

〈研究発表〉

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

野本 睦志¹⁾, 中田 友三²⁾, 冠城 敏之²⁾塚原 純哉³⁾, 村田 道拓³⁾¹⁾ 東京都下水道サービス(株)

(〒100-0004 東京都千代田区大手町2-6-2 E-mail: chikashi-nomoto@tgs-sw.co.jp)

²⁾ 東京都下水道局 (〒163-8001 東京都新宿区西新宿2-8-1)³⁾ (株)日水コン (〒163-1122 東京都新宿区西新宿6-22-1)

概要

高度処理の普及により、下水汚泥焼却灰中のりん濃度が高くなると、灰中の金属(鉄・アルミニウム・カルシウム・マグネシウム)に対するりのモル比が高くなり、焼却時にりんが低融点化合物を形成するようになり焼却炉の煙道を閉塞させる。これを防ぐため、金属含有薬剤を汚泥等に添加する対策が取られているが、閉塞を抑制するために必要な添加量を焼却灰の色により判定し、薬品添加量を制御する技術を開発したので報告する。

キーワード: 煙道閉塞, 汚泥焼却灰, 画像センサー, 閉塞抑制指標, ポリ硫酸第二鉄

原稿受付 2016.6.30

EICA: 21(2・3) 171-174

1. はじめに

近年、東京湾の富栄養化の原因となる窒素、りんを除去するために下水の高度処理化を進めている東京都の水再生センターでは、汚泥中のりん濃度が高まっている。このような中、複数の分流方式の水再生センターにおいて、汚泥焼却炉の煙道に焼却灰が付着し煙道が閉塞するトラブルが頻発している(Photo 1)¹⁾。煙道閉塞の原因を調査し、閉塞危険性を指標化して金属含有薬剤を添加することが有効であることを明らかにし(特許取得済²⁾)、さらに焼却灰の色を基に金属含有薬剤の注入量を制御する手法を開発したので報告する。

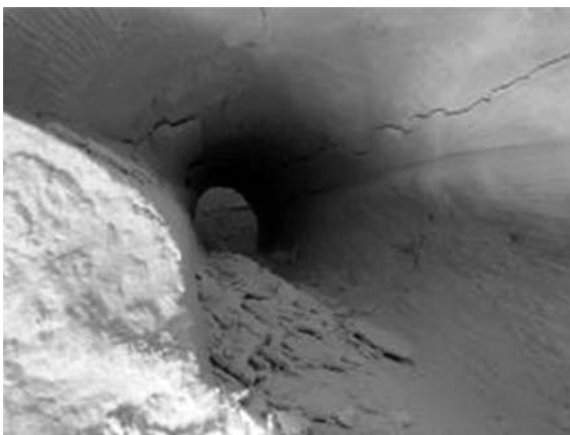


Photo 1 blocked incinerator flue gas duct by phosphorus compound

2. 閉塞危険性の評価方法

2.1 閉塞原因に関する仮説

焼却炉の閉塞原因を明らかにし、対策を立案するためには、焼却灰の無機質特性を検討する必要がある。

今回、焼却灰を成分分析、X線回折分析などで解析した結果、りん、金属元素、シリカが全体の90%以上を占め、アルミニウムなどの金属元素とりんが化合し FePO_4 、 AlPO_4 、 $\text{Ca}_3(\text{PO}_4)_2$ 、 $\text{Mg}_3(\text{PO}_4)_2$ が生成されていることが分かった。これらはいずれも融点が $1,000^\circ\text{C}$ 以上であること、焼却炉内の最高温度が $1,000^\circ\text{C}$ 未満の 850°C 前後であることから、以下の仮説が導かれた。

【仮説】

- ① りんは金属元素と結合し、高融点の化合物を生成すること。この化合物は焼却炉内の温度では溶融せず、焼却灰は煙道等に付着することはなく、安定して排出されること。
- ② りんに対し金属元素が少ない場合、金属と結合できなかつたりんが焼却炉内温度よりも融点の低い化合物を生成し、炉内で溶融し煙道等に付着し閉塞の原因となること。

この仮説に基づけば、焼却灰の分析からFe, Al, Ca, Mg, Pのモル数を求め、りと金属の結合比を考慮した式を用いて求めた次式Xが1.0以上であれば「閉塞の可能性は低く」、1.0未満であれば「閉塞の可能性

