

オゾン添加による処理機能障害の 改善技術の性能評価研究

(放線菌によって発生するスカムを抑制する技術)

1. 研究目的

近年、活性汚泥法において放線菌によるスカミングや異常発泡が、下水処理プロセスの適切な運転管理の上で大きな問題となっている。この問題に対して、これまでさまざまな対策が試みられてきたが、いまだに有効な解決策に至っていない。

等々力水処理センターは、昭和57年11月に供用を開始したが、水量の増加に伴いスカムの異常発生が起り、最終沈殿池における固液分離障害、エアレーションタンクにおけるMLSS低下等の処理機能障害が引き起こされている。以下、等々力水処理センターにおけるスカム異常発生の問題点を列記する。

- (1) 雨天時の水量増加に伴いスカムが処理水へ流出し、水質が悪化する。
- (2) 将来計画汚水量を受け入れる場合、MLSS濃度を計画値まで上昇させる必要がある。
- (3) スカムの発生を抑えるために、エアレーションタンク最終段曝気機を低速回転とせざるを得ないため、酸素利用効率が低く、不経済な運転となっている。
- (4) スカムの存在は、処理場見学者に対して悪印象を与える。

このため、スカム抑制のさまざまな対応策を検討してきたが、その中で最も有効な手段であったエアレーションタンクへのオゾン添加について調査検討を実施してきた。

これまでに、川崎市と(財)下水道新技術推進機構が、国土交通省の新技術活用モデル事業として、オゾン添加によるスカム発生抑制技術の実用化を目的とし、機能高度化促進事業「新技術活用型」の採択を受け、平成5、6、9年度に実用化研究を実施し、平成12年度に等々力水処理センターに返送汚泥ラインにオゾンを添加する実施設を建設した。平成13年度は、この実施設を用いた性能評価研究を行うものである。

2. 研究内容

2.1 対象技術の概要

本技術は、等々力水処理センター（酸素活性汚泥法）において、放線菌の増殖に起因するスカム発生によって引き起こされる最終沈殿池の固液分離障害、エアレーションタンクのMLSS低下等の処理機能障害を解決するために、返送汚泥系にオゾンを添加して放線菌の増殖およびスカムの発生を抑制する技術である。

返送汚泥へのオゾン添加方式は、エアレーションタンク添加方式と比較し、オゾン反応槽の管理が容易であり、オゾン消費量の低減、覆蓋の無いエアレーションタンク施設への適用も可能である。図-1に実施設返送汚泥系へのオゾン添加設備フローシートを示す。

