

## 2-1-6 浅川水再生センターにおけるアルミニウム含有鉄剤の

### 注入調査

流域下水道本部 技術部 北多摩二号水再生センター  
引地 いづみ(現多摩川上流水再生センター) ○河野 里名

#### 1 はじめに

浅川水再生センター（以下、浅川）の焼却炉では、焼却灰中のりんが溶融した物質（以下、りん溶融物）により煙道閉塞が発生し、焼却炉の安定稼働に支障が生じている。

りん溶融物の発生を抑制するため、ポリ硫酸第二鉄（以下、ポリ鉄）を添加しているものの、りん溶融物が原因と考えられる煙道閉塞兆候が度々見られ、りん溶融を完全には防止できていない状況にある。

そこで、2023年9月からポリ鉄に代えて、アルミニウム含有鉄剤（以下、ポリ鉄A1）の添加を開始したところ、焼却炉の不調が改善され、安定運用を継続できたので、その取り組みと調査結果を報告する。

#### 2 浅川焼却炉の特徴と課題

##### 2.1 浅川焼却炉の概要

浅川は日野市の大部分と八王子市の一部の下水を処理する分流式の水再生センターである。浅川では、センター内の水処理で発生した汚泥の処理も行っており、脱水ケーキ発生量は年平均67t/日である。

焼却炉は、ターボ炉の1号炉（定格60t/日）と流動炉の2号炉（定格100t/日）を所有している。1号炉は表1に示す通り、電力使用量や都市ガス消費率は低く、運用コストが抑えられるものの、焼却量が脱水ケーキ発生量を下回り、焼却できない滞留汚泥が発生する。2号炉は運用コストが高いものの、焼却量が多く1号炉運用時の滞留汚泥の処理を進めることができる。そのため、浅川では1号炉と2号炉について概ね2～3か月ごとの交互運転を行っている。

表1 浅川焼却炉の概要

	炉の種類	運用時焼却量 (t/日)	電力使用量 (kWh)	都市ガス消費率 (Nm <sup>3</sup> /t)
1号炉	ターボ炉	60	4,700	7
2号炉	流動炉	70～85	10,300	19

##### 2.2 浅川焼却炉と煙道閉塞

浅川では、焼却炉1号炉・2号炉ともに煙道閉塞が課題となっている。

煙道閉塞は、焼却炉出口から集塵機までの煙道に堆積した焼却灰により、排ガスの流れが滞る現象である。堆積物が煙道を塞いでしまうと焼却炉は緊急停止する。煙道閉塞には、高温の炉内でりん溶融が起これば粘着性のある焼却灰が煙道に固着・堆積する場合（図1）と、密度の大きい焼却灰が空気の流れが遅い箇所では堆積する場合の2形態がある。

浅川焼却炉でのりん溶融による煙道閉塞の兆候には、余裕率（閉塞抑制指標値）が1を下回

ること、灰発生率が低下すること、粒径の大きな珪砂（図2）が排出されることの3点があり、この3つの事象が継続するときにはりん溶融による煙道閉塞が起きている可能性が高い。



図1 浅川1号炉煙道閉塞  
(2021年4月)



図2 粒径が増大した珪砂  
(正常な粒径は0.5 mm)

余裕率とは、焼却灰中のりんとりんの溶融を防止する金属類のモル比率で、以下の式1で表される。余裕率1以上はりんよりも溶融を防止することができる金属量が多く、りん溶融が起りにくいとされている。

$$\text{余裕率} = \left\{ \frac{\text{Fe}_2\text{O}_3}{\text{M}(\text{Fe}_2\text{O}_3)} \times 2 + \frac{\text{Al}_2\text{O}_3}{\text{M}(\text{Al}_2\text{O}_3)} \times 2 + \frac{\text{CaO}}{\text{M}(\text{CaO})} \times \frac{2}{3} + \frac{\text{MgO}}{\text{M}(\text{MgO})} \times \frac{2}{3} \right\} / \left\{ \frac{\text{P}_2\text{O}_5}{\text{M}(\text{P}_2\text{O}_5)} \times 2 \right\} \quad (\text{式1})$$

### 3 煙道閉塞防止のための添加剤

#### 3.1 添加剤によるりん溶融防止対策

汚泥中のりんの多くは、センター流入下水中の鉄やアルミニウムなどの金属類と結合し、融点の高い化合物を形成することで高温でも安定した状態にある。しかし、分流式のセンターは、鉄等の金属類の流入量が少ないため、汚泥中のりんがナトリウムやカリウムと結合して融点の低い化合物となる割合が高くなり、850℃以上の高温の炉内でりん溶融を起こす。

