

反応タンク流入水質の違いが窒素・りん除去に与える影響の評価

横浜市 ○ 浅野 卓哉
折目 孝子
坂本 俊彦

1. はじめに

横浜市では、東京湾・相模湾の富栄養化対策として、窒素・りん除去向上を目的とした高度処理施設（嫌気無酸素好気法（以下、A₂O法）または嫌気好気法（以下、AO法））の整備を、既存施設の更新にあわせて進めている。導入までの間、既存の標準法施設では反応タンクの前段の曝気風量を絞ることで、擬似AO法運転を実施している。これらの施策により、各施設の窒素・りん除去率は改善傾向にあるが、施設により除去性能の違いがある。擬似AO法で高度処理の目標水質を達成できる施設がある一方で、目標達成が困難な高度処理施設も存在する。これらの処理性能の差には、流入水質の違いが大きく影響していると考えられる。

そこで我々は、各処理法において流入水質が窒素・りん除去性能に与える影響を評価することを目的として調査を実施した。本市各水再生センターの反応タンク流入水（以下、流入水）について、溶解性有機物や有機酸の測定を行った。また、各施設の1年間の運転・水質データ平均値を用いて、各処理法の窒素・りん除去に関してそれぞれ解析を行った。その結果、流入水質条件がよければ擬似AO法でも十分な窒素・りん除去が行われ、悪ければ高度処理法でも除去は困難となることがわかった。

2. 調査方法

2.1 水質測定

各系列の流入水について、BOD・COD_{Mn}・溶解性BOD・溶解性COD_{Mn}（以下、SBOD・SCOD）および酢酸を測定した。平成18年2月から平成19年1月にかけて全12回実施した。溶解性試料は、孔径1μmのガラス繊維ろ紙でろ過して作成した。酢酸は液体クロマトグラフで測定し、他は下水試験法に準拠した。

2.2 調査対象施設

本市各水再生センター内の16系列（標準法×2、擬似AO法×8、A₂O法×5、AO法×1）について、平成18年1～12月の各運転・水質データ平均値および2.1の水質測定結果平均値を用いて窒素・りん除去に関する解析を行った。各系列の期間中の運転状況を表1に示す。本期間中、各系列のMLSS濃度は概ね1500～2500mg/Lの間で管理され、BOD・COD_{Mn}・SS各除去率平均値は全て80%以上であった。なお、系列4と15は汚泥返流水処理水を受入れており、特に系列4ではりん負荷が高いため凝集剤添加を行っている。

3. 水質測定結果

各系列のSBOD比（SBOD/BOD）、SCOD比および酢酸濃度の平均値を図1に示す。SBOD比はSCOD比よりも系列間の差が大きく、酢酸濃度は大きく異なっていた。SBOD濃度と酢酸濃度には概ね相関があり（図2）、特に返流水処理の影響を受ける系列では低かった。また、各系列のSBOD濃度とT-N、T-P除去率の間には相関が認められた（図3）。これらの結果から、窒素・りん除去には生物分解性の有機物、特に低分子有機物が大きく影響を与えていることがわかる。

表1 各系列運転・水質データ(H18.1～12平均値)