オゾンは実施設PSA酸素ガスを原料とし、返送汚泥ライン上にオゾン接触槽を設置し、気液向流接触

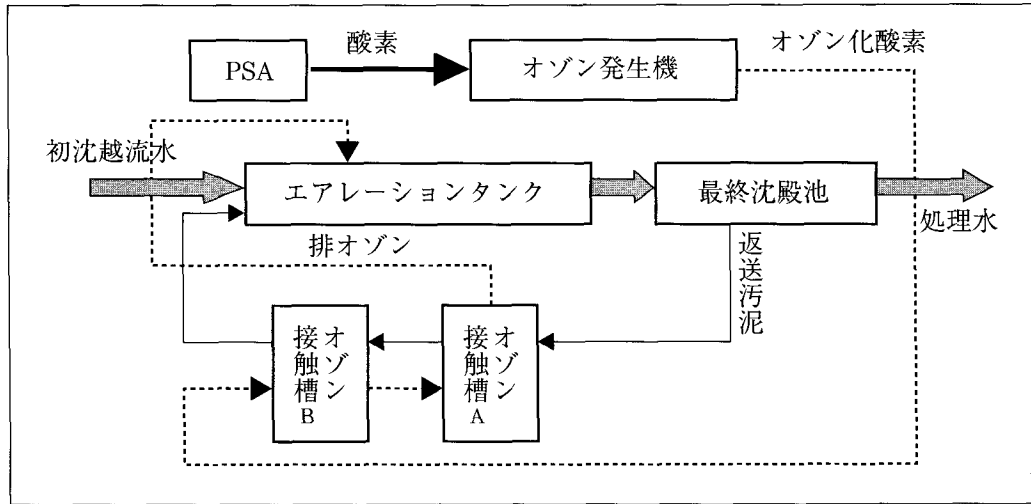


図-1 オゾン添加設備フローシート

後、返送汚泥はエアレーションタンクに、排ガスはオゾン分解後、エアレーションタンク気相部に排出される。

2.2 性能目標

- (1) 下記条件において、スカム発生量が最終沈殿池スカムスキマーによって除去できる量であること。
 - (2) スカム発生試験におけるスカム発生量が5 mm程度であること。
- (1), (2)の条件を満たすためのオゾンの消費量としては、
- ① スカム抑制運転時：5.0mgO₃/gSS・日
 - ② 抑制効果持続運転時：1.5mgO₃/gSS・日
- となることを、実用化研究で確認した。

なお、上記性能目標は嫌気好気法運転を前提とする。また、その他の確認事項として、処理水質、汚泥沈降性、維持管理性（作業環境の確認も含む）、本システムによる処理費用等を取り上げた。

2.3 研究内容

2.3.1 スカム抑制効果

オゾン添加に期待する効果は、放線菌の影響によって発生するスカムが抑制されることである。そのことによって、活性汚泥の固液分離性が向上、最終沈殿池引抜汚泥の濃度の向上、最終沈殿池越流水の改善などが達成されるものである。

2.3.2 汚泥性状

スカム抑制効果が汚泥性状に与える効果を確認する方法として、直接的にスカムの発生量を計測するスカム発生試験により検証する。

それと併せて、間接的に汚泥性状の向上の度合いを見るために、曝気槽MLSS、曝気槽SVI、返送汚泥濃度を測定し、確認する。なお、スカム発生量に直接関係する放線菌数、ミコール酸量も測定する。

2.3.3 処理水質

オゾン添加によりスカムが抑制され、最終沈殿池における固液分離が良好となる。したがって、最終沈殿池越流水の水質、特にSS濃度の改善が期待され、これを調べることで、固液分離が良好に保たれていることを確認する。

一方、オゾン添加に伴う負の効果として、活性汚泥の解体が発生し、それによる処理水質の悪化が懸念される。このためスカム抑制が達成されている状態のときに、処理水質が安定して維持されていることも、併せて検証する。

2.3.4 維持管理性（作業環境の確認も含む）

スカムが抑制されることにより、自動計測機器等の作動が正常になり、運転状況の把握がし易くなる。また、最終沈殿池において発生したスカムがスカムスキマーを乗り越え、処理水に混入するのを防止するためのスカム回収作業が不要になること、およびオゾン添加設備からのオゾンの漏洩がないことを検証する。

2.3.5 本システムによる処理費用

オゾン添加によるスカム抑制運転が達成した時点で、オゾン添加による処理費用が実用化研究時点と同等であることを検証する。

2.3.6 設計諸元

実用化研究にて設定した設計諸元を、性能評価研究までの成果を基に見直し、本システムの最終的な設計諸元のとりにまとめを行う。

2.4 研究スケジュール

表-1 に研究スケジュールと各RUN時に添加するオゾンの設定値と実際の消費量を示す。

表-1 研究スケジュール

	平成13年					平成14年				
	8月	9月	10月	11月	12月	1月	2月	3月	4月	5月
準備	—									
RUN-1	—									
RUN-2		—	—	—	—	—	—			
RUN-3							—			
RUN-4									—	
RUN-5										—
RUN-6										—
設計諸元整理										—

RUN番号	運転状態	オゾン設定値 (mgO ₃ /gSS・日)	オゾン消費量 (mgO ₃ /gSS・日)
RUN-1	スカム抑制運転	3.0	2.65
RUN-2	スカム抑制運転	5.0	4.44
RUN-3	抑制効果持続運転	1.5	1.56
RUN-4	スカム抑制運転	5.0	4.7
RUN-5	抑制効果持続運転	3.5	3.5
RUN-6	抑制効果持続運転	2.0	2.2