そこで、浅川では2019年度から分水槽でのポリ鉄添加を開始し、金属量を補うことで融点の低い化合物の生成を抑えている。さらに、焼却炉温度設定の見直し、煙道での堆積を防止するエアブラスターの設置など煙道閉塞防止に向けた対策を講じた結果、煙道閉塞による緊急停止は2022年度以降起きていない。

しかし、煙道閉塞が原因と考えられる焼却炉内の圧力変動や差圧の管理目標値超過は依然として続いており、焼却量の削減や珪砂の交換頻度を高めるなど、緊急停止を回避する対応が必要になっている。

#### 3.2 浅川でのりん溶融防止対策の課題と求められる対策

こうしたこれまでの対策と経験から、未解決の煙道閉塞兆候の原因が1号炉と2号炉では異なり、その解決方法も異なると考えられた。

1号炉では、自然運転等でフリーボード（以下、FB）温度が上がる時に煙道閉塞を起こすことから、高温の焼却炉で生成するりん溶融物が原因と考えられ、より高温で安定な化合物を生成する添加剤への変更が必要と考えられた。

一方、2号炉では、炉出口の煙道に焼却灰が堆積して煙道閉塞傾向になる。これは、ポリ鉄

添加によって焼却灰の密度が大きくなった重い灰が堆積することが原因と考えられる。そのため、添加しても焼却灰の密度が上昇しにくい添加剤が必要と考えられた。

### 3.3 添加剤の選定と調査評価方法

新しい添加剤の選定にあたっては、添加によって焼却灰が高温安定かつ密度が小さくなること、単価がポリ鉄と大きく変わらないこと、入手が容易であることなどを考慮し、条件に最も近い添加剤として「ポリ鉄 A1」を選定した。

ポリ鉄 A1 は鉄とアルミニウムを含む強酸性の液体で、りん溶融を防止する金属のモル数はポリ鉄が 2.0mol/kg、ポリ鉄 A1 は 1.8mol/kg でポリ鉄 A1 低くなっているものの、アルミニウム添加で生成する焼却灰はポリ鉄添加の灰に比べて、高融点で密度が小さいと考えられる。

表 2 添加剤の金属量（検査証明書抜粋）

	成分割合		モル数 (mol/kg)
	全鉄 (%)	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (%)	
ポリ鉄	11.3	-	2.0
ポリ鉄A1	5.7	4.0	1.8

ポリ鉄 A1 添加の有効性を確認するために、ポリ鉄添加時との比較調査を以下の 3 点について行った。また、調査期間の添加剤の種類を表 3 に示す。

- ① 焼却灰の高温安定性と 1 号炉運用状況の変化
- ② 焼却灰の密度軽減効果と 2 号炉運用状況の変化
- ③ 薬剤添加量の違いと薬品費

表 3 添加剤の種類と添加量

2022年度		2023年度											2024年度										
2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月	6月	7月	8月	9月	10月	11月		
ポリ鉄							ポリ鉄A1				ポリ鉄		ポリ鉄A1										

## 4 結果

### 4.1 焼却灰の高温安定性の変化と 1 号炉運用状況

#### 4.1.1 電気炉を用いた溶融状況

ポリ鉄添加とポリ鉄 A1 添加の焼却灰について高温焼却時の性状の変化を調べた。

りん溶融を起こしていない 2 号炉の焼却灰を磁皿に満たし、試験室の電気炉で 10 分加熱して、りん溶融状況を確認した。

試料の採取日は、ポリ鉄添加は 2023 年 7 月 18 日、ポリ鉄 A1 添加は 2024 年 7 月 26 日であり、余裕率はいずれも 1.05 である。電気炉の燃焼温度は 875℃ と 890℃ とした。875℃ は炉内で最も高温である FB 中部の日平均温度、890℃ は 1 号炉を約 2 か月間運用した際の炉内最高温度をそれぞれ想定している。

図 3 に燃焼後の焼却灰の様子を示す。燃焼温度 875℃ の場合は、ポリ鉄添加の試料には多くの塊が見られたが、どれもピンセットでつかむことができないほど柔らかい性状だった。ポリ鉄 A1 添加の試料には、変化が見られず粉末状だった。このことから、炉内温度 875℃ では、ポリ鉄の場合は焼却炉の空気の流れにより塊が崩れる性状であり、ポリ鉄 A1 は性状に変化のない

