



Title	下水汚泥焼却灰のリン肥料化
Author(s)	長野, 晃弘; 小澤, 正治; 岩井, 良博 他
Description	第9回衛生工学シンポジウム (平成13年11月1日 (木) -2日 (金) 北海道大学学術交流会館) . 6 廃棄物・汚泥処理 . P6-7
Citation	衛生工学シンポジウム論文集, 9, 290-294
Issue Date	2001-11-01
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/7189
Type	departmental bulletin paper
File Information	9-6-7_p290-294.pdf



6-7

下水汚泥焼却灰のリン肥料化

長野晃弘、小澤正治、岩井良博、定塚徹治、高木禎史、小松貴司（三機工業）

1. はじめに

下水汚泥をコンポスト化技術で堆肥にした場合、堆肥中に砒素や重金属などの有害物質が濃縮されることがわかっている。このような問題を排除し下水汚泥の農業利用を促進することは循環型社会を形成するうえで、重要な技術である。そこで、下水汚泥焼却灰を溶融する過程で重金属や砒素を分離し、水砕スラグをリン肥料としてリサイクルする技術の開発を行っている。下水汚泥の焼却灰にはリン酸、ケイ酸、酸化カルシウム、酸化マグネシウム（以下 P_2O_5 , SiO_2 , CaO , MgO ）などの肥効成分を高濃度に含んでいる。中でもリンは日本ではそのほとんどを輸入に頼っていることから重要な資源と位置づけることができる。焼却灰を直流抵抗炉など湯面を形成して滞留する構造をもつ溶融炉内で還元雰囲気中で溶融すると、砒素、鉛、水銀、カドミウムなどの低沸点の物質は排ガスとして分離でき、銅やニッケルなどの高沸点の重金属は鉄とともに比重差でスラグから分離除去できる。この技術により下水焼却灰の農業利用が可能になり新しいリサイクルの柱になることが期待される。また、リンは下水処理場では湖沼や内湾などの閉鎖水域における富栄養化を高度処理により除去される対象物質であり、高度処理が進むにつれて焼却灰中のリン濃度が増加し、リサイクル資源としてさらに品質が向上することも期待される。

本研究では、黒鉛るつぼに焼却灰を投入し電気炉で溶融する基礎実験を行い、肥効成分が有効利用できる形体でスラグ中に固定できる溶融条件を探索した。さらに実機規模へ展開するためのステップとして小型溶融実験炉（直流電気抵抗式）による確認実験を行い、肥効性の付加状況、および有害成分の分離効果について、良好な結果を得ることができたのでここに報告する。

2. 電気炉による溶融条件検討実験

2.1 焼却灰の組成

原料として用いた下水汚泥の焼却灰の組成を表1に示す。

表1 焼却灰と溶融スラグの組成

サンプル名	P_2O_5	MgO	CaO	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	K_2O
	wt%						
焼却灰A	22.7	2.3	13.5	25.4	21.2	9.5	2.6
焼却灰B	27.5	3.1	11.8	32.2	17.3	2.4	2.3

2.2 実験操作

実験に用いたサンプルは以下の手順で作成した。

- 1) 焼却灰に $MgO/P_2O_5=3.5$ （モル比）および $CaO/P_2O_5=3.5$ （モル比）になるように MgO 、 CaO を添加する。
- 2) 成分調整した焼却灰を黒鉛製るつぼの中に入れ、電気炉で溶融温度が $1350\sim 1500^\circ C$ 、溶融時間が $5\sim 60$ 分の条件で溶融する。
- 3) 溶融処理後、るつぼから溶融物を素早く出して水冷し、水砕スラグ（分析用サンプル）

にする。

- 4) 水砕スラグのリン酸およびマグネシウムのク溶性¹⁾(2%クエン酸溶液への溶解性)を測定する。

2.3 溶融温度の影響

溶融時間を20分とし、溶融温度の影響を検討した。図1に溶融温度と P_2O_5 または MgO の含有量の関係を示す。焼却灰A、Bともに溶融温度の上昇によって P_2O_5 含有量が低下し、1500℃では1350℃のときよりも27~35%低下した。これは温度の上昇により、リンが揮発したためと考えられる。また、1350℃における P_2O_5 含有量は溶融前とほぼ同じであった。図2に溶融温度と P_2O_5 または MgO のク溶率の関係を示す。ク溶率とは全量の P_2O_5 中のク溶性(2%クエン酸溶液への溶解性) P_2O_5 の割合を示す。ク溶率は焼却灰A、Bともに1350~1450℃まで約100%と一定であったが、1500℃で焼却灰Aのク溶率は80%と低下した。 MgO 含有量は溶融温度の上昇によってやや増加の傾向が見られた。これは温度の上昇で P_2O_5 が減少するため相対的に MgO 含有量が増加するためである。また、 MgO のク溶率は1400℃付近が約100%と最大になった。