注) 斜線の期間は試験の中断を示す。

実験は当初、年度内で終了する予定であったが、スカム抑制運転 (RUN-2) から抑制効果持続運転 (RUN-3) に切り換えた結果、所定の結果が得られなかったため、再度、「スカム抑制運転→抑制効果持続運転」の試験 (RUN-4,RUN-5,RUN-6) を実施した。

3. 研究結果

3.1 スカム発生量

RUN-2 において、スカムは完全に抑制されたと判断し、2月12日からスカム抑制持続運転に切り換え、オゾン添加量を1.5mgO₃/gSS・日とした。

抑制効果持続運転 (RUN-3) への切り換え後、性能目標値の5mm以下を徐々に上回る状態となり、改善の兆しが現れなかったため、抑制効果を持続できなかったと判断し、確認のため再度試験を実施した。

その結果、スカム抑制運転 (RUN-4) では確実にスカム高さは5mm以下となったため、抑制効果持続運転に移行 (RUN-5) し、オゾン消費量を3.5mgO₃/gSS・日としたが、スカム高さは依然として5mm以下であったため、さらにオゾン消費量の低減を試みた (RUN-6)。その結果、スカム高さは増大し、抑制効果を持続することができなかった。

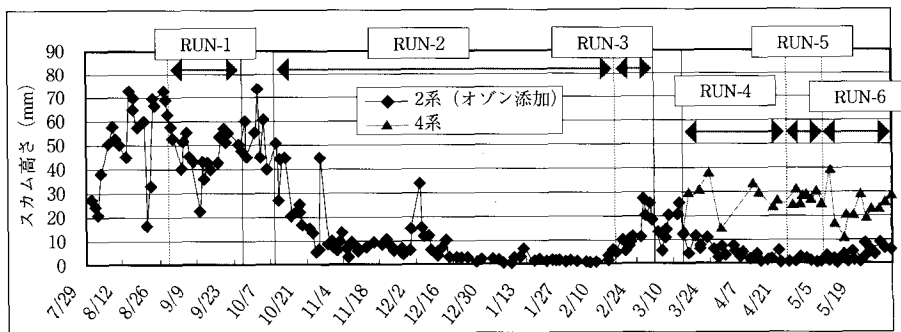


図-2 スカム高さの経時変化

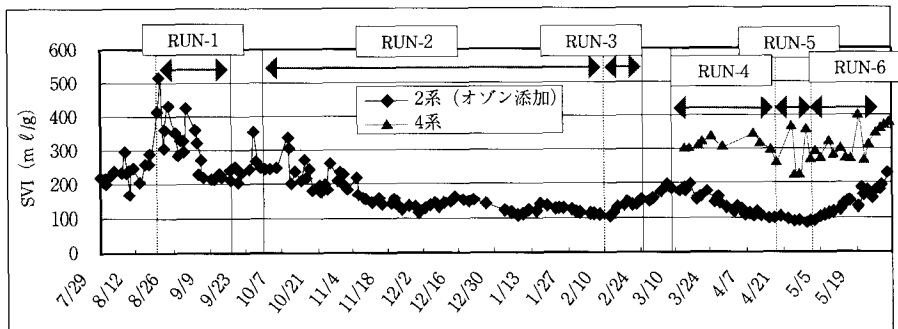


図-3 SVIの経時変化

3.2 SVI

SVIの結果も「3.1 スカム発生量」の結果と同様で、RUN-1 (3mgO₃/gSS・日の添加量) では添加前に比べ、かなり改善が認められ、さらに中断後 RUN-2 (5 mgO₃/gSS・日の添加量) で再開してから徐々に低下し、11月中旬には150を下回る状態になり、100~150の間で推移した。

3月以降の追加試験においても同様の傾向を示しており、オゾンを追加していない通常の運転をしている第4系列(図中の▲のプロット)のSVIは300前後であるのに対し、オゾン添加を実施している第2系列では、100~200の範囲で推移しており、固液分離性の顕著な違いが表れていた。

