

酸素富化による下水汚泥熔融炉

NKK 猪川修郎 生沢勝美 鈴木 実 ○星野 寧

1. 緒 言

近年、下水汚泥の処理方法として熔融技術が注目されてきており、すでに一部では実用化されている。今後、減容化効果や有害物質の溶出防止、さらにはスラグの利用等、新しい下水汚泥処理方法として確立していくと考えられている。

実用化が進められている各種熔融方式の中で、旋回流式の熔融炉は炉体がコンパクトで起動停止が短時間、ある程度乾燥させた汚泥では炉内での自然が可能、また炉内に機械的可動部がないという特長がある。一方、炉体が小さいため汚泥の性状変動に対して敏感に反応して、燃焼状態が不安定となる場合が予想される。また、自然時に炉内温度をスラグの溶流点以上に維持することは、平均的には可能であっても炉内の温度分布は不均一であり、実際には助燃料を焚く場合が多い。さらに、スラグの利用目的によっては炉内温度を通常より高温に保ち、熔融スラグの粘度を小さくする場合があり、助燃料消費量は増加することになる。ところで、最近、酸素富化空気が安価に入手できるPSA（Pressure Swing Adsorption）法や酸素富化膜の開発が進み、燃焼への酸素富化空気の実用化が検討されている⁽¹⁾。そこで、本研究では、炉内温度の上昇とガス層での燃焼速度の増大⁽²⁾により燃焼の安定性を向上させ、さらに、適切な炉内温度を維持して各種の利用目的に沿うスラグを製造するために、旋回流式下水汚泥熔融炉において燃焼空気に酸素富化空気を使用する方式を検討した。

2. 酸素富化式旋回熔融炉

2.1 熔融スラグ温度

下水汚泥スラグの熔融時の粘度測定例を図-1に示す。なお、この例は石灰石を添加して塩基度（ $= \text{CaO} / \text{SiO}_2$ ）をほぼ1.0に調整したものである。図中にスラグの利用目的による出湯時の必要粘度を示してある。熔融炉の炉内温度は一般的には1300℃～1400℃であるが、この場合熔融スラグの温度は1200～1250℃程度で、路盤材などの土木資材への適用が中心となる。スラグの粒状化、繊維化など付加価値の高い製品への加工を前提とした場合、スラグの温度は1350℃以上になり、これを満たす炉内温度は1500℃以上必要である。

2.2 試算方法

旋回熔融炉を図-2のようにモデル化した。一次燃焼室下部に乾燥汚泥、助燃料（A重油）、一次燃焼空気が吹込まれ、汚泥と助燃料の発熱量の内80%が直ちに発生するものとした。熔融スラグは底部から排出される。燃焼ガスは上向きに流れ、炉壁からの熱放散 Q_1 、 Q_2 により温度が低下して二次燃焼室に導入される。ここで、二次燃焼空気と混合し、残っている20%の熱量が発生する。一次燃焼室を上下2分割に考え、中段位置Iでの燃焼ガス温度 $T-I$ を炉内温度として代表することとした。表-2に示す試算条件のもと、一次燃焼空気温度、燃焼空气中酸素濃度、乾燥汚泥含

