

## 〈研究発表〉

### 担体添加活性汚泥法における、オゾンによる汚泥減量化試験

芳住 啓輔<sup>1)</sup>, 藤原 翔<sup>2)</sup>, 平林 和也<sup>3)</sup>, 佐藤 明雄<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> (株)安川電機 システムエンジニアリング事業部 環境システム技術課  
(〒824-8511 福岡県行橋市西宮市二丁目13番1号 E-mail: Keisuke.Yoshizumi@yaskawa.co.jp)

<sup>2)</sup> (株)安川電機 システムエンジニアリング事業部 環境システム技術課  
(〒824-8511 福岡県行橋市西宮市二丁目13番1号 E-mail: Sho.Fujiwara@yaskawa.co.jp)

<sup>3)</sup> (株)安川電機 システムエンジニアリング事業部 環境システム技術課  
(〒824-8511 福岡県行橋市西宮市二丁目13番1号 E-mail: Kazuya.Hirabayashi@yaskawa.co.jp)

<sup>4)</sup> (株)安川電機 システムエンジニアリング事業部 社会・環境システム技術部 部長  
(〒824-8511 福岡県行橋市西宮市二丁目13番1号 E-mail: Akio.Sato@yaskawa.co.jp)

#### 概要

下水処理場や工場廃水処理場で発生する汚泥は、処分地やゼロエミッションの観点から、発生量の削減が求められている。削減方法には汚泥の脱水や汚泥可溶化技術を用いた減量化などがある。汚泥可溶化技術を用いた減量化は、有機性廃水処理をしている下水処理場や食品廃水処理場などに適用されている。

当社はオゾンを用いた汚泥減量化装置を開発した。これは汚泥可溶化技術としてオゾンの酸化力を用い、汚泥減量化を狙ったものである。

本稿では、担体添加活性汚泥法に当社汚泥減量化装置を適用したフィールド試験について紹介する。

キーワード：廃水処理, 廃棄物, オゾン, 汚泥減量, ゼロエミッション

## 1. ま え が き

下水や工場の廃水処理では、活性汚泥（微生物）を利用した処理（浄化）法が広く普及している。活性汚泥を利用した処理法では、一般的に余剰汚泥が発生する。発生した余剰汚泥は、濃縮、脱水、焼却などの処理をして処分されている。その一部は資源化など再利用されているものもあるが、一方では産業廃棄物として埋立て処分されている現実がある。現在、産業廃棄物排出量における汚泥の割合は約45%（平成21年度実績、環境省発表）と高いことから、汚泥発生量の削減が強く求められている<sup>1)</sup>。

一方で、汚泥を燃料化して再利用を図る技術開発が進められ、実設備にも適用されている。しかし汚泥燃料化技術は、そのスケールメリットのため小規模な廃水処理施設では適用が困難な場合がある。このような小規模施設においては、汚泥を産業廃棄物として処理している。

当社はこのような中、オゾンとキャビテーションに運転支援機能を付加したコンパクトなオンサイト型の汚泥減量化装置を開発した。まずオゾンとキャビテーションにより汚泥を可溶化し、微生物が分解しやすい状態に改質する。そして、可溶化した汚泥を生物反応槽内の活性汚泥で処理させ二酸化炭素と水に分解し汚

泥を減量させる仕組みである。

## 2. 汚泥減量化装置について

### 2.1 汚泥減量化装置導入時の廃水処理フロー

Fig. 1に汚泥可溶化技術を適用した汚泥減量化装置を導入した場合の廃水処理フローを示す。汚泥可溶化技術には、様々な手法が開発されており、それぞれに特徴がある。本章では汚泥減量化手法の概要と技術動向を説明する。

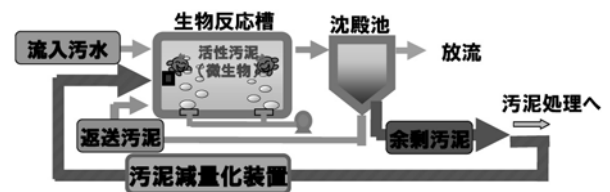


Fig. 1 Wastewater treatment system flow installed sludge reduction system

### 2.2 汚泥可溶化技術の概要

汚泥可溶化技術は化学・物理的作用により、微生物の細胞壁を破壊して生物分解可能な状態にする技術である。可溶化した汚泥を生物反応槽に返流して微生物の餌とすることによって、本来余剰汚泥として廃棄さ

