

塩素を活用した低炭素型都市ごみ資源化技術の開発 (1)

飯野成憲・辰市祐久・寺嶋有史・小泉裕靖

【要約】都市ごみ処理において、低炭素、低コストなりサイクル、最終処分場の延命化が求められている。清掃工場内で都市ごみに塩素剤を適量加え、低温で重金属を塩素剤とともに揮発させる塩化揮発反応を制御することで飛灰に金属や塩素を分配できれば、主灰中の重金属や塩素は減少し、セメント原料化、ひいては最終処分場の延命化が促進できる。そこで、実ごみ試料に PVC、CaCl₂ の 2 種類の塩素剤を添加した燃焼実験、燃焼中の塩類や重金属の揮発挙動を予測する熱力学平衡計算を行なった。その結果、少量の塩素剤添加で Zn、Pb は揮発し、また、CaCl₂ と PVC では、PVC の方が揮発率、取り扱い易さの点で優れていることが分かった。

【目的】

都市ごみ処理において、低炭素、低コストなりサイクル、最終処分場の延命化が求められている。都市ごみ焼却残渣に含まれる塩素や重金属の多くはセメント原料としては不要成分であるが、塩素や重金属を濃縮し分離回収して非鉄製錬原料化することが出来れば、焼却残渣のセメント原料化が促進され、最終処分量の削減に寄与できると考えられる。これまでの焼却残渣の資源化に係る研究では、焼却飛灰等から湿式処理や塩化揮発反応の活用による金属回収が提案されてきたが、湿式処理では排水処理、塩化揮発では一度冷却された焼却残渣の再加熱が必要になるなど、環境面及び経済面で課題がある。そこで本研究では、清掃工場内で都市ごみに塩素剤を適量加え塩化揮発反応を制御し、焼却と同時に重金属及び塩素を焼却飛灰に極力分配させた上で脱塩後に非鉄製錬原料にすること及び相対的に重金属及び塩素が減少した焼却主灰をセメント原料化することを目指し (図 1 参照)、実ごみ試料を用いた電気炉による燃焼実験と熱力学平衡計算を実施した。

【方法】

(1) **実ごみ試料を用いた電気炉実験** ごみ組成調査¹⁾の粗砕試料をごみ分類別に四半期分を等量混合し、区部清掃工場の年間の乾ベースごみ組成¹⁾ (表 1) と合うように調整し、粉碎機で微粉碎し混合ごみを調製した。混合ごみ 5g に塩素剤としてポリ塩化ビニル (PVC) 又は CaCl₂ · 2H₂O を加え、電気炉にて燃焼した。ICP/MS 及び XRF により、焼却前後の試料の塩素、アルカリ金属、および重金属の全含有量を測定し、揮発率を求めた。

(2) **熱力学平衡計算による揮発挙動の推定** 熱力学の法則より、ごみ試料と CaCl₂ を無限時間焼却した後の理論的な化合物の種類および元素の揮発率を推定した。熱力学平衡計算ソフト Factsage7.2 により、燃焼前の元素分析、含有量データを入力し Cl 添加量をパラメータとした平衡計算を行った。

【結果の概要】

(1) **実ごみ試料による揮発挙動の評価** 電気炉実験による PVC、CaCl₂ 添加時の揮発挙動をそれぞれ図 2 a), b) に示す。Zn を除き揮発率は無添加時においても 70% を超えていた。a) より、Zn は Cl をごみ 1g 当たり 10.7mg 添加時、Pb は 42.8mg 添加時に揮発率 100% となった。Cu、Zn は 85.7mg 添加時には揮発率が 70~80% に低下した。Cl、K は、Cl 添加量にかかわらず揮発率は 90% 以上を維持していた。b) より、Cu は 10.7mg 以上添加した場合、揮発率は低下した。Pb は添加量の増加に伴い揮発率は上昇し、21.4mg 添加時に揮発率は 100% となった。Cl、K は、添加量の増加に伴い揮発率は低下する傾向が確認された。全体として、添加 Cl 量が同じ場合、CaCl₂ よりも PVC の方が揮発率は高い傾向にあった。また、CaCl₂ は潮解性が強く、混合ごみとともに電気炉の石英管にセットすると間もなくボートに付着することから、ごみピット等に散布する場合にはハンドリングの問題が発生することが示唆された。従って、PVC と CaCl₂ では、PVC の方が塩素剤として有効であると考えられた。

(2) **熱力学平衡計算による揮発挙動の推定** 熱力学平衡計算による CaCl₂ 添加時の揮発挙動を図 2 c) に示す。Zn および Cu は無添加時には揮発率約 45% 程度、その他の元素は全て 100% であった。Cu、Zn、Pb は Cl 添加量を増加しても揮発率 100% を維持するが、Cl、K は 20mg 以上添加すると、揮発率は次第に低下すると推定された。なお、CaCl₂ の電気炉実験と比較したところ、Pb、Zn、Cl、K の揮発挙動は概ね一致した。