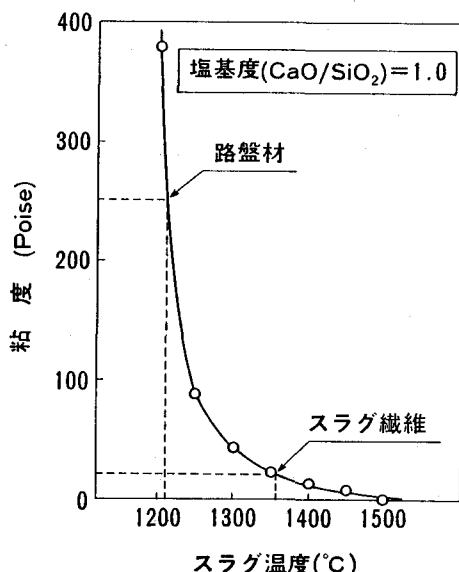


図-1 下水汚泥スラグの粘度

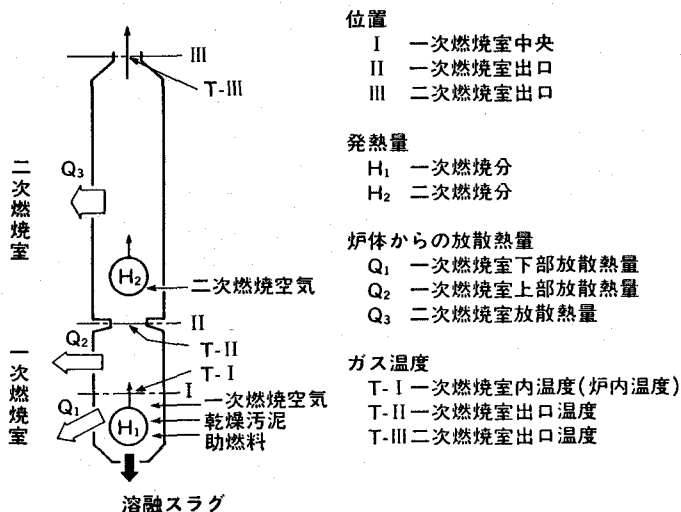


図-2 汚泥溶融炉のモデル化

表-1 試算条件

汚泥処理量	25t-DS/日
溶融炉方式	二次燃焼室付旋回流炉
脱水汚泥含水率	約80%
乾燥汚泥含水率	5~30%
汚泥発熱量	約3100kcal/DS-kg(高位)
放散熱流束	一次燃焼室壁面 5.0×10^5 kcal/m ² h
	二次燃焼室壁面 8.0×10^3 kcal/m ² h
空気比	一次燃焼室 1.0
	総 合 1.3

表-3 物質・熱収支の比較 (炉内温度 1500℃
汚泥含水率 10%)

		ケース1 酸素濃度25.5%	ケース2 空気温度 320℃	ケース3
物質収支	投入汚泥量	11.9(20.5%)	11.9(17.6%)	11.9
	燃焼空気量	46.2(79.5%)	55.6(82.4%)	86.4
	助燃油量	0(自然)	0(自然)	1.7
	燃焼ガス量	53.2(91.6%)	62.6(92.8%)	95.1
	スラグ量	4.9(8.4%)	4.9(7.2%)	4.9
熱収支	総計	58.1(100%)	67.5(100%)	100*
	(kg/h)	5647	6574	9726
	投入汚泥	63.1(99.3%)	63.1(90.6%)	63.1
	燃焼空気	0.4(0.7%)	6.6(9.4%)	0.8
	助燃油	0(自然)	0(自然)	36.1
熱収支	燃焼ガス	50.5(79.5%)	56.1(80.5%)	83.5
	汚泥水分潜熱	1.3(2.1%)	1.4(2.0%)	1.4
	スラグ、灰	2.9(4.6%)	2.8(4.0%)	2.8
	損失、その他	8.8(13.8%)	9.4(13.5%)	12.3
	総計	63.5(100%)	69.7(100%)	100*
	(kcal/h)	3.219×10^6	3.530×10^6	5.066×10^6

*ケース3の総計を100としてケース1、ケース2を比率で表示

溶融炉周りの物質収支および熱収支を求めた(表-3)。酸素富化によれば、炉周りの物質と熱量は減少し、特に燃焼ガス量はケース2に比べても、15%低減しており排ガス処理系等の小形化の可能性はある。

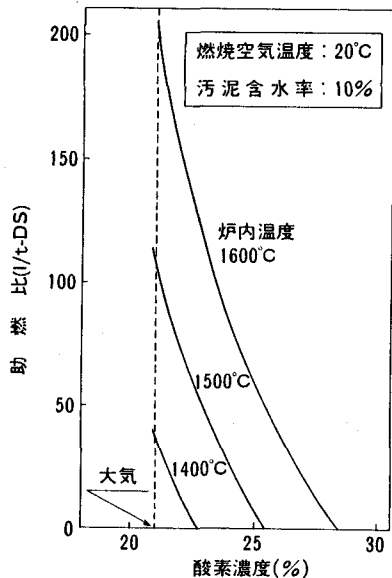


図-3 助燃比

表-2 計算例

	燃焼空気	空気予熱	自/助燃
ケース1	酸素富化	常温	自燃
ケース2	大気	予熱	自燃
ケース3	大気	常温	助燃

水率、炉内温度をパラメータとして物質収支および熱収支計算から、助燃料消費量、自然条件等を試算した。

3. 結果

3.1 助燃料

酸素富化時の助燃比(=助燃料消費量〔1/h〕/投入汚泥固形分量〔t-DS/h〕)を、汚泥含水率10%の場合について図-3に示す。酸素濃度を25.5%まで上げれば、助燃比0でスラグの高付加価値化を図ることができる。

