

焼却灰の粒子断面構造と化学的性状に及ぼすごみ組成の影響

九州大学大学院 学生会員 ○大寺 泰輔
九州大学大学院 正会員 島岡 隆行

1. はじめに 持続可能な循環型社会の実現に向けて、ごみの発生抑制、リサイクルの促進等の取り組みがなされているが、最終処分場の埋立残余容量は依然として逼迫した状況である。現在、最終処分される廃棄物の約半分を占める焼却残渣の循環資源としての有効利用が検討されているが、近年のリサイクル促進によって排出されるごみの量や組成が変化し、焼却残渣の性状も変化することが予想される。よって、焼却残渣の安定した有効利用に際して、焼却残渣の物理化学的性状、及びごみ組成との相関を把握することは重要な課題である。本研究では、焼却灰の粒子に注目し、焼却灰粒子の断面構造及び化学的性状を把握するため、SEM、SEM-EDX、XRF(蛍光X線分析装置)を用いた機器分析を行なった。また、清掃工場から排出された焼却灰(実灰)との比較のため、組成を調整したごみの燃烧実験と、燃烧実験後の残渣(人工灰)の化学組成分析を行い、焼却灰の化学的性状に及ぼすごみ組成の影響について考察した。

2. 焼却灰粒子の断面構造と定義について

試料には、F市の清掃工場の燃さい押出し装置通過前(水中に落下前)の乾灰と、F市及びY市の清掃工場の燃さい押出し装置通過後(水中に落下後)の都市ごみ焼却灰(湿灰)を用いた。まず、焼却灰粒子を構成する物質を調べるため、樹脂で固化した粒径9.5~13mmの焼却灰粒子を切断して薄片試料を作成し、切断面をSEMにより加速電圧15kv、倍率40倍、無蒸着で観察した。図-1に示すように、焼却灰粒子の内部に核のような固形物が認められ、焼却灰粒子が、この固形物

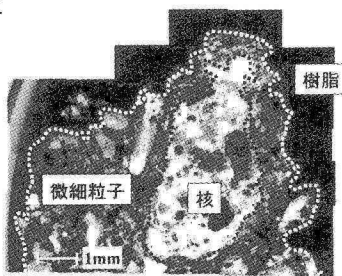


図-1 焼却灰粒子の断面SEM写真(×7)

(以下、核)とその周囲の微細な粒子(以下、微細粒子)によって構成されていることが確認された。また、SEM-EDXを用い、定量分析を行なった結果、図-2に示すように核と微細粒子の化学組成が異なることが確認された。ここで、土壌学における粒子定義¹⁾を基に、焼却灰粒子を定義したものを表-1に示す。土壌学においては、団粒構造を形成する場合の最小単位は一次粒子であり、その凝集物が二次粒子である。SEM写真から判明したように、焼却灰粒子が核と微細粒子により構成されているため、廃棄物工学分野における焼却灰粒子の構成について、土壌学で砂、シルト、あるいは粘土を指す一次粒子を核あるいは微細粒子とし、二次粒子を一次粒子の固結体と定義した。

3. 実験概要

焼却灰粒子を構成する核と微細粒子に注目し、化学組成分析を主とした実験を行なった。実験概要を以下に示す。

(1) 焼却灰の化学的性状

F市の乾灰及び湿灰を篩い分け、粒径2mm以下の粒子について粒径別に蛍光X線分析装置を用いて化学組成分析した。また、F市及びY市の粒径9.5~13mmの焼却灰粒子の微細粒子のみを分離し、核と微細粒子を分別して粉末状に試料調整した後、同様に分析した。

(2) 組成調整ごみの燃烧実験及び人工灰の化学的性状

ごみの分類別に、各々のごみを表-2に示す組成²⁾に調整し、ごみ質試験法³⁾を参考にして、1mm角程度に細断したごみ約6gを、電気炉で800℃、2時間(800℃到達後)強熱した。強熱終了後、水中落下前の温度である300℃程度に温度が低下してから残渣を2つに分け、1つはデシケーター内で自然冷却して人工乾灰とし、残りの1つを直ちに水中投入により急冷して人工湿灰とした。人工乾灰及び炉乾燥した人工湿灰を粉末状に試料調整した後、化学組成分析を行ない、実灰との比較を行なった。



図-2 核及び微細粒子のSEM-EDX分析結果(×40)

表-1 焼却灰粒子の定義

構成	土壌学分野における団粒の構成	廃棄物工学分野における焼却灰粒子の構成
一次粒子	砂 or シルト or 粘土	核 (金属、ガラス、陶磁器、溶融物等) or 微細粒子
二次粒子	一次粒子の凝集物	一次粒子の固結体

