

都市ごみ等に含まれる金属資源の挙動に関する研究(3) 希少金属等の溶融処理生成物間の分配要因について

辰市 祐久*・茂木 敏**・飯野 成憲・井上 宏***

(*臨時研究員 **東京都環境局廃棄物対策部 ***東京二十三区清掃一部事務組合)

【要約】都市ごみの焼却処理で焼却灰及び焼却飛灰が生成し、さらに焼却灰を溶融処理することで灰溶融スラグ、溶融メタル及び溶融飛灰が生成する。金属元素は各溶融生成物に分配されるが、溶融条件で分配の比率が異なる金属があった。炉の酸化還元雰囲気、溶融飛灰中の塩素濃度、焼却灰の $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{FeO}$ 状態図から推定した溶融温度の3要因について統計的に検討した結果、金属の分配比率は強く影響する要因が金属により異なっていた。

【目的】

都市ごみ等は清掃工場で焼却処理され焼却灰となり、さらに溶融処理によって溶融スラグ、溶融メタル及び溶融飛灰となる。希少金属が溶融処理の過程で生成する溶融飛灰、溶融スラグ、溶融メタルにどのような比率で分配されるかを調査し、その要因を解析した。

【方法】

都市ごみの可燃物に含有される希少金属等の調査は、表1の焼却炉と溶融炉を併設する9施設について行い、各施設から焼却灰、焼却飛灰、溶融スラグ、溶融メタル、溶融飛灰を分析用試料として採取した。分析用試料は乾燥後、粒子が細かい焼却飛灰や溶融飛灰はその形状のまま、粒子が粗い焼却灰、溶融スラグはボール式粉砕機、溶融メタルについては高速振動試料粉砕機で微粉砕した。これらの固形試料中の金属元素を分析するためのエネルギー分散型蛍光X線分析(EDX)による分析は、ファンダメンタルパラメータ法で行い、ICP-MSによる分析は、廃棄物資源循環学会が提示する「製品中のレアメタル等の暫定分析方法」により試料を酸に溶解して行った。

【結果の概要】

(1) EDXによる測定結果

9施設中3施設の測定結果を図1~3に示した。焼却灰の元素は、各清掃施設ともカルシウム、ケイ素、アルミニウム、鉄が多く、主としてこれらの酸化物として存在していると推測される。焼却飛灰の主な元素はカルシウム、塩素、カリウム、ケイ素であり、酸化物または塩化物として存在していると考えられる。溶融スラグに含まれる元素はカルシウム、ケイ素、アルミニウム、鉄が主で、焼却灰と似た構成比率からなっていた。溶融メタルに含まれる金属は鉄と銅が主要な元素であった。溶融飛灰に含まれる元素は焼却飛灰と同様な元素と亜鉛を含んでいることが多かった。

(2) 主な金属類の清掃施設別溶融分配比率

各施設の灰溶融スラグ、溶融メタル、溶融飛灰中の金属類の濃度と年間生成トン数から、金属別のトン数を計算し、金属類別の3項目の分配比率を図4~図9に示した。アルミ、チタン、マンガン、ガリウム、ストロンチウム、イットリウム、ジルコニウム、バリウム、ネオジム、タングステンについてはほとんどが溶融スラグに分配され亜鉛、カドミウム、鉛についてはほとんどが溶融飛灰に分配されていた。その他の成分では溶融炉の条件によって分配の状況が異なっていた。

(3) 金属類の分配要因

金属類の沸点は一般に金属や金属酸化物では高く、塩化物では低いいため、溶融飛灰への分配は塩化物で多くなり、その傾向は炉温が高いほど多くなると考えられた。溶融炉の分配の状況が異なった金属元素を対象に、焼却灰の $\text{CaO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3\cdot\text{SiO}_2\cdot\text{FeO}$ 状態図から推定した溶融温度、溶融飛灰中の塩素量、溶融炉の酸化還元の雰囲気(0:還元, 1:酸化)の3項目と、図4~9に示す溶融飛灰及び溶融メタル中の各金属の分配比率について、表2に示す数値を使って相関分析と回帰分析を行った(表は銅の溶融飛灰一例)。回帰式による要因分析の結果は表3に示すとおりである。分配比率に強く影響しているものが有意水準10%のt値で1.8以上とした場合、溶融飛灰の銅は酸化還元雰囲気、溶融メタルの銅は塩素量、溶融メタルのニッケルは塩素量、溶融メタル中のモリブデンは溶融温度、溶融メタル中のズは酸化還元雰囲気の影響が大きかった。また、t値の±から、溶融メタルへの分配比率は溶融温度が低く、塩素量が大きく、炉雰囲気が酸化の場合に高くなる傾向を示した。

