

アンモニア制御を用いた送風量の削減と処理水質の改善について

横浜市 ○須崎佑崇・荒井優紀

1. はじめに

横浜市では令和5年1月に「下水道脱炭素プラン」が策定され、2030年度の温室効果ガス排出量を2013年度比で50%削減することを目標としている。また、令和5年4月には「横浜下水道DX戦略」が策定され、「循環・脱炭素DX」の項目において、「デジタル支援によるきめ細かい制御で、省エネと良好な水環境を両立する水処理施設の最適運転の実現」を目指している。横浜市の水再生センターでは電力量の大部分がプロフに使用されており、送風量の削減による電力量の削減が期待されている一方で、送風量の削減は処理水質の悪化につながることが示唆されている。

令和3年12月、都筑水再生センターでは循環式硝化脱窒法（以下「循環法」という。）の系列にアンモニア制御（以下「NH₄制御」という。）が導入された。NH₄制御は制御指標が汚濁物質濃度そのものであることから、従来のDO一定制御と比較して下水中の汚濁負荷に対する応答性が高く、より負荷変動に適した送風が可能である。また、流入負荷の低い時間帯に送風量を抑制する位置を適切に選択することで、送風量の削減と水質改善の両立が可能となったことから、その検討内容について報告する。

2. 検討方法

2-1. 対象施設の概要

都筑水再生センターは、計画処理面積8,096ha、計画処理人口597,100人、計画処理能力242,100m³/日の分流式の終末処理場である。計画流入水質及び計画処理水質を表-1に示す。

水処理施設は全5系列あり、本検討はNH₄制御が導入されている第1系列にて行った。表-2に風量制御設定、図-1に施設概要を示す。第1系列の処理方式は循環法（循環ポンプなし）であり、セル割は全8セルのうち1,2セルが無酸素槽、3,4セルが好気槽前段、5,6セルが好気槽中段、7,8セルが好気槽後段となっている。1/2池は5,7セルにNH₄計が設置されているため、中段及び後段で異なるNH₄制御方式を設定できる。2/2池はNH₄計がないため、NH₄制御を行うことができない。2つの池はNH₄計の設置の有無を除き同じ構造である。

表-1 計画流入水質及び計画処理水質

名 称	計画 流入水質 mg/l	最初沈殿池		反応タンク 除去率 %	計画 処理水質 mg/l
		除去率 %	流入水質 mg/l		
BOD	250	50	125	96	5
SS	200	60	80	94	5
T-N	36	25	27	63	10
T-P	5.8	43	3.3	85	0.5

横浜市公共下水道事業 容量計算書（令和2年3月）

表-2 第1系列反応タンクの風量制御設定

	前段		中段	後段
	3セル (兼用槽)	4セル (好気槽)	5, 6セル (好気槽)	7, 8セル (好気槽)
1/2池	風量一定	風量一定	NH ₄ 制御	NH ₄ 制御
2/2池	風量一定	風量一定	DO一定	DO一定



図-1 第1系列の施設概要

2-2. 検討に用いた NH₄制御方式

都筑水再生センターの NH₄制御方式は、(1)「NH₄風量演算制御」、(2)「NH₄-DO 補正制御」、(3)「NH₄一定制御」の3種類である。それぞれの制御の特徴及びイメージは以下のとおりである。なお、(3)の制御は本検討において使用していないことから説明を割愛する。

(1) NH₄風量演算制御

- NH₄計の計測値と流入水量データから処理に必要な空気量を演算し、風量を直接的に制御（図-2は風量変動のイメージ図）
- 滞留時間を考慮することができる
- DO計が関与しないため、制御の応答速度を上げても風量のハンチングがない
- 流入負荷の変動に合わせて風量を迅速に応答させられるため、好気槽中段の制御に向く

(2) NH₄-DO 補正制御

- DO計を用いた間接的な風量制御（DO一定制御の一種）
- NH₄計の計測値により DO目標値が変化するDO制御
- (1)の制御より応答は遅いが、流入負荷の変動に合わせて風量が増減
- 極端な風量変動による過剰な曝気（高DO）や風量不足（低DO）を抑制しやすいため、好気槽後段の制御に向く（図-3のイメージ図ではDO下限値を0.5mg/lに設定）

