

標準活性汚泥法施設における生物学的りん除去の向上

横浜市 浅野 卓哉

1. はじめに

活性汚泥法による生物学的りん除去には反応タンク流入部の嫌気化が必要であり、そのため高度処理施設では反応タンク流入部に嫌気槽を設けている。栄第二下水処理場は、標準法施設であるがりん除去率が高く、良好時には 90%以上となる（表 1）。流入部の嫌気状態が不十分であるにもかかわらずりん除去率が高いのは、当処理場の流入基質、運転状況や施設構造といった各要因によって、反応タンク流入部でのりん放出が可能となるためと考えられる。そこで、本処理場のりん除去機構について実施調査と回分実験により検討した結果、流入有機酸濃度と硝化の状況が大きく影響していることが判明した。今回はその検討結果を報告する。

2. 施設概要

栄第二下水処理場は標準法施設で、合流式の 1 系と分流式の 2 系および 3 系（以下まとめて 2 系と記す）からなる。表 2 に施設構造および平成 14 年度の運転状況を、表 3 に両系の反応タンク流入水と処理水の平均水質を示す。

3. 調査方法

実施調査は、処理水の $PO_4\text{-P}$ 、 $NO_x\text{-N}$ 濃度、流入水の有機酸濃度および反応タンク機能調査について実施した。処理水項目は自動採水器による 24 時間混合試料を、流入水の有機酸と反応タンク内各項目はスポット採水試料を分析した。

回分実験による調査は、 $NO_x\text{-N}$ と有機酸がりん放出に与える影響を調べる目的で行った。返送汚泥と反応タンク流入水を 2 L ビーカー内で返送率 70%となるよう混合し、嫌気状態を維持しながらスターラーで攪拌した。混合直後に KNO_3 と酢酸を添加して比較検討した。一定時間後に混合液の一部を採取し、遠心分離（3000 rpm、5 分）後の上澄液を試料として、 $PO_4\text{-P}$ 、 $NO_x\text{-N}$ 、有機酸を分析した。

$NO_x\text{-N}$ と有機酸はイオンクロマトグラフィーで、 $PO_4\text{-P}$ は下水試験法に準拠し分析した。有機酸は酢酸とプロピオン酸を測定し、酢酸換算した値を用いた。

4. 結果

4-1 実施調査結果

4-1-1 反応タンク内のりん、窒素、溶存酸素濃度の推移

りん除去良好時の 1 系反応タンク内のりん、窒素、DO 各濃度の推移を図 1 に示す。横軸は滞留時間を示す。りん放出は流入後 30 分以内に行われており、その間の DO は約 0.2 mg/L であった。この程度の嫌気状態があれば、標準法施設でも条件次第でりん放出が可能となるといえる。また、このとき $NO_x\text{-N}$ は流入直後に除去されていたが、返送汚泥中の $NO_x\text{-N}$ 濃度は反応タンクでの硝化の状況により変動するため、これがりん放出に影響している可能性が考えられる。

表 1 T-P 除去率（平成 14~15 年） (%)

	1 系（合流）	2 系（分流）
平均	55.2	63.2
最大	92.9	87.9
最小	10.9	41.6

表 2 施設概要

	1 系（合流）	2 系（分流）
散気方式	標準・旋回流	深層・旋回流
二次処理水量 (m ³ /d)	36,400	92,300
反応タンク容積 (m ³)	8,160 × 1 池	4,190 × 6 池
HRT (hr)	5.4	6.5
返送汚泥率 (%)	71	70
SRT (d)	4.8	5.9
BODSS 負荷 (g/g/d)	0.25	0.20

	1 系（合流）		2 系（分流）	
	流入水	処理水	流入水	処理水
平均水質	7.6	89	8.4	9.4
COD	53	11	48	11
T-N	26	12	26	11
T-P	2.6	1.1	2.7	1.2
NH ₃ -N	17	1.6	18	2.4
NO ₃ -N		7.9		7.2

