

# 粉碎処理による一般廃棄物焼却灰中の重金属類の分離

【リサイクルチーム】

佐々木惣一郎、有田雅一、門木秀幸

## 要旨

ストーカ式の一般廃棄物焼却施設から排出される落じん灰は、Cu、Zn、Pb 等の有用・有害な重金属を含有する。本研究では、これらの金属元素が、粉碎されにくい金属状態で存在すると仮定し、物理的な衝撃を与え、粒径ごとに選別することで、重金属類の分離・濃縮を検討した。落じん灰及び焼却灰をボールミルを用いて粉碎し、粒径ごとに篩い分けを行ったところ、落じん灰中の金属元素 Cu、Pb、Zn は、粉碎・選別処理により、粉碎困難物として粒径の大きい分画に選択的に分離可能であることが示された。一方で、焼却灰においては、これらの金属も粉碎によって微細化し、分離することができなかった。

## 1 はじめに

日本国内における年間の一般廃棄物焼却量は約 3481 万 t であり、その焼却残渣年間約 316 万 t が最終処分されている<sup>1)</sup>。全体の最終処分量は、417 万 t であり、焼却残渣はその大半を占めている。鳥取県内でも、年間約 15 万 t の一般廃棄物が焼却処分され、11 千 t の焼却残渣が最終処分されている。焼却残渣の資源化を進めることができれば、一般廃棄物の再資源化率の向上、廃棄物の減容による最終処分場の延命化に大きく寄与することができる。焼却残渣の再資源化方法としては、灰溶融処理が行われている。灰溶融処理では、スラグ、メタル分離により焼却残渣中の金属を回収するとともに、有害な重金属の除去による無害化が可能である。灰溶融処理は焼却残渣等の減容化及びスラグ、メタル分離による金属回収が可能であり、焼却灰の無害化及び資源化技術として普及が図られてきた。しかし近年は、地球温暖化対策として CO<sub>2</sub> 排出量削減の必要性や維持管理経費が高いこと等の問題が指摘されている。

一方、ストーカ式の一般廃棄物焼却炉から排出される落じん灰は、Cu、Zn、Pb を多く含むことが報告されている<sup>2)</sup>。本研究では、落じん灰等中の重金属元素が金属状態で存在していれば、粉碎が困難な

め、分離が可能と考え、物理的に粉碎することによる重金属元素の分離・濃縮を検討した。併せて、落じん灰を分離した焼却灰についても同様に検討した。

## 2 実験方法

### 2.1 試料

一般廃棄物焼却施設から採取した焼却灰、落じん灰を目開き 2mm のふるいでふるい分け、ふるい下を試料とし、風乾及び乾燥 (105°C、3 時間) を行った。

### 2.2 粉碎・粒径選別

#### 2.2.1 落じん灰

アルミナ製ミル (容量 1 L) に  $\phi$ 20mm のアルミナ製ボールを 60 個入れ、試料を 150g 入れた。ボールミルを回転架台に置き粉碎を行った。粉碎時間は 0 時間、1 時間、2 時間とした。

粉碎した試料を取り出し、まず、目開きが 1mm のふるいでふるい分けを行った。ふるい下を目開き 500 $\mu$ m のふるいでふるい分けを行い、以後、同様に 250 $\mu$ m、125 $\mu$ m のふるいでふるい分けを行った。また 125 $\mu$ m のふるい下は、約 20g を分取し、さらに目開き 45 $\mu$ m、20 $\mu$ m ふるいで分画した。各分画の重量を計測した。(図 1)

