

一般廃棄物最終処分場浸出水及び一般廃棄物焼却灰の塩類調査

The Survey of Inorganic Salts in Seeping Water from Controlled Waste Landfills and Municipal Solid Waste Incineration Ashes

柳 茂 菅原 隆一 斎藤 善則

Shigeru YANAGI, Ryuiti SUGAWARA, Yoshinori SAITO

一般廃棄物最終処分場の浸出水発生模擬実験を行うとともに、一般廃棄物焼却炉の調査を行い、主灰と固化処理後の飛灰の溶出試験と金属類含有量試験を行った。その結果、最終処分場浸出水の塩類濃度が経年的に上昇することを確認し、塩化物イオンを指標とした安定化では、10年以上要することを模擬実験で明らかにした。また、溶出試験の塩化物イオンは、ストーカ炉では約90%、流動床炉では約100%が飛灰に存在したが、最終処分場の処理水を炉の冷却水に再利用している焼却施設では主灰中に50%を越えて存在していた。溶出試験の結果、主灰、飛灰からナトリウム等9元素を検出した。銅については、ガス化溶融炉を除き、いずれの施設も主灰からの溶出の方が多かった。含有量試験の結果、殆どの元素は飛灰の方が高かったが、鉄、マンガン、銅については主灰が高かった。処理水の再利用施設ではナトリウム、カリウムは塩化物イオンと同様に主灰に濃縮していた。ガス化溶融炉では殆どの有害金属は活性炭捕集飛灰に存在した。

キーワード：一般廃棄物；焼却灰；塩類；最終処分場；浸出水

Keywords : municipal solid waste ; incinerated ashes ; inorganic salts ; controlled waste landfills ; seeping water

1 はじめに

近年、一般廃棄物最終処分場で発生する浸出水の塩類濃度が上昇している。原因は埋立物中の焼却灰の比率が高まったこと、また、燃焼ガス中の塩化水素等酸性ガス除去工程で生成する塩化カルシウム等のフィルター捕集の脱塩残渣が埋立てられるためといわれている。宮城県においても公共用水域への浸出水放流の同意が得られず、やむなく、下水道に接続している施設や、処理水を焼却炉の冷却水として再利用して浸出水の塩類濃度が急激に増加し、施設管理に支障を生じている施設もある。浸出水の塩類濃度上昇の主要因である、各種焼却灰の塩類濃度を調査した事例¹⁾は少なく、本研究では、一般廃棄物最終処分場の浸出水発生模擬実験と、焼却施設内の塩類

発生プロセスを調査し、適正な維持管理及び処分方法、さらに資源化利用等の資料とするため、一般廃棄物焼却施設の実態調査を行ったので報告する。

2 方法

2.1 焼却灰の浸出水発生模擬実験

ガラスカラムに焼却灰を詰め、蒸留水を上部より散水し、焼却灰からの浸出水発生状況と水質を調べた。また、調査後、安定化（塩化物イオン濃度100mg/l以下）するまで洗い出し実験を継続して行った。

2.1.1 実験条件

実験条件を表1に示す。また、図1に実験装置概要を示す。

表1 実験条件

項目	内 容
焼却灰試料の調製	Aストーカ炉焼却灰(主灰、飛灰キレート処理物混合物)300gとB流動床炉焼却灰(飛灰キレート処理物)300gを、均等に混合し、143g毎に4試料を分包した。
ガラスカラム	口径27mm×長さ1200mm
充填試料量	1回目:143g(約250mm) 3回目:143g2回目の上部に積層(約750mm) 2回目:143g1回目の上部に積層(約500mm) 4回目:143g3回目の上部に積層(約1000mm)
散水量	26年間平均年間降雨量(1290mm)相当水量736ml
当初の散水速度	時間降水量21mm/時相当:2ml/分 (参考 2004年最大時間降水量25mm/時)
浸出水の採取方法	100mlポリ容器により約100ml毎に採取した。また、安定化洗い出し実験の際には、250及び500mlポリ容器により採取した。

