

2-2-2 示差熱分析及び成分分析から見た焼却炉施設の

閉塞についての一考察

東京都下水道サービス株式会社 技術部 技術開発課 小泉 僚平
曾根 啓一
施設部 水質課 後藤 麻希
八島 卓寛

1. はじめに

東京都内の水再生センターでは近年汚泥焼却工程において煙道や空気予熱器付近で閉塞するトラブルが頻発している。閉塞の原因については、今までの調査から焼却灰中のりん濃度が経年的に上昇しているなかで、焼却時に融点の低いりん化合物が生成され、これが煙道等に付着していることを解明し、その対策として焼却前の汚泥にポリ鉄を添加することが有効であることを報告¹⁾している。

今回、焼却灰の成分と融解する温度に関するデータを得るために脱水汚泥を灰化した試料について熱重量・示差熱分析及び成分分析を行い、閉塞発生時の焼却灰の熱特性について考察した。

2. 調査概要

(1) 熱重量測定 (Thermogravimetry, TG)、示差熱分析 (Differential Thermal Analysis, DTA) とは

- ① TG は試料を加熱または冷却した時に試料の重量変化を連続的に測定する方法である。化学変化や質量変化を伴う物理変化の検出に利用されている。
- ② DTA は試料を加熱または冷却した際に起こる物理変化や化学変化に伴って試料内で発生する熱変化を基準物質との温度差として検出する手法である。

(2) 成分分析：波長分散型蛍光 X 線分析装置 (リガク Supermini200)

(3) 閉塞抑制指標値について

焼却炉煙道閉塞の危険性は焼却灰中の金属類とりんの比率からなる指標値 (式 1)¹⁾ で判定できる。

この指標値が 1.0 以下になると閉塞等の危険性がある。

$$X = \left\{ \frac{Fe_2O_3}{M(Fe_2O_3)} \cdot 2 + \frac{Al_2O_3}{M(Al_2O_3)} \cdot 2 + \frac{CaO}{M(CaO)} \cdot \frac{2}{3} + \frac{MgO}{M(MgO)} \cdot \frac{2}{3} \right\} / \left\{ \frac{P_2O_5}{M(P_2O_5)} \cdot 2 \right\} \quad (\text{式 1})$$

X：閉塞抑制指標値

Fe₂O₃ [％]：焼却灰の酸化鉄(Ⅲ)分析値

Al₂O₃ [％]：焼却灰の酸化アルミニウム分析値

CaO [％]：焼却灰の酸化カルシウム分析値

MgO [％]：焼却灰の酸化マグネシウム分析値

P₂O₅ [％]：焼却灰の上酸化二りん分析値

M_n [g/mol]：化合物 n の分子量

3. 試験方法

都内水再生センター (5 センター、降雨の影響のある期間と降雨の影響のない期間) の脱水汚泥を電気炉 (設定温度：600℃) で灰化した後、熱重量・示差熱分析 (TG-DTA) と成分分析を行った。TG-DTA 分析は 10℃/min または 20℃/min で 1200℃まで昇温した際の熱量・重量の変動について測定した。

4. 調査結果

(1) 熱重量・示差熱分析 (TG/DTA) について

① 閉塞の事象の有無による TG/DTA 分析の比較

TG/DTA 分析について閉塞の事象の有無に着目して比較した結果を示す。

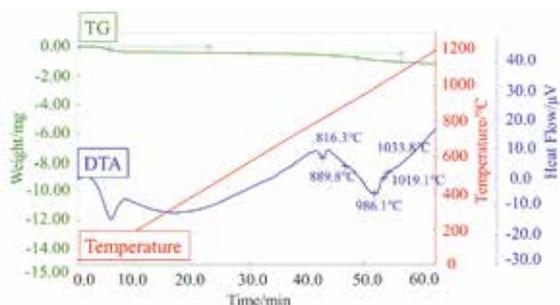


図 1 TG/DTA 測定結果 (閉塞有)

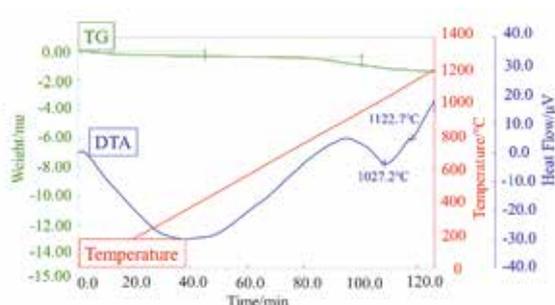


図 2 TG/DTA 測定結果 (閉塞無)