表1 調査した各清掃施設の概要

	焼却方式	焼却能力(t/d)	灰溶融方式	溶融能力(t/d)
A清掃施設	火格子炉	600	アーク式	180
B清掃施設	回転ストーカ式	300	回転式表面溶	30
C清掃施設	ガス化溶融炉	360	プラズマ式	120
D清掃施設	火格子炉	450	アーク式	50
E清掃施設	火格子炉	600	表面溶融式	180
F清掃施設	火格子炉	500	プラズマ式	110
G清掃施設	火格子炉	700	プラズマ式	130
H清掃施設	火格子炉	130	回転式表面溶	50
I溶融施設			プラズマ式	400

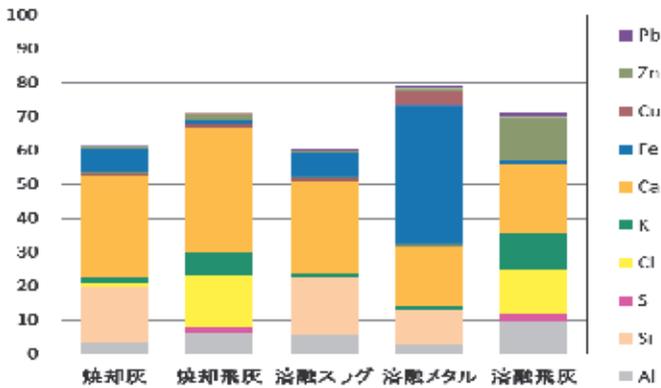


図1 A清掃施設分析結果

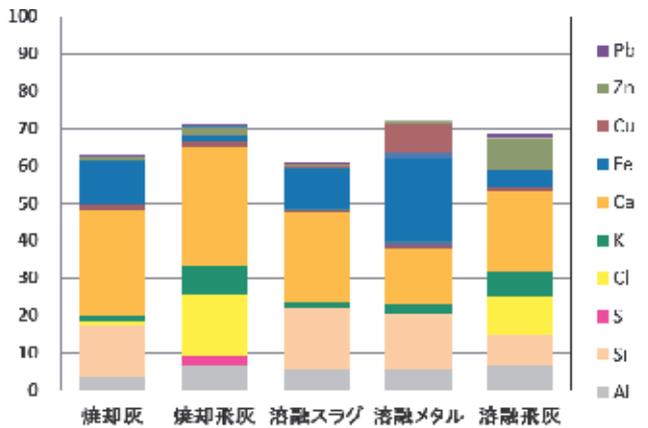


図2 B清掃施設分析結果(1回目)

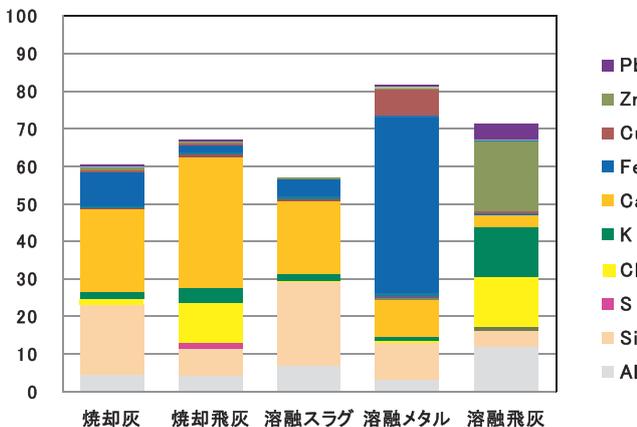


図3 D清掃施設分析結果(1回目)

