

金属回収及び塩類除去による都市ごみ焼却残渣の循環利用

飯野成憲・辰市祐久・宮脇健太郎*

(* 明星大学総合理工学科)

【要約】都市ごみ焼却残渣の循環利用の促進を目指し、分級した焼却炉底灰及び落じん灰の元素含有量、脱塩挙動を調査した。含有量試験の結果、Cl、Zn、Cr は焼却炉底灰ではほぼ全ての粒径でセメント受入基準を超え、小粒径側の Au、Ag、Pd、Cu、Zn、Pb、Bi では焼却炉底灰と比較して落じん灰の含有量が高かった。また、特定の粒径への分配率が高い元素は少なかった。脱塩試験の結果、塩素除去率は 30～50%程度であり、6 時間で塩素の溶出はほぼ完了することが示唆された。焼却炉底灰は、分級、水洗浄のみでは、有用金属の回収、脱塩は不十分なため、高度選別技術による金属濃縮や炭酸ガス等による脱塩の検討が必要である。

【目的】

都市ごみ焼却残渣の資源化の手段の 1 つとしてセメント原料化があるが、焼却残渣に含まれる Cl や、Pb、Cr 等の金属の多くはセメント原料としては忌避元素である。Cl は一般的に水洗により脱塩が行われるが、水に溶けにくい不溶性塩素が灰の冷却中に生成され、脱塩効率を下げる要因となっている。また、焼却炉底灰や、ストーカー式焼却炉の火格子下に落下する落じん灰には、Fe、Al、Cu、貴金属等の有用資源が含まれている。焼却残渣に分級等の簡易な物理選別を施し、特定の粒径の金属の回収や脱塩が容易になれば、金属資源の濃縮、脱塩処理量低減に伴うセメント原料化前処理コストの低減、ひいては最終処分量の削減につながる。そこで、焼却残渣の粒径の違いによる金属含有量、脱塩挙動を明らかにすることを試みた。

【方法】

(1) 粒径分布、元素含有量、元素分配率 ストーカー式焼却炉を有する都内 A 及び B 清掃工場から焼却残渣を採取した。A 工場では落じん灰、焼却炉底灰、及び焼却炉底灰を熔融炉に送るために乾燥された灰（以下、「乾燥炉底灰」という）、B 工場ではストーカーの乾燥帯、燃焼帯、後燃焼帯から採取した落じん灰、及び焼却炉底灰を採取した。各試料を乾燥後、釘や石等の破砕困難物を分離し、分級試料、及び分級をしない全体試料の元素含有量を測定した。また、粒径別の重量割合と元素含有量の積から粒径ごとの元素分配率を計算した。

(2) 塩素の脱塩挙動 粒径及び脱塩時間による塩素の脱塩挙動を把握するため、A 工場の焼却残渣の分級試料は粒径別に、全体試料は脱塩時間別にそれぞれ溶出（脱塩）試験¹⁾を行い、JIS の試験法²⁾に準じて脱塩前後の全塩素及び可溶性塩素を定量した。全塩素と可溶性塩素の含有量の差を不溶性塩素とした。

【結果の概要】

(1) 粒径分布、元素含有量、元素分配率 図 1 は A 及び B 工場焼却残渣の粒径分布である。落じん灰を比較すると、A 工場に比べ B 工場では大きい粒径の割合が多かった。A 工場に比べ、B 工場では焼却炉底灰と落じん灰の元素含有量の違いが大きかったことから、表 1、図 2 に B 工場の焼却炉底灰、落じん灰を代表し後燃焼帯落じん灰の元素含有量、元素分配率を示す。表 1 右端の受入基準は、セメント会社が焼却残渣を受け入れる際の基準³⁾であるが、絶対的な基準ではなく、より安全側で評価した場合の目安となる基準であると考えられる。

表 1 より、Cl、K₂O、Cu、Zn、Cr は焼却炉底灰ではほぼ全ての粒径で受入基準を超え、2.0mm 以下の小粒径側の Au、Ag、Pd、Pt、Cu、Zn、Pb、Cd、As、Sb、Bi、Sn は焼却炉底灰と比較して後燃焼帯落じん灰の含有量が高かった。図 2 より、焼却炉底灰において Cl、K₂O、SO₃、P₂O₅、TiO₂、Cd は、粒径分布と比べて 2.0mm 以下の小粒径側に比較的分配しやすい傾向が確認された。これらの元素以外では特定の粒径に分配する傾向は少ないことが分かった。

