

2-1-1 下水処理水の利活用に向けた臭気低減化手法の検討

計画調整部 技術開発課 有野 貴
葛西 孝司

1. はじめに

下水道局では、下水処理水をセラミックろ過及びオゾン処理した再生水をトイレ用水や車両洗浄用水等として周辺のビルや事業者へ供給している。また、清流復活事業では、再生水は枯渇した河川へ放流するなど水辺環境の創生にも利活用されている。さらに今後は、世界的な水需要の高まりから、下水処理水や再生水の有効的な利活用が求められる。

その一方で、下水処理水は、流入下水とは異なる特有な臭気を有するため、時として臭気苦情の原因となることや、下水処理水や再生水の利活用の障害となることから、その臭気の低減が望まれるが、臭気の発生抑制及び低減化手法が確立されていないのが現状である。

したがって当調査では、臭気低減化手法として、陰イオン交換樹脂による吸着除去手法、ポリ塩化第二鉄（以下、「ポリ鉄」）による凝集沈殿除去手法の2手法について検討したため、その結果を報告する。

2. 調査方法

2.1 臭気低減手法の概要

過去の調査¹⁾から、下水処理水の臭気原因物質は表1に示す5物質が主に関与していることが判明した。これらの臭気原因物質は、ヒドロキシ基やクロロ基を有し、マイナスに帯電しており揮発性を有するため、陰イオン交換樹脂による吸着除去手法とポリ鉄による凝集沈殿除去手法が有効であると考えた。

表1 下水処理水の臭気原因物質

物質名	臭気の質
2-MIB	カビ臭
ジェオスミン	
2,4,6-トリクロロアニソール	
ダマスコン	芳香臭
ガラクソリド	

2.2 臭気低減化の評価手法

臭気強度（下水試験方法による臭気強度（TON））を測定するには高度で熟練した技術を持つ試験者と多大な測定時間を要することや臭気強度は下水処理水特有の臭気以外の臭気を感じる倍率を算出することから、直接的に臭気強度を評価項目に用いることは不適であると考えたため、臭気強度に代替する指標項目を検討した。臭気原因物質は有機物であることから、全有機炭素（以下、「TOC」）やTOCと酸添加ばっ気したTOC（以下、

「TOC_{acid}」の差、色度（λ = 436nm, 525nm, 620nm）などの指標項目を検討したが、単独での臭気強度との関係性は希薄であった。そこで、臭気強度と TOC、TOC_{acid}、色度（λ = 436nm）の 3 項目（以下、「指標項目」）による重回帰分析を実施した（標本数：25）。その結果、式(1)により臭気強度を算出し、臭気低減化手法の評価を行うこととした。

$$[\text{臭気強度}] = 2.51X_1 + 1.82X_2 + 31.1X_3 \quad \dots \text{式(1)} \quad (\text{重決定係数 } R^2 = 0.8959)$$

X_1 : TOC, X_2 : TOC_{acid}, X_3 : 色度（λ = 436nm）

2.3 陰イオン交換樹脂による吸着除去手法

(1) 調査方法

陰イオン交換樹脂は、アンバーライト IRA958C1（オルガノ（株）社製）を用いた。陰イオン交換樹脂の性能を安定化する目的で、活性汚泥処理を施した下水処理水を陰イオン交換樹脂に 1 週間程度通水（SV=50 程度）し、再生する工程を 2 回実施した後に調査を実施した。調査は、同時に採水した下水処理水と陰イオン交換樹脂通過後の処理水（以下、「イオン交換水」）の指標項目を分析及び臭気強度を算出し、その低下率により評価した。これらの調査を 2 回行い、それぞれの調査日の午前と午後に分けて試料採取を実施した。なお、2 調査日の間隔は 2 日とした。

(2) 調査結果

調査結果を図 1 に示す。調査日毎に下水処理状況等が異なるため、下水処理水の算出臭気強度にも変動は見られるが、臭気強度の低減化率はおおむね 40～60% の範囲で推移していた。run2 の下水処理状況が芳しくなく、下水処理水の TOC や色度等の指標項目は run1 と比較し、1.8 倍程度となっており、その結果、臭気の高減化率も低い結果となった。

