

# 消石灰添加による汚泥焼却炉の煙道閉塞抑制 効果等の検証

(公財) 愛知水と緑の公社 ○畔 柳 裕 充 ・ 中 島 優  
メタウォーター (株) 杉 江 由 規 ・ 富 田 敦 史

## 1. はじめに

近年、下水汚泥焼却炉では、一酸化二窒素由来の温室効果ガス排出量を削減するため、焼却温度を高温化する取り組みがなされている。また、愛知県流域下水道の一部処理場においては、栄養塩類管理運転の導入を背景に水処理施設において凝集剤添加率削減の取り組み<sup>1)</sup>を年度下半期に行っており、焼却炉にて焼却する汚泥性状にも変化が生じている。これらの要因により、焼却炉における煙道閉塞リスクの増加が懸念される。

一方で、下水汚泥焼却灰については、菌体りん酸肥料が新たに肥料の公定規格に追加されたことで、肥料化需要の増加が予想される。そのため、肥料成分の増加に有効な手段を確立することが喫緊の課題である。

これらの課題に対応するため、煙道閉塞抑制および焼却灰の肥料成分増加とあわせて、炉内脱硫の効果についても期待される消石灰<sup>2), 3)</sup>に着目し、焼却炉投入汚泥への消石灰添加効果を実証試験により検証した。

## 2. 閉塞抑制指標値、膠着度を用いた煙道閉塞抑制対策

閉塞抑制指標値<sup>4)</sup>は、式(1)に示すように下水分野で提案されている焼却灰中のリンと金属の比率を示す指標であり、 $X > 1$  の場合、金属類とリンが高融点化合物を生成しやすいため、煙道閉塞リスクが低いとされている。膠着度<sup>5)</sup>は、焼却灰の付着性を定量化する指標である。膠着度が低いほど焼却灰の付着性が低いことを示し、予備試験では膠着度 0.2 以下で煙道閉塞リスクが低いことを確認している。

以上のことから、焼却炉の運転温度における膠着度が 0.2 以下となるように消石灰を添加し、閉塞抑制指標値を増加させることで、十分な煙道閉塞抑制効果が期待される。

式(1)

$$X = \frac{\frac{Fe_2O_3}{M(Fe_2O_3)} \cdot 2 + \frac{Al_2O_3}{M(Al_2O_3)} \cdot 2 + \frac{CaO}{M(CaO)} \cdot \frac{2}{3} + \frac{MgO}{M(MgO)} \cdot \frac{2}{3}}{\frac{P_2O_5}{M(P_2O_5)} \cdot 2}$$

X : 閉塞抑制指標値 [—]  
Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 焼却灰の酸化鉄(Ⅲ)分析値 [%]  
Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> : 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 [%]  
P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> : 焼却灰の五酸化二りん分析値 [%]  
M(i) : 化合物 i の分子量 [g/mol]

## 3. 試験方法

2024 年 12 月 2 日から 12 月 6 日までの 5 日間、愛知県矢作川浄化センターにおいて焼却炉投入汚泥への消石灰添加試験を実施した。試験においては消石灰スラリー（濃度 45%）を脱水ケーキ供給ポンプのフィーダ内へ定量供給し、流動焼却炉にて 830℃～850℃の温度で焼却処理を行った。実証試験を行った下水汚泥焼却設備の諸元を表-1 に、試験条件を表-2 に、焼却設備の概略フローおよび焼却灰の採取位置を図-1 に示す。

表-1 焼却設備諸元

焼却方式	流動床式
処理能力	95t/日
焼却温度	830℃～850℃

表-2 試験条件

	単位	ブランク	消石灰添加		
			条件 1	条件 2	条件 3
汚泥処理量	kg/h	3, 975	3, 975	3, 975	3, 975
消石灰スラリー添加量	kg/h	0. 0	75. 7	103. 6	147. 2
閉塞抑制指標値	—	1. 34	1. 81	2. 19	2. 76

菌体りん酸肥料の公定規格に定められた肥料成分（りん酸全量、く溶性りん酸）および有害成分は肥料等試験法、無機分組成は下水試験方法に基づき、各試料の分析を行った。なお、く溶性りん酸は 2%のクエン酸溶液に溶解するリンである。

煙道閉塞リスクを評価するため、採取した焼却灰の閉塞抑制指標値と膠着度の関係を調査した。また、炉内脱硫の効果を評価するため、排煙処理塔における苛性ソーダ使用量の変動を調査した。