れていた分を生物反応槽内で分解し、余剰汚泥発生量を削減することができる。

### 2.3 汚泥可溶化技術の動向

これまでにオゾン、高温微生物、ミル破碎、超音波、酸性電解などの方式による汚泥減量化装置が提案されている。

このなかでオゾンを用いた可溶化技術は、オゾンの化学的な特性である強力な酸化力を利用したものであり、その他の可溶化技術に比べて汚泥減量率に優れている。しかしながら、オゾン生成に要する電力負担が大きいことや、オゾンの自己分解による反応性の低下を防止する対策などにより、過剰な設備となる場合がある。このため、イニシャルコストやランニングコストが高くなり、その低減が課題となっている<sup>2)</sup>。

### 2.4 汚泥可溶化技術の課題

汚泥可溶化技術により汚泥を減量化した場合、一般的に可溶化した汚泥を生物反応槽内の微生物の餌とするため、生物反応槽の負荷が上昇する。また、余剰汚泥量を少なくすることで、これまで余剰汚泥として排出されていた無機系の成分が放流水に残留するといった懸念がある。

## 3. フィールド試験について

### 3.1 試験の目的

本フィールド試験の主な目的は、担体添加活性汚泥法を利用した廃水処理場において、オゾンによる汚泥減量化効果を確認すること、および汚泥減量化装置の導入による放流水質への影響を確認することである。

標準活性汚泥法やオキシデーションディッチ法を利用した廃水処理場では、オゾンを用いた場合の汚泥減量化効果が確認されている<sup>4)</sup>。本試験では、オゾンにより可溶化した汚泥が、担体に固定化された微生物によって十分に分解されるか、つまり汚泥減量化効果が得られるかどうかを確認することを目的とした。

また担体添加活性汚泥法において、可溶化汚泥中に残留したオゾンにより担体中の微生物が可溶化され水質に影響がみられないかを確認した。

### 3.2 試験の内容

#### (1) システム構成

Fig. 2 に当社フィールド試験のシステム構成図を示す。

試験の数か月前より、栄養剤を用いてFRP槽内に人工下水を生成・調整した。FRP槽は有効容量で4m<sup>3</sup>ずつの2槽に分かれている。栄養剤の投入量・投入日時は、生成開始時から各槽で全く同一とした。

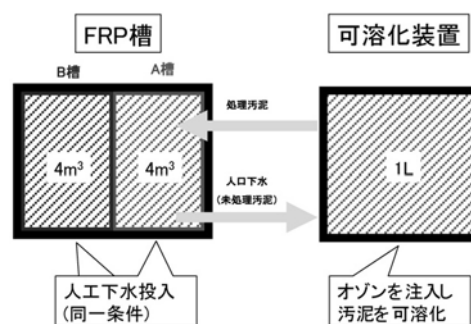


Fig. 2 System configuration of our field test

実験系として、一方の槽（以後A槽と呼称）より人工汚泥を可溶化装置に流入させた。装置内で汚泥にオゾンを適量注入し可溶化処理を行った。可溶化処理後の汚泥をA槽に返流し、A槽内の微生物により処理させた。

FRP槽のうちもう一方の槽（以後B槽と呼称）を対照系とした。実験系（A槽、可溶化処理汚泥の返流あり）と対照系（B槽、可溶化処理汚泥の返流無し）を比較し、汚泥減量化効果と水質への影響を検証した。

#### (2) 試験装置の仕様

Table 1 にFRP槽の仕様を記載する。

Table 1 Specification of FRP tank

構造	FRP槽(2.5Φ×2m)
有効容量	4m <sup>3</sup> × 2槽
汚泥設定濃度	2000~3000 mg/l
空気量	150~200 L/min
担体量	10%
栄養剤	コーンスターチ、5kg/週