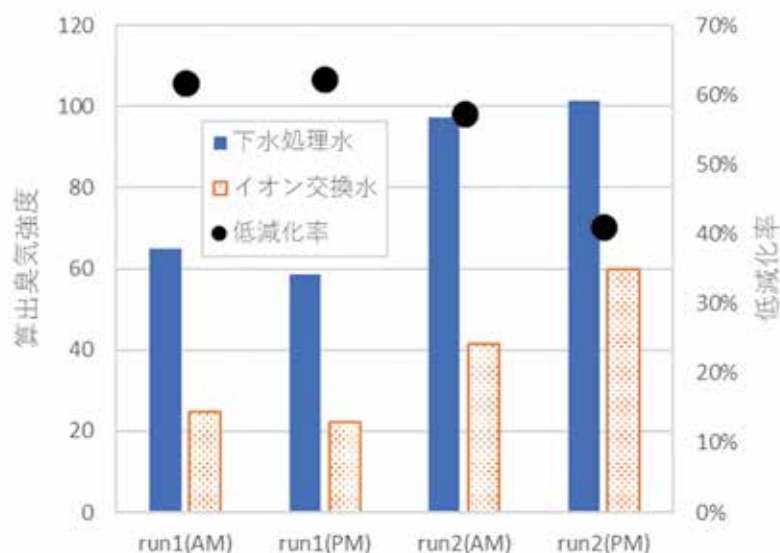


図 1 陰イオン交換樹脂による臭気低減化の効果

2.4 ポリ鉄による凝集沈殿除去手法

実施設における調査の事前検討として、ポリ鉄の注入率をテーブル実験で決定した後、芝浦水再生センター東系水処理施設において実施した。

2.4.1 ポリ鉄注入率の決定

(1) 調査方法

活性汚泥混合液にポリ鉄を注入率 0, 20, 40, 60, 80, 100ppm の 6 段階で注入し、上澄液を 0.45 μ m メンブレンフィルターでろ過した後、それぞれの指標項目を分析及び臭気強度を算出した。また、ポリ鉄の凝集効果の比較対象として PAC 注入系を同様の手順で測定した。

(2) 調査結果

調査結果を図 2 に示す。PAC 注入系と比較し、ポリ鉄注入系は、臭気低減化効果が得られることを確認できた。また、ポリ鉄の注入率を高めていくにつれて臭気低減化効果は大きくなっていった。また、算出臭気強度は、注入率 100ppm まで低下し続けたが、指標項目の一つである色度の低下が鈍化したことから、ポリ鉄の適正な注入率は、100ppm とした。

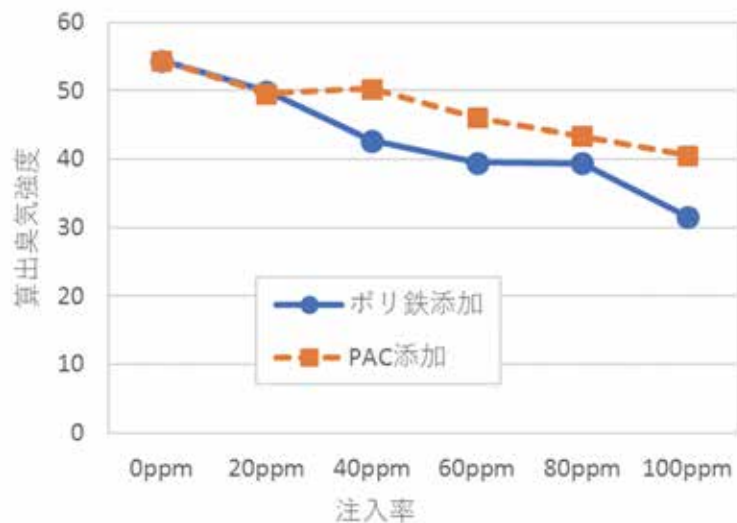


図 2 凝集剤注入率に対する臭気強度の変化

2.4.2 実施設におけるポリ鉄注入による臭気低減化効果の検証

(1) 調査方法

調査対象施設は、芝浦水再生センター東系水処理施設とした。施設概要を表 2 に示す。また、ポリ鉄は、活性汚泥混合液とポリ鉄を十分に混合し、反応させるため、図 3 に示す地点に注入した。

調査は、ポリ鉄注入期間 3 日間、無注入期間 4 日間を 1 クールとし、3 クール繰り返した。試料は、ポリ鉄抽入開始前と停止前、3 クール終了後 3 日後（「無注入④」と表記）にそれぞれ採取した。

表 2 水処理施設概要

処理方式	嫌気好気法
処理能力 [m ³ /日]	150,000 (50,000m ³ /日×3 槽)
反応タンク形状	W×L×D : (9.0m×2 回路) ×65.0m×D11.2m

