nissuicon

下水汚泥焼却炉の閉塞防止技術

背景と閉塞原因の推定

近年、下水汚泥焼却炉（流動炉）において、汚泥の燃焼過程で焼却灰が煙道に融着し、煙道が閉塞する事象が複数報告されています。本技術は、この事象の原因及び対策、対策技術の制御・管理方法を示すものです。

汚泥に含まれるりんに対して金属が不足した場合には、汚泥に含まれるナトリウム、カリウム等のアルカリ金属がりんと結合し、低融点物質（例：メタリン酸カリウム［融点807℃］、メタリン酸ナトリウム［融点628℃］）を生成して付着灰が生じる可能性があります。

閉塞物を走査電子顕微鏡（SEM）で観察し、EPMA（電子プローブマイクロアナライザー）で元素分布を調べると、ケイ素等で構成される核の周囲に、溶融したりん化合物が覆ってバインダーとなっています。このバインダーはりん化合物が溶融してスラグ状になったものと考えられます。

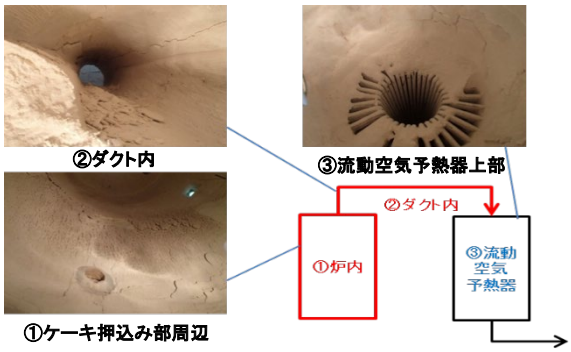

図1　下水汚泥焼却炉の閉塞事例

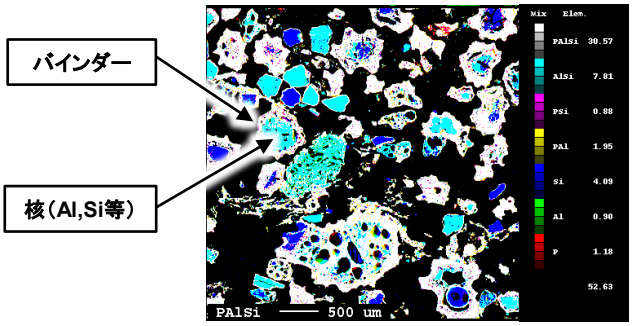

図2　閉塞物をSEMで拡大し、EPMAで各粒子の元素分布を観察した例

焼却炉閉塞のメカニズム・危険性の判定

通常の焼却灰は茶色ですが、閉塞物は白色（層状）であり、りんに対し相対的に金属が不足している状態です。また、閉塞物はもろく崩れやすいため、経時的に付着し閉塞します。

焼却炉閉塞のメカニズム

投入汚泥のりんと金属類の存在量のバランスによっては、焼却温度よりも低融点の物質が生成されるため、焼却灰が煙道に融着し閉塞の原因となります。

（関連する下水道事業の各種施策）

- 高度処理の普及⇒りん含有率の増加
- 分流式下水道の普及⇒流入水起因の金属の減少
- 高温焼却（850℃以上）の推進⇒温暖化ガス（N_2O）の発生抑制

図3　閉塞物の外観

焼却炉閉塞の危険性の判定

焼却灰のAl、Fe、Ca、Mg、Pのmol数を求め、Pに対して金属が過剰に存在すれば閉塞の可能性は低く、少なければ閉塞の危険性ありと判定できます。

閉塞抑制指標値 X＜1.0 ⇒ 閉塞危険性あり と判定

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

X　：閉塞抑制指標値[-]
Fe_2O_3：焼却灰の酸化鉄（Ⅲ）分析値[%]
Al_2O_3：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_2O_5：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]

焼却炉閉塞の抑制対策、焼却灰の色による判定・対策

焼却炉閉塞抑制対策

焼却前の汚泥にポリ硫酸第二鉄（ポリ鉄）等の金属含有薬剤を添加することで、付着の原因である低融点化合物を生成するりん酸を鉄と反応させ、高融点で付着性の低いりん酸鉄化合物にすることができます。