また、前項に示したスカム高さとの密接な関係が認められ、すなわち、スカム高さが低くなると(スカムが抑制されると)SVIが低下し、スカム高さが高くなると(スカムが抑制されなくなると)SVIが上昇する。したがって、スカムを抑制することが、活性汚泥の固液分離性に密接に関連していることが確認できた。

3.3 放線菌数

表-2に放線菌数の測定結果を示す。放線菌数は、

表-2 放線菌測定結果例

		RUN-2	RUN-4	RUN-6
オゾン添加系列	曝気槽	—	5.86E+05	9.40E+05
	返送汚泥	1.3E+05	1.12E+07	1.35E+06
通常運転系列	曝気槽	—	1.15E+08	3.19E+07
	返送汚泥	7.55E+06	1.96E+07	1.13E+06

返送汚泥中においては顕著な減少は認められなかったが、曝気槽混合液中の減少が顕著であった。

3.4 ミコール酸

ミコール酸は、放線菌の細胞壁外部を覆っている強疎水性物質である。曝気槽で発生した泡表面に放線菌が付着すると、ミコール酸の作用によって泡との親和性が高くなるので、泡が強固になり、壊れにくくなりスカムとなる。

したがって、ミコール酸量を測定することによりスカムの発生の度合いを知る手段のひとつとなる。

表-3にミコール酸量の測定結果を示す。いずれの場合も曝気槽、返送汚泥ともに通常運転系列に比べて、オゾン添加によって減少していることが解る。スカム抑制運転では、減少量が顕著であるが、RUN-6の抑制効果持続運転時においては、通常運転