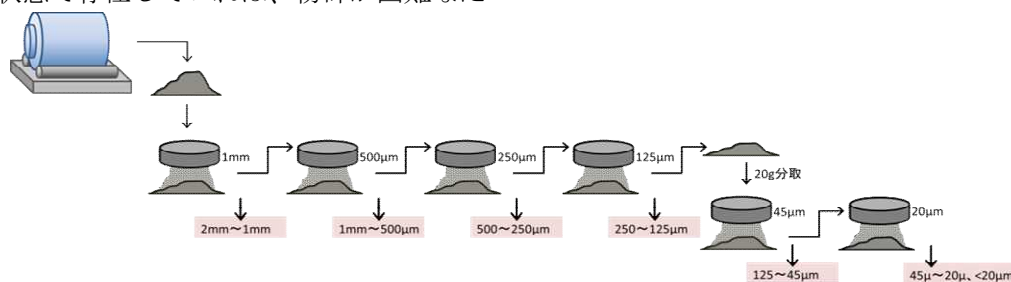


図 1 落じん灰、焼却灰の粒径選別

## 2.2.1 焼却灰

アルミナ製ミル（容量 1L）に φ20mm のアルミナ製ボールを 60 個入れ、試料を 150g 入れた。ボールミルを回転架台に置き粉碎を行った。粉碎時間は 0 時間、1 時間とした。

粉碎した試料を取り出し、まず、目開きが 1mm のふるいでふるい分けを行った。ふるい下を目開き 500μm のふるいでふるい分けを行い、以後、同様に 250μm、125μm のふるいでふるい分けを行った。また 125μm のふるい下は、約 20g を分取し、さらに目開き 45μm、20μm ふるいで分画した。各分画の重量を計測した。（図 1）

## 2.3 元素含有量の分析

各分画の試料を、王水で加熱分解した。Cu、Fe、Zn、Ni、Mn は ICP 発光分光分析装置により、Pb は ICP 質量分析装置により分析した。落じん灰等中の金属元素の含有率は式(1)により求めた。

$$C_{\text{Total}} = \sum (C_i \times m_i) / \sum m_i \quad (1)$$

ここで、

$C_{\text{Total}}$  落じん灰中の金属元素 M の含有率 (mg/kg)

$C_i$  : 分画 i 中の金属元素 M の含有率 (mg/kg)

$m_i$  : 分画 i の重量 (kg)

## 3. 結果及び考察

### 3.1 落じん灰及び焼却灰中の金属含有率

表 1 に式(1)により求めた落じん灰中の金属含有率を示す。粉碎を行うことにより Cu、Ni、Pb は、含有率の分析値が高くなった。これは、落じん灰を粉碎することにより王水により抽出される成分が多くなっているためと考えられる。

表 1 落じん灰中の金属元素の含有率の分析結果

粉碎時間(時間)	Cu	Fe	Zn	Ni	Mn	Pb	/mg・kg <sup>-1</sup>
0	9400	72000	22000	240	4400	3300	
1	13000	66000	26000	470	4900	3000	
2	21000	71000	26000	610	4800	4800	

表 2 焼却灰中の金属元素の含有率の分析結果

粉碎時間 (時間)	Cu	Fe	Zn	Ni	Mn	Pb	/mg・kg <sup>-1</sup>
0	1700	29000	3400	85	1000	220	
1	2300	31000	3500	130	1100	320	

一方、Fe、Zn、Mn については、粉碎を行わない試料と粉碎した試料とでは含有率の分析値に大きな差はなかった。

表 2 に式(1)により求めた焼却灰中の金属含有率を示す。落じん灰と同様に、粉碎により Cu、Ni、Pb の含有率の分析値が高くなった。これは、焼却灰を粉碎することにより王水による抽出される成分が多くなっているためと考えられる。一方、Fe、Zn、Mn については、粉碎を行わない試料と粉碎した試料とでは含有率の分析値に大きな差はなく、王水により抽出されやすい形態で灰に含有していると考えられた。

