

<報 文>

キレート処理一般廃棄物焼却飛灰からの 重金属溶出状況とその要因の検討*

小 口 文 子**・下 嵯 かえで**
鹿 角 孝 男**・石 原 祐 治**

キーワード ①一般廃棄物 ②飛灰 ③キレート剤 ④溶出試験 ⑤Pb ⑥Zn

要 旨

長野県内5施設の一般廃棄物焼却飛灰とそのキレート処理飛灰の環告13号溶出試験を行い、処理効果の確認と重金属の溶出に影響を及ぼす因子について検討した。その結果、飛灰溶出液においてはPb、Znの溶出濃度が高く、溶出率に対するCl含有量が正の相関を示し、SiO₂含有量が負の相関を示した。キレート処理飛灰溶出液においては高い処理効果が認められたが一部でPbの溶出があり、Pb溶出濃度とpHとの関連性がみられた。また、キレート処理飛灰の安定性を確認するため、密閉、開放の2条件で約180日間保管し、溶出試験を行った結果、Pbは密閉保存で再溶出がみられた施設があったが、同施設の開放保管と他4施設の密閉および開放保管は0.05mg/L以下と安定していた。Znはほとんどの施設で溶出濃度が保管開始時から減少する傾向を示し、含水率が高くなった開放条件でその傾向が大きかった。

1. はじめに

廃棄物焼却施設から排出される飛灰からの重金属溶出抑制処理方法として、液体キレート剤を用いた薬剤処理は、重金属を不溶化する効果が高く、処理工程が簡単であることから、長野県内の一般廃棄物焼却施設の約75%で採用されている。この処理法による重金属固定については多くの検討がなされ、即効性は高いものの長期安定性にやや問題があり、一定期間放置した後に溶出試験を実施するとPbなどの重金属が再溶出する可能性が指摘されている¹⁾。このような処理飛灰の長期安定性について検討した研究事例の多くは、飛灰

を室内でキレート剤と混合して経過をみる室内実験によるものであり、施設で実際に処理された飛灰について比較検討した事例は少ない。

そこで、筆者らは施設で処理された飛灰について処理効果の検討を行い、キレート処理によって飛灰中のHgが可溶化する逆転現象について報告した²⁾。本研究ではHg以外の重金属を対象として、県内の一般廃棄物焼却施設5カ所から排出された飛灰で、キレート系薬剤による溶出抑制処理を施されたものについて水による溶出試験(環告13号)を行い、キレート処理による重金属不溶化効果の確認を行った。また、飛灰へのキレート剤

*Elution of Heavy Metals from Fly Ash of Municipal Waste Plant Stabilized with Chelating Agent

** Fumiko OGUCHI, Kaede SHIMOZAKI, Takao KATSUNO, Yuji ISHIHARA (長野県環境保全研究所) Nagano Environmental Conservation Research Institute

添加・溶出試験により、各重金属項目における溶出抑制効果の違いについて調べた。さらに、飛灰キレート処理物を密閉、開放の2条件で一定期間(最長180日間)保管したものの溶出試験を行い、飛灰処理物からのPb等重金属溶出状況やpHおよび含水率等との関係を解析し、処理物の安定性に影響を与える因子について検討を行った。

2. 実験方法

2.1 施設の概要および試料の性状

試料は長野県内の一般廃棄物焼却施設5カ所から飛灰と飛灰キレート処理物(以下処理物とする。)を約2週間間隔で2回ずつ採取して用いた。表1に調査対象施設の概要を示す。飛灰は前述の筆者らの検討²⁾で扱ったものと一部は同じ試料である。いずれの施設も排ガス処理方式は乾式(消石灰噴霧)、バグフィルターで除塵を行い、それぞれメーカーの異なるジチオカルバミン酸系化合物を主成分としたキレート剤を使用していた。以下、1回目に採取したA~Eの焼却施設の飛灰をそれぞれA I~E I、処理物をA C I~E C Iと

し、同様に2回目に採取した飛灰をA II~E II、処理物をA C II~E C IIとする。

表2に飛灰の性状を把握するために行った波長分散型蛍光X線分析装置(リガク製 Supermini)のファンダメンタルパラメータ法(FP法)による、主成分および重金属等含有量の半定量分析結果を示す。B施設は他施設とは異なった組成を示し、主成分では流動砂の成分であるSiO₂が16%と高く、Al₂O₃も7.4~9.3%と他施設の約2倍以上高いが、Clは13~15%と他施設の約1/2程度の低い値であり、流動床式の炉の特徴が現われていた。また、重金属成分ではCuが4,100~4,300 mg/kgと他施設の7~10倍の含有量であった。残り4施設A, C, D, Eでは、AでCaOが45~47%と高い値を示したが、それ以外は主成分項目、Pb等重金属項目とも比較的類似した値を示した。