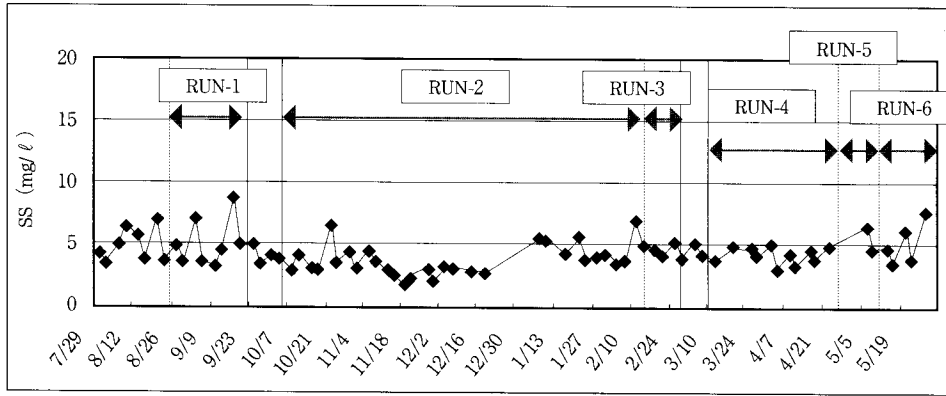


図-4 処理水SS濃度の経時変化

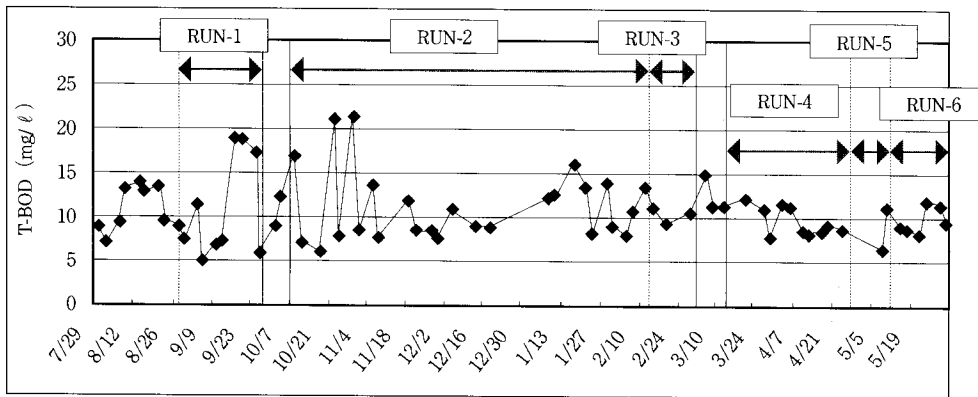


図-5 処理水 T-BOD 濃度の経時変化

系列と顕著な違いがなく、RUN-6 に抑制効果が持続できなかったことを示していた。

表-3 ミコール酸測定結果

検体名	ミコール酸量 (ppm, 対固形物)
《RUN-2 スカム抑制運転》	
オゾン添加系列 (曝気槽)	49
オゾン添加系列 (返送汚泥)	32
通常運転系列 (曝気槽)	277
通常運転系列 (返送汚泥)	106
《RUN-6 抑制効果持続運転時》	
オゾン添加系列 (曝気槽)	486
オゾン添加系列 (返送汚泥)	160
通常運転系列 (曝気槽)	536
通常運転系列 (返送汚泥)	260

3.5 処理水質

オゾン添加によって活性汚泥の一部が解体し、その結果、処理水質が悪化することが懸念されたが、今回の添加量の範囲では、処理水質に悪影響は無いことを確認した。

3.6 維持管理性

3.6.1 運転管理性

等々力水処理センターでは、スカムによりMLSS計、DO計等の自動計測機器の指示値が一時的に不安定になる場合があり、運転状況の把握やその指示値に基づいて行われる自動制御等に支障をきたすなどの問題があった。

しかし、オゾン添加運転を行うことでスカムの影

響が少なくなり、自動計測機器が正常に働き適切な値を示し、その結果、運転状況が極めて正確に把握できるようになってきている。

また、スカムが抑制されることで、活性汚泥の固液分離性が向上し、最終沈殿池における沈殿汚泥の汚泥界面が明瞭になり、汚泥引き抜き作業等の運転操作が容易になった。

3.6.2 作業環境

(1) スカム除去作業

過去にはスカムが異常に発生した場合、最終沈殿池越流水に混入するのを防止するために、運転員がスカム発生状況を常時監視しながら、スカム除去作業をする必要があった。

しかし、今回の試験期間中においては、このようなスカム発生状況の監視ならびに除去作業の必要はなく、スカム除去はスカムスキマーの自動運転で滞りなく行われていた。

(2) 安全性

試験期間中に、オゾン添加設備を設置してある室においてオゾンの漏洩があったが、直ちに試験を中断し、この原因を究明した結果、設備設計で対応できることが判ったため、現在の設備については、改造を実施した（これは設計諸元に反映した）。

3.7 処理費用

処理費用については、実用化研究で想定した処理費用よりも下回っていた。これは、①オゾン接触槽の有効水深が大きくとれるようにしたこと、②オゾン添加設備が大型化したこと等により、実設備のオゾン溶解効率が、実用化研究で想定していた値より