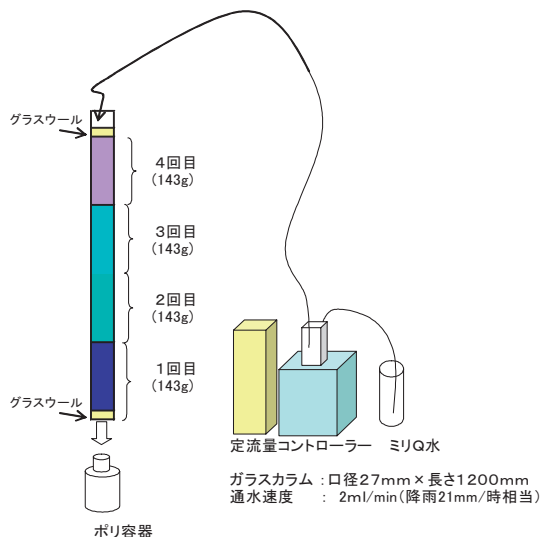


図1 浸出水模擬実験装置概要

2.1.2 測定項目

塩化物イオン, 硫酸イオン

2.2 焼却灰の発生状況調査及び溶出試験並びに金属類含有量試験

県内の7施設の一般廃棄物焼却炉から発生する焼却灰の発生状況について聞き取り調査を行うとともに、焼却灰の溶出試験と金属類含有量試験を行った。焼却灰のうち飛灰は、いずれも、埋立直前のキレート等処理後の形態で採取した。なお、主灰は0.5mm未満に粉碎し、飛灰は有姿のまま試料とした。溶出試験は昭和48年環境庁告示第13号(有害物質溶出試験, 固液比(S/L) 1/10, pH5.8~6.3に調製したミリQ水を添加, 6時間振とう溶出, 孔径1μmガラス繊維ろ過法)で行った。また、塩化物イオン及び硫酸イオンの溶出量については溶出試験の検液を測定することにより調べた。なお、十分に溶出したかどうかを確認するため、固液比(S/L) 1/100についても調べた。金属類の含有量試験は平成15年環境省告示第19号(土壌含有量試験, S/L=3/100, 1モル塩酸, 2時間振とう抽出, 孔径0.45μmメンブランろ過法)で行った。

2.2.1 測定項目

塩化物イオン, 硫酸イオン, カルシウム, マグネシウム, ナトリウム, カリウム, 鉄, マンガン, 銅, 亜鉛, クロム, 六価クロム, カドミウム, 鉛, 砒素, セレン, 総水銀, pH

2.2.2 測定方法

陰イオン: イオンクロマトグラフ法

金属類: 原子吸光光度法(フレーム法, フレームレス法, 水素化物発生法), 還元気化原子吸光法

3 結果と考察

3.1 浸出水発生模擬実験結果

焼却灰の浸出水発生模擬実験結果を図2に示す。塩化

物イオンの1回目の最大濃度は1本目で52,000mg/l, 2回目は2本目で39,000mg/l, 3回目は2本目で48,000mg/l, 4回目は3本目で45,000mg/lであった。また、塩化物イオンの流出量は1回目13.5g, 2回目12.5g, 3回目13.1g, 4回目13.8gとほぼ一定していた。回を追う毎に流出速度が遅くなったが流出量はあまり変わらなかった。このことから、浸出水の塩類濃度は経年的に上昇することを確認した。しかし、徐々に水頭圧が減少するため浸出パターンに変化が見られた。また、年間降雨量相当量を流した場合、全流出水の平均濃度は約18,000mg/lと高濃度になることが判った。

また、浸出水発生状況調査後、安定化するまで洗い出し実験(5~11回目)を行った。その結果を図3に示す。11回目の浸出水発生実験で採取した検体の塩化物イオン濃度が100mg/l以下となったことから、焼却灰だけを埋め立てた場合ではあるが、洗い出し水量からだけ推定すると、埋め立て終了直後から安定化するまでには7年間以上を要することになる。降水の浸出水流出率は蒸散などにより多くても70%程度と推定されることから、実際の処分場が安定化するまでには10年以上を要するものと考えられる。

