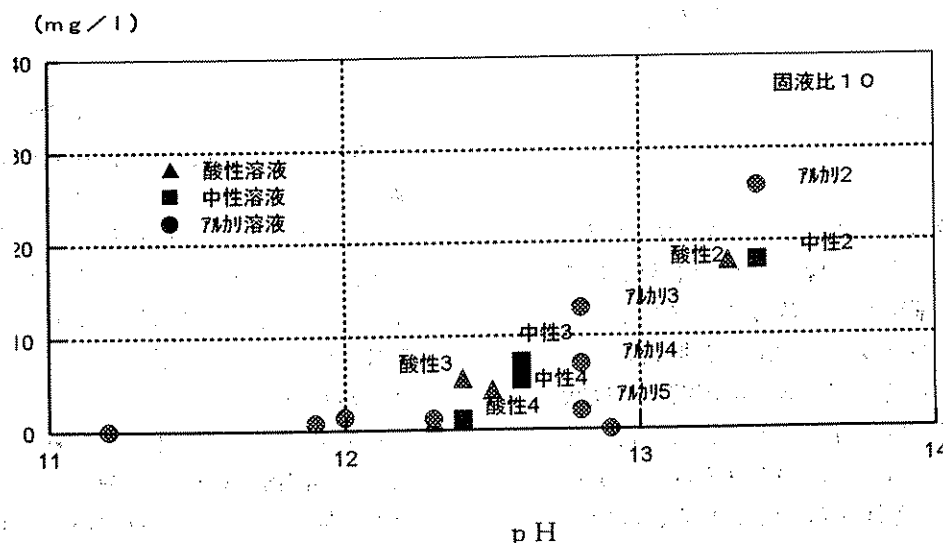


図4 pHと鉛溶出量の関係

条件：溶融飛灰、薬剤Ⅲ、固液比10（図中の数字は溶出操作の順番を示す）

持続期間が異なることより、実施設における採用にあたっては、溶融対象物の性状、薬剤の種類、他の薬剤併用によるキレートの低減、経済性等を事前に調査・試験することが必要である。

3) 溶融スラグからの溶出状況

① バッチ試験

シリアルバッチ試験の中性溶媒中では溶融スラグの安定性が確認されたが、酸性溶媒、アルカリ性溶媒中では鉛が検出され、溶融スラグといえども過酷な条件下では、必ずしも安定でないことが確認された。ただし、例えば酸性溶媒で3、4回目に鉛を溶出しているものの一時的で、その後、溶媒pHを酸性に保って繰り返し溶媒と接触させても問題となる程の鉛溶出は認められないことより、易溶性鉛の含有量は一定量しか存在していないと考えられる。

② 長期浸漬試験

長期浸漬試験の酸性溶媒及び中性溶媒では問題がなかったが、長期間アルカリ溶媒中に浸漬させた溶出液からは0.78mg/ℓの高濃度の鉛が検出されたため、長期間アルカリ溶媒と接触させた溶融スラグは、必ずしも安定ではないことが確認された。但し、その他のカドミウム、六価クロム、砒素、総水銀、セレンについては検出されていない。

5. まとめ

- ① 焼却飛灰を薬剤処理した結果、使用した3種のキレート薬剤3%の添加率で、溶出条件（固液比1、10及び試験溶媒のpH）に関係なく、試験期間（9ヶ月）中は鉛の溶出を抑制することが可能であった。
- ② 溶融飛灰を薬剤処理した結果、環境庁告示13号による溶出試験は満足することができたが、シリアルバッチ試験では、薬剤の種類によっては鉛の溶出を抑制できないものもあった。また、薬剤の種類によっては長期的な安定性が接触する液との固液比により影響を受けるものもあった。
- ③ キレートの種類によっては適正添加率に差があり、かつ多量に必要なので、実施設における採用にあたっては、溶融対象物の性状、薬剤の種類、他の薬剤併用によるキレートの低減、経済性等を事前に調査・試験する必要がある。
- ④ 溶融スラグの溶出試験の結果、中性溶媒と接触した場合には鉛の溶出は認められなかったが、酸性溶媒及びアルカリ性溶媒と繰り返しまたは長期的に接触した場合には、鉛の埋立基準値（0.3mg/ℓ）を上回ることもあることがわかった。従って、溶融スラグの有効利用を図る場合には、溶融対象物選定・生成条件、周辺環境、使用条件に配慮した対応が必要である。
- ⑤ 本試験の各試料の鉛溶出結果をまとめると表10のとおりである。

