

VII-221

都市ごみ処理残渣中金属分布に関する調査研究

北海道大学大学院工学研究科 正会員 関戸 知雄 正会員 田中信壽
正会員 松藤敏彦 金曾衣子

1 目的

これまでに全世界における金属生産量はここ数年で急激に増加していると言われており、可採可能な年数が30年を切り、枯渇の懸念が現実となっている金属もある。こうした背景から、廃棄物からの金属回収が検討されているが、現在では一般廃棄物からの金属回収は主に鉄やアルミが中心であり、その他の金属については、その多くが埋立処分されている。本研究では、廃棄物処理残渣から様々な金属回収を効率的に行うための基礎的情報を得るために、都市ごみ焼却灰と、都市ごみ破碎選別施設から発生する埋立残渣（破碎不燃残渣）の比重選別後の沈殿物中金属含有分布について、SEM-EDX（エネルギー分散型X線分光器付走査型電子顕微鏡）を用いた粒子レベルでの調査を行った。

2 試料採取施設および試料の調整

試料を採取した施設を表1に示す。S焼却施設からは焼却残渣を'98/4/23に、H施設からは家庭系不燃性粗大ごみを処理した時の破碎不燃残渣を'98/11/23にそれぞれ採取した。前者の試料をS、後者の試料をHとした。各試料とも、試料採取後乾燥し、手ふるいによりふるい分けを行った。用いたふるいは、0.5mm、0.25mm、0.125mmである。なお、今回実験に用いた試料は0.5～0.25mm、0.25～0.125mm、0.125mm以下の三種類の試料である。

3 調査目的方法

3.1 重液を用いた比重選別方法

各試料中から効率的に重金属を含有した粒子を抽出するために、テトラブromoエタン（TBE）を用いて比重選別を行った。TBEは密度2.963g/cm³、蒸気圧0.1mmHg（20℃）の有機溶媒で、蒸気圧が低いという利点がある。選別は1L分液ロートを用いて行った。試料約20gと約500mL TBEを分液ロートに入れ、入れ、沈殿物と浮上物の層に分かれた後に、ロート下部コックから沈殿物を回収した。回収物はエタノールで洗浄し、一晚乾燥させて測定試料とした。

3.2 酸分解による金属含有量測定方法

測定は各試料の0.125～0.25mmの粒径の比重選別前の試料と、比重選別を行った後の沈殿物について行った。酸分解は硝酸1＋塩酸1の混酸で行った。測定元素はFe、Cu、Pb、Zn、Mn、Al、Na、K、Ca、Mgとした。濃度の測定は、アルカリ金属およびZnはフレイム原子吸光光度計、その他重金属はフレイムレス原子吸光光度計（北大環境工学科環境微量動態総合解析装置）で行った。

3.3 SEM-EDXによる粒子ごとの金属含有量測定

測定は比重選別を行った後の沈殿物からそれぞれ100粒ずつを選び、それぞれの粒子についてSEM-EDX（Kevex SIGMA3 attached Hitachi S-3200N）を用いて定量分析を行った。加速電圧は20kV、解析時間は100sで行った。

4 調査結果

4.1 比重選別重金属含有量分布測定結果

表2に比重選別前の試料と選別により沈んだ回収物中の酸分解による金属含有濃度を示す。重量比では、比重選別による回収物の割合がSは9.2%、Hは3.1%と少ないが、回収物への金属移行率でみると、SではCu、Mn、Feが、HではCu、Fe、Mn、Pbの移行率が高く、重液選別によって沈殿物に濃縮されたことがわかる。

4.2 金属化合物形態による粒子分類

表3にSEM-EDX測定結果による粒子ごとの金属含有形態分類を示す。ここでは、粒子一つの定量を行い、そ

表1 調査対象施設

施設名	主な処理対象ごみ	設備	搬出物
S焼却施設	家庭系可燃ごみ 家庭系粗大ごみ処理残渣	ストーカー式 (300t/24h×2)	○焼却灰 飛灰
H破碎施設	家庭系不燃性粗大ごみ	回転式破碎機 (100t/5H) 振動ふるい 磁選機	○不燃残渣 可燃残渣 鉄