1/2池の好気槽中段及び後段の風量制御を図-2,3に示すようなNH₄制御に設定し、DO一定制御の2/2池（対照池）との比較を行った。

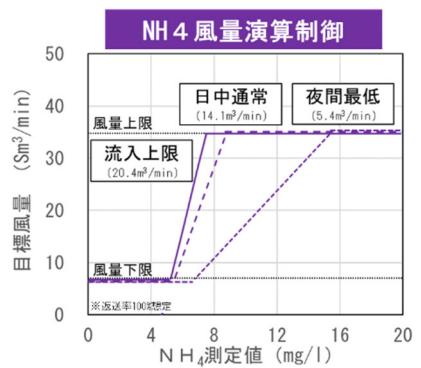


図-2 1/2池-好気槽中段のNH₄制御

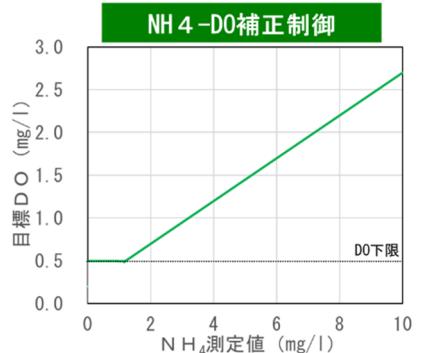


図-3 1/2池-好気槽後段のNH₄制御

3. 結果及び考察

処理実績を表-3に示す。処理水量や返送率、初沈汚泥投入量等の処理条件を揃えて比較を行った結果、NH₄制御を用いることで風量（空気倍率）を約7%削減することができた。処理水質については、硝化は同程度進み、窒素除去量の向上（脱窒の促進）を確認できた。

図-4に反応タンク流入量及び流入負荷（1/2池好気槽中段NH₄測定値）の経時変化、図-5に反応タ

表-3 処理実績の比較

		1/2池 (NH ₄ 制御)	2/2池 (DO一定制御)	対2/2池 増減量
期間		R6/4/1~6/30	R6/4/1~6/30	
制御値	中段	NH ₄ 風量演算	DO一定 (1.2mg/l)	
	後段	NH ₄ -DO補正	DO一定 (1.2mg/l)	
処理水量	日平均 m ³ /日	19,300	19,300	0
	日最大 m ³ /日	29,200	28,900	+1%
風量	Sm ³ /日	91,000	98,100	-7%
空気倍率	Sm ³ /m ³	4.82	5.20	-7%
返送率	%	85	85	0
初沈汚泥投入量	m ³ /日	47	47	0
処理水質	NH ₄ -N mg/l	0.7	0.4	+0.3
	NO ₂ -N mg/l	0.2未満	0.2未満	0
	NO ₃ -N mg/l	7.4	8.2	-0.8
	T-N mg/l	8.6	9.4	-0.8
	T-P mg/l	0.24	0.36	-0.1
	BOD mg/l	3.8	4.1	-0.3

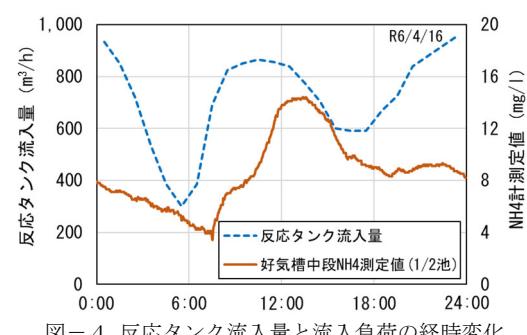


図-4 反応タンク流入量と流入負荷の経時変化

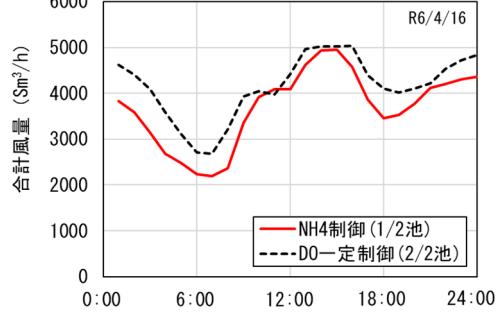


図-5 反応タンク合計風量の経時変化

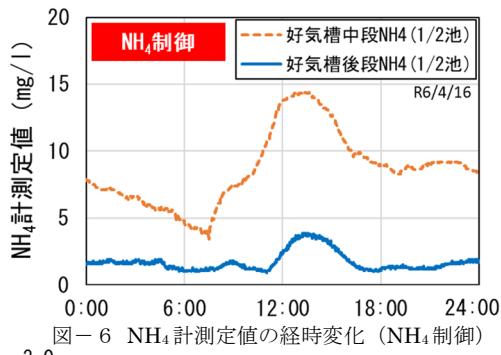


図-6 NH₄計測定値の経時変化 (NH₄制御)

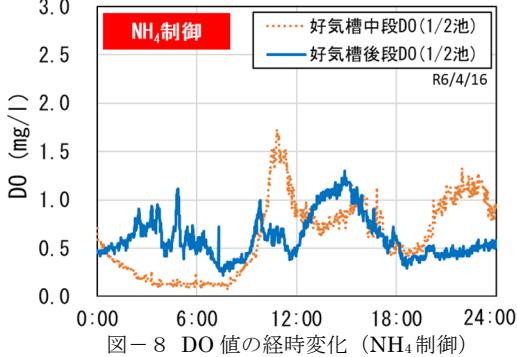


図-8 DO値の経時変化 (NH₄制御)

