

擬似嫌気好気法による窒素除去性能向上効果の検討

水再生水質課 浅野 卓哉

○ 糸山 景子

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擬似嫌気好気法（以下、擬似 AO 法）運転を実施している。その結果、多くのセンターでりんだけでなく窒素除去も向上した。これは、主に嫌気部での脱窒によるものだが、エアリフトによる逆流効果や硝化脱窒の同時進行といった現象も寄与していると考えられる。一方で、擬似 AO 法運転は好気時間の短縮を伴い、NH₄-N や BOD 除去のためには A-SRT や硝化速度の確保が重要となる。

今回は、実施で収集したデータを用いて、擬似 AO 法の窒素除去性能について検討した。擬似 AO 法による窒素除去向上は流入負荷の低い系列で大きく、擬似 AO 法と高度処理の汚泥では脱窒性能に差はなかった。また、返送設備や隔壁の構造により窒素除去性能が大きく異なることが示された。さらに、各系列の A-SRT、硝化速度について解析した結果、MLSS 調整により冬季でも完全硝化が十分可能であることが示された。

2. 調査対象・方法

調査対象は、本市各センターの擬似法 6 系列および高度処理法 5 系列とした。各系列において、平成 18～20 年の降雨の影響のない秋冬期に、反応槽機能調査および脱窒速度測定のための回分実験を数回実施した。調査方法や使用データは、文献¹⁾と同様である。各系列の処理方式・運転状況（年平均値）および調査期間・回数を表-1に示す。

表-1 各系列運転状況および調査期間・回数

処理方法		擬似AO法						高度処理法				
								A ₂ O	A ₂ O	A ₂ O	AO	AOAO
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
系列番号												
合分流												
年間 平均 値 *2	反応タンク (hr)	5.8	5.5	9.0	5.3	8.2	6.5	7.3	7.6	9.1	9.6	9.5
	HRT (擬似)嫌気タンク (hr)	1.5	0.7	3.4	1.3	1.4	1.6	0.9	1.9	2.5	3.1	2.4
	無酸素タンク (hr)	0	0	0	0	0	0	2.7	1.4	2.8	0	2.3
	好気タンク (hr)	4.4	4.7	5.6	4.0	6.8	4.8	3.7	4.3	3.9	6.5	4.8
	SRT (d)	9.1	6.7	15	7.4	7.1	6.9	12	13	12	12	14
	BOD・SS負荷 (kg/kg/d)	0.16	0.23	0.09	0.18	0.15	0.19	0.10	0.08	0.09	0.08	0.11
	循環比*1 (%)	100	89	58	67	73	89	100	160	180	52	68
	MLSS濃度 (mg/L)	2100	2000	2100	2000	1800	2000	2000	2000	2000	2000	2000
	流入水BOD濃度 (mg/L)	80	87	68	80	95	102	66	53	79	65	92
	BOD/T-N比	4.0	4.0	3.2	4.2	3.4	4.4	2.8	3.3	4.5	3.0	4.6
	処理水T-N濃度 (mg/L)	6.8	9.1	7.8	8.3	12	8.3	7.5	6.8	5.6	11	7.4
	T-N除去率 (%)	66	58	63	56	57	64	66	60	68	49	70
	BOD/T-P比	36	31	28	36	23	38	21	26	36	29	26
	処理水T-P濃度 (mg/L)	0.37	1.40	0.73	0.27	1.40	0.49	0.47	0.53	0.28	0.45	0.70
T-P除去率 (%)	83	51	70	88	66	82	79	81	87	80	79	
調査期間	月	H19.9～H21.2						H18.9～H19.2				
調査回数	回	4	4	5	3	4	4	5	6	10	3	2