2.2 飛灰キレート処理の効果を確認するための水による溶出試験(処理効果確認試験)

飛灰中の重金属に対するキレート処理の重金属不溶化効果については、飛灰と処理物についての

表1 調査対象施設

施設名	A 焼却施設	B 焼却施設	C 焼却施設	D 焼却施設	E 焼却施設
試料採取年月(回数)	2008.7(2回)	2008.7(2回)	2009.7(2回)	2009.7(2回)	2010.6(1回) 2010.7(1回)
飛灰試料No.	A I, A II	B I, B II	C I, C II	D I, D II	E I, E II
燃焼装置の種類	ストーカ式	流動床式	ストーカ式	ストーカ式	ストーカ式
キレート剤混練方法	混練機	混練成型機	混練機	混練機	造粒機
キレート処理物の形状	団粒状 粒径1~5cm程度	円筒状 直径2cm×長さ5cm程度	団粒状 粒径0.5~1cm程度	団粒状 I 粒径5~7cm程度 II 粒径0.5~1cm程度	球状 粒径1~2cm程度

表2 飛灰の含有量分析結果

	A I	A II	B I	B II	C I	C II	D I	D II	E I	E II
CaO (%)	45	47	32	31	33	32	38	35	34	33
SiO ₂	8.6	9.2	16	16	12	12	7.4	6.6	7.1	7.3
Na ₂ O	6.0	5.4	9.8	9.2	8.4	8.8	8.7	11	10	10
Al ₂ O ₃	1.6	2.0	9.3	7.4	3.6	4.1	3.9	3.7	2.9	2.9
K ₂ O	6.0	5.8	4.0	6.2	9.1	8.9	6.3	7.4	8.8	8.8
Cl	23	21	13	15	23	23	23	25	29	29
Pb (mg/kg)	1500	1200	700	1200	1000	1200	730	680	1200	1400
Zn	7100	5800	5400	5300	6400	6400	6200	3100	9200	10000
Cu	580	510	4300	4100	530	570	470	430	580	630
Cr	130	170	370	290	320	340	270	190	230	350
強熱減量(%)	6.3	2.9	3.3	3.6	6.3	6.8	4.5	4.1	5.7	2.7

水による溶出試験によりその効果を確認した。飛灰は有姿のまま、また、処理物は乳鉢で粗砕した後ふるいを通過させ、粒径が0.5~5mmのものを試料とした。試料を精製水で固液比1/10、常温常圧で6時間振とう後、 $\phi 1 \mu\text{m}$ のガラス繊維ろ紙(GF/B)を用いてろ過し、ろ液についてpH、電気伝導率(EC)、Cd、Pb、Zn、Cu、Crの重金属類、Na、K、Ca、Mgの陽イオン成分、 Cl^- 、 SO_4^{2-} の陰イオン成分の分析を行った。重金属類については埋立判定基準の項目であることまたは飛灰における含有量が高いことから上記の項目を分析対象とし、硝酸による加熱分解後、ICP質量分析法(HP4500)により定量した。Na他の陽イオン成分はフレイム原子吸光法(セイコーインスツルSAS7500)により、 Cl^- および SO_4^{2-} の陰イオン成分は上水試験方法により定量した。また、飛灰および処理物の含水率、強熱減量(600°Cで3時間加熱)を測定した。

2.3 キレート剤添加・溶出試験

Pb、Znなど各重金属項目に対するキレート剤の溶出抑制効果を室内実験で検討するため、5施設の平均的な組成を持つ飛灰C Iを試料とし、キレート剤の添加量を変化させた添加・溶出試験を行った。キレート剤にはC施設で使用されていた一般的なジエチルアミン系の薬剤tを用いた。

飛灰C Iをポリ袋に採取し、飛灰の重量(g)に対し、①精製水28%、②t 1%+精製水27%、③t 3%+精製水25%となるよう添加した。その後5分間混練し、20°C恒温槽内で約48時間養生したものを試料とし、溶出試験のろ液について2.2と同様な分析を行った。

2.4 飛灰キレート処理物の安定性を確認するための試験(安定性確認試験)

飛灰キレート処理物が処理後に長期間経過した後の重金属の溶出特性について、処理物を一定期間保管した後に溶出試験を行い、安定性を確認した。処理物の保管条件は、外気やそこに含まれる水分と処理物とが接触する開放条件と、対照としての密閉条件の2条件とした。

開放の保管条件ではポリプロピレン製トレーに処理物約2kgを均一に広げて入れた。密閉の保管条件ではチャック付ポリエチレン袋に処理物約2kg入れて密閉し、これらの試料を20°Cの恒温