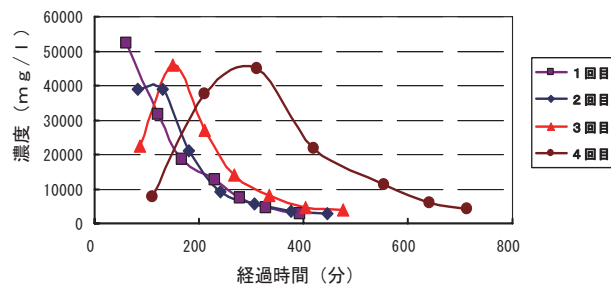


図2 流出水塩化物イオン濃度の変化

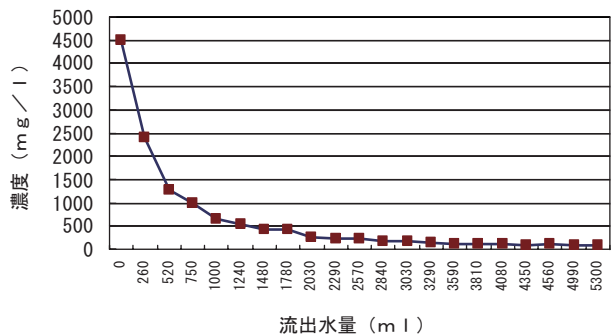


図3 塩化物イオン濃度の減少状況

3.2 焼却灰の発生状況調査結果

調査対象焼却炉の焼却灰の発生状況を表2, 図4, 図5に示した。

表2 調査施設の諸元

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
焼却炉型	ストーカ炉	ストーカ炉	ストーカ炉	ストーカ炉	ストーカ炉	流動床炉	流動床式ガス化溶融炉
ばいじん処理施設	電気集塵機	バグフィルタ	バグフィルタ	バグフィルタ	バグフィルタ	バグフィルタ	2段バグフィルタ
主灰発生量(トン/年)	1,520	4,336	2,520	1,668	3,809	648	1,403
飛灰発生量(トン/年)	520	1,675	1,260	1,116	760	1,020	2,741
スラグ発生量(トン/年)	0	0	0	0	0	0	1,875
一人当たり主灰発生量(kg/人・年)	25	33	37	31	34	10	6
一人当たり飛灰発生量(kg/人・年)	9	13	19	21	7	16	12
排ガス処理活性炭投入量(トン/月)	0	0.5	4.0	2.6	0.25	1.85	0.63
排ガス処理石灰投入量(トン/月)	0	10	40	25	2.5	9.25	27
飛灰固化剤	キレート剤	セメント	キレート剤	キレート剤	キレート剤	キレート剤	キレート剤 セメント併用

注) ⑥⑦の主灰はガレキ類、⑦の飛灰は活性炭捕集飛灰と石灰脱塩残渣の合計した値

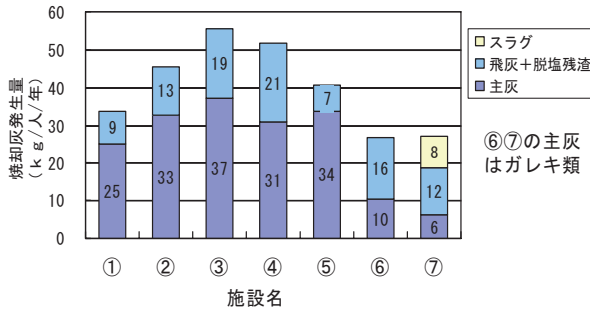


図4 収集人口一人当たりの年間焼却灰発生量

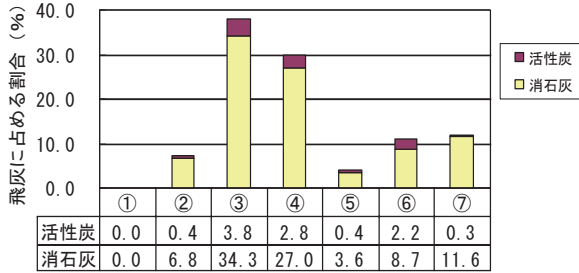


図5 消石灰と活性炭噴霧量

表3 焼却灰の溶出試験

	(mg/l)					
	Cl	SO ₄	Na	K	Ca	Mg
Aストーカ炉焼却灰(S/L=1/10)	8,800	100	3,100	1,800	1,500	0
B流動床炉焼却灰(S/L=1/10)	9,000	47	2,200	1,600	1,600	0
Cストーカ炉主灰(S/L=1/10)	920	5	570	250	150	0
Cストーカ炉飛灰キレート(S/L=1/10)	21,000	830	6,300	3,700	3,400	0
Aストーカ炉焼却灰(S/L=1/100)	890	12	-	-	-	-
B流動床炉焼却灰(S/L=1/100)	930	50	-	-	-	-
Cストーカ炉主灰(S/L=1/100)	80	9	-	-	-	-
Cストーカ炉飛灰キレート(S/L=1/100)	2,000	71	-	-	-	-

※環境省告示第13号による溶出試験と同様に実施(S/L=固液比)