### 3.2 落じん灰

図 2 に落じん灰をボールミルで粉碎し分級した試料の各分画の重量割合を示す。

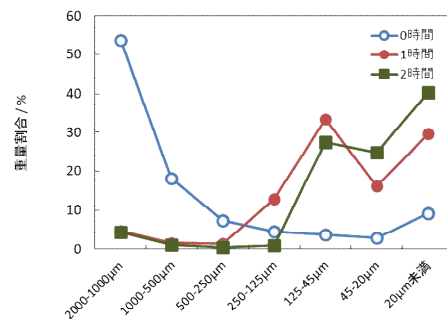


図 2 落じん灰粉碎試験における各分画の重量割合

未粉碎の試料（0 時間）では、1000～2000 μm の分画が約 54%、500～1000 μm が 18%であった。1 時間粉碎した結果、125 μm 未満の割合が 79%、2 時間の粉碎により、125 μm 未満の割合が 93%となった。

図3に落じん灰をボールミルで粉砕し分級した試料について、各分画中の元素含有率の結果を示す。Cuについては、ボールミルの粉砕により1000~2000 $\mu\text{m}$ 、1000~500 $\mu\text{m}$ 、500~250 $\mu\text{m}$ 、250~125 $\mu\text{m}$ の分画中の含有率が粉砕により上昇した。Cuはボー

ルミルにより粉砕が困難な形態（主に金属態としての存在が推定される）として含有しているために粉砕処理により分離濃縮された。同様に、Zn、Pb、Niについても、粉砕により125 $\mu\text{m}$ より大きい分画の含有率が増加した。