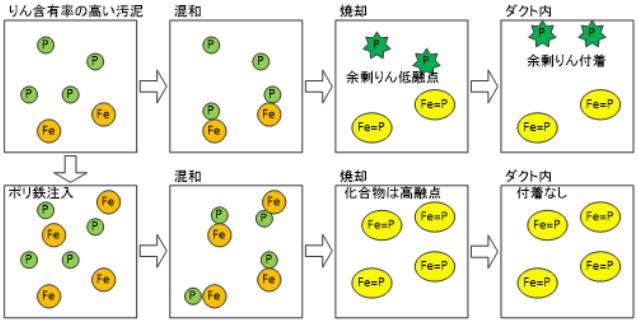

図4　ポリ鉄添加による閉塞予防の原理（模式図）

焼却灰の色による判定・対策

通常時の焼却灰は酸化鉄(Ⅲ)の影響で褐色ですが、閉塞危険性が高まってくると白色に近づくことがわかっています。これを利用して、画像センサーを用いて焼却灰の色を測定するとともに、既往のサンプルで色と閉塞抑制指標値の関係を学習したAI（深層学習）プログラムにより、閉塞抑制指標値や必要なポリ鉄添加量を算出する仕組みを開発しました。

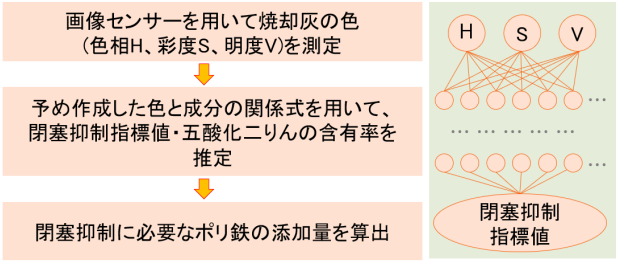

図5　AI画像センサーを用いた閉塞抑制指標値の推定方法

採取月	3月	11月	11月
焼却灰の写真			
閉塞抑制指標値	0.96	1.12	1.20
P_2O_5含有率	38.0%	32.0%	31.0%
Fe_2O_3含有率	10.1%	10.7%	13.3%
閉塞リスク	高い		低い

図6　焼却灰の色と閉塞抑制指標値、P_2O_5、Fe_2O_3含有率の比較

（対外発表）

黒住 光浩ら：下水汚泥焼却炉の閉塞危険性評価方法及び閉塞防止方法、下水道協会誌、53巻647号、pp.88-97、2016.

野本 睦志ら：画像センサーを用いた焼却炉煙道の閉塞抑制技術の開発、環境システム計測制御学会誌、21巻2・3号、pp.171-174、2016.

岸本 長ら　：画像解析を用いた下水汚泥焼却灰の閉塞抑制システムの開発、第56回下水道研究発表会、pp.1184-1186、2020.

岸本 長ら　：下水汚泥の焼却時に生成される焼結物の構造と人工知能を用いた煙道閉塞の抑制方法、第58回下水道研究発表会、pp.866-8682020.

村田 道拓ら：下水汚泥焼却炉における煙道閉塞及び炉内焼結物の発生メカニズムに関する検討、第59回下水道研究発表会、pp.907-909、2022.

（関連特許）

焼却炉閉塞危険性評価方法及び焼却炉閉塞防止方法 登録番号：特許第5881260号

焼却炉閉塞防止方法 登録番号：特許第5974335号

焼却炉閉塞防止方法、焼却炉閉塞防止薬剤添加量算出装置及び焼却炉閉塞防止薬剤添加量算出プログラム 登録番号：特許第6321866号

※東京都、東京都下水道サービス株式会社との共同出願

業務実績

受注年度	発注者	業務名称
2014	東京都下水道局	汚泥処理におけるりんの挙動調査委託 その2
2018	東京都下水道サービス株式会社	焼却炉の閉塞抑制制御技術の開発に関する焼却灰調査委託 その4
2019	東京都下水道サービス株式会社	焼却炉閉塞物に関する分析調査委託
2020	東京都下水道局	画像センサー測定装置の購入
2021	東京都下水道サービス株式会社	焼却炉閉塞物の成分と生成メカニズムに関する調査委託

潤いある未来へ
株式会社 日水コン

お問合せ先　コンサルティング本部 下水道事業部
本社　〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1（新宿スクエアタワー）
TEL. 03-5323-6300　E-mail. nsc_gesui@nissuicon.co.jp

20250401