Table 2 に可溶化装置の仕様を記載する。

Table 2 Specification of test implement

構造	SUS304による反応槽
槽容量	1L
オゾンガス濃度設定値	100 g/Nm <sup>3</sup>
オゾンガス量	1~2 L/min
オゾンガス注入方式	エジェクタ方式

#### (3) 試験条件

本フィールド試験において当社は、可溶化処理汚泥がA槽に返流されることでA槽内SS値が減少すると仮定した。可溶化した汚泥は生物分解可能な状態であり、A槽内で分解され水と二酸化炭素となると予想した。これによってA槽内の汚泥量が減少し、SS濃度が減少すると想定した。

SS減少量を一日あたり70mg/lと設定した。設定

値は、可溶化装置の槽容量、オゾンガス濃度、オゾンガス量より計算した。設定値の計算に当たり、標準活性汚泥法を適用している廃水処理場にて当社が実施した汚泥減量化実証試験時の計算式を元にした<sup>3)</sup>。

また、可溶化装置の稼働周期は週三日間（月 9:00～木 9:00）とし、残りの週四日間（木 9:00～月 9:00）は休止期間とした。休止期間を設けたのは、栄養剤が槽内で分解されずに可溶化装置に直接流入することを防ぐためである。休止期間の SS 値は汚泥設定濃度に収束する傾向が見られたため、休止期間中に栄養剤が十分に分解されていると仮定した。

SS 減少量設定、稼働周期より、三日間で A 槽 SS 値が 210 mg/l 減少するとの予測のもと試験を実施した。

加えて、装置稼働による槽内の水質への影響を評価した。各槽の沈降性および溶解性 BOD 成分を評価することで、泥減量化装置導入時の廃水処理フローにおける放流水質の評価の代替とした。加えて、各槽の汚泥内に生息している微生物を観察し水質の状態を考察した。

### 3.3 結果と考察

SS, SV30 については、火～木の水質分析値のうち中間の値と初期値（月曜）の差分を算出し、変化傾向を考察した。

中間値を抽出した理由は、サンプリングポイント・サンプリング～水質分析の日数経過による分析値の変動など、分析値のばらつきによる誤差をさけるためである。

なお、6/18 はサンプリング未実施のため、6/17 と 6/19 の平均値を中間値として採用した。

**Table 3, 4** には差分の値を+, -付きで記載した。また、括弧内には分析値を記載した。

溶解性 BOD は火～木の水質分析値のうち中間の値と初期値（月曜）の割合、つまり除去率を考察した。

#### (1) A 槽 SS 値減少効果確認

**Table 3** に 3 度の実験期間における SS 値の差分を記載する。

**Table 3** Results of SS water analyses according to our calculation condition

SS [mg/l]		4/14- 4/17	6/16 -6/19	6/23- 6/26
A 槽 (実験系)	-100 (1900 → 1800)	-200 (3000 → 2800)	-300 (3300 → 3000)	
B 槽 (対照系)	-150 (2800 → 2600)	+350 (2800 → 3150)	-100 (3900 → 3800)	

A 槽の SS 値は 3 度の試験で常に減少している。これは 3.2(3)で述べたように、可溶化処理汚泥が A 槽で分解されたことが原因と考えられる。試験を開始した 4/14-4/17 では A 槽 SS 値差分は小さいが、6/16-6/19, 6/23-6/26 と試験を繰り返すことで差分の増加がみられた。

B 槽の SS 値は 3 度の実験期間において、増加・減少どちらの傾向も見られた。温度、湿度、ばっ気の均一性など、外乱要因が影響したのではないかと考察した。

#### (2) 放流水質への影響

**Table 4** に 3 度の実験期間における SV30 値の差分を記載する。

**Table 4** Results of SV30 water analyses according to our calculation condition

SV30		4/14- 4/17	6/16 -6/19	6/23- 6/26
A 槽 (実験系)	±0 (46→46)	NO DATA	±0 (33→33)	
B 槽 (対照系)	+5 (35→40)	NO DATA	+11 (66→77)	

A 槽（実験系）では SV30 値が一定に保持されたが、B 槽（対照系）では SV30 値が増加した。B 槽とは異なり、可溶化処理した汚泥を返流した A 槽では SV30 が上昇することを抑制できたという結果が得られた。これは、汚泥をオゾン処理することでフロック表面の状態が変化し沈降性が改善されるためである<sup>5)</sup>。