表10 各試料の鉛溶出結果

試料	項 目	環境庁 告 示 13号	シリアルバッチ試験（9回）						長期含浸試験 （10ヵ月）		
			固液比=1			固液比=10			酸性	中性	アルカリ
			酸性	中性	アルカリ	酸性	中性	アルカリ			
焼却飛灰	薬 剤 I	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	薬 剤 II	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○
	薬 剤 III	◎	○	○	○	○	○	○	○	○	○
溶融飛灰	薬 剤 I	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎	◎
	薬 剤 II	◎	◎	◎	◎	○	◎	◎	◎	◎	◎
	薬 剤 III	◎	▲	▲	▲	▲	▲	▲	○	○	○
溶 融 ス ラ グ	電 気 溶 融 (焼却灰+飛灰)	◎	▲	△	△	△	◎	△	◎	◎	▲

備考) ◎：全試料を対象とし、定量下限(0.01mg/ℓ)以下

○：飛灰を対象とし、0.01～0.3mg/ℓ

△：スラグを対象とし、0.01～0.3mg/ℓ

▲：全試料を対象とし埋立基準値(0.3mg/ℓ)を超える値

6. 今後の課題

熔融スラグについては、今後は熔融方法、熔融対象物、熔融時間、熔融温度の違いによる様々なスラグからの重金属の溶出状況について検討・解析し、その安定性について確認する必要がある。

Abstract

Sample : Incineration fly ash, molten fly ash, both which were treated with three types of chelate agents, and molten slag.

Contact : Acid solution, neutral solution and alkaline solution.

With theses samples and contacts above, repeats of one-day batch type experiments and ten months impregnation experiments have been made.

The maximums of the eluted Lead concentration from the treated incineration fly ash was 0.16mg/l for reclamation reference level (0.3mg/l). It shows this chemical treatment inhibited most of Lead elution, and any problem wasn't seen in every three types of the chelate agents.

Treated molten fly ash eluted lead 35mg/l maximum according to the kinds of chelate agents and elute condition. This shows a decline of the elute protective effect of chelate.

By repeating contact with acid solution, molten slag has eluted Lead a maximum of 0.51mg/l and

Alkaline solution has eluted Lead 0.78mg/l in ten months. Those amounts have exceeded the guide line of molten slag for recycling.

From the results above, we see the needs for confirming chemical kinds, addition rates, and long-term experiments at the decision of using treatment agents for molten fly ash.

And when it comes to the effective utilization of molten slag, we should consider molten object selection, format condition, and surrounding environment.

参考文献

- (1) 結城修 他(1997)、ごみ焼却施設から排出されるばいじんの薬剤処理物の長期安定性について、都市清掃、第50巻、第217号、pp134-137
- (2) 白子定治 他(1998)、飛灰混合熔融のスラグ溶出特性に及ぼす影響、都市清掃、第51巻、第223 pp135-139
- (3) 貴田晶子、野馬幸生(1997)、焼却残渣中の易溶性元素の溶出特性、廃棄物学会誌、Vol. 8、No. 7、pp500-509
- (4) 肴倉宏史、田中信寿(1998)、都市ごみ焼却残渣熔融スラグのバッチ試験における溶出機構、廃棄物学会論文誌、Vol. 9、No. 1、pp11-19
- (5) 水谷聡 他(1996)、アルカリ飛灰からの金属溶出量とアベイラビリティ、第7回廃棄物学会研究発表会講演論文集 pp858-860