装置内に静置した。保管期間は試料採取日から最長180日間とした。保管開始後1カ月間は2週間ごとに、その後は約1カ月ごとに試料の一部を採取して、2.2の処理物と同様な溶出試験を行った。

3. 結果および考察

3.1 焼却施設における飛灰キレート処理の効果

飛灰および処理物の採取翌日の溶出試験(処理効果確認試験)結果を表3および表4に示す。

溶出液のpHは、飛灰、処理物ともpH11.9~12.3と強アルカリ性であった。

飛灰溶出液における重金属の溶出をみると、Pbは他の重金属と比較してもっとも高い溶出濃度を示し、最大でE(I, II)が36~45mg/L、最小でB(I, II)が1.0~1.8mg/Lであり、いずれも埋立判定基準値(0.3mg/L)を上回る値であった。

ZnはPbに次いで溶出濃度が高く、最大でE(I, II)が11~15mg/L、最小でB(I, II)が0.36~0.88mg/Lであった。

Cuの濃度はB(I, II)とE(I, II)で0.11~0.37mg/L、それ以外の施設で0.03~0.07mg/Lと比較的低濃度であった。

Cdの濃度はすべての施設で検出下限値未満(<0.005mg/L)であり処理物溶出液においても同様であった。また、後述の3.2および3.3の試験でもまったく検出されなかった。

Crの濃度は0.05~0.39mg/Lの範囲であり埋立判定基準(Cr^{6+} として1.5mg/L)と比較して十分低い値であった。

ここで飛灰溶出液におけるPb等重金属項目の溶出率(=溶出濃度/含有量)(%)と飛灰の主成分との関係に着目し、溶出率に影響を与える要因について相関分析により検討した。Pb等重金属の溶出率について相関のみられたCl含有量および SiO_2 含有量との関係を図1に示す。まず、Cl含有量では、PbおよびZn溶出率と危険率1%で有意な正の相関($r=0.92, 0.89$)がみられ、Cu溶出率とも危険率5%で有意な正の相関($r=0.72$)がみられた。また、 SiO_2 含有量は、Pb溶出率と危険率5%で有意な負の相関($r=-0.73$)がみられ、Zn溶出率とも危険率1%で有意な負の相関

表 3 飛灰の溶出試験結果

	A I	A II	B I	B II	C I	C II	D I	D II	E I	E II	埋立判定基準
EC (mS/m)	5800	4400	3100	3200	5500	6100	6100	6000	6200	6300	
pH	12.0	12.2	12.1	12.3	12.2	12.2	12.0	12.1	12.0	11.9	
Na* (mg/L)	3200	2600	2900	2400	3400	3600	3700	5200	4500	3400	
K*	3900	3300	2000	2500	4800	4500	4000	3900	5400	4000	
Ca*	7000	6000	1200	1700	4900	5600	5700	7300	7800	6700	
Mg*	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
Cl ⁻	19000	16000	8200	9000	17000	18000	19000	23000	23000	21000	
SO ₄ ²⁻	980	960	<10	<10	1200	1200	950	1800	1000	1100	
Cd**	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3
Pb**	17	11	1.0	1.8	12	13	11	9.3	36	45	0.3
Zn**	5.0	4.2	0.36	0.88	4.5	3.9	7.5	3.7	15	11	
Cu**	0.07	0.07	0.11	0.37	0.04	0.03	0.03	0.05	0.21	0.31	
Cr**	0.10	0.17	0.29	0.05	0.18	0.21	0.10	0.39	0.10	0.10	1.5(Cr ⁶⁺)
(試料の性状)											
強熱減量 (%)	6.3	2.9	3.3	3.6	6.3	6.8	4.5	4.1	5.7	2.7	
含水率	0.27	0.36	0.23	0.30	0.37	0.24	1.1	1.4	0.91	0.28	