次に、**Table 5** に 3 度の実験期間における溶解性 BOD 除去率の評価結果を記載する。

**Table 5** Results of dissolved BOD water analyses according to our calculation condition

溶解性 BOD 除去 率 [%]		4/14- 4/17	6/16 -6/19	6/23- 6/26
A 槽 (実験系)	54	59	45	
B 槽 (対照系)	23	47	28	

A 槽, B 槽ともに、3 度の実験期間すべてで溶解性 BOD 除去率が減少傾向を示した。これは、日数が経過することにより各槽の溶解性 BOD 成分が除去されることを示している。

また、A 槽の除去率は B 槽に比べ、3 度の実験期間すべてで高い値を示した。これは可溶化処理によって、従来除去不可能だった溶解性 BOD が除去可能となったことを示唆している。除去率にばらつきが見られる

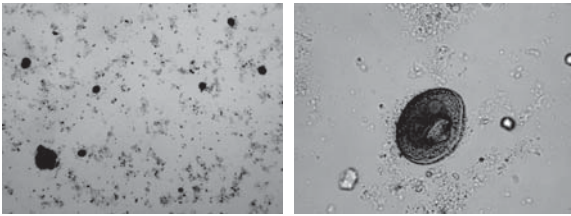


Photo 1, 2 Micrograph of tank A on 26/6/2014

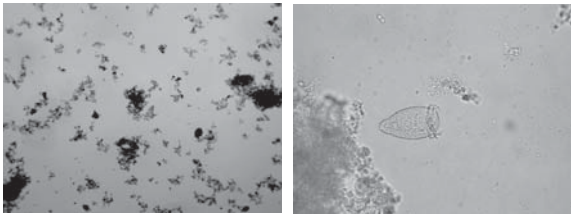


Photo 3, 4 Micrograph of tank B on 26/6/2014

のは、槽内の水温、湿度、ばっ気の均一性など、外乱要因が影響したのではないかと考察した。

また、微生物の生息状況や汚泥の粒子径を確認するため、汚泥の状態を観察した。2014/6/26の各槽における顕微鏡写真を記載する。Photo 1, 2はA槽、Photo 3, 4はB槽のものである。

A槽はフロックが細かく、微細フロックと浮遊性細菌が発生していた。指標生物は有殻アメーバーのアルセラである(Photo 2)。一般的にアルセラが目立つ時は低負荷傾向である。微細フロックが見られたのは、オゾンによる可溶化効果によりフロックの粒子径が小さくなったためと考えられる。一般にフロックが大きい方が沈降性は良好と言えるが、先述したフロック表面状態の変化による沈降性改善効果の方が、粒子

径の微細化による沈降性悪化効果より大きいことがTable 4で示唆されている。

B槽はA槽よりフロックが健全で微細フロックは少なく、浮遊性細菌も少なかった。指標生物はツリガネムシの頭部が見られたため(Photo 4)、水質のバランスが取れた環境にあったと想定される。

上述したように、A槽においては汚泥の沈降性改善、溶解性BODの減少傾向およびアルセラが観察されたことから、可溶化汚泥を返流することにより放流水質が改善する可能性があることが示唆された。

#### 4. ま と め

担体添加活性汚泥法を用いた廃水処理場に当社汚泥減量化装置を適用した場合、放流水質が改善する可能性がみられ、かつ汚泥減量化効果が示唆された。今後は実際の廃水処理場において試験を実施し、効果を確認する。

#### 参 考 文 献

- 1) 産業廃棄物の排出及び処理状況等(平成21年度実績), 環境省(2009)
- 2) 杉光英俊, オゾンの基礎と応用, 株式会社光琳(1996)
- 3) 竹田将一, 芳住啓輔, 技報 安川電機 第76巻 第3号 通巻 第296号(2012)
- 4) 吉田 隆, “新しい水処理シリーズ③汚泥の減量化と発生防止技術”, 株式会社エヌ・ティー・エス, p.101(2000)
- 5) 荒川清美, オゾンによる汚泥減容化とりん回収を組み込んだ生物学的窒素りん除去法の開発, 京都大学(2011)