*1 循環比=(返送汚泥量+循環水量)/処理水量

*2 系列1～6は平成19年度平均値、系列7～11は平成18年平均値

3. 調査結果

3.1 擬似 AO 法導入による窒素除去向上効果

各系列の擬似 AO 法導入前後の反応槽 T-N 除去率を図-1に示す。除去率は1・3・4系列で大きく向上し、2・5・6系列では導入前から比較的高く効果は小さかった。後者は流入水 BOD 濃度が比較的高いため、従来から反応槽流入部での脱窒が行われていたと考えられる。このように、擬似 AO 法による窒素除去向上効果は流入負荷の低い系列で顕著であった。

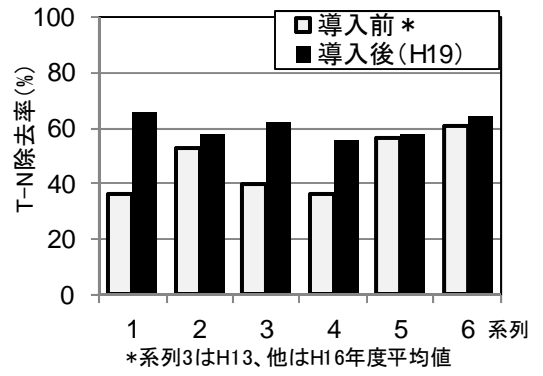


図-1 擬似 AO 法導入効果

3.2 嫌気槽の脱窒性能

擬似 AO 法および高度処理法系列の嫌気槽末端 ORP、DO 濃度および嫌気槽流入・末端 NO_x-N 濃度を図-2に示す。ORP、DO 濃度はどちらも系列・処理方法で大きな差はなく、微曝気が行われていても、嫌気状態の差は小さいことがわかる。流入 NO_x-N 濃度は流入水と返送汚泥の加重平均値であり、窒素除去状況のほか、返送プロセスでの脱窒や返送率に左右される。系列2・5・6では末端で NO_x-N が残存しているが、脱窒量としては高度処理と同等の値を示している。

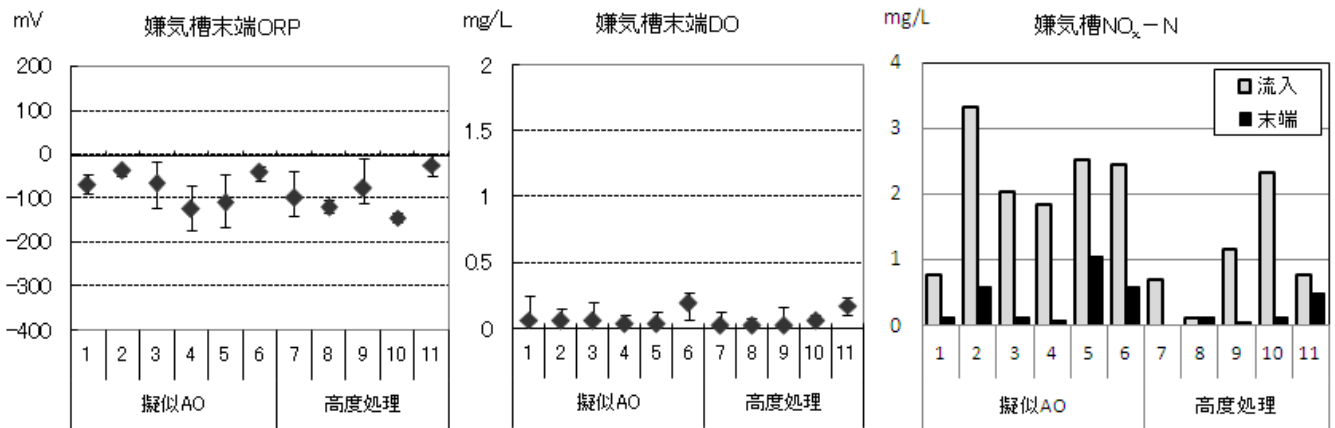


図-2 各系列の嫌気槽 ORP、DO 濃度、NO_x-N 濃度

回分試験による脱窒速度を図-3に示す。回分試験は返送汚泥と流入水を返送率にあわせて混合し、必要に応じて酢酸を添加し、酢酸存在下と非存在下の速度を求めた。高度処理と比較して擬似 AO 法の脱窒速度は遜色なく、十分な脱窒性能が得られていることがわかる。