ことから、どちらもりん溶融を防止できていると考えられた。

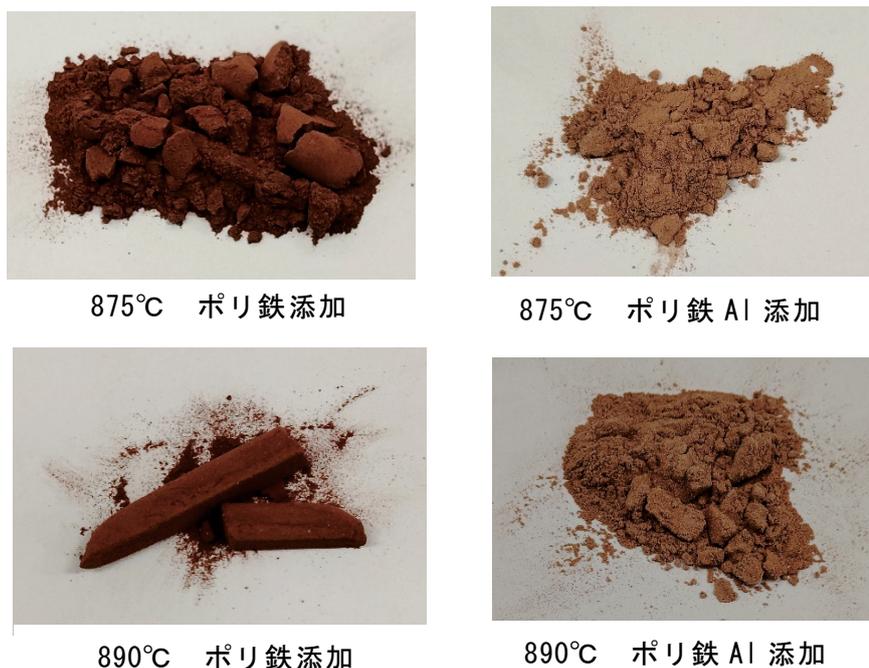


図 3 電気炉における焼却灰のりん溶融実験

焼却温度 890°C の場合は、ポリ鉄添加の試料では、容器と同じ形の赤みがある硬い固体になったが、ポリ鉄 Al 添加の試料では、多くは粉末状だった。このことから、焼却炉運転時に何らかの要因で炉内温度が 890°C になった場合、ポリ鉄ではりん溶融が発生するがポリ鉄 Al はりん溶融を起こさず、安定した焼却炉の運用が可能であると考えられた。

#### 4.1.2 1号炉運用状況の変化

焼却炉で煙道閉塞が起きると閉塞箇所の前後で通常とは異なる圧力差が生じる。1号炉は煙道閉塞の早期把握のため、炉出口・流動空気予熱器・ろ過式集塵機の3か所の圧力差を求めて閉塞基準値を設定している（表4）。

1号炉は、自燃運転時に煙道閉塞傾向になることが多い。そこで、ポリ鉄とポリ鉄 Al の自燃運転時の状況を調べた（表5）。

ポリ鉄添加時は、2時間以上の自燃運転だった4回とも3つの判断基準のいずれかが超過していたことから、ポリ鉄添加は自燃運転となると、毎回煙道閉塞傾向になり、運用が不安定になると言える

一方、ポリ鉄 Al 添加では、自燃運転回数は11回あったが、圧力差が判断基準を超過したことはなかった。これは、ポリ鉄 Al 添加の焼却灰が高温でも溶融しないため、自燃運転でも運用が安定していたためと考えられた。