がある」と判定できる。この閉塞の可能性を評価するための X を閉塞抑制指標値（以下、指標値）と定義した。

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

ここで、

- 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[%] : 焼却灰の五酸化二りん分析値
- M(I)[g/mol] : 化合物 I の分子量

2.2 仮説及び指標値の検証

例として平成 25 年 12 月～平成 26 年 3 月に 12 施設で実施した実態調査結果から各試料の指標値を算出した結果を Fig. 1 に示す。

図から、指標値は区部公共下水道の合流式下水道で高く、多摩部流域下水道の分流方式では低いことが分かった。その原因は以下のように考えられた。

- ① 合流式下水道では降雨に伴い路面に堆積した金属類が流入するのに対し、分流式では降雨の影響が少ないため、合流式下水道の方が汚泥中の金属類が多いこと。
- ② 流域下水道の方が生物学的りん除去などを目的とする高度処理の導入が進んでおり、汚泥中のりん濃度が高いこと。

また、焼却炉で閉塞等のトラブルが生じた際の指標値を図中の矢印で示した。指標値と焼却炉のトラブルに関する情報を照らし合わせると、閉塞等が発生した時の指標値は 1.0 未満であることがわかる。しかし一方で、指標値が 1.0 未満でも閉塞が生じないこともあることから、「指標値が 1.0 未満になると閉塞等の危険性がある」と考えることができる。

3. 閉塞防止方法

閉塞抑制指標は、焼却灰中のりんと金属の比によって決まるため、閉塞抑制指標が 1.0 未満となった際の閉塞防止対策としては、脱水汚泥に金属含有薬剤を添加する方法が考えられた。閉塞抑制指標の考え方及び計算式からは、鉄、アルミニウム、カルシウム、マグネシウムといった金属を添加することで閉塞予防効果が得られると考えられる。添加薬剤は経済性や維持管理性を考慮して決定する必要があるが、ここでは一例としてポリ硫酸第二鉄（以下ポリ鉄と言う）を用いる方法について検討した。Fig. 2 に、ポリ鉄添加による

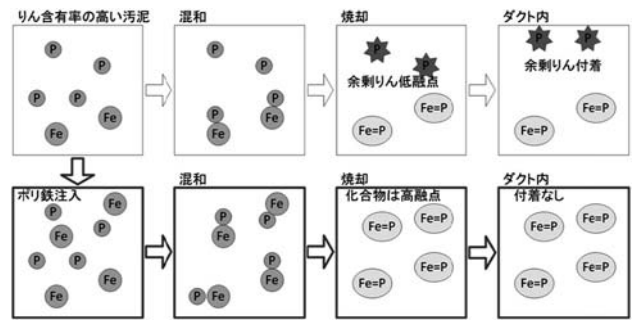
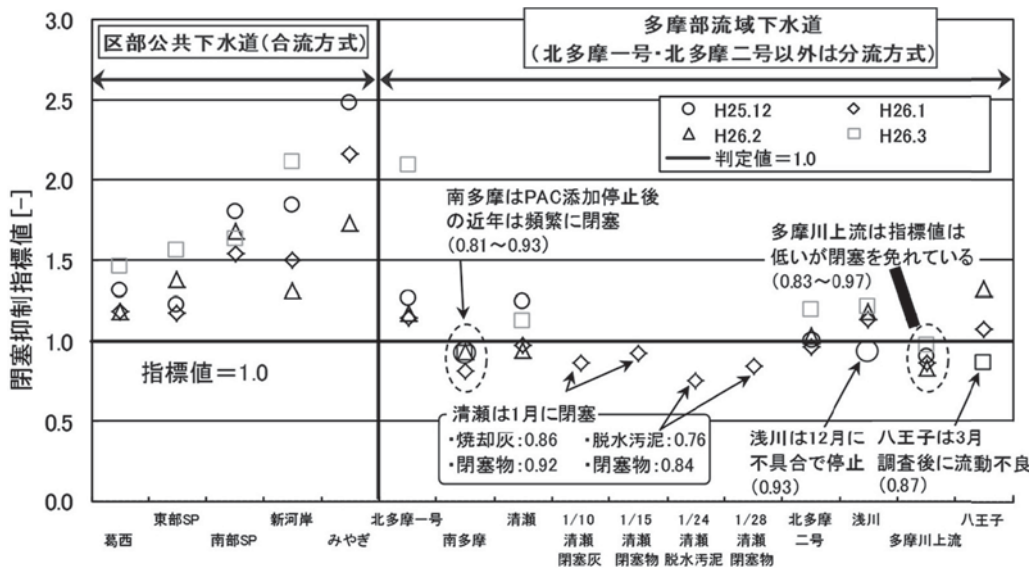