閉塞が発生するセンター (図 1) については 816°C (その他のセンターでは 850°C ~ 900°C 付近) での吸熱ピーク (融解反応) が見られ、閉塞が発生しないセンター (図 2) については焼却炉の温度域内 (850°C ~ 900°C 付近) ではピークが認められなかった。また、重量変化は閉塞の有無に関わらずほとんど見られなかった。

② 降雨の影響による TG/DTA 分析の比較

閉塞のあるセンターで降雨の影響の有無について調査した結果を以下に示す。

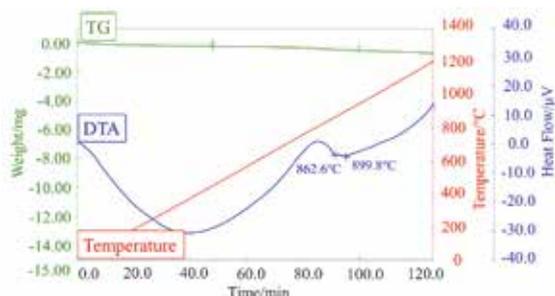


図 3 降雨の影響のない期間

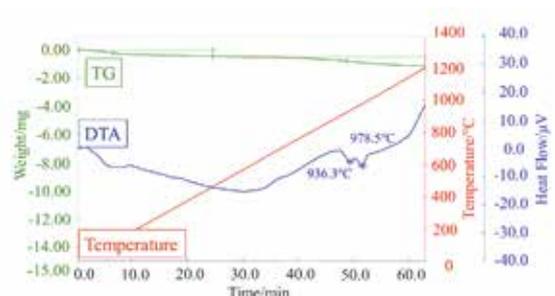


図 4 降雨の影響のある期間

降雨の影響のない期間 (図 3) については 850°C ~ 900°C 付近での吸熱ピークが見られ、降雨の影響のある期間 (図 4) については 850°C ~ 900°C 付近でのピークが認められない。このことから、850°C ~ 900°C の融点を持つ化合物の存在が閉塞の要因となっている、また降雨による土砂の流入の有無が閉塞に影響を与えていることが推測された。

(2) 蛍光 X 線成分分析について

① 閉塞の事象の有無による成分分析の比較

焼却炉の閉塞の事象の有無に着目し比較した結果を示す (表 1)。閉塞が発生するセンターでは P_2O_5 の含有率が約 40% であるに対して、閉塞が発生しないセンターでは約 27% と両者に違いが見られた。このことから P_2O_5 が焼却灰の主成分の 1 つであり閉塞に関与していることを確認した。また、閉塞が発生するセンターについては閉塞対策としてポリ硫酸第二鉄 (以下、ポリ鉄) を投入しており、閉塞が発生しないセンターに比べて Fe_2O_3 の濃度が高くなっているが、閉塞抑制指標値を見ると 1.0 を下回っており、閉塞のリスクを抱えた上での運転が継続していることが分かる。

表 1 閉塞の有無による焼却灰成分の違い

水再生センター		蛍光X線分析結果 (wt%)											閉塞抑制指標値
		Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃	その他	
閉塞 経験有	A	0.6	4.7	7.9	15.9	39.6	0.33	4.2	7.2	0.9	17.1	2.0	0.96
	B	0.6	6.4	7.8	14.1	42.3	0.3	3.2	9.5	-	13.5	2.3	0.91
閉塞 経験無	C	1.5	4.0	11.2	27.7	27.3	2.1	2.6	13.2	1.1	7.4	4.1	1.39
	D	1.2	5.2	17.6	22.6	26.9	2.69	2.9	11.4	0.9	6.7	4.8	1.72

② 降雨の影響による成分分析の比較

閉塞が発生するセンターにおいて、降雨の影響の有無について比較した結果を示す（表 2）。降雨時には土砂の流入の影響を受けて、土壌中に多く含まれている SiO₂、Al₂O₃、CaO の含有率が増加した。これにより P₂O₅ の含有率が相対的に下がり閉塞のリスク低減につながったと推測される。