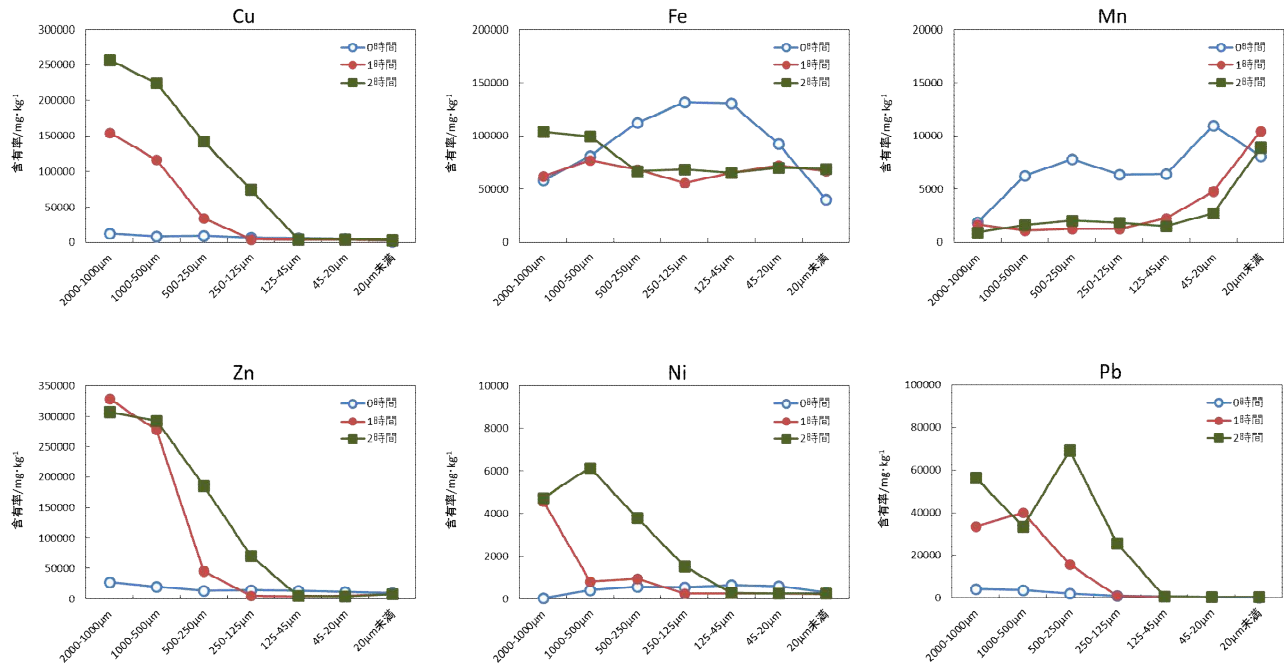


図3 落じん灰の粉砕試験における各分画の金属含有率

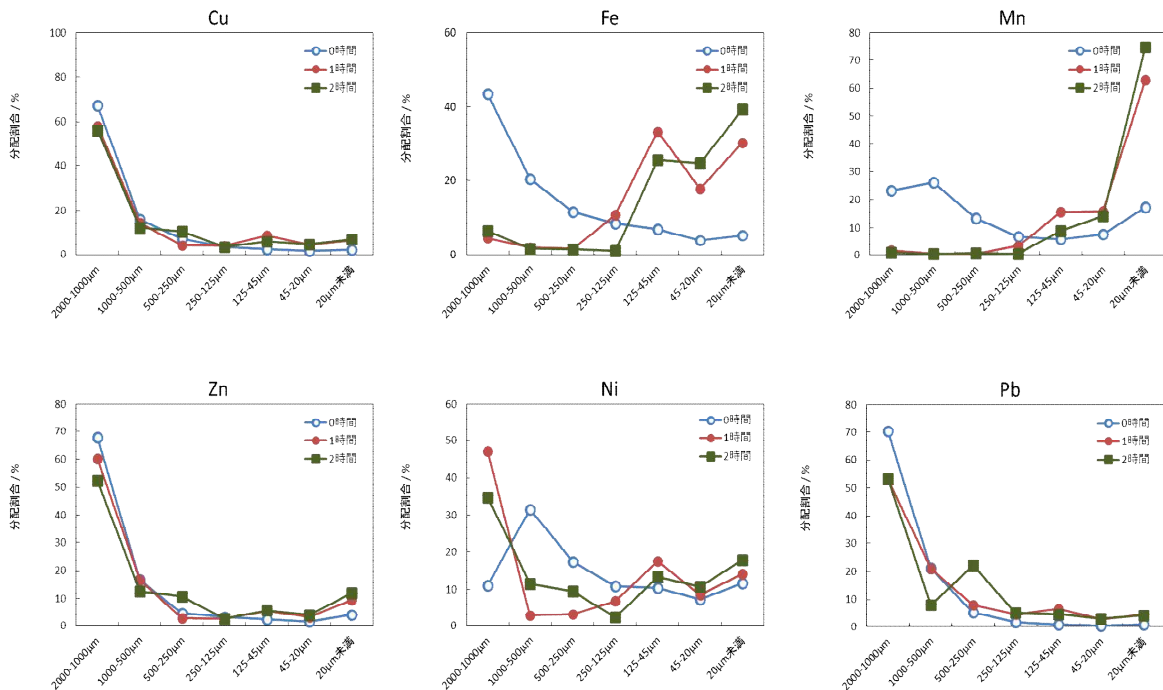


図4 落じん灰の粉砕試験における各分画の金属分配割合

図4に全体の落じん灰に含まれる金属元素量に対する各分画中の金属元素の分配割合を示す。Cu、Zn、Pb、Niは粉砕を行っても各元素の分配はほとんど変化せず、粒径の大きい分画に選択的に残留した。一方、Mnは125 $\mu\text{m}$ より大きい分画の分配割合は減少し、粉砕により微細化されることが確認された。Feについては、Mnの20 $\mu\text{m}$ 未満ほどではないものの、分配が変化していることが確認された。

2時間粉砕を行った落じん灰について、粒径125 $\mu\text{m}$ 未満の区分と分画前の落じん灰全体における金属含有率の比較を表3に示す。粉砕・粒径による選別を行うことで、全重量の約93%の125 $\mu\text{m}$ 未満の分画を得た。この分画中のPb含有率は粒径選別前の試料の約1/8まで低減された。粉砕物の外観を図5に示す。粒径1-2mmの分画には、金属製品の形状が残ったものが見られた。