Fig. 2 Principle of blockage restraint by adding polyferric sulphate



*Arrowed plots is the index of ash with incinerator trouble

Fig. 1 Comparison of blockage prevention index between Wastewater treatment plants (H25.12~H26.3)

閉塞防止の原理を模式的に示した。

4. 焼却灰の色による金属含有薬剤添加制御

本調査で分析に供した焼却灰の一例を **Fig. 3** に示す。左から指標値が高い順に並べたものである。同じ水再生センターの焼却灰であってもその色合いは月によって異なり、例えば清瀬では12月は色が濃く（実際には茶色である）、冬期（1~3月）には色が薄く（白色）なり、指標値が低いほど、すなわち、金属に対するりん（リン）の比率が高いほど白色を帯びていることが分かる。また、 Fe_2O_3 が高いほど茶色を帯び、指標値が高いことが分かる。

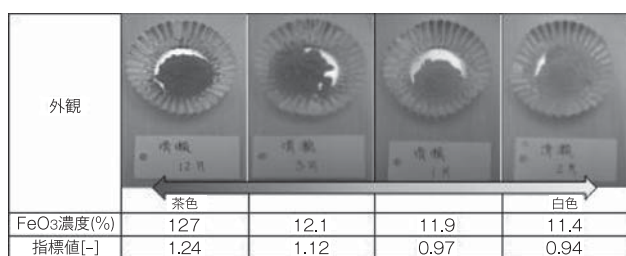


Fig. 3 Picture of ashes with various blockage prevention index

このことは、成分分析結果を待たずとも色によって焼却灰の指標値をある程度の精度で推定可能であることを示唆している。例えば、色を数値化するセンサーを用いて焼却灰の色を数値化し、指標値を推定したうえで、推定された指標値が1.0未満の場合には、ポリ鉄添加量を計算する演算システムと薬剤添加装置を含む制御系を構築することで、余裕をもって注入している薬剤コストを縮減するとともに、ポリ鉄添加によってもたらされると想定される硫酸腐食も軽減することができると考えられる。そこで、市販の画像センサーを応用し、色情報と閉塞抑制指標の関係について調査を行った。

Fig. 4 に今回使用した画像センサーの構成を示す。カメラ及び画像コントローラーは、キーエンス社製

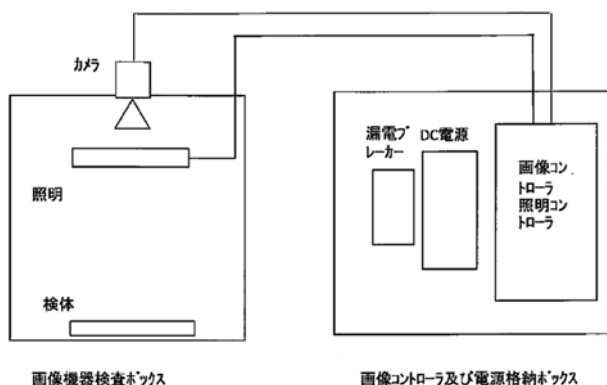


Fig. 4 Components of vision sensor for ash analysis

CV-X200 を用いた。このセンサーは、撮影した画像の赤(R)・緑(G)・青(B) 値及び色相(H)・彩度(S)・明度(V) 値を解析することができるものである。

平成 25 年 12 月から平成 28 年 2 月にかけて、南多摩、清瀬、浅川の 3 センターで採取された焼却灰の画像センサー測定値と閉塞抑制指標との関係を **Fig. 5** (RGB) と **Fig. 6** (HSV) に示す。

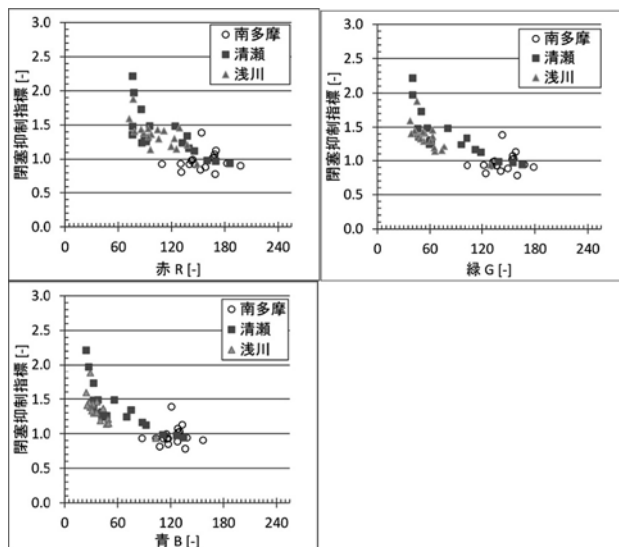


Fig. 5 Correlation between vision sensor R/G/B value and blockage prevention index