【結論】

Cl 添加量の増加に伴い揮発率が低下する元素も存在したが、Zn や Pb では塩素剤を少量添加することで揮発率が上昇し、また、揮発率の高さ、取扱い易さの点で塩素剤として PVC が優れていることが示唆された。

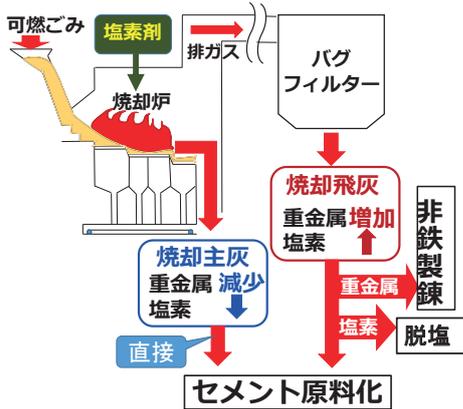


図1：焼却残渣資源化の着想

- ・清掃工場内で都市ごみに塩素剤を加え塩化揮発反応を制御し、焼却と同時に重金属及び塩素を焼却飛灰に分配させる。
- ・脱塩後に非鉄製錬原料にすること及び相対的に重金属及び塩素が減少した焼却主灰をセメント原料化する。

表1：年間代表ごみ組成（乾ベース）¹⁾
(%)

中分類	年度代表値
紙類	50.19
繊維	8.10
厨芥	8.85
木草	4.10
プラスチック類	23.41
ゴム・皮革	1.72
その他可燃物	1.92

- ・乾ベース集計であるため、紙類、プラスチック類が多い。
- ・不燃物を除いているため合計は100%にならない。

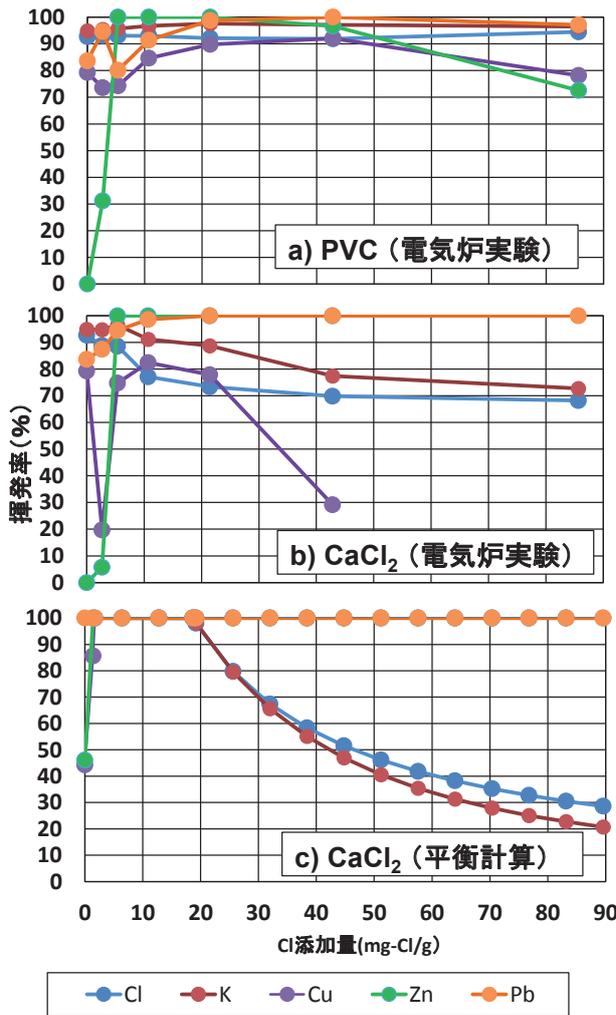


図2：塩素剤添加量と揮発率の関係

- ・ a)~c)の横軸は混合ごみ1gあたりのCl添加量
- ・ ZnはClを10.7mg添加時、Pbは同42.8mg添加時に揮発率100%となった。
- ・ Cu、Znは85.7mg添加時には揮発率が70~80%に低下した。
- ・ Cl、Kは、Cl添加量にかかわらず揮発率は90%以上を維持していた。

- ・ Cuは10.7mg以上添加した場合、揮発率は低下した。
- ・ Pbは添加量の増加に伴い揮発率は上昇し、21.4mg添加時に揮発率は100%となった。
- ・ Cl、Kについては、添加量の増加に伴い揮発率は低下する傾向が確認された。
- a), b)より、添加Cl量が同じ場合、CaCl₂よりもPVCの方が揮発率は高い傾向にあった。

- ・ ZnおよびCuは無添加時には揮発率約45%程度、その他の元素は全て100%であった。
- ・ Cu、Zn、PbはCl添加量を増加しても揮発率100%を維持するが、Cl、Kは20mg以上添加すると、揮発率は次第に低下すると推定された。

【参考文献】

1) 東京二十三区清掃一部事務組合：平成28年度清掃工場等ごみ性状調査委託報告書本編 p.16 (2017)