* フレーム原子吸光法により定量

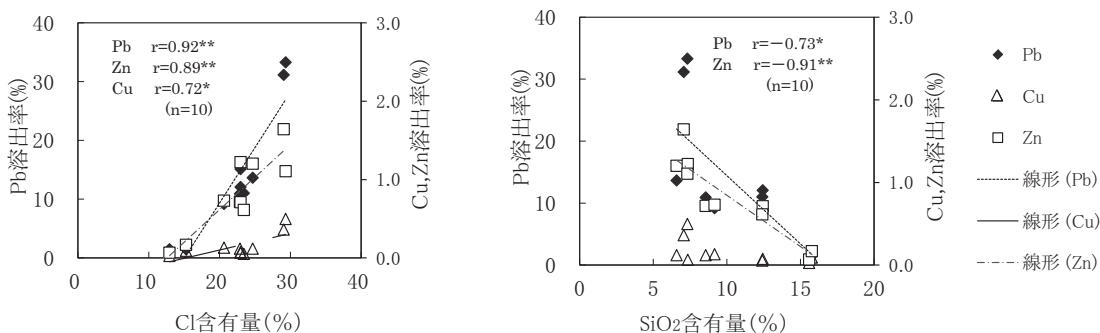
** ICP 質量分析法により定量

表 4 処理物の溶出試験結果

	AC I	AC II	BC I	BC II	CC I	CC II	DC I	DC II	EC I	EC II	埋立判定基準
EC (mS/m)	4200	3600	3000	2700	4500	5200	5500	4700	5000	5100	
pH	12.1	12.2	12.2	12.3	12.1	12.1	12.0	12.1	12.0	12.0	
Na* (mg/L)	2000	1900	2400	2100	2800	3200	3000	3900	2800	2700	
K*	2600	2600	1900	2000	3300	3700	3400	3500	3700	3600	
Ca*	3900	3500	1100	1800	3600	4600	4400	4600	5500	6100	
Mg*	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	<0.1	
Cl ⁻	10000	9600	6600	7200	12000	13000	14000	15000	17000	18000	
SO ₄ ²⁻	1200	1300	99	500	1400	1300	970	1200	600	540	
Cd**	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	<0.005	0.3
Pb**	0.01	0.07	0.02	0.25	0.01	0.01	0.07	0.01	<0.005	<0.005	0.3
Zn**	0.45	0.51	<0.05	0.14	0.36	0.33	0.41	0.27	2.2	3.4	
Cu**	<0.01	0.01	<0.01	0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	
Cr**	<0.02	0.05	0.13	0.22	0.05	0.05	0.18	0.17	0.10	0.10	1.5(Cr ⁶⁺)
(試料の性状)											
強熱減量 (%)	8.7	9.7	7.7	6.6	10	8.8	11	2.9	6.3	7.7	
含水率	32	28	18	19	19	19	16	23	22	22	

* フレーム原子吸光法により定量

** ICP 質量分析法により定量

図 1 飛灰溶出液における Pb 等重金属の溶出率と飛灰中 Cl 含有量及び SiO₂ 含有量との関係

($r = -0.91$)がみられた。

一般廃棄物中の重金属は焼却炉内で発生した塩化水素などによって低沸点の塩化金属となって揮散するため、飛灰中には主に酸化物や溶解度の高い塩化物³⁾の形態で含まれることが報告されている⁴⁾。また、Siは飛灰に含まれる難水溶性物質の主成分であり、Siが多いとこれらに重金属が取り込まれ、水には溶出しにくくなると考えられている⁵⁾。E施設ではCl含有量が29%と高いため、塩化物の形態で含まれる重金属の割合がより高くなっている可能性が考えられた。逆に、B施設ではSiO₂含有量が高く、Cl含有量が低いという流動床炉の特徴により、これらの重金属溶出率ももっとも低い値を示したものと考えられた。なお、Crの溶出率については有意な相関を示す主成分はみられなかった。

次に、処理物溶出液における重金属の溶出をみると(表4)、Pb濃度はB以外の施設では<0.005~0.07mg/Lと飛灰溶出液の9.3~45mg/Lに比べて著しく低く、飛灰溶出液の1%以下に溶出が抑制されており、キレート処理による溶出抑制効果が現われていた。一方、B施設は、BCIIで0.25mg/Lと飛灰溶出液の14%の高い値を示した。B施設のPb含有量は他施設と同程度であったが、Cu含有量は他施設の7~10倍と高かった(表2)。ジチオカルバミン酸基のように硫黄を供与原子とする金属類の選択性はCu>Pb>Znであることが知られ、Pb溶出抑制のためのキレート剤の必要添加量は、飛灰中のCuとPbの含有量合計(mol/kg)と比例関係にあることが示されている¹⁾。ここでB施設のCuとPbの含有量合計を算出すると約70mmol/kgとなり、他施設の約4~7倍の高い値となる。このことから基準は超えないものの、B施設の処理物溶出液のPb濃度にはCu含有量が影響している可能性が考えられた。

処理物溶出液におけるpHおよびPb溶出率の分布を図2に示す。pHの分布はpH12.0~12.3と狭い範囲ではあるが、処理物のPb溶出率はpHの高い溶出液で高くなる傾向を示した。BCIIのPb濃度の高さには飛灰中Cu含有量の他、このような溶出液のpHも関わっている可能性が考えられた。