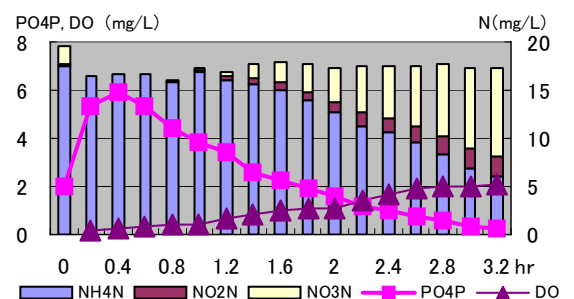


図 1 反応タンク内の窒素、りん、DO の推移

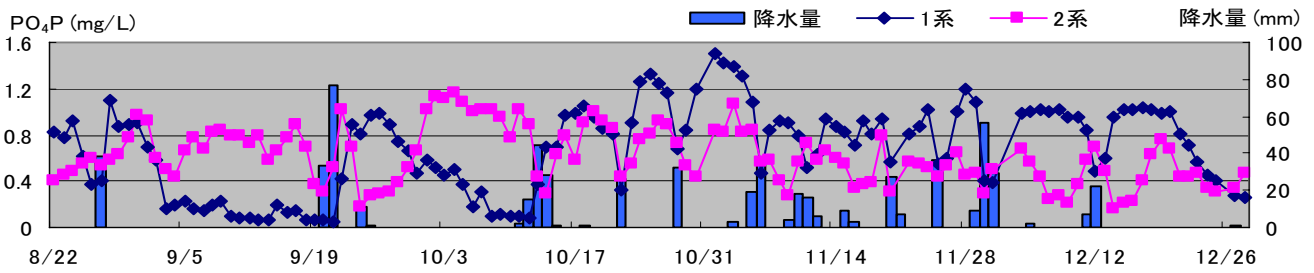


図2 処理水 PO₄-P の推移と降水量

4-1-2 リン除去の推移と降雨の影響

図2に平成15年8/22から12/27までの処理水 PO₄-P 濃度の推移と降水量を示す。合流式である1系は降雨後数日間除去が悪化しており、降雨のない期間が長くなると次第に回復していることがわかる。降雨によるりん除去悪化は流入基質濃度の低下および反応タンク流入部の嫌気状態の不足によるものと考えられる。一方、分流式である2系の PO₄-P 濃度は降雨と関係なく推移しており、りん除去率変動は他の要因の影響を受けていると推測できる。

4-1-3 処理水 PO₄-P と NO_x-N の相関

図3に、図2と同期間の処理水 PO₄-P と NO_x-N の相関図を示す。降雨の影響をみるために降雨日から5日間と6日後以降を分けてプロットした。1系は降雨後5日間では PO₄-P と NO_x-N の間に相関がみられたが、6日以降では相関がなく、NO_x-N 濃度に関わらず PO₄-P は概ね低かった。降雨の影響が小さい期間は、返送汚泥中の NO_x-N 濃度の硝化状況による変動の影響を受けず、りん除去は良好であったといえる。一方、2系は降雨の有無に関係なく相関がみられ、りん除去は返送汚泥中の NO_x-N の影響を受けていたと判断できる。

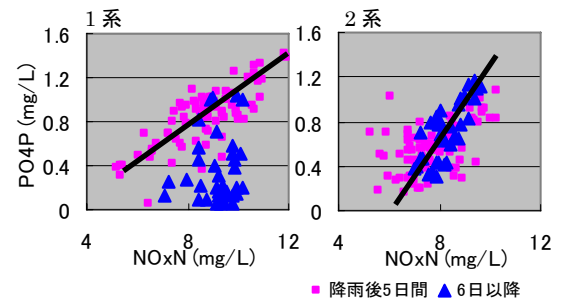


図3 処理水 PO₄-P と NO_x-N の相関

表4 流入水有機酸濃度 (mg/L)