表-2 F市清掃工場の可燃ごみ組成(平成11年度)

(単位:%)	
紙類	2.6
ダンボール	4.9
包装に用いられた紙	0.1
包装紙	0.6
紙パック	6.9
新聞	12.2
雑誌・広告	14.8
その他紙類	42.1
高分子類	1.1
プラスチック類	0.5
包装用ビニル袋	2.2
レジ袋	8.9
その他容器包装	0.6
発泡トレイ	3.7
その他プラ類	17.0
木片・わら類	7.8
繊維類	4.9
金属類	0.1
アルミ缶	0.2
スチール缶	0.3
その他金属	0.6
ガラス類	0.1
無色瓶	0.1
茶色瓶	0.1
その他色瓶	0.0
その他瓶以外	0.0
陶磁器・その他不燃物	0.0
厨芥・糞芥	27.4
厨芥	10.0
糞芥	17.4
合計	100

出所:福岡市循環型システム研究会資料

3. 結果及び考察

分析には、エネルギー分散型(EDX)のXRFを用いた。波長分散型(WDX)と比較して、感度は約1/10程度であるが比較的短時間で定性定量分析を行なうことができる。酸化状態としての金属元素の存在割合について化学組成分析した結果を以下に示す。

(1) 焼却灰粒子の化学的性状

図-3に粒径2mm以下の粒子における、F市の乾灰及び湿灰の粒径別の化学組成を示す。CaO、SiO₂、Al₂O₃が約8割を占める。乾灰、湿灰ともに粒径が大きいくほど、CaOの占める割合が少なく、SiO₂の占める割合が大きくなっており、より顕著な傾向を示すのは乾灰である。これは、粒径0.25mm以下の乾灰中に含まれるCaが水中投入によって、水中へ溶出したためと考えられる。

表-3に清掃工場別の核の有無により分別した微細粒子及び乾灰の化学組成を示す。F市とK市間で化学組成は異なるものの、両市の焼却灰粒子において、核の周囲に存在する微細粒子と、微細粒子のみの集合体である核のない粒子を構成する微細粒子の化学組成に顕著な差は認められず、同質であると言える。また、乾灰と微細粒子の化学組成が類似することから、乾灰が水中投入を経て核の周囲に固結し、微細粒子として、焼却灰粒子を形成すると考えられる。

図-4に焼却灰粒子の内部に存在する核の約5~6割を占める溶解物の化学組成を示す(金属、ガラス、陶磁器等の不燃物が約2.5~3割、核のない粒子が約1割)。図-3及び表-3に示した微細粒子の化学組成とは明らかに異なる組成であり、核として存在する溶解物はFe₂O₃が40~80%を占める物質と、SiO₂+CaOが60~70%を占める物質に分類できる。外見上、前者は主に黒色の単質な溶解物、後者は明確に分類できない小さな物質が多く含まれる溶解物であるため、化学組成及び目視観察の差異から、各溶解物を単質溶解物、複合質溶解物に分類した。

(2) 組成調整ごみの燃焼実験及び人工灰の化学的性状

表-4に実灰と人工灰の化学組成を示す。両者を比較するとCaO、SiO₂の占める割合は類似した傾向であるが、人工灰ではCl及びPbは検出されず、TiO₂が高い割合を示している。実灰と比較して人工灰はより白色を呈しており、完全燃焼により未燃カーボンが少ないためと考えられる。また、人工灰中に溶解物は確認できなかった。また、人工乾灰と人工湿灰の化学組成を比較すると、水中投入によるCaの溶出は確認できるが、外見上の大きな変化は見られなかった。表-5に示したごみ分類別の燃焼実験後の残渣の化学組成では、CaOは紙類、木片類、厨芥類で、SiO₂、Al₂O₃は紙類で高い割合を占めている。Clは厨芥類からのみ検出されており、TiO₂を高い割合で含有するのは高分子類と繊維類で、PbOについてはどのごみ分類からも検出できなかった。

4. まとめ 本研究では、焼却灰粒子の断面構造及び化学的性状の把握と焼却灰の性状に及ぼすごみ組成の影響の検討を目的とし、各種機器分析を行なった。その結果、乾灰が水中投入を経て核の周りに固結して、微細粒子として焼却灰粒子を構成し、その主成分であるCaO、SiO₂、Al₂O₃の多くは紙類、木片類、厨芥類等によって持ち込まれると考えられる。また、金属、ガラス、陶磁器等の不燃物の単体と、鉄を主成分とした混合溶解物(単質溶解物)及びガラスを主成分とした混合溶解物(複合質溶解物)が核となり、焼却灰粒子を構成すると考えられる。