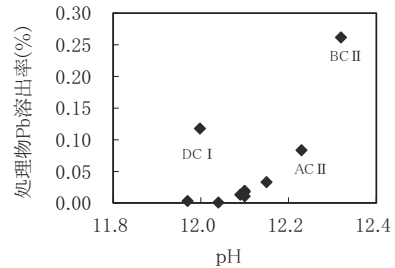


図2 処理物溶出液のpHおよびPb溶出率

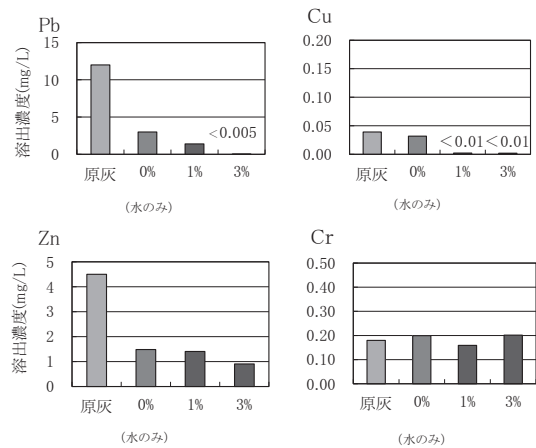


図3 キレート剤 t3 添加量に対する飛灰 CI からの重金属溶出濃度

Cu濃度はいずれも0.01mg/L以下であった。

Zn濃度はE施設で2.2~3.4mg/L、それ以外では0.51mg/L以下と飛灰溶出液の約8%まで濃度が減少していたが、PbやCuと比較して溶出抑制効果は小さかった。

Cr濃度は0.22mg/L以下であったが、キレート処理による溶出抑制について一定の傾向はみられなかった。

3.2 飛灰へのキレート剤添加・溶出試験の結果

キレート剤添加・溶出試験における、キレート剤 t 添加量に対する飛灰 CI からの重金属溶出濃度を図3に示す。

Pbは水練り飛灰(水のみ添加, キレート剤 0%)で約1/4の濃度まで溶出が抑制され, t 1%添加で1.4mg/L, 3%添加で0.005mg/L未滿と添加量の増加とともに著しい濃度の減少がみられた。