3.2 物質収支および熱収支

表-2に示す3ケースにつき、炉内温度1500℃、汚泥含水率10%での

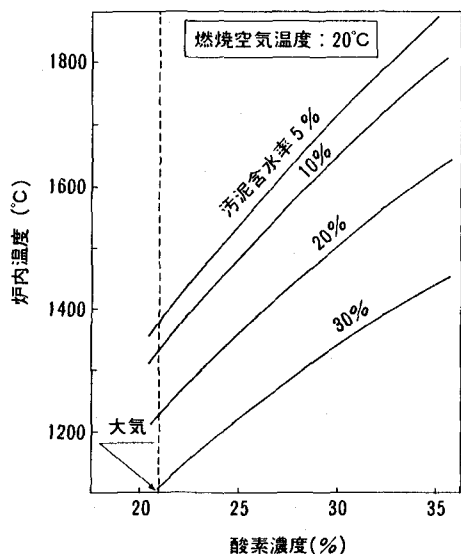


図-4 汚泥含水率と炉内温度

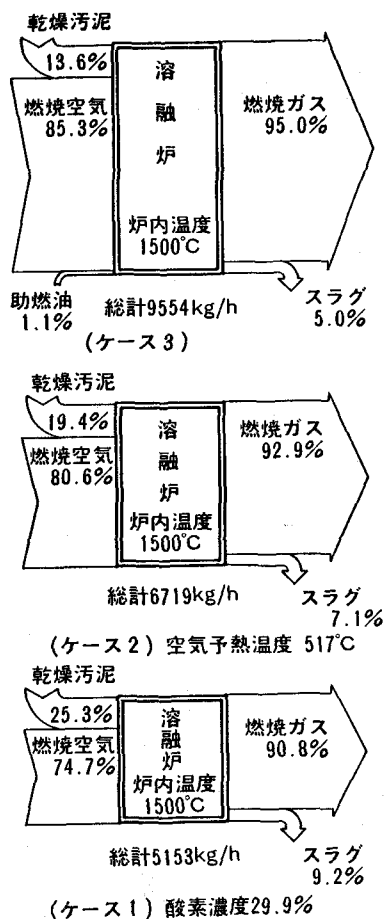


図-5 物質収支(汚泥含水率20%)

3.3 汚泥含水率

乾燥汚泥の各含水率に対する自然状態での酸素富化と炉内温度の関係を図-4に示す。燃烧空気に大気を用いる場合、含水率は通常10%以下と言われているが、例えば、酸素濃度が30%以上であれば、含水率20%の場合でも炉内温度は1500℃以上となる。また、図-5は含水率20%の熔融炉周りの物質収支の比較である。ケース1の場合、燃烧ガス量はケース2に比べて25%低減しており、含水率が高いほど、装置小形化への効果が大きいと考えられる。

4. 結 言

下水汚泥熔融炉の酸素富化操業について、物質収支および熱収支計算を行い、次の結論を得た。

- (1) 炉底出湯口の温度維持や高温熔融に必要な炉内温度の確保が可能となる。
- (2) 比較的含水率の高い乾燥汚泥に対しても、空気予熱せず炉内での自然が可能となる。
- (3) 炉周りの物質量および熱量が減少し、炉および排ガス処理系の小形化が期待できる。

今後は酸素富化装置、汚泥乾燥機、破砕機、排熱回収系を含めた全体システムについて、経済性を考慮した検討を行う。

引用文献

- (1) 例えば、酸素富化膜燃烧技術研究組合，“酸素富化膜の開発とその燃焼システムへの応用(1),(2)”，工業加熱，23巻，5号および6号，1986
- (2) 例えば，Lewis&Elbe，“Combustion Flames and Explosions of Gases 2nd edition”，P.381，Academic Press (1961)