

## 2-3-2 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

### 果の検証

担当者 流域下水道本部技術部施設管理課 河内 奨、斎藤 慎哉  
廣繁 直治  
(現 流域下水道本部技術部清瀬水再生センター)  
日鉄鉱業株式会社 長島 悠真、近藤 伸哉、糠谷 禎治

#### 1. はじめに

流域下水道本部水再生センターの汚泥焼却炉では、水処理における高度処理化率の向上に伴って生じた汚泥中のりん含有率の増加や、 $N_2O$  ガスの排出量削減を目的とした高温焼却の影響と考えられる煙道閉塞が発生し、安定稼働を妨げる最大の要因となっている。煙道閉塞が発生しやすい分流式の水再生センターでは、発生防止対策としてポリ硫酸第二鉄（以下「ポリ鉄 R」という。）を流入下水に注入することでりん酸性りんをりん酸鉄として固定し、煙道閉塞の原因物質と考えられるりん由来の低融点熔融物質の生成を抑制してきた。

しかし、ポリ鉄 R を注入した焼却灰においても  $900^{\circ}C$  前後で熔融しやすくなることを実験的に確認していることから、炉内の局所的な高温部分で熔融が生じている可能性がある。また、焼却灰中に移行した鉄分の影響による灰比重の増加も観察されており、煙道中の排ガス流速が低下する箇所における堆積の要因の一つとして考えられた。煙道閉塞は、外気温が低く降水量が少ない冬期に生じやすいことも特徴である。

そこで、焼却灰の灰比重低減化と熔融特性の改善（高融点化）の双方を満足するアルミニウム含有鉄剤（以下「ポリ鉄 AL」という。）を開発し、運転管理に与える影響について検証した。

なお、本研究は、日鉄鉱業株式会社と簡易提供型共同研究として実施したものである。

#### 2. 試験概要

##### 2.1 検証した水再生センターの処理フロー

共同研究を実施した A 水再生センター（分流式・流動床炉、以下「A」という。）の処理フローを図 1 に示す。

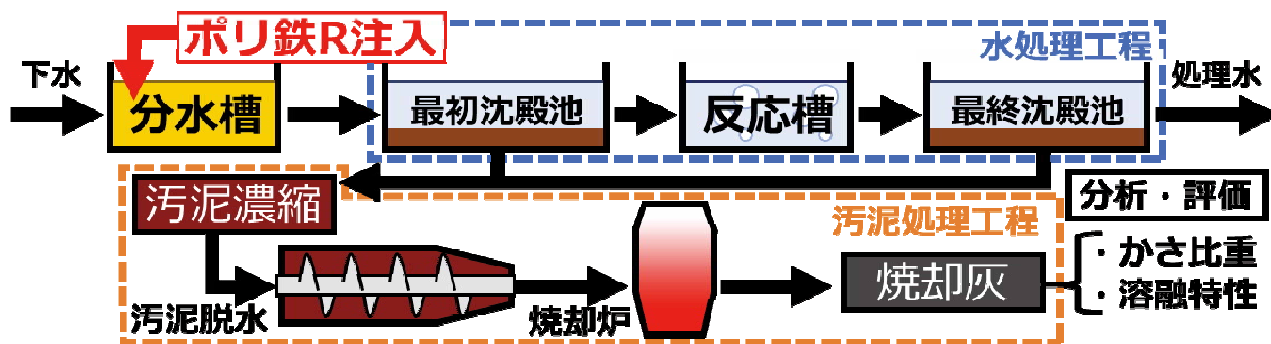


図1 A水再生センターの処理フロー

## 2.2 開発したポリ鉄ALの主な仕様

本研究では、アルミニウムの特性に注目してポリ鉄ALを開発した。開発した薬剤の主な仕様を表1に示す。本薬剤では、比重の小さいアルミニウムの含有率が増加することで、灰比重低減化による流動性の向上が期待できる。また、アルミニウムとリン酸を反応させ、りん酸アルミニウム ( $AlPO_4$ ：融点  $1800^{\circ}C$ 以上) を生成することで、焼却灰の高融点化による閉塞リスクの軽減が期待できる。さらに、従来品のポリ鉄Rの一部の鉄分をアルミニウムに置き換えた薬剤のため、現在使用中のポリ鉄Rからの切り替えも容易である。