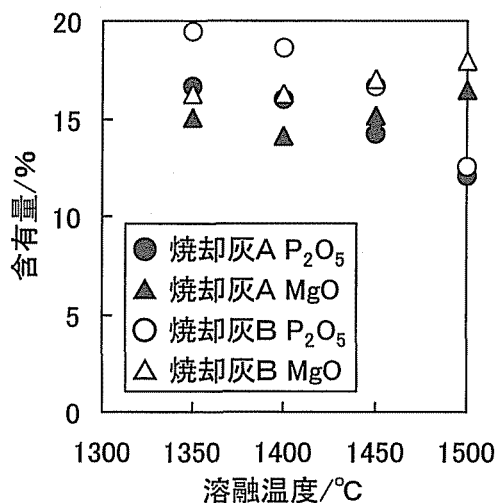


図1 溶融温度と含有量の関係

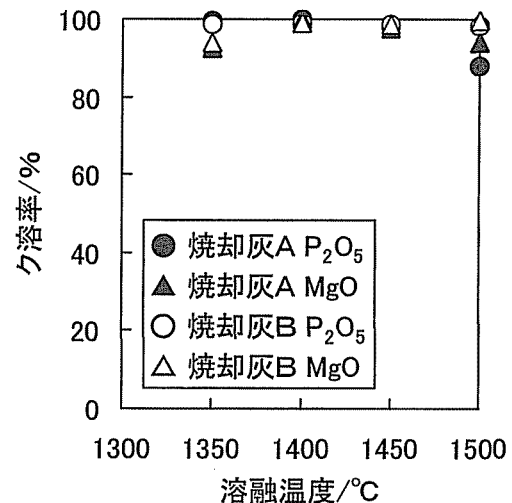


図2 溶融温度とク溶率の関係

2.4 溶融時間の影響

溶融温度を1400℃とし溶融時間の影響を検討した。図3に溶融時間と P_2O_5 または MgO の含有量の関係を示す。焼却灰A、Bともに溶融時間の増加により P_2O_5 の含有量は低下し、60分後では5分後よりも約2%低下したが、溶融温度上昇による低下ほど影響は大きくなかった。 MgO 含有量は時間増加と共にやや増加した。この MgO 含有量の増加は、溶融温度を上昇した場合にもみられる現象で、その原因は、揮発成分がスラグから除去されることにより相対的に濃度が増加したものと考えられる。

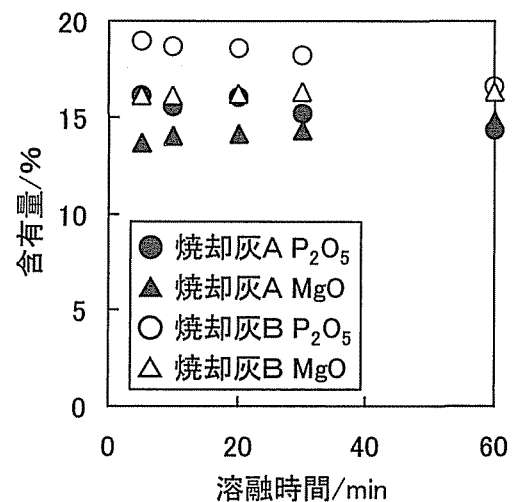


図3 溶融時間と含有量の関係

3. 小型溶融実験炉による確認実験

3. 1 小型溶融実験炉

溶融方式は直流電気抵抗式を採用しており、炉内上部中心に設けた一本の炭素電極（一極）と、黒鉛質炉材の底部に埋め込んだ鉄製電極（+極）間に直流電流を流すことで、ジュール熱を発生させて焼却灰を溶融する。また、本方式は、炉内を還元雰囲気にする事で、酸化鉄や重金属類酸化物が還元されて単体元素となり、比重差により溶融スラグ層から炉底部の溶融メタル層へと沈降分離できる事を特徴としている²⁾。