#### 4. 試験結果

##### ①消石灰添加による膠着度への影響

図-2 に、膠着度試験結果を示す。消石灰添加によって、各温度での膠着度が低下することを確認した。

##### ②消石灰添加による焼却灰中肥料成分への影響

図-3 に、肥料等試験法による焼却灰の重金属含有量の分析結果を示す。全ての項目で、菌体りん酸肥料の公定規格に定められた重金属基準値を満たしていた。消石灰添加条件では、ブランク条件に比べて、重金属含有量が低下する傾向がみられた。

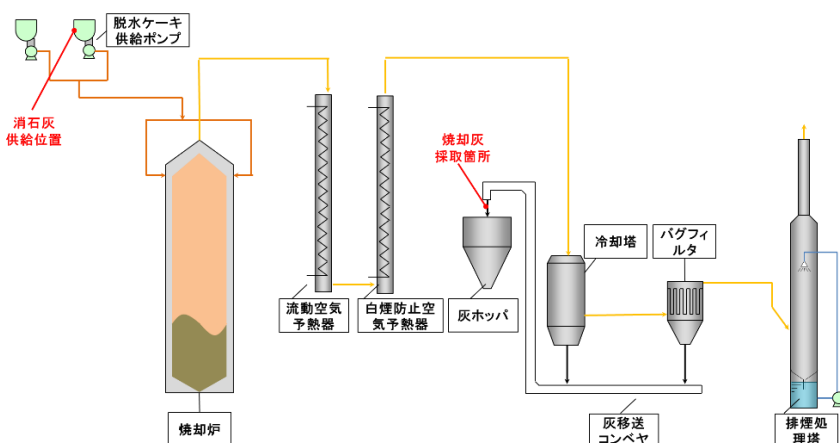


図-1 下水汚泥焼却設備の概略フローおよび焼却灰の採取位置

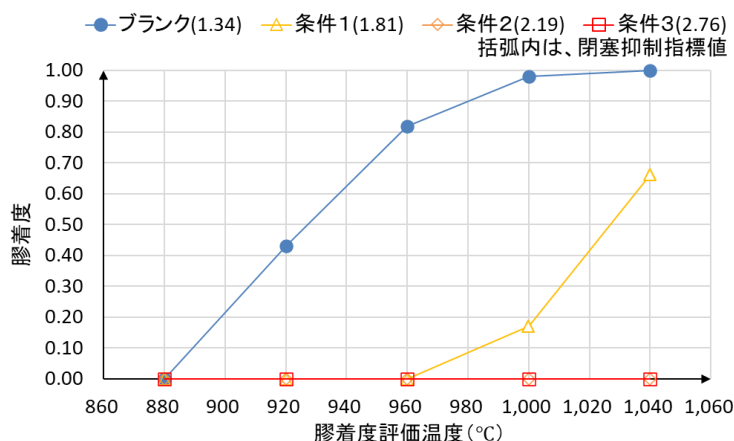


図-2 膠着度試験結果

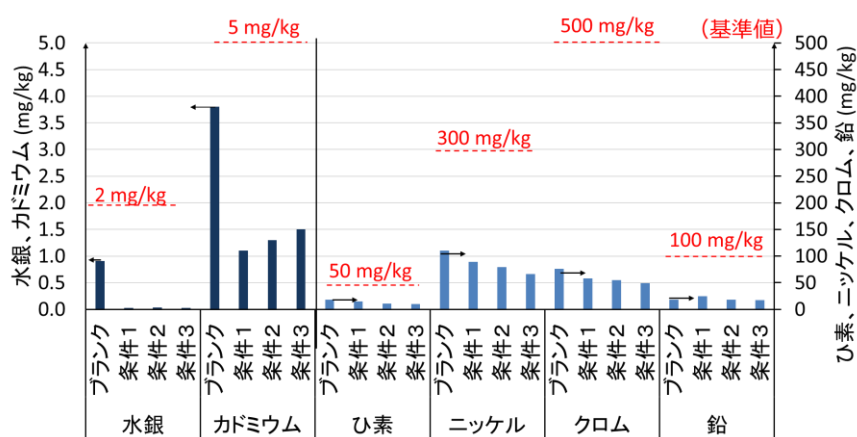


図-3 肥料等試験法による重金属含有量の分析結果

表-3 に、肥料等試験法によるりん酸全量およびく溶性りん酸の分析結果を示す。全ての分析試料において、菌体りん酸肥料の公定規格で定められた保証成分（りん酸全量 1%以上）の基準を満足していた。また、消石灰添加によってく溶性りん率（りん酸全量に対するく溶性りん酸の割合）が増加する傾向がみられた。一方で、消石灰添加によって灰発生量が増加し、相対的にりん酸全量の濃度は低くなった。