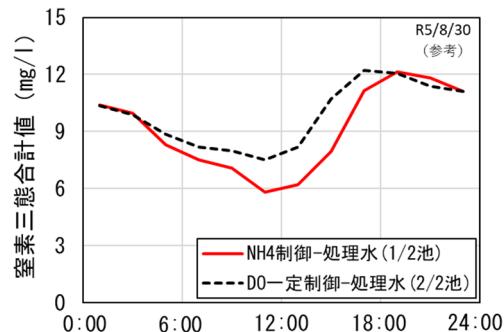


図-10 処理水中の窒素三態合計値の経時変化

確認された。これにより、もともと循環法である反応タンクが疑似 AAO 化し、内生脱窒が促進されたことで、窒素除去量の向上につながったと考えることができる。

図-10 に処理水中の窒素三態（アンモニア態窒素、亜硝酸態窒素および硝酸態窒素）合計値の経時変化を示す。検討期間外のデータとはなるが、制御の設定値は今回の検討と同じである。深夜から早朝の時間帯に好気槽中段に滞留している水は正午付近に最終沈殿池から流出する。正午付近の処理水中の窒素三態合計濃度は、NH₄制御の方が DO 一定制御より 2mg/l 程度減少していた。T-N も同様の挙動を示すと推測される。

4. 結論

NH₄計を用いた送風量制御により以下のような結果を得た。

- ・負荷変動に適した送風が可能となったことで、硝化を後退させずに風量を 7 %削減することができた。
- ・負荷の低い時間帯に好気槽中段の風量が自動で選択的に抑制されることで、もともと循環法であった反応タンクが疑似 AAO 化し、内生脱窒の促進による処理水質の改善につながった。

NH₄制御の有効性が示される一方で、NH₄計の維持管理にかかるコストや人出の課題が挙がっている。消耗品の長寿命化や設置台数の適正化など、より効率的な運用に向けて今後は検討を進めていく必要がある。

問合わせ先：横浜市下水道河川局下水道施設部水質課

T E L 045-621-4343

E-mail gk-suishitsu@city.yokohama.lg.jp

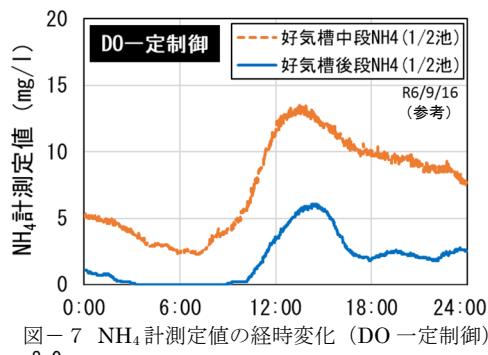


図-7 NH₄計測定値の経時変化 (DO一定制御)

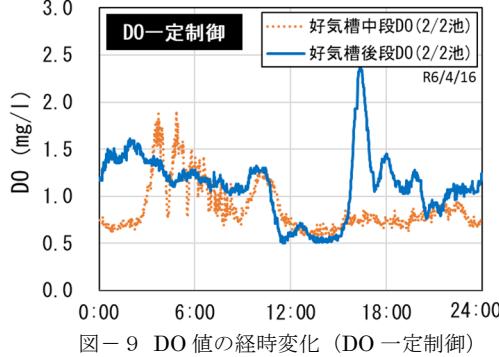


図-9 DO値の経時変化 (DO一定制御)

ンク合計風量（好気槽前段、中段及び後段風量の合計値）の経時変化を示す。反応タンク流入量と流入負荷のどちらも減少する夕方や深夜から早朝にかけての風量削減量が特に大きかった。

図-6,7 に NH₄ 制御及び DO 一定制御における NH₄ 計測定値の経時変化を示す。2/2 池は NH₄ 計が設置されていないため、図-7 は 1/2 池を DO 一定制御で運転した際の参考データである。

NH₄ 制御では 7 セル（好気槽後段 NH₄ 計設置場所）でアンモニアが 2 ~ 3 mg/l 程度安定的に残せているが、DO 一定制御では 7 セルで完全硝化に至ってしまう時間帯が早朝付近に存在している。このことから、NH₄ 制御では深夜から早朝にかけての負荷の低い時間帯において特に効率的な風量制御を行えている可能性がある。

図-8,9 に NH₄ 制御及び DO 一定制御における DO 値の経時変化を示す。NH₄ 制御では深夜から早朝にかけて好気槽中段の風量が選択的に抑制され、中段の DO が顕著に低下していることが確認された。これにより、もともと循環法である反応タンクが疑似 AAO 化し、内生脱窒が促進されたことで、窒素除去量の向上につながったと考えることができる。