	1系	2系
COD	80.3	79.4
有機酸	33.7	20.6

4-1-4 両系列の流入水有機酸濃度の比較

他にりん放出に影響を与える要素として流入水中の有機酸が考えられる。表4に両系列の平成16年1~3月の11時の流入水のCODと有機酸濃度の平均値を示す。流入有機酸濃度は1系のほうが高く、この違いが両系列のりん除去変動の違いに影響している可能性がある。

4-2 回分実験結果

4-2-1 NO_x-N と有機酸がりん放出に及ぼす影響

1系の流入水と返送汚泥を用いて、NO_x-N と有機酸のりん放出への影響を調査した(図4)。酢酸無添加では、NO_x-N 添加によりりん放出は抑制された。しかし、酢酸 50 mg/L を添加すると NO_x-N 添加はりん放出に影響しなかった。このことから、有機酸が十分に存在していれば NO_x-N 存在下でもりん放出が起こることがわかる。また、NO_x-N 存在下では酢酸消費速度が大きいことから、NO_x-N によるりん放出抑制は有機酸の減少が原因であると考えられる。

4-2-2 両系列の流入水質と NO_x-N がりん放出に与える影響の相違

次に、両系列の流入水と1系の返送汚泥をそれぞれ混合し、NO_x-N のりん放出への影響を調査し

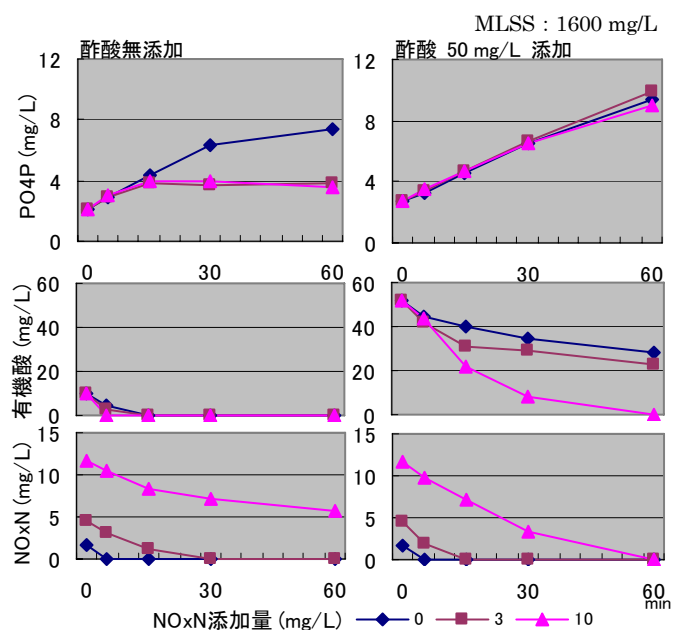


図4 酢酸、NO_x-N 添加によるりん放出への影響

た(図5)。初期有機酸濃度の少ない2系流入水のほうが、有機酸が早く消費されるためりん放出量は少ない。また、NO_x-N 添加によりりん放出は抑制されるが、抑制効果は有機酸の少ない2系のほうが大きい。実施設のりん放出においても、同様の理由で2系のほうがNO_x-Nの影響を受けやすいと考えられ、これが図3の違いを生じる原因だといえる。

5. 考察

以上の結果から、当処理場でりん除去率が高い理由は、1系は降雨がなく流入有機酸濃度が高いこと、2系は返送汚泥中のNO_x-N濃度が低いことだといえる。

図4、5から、有機酸が枯渇するとりん放出速度は大きく低下し、同時に脱窒速度も低下していることがわかる。このことから、脱窒細菌とりん蓄積細菌は有機酸などの易分解性有機物の摂取において競合関係にあり、NO_x-Nによるりん放出抑制は脱窒細菌による易分解性有機物の摂取が原因であると推察できる。有機酸が存在している間は、りん放出はNO_x-Nの影響を受けずに脱窒と同時に進行する。1系のりん除去良好時において硝化状況がりん除去に影響しないのは、流入有機酸濃度が高く、りん放出と脱窒が同時に進行するためと考えられる。