○：採取試料

表2 全体試料および比重選別回収物中金属濃度

	S(焼却灰)			H(破碎不燃残渣)		
	全体含 有濃度	重液回 収物中	移行率	全体含 有濃度	重液回 収物中	移行率
Al	13.41	3.45	2.35	0.8	0.79	3.11
Cu	0.2	2.1	98.19	0.2	5.06	78.46
Mn	0.1	0.95	87.4	0.15	1.85	37.7
Fe	4.89	18.16	34.0	2.97	39.62	41.72
Pb	0.29	0.2	6.18	0.41	5.69	43.86
Zn	0.26	0.28	9.9	0.97	0.38	4.03
Na	1.04	0.41	3.64	0.3	0.04	1.09
K	0.61	0.23	3.4	0.12	0.38	4.28
Ca	0.94	0.71	6.91	0.28	6.56	21.22
Mg	18.72	22.15	10.83	2.58	0.09	0.11

移行率＝沈殿物中濃度×沈殿物回収重量割合／全体含有濃度 単位[%]

キーワード：廃棄物処理残渣、金属回収、金属分布、SEM-EDX、比重選別

連絡先：〒060-8628 札幌市北区北13条西8丁目 Tel(011)706-7298 Fax(011)706-7297

の粒子中の濃度（モル濃度）の高い順に元素を並べたときに、80%を越える元素の組み合わせを選んだ。なお、粒子が化合物の組み合わせが5個以上の粒子は省いた。いずれの金属も金属単体で存在する物は少なく、酸化物、あるいは他の金属との化合物となっている。Sでは、Caを含む粒子が多いことがわかる。これは元々焼却灰中にCaが多く含まれているため、およびCaの化合物がT B Eの比重に近い（ex. CaCO_3 :2.71, CaSiO_3 :2.92, $\text{Ca}(\text{AlO}_2)_2$:3.67）であると思われる。また、HではZnやPbを含む粒子が酸化物や他の金属との合金の状態で検出された。しかし、粒径により検出粒子数に違いが見られるため、測定粒子数を増やすなど、検討が必要であると思われる。

4.3 金属含有分布特性

表4に1粒子中に50%以上の濃度（重量濃度）で各金属を含む粒子数割合を示す。Sは重量濃度に換算すると一つの粒子中に高濃度に存在

しているのはFeのみであることがわかる。それに対してHはFe、Cu、Zn、Pbの金属を高濃度に含有している粒子が存在している。

表5に各試料中の金属の分布特性をA～Dの4つに分類して示す。分類方法は、Aは高濃度粒子（その金属の含有濃度が50%以上）が存在し、かつ全体の70%以上の粒子がその金属を含んでいる、Bは高濃度粒子が存在し、かつ全体の70%以下しかその金属を含んでいない、Cは高濃度粒子が存在せず、かつ全体の70%以上の粒子がその金属を含んでいる、Dは高濃度粒子が存在せず、かつ全体の70%以下しかその金属を含んでいないとした。分類したうちの典型的な金属含有率別粒子数分布例を図1に示す。ここで、「検出せず」とは、EDXによる検出限界(0.01%)以下の粒子数%のことである。Sに含まれるAl、Fe、Cuや、Hに含まれるAl、Fe、Cu、Ti、Zn、Pbは高濃度粒子の状態での回収が期待できることがわかる。

5 まとめ

効率よく金属を都市ごみ残渣から回収する方法を検討するために、SEM-EDXを用いた粒子ごとの金属含有分布特性を調べた。Sは焼却処理を受けているために、溶解・混合し、他の金属と固結する事で金属が薄く広く分布してしまう傾向が生じたと思われる。また、Hは破碎処理のみを受けた残渣であるため、比較的金属を高濃度に含む粒子が多く存在しているのだと思われる。今後はさらに大きい粒径や、処理対象ごみによる変動などを調査する必要がある。