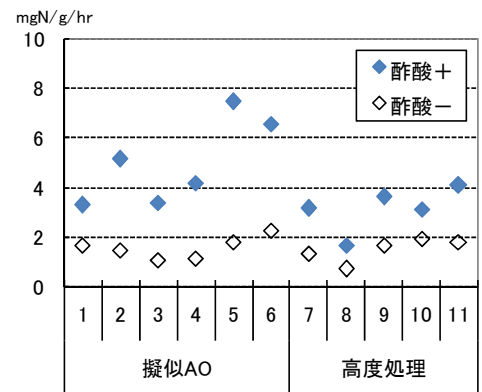


図-3 各系列の脱窒速度 (回分試験)

以上のことから、擬似 AO 法の嫌気槽は脱窒反応に十分な嫌気状態となっており、活性汚泥の脱窒性能も高度処理と同等であるといえる。

3.3 返送過程や逆流効果による脱窒促進

系列1・3・6ではA₂O法とほぼ同等の窒素除去率が得られており(表-1)、嫌気槽での脱窒以外のプロセスが寄与していると考えられる。系列1と3の反応槽水質挙動の一例を図-4に示す。系列1では返送汚泥中のNO_x-Nが低かった。系列1の返送設備は採泥機によるサイフォン式が採用されており、これが最終沈殿池〜返送間の脱窒促進に影響していると考えられる。系列3では、1~2セルが嫌気槽だが、セル間の隔壁の上部でエアリフト効果により硝化液が逆流していた。本調査では反応槽上部で採水しているため、2-1、2-2セルのNO_x-N濃度が高いが、実施設では混合され、脱窒反応が進んでいると考えられる。

これらのことから、こうした施設設備特性が窒素除去に大きく影響しており、条件次第では擬似 AO 法でも65%程度の除去率が得られることがわかる。

3. 4 硝化性能の評価

擬似 AO 法は好気時間短縮を伴うため、硝化促進運転を行うには必要 A-SRT や硝化速度の確保が重要となる。擬似 AO 法各系列の実測 A-SRT/必要 A-SRT 比および必要硝化速度/最大硝化速度比を図5に示す。A-SRT 比は小さく、硝化速度比は大きいほど、またどちらも 1 に近いほど好気時間の余裕が小さいことを表す。硝化速度では各系列とも余裕があるが、A-SRT では系列 1、3 以外は余裕が小さい。この結果から、これらの系列では、MLSS を 2000mg/L (表一参照) 程度以上に調整すれば、硝化速度を確保しつつ冬季の必要 A-SRT も維持できるため、擬似 AO 法運転を行っても十分に完全硝化を達成できることが示された。

4. 今後の課題

本市では全水再生センターの既存標準法施設で擬似 AO 法運転を試みている。その結果、多くのセンターでりん除去と同時に窒素除去も向上した。本市東京湾側センターでは、東京湾流域別下水道整備総合計画に基づいて高度処理施設 (A₂O 法) の導入を進めているが、流入負荷の低いセンターでは、擬似 AO 法運転のみで T-N、T-P の計画目標値をほぼ達成している。一方で、現状では擬似 AO 法を前提としていない施設設備条件で運転しており、一時的な処理悪化や散気装置のトラブルが散見される。また、MLSS を通常運転より高く設定するため、施設によっては最終沈殿池能力も課題となる。こうした課題を解決すると同時に、逆流効果や低 DO による硝化脱窒同時促進について技術的に確立できれば、擬似 AO 法は低負荷センターにおける低コストな窒素・りん同時除去法として、非常に有効な選択肢となる。そのためには、微曝気運転を前提とした散気装置の導入、各槽の最適 HRT、隔壁の構造などについて、更なる検討を進めていく必要がある。