Cuは水練り飛灰では溶出濃度はほとんど変わ

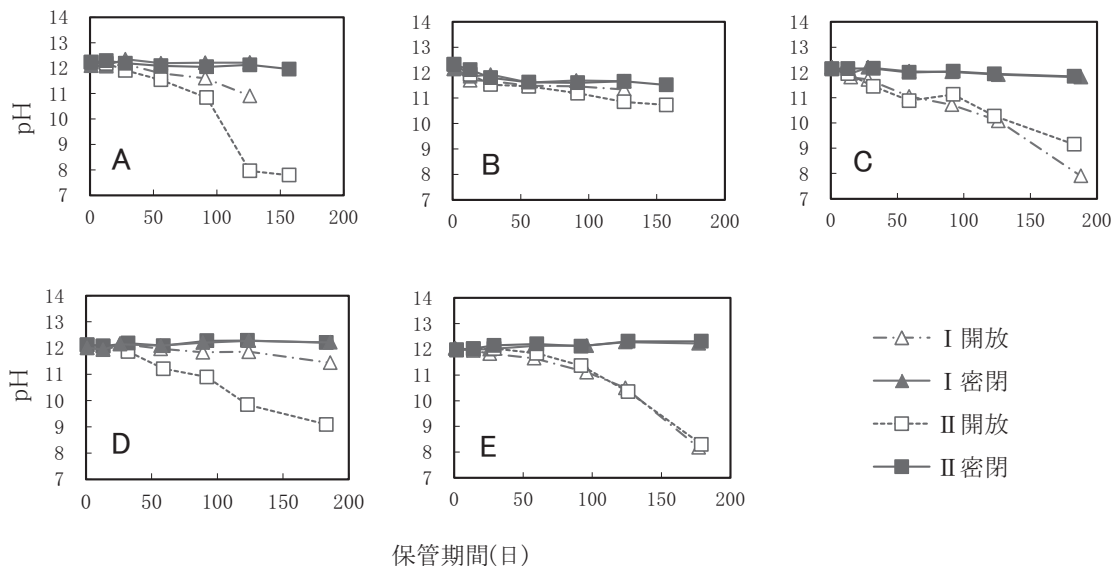


図4 保管条件別の処理物の pH 変化

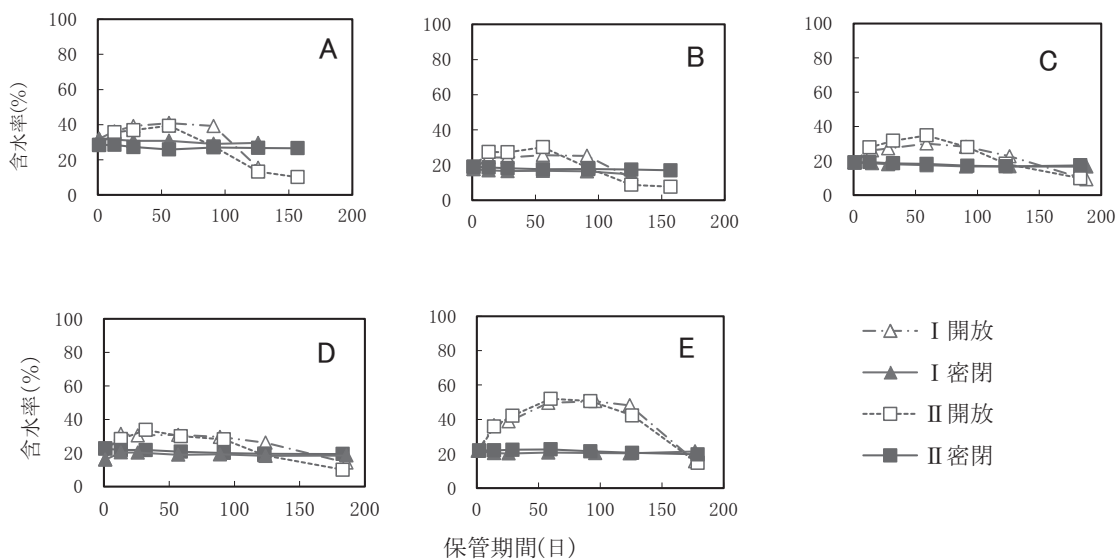


図5 保管条件別の処理物の含水率変化

らず、 t 1%以上の添加で0.01mg/L未満と溶出抑制効果が見られた。

ZnはPbと同様に水練り飛灰で1.5mg/Lと約1/3まで溶出が抑制され、 t 1%添加で1.4mg/L、3%添加で0.90mg/Lと約1/5まで濃度の減少がみられた。キレート剤を添加した飛灰におけるZnの溶出抑制効果は、3.1の実施設の処理物の場合と同様に、PbやCuと比較して小さかった。

Crは、水練り飛灰、キレート剤添加いずれも

飛灰溶出液の溶出濃度とほとんど変わらなかった。

3.3 飛灰キレート処理物の長期安定性

3.3.1 溶出液 pH と含水率の変化

飛灰キレート処理物を開放および密閉の条件で一定期間保管した試料について溶出試験を行った溶出液のpHの変化を図4に示す。pHは、いずれも密閉での経時変化は小さく、A、D、Eについては保管開始時から120日目までほぼ一定で

pH12.0～12.3を示した。B、Cは保管開始時のpH12.2～12.3から徐々に低下して、Bは30日目以降に、Cは90日目以降にpH12.0以下となった。開放では、全体として低下する傾向を示し、施設によって差がみられたものの保管期間終了時にpH7.9～11.3を示した。pHの低下の要因として開放の保管条件では湿潤状態で大気にさらされているため、炭酸化が進んだのが一因ではないかと考えられた⁶⁾。B(I、II)およびD Iの開放条件でpHの低下が緩やかであった原因として、処理物の形状が他のものよりも大きく、炭酸化の作用が緩やかであった可能性が考えられた。

保管条件ごとの含水率の変化を図5に示す。含水率は5施設で類似した変化傾向を示し、密閉では、20～30%のほぼ一定の値で推移した。開放では2週間で25～35%に増加し、その後も25～50%の高い値で推移した後、60～90日目以降に減少する凸形の変化を示した。開放の保管条件の処理物の含水率が高くなった原因は、塩類を多く含む飛灰には吸湿性・潮解性があるので、本実験を開始した夏季に空気中の水分を多く吸収したためであると考えられる。

3.3.2 Pb等重金属溶出濃度の変化と要因

保管条件別の重金属成分溶出濃度の変化(Pb、ZnおよびCr)を図6に示す。項目ごとにみると、Pbでは、B IIで減少し、D Iで増加する溶出濃度の明確な経時変化がみられた。B IIでは保管開始時0.25mg/Lと埋立判定基準値(0.3mg/L)に近い値であったが、2週間目で開放・密閉とも急激に減少し、30日目以降はどちらも0.05mg/L以下となった。このケースでは、保管開始時pH12.3であった溶出液のpHは、密閉では30日目以降、開放では14日目以降にそれぞれpH11.9以下になり、その後も徐々に低下していく傾向にあった。このためPb溶出濃度の急激な減少にはpHの低下現象が関連していることが推察された。

一方、D I密閉ではPbの再溶出が観察され、保管開始時のPb濃度は0.07mg/Lであったが、30日目以降0.26～0.30mg/Lに増加し、高い状態が継続した。D I開放は再溶出がほとんどなく30日目まで0.06mg/L前後の濃度であったがその後減少して0.05mg/L以下となった。D IはPb初期濃度が0.07mg/Lと、D IIの0.01 mg/Lに比べ