ストーカ炉5施設、流動床炉1施設、流動床式ガス化溶融炉1施設、合計7施設を調査した。主灰の割合はストーカ炉が平均71.3%で、流動床炉が36.4%であった。一人当たりの焼却灰発生量(kg/人・年)はストーカ炉(平均主灰32kg/人・年、平均飛灰13kg/人・年)、流動床炉、ガス化溶融炉の順に減少した。排ガス処理については、焼却物中のプラスチックの減量化を図り、石灰(消石灰)・活性炭を噴霧していない施設①ではストーカ炉のうちで最も灰の発生量が少なく、処理水を冷却水に再利用している施設⑤では飛灰の発生量が比較的小なめであった。また、図5に示すとおり、石灰と活性炭の使用量に施設間のバラツキが見られた。流動床炉⑥⑦の主灰はすべて陶器等のガレキ類であり、外観上は破碎等で路盤材等に有効利用が可能なものと考えられた。

3.3 溶出試験結果

3.3.1 陰イオン

溶出試験によりAストーカ炉焼却灰(主灰、飛灰キレート混合物)とB流動床炉焼却灰(飛灰キレート)の塩化物イオン及び硫酸イオンの溶出量を調べた。同様に、処理水を冷却水に再利用している施設のCストーカ炉から発生する主灰及び飛灰キレートについても、それぞれ溶出試験により、塩化物イオン及び硫酸イオンの溶出量を調べた。その結果を表3、表4に示す。塩化物イオンについては、10倍比、100倍比は良く一致しており、10倍比の溶出試験条件で、ほぼ完全に溶解しているものと考えた。Cストーカ炉の飛灰の塩素組成は重量比で約20%の高濃度を示し、主灰では約1%程度であった。Cストーカ炉の2年合計の主灰量(126トン)及び飛灰キレート処理物量(50トン)から算出した結果、流出する塩化物イオンの約90%が飛灰由来であることが判明した。

表4 焼却灰の塩化物イオン含有量

	(%)	
	S/L=1/100	S/L=1/10
Aストーカ炉焼却灰	8.9	8.8
B流動床炉焼却灰	9.3	9.0
Cストーカ炉主灰	0.8	0.9
Cストーカ炉飛灰キレート	20	21

※環境省告示第13号による溶出試験と同様に実施(S/L=固液比)

表5 焼却灰の塩化物イオン・硫酸イオン溶出量

	①	②	③	④	⑤	⑥	⑦
主灰のCl溶出量(トン/年)	11	10	14	7.8	90	0	0
飛灰のCl溶出量(トン/年)	36	150	90	72	81	57	258(内112は脱塩残渣)
飛灰の占める割合(%)	77	94	87	90	47	100	100
一人当たりCl発生量(kg/年)	0.8	1.2	1.5	1.5	1.5	0.9	1.2
主灰のSO ₄ 溶出量(トン/年)	2.5	0.5	4.9	0.6	11.5	0	0
飛灰の占める割合(%)	2.0	11.8	11.5	4.2	7.7	6.5	28.5(内1.0は脱塩残渣)
一人当たりSO ₄ 発生量(kg/年)	44	96	70	89	40	100	100
	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1

※Cl量SO₄量は環境省告示第13号による溶出試験による値

注) ⑥⑦の主灰はガレキ類、⑦の飛灰は活性炭捕集飛灰と石灰脱塩残渣の合計した値

表6 金属類溶出試験結果

事業場名称	①		②		③		④		⑤		⑥		⑦	
	①主灰	①飛灰	②主灰	②飛灰	③主灰	③飛灰	④主灰	④飛灰	⑤主灰	⑤飛灰	⑥飛灰	⑦スラグ	⑦活性炭 捕集飛灰	⑦石灰脱 塩残渣
種類	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l	mg/l
Ca	180	230	190	3100	50	3000	130	3000	140	4400	2000	5	1500	10000
Mg	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1	<1
Na	440	2900	330	2300	480	2000	400	2100	1400	7200	250	1	5100	460
K	210	3400	110	3100	200	2300	180	2600	590	5900	1900	0	4900	410
Fe	0	0	0	0	0	0	0	0	0.4	0.4	0	0.5	0	0.3
Mn	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.1	0	0	0	0.1
Cu	0.5	0	0.9	0	0.4	0	1	0	2.2	0	0	0	0	0.2
Zn	0	0	0.1	0.4	0	0.2	0.1	0.2	0	1.3	0.1	0	0	0
Cr ⁶⁺	<0.01	<0.01	0.016	0.053	<0.01	0.021	0.011	0.038	<0.01	0.038	<0.01	<0.01	1.1	0.034
Cd	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Pb	<0.1	<0.1	0.2	2.0	<0.1	0.2	0.2	0.3	0.1	0.9	0.6	<0.1	<0.1	1.5
As	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Se	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03	<0.03
Hg	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005	<0.00005
pH	11.5	12.0	12.1	12.4	11.2	12.4	12.0	12.4	11.6	12.4	12.5	9.7	11.0	12.3