*1 合は合流、分は分流、合分は合流・分流混合、(返)は汚泥処理返流水の影響を受ける系列
*2 循環比=(返送汚泥量+循環水量)/処理水量

処理法 系列番号	標準法		擬似AO法								A ₂ O法				AO法		平均		
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	標準法	擬似AO法	A ₂ O法
合分流別 ^{*1}	合	合	合	合(返)	合	合	合	分	分	合分	合	合	合分	分	合(返)	分	法	法	法
反応タンク (hr)	5.4	7.6	5.4	6.4	7.6	5.3	5.0	8.6	18	6.3	7.6	7.3	9.1	12	10	9.6	6.5	7.8	9.3
(擬似)嫌気タンク (hr)	0	0	1.3	1.6	2.8	1.3	1.2	2.2	4.4	1.6	1.9	0.9	2.5	1.5	2.5	3.1	0	2.1	1.7
無酸素タンク (hr)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1.4	2.7	2.8	4.5	1.9	0	0	0	2.7
好気タンク (hr)	5.4	7.6	4.0	4.8	4.7	4.0	3.7	6.5	13.3	4.7	4.3	3.7	3.9	6.0	5.7	6.5	6.5	5.7	4.8
SRT (d)	8.7	9.2	7.8	11	15	6.6	7.9	8.0	27	6.3	13	12	12	14	13	12	8.9	11	13
BOD・SS負荷 (kg/kg/d)	0.16	0.13	0.13	0.09	0.11	0.18	0.16	0.15	0.04	0.21	0.08	0.10	0.09	0.08	0.11	0.08	0.15	0.13	0.10
循環比 ^{*2} (%)	0.7	0.8	0.5	0.5	0.4	0.8	0.7	0.7	0.6	0.9	1.6	1.0	1.8	2.0	1.3	0.5	0.7	0.6	1.5
BOD/T-N比	4.2	4.0	2.8	2.0	3.5	4.3	3.9	3.8	3.0	4.5	2.8	3.3	4.5	4.3	3.1	3.0	4.1	3.5	3.5
処理水T-N濃度 (mg/L)	8.0	11	9.6	19	7.3	7.7	7.8	12	12	8.6	7.5	6.8	5.6	5.5	8.6	11	9.4	10	7.0
T-N除去率 (%)	50	40	48	34	64	57	55	54	47	64	60	66	68	74	63	49	45	53	65
BOD/T-P比	23	38	21	11	28	39	33	30	29	35	21	26	36	35	22	29	31	28	27
処理水T-P濃度 (mg/L)	1.7	1.2	0.9	3.4	0.8	0.7	0.4	1.3	1.1	0.8	0.5	0.5	0.3	0.1	1.8	0.5	1.5	1.2	0.7
T-P除去率 (%)	42	34	63	35	66	63	83	60	52	73	81	79	87	95	45	80	38	62	75