【参考文献】1) 久馬一剛, 佐久間敏雄, 庄子貞雄, 鈴木皓, 服部勉, 三土正則, 和田光史編: 土壌の辞典, 朝倉書店(1993)

2) 福岡市循環型システム研究会資料: <http://kankyo.city.fukuoka.jp/eco/>

3) 財団法人 日本環境衛生センター: ごみ処理施設各種試験法 (1998)

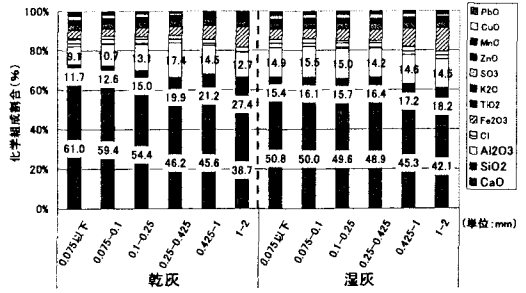


図-3 乾灰及び湿灰の粒径別の化学組成

表-3 清掃工場別の微細粒子及び乾灰の化学組成 (単位: %)

化学種	F市 微細粒子		K市 微細粒子	
	乾灰	核あり	核なし	核なし
CaO	50.9	48.8	47.8	32.6
SiO ₂	18.0	15.9	16.9	25.3
Al ₂ O ₃	12.9	14.5	14.5	12.1
Cl	3.6	3.7	4.1	3.4
Fe ₂ O ₃	5.8	7.6	4.8	12.0
TiO ₂	3.0	3.4	3.5	2.9
K ₂ O	2.5	2.2	2.9	4.1
SO ₃	1.4	2.0	2.9	4.8
ZnO	0.8	0.9	1.1	1.2
MnO	0.3	0.3	0.1	0.3
CuO	0.3	0.4	0.4	0.5
PbO	0.1	0.1	0.1	0.3

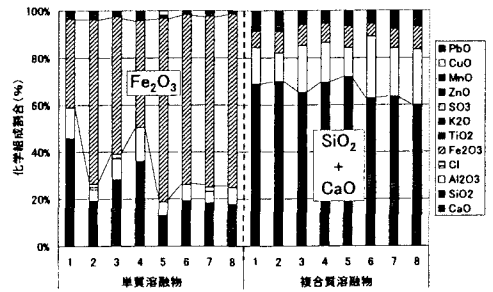


図-4 核として存在する溶解物の化学組成

表-4 実灰及び人工灰の化学組成 (単位: %)

化学種	実灰 (粒径0.075~2mm)		人工灰	
	乾灰	湿灰	乾灰	湿灰
CaO	50.9	47.8	44.5	33.2
SiO ₂	18.0	16.5	20.5	19.7
Al ₂ O ₃	12.9	14.8	20.7	29.6
Cl	3.6	4.0	<0.1	<0.1
Fe ₂ O ₃	5.8	7.4	1.1	2.7
TiO ₂	3.0	2.9	8.2	8.2
K ₂ O	2.5	2.4	3.5	6.4
SO ₃	1.4	2.0	0.7	<0.1
ZnO	0.8	1.0	0.1	0.1
MnO	0.3	0.3	<0.1	<0.1
CuO	0.3	0.2	0.1	0.1
PbO	0.1	0.1	<0.01	<0.01

表-5 ごみ分類別の残渣の化学組成 (単位: %)

化学種	紙類	高分子類	木片類	厨芥類	繊維
CaO	43.9	17.8	82.1	87.5	0.6
SiO ₂	26.1	7.3	6.1	<0.1	4.9
Al ₂ O ₃	25.7	5.4	<0.1	<0.1	6.6
Cl	<0.1	<0.1	<0.1	0.2	<0.1
Fe ₂ O ₃	1.1	2.3	1.4	<0.1	0.1
TiO ₂	1.8	55.1	<0.1	<0.1	86.8
K ₂ O	0.4	0.7	8.4	2.5	<0.1
SO ₃	0.8	3.1	1.2	0.2	0.4
ZnO	0.0	0.4	0.2	<0.1	0.1
MnO	<0.1	0.2	0.1	<0.1	<0.1
CuO	0.1	0.2	0.2	0.2	0.1
PbO	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01	<0.01
MgO	<0.7	6.7	<0.7	<0.7	<0.7
P ₂ O ₅	<0.1	<0.1	<0.1	9.1	<0.1