表3 金属化合物形態による粒子分類

S				H				
化合物元素	a	b	c	化合物元素	a	b	c	
Al ₂ Ca ₂ Fe ₂ O ₇		3	2	Al ₂ O ₃		3		
Al ₂ Ca ₂ O ₇		23		Al ₂ Na ₂ O ₇		6		
Al ₂ Ca ₂ O ₂ Si ₂		9		Al ₂ O ₃	4	22		
Al ₂ Fe ₂ O ₇			9	Al ₂ O ₃ Si ₂		13		
Al ₂ Fe ₂ O ₂ Si ₂			5	Al ₂ O ₃ Zn ₂	3			
Al ₂ O ₃ Si ₂		13	2	Fe ₂ O ₃	5		4	
Fe ₂ Ca ₂ O ₇	4	4	4	Fe ₂ Mg ₂ O ₇	3			
Ca ₂ O ₃	7	12	1	Fe ₂ O ₃	24	12	84	
Ca ₂ O ₂ Si ₂	4	13	3	Fe ₂ O ₃ Si ₂	3			
Fe ₂ O ₃	4			Fe ₂ O ₃ Zn ₂	3			
Fe ₂ O ₂	42	5	45	Zn ₂ O ₃	9			
Fe ₂ O ₂ Si ₂	5			Zn ₂ O ₂ Na ₂	7			
a : 0.5-0.25mm				Pb ₂ Si ₂ O ₇				7
b : 0.25-0.125mm				Na ₂ O				9
c : 0.125mm以下 [粒数%]				Si ₂ O ₃				3

表4 50%以上の濃度で金属を含む粒子数割合

金属	S			H		
	a	b	c	a	b	c
Fe	35	2	57	42	46	57
Cu	2		1	1	4	1
Pb				9	4	1
Zn				21	18	
Mn					1	
Al	1		2	1	1	
Ti				2	2	1

a: 0.5-0.25mm b: 0.25-0.125mm
c: 0.125mm以下 単位[粒数%]

表5 金属の分布特性分類

	S			H		
	a	b	c	a	b	c
Al	A	C	A	C	A	A
Fe	A	A	A	A	A	A
Cu	B	D	B	B	B	B
Ti	D	D	D	B	B	B
Zn	D	D	D	C	A	A
Mn	D	D	D	D	B	D
Pb	D	D	D	B	B	B

a: 0.5-0.25mm b: 0.25-0.125mm
c: 0.125mm以下

A: 高濃度粒子が多数存在

B: 高濃度粒子が少数存在

C: 低濃度粒子が多数存在

D: あまり含有されていない

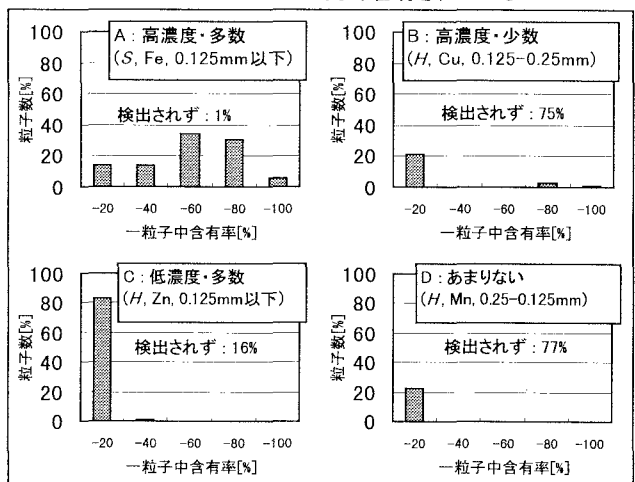


図1 金属の分布特性分類例