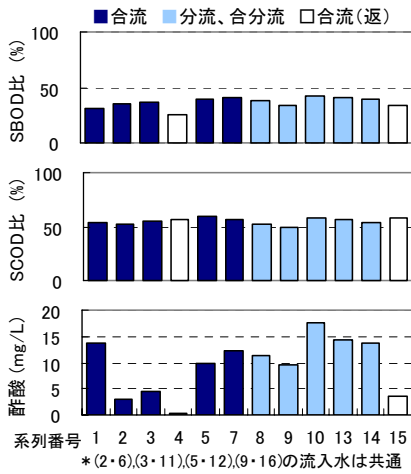


図1 各系列のSBOD比、SCOD比、酢酸濃度の平均値

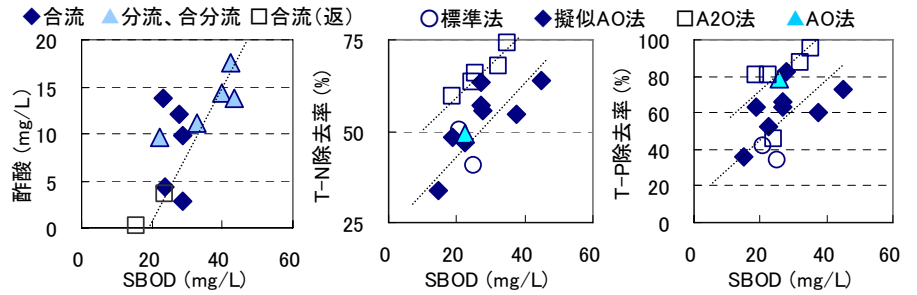


図2 SBODと酢酸の相関

図3 SBODとT-N、T-P除去率の相関

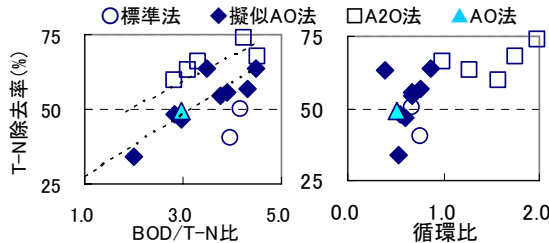


図4 T-N除去率とBOD/T-N比、循環比の相関

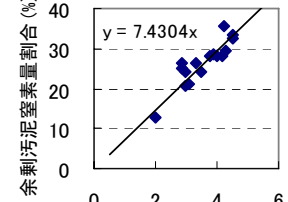


図6 BOD/T-N比と余剰汚泥窒素量の相関

4. 窒素除去に関する検討

4.1 各系列の窒素除去状況(表1)

本期間中、A₂O法系列では、脱窒に望ましいとされるBOD/T-N比 ≥ 3 を満足しており、60%以上の窒素除去を達成していた。擬似AO法の除去率は系列間で大きな差が認められ、一部の系列はA₂O法と同等の除去率に達していた。また、AO法と擬似AO法に差は認められなかった。

4.2 窒素除去と流入水質、循環比の関係

窒素除去性能は、硝化反応が十分に進行していれば、BOD/T-N比と循環比で決まる。各系列のT-N除去率とBOD/T-N比、循環比の関係を図4に示す。BOD/T-N比については処理法ごとに概ね相関が認められた。BOD/T-N比が同等であれば、A₂O法の除去率は擬似AO法より10%程度高いことがわかる。擬似AO法ではBOD/T-N比が4程度あれば除去率55%以上を確保していたが、標準法では除去率は50%以下であった。一方、T-N除去率と循環比については、明瞭な関係は認められなかった。

4.3 各処理法の窒素除去の解析

A₂O法の窒素除去は、①最終沈殿池～嫌気タンクでの脱窒、②余剰汚泥引抜、③無酸素タンクでの脱窒の3段階に大きく分けられる。各系列の各段階の窒素除去量を試算し、流入窒素量に占める割合の比較を試みた。試算条件と結果を図5に示す。

各処理法とも余剰汚泥窒素量の割合は同等で、3割弱を占めていた。各系列の余剰汚泥窒素量割合とBOD/T-N比の関係をみると、BOD/T-N比が高いほど窒素除去における余剰汚泥窒素量の割合が高くなることがわかる(図6)。一方、A₂O法における無酸素タンク脱窒量は11%程度で、これはBOD/T-N比同条件下における両処理法のT-N除去率の差と同程度であった(図4)。また、図4においてT-N除去率50%以上では循環比による除去率の差が小さいのは、A₂O法において③量を増やしても①量が低下するため、効果は小さくなるためだと考えられる。これらの解析結果は、窒素除去向上には循環比を上げるよりもBOD負荷を上げることにより余剰汚泥窒素量を増やすほうが効果的であることを示している。ただし、余剰汚泥発生量の増加はA-SRT短縮につながるため、硝化状況には十分留意する必要がある。

5. リン除去に関する検討

5.1 各系列のりん除去状況(表1)

A₂O法では系列15以外の除去率は80%以上と良好で、処理水T-P濃度も平均0.5mg/L以下であった。擬似AO法では窒素と同様に除去率に差が大きく、系列7では高度処理レベルの除去率に到達していた。擬似AO法は系列4を除いて標準法よりも除去率は高く、50%以上となっていた。系列4、15で除去率が低いが、これは汚泥返流水処理水を受け入れている影響でりん負荷が高いことに加え、流入NO_x-N濃度が高いことと、有機酸濃度やSBOD濃度が低いことが大きく影響していると考えられる(図1、3)。