本実験に用いた小型溶融実験炉の概略フローを図4に示した。溶融炉の有効容積は約 30L（炉内寸法：直径 300mm、有効高さ 450mm）で、定格処理量は約 20kg/時間である。スクリー式投入機によって炉内に投入された混合原料（焼却灰+添加物）は、溶融スラグ層、溶融メタル層に分離され、別々に排出される。また、炉内を還元雰囲気に保つために、混合原料に微量のコークスを添加し、また排ガス吸引を極力抑えた（炉内圧力を若干の負圧に保つ程度）運転を行った。

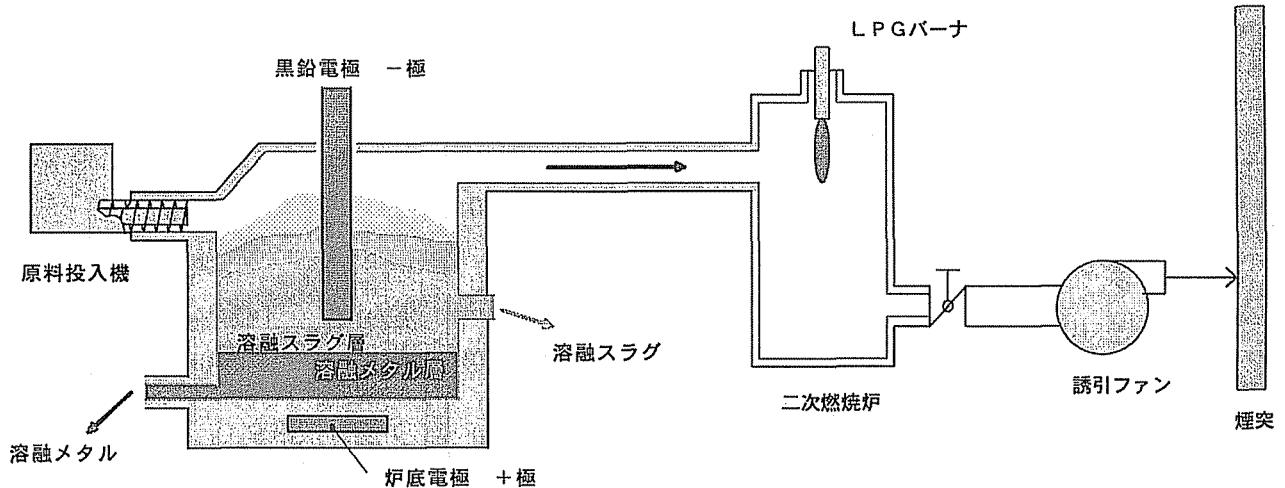


図4 小型溶融実験炉の概略フロー

3. 2 実験方法

原料には表2に示した2種類の下水汚泥焼却灰と、添加物として市販の薬剤（MgO, CaO）を使用した。肥料製品の製造においては、肥効成分の付加を第一の目的としたため、原料配合比は基礎実験¹⁾で求めた P_2O_5 や MgO のク溶率（2%クエン酸溶液への溶解性成分/全量成分×100）を最大とできる $MgO/P_2O_5=3.5$ および $CaO/P_2O_5=3.5$ （モル比）とした。さらに約 2wt%のコークスも添加し、これを処理対象物とした。

この処理対象物を約 1,400℃で溶融後、写真1のように溶融スラグを出滓、流水により水砕して肥料製品（水砕スラグ）を製造した。

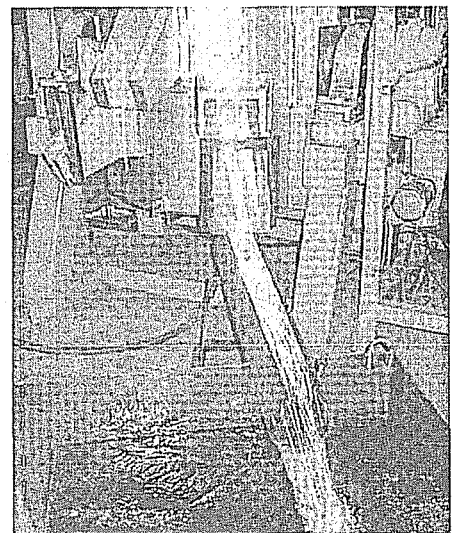


写真1 溶融スラグ出滓・水砕風景

表2 実験に使用した焼却灰の組成

サンプル名	P ₂ O ₅	MgO	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	K ₂ O
	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%	wt%
焼却灰 A	19.7	2.4	8.5	39.2	19.8	4.5	1.8
焼却灰 B	22.7	2.3	13.5	25.4	21.2	9.5	2.6