焼却灰発生状況調査対象7施設の塩化物イオン及び硫酸イオンの結果を表5に示す。塩化物イオン及び硫酸イオンの溶出量を算出すると、塩化物イオンの主灰と飛灰中の存在比は、ストーカ炉では飛灰の占める割合は概ね約90%であるが、石灰噴霧をしない施設ではガス状の塩化物イオンが回収されないため約80%とやや低かった。施設⑤では飛灰の占める割合は50%弱であった。これは炉内に噴霧される処理水の塩化ナトリウム等の塩類が主灰の塩分含有量を徐々に上昇させているものと考えられた。硫酸イオンも概ね同様の傾向を示した。また、流動床炉と流動床式ガス化溶融炉では塩化物イオンは殆どがガス化するため、飛灰にほぼ100%存在した。ガス化溶融炉の場合には、バグフィルターが2段になっており、塩化物イオンは前段の活性炭捕集飛灰に57%、後段の石灰捕集飛灰（脱塩残渣）に43%の割合で捕集されていた。飛灰中の塩化物イオン存在比（湿重量）は活性炭捕集飛灰で6.5%、石灰脱塩残渣で23%と、石灰脱塩残渣が飛灰中で最も高い値を示した。硫酸イオンは殆どが前段で捕集されていた。

3.3.2 金属類

金属類の溶出試験結果を表6に示す。

pHは9.7~12.5のアルカリ性を示し、主灰に比べ飛灰の方がやや高めであった。カルシウム、ナトリウム、カリウム、鉄、マンガン、銅、亜鉛、六価クロム、鉛の9元素の溶出を確認した。銅については、ガス化溶融炉を除き、いずれの施設も主灰からの溶出が多かった。その他の元素は全て飛灰の溶出の方が多かった。処理水を再利用している施設では主灰、飛灰ともにナトリウム、カリウムが他のストーカ炉に比較して高濃度を示した。一部の施設の飛灰は鉛が産業廃棄物に係る溶出試験の基準値を超過した。

3.4 焼却灰の金属類含有量試験結果

金属類の含有量試験結果を表7に示す。

殆どの元素は主灰に比較し、飛灰の方が高かったが、鉄、マンガン、銅は主灰の方に多く含有した。また、処理水を冷却水に再利用している施設⑤では浸出水の水処理工程で除去されないナトリウム、カリウムは塩化物イオンと同様に主灰に多量に含有した。図6に示すとおり、ガス化溶融炉では活性炭捕集飛灰に殆どの有害金属（カドミウム92%、鉛96%、ヒ素83%、セレン97%、水銀87%）が捕集された。鉄、ナトリウム、カリウム、マンガン、クロムはスラグに比較的多く存在した。

4 まとめ

今回の調査により以下のことが明らかになった。

- (1) 浸出水発生模擬実験を行った結果、塩化物イオンの流出については流出速度に関わらず、4回とも殆ど同量が流出していることから、流出速度より流出水量が大きく影響するものと考えられ、浸出水の塩類濃度は経年的に上昇することが確認された。また、年間降雨量相当量を流した場合、全流出水中の塩化物イオン濃度は約18,000mg/lと高濃度になることが判った。浸出水発生模擬実験後、安定化するまで洗い出し実験を行った。その結果、焼却灰だけを埋め立てた場合では、今回の実験から推定すると、埋め立て終了直後から安定化するまでには少なくとも10年以上を要することがわかった。
- (2) 焼却飛灰の塩素組成は重量比で約20%の高濃度を示し、焼却主灰では約1%程度であった。また、流出する塩化物イオンの約90%が焼却飛灰由来であることが判明した。
- (3) 一人当たりの焼却灰発生量 (kg/人・年) はストーカ炉、流動床炉、ガス化溶融炉の順に減少した。