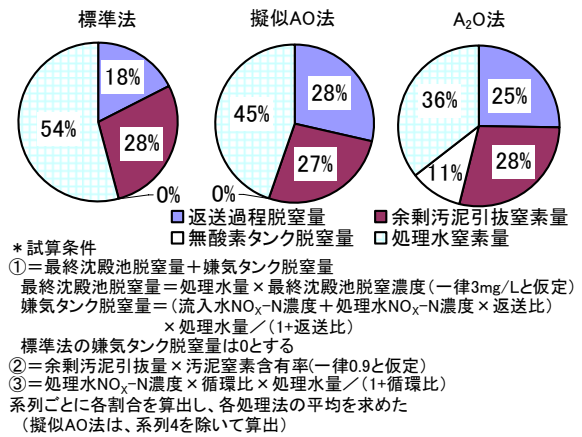


図5 各処理法の窒素除去量試算

* 試算条件
 ①=最終沈殿池脱窒量+嫌気タンク脱窒量
 最終沈殿池脱窒量=処理水量×最終沈殿池脱窒濃度(一律3mg/Lと仮定)
 嫌気タンク脱窒量=(流入水NO_x-N濃度+処理水NO_x-N濃度×返送比)×処理水量/(1+返送比)
 標準法の嫌気タンク脱窒量は0とする
 ②=余剰汚泥引抜量×汚泥窒素含有率(一律0.9と仮定)
 ③=処理水NO_x-N濃度×循環比×処理水量/(1+循環比)
 系列ごとに各割合を算出し、各処理法の平均を求めた
 (擬似AO法は、系列4を除いて算出)

5.2 りん除去と流入水質の関係

生物学的りん除去を良好に行うには、高い余剰汚泥発生率と汚泥りん含有率(以下、 P_x)を確保する必要がある³⁾、高度処理法ではBOD/T-P比 ≥ 30 、酢酸/ PO_4 -P比 ≥ 7 が安定したりん除去の条件と報告されている¹⁾²⁾。T-P除去率とBOD/T-P比、酢酸/ PO_4 -P比および反応タンク流入 NO_x -N濃度(図5の試算条件で推定)の相関を図7に示す。それぞれ概ね相関がみられ、擬似AO法ではBOD/T-P比、酢酸/ PO_4 -P比は上記条件よりも高い値が必要だと読み取れる。また、擬似AO法はBOD/T-P比と流入 NO_x -N濃度の負の相関が特に高い。擬似AO法が高度処理と比較して除去率が低いのは、窒素除去率が低い分だけ返送汚泥中の NO_x -N濃度が高いことと、微曝気によるDO供給のために、擬似嫌気タンクで低分子有機物が消費され、りん放出反応が阻害されるためだと考えられる。

5.3 必要汚泥りん含有率の検討

流入水、処理水T-P濃度と余剰汚泥引抜量から、各系列の P_x 平均値を推定できる。系列ごとに算出した推定 P_x の処理法ごとの平均値を図8に示す。擬似AO法は2.7%と標準法の1.8%より高く、高度処理法(3.3%)ほどではないが、活性汚泥へのりん蓄積が進んでいると判断できる。

さらに、T-P目標水質を0.5mg/Lとして必要 P_x を算出した。必要 P_x とBOD/T-P比の間には、良好な負の相関がある(図9)。これは、BOD/T-P比が高いほど目標水質達成に必要な P_x は低くなり、りん除去が容易になることを示す。 P_x を上げるには嫌気タンクリン放出反応を促進する必要があり、そのためには嫌気タンクへの酢酸供給と NO_x -N供給抑制を図る必要がある。推定 P_x と推定流入 NO_x -N濃度には負の相関がみられた(図10)。この結果は流入 NO_x -N濃度が高いと P_x が上がり、りん除去性能が低下することを示している。図8~10から、高度処理法では30以上、擬似AO法では35以上のBOD/T-P比があり、さらに流入 NO_x -N濃度が2mg/L以下であれば、りん除去目標達成に必要な P_x を確保でき、良好なりん除去を行うことが出来ると推定できる。