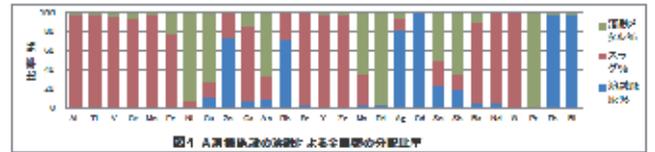


図4 A清掃施設の種類による元素の分布比率

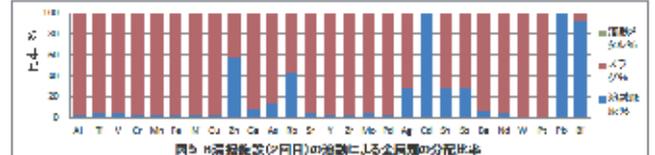


図5 B清掃施設(2回目)の種類による元素の分布比率

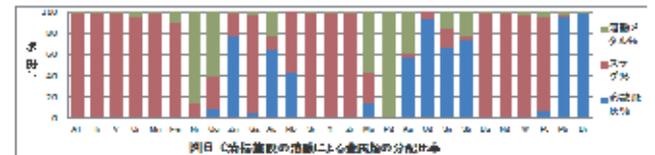


図6 C清掃施設の種類による元素の分布比率

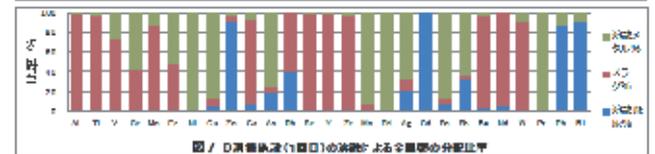


図7 D清掃施設の種類による元素の分布比率

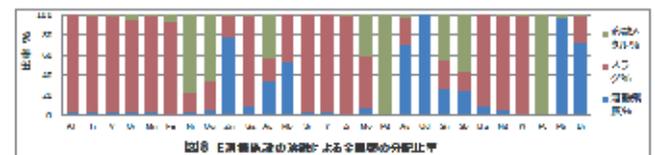


図8 E清掃施設の種類による元素の分布比率

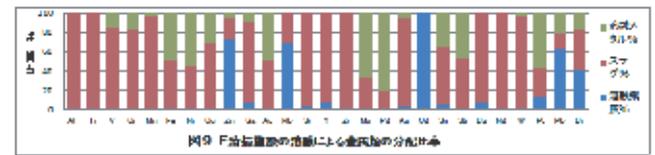


図9 F清掃施設の種類による元素の分布比率

表2 各清掃施設の溶融温度等(銅の例)

清掃施設	焼却灰予測 溶融温度℃	溶融飛灰塩 素濃度%	酸化還元雰 囲気	溶融飛灰中 金属%
A	1400	13.4	0	9.88
B1	1400	10.2	1	5.16
B2	1360	10.8	1	2.66
C	1350	11.6	0	7.76
D1	1370	13.4	1	4.43
D2	1350	10.6	1	2.61
E	1900	12.8	1	5.42
F	1350	6.3	0	0.63
G	1320	8.9	1	3.61
H	1430	10.2	1	0.87
I1	1500	5.4	0	8.23
I2	1850	9.6	0	20.66

表3 各金属元素の回帰分析による要因と重相関

金属種類		回帰分析 t			重相関 R	補正 R ²
		焼却灰予測溶融温度	溶融飛灰塩素濃度	酸化還元雰囲気		
Cu	溶融飛灰	2.39	0.91	-2.51	0.72	0.22
	溶融メタル	-4.11	5.85	3.56	0.97	0.91
Ni	溶融メタル	-3.16	4.85	1.77	0.95	0.84
	溶融飛灰	0.77	0.40	0.05	0.32	-0.24
As	溶融飛灰	1.37	-0.02	-0.64	0.50	-0.03
	溶融メタル	-1.75	1.64	1.25	0.81	0.44
Mo	溶融飛灰	1.37	-0.02	-0.64	0.50	-0.03
	溶融メタル	-4.04	1.96	2.09	0.92	0.76
Sb	溶融飛灰	0.85	-0.19	-1.26	0.53	0.01
	溶融メタル	-1.50	1.54	1.71	0.82	0.48
Sn	溶融飛灰	0.73	-0.42	-1.16	0.52	-0.01
	溶融メタル	-1.65	1.70	2.17	0.86	0.59
Ag	溶融メタル	-1.73	0.36	1.48	0.74	0.28
	溶融メタル	-1.26	0.51	1.40	0.70	0.18
V	溶融メタル	-1.27	0.28	1.08	0.63	0.04