表 2 降雨の影響の違いによる焼却灰成分の違い

水再生センター		降雨 影響	蛍光X線分析結果 (wt%)										閉塞抑制指標値	
			Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	P ₂ O ₅	SO ₃	K ₂ O	CaO	TiO ₂	Fe ₂ O ₃		その他
閉塞 経験有	E	有	1.4	5.9	13.5	30.4	26.8	0.74	3.3	7.0	0.8	8.5	2.3	1.46
		無	1.7	8.1	7.6	16.8	42.6	0.2	5.5	5.6	-	10.0	1.9	0.79

(3) TG/DTA 分析と蛍光 X 線成分分析

示差熱分析から得た吸熱ピーク温度と成分分析から得た焼却灰の各成分の含有率についてグラフを作成した。閉塞抑制指標値 X に関わる成分の中で指標値と負の相関をもつ P₂O₅、正の相関を持つ金属で含有率が Fe₂O₃ の次に高い Al₂O₃ についてのグラフを示した（図 5）。Fe₂O₃ については土砂由来とポリ鉄の注入に由来しており、ポリ鉄の注入による閉塞抑制の効果が整理できないため、今回は検討対象としない。

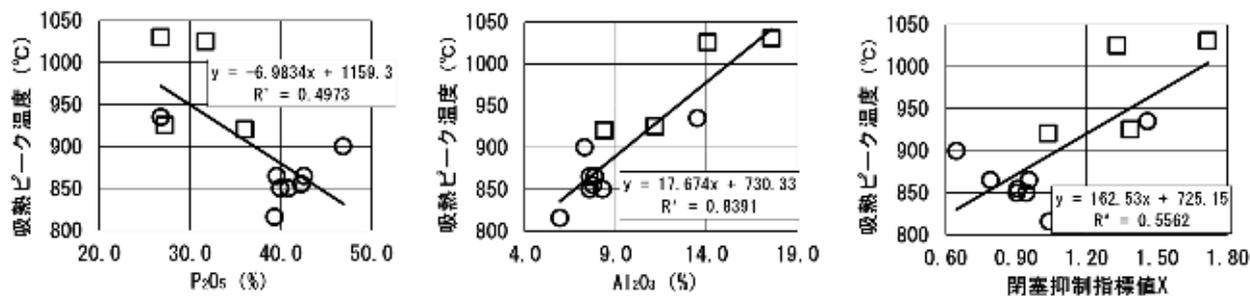


図 5 脱水汚泥中の主成分と吸熱ピーク温度の比較

(□：閉塞経験無 ○：閉塞経験有)

P₂O₅ のグラフから P₂O₅ の含有率が上昇することにより焼却灰の吸熱ピーク温度が下がっていくこと、含有率が 40% 付近に近づくことと吸熱ピーク温度が 850°C に近づき、温室効果ガス（主に N₂O ガスを対象）発生量の削減の観点から行っている焼却炉の高温焼却運転（850°C 以上）での閉塞リスクが高まることが推測された。Al₂O₃ については閉塞抑制指標値と同様の傾向が確認できた。また、閉塞に関わる成分については引き続き調査を行っていく予定である。

5. まとめと考察

今回、脱水汚泥を灰化した後に熱分析および成分分析を行った結果、以下のことが確認できた。

(1) TG/DTA 分析

閉塞が発生するセンターでは、焼却灰の融解反応が 850℃～900℃で閉塞現象が生じていた。また、同センターでも降雨の影響により焼却灰の融解反応が起きる温度が高温側へ上昇していることが確認できた。

(2) 蛍光 X 線分析による成分分析

閉塞の事象の有無に着目して比較した結果、 P_2O_5 が閉塞に影響していることが確認できた。降雨の影響の有無による比較では、降雨による土砂の流入により閉塞現象の抑制に影響を与えることが推測された。

(3) TG/DTA 分析と蛍光 X 線による成分分析

吸熱ピーク温度と各成分について比較した結果、 P_2O_5 は負の相関、 Al_2O_3 については正の相関が見られており、今までの調査で得た閉塞抑制指標の考え方との関連が見られた。

以上より、焼却灰の融解による閉塞現象は無機成分の構成の違いに起因することを確認した。また、灰の融解には焼却炉の高温焼却（850℃以上）が要因の一つであることが推測された。今後、追跡調査が必要であるが、焼却灰の閉塞に関する対策については熱分析も含めた様々な視点から検討していく必要があると考える。

参考文献

- 1) 黒住光浩ら、下水汚泥焼却炉の閉塞危険性評価方法および閉塞防止方法
下水道協会誌、Vol. 53, No. 647, pp. 88-97 (2016)