表7 金属類含有量試験結果

事業場名称	①		②		③		④		⑤		⑥		⑦	
	①主灰	①飛灰	②主灰	②飛灰	③主灰	③飛灰	④主灰	④飛灰	⑤主灰	⑤飛灰	⑥飛灰	⑦スラグ	⑦活性炭捕集飛灰	⑦石灰脱塩残渣
含有量	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg
Ca	69000	72000	58000	160000	67000	210000	58000	110000	54000	140000	88000	89000	52000	340000
Mg	7900	14000	8400	9000	8800	9200	8800	9700	7000	6900	19000	18000	13000	5600
Na	18000	46000	14000	26000	28000	18000	28000	25000	73000	23000	20000	53000	7400	32000
K	6300	38000	5200	29000	31000	5800	27000	7600	49000	6300	5700	42000	4500	37000
Fe	7300	6600	6900	5100	5400	2200	8600	3900	5500	1900	48000	44000	5800	1400
Mn	750	490	530	480	400	170	320	290	230	140	500	980	450	67
Zn	1200	3100	1900	4800	1300	3000	2400	2700	1300	2800	1200	980	5100	5900
Cu	940	110	1400	370	570	5.0	1100	64	820	4.3	1400	1100	1200	110
Cr	20	64	49	59	49	53	42	65	44	40	73	500	240	12
Cd	3.1	12	2.9	72	5.4	45	8.8	61	3.6	23	11	3.0	43	5.8
Pb	310	460	450	920	330	440	330	420	210	370	550	69	2700	300
As	3.2	12.3	2.3	8.5	2.8	5.8	3.0	7.9	2.3	3.8	6.2	1.6	9	2.6
Se	0.03	0.21	0.01	0.17	0.08	0.09	0.03	0.12	0.09	0.11	0.17	0.01	0.92	0.08
Hg	0.001	0.003	0.001	0.19	0.002	0	0	0.003	0	0	0.001	0	0.36	0.24

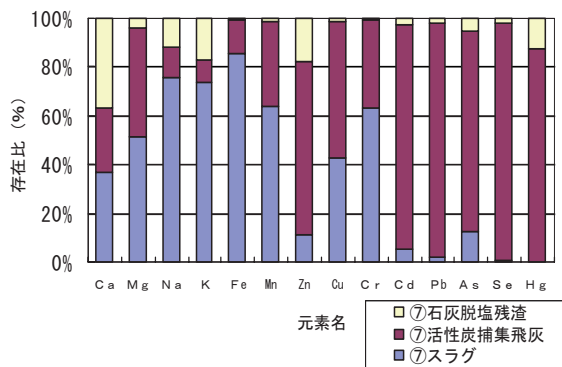


図6 流動床式ガス化溶融炉の焼却灰中の金属類存在比

(4) 焼却灰中の塩化物イオンはストーカ炉では飛灰が約90%を占めた。処理水を冷却水に再利用している施設⑤では、主灰の塩分存在比が高くなり、飛灰の占める割合は50%弱であった。また、流動床炉では塩化物イオンは殆どがガス化するため、飛灰にほぼ100%存在した。流動床式ガス化溶融炉の2段バグフィルターでは、塩化物イオンは前段の活性炭捕集飛灰に57%、後段の石灰捕集飛灰（脱塩残渣）に43%の割合で捕集された。

- (5) 溶出試験では、ナトリウム、カリウム、亜鉛、鉛、マンガン、六価クロム、カルシウム、鉄、銅の9元素が溶出した。銅については、ガス化溶融炉を除き、いずれの施設も主灰の溶出の方が多かった。
- (6) 金属類含有量試験では、殆どの元素は主灰に比較し、飛灰の方が高かったが、鉄、マンガン、銅は主灰に多く含有した。放流水を焼却炉に再利用する施設では浸出水の水処理工程で除去されないナトリウム、カリウムは塩化物イオンと同様に主灰に多量に含有した。ガス化溶融炉では、活性炭捕集飛灰に殆どの有害金属が捕集された。

最後に本調査の実施に当たり、試料を提供して頂いた各施設の皆様とご協力を頂いた関係保健所の皆様に感謝の意を表します。

参考文献

1) 花嶋等：廃棄物処理プロセスより発生する副生塩再利用の研究、第26回全国都市清掃研究・事例発表講演論文集、p.118 (2005)