6. まとめ

本市水再生センター各系列の流入水質と窒素・りん除去の関係について解析し、以下の結果が得られた。

- 汚泥処理返流水の影響を受ける系列では、窒素・りん負荷が高いことに加え、流入 NO_x -N濃度が高く、有機酸濃度やSBOD濃度が低いため、高度処理法でも窒素・りん除去は難しい。
- 窒素除去は、循環比よりも流入水質特性の影響が大きく、BOD/T-N ≥ 4 を満足する系列では、余剰汚泥引抜窒素量が多いため、循環比の低い(擬似)AO法でもT-N除去率55%以上の処理性能を得られる。
- りん除去は、BOD/T-P比および流入 NO_x -N濃度の影響を大きく受ける。BOD/T-P比が高いほど、低い汚泥りん含有率で除去が可能になる。BOD/T-P ≥ 35 および流入 NO_x -N濃度 ≤ 2 mg/Lを満足すれば、擬似AO法でもりん目標水質の達成は可能である。

このように、本市各水再生センターのうち、流入水質条件に恵まれた一部の系列では高度処理法を導入しなくても、擬似AO法により良好な窒素・りん除去を達成することが可能である。一方で、汚泥処理返流水の影響を受ける系列では、現状では高度処理を導入しても十分な窒素・りん除去性能を得ることは難しい。今後の高度処理施設導入にあたって費用対効果向上を図るためには、汚泥処理返流水対策と同時に、各水再生センターの流入水質特性を把握した上で、センター毎に窒素・りん除去の難易度に応じて目標水質を設定することが有効だと考えられる。

参考文献

- 1) 下水道維持管理指針 -2003年版- (社)日本下水道協会
 - 2) 高度処理施設設計資料検討プロジェクト報告書(平成15年3月) 独立行政法人土木研究所
 - 3) 浅野卓哉、小川洋平「生物学的りん除去法におけるりん除去変動機構の解析」第42回下水道研究発表会講演集 pp.777
- 問い合わせ先:横浜市環境創造局水再生水質課 浅野 卓哉 TEL 045-621-4343 E-mail ta01-asano@city.yokohama.jp

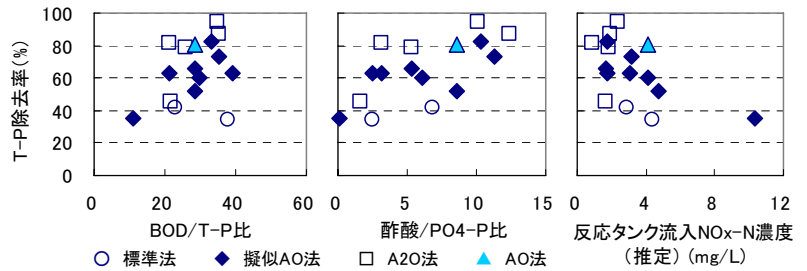


図7 T-P除去率と各水質の相関

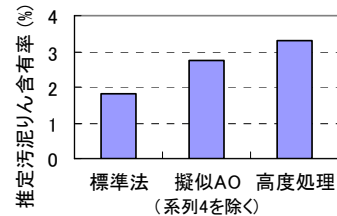


図8 推定汚泥りん含有率

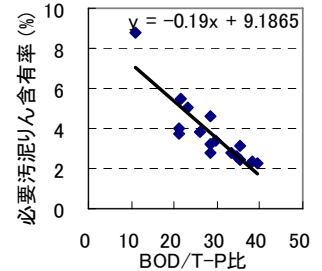


図9 必要りん含有率とBOD/T-P比の関係

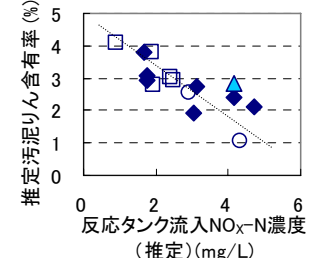


図10 推定りん含有率と流入 NO_x -N濃度の関係