当処理場は反応タンク滞留時間が短いため、夏季を除いて完全硝化に至ることは少ない。また、最終沈殿池において脱窒反応による汚泥浮上が起こりやすく、処理水NO_x-N濃度が10 mg/L以上になると硝化を意図的に抑制している。このような硝化抑制運転と終沈での脱窒により返送汚泥中のNO_x-N濃度は低く維持され、その結果流入有機酸濃度の低い2系でもりん放出が可能になると考えられる。

また、有機酸が枯渇するとりん放出速度が低下することから、流入有機酸濃度が高いほど、より短時間で十分なりん放出が可能になるといえる。当処理場の反応タンク流入部の嫌気状態は30分以下と通常の高高度処理施設の嫌気槽滞留時間より短い、30 mg/L程度の流入有機酸濃度があれば30分間程度でも十分にりん放出が行われると推察できる。

また、有機酸が枯渇するとりん放出速度が低下することから、流入有機酸濃度が高いほど、より短時間で十分なりん放出が可能になるといえる。当処理場の反応タンク流入部の嫌気状態は30分以下と通常の高高度処理施設の嫌気槽滞留時間より短い、30 mg/L程度の流入有機酸濃度があれば30分間程度でも十分にりん放出が行われると推察できる。

6. まとめ

当処理場のりん除去について次のことがわかった。

- 標準法施設であるが、反応タンク流入部においてりん放出に十分な嫌気状態が維持されている。
- 1系は合流式のため、りん除去は降雨により悪化する。降雨の影響がなければ、流入有機酸濃度が高く返送汚泥中のNO_x-Nの影響を受けないので、りん除去率は高い。
- 2系は分流式のため、りん除去は降雨の影響を受けない。しかし、流入有機酸濃度が少ないために返送汚泥中のNO_x-Nの影響を受け、りん除去率は硝化の進行状況により変動する。

また、当処理場のような標準活性汚泥法施設であっても、

- 反応タンク流入部の嫌気状態を維持するのに十分な有機物負荷がある
- 十分量の有機酸が供給される
- 反応タンク流入水および返送汚泥中のNO_x-N濃度が低い

といった条件が整えば生物学的りん除去が可能であることがわかった。

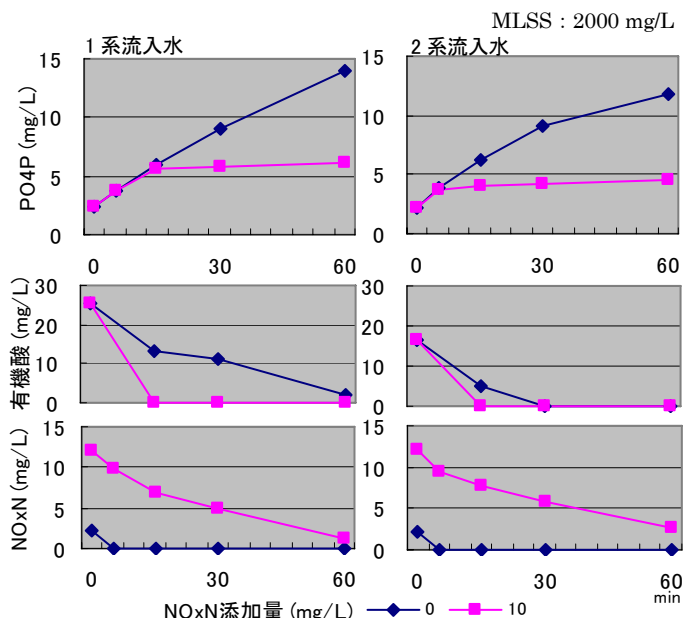


図5 両系列流入水の違いとNO_x-N添加によるりん放出への影響