表1 本研究で開発したポリ鉄ALの主な仕様

	全鉄 (T-Fe)	酸化アルミニウム ( $Al_2O_3$ )
ポリ鉄R (従来品)	11%<	—
ポリ鉄AL (開発品)	6.0%<	3.5%<

## 2.3 調査方法

本研究は、以下の手順で検証した。各調査期間を表2に示す。

表2 各検証の調査期間

検証	期間
事前検証	2022.5.15~8.5
Run1	2022.10.7~11.7
Run2	2023.1.17~2.14

### 2.3.1 事前検証：ポリ鉄R (従来品) の注入による焼却灰の性状確認

ポリ鉄ALの使用に先立ち、ポリ鉄Rの使用によって生じるAの焼却灰と、ポリ鉄Rを使用していないB水再生センター (合流式・流動床炉、以下「B」という。) の焼却灰について、性状 (灰比重、余裕率、溶融特性等) を確認した。余裕率は、焼却灰中に含まれる4種の金属 (Mg, Al, Ca, Fe) のモル数をりん (P) のモル数で除したもので、数値が高いほど閉塞が生じにくい (当局が、閉塞抑制指標として考案)。ポリ鉄R注入による管理目標値は、通常  $0.9 \sim 1.1$  に設定している。

### 2.3.2 Run1：ポリ鉄 AL の使用に伴う影響確認および適用調査

A においてポリ鉄 R の現行の注入量を基準としてポリ鉄 AL の注入量を変化(65～90 L/h)させ、処理機能に対する影響と焼却灰の性状を確認した。

### 2.3.3 Run2：ポリ鉄 AL を用いた適用調査

A においてポリ鉄 AL の注入量を現行のポリ鉄 R と同等量に設定し、冬期における効果を検証した。

焼却灰の性状確認では、灰比重として、測定容器に「ゆるく」充填して測定した比重（ゆるみかさ比重）、測定容器を「タッピングしながら」充填して測定した比重（固めかさ比重）を測定した。また、示差熱分析（DTA）を行い、検出した吸熱ピーク温度を溶融ピーク温度として溶融特性を考察した。示差熱分析には株式会社リガク製 TG-DTA8122 型を用いた。

## 3. 試験結果

### 3.1 灰比重

#### 3.3.1 事前検証：ポリ鉄 R（従来品）の注入による焼却灰の性状確認

得られた焼却灰の性状（ゆるみかさ比重、固めかさ比重）を表 3 に示す。分析結果から、A 焼却灰は B 焼却灰と比較すると、管理目標値内ではあるものの余裕率が低く、かさ比重が大きく灰比重が増大していたことから、煙道閉塞を生じやすい性質であることが確認された。

表 3 事前検証で得られた焼却灰の性状

	ゆるみかさ比重	固めかさ比重	余裕率
A 焼却灰(ポリ鉄 R 使用)	0.657	1.037	0.98
B 焼却灰(ポリ鉄 R 未使用)	0.453	0.792	1.59
A/B	1.45	1.31	0.62

#### 3.3.2 Run1：ポリ鉄 AL の使用に伴う影響確認および適用調査

ポリ鉄 AL について 90 L/h の注入量でも処理機能に影響がないことを確認した上で、現行のポリ鉄 R と同等の注入量（65 L/h）における注入効果を比較した。比較した焼却灰の性状を表 4 に示す。ポリ鉄 AL 65 L/h 注入では、ポリ鉄 R 65 L/h 注入時と比較して余裕率は低下したものの、ゆるみかさ比重で 28%、固めかさ比重で 16%の低減効果があり、灰比重の低減が確認され、焼却灰の堆積による煙道閉塞に対して抑制効果が期待できる結果となった。

表 4 Run1 で得られた焼却灰の性状

	ゆるみかさ比重	固めかさ比重	余裕率
ポリ鉄 AL 65 L/h	0.471	0.868	0.89
ポリ鉄 R 65 L/h	0.657	1.037	0.98
改善効果（対ポリ鉄 R）	28%低減	16%低減	9%減少
改善効果（対 B 焼却灰）	4%増加	10%増加	44%減少

#### 3.3.3 Run2：ポリ鉄 AL を用いた適用調査（冬期）

Run1 の結果からポリ鉄 AL の注入量を 65 L/h として、煙道閉塞が生じやすい冬期における注入効果の検証を行った。得られた焼却灰の性状を表 5 に示す。