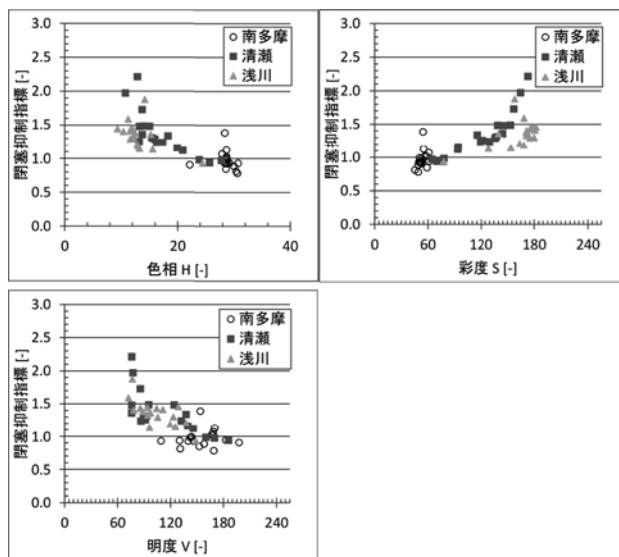


Fig. 6 Correlation between vision sensor H/S/V value and blockage prevention index

清瀬、浅川においては RGB それぞれの値が大きくなると閉塞抑制指標値が低下する傾向が確認された。ただし、南多摩はこの傾向に当てはまらず、RGB 値が常に高く指標値が低い値を示していた。また、RGB 値と閉塞抑制指標値との相関が見られた清瀬、浅川においても、それぞれ別々の曲線上に乗っており、

焼却灰の色と閉塞抑制指標値は水再生センター毎に関係式を作成することが必要であることが分かった。

次に HSV と閉塞抑制指標値との関係を見ると、清瀬、浅川においては色相値については大きく（赤から離れる）なるほど、彩度値については小さくなるほど、明度値については大きくなるほど閉塞抑制指標値は小さくなる傾向が見られた。南多摩については、色相、明度については相関は見られなかったが、彩度については、彩度値が小さくなると閉塞抑制指標値が小さくなる傾向が認められた。

以上の調査結果から、各水再生センターの閉塞抑制指標値を推定する方法として、画像センサーによる測定値のうち彩度 S を用いることが可能であることが見いだされた。推定した閉塞抑制指標値が 1.0 未満の場合には、必要な鉄含有薬剤添加量 T_{Fe} (kgFe/d) は薬剤添加前の焼却灰中りん濃度 (P_2O_5) を想定して、焼却灰発生量 T_{ASH} (kg/d) をもとに下式により算出することができる。

$$T_{Fe} = T_{ASH} \cdot (1 - X) \cdot \frac{2M(Fe) \cdot P_2O_5}{M(P_2O_5)}$$

M(Fe) : 鉄の分子量, M(P_2O_5) : 五酸化二りんの分子量

6. ま と め

焼却灰の成分分析結果と焼却炉の煙道閉塞発生状況から、閉塞危険性を評価する方法として閉塞抑制指標値を検討した。その結果、指標値が 1.0 未満の場合には閉塞等の危険性が高くなることから管理指標値として有効なことが分かった。また、閉塞抑制指標値と焼却灰の色に相関性があることから、成分分析結果を待たずとも、画像センサーによって色情報を測定することで焼却灰の閉塞抑制指標値を推定可能であり、必要な薬剤添加量を計算することができることを確認した。

東京都下水道サービス(株)は、東京都下水道局とともにこれらの知見を踏まえて汚泥焼却技術をより一層向上させることによって、高度処理の推進と汚泥焼却炉の安定稼働を図ることで、良好な水環境と環境負荷の少ない都市の実現に貢献していく。

参 考 文 献

- 1) 冠城敏之, 佐藤浩一, 原田隆之: 高度処理の推進と地球温暖化対策の両立に向けた課題と対応, 第 51 回下水道研究発表会要旨集
- 2) 特許番号 第 5881260 号 (2016)