(2) 塩素の脱塩挙動 図 3、図 4 は、それぞれ粒径別の分級試料、脱塩時間別の全体試料について、脱塩前後の Cl 含有量を示している（いずれも A 工場乾燥炉底灰）。図 3 より、小粒径ほど塩素含有量が高く、脱塩による可溶性塩素の除去率は 40～70%程度、全塩素の除去率は 30～50%程度であった。図 4 より、脱塩時間別では 6 時間で塩素の溶出はほぼ完了していることが示唆された。なお、脱塩前から全塩素含有量が低かった 9.5mm 以上の乾燥炉底灰を除いたいずれの粒径、溶出時間においても、脱塩後に受入基準を下回することは困難であった。

(3) 今後の課題 落じん灰は有用金属含有量が高いため、焼却炉底灰との分離回収が望ましい。焼却炉底灰は分級、水洗浄のみでは、有用金属の回収は困難であり、また、Cl の脱塩率が低いことから、磁力選別、比重選別、渦電流選別等の物理選別による金属濃縮、炭酸ガス等による脱塩の検討が必要である。

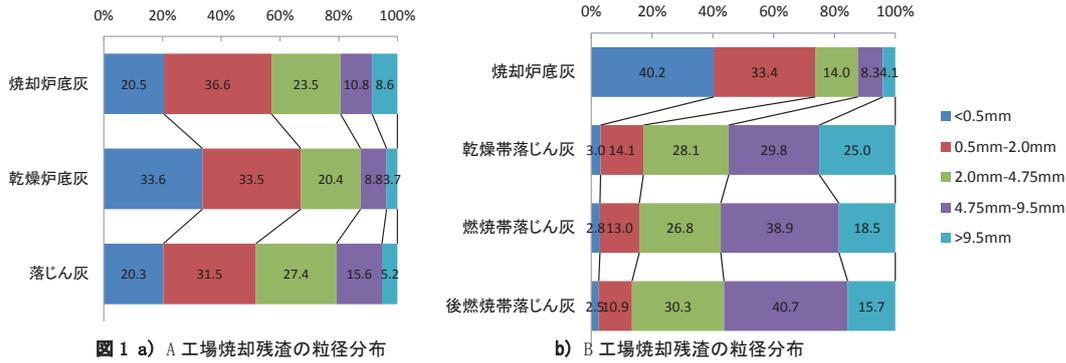


図1 a) A工場焼却残渣の粒径分布

b) B工場焼却残渣の粒径分布

- ・落じん灰はA工場よりB工場で大きな粒径の重量割合が多い。
- ・B工場の落じん灰は採取箇所による粒径分布の違いは少ない。

表1 焼却炉底灰および後燃焼帯落じん灰の元素含有量(B工場)

採取試料	焼却炉底灰				後燃焼帯落じん灰				単位: mg/kg	受入基準 ²⁾	
	<0.5	0.5-2.0	2.0-4.75	4.75-9.5	>9.5	<0.5	0.5-2.0	2.0-4.75			4.75-9.5
SiO ₂	160000	300000	450000	510000	560000	180000	390000	470000	580000	580000	-
Al ₂ O ₃	64000	68000	60000	53000	85000	40000	53000	51000	59000	83000	-
Fe ₂ O ₃	41000	66000	47000	21000	19000	61000	63000	44000	29000	39000	-
CaO	320000	210000	130000	91000	36000	320000	180000	120000	69000	42000	-
Cl	16000	10000	3800	1500	920	9600	4100	2200	210	0	1000
K ₂ O	18000	23000	22000	20000	28000	14000	19000	20000	20000	25000	20000
SO ₃	27000	15000	9500	950	0	17000	5000	4500	670	220	30000
P ₂ O ₅	30000	27000	17000	2200	0	12000	8700	10000	1700	0	50000
TiO ₂	18000	14000	8300	5300	4500	11000	12000	8700	11000	8500	20000
Pb	350	580	1500	420	330	7800	8500	5900	1500	110	1000
Cu	2200	5400	12000	4400	1400	16000	48000	21000	7600	1300	1300
Zn	4300	6800	12000	3300	2100	25000	71000	45000	52000	53000	1700
Cd	15	20	3.1	3.9	2.1	84	33	12	3.9	0.35	20
Cr	300	290	210	1700	81	420	150	160	180	390	170
As	1.4	4.3	2.6	17	3.8	22	7.3	110	41	4.8	-
Sb	180	140	180	68	43	2000	1600	470	480	52	-
Bi	4.8	2.5	2.4	59	1.6	150	43	7	24	6.8	-
Sn	280	270	380	87	35	5000	4900	1100	270	180	-
Pt	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	<0.8	0.83	1.8	<0.8	1.4	<0.8	-
Pd	0.93	0.49	0.097	0.1	<0.09	0.82	17	<0.09	<0.09	<0.09	-
Au	<6	<6	<6	<6	<6	57	29	<6	<6	<6	-
Ag	19	22	18	6.4	<2.0	240	820	18	36	3.9	-