て高く、聞き取り調査から、何らかの原因でキレート剤の注入が妨げられ、十分なキレート処理効果が得られていなかった可能性が判明した。このような試料について密閉と開放ではPbの溶出濃度の変化に明確な差がみられたことから、保管条件が再溶出に影響していることがわかった。このケースでは、pHは密閉、開放とも60日目まではほとんど差がなくpH12.0以上と高かったが、含水率は開放で14日目以降保管開始時の2倍の31%の高い値となり、その後も密閉よりも約10%高い湿潤な状態で推移していた。湿潤状態の飛灰(含水率35%)においては、キレート剤添加の有無に関係なくPb、Zn等の難溶化現象が報告されている¹⁾ことから、開放保管での吸湿による水分の増加が難溶化に関与している可能性が考えられる。他の試料(A、B I、C、D IIおよびE)のPb濃度は、保管開始時0.01～0.07mg/Lであったが、密閉、開放とも保管期間中は0.05mg/L以下と低い濃度で安定していた。

Znをみると、保管開始時の濃度はA、C、Dで0.3～0.5mg/L、Eで2.2～3.4mg/Lであり、このうちC、D、Eでは密閉、開放とも溶出濃度が保管開始時から減少した。このとき、開放では密閉よりその減少速度が速い傾向を示し、溶出濃度も低く、90日目以降は0.1mg/L以下で推移した。Aの密閉では同様に保管開始時から減少する傾向を示したが、開放では期間を経ても突発的に保管開始時と同程度の溶出がみられることがあった。Bは期間のほとんどで0.1mg/L以下であった。いずれの施設も密閉、開放とも90日目までは含水率が20～50%に保たれていたが、密閉よりも含水率が高くなった開放でZn濃度の減少速度が速い傾向を示したことから、湿潤状態におけるZnの難溶化現象¹⁾が進行した結果である可能性が考えられた。

次にCrをみると、B以外は多少の増減はあるものの両条件とも処理直後の溶出濃度と同程度かそれ以下の低濃度で推移する傾向(120日目以降0.02～0.08mg/L)であり、密閉と開放であまり差はみられなかった。Bの開放では保管開始時から60日目にかけていったん0.02mg/L未満まで溶出濃度が大きく減少し、その後は緩やかに濃度が増加するU字型の変化を示した。また、Eの開