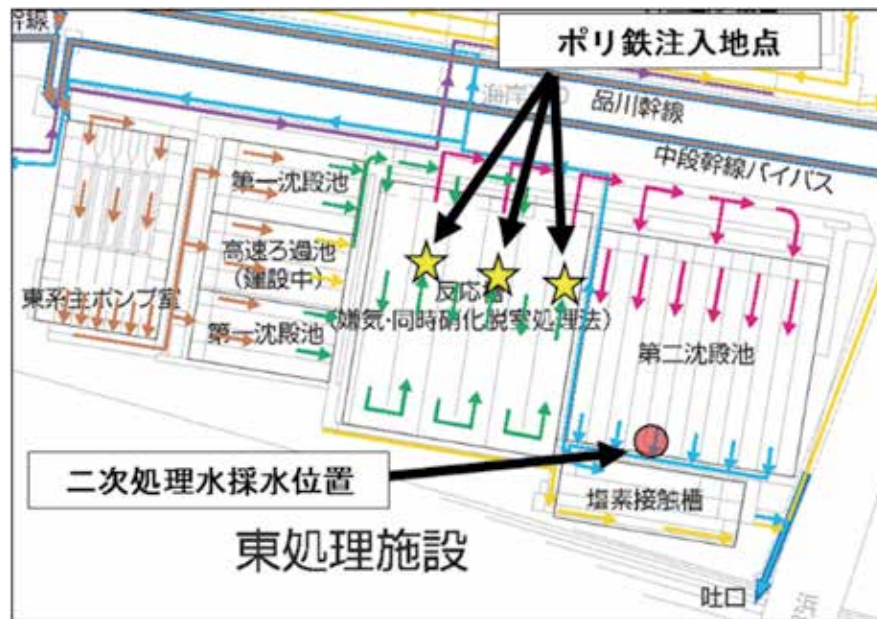


図3 芝浦水再生センター施設概要図

(2) 調査結果

まず、算出臭気強度の調査結果を図4に示す。ポリ鉄を注入することで、二次処理水の臭気強度は、平均で21低下し、約3割の臭気低減化効果が得られた。

クール間によって低減化効果に差がみられた。この理由として、ポリ鉄の注入には定量ポンプを用い、一定量連続注入していたため、流入水量や流入基質の変動によるものであると考えられる。

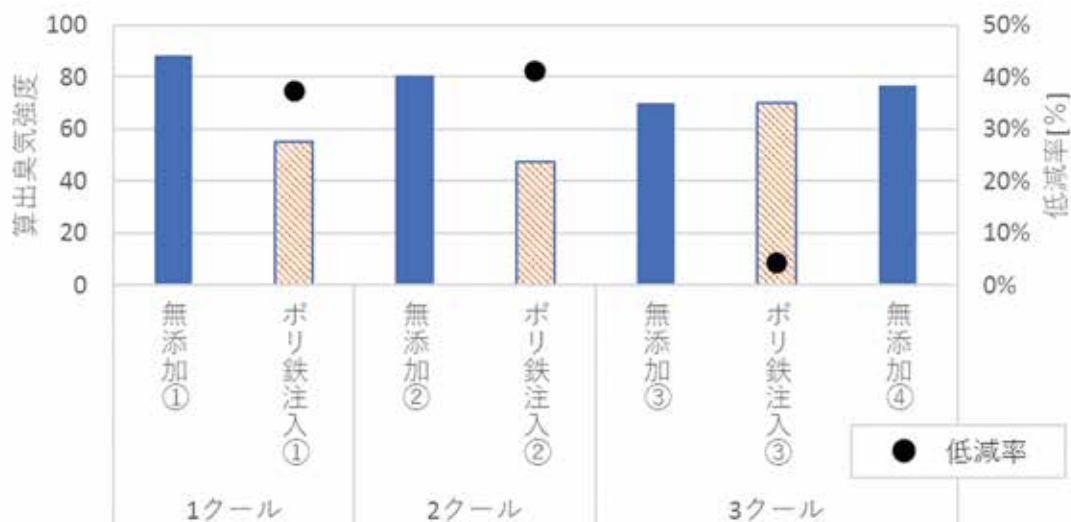


図4 ポリ鉄注入による臭気低減化効果

3. まとめ

3.1 臭気成分による比較

それぞれの臭気低減化手法において、処理前後の表1に示した臭気原因物質濃度を表3、表4に示す。調査場所が異なるため、含有する臭気原因物質も異なる傾向が得られた。2手法ともジェオスミンの低減化効果は低かったが、ガラクソリドの低減化効果は確

認できた。さらに、吸着除去手法ではダマスコンの低減化効果が低い一方で、凝集沈殿除去手法ではダマスコンへの低減化効果が得られることが分かった。

表 3 吸着除去手法の臭気原因物質濃度

臭気原因物質濃度 [$\mu\text{g/L}$]	無添加	ポリ鉄添加
2-MIB	0.028	0.010
ジェオスミン	0.013	0.012
2,4,6-トリクロロアニソール	0.004	0.004
ダマスコン	0.21	0.15
ガラクソリド	5.2	4.5

表 4 凝集沈殿除去手法の臭気原因物質濃度

臭気原因物質濃度 [$\mu\text{g/L}$]	下水処理水	イオン交換水
2-MIB	<0.001	<0.001
ジェオスミン	0.003	0.003
2,4,6-トリクロロアニソール	<0.001	<0.001
ダマスコン	0.37	0.36
ガラクソリド	3.2	1.6

3.2 臭気低減化効果の比較

陰イオン交換樹脂による吸着除去手法の平均低減化率は54%であり、ポリ鉄による凝集沈殿除去手法の平均低減化率は27%であった。このことから、陰イオン交換樹脂を用いた吸着除去手法のほうが、臭気低減化効果が高いことがわかった。

3.3 まとめ

当調査で検討した臭気低減化手法について、一定の低減化効果が得られることがわかった。検討した臭気低減化手法は、低減化する臭気原因物質の種類や導入する施設における周辺環境や処理状況等に応じた選択を行うことで、性能を発揮できると考える。

参考文献

- 1) 有野 貴、葛西 孝司：水処理過程における臭気物質の挙動調査について、東京都下水道局技術調査年報、2019年