表－3 肥料等試験法によるりん酸全量およびく溶性りん酸の分析結果

	単位	ブランク	消石灰添加		
			条件 1	条件 2	条件 3
く溶性りん率	%	55.3	89.9	91.5	93.3
りん酸全量	wt%-DB	34.0	23.7	20.1	19.3
く溶性りん酸	wt%-DB	18.8	21.3	18.4	18.0

③消石灰添加による排煙処理塔における苛性ソーダ使用量への影響

表－4 に、消石灰添加量と排煙処理塔における苛性ソーダ使用量を示す。消石灰添加によって、排煙処理塔における苛性ソーダ使用量が減少することを確認した。

表－4 排煙処理塔における苛性ソーダ使用量

	単位	ブランク	消石灰添加		
			条件 1	条件 2	条件 3
苛性ソーダ使用量	L/h	18.9	18.4	13.1	5.4
炉内脱硫率	%	—	3	31	71

## 5. 考察

消石灰添加量が最も少ない条件 1 において、炉内脱硫率は 3% と低い、1,000℃ における膠着度が 0.2 以下と十分な効果が得られている。この結果から、焼却炉投入汚泥に添加された消石灰は、炉内脱硫よりも煙道閉塞抑制に対して優先的に作用することが示唆された。カルシウムとリン、硫黄との反応機構は、以下のように推定される。消石灰に含まれるカルシウム成分が、汚泥中のリン成分と優先して反応し、高融点のリン化合物を形成することで、焼却灰の付着性が低下したと考えられる。また、リンの反応に消費されず残存したカルシウム成分が、汚泥中の硫黄分と反応し、硫黄分が焼却灰中に固定化されることで、排煙処理塔における苛性ソーダ使用量が低下したと考えられる。消石灰添加量を決定する際には、主目的とする効果に応じて添加量を適切に調整することが重要であると言える。

また、煙道閉塞対策としては鉄系やアルミ系の薬剤を汚泥に添加する方法も採用されているが、金属成分によるリンの固定化により焼却灰の肥料成分が低下する点や、薬剤中に含まれる硫黄分による排ガス中の硫黄化合物の増加が懸念されるため、消石灰については懸念点を解決したうえで代替となり得ると言える。

## 6. 結論

焼却炉投入汚泥への消石灰添加効果を実証試験により検証した結果、以下の結論を得た。

- ・消石灰添加によって、膠着度が低下し煙道閉塞リスクが低下することを確認した。
- ・得られた焼却灰の性状が、菌体りん酸肥料の重金属基準を満足することを確認した。消石灰添加によって、焼却灰中のく溶性りん酸率の増加を確認した。また、重金属量が低下することを確認した。
- ・消石灰添加によって、排煙処理塔における苛性ソーダ使用量が減少することを確認した。

## 参考文献

- 1) 鈴木ら. 水質の保全と「豊かな海」の両立に向けた下水処理場の取組み（栄養塩類管理運転）. 第 61 回下水道研究発表会講演集, 2024, pp.799-801.
  - 2) 三島ら. 汚泥焼却炉への消石灰添加による煙道閉塞対策の検証. 第 61 回下水道研究発表会講演集, 2024, pp.931-933.
  - 3) 杉江ら. 汚泥焼却条件が灰のく溶性リン濃度に及ぼす影響. 第 61 回下水道研究発表会講演集, 2024, pp.193-195.
  - 4) 小橋ら. 焼却炉内焼結物の成分と生成のメカニズムに関する一考察. 第 60 回下水道研究発表会講演集, 2023, pp.1123-1125.
  - 5) 知恵ら. 膠着度によるバイオマス燃料の灰障害予測評価. 火力原子力発電大会論文集, 2022, 73.5, 44-47
- 問い合わせ先：（公財）愛知水と緑の公社 下水道部管理課 愛知県名古屋市中区丸の内 3-19-30