表 4 1号炉煙道閉塞判断基準値

表 5 自燃運転時の閉塞基準超過

差圧計算式	閉塞基準値
炉出口圧力－予熱器圧力	3 kPa以上
予熱器圧力－集塵機圧力	4 kPa以上
炉出口圧力－集塵機圧力	6 kPa以上

	自燃回数	閉塞基準 超過回数
ポリ鉄	4	4
ポリ鉄A1	11	0

## 4.2 焼却灰の密度軽減効果と2号炉の運用状況

### 4.2.1 2号炉焼却灰の密度測定

浅川2号炉の焼却灰の密度を簡易法（測定容器にふるいを用いて焼却灰を均一に入れて測定）で測定した。

測定試料は余裕率が1.02～1.08の適正範囲内にあるものをそれぞれ10検体とした。ポリ鉄の結果を図4、ポリ鉄A1の結果を図5に示す。

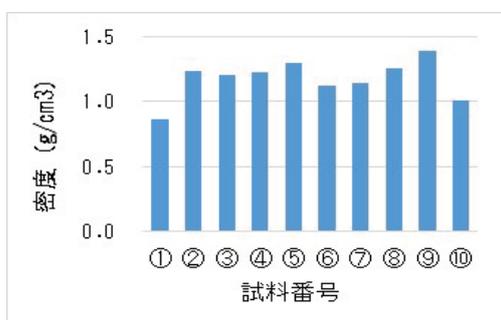


図4 ポリ鉄添加時の焼却灰密度

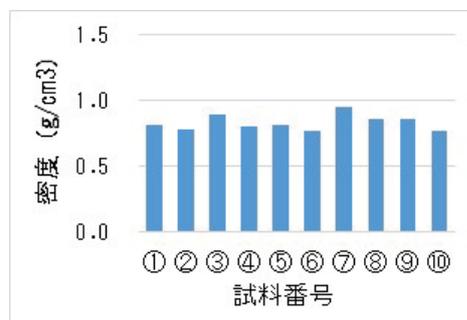


図5 ポリ鉄A1添加時の焼却灰密度

ポリ鉄添加の焼却灰の密度は平均で1.2g/cm<sup>3</sup>、ポリ鉄A1添加の焼却灰は0.8g/cm<sup>3</sup>だった。ポリ鉄A1添加の焼却灰はポリ鉄添加よりも密度が30%小さく、ポリ鉄A1添加の焼却灰は軽く、煙道に堆積しにくいと考えられた。

### 4.2.2 2号炉煙道での焼却灰堆積量の変化

2号炉煙道での焼却灰堆積状況の変化を確認した。

2号炉は焼却灰が堆積する炉出口の煙道部分に窓が設置され、煙道の8～9割ほどを焼却灰が塞ぐと焼却灰の堆積を目視できる構造になっている。ポリ鉄添加時は運用開始後しばらくして堆積が確認され、その後も常に目視可能な状況にあったが、ポリ鉄A1添加時は合計220日間の運用で堆積は一度も確認されていない。

2号炉は、ポリ鉄A1添加に伴う堆積灰の減少によって、焼却炉内圧力の変動が収まり、運用が安定するようになった。

## 4.3 薬剤添加量の違いと薬品費

ポリ鉄添加とポリ鉄 A1 添加について添加量（表 6）と薬品費を比較した。

ポリ鉄は 2023 年 2～8 月、ポリ鉄 A1 は 2024 年 2～8 月のいずれも 7 か月間の添加量の平均値で、この期間の余裕率はいずれも 1.03 だった。

添加量は、ポリ鉄の 2,100kg/日に対して、ポリ鉄 A1 は 2,400kg/日で、ポリ鉄 A1 の添加量が 1 日 300kg（14%）多かった。

年間の薬品費はポリ鉄添加で 2,670 万円/年、ポリ鉄 A1 添加で 3,050 万円/年と試算され、ポリ鉄 A1 添加は年間 380 万円薬品費が増加していた。

表 6 ポリ鉄とポリ鉄 AL の添加

	添加量 (kg/日)	余裕率
ポリ鉄	2,100	1.03
ポリ鉄A1	2,400	1.03

## 5 まとめ

りん溶融防止薬剤をポリ鉄からポリ鉄 A1 に変更したことで、以下のことが確認された。

### ①焼却灰の高温安定性と 1 号炉運用状況の変化

- ・ポリ鉄 A1 添加の焼却灰は 890℃でりん溶融を起こさず、高温での安定性が確認された。
- ・1 号炉はポリ鉄 A1 添加によって自燃運転時も運用が安定し、煙道閉塞傾向が改善した。

### ②焼却灰の密度軽減効果と 2 号炉運用状況の変化

- ・ポリ鉄 A1 添加灰の密度は、ポリ鉄添加灰より 30%小さかった。
- ・ポリ鉄 A1 添加灰は、2 号炉煙道で堆積しにくく、2 号炉は運用が安定した。

### ③薬剤添加量と薬品費

- ・ポリ鉄 A1 の添加量はポリ鉄よりも多く、1 日の使用量は 14%増加した。
- ・ポリ鉄 A1 添加による薬品費は年間 380 万円増加すると試算された。

## 6 今後の方針

- ・1 号炉・2 号炉ともにポリ鉄添加よりもポリ鉄 A1 添加の方が焼却炉を安定的に運用できる結果が得られたため、浅川ではポリ鉄 A1 添加を継続することとする。
- ・ポリ鉄 A1 添加のりん溶融防止効果を活かし、焼却炉の炉内温度を高めて N<sub>2</sub>O 排出量削減の取り組みを進めていく。

## <参考文献>

「アルミニウム含有鉄剤の注入による焼却炉の煙道閉塞防止効果の検証」

流域下水道本部 河内 奨 日鉄鉱業株式会社 長島 悠真、近藤 伸哉、糠谷 禎治  
2021 年度東京都下水道局技術調査年報