※1 灰色網掛け部のデータ: 試料に定量下限値未満の値が含まれているため、平均値算出時に定量下限値を使用している。
 ※2 全ての試料が定量下限値未満であるデータは<定量下限値>と表示している。
 ※3 セメントの主要成分であるSi, Al, Fe, Ca, およびK, S, P, Tiについては、酸化物換算値としている。

- ・Cl、K₂O、Cu、Zn、Crはほぼ全ての粒径で受入基準を超えている。
- ・2.0mm以下の小粒径側のAu、Ag、Pd、Pt、Cu、Zn、Pb、Cd、As、Sb、Bi、Snは焼却炉底灰と比較して落じん灰の含有量が高い。

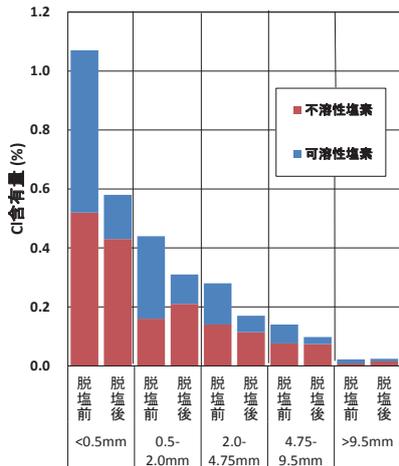


図3 分級試料の脱塩前後の塩素含有量 (A工場乾燥炉底灰)

- ・小粒径ほど塩素含有量が高い。
- ・粒径別の可溶性塩素の除去率は40~70%程度、全塩素の除去率は30~50%程度である。
- ・脱塩時間6時間で塩素の溶出はほぼ完了していることが示唆される。

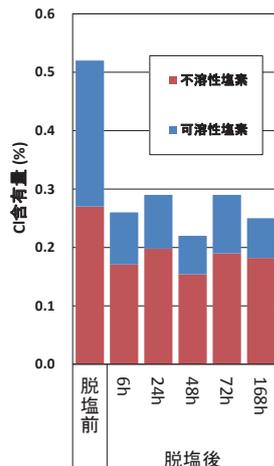


図4 全体試料の脱塩時間別の塩素含有量 (A工場乾燥炉底灰)

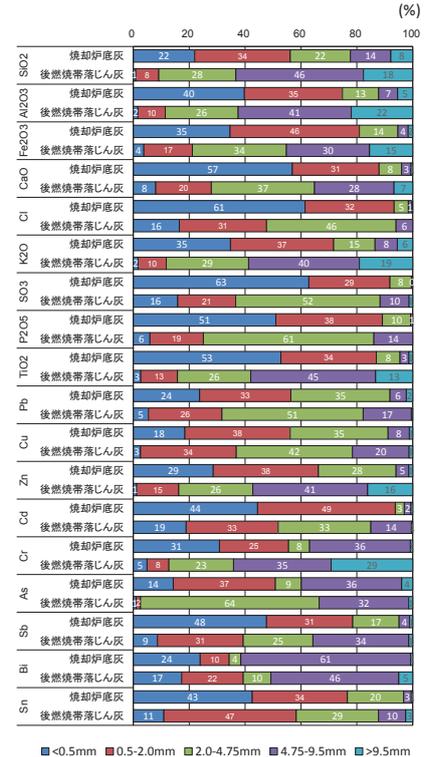


図2 焼却炉底灰及び後燃焼帯落じん灰の元素分配率(B工場)

- ・焼却炉底灰において、Cl、K₂O、SO₃、P₂O₅、TiO₂、Cdは、粒径分布と比べて2.0mm以下の小粒径側に比較的分配しやすい傾向がある。
- ・上記以外の元素では、特定の粒径に分配する傾向は少ない。

【参考文献】 1) JIS K 0058-1 スラグ類の化学物質試験方法-第1部: 溶出量試験方法 (2005) 2) JIS A 1154 硬化コンクリート中に含まれる塩化物イオンの試験方法 (2011) 3) 経済産業省: 都市ごみ焼却灰の国内広域処理システム構築に関する調査報告書, p. 61, 65 (2004)