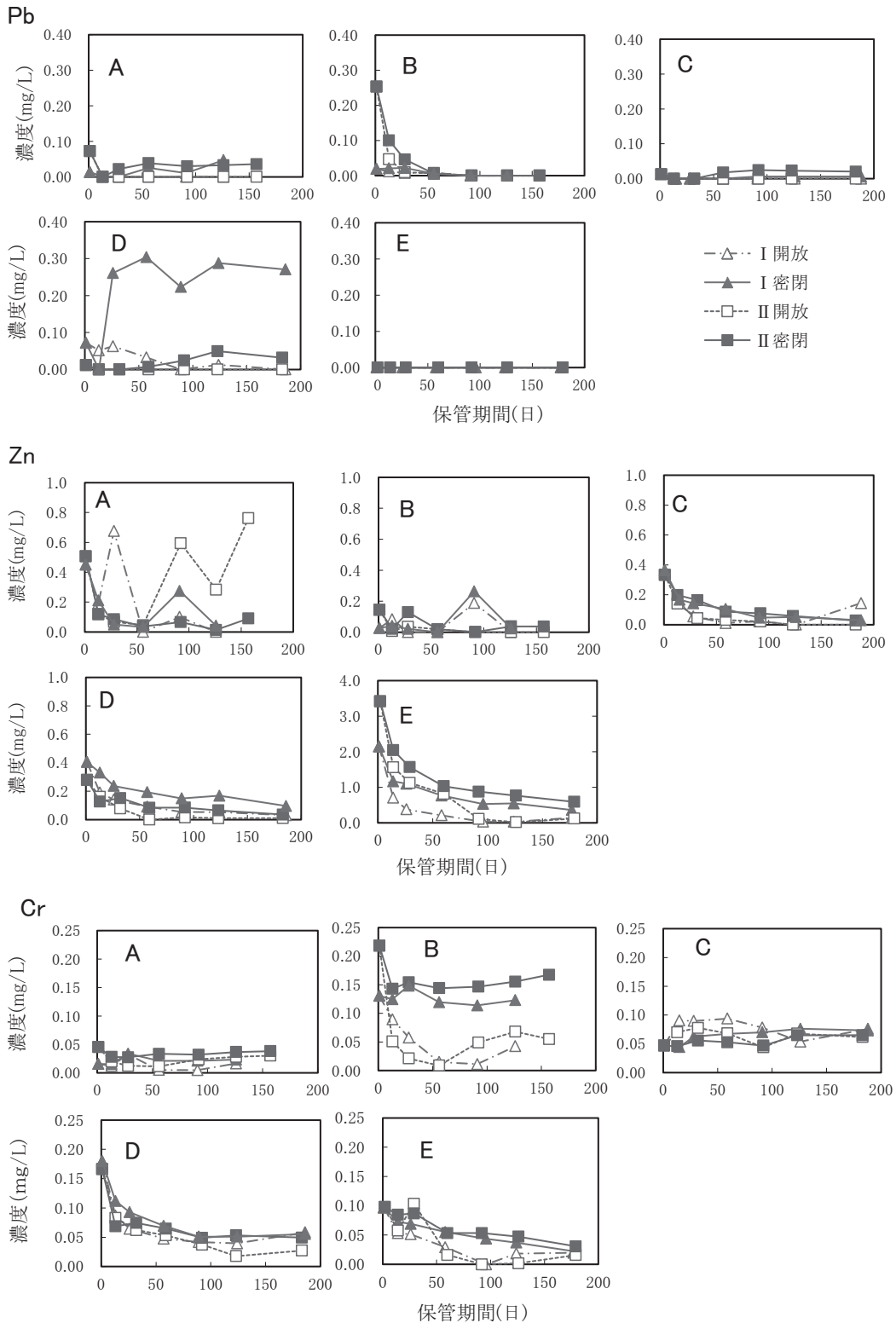


図6 保管条件別の処理物の重金属成分溶出濃度変化(Pb, Zn, Cr)

放では60日目にかけて減少傾向を示し、90日目以降は0.02mg/L未満と低い濃度で安定していた。なお、すべての施設においてCuは期間のほとんどで不検出(<0.01mg/L)であった。

4. ま と め

- (1) 焼却施設における飛灰キレート処理の効果
 - ・飛灰溶出液では、Pb, Zn, Cuの溶出率はCl含有量と正の相関が、Pb, Znの溶出率はSiO₂含有量と負の相関がみられた。
 - ・処理物溶出液におけるPb濃度はB施設以外では<0.005~0.07mg/Lと飛灰溶出液の9.3~45mg/Lに比較して著しく低く、飛灰溶出液の1%以下に溶出が抑制されていた。Cu濃度はすべての施設で<0.01mg/Lであり、Pb, Cuではキレート処理による溶出抑制効果が現れていた。
 - ・処理物溶出液におけるPb溶出率とpHとの関係を見ると、Pb溶出率はpH12.0付近からpHの上昇に従って高くなる傾向を示していた。
- (2) 飛灰C Iへのキレート剤添加・溶出試験
 - ・PbとZnは、飛灰への水のみでの添加でも溶出が抑制され、飛灰溶出液の1/3程度まで濃度が減少していたがCuの溶出濃度は変わらなかった。
 - ・PbとCuはキレート剤3%添加で溶出がほとんどなくなり、Znは1/5まで濃度が減少し

た。

- (3) 飛灰キレート処理物の長期安定性
 - ・Pb溶出濃度は、D Iの密閉でのみ保管開始30日目以降0.30mg/L付近の濃度で再溶出がみられた。D施設でキレート剤の添加量が通常時よりも不足していたことが一因と考えられた。一方、開放では0.05mg/L以下と安定していたことから開放保管による吸湿によって難溶化したと考えられた。
 - ・Znはほとんどの施設の試料で、密閉、開放とも溶出濃度が保管開始時から減少する傾向を示し、含水率が高くなった開放での減少速度が速かった。

— 参 考 文 献 —

- 1) 看倉宏史, 田中信壽, 松藤敏彦: キレート処理した一般廃棄物焼却飛灰からの鉛の再溶出挙動に関する研究, 廃棄物学会論文誌, **16**, 214-222, 2005
- 2) 小口文字, 下寄かえで, 鹿角孝男: キレート処理一般廃棄物焼却飛灰からの水銀溶出状況と要因の検討, 環境技術, **40**, 548-552, 2011
- 3) 日本化学会: 化学便覧 基礎編 II, 丸善, 161-171, 1993
- 4) Takaoka, M., Y. Kuramoto, N. Takeda and T. Fujiwara: Speciation of Zinc, Lead and Copper on Fly Ash by X-ray Photoelectron Spectroscopy, *Journal of the Japan Society Waste Management Experts*, **12**, 102-111, 2001
- 5) 岡田敬志, 松藤敏彦, 東條安匡: Ca, Si含有量に基づく溶融飛灰からのPb, Zn回収方法選択に関する研究, 廃棄物学会論文誌, **18**, 8-19, 2007
- 6) 野馬幸生: 集塵灰処理における炭酸化の有効性, 第4回廃棄物学会研究発表会講演論文集, 889-892, 1993