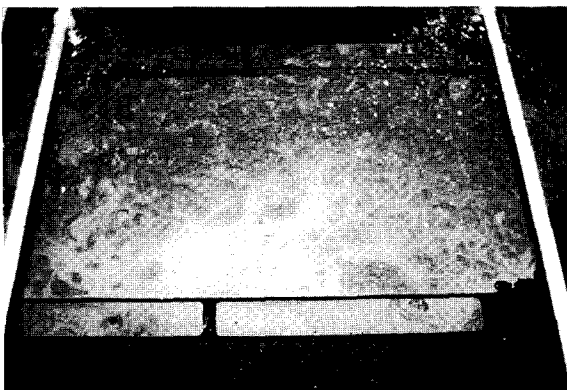


写真-1

オゾン添加前
スカムの層厚は水面上 5 cm 程度あり、消泡水の散布でも消えない。

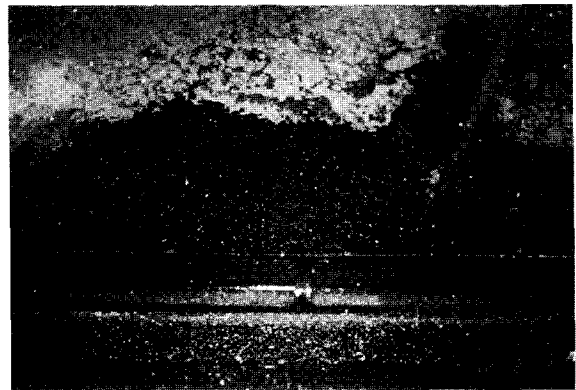


写真-2

オゾン添加（スカム抑制運転中）
スカムの層厚は薄く、消泡水によって、容易に消える状態になる。

も高くできたことによると考えられる。

表－5 試験期間中の処理費用

RUN番号	オゾン消費量 ($\text{mgO}_3/\text{gSS}\cdot\text{日}$)	処理費用 ($\text{円}/\text{M}_3\text{-下水}$)
RUN-1	2.65	0.17
RUN-2	4.44	0.22
RUN-3	1.58	0.15
RUN-4	4.7	0.25
RUN-5	3.5	0.21
RUN-6	2.2	0.17
実用化研究での処理費用試算		0.24～0.35

3.8 設計諸元

実用化研究で得られた結果を基に作成した設計諸元を、今回実施した性能評価研究の結果によって見直しを行い、本技術に関する最終的な設計諸元をまとめることができたが、その規定のなかに「オゾン添加量の設定」がある。

スカム抑制に必要なオゾン消費量は、 $5.0\text{mgO}_3/\text{gSS}\cdot\text{日}$ であることが、実用化研究等および性能評価研究とで確認された。

一方、抑制効果持続運転時に必要とするオゾン消費量は、実用化研究等の結果 ($1.5\text{mgO}_3/\text{gSS}\cdot\text{日}$) に対し、性能評価研究の結果 ($3.5\text{mgO}_3/\text{gSS}\cdot\text{日}$) とは異なるものになった。ただし、スカムの抑制をした後に、その効果を持続するときに、オゾンの添加量を削減できることは確認できた。したがって、オゾン添加に伴って上昇する処理コストの抑制が可能であるので、「抑制効果持続運転」におけるオゾン添加量の設定値は記載せず、「スカム抑制後（抑制効果持続運転）は、オゾン添加量を減量して効果を持続できる。」ということとした。

4. まとめ

等々力水処理センターは、放線菌によって引き起こされるスカムの異常発生によって、下水処理プロセスの適切な維持管理ができない状況となる場合があった。

本技術は、等々力水処理センターの維持管理性の向上を目的として実用化を図ってきたものである。

ここに示した性能評価研究結果で明らかのように、本技術は、スカムの異常発生を抑制し、水処理系の汚泥性状を正常かつ安定した状態に保つことができることが確認された。

本研究では、本技術の効果が発揮されるメカニズムについての検討はなされていないが、放線菌以外の要因で起こるスカムの異常発生や活性汚泥の固液分離障害などに効果を発揮する可能性もあり、今後、本技術の適用範囲が拡大されることを望むところである。

参考文献

- 1) 川崎市・財下水道新技術推進機構，平成9年度新技術活用モデル事業「オゾン添加による処理機能障害の改善技術の実用化研究」報告書
- 2) 窪田・五井ら，平成10年度川崎市建設局業務研究報告書，「嫌気好気法の実施設返送汚泥へのオゾン添加による放線菌スカムの抑制」，P155
- 3) 田之倉，窪田，平成11年度川崎市建設局業務研究報告書，「嫌気好気法の実施設返送汚泥へのオゾン添加による放線菌スカムの抑制（第2報）」，P155
- 4) 土木学会衛生工学委員会編 環境微生物工学研究法「14. 放線菌による活性汚泥異常発泡のメカニズム」，P55，技報堂出版

●この研究を行ったのは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部主任研究員

宮原 茂
藤野 正人
笹尾圭哉子

●この研究に関するお問い合わせは

研究第一部長
研究第一部主任研究員
研究第一部主任研究員

田中 修司
藤野 正人
笹尾圭哉子