ポリ鉄 R との比較では、ゆるみかさ比重で 23%、固めかさ比重で 16% の低減効果が得られ、ポリ鉄 AL の効果を再確認できた。一方、Run2 で得られたゆるみかさ比重と固めかさ比重は、事前検証と Run1 で得られた数値より最大で 1.5 倍程度高くなっており、焼却灰の性状が季節変動している可能性が考えられた。

表 5 Run2 で得られた焼却灰の性状

	ゆるみかさ比重	固めかさ比重	余裕率
ポリ鉄 AL 65 L/h	0.702	1.072	1.02
ポリ鉄 R 65 L/h	0.907	1.270	1.06
改善効果（対ポリ鉄 R）	23%低減	16%低減	4%減少

### 3.2 溶融特性

示差熱分析による結果を表 6 に示す。各検証で比較した焼却灰の溶融ピーク温度差を基に溶融特性を考察した。

#### 3.3.1 事前検証：ポリ鉄 R（従来品）の注入による焼却灰の性状確認

事前検証の結果から、ポリ鉄 R を使用している A 焼却灰は、ポリ鉄 R を使用していない B 焼却灰よりも溶融ピーク温度が約 140℃ 高くなっており、ポリ鉄の使用による高融点化を確認した。

#### 3.3.2 Run1：ポリ鉄 AL の使用に伴う影響確認および適用調査

Run1 では、ポリ鉄 AL の注入で得られた焼却灰は、ポリ鉄 R 使用時のものより約 50℃ 高く、ポリ鉄 AL の使用によりポリ鉄 R より高融点化したことを確認した。

#### 3.3.3 Run2：ポリ鉄 AL を用いた適用調査

冬期における効果を検証した Run2 では、ポリ鉄 AL の注入で得られた焼却灰は、ポリ鉄 R 使用時のものより約 30℃ 高く、冬期においてもポリ鉄 AL の使用による高融点化が確認された。一方、ポリ鉄 R 使用時の焼却灰は、夏期に実施した事前検証におけるポリ鉄 R 使用時の焼却灰と比較すると約 40℃ 低下しており、低水温期である冬期では、低融点化するなど季節によって溶融特性が変動している可能性が示唆された。

表 6 示差熱分析による結果

調査	比較項目	溶融ピーク温度差
事前検証	A 焼却灰（対 B 焼却灰）	+140℃
Run1	ポリ鉄 AL（対ポリ鉄 R）	+50℃
Run2	ポリ鉄 AL（対ポリ鉄 R）	+30℃
	冬期ポリ鉄 R（対夏期）	-40℃

※温度差は 10℃ 単位で表示

### 3.3 煙道閉塞の抑制・運転管理への影響

ポリ鉄 AL の注入期間において焼却炉の煙道閉塞は生じることはなく、放流水中への T-Fe（全鉄）、T-Al（全アルミニウム）の流出も確認されなかったことから、運転管理や放流水質への影響は無いものと判断した。

#### 4. 維持管理コスト

ポリ鉄 AL の薬剤コストはポリ鉄 R の約 10%増と試算されたが、使用によって焼却炉の安定運転を実現できれば、相互焼却に伴う汚泥搬送費用や他の炉を立ち上げる際に必要な補助燃料の削減が可能になるとともに、温室効果ガスの排出量削減にも寄与できるため、十分なコストメリットが得られるものと考えられた。

#### 5. まとめ

##### 5.1 灰比重の改善

ポリ鉄 AL はポリ鉄 R と同等の注入量（65 L/h）において、ポリ鉄 R に対してゆるみかさ比重で最大 28%、固めかさ比重で 16%の低減効果があることを確認した。

##### 5.2 溶融特性の改善

示差熱分析の結果から、高温側に改善したことを確認した。

##### 5.3 煙道閉塞の抑制

ポリ鉄 AL の使用期間中に煙道閉塞は発生しなかった。

##### 5.4 上記以外の知見

溶融特性と灰比重に関して、季節によって得られた数値に差が生じていることを確認した。冬期において溶融点の低下と灰比重の増加が同時に生じることで、外気温の低下による煙道の冷却による影響と共に、煙道閉塞が誘発されやすい可能性が新たに示唆された。

##### 5.5 今後の検討予定

現在、本開発薬剤（ポリ鉄 AL）を既存の流動床炉と比較して燃焼温度が 200℃以上高いストーカ炉に対しても適用できないか検討中である。また、検証に当たっては、ポリ鉄 AL の長期間使用による効果や薬剤中のより最適なアルミニウム含有率についても検討を進めていく予定である。