3. 3 肥効性成分分析結果

焼却灰, 混合原料(焼却灰+混合原料)および水砕スラグの分析結果を表3に示す。P₂O₅については、A, B系列共に高く溶率(88, 100%)を得た。特に、スラグBのク溶性P₂O₅含有量は、添加物を加えたにも関わらず焼却灰中の含有量を上回っていた。MgOについても、A, B系列共に高く溶率(86, 95%)となった。アルカリ分については、薬剤によるMg, Ca添加の効果もあり、A, B系列共に40%以上(肥料取締法の規制値)にまで増加させることができた。

表3 試作品の分析結果(肥効性成分)

サンプル名	焼却灰 利用率	P ₂ O ₅			MgO			アルカリ 分	
		全	ク溶性	ク溶率	全	ク溶性	ク溶率		
		wt%	wt%	%	wt%	wt%	%		
肥料取締法	—	—	17以上	—	—	12以上	—	40以上	
A 系列	焼却灰 A	—	19.7	13.5	69	2.4	1.7	71	10.7
	混合原料 A	73.5	14.5	—	—	14.4	—	—	—
	スラグ A	73.5	11.5	10.1	88	14.7	12.6	86	42.9
B 系列	焼却灰 B	—	22.7	11.1	49	2.3	1.2	52	14.7
	混合原料 B	72.3	16.4	—	—	16.5	—	—	—
	スラグ B	72.3	15.7	15.7	100	16.4	15.6	95	43.9

※記号は使用した原料焼却灰に対応。また、混合原料については焼却灰のデータを基にした計算値。

3. 4 有害性成分の分析結果

混合原料, 溶融メタルおよび水砕スラグの分析結果を表4に示す。

表4 試作製品の分析結果(有害性成分)

サンプル名	As	Cd	T-Hg	Ni	T-Cr	Pb	
	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	mg/kg	
肥料取締法	<50	<5	<2	<300	<500	<100	
A 系列	混合原料 A	7.4	2.9	<0.05	51	86	2.9
	溶融メタル A	30.8	<0.05	—	7,800	500	5.6
	スラグ A	<1.0	<1.0	—	<1.0	78	<1.0
B 系列	混合原料 B	13	4.4	<0.05	17	577	87
	溶融メタル B	1.9	0.1	—	3,800	440	1.0
	スラグ B	<1.0	<1.0	—	<1.0	80	2.9

※ 記号は使用した原料焼却灰に対応。また、混合原料については焼却灰のデータを基にした計算値。

A, B 系列共に混合原料中には若干の有害性成分が含有されていたが、スラグ中には、全成分について肥料取締法の指定項目（下水汚泥肥料）を満足するものとなっていた。熔融スラグから熔融メタル側へ沈降分離できた成分は、A, B 系列共に Ni, T-Cr であると考えられた。特に Ni においては、製品中の含有量が定量下限未満となっていた。

4. まとめ

下水汚泥焼却灰を還元雰囲気中で熔融すると、砒素や重金属等の有害成分を分離除去した熔融スラグを得ることができる。このスラグ中には、リンやマグネシウムが高濃度に含まれており肥料としての有効利用が期待できる。

電気炉を用いた基礎実験により、1400℃で5～30分間熔融するとクエン酸溶解性の MgO や P₂O₅ を効率よく固定できることがわかった。

また、直流電気抵抗式の小型熔融実験炉を用い、下水汚泥焼却灰を原料としたリン肥料化実験において、1) 肥効性成分の良好な付加状況、2) 有害性成分の良好な分離効果が確認できた。

(参考文献)

- 1) 三品文雄, 定塚徹治, 小松貴司: 焼却灰の肥料化の可能性に関する一考察, 第 37 回下水道研究発表会講演集, pp.175-177(2000)
- 2) 岩井良博, 高木禎史: 熔融処理による重金属類分離と石材化技術, 第 37 回下水道研究発表会講演集, pp.70-72(2000)