表3 粉砕・粒径選別処理による金属含有率の変化

	Mn	Fe	Ni	Cu	Zn	Pb
含有率 $C_{\text{Total}}$ <sup>1)</sup>	4800	71000	610	21000	26000	4800
<125 $\mu\text{m}$ <sup>2)</sup>	5300	71000	260	3900	6300	590

- 1) 2時間粉砕した試料の各分画の金属含有量を加算して、元の試料の含有率を算出  
 2) 2時間粉砕した試料について目開き125 $\mu\text{m}$ ふるいのふるい下の分析結果

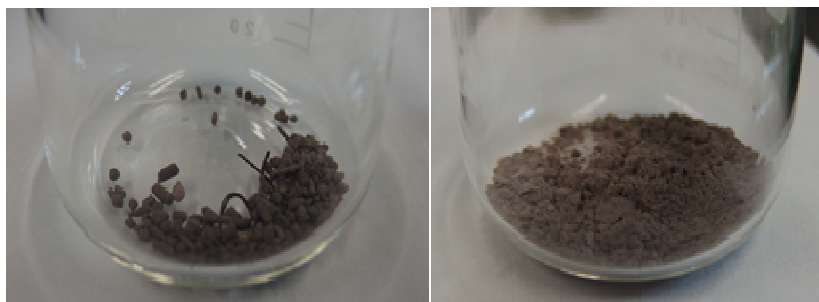


図5 落じん灰の粉砕試験における粉砕物の外観

左図：粉砕時間2時間、粒径1-2mm、右図：粉砕時間2時間、粒径125 $\mu\text{m}$ 未満

### 3.3 焼却灰

図6に焼却灰をボールミルで粉砕し分級した試料の各分画の重量割合を示す。

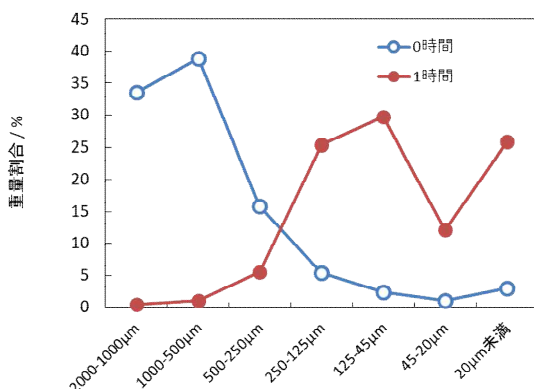


図6 焼却灰の粉砕試験における各分画の重量割合

未粉砕の試料(0時間)では、1000~2000 $\mu\text{m}$ の分画が約34%、500~1000 $\mu\text{m}$ が39%であった。1時間粉砕した結果、125 $\mu\text{m}$ 未満の割合が68%となった。

図7に焼却灰をボールミルで粉砕し分級した試料について、各分画中の元素含有率の結果を示す。Cuについては、1000~2000 $\mu\text{m}$ 、1000~500 $\mu\text{m}$ 、500~250 $\mu\text{m}$ 、250~125 $\mu\text{m}$ の分画中の含有率が粉砕により上昇した。ボールミルにより粉砕が困難な形態(主に金属態と推定)として含有している成分が存在するために粉砕処理により分離濃縮された。同様に、Zn、Pb、Niについても、粉砕により125 $\mu\text{m}$ より大きい分画の含有率が増加した。

図8に全体の焼却灰に含まれる金属元素量に対する各分画中の金属元素の分配割合を示す。いずれの金属元素も粉砕処理により125 $\mu\text{m}$ より大きい分画の分配割合は増加し、ほとんどの成分が微細化され

ることが確認された。しかし、Cu、Pb、Zn については一部が粉砕困難物として残留した。特に Cu については、1mm 以上の割合が高く、約 52%が 125  $\mu\text{m}$  より大きい分画に分配した。