5. まとめ

擬似 AO 法の窒素除去について調査した結果、次の結果が得られた。

- ・擬似 AO 法導入による窒素除去向上は、流入負荷の低い系列で顕著だった。高い系列では、導入前からある程度脱窒が行われていた。
- ・擬似 AO 法導入による窒素除去は、主に嫌気槽での脱窒向上によるもので、他に好気槽から嫌気槽への逆流による効果が寄与していた。
- ・擬似 AO 法と高度処理法の活性汚泥では、脱窒性能に差はなかった。
- ・擬似 AO 法導入による好気時間短縮について A-SRT や硝化速度を用いて評価した結果、MLSS 濃度を 2000mg/L 以上に保てば、十分に完全硝化を達成できることが示された。

参考文献

- 1) 折目孝子他:「擬似嫌気好気法におけるりん除去向上効果の検討」:第 45 回下水道協会研究発表会講演集 p749
- 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)土木研究所
問い合わせ先:水再生水質課 浅野 卓哉 TEL 045-621-4343 E-mail ta01-asano@city.yokohama.jp

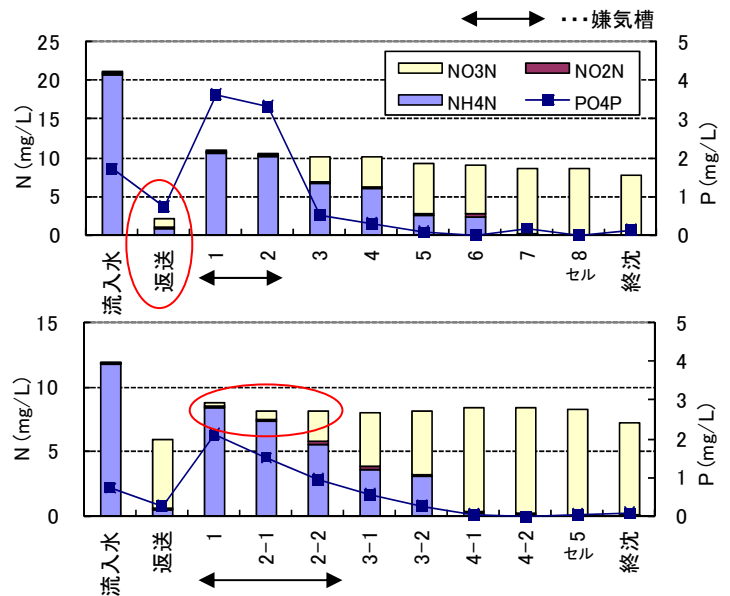
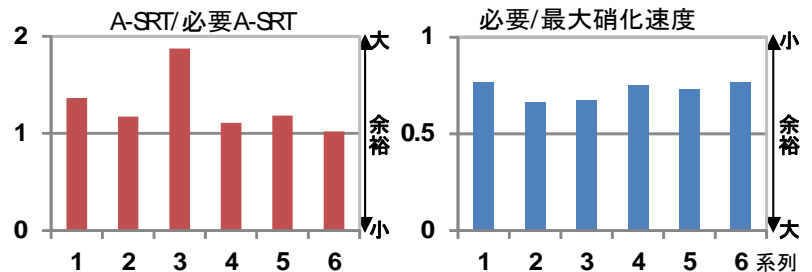


図-4 槽内各態窒素濃度の推移(系列1, 3)



- * 必要A-SRT=11*EXP(-0.0525*水温) 文献²⁾
- * 必要硝化速度(mgN/gSS/hr)=流入NH₄-N濃度÷MLSS÷好気時間
- * 最大硝化速度は、高度処理施設での実測値を基に、2mgN/gSS/hrとした

図-5 A-SRT、硝化速度による好気時間の評価