以上のことから、焼却灰については、Cu 等の金属元素の一部については、濃縮分離可能であるものの、落じん灰より粉砕が容易であり、本法が適用し辛いことが示された。

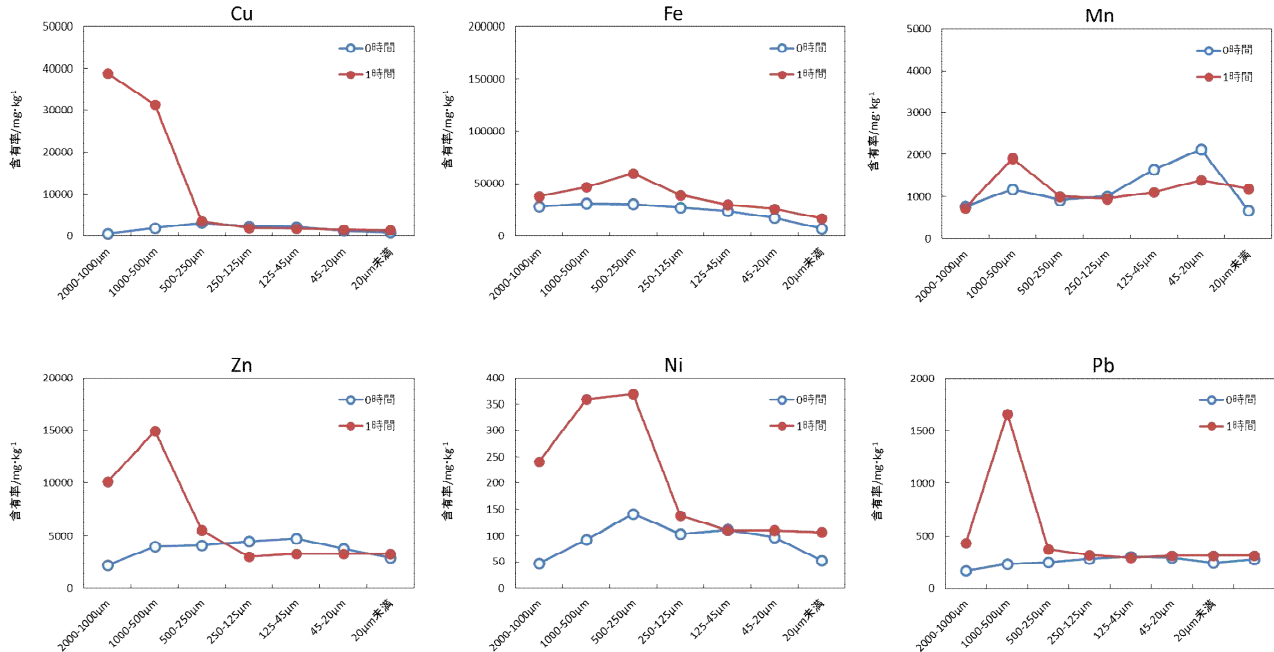


図7 焼却灰の粉砕試験における各分画の金属含有率

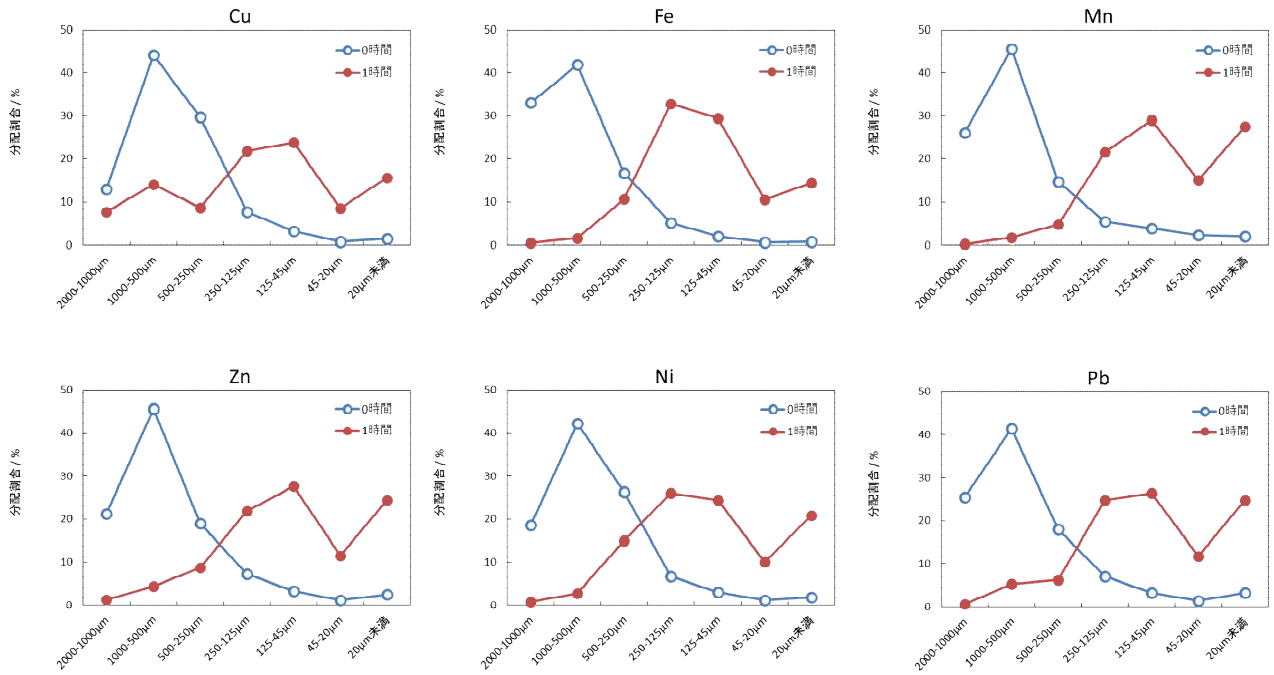


図8 焼却灰の粉砕試験における各分画の金属分配割合

## 4 まとめ

落じん灰中の金属元素 Cu、Pb、Zn は、粉碎・選別処理により、粉碎困難物として粒径の大きい分画に選択的に分離可能であることが示された。また、粉碎によってこれらの金属が濃縮する理由として、延展性を有する金属の形態をとって存在していることが考えられる。一方で、焼却灰中の Cu、Pb、Zn は、一部は粉碎困難物として除かれるが、ほとんどは粉碎され分離・濃縮することができなかった。これらの金属元素は、落じん灰中と焼却灰中では存在状態が異なるものと考えられる。落じん灰の分離と物理選別により、金属資源の再利用が期待される。

## 5 参考文献

- 1) 環境省：一般廃棄物処理事業実態調査結果, [http://www.env.go.jp/recycle/waste\\_tech/ippan/h27/index.html](http://www.env.go.jp/recycle/waste_tech/ippan/h27/index.html)
- 2) 山本浩, 横山隆, 大下和徹, 高岡昌輝, 武田信生: 廃棄物学会論文誌, Vol. 18, No. 5, 314-324 (2007)

## 6 謝辞

本研究は、環境研究総合推進費【3K143007】の一部として実施しています。研究協力者を含む関係者にお礼申し上げます。

## Separation of the heavy metal from MSWI residue ash by crush processing

Soichiro SASAKI , Hideyuki MONGI , Masakazu ARITA

### Abstract

The grate sifting deposition ash from stoker-type incineration contains useful or harmful heavy metals such as Cu, Zn and Pb. In this study, separation of heavy metals by physical crushing and sieving of MSWI ash were studied. As this result indicated that Cu, Zn and Pb in grate sifting deposition ash were concentrated into fractions of bigger grain-size by using ball mill crushing and particle size separation. On the other hand, these metal in bottom ash became fine particles by crush processing, and it was not able to separate them.