

アンモニア制御による N₂O 低減効果 ～通年連続モニタリングに基づく考察～

横浜市 ○坂本悠真・新村聡士
高城享・毛利崇希・佐々木怜子・岩崎章展

1. はじめに

横浜市では、下水道事業における地球温暖化対策として「下水道脱炭素プラン」で具体的な取組を定め、2050 年度の温室効果ガス排出量実質ゼロを目指している。西部水再生センターにおいては、下水処理に伴い発生する温室効果ガスである一酸化二窒素（以下、N₂O）の測定を行い、その削減を目的とした検討を令和 5 年度より実施している。令和 5 年度と 6 年度には、一部の系列で試験的に実施している硝化抑制運転について、硝化反応の抑制による N₂O 発生抑制効果も合わせた温室効果ガス削減効果を報告している¹⁾⁻²⁾。これまでの N₂O モニタリングは各期間 2 週間で測定を実施してきたが、今年度は年間を通じて常時計測を行い、特に硝化促進運転における運転条件と N₂O との相関について重点的に調査を行った。硝化促進運転では、反応タンクに設置したアンモニア計を用いたアンモニア制御（以下、NH₄ 制御）において N₂O 発生量低減効果が見られたため、NH₄ 制御の特性と N₂O 発生量の関係について報告する。

2. 概要

（1）西部水再生センターについて

横浜市内には全部で 11 の水再生センターがあり、西部水再生センターは横浜市の南西部に位置し、相模湾に通じる境川を放流河川としている。西部水再生センターの概要を表－1 に示す。

表－1 西部水再生センター概要

計画処理面積	3,813ha
計画処理人口	270,300人
計画処理能力	106,400m ³ /日
処理方法	標準活性汚泥法

（2）アンモニア制御について

西部水再生センターには 3 つの水処理系列がある。そのうち 1 系列の反応タンクにはアンモニア計（日立製）が設置されており、アンモニア濃度計測値を用いた演算による送風制御が可能となっている。反応タンクの平面図とアンモニア計・DO 計の設置位置を図－1 に示す。NH₄ 制御における前段・後段の風量演算式については表－2 のとおりで、前段では NH₄ 濃度と流量が考慮された演算式となっており、流入負荷に応じた送風が可能となっている。後段については、既存の DO 制御に NH₄ 濃度で補正をかける制御となっている。

表－2 NH₄制御の演算式

前段	風量 = $(\gamma \times (\text{前段NH}_4\text{測定値} - \text{NH}_4_t) + \alpha) \times Q_{in} + \beta$
後段	DO制御値 = 補正係数 a × 後段NH ₄ 測定値 + DO設定値

γ : 硝化にかかる係数
NH₄_t : 前段で硝化させる NH₄ 量を設定するための定数
Q_{in} : 流入量（返送量含む）
 α : 有機物の酸化等に係る係数
 β : 内生呼吸等に必要な風量



図－1 1系反応タンク平面図

（3）N₂O 測定について

N₂O 測定は、『下水処理に伴う一酸化二窒素排出量の実態把握に向けた調査マニュアル（案）』に基づき、反応タンク脱臭ダクトにおける連続モニタリングを実施した。測定方法の概要について、表－3 に

示す。通年で常時モニタリングを行うことで、各種運転条件が N_2O 濃度に与える影響について調査した。

3. 結果

(1) NH_4 制御と DO 制御の排出係数について

全測定期間における 1 系 (NH_4 制御) と 3 系 (DO 制御) の排出係数の日変動を図-2 に示す。ほとんどの期間で NH_4 制御の方が DO 制御よりも低くなっており、期間全体の排出係数では NH_4 制御の方が約 63% (NH_4 制御: $42\text{mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$ 、DO 制御: $113\text{ mg-N}_2\text{O}/\text{m}^3$) 低い結果となった。

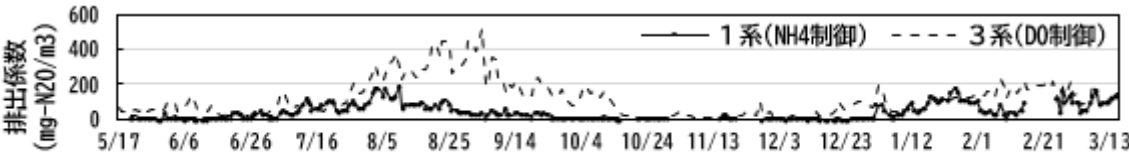


図-2 1系(NH_4 制御)及び3系(DO制御)の排出係数推移(全期間)

(2) NH_4 制御と DO 制御切替え試験について

制御方式と N_2O 濃度の関係について条件を揃えて比較するため、同じ系列にて制御切替え試験を行った。一定期間、1 系において NH_4 制御から DO 制御への切替えを行い、切替え前後での N_2O 濃度推移を確認したところ、DO 制御への切替え後に N_2O 濃度の増加が確認された (図-3)。流れ方向試験を行い、各セルにおける窒素三態中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の割合と、各セルでの亜硝酸性窒素濃度について図-4 に示す。どちらの制御でも後段 (3~5 セル) で硝化が進行しているが、DO 制御の方が NH_4 制御よりも急激に硝化が進行していることが分かる。また、硝化が進むところで亜硝酸性窒素濃度の増加も確認された。硝化が急激に進むことで、亜硝酸性窒素酸化細菌の反応が追い付かず、亜硝酸性窒素の蓄積量が増加しており、この際に N_2O 発生量も増加していると考えられる。各制御での一日の合計風量は表-4 のとおりで、DO 制御の方が NH_4 制御よりも後段風量比率が高くなっている。これにより後段での硝化状況に差が出たものと考えられる。どちらもアンモニアは完全に硝化されており処理水質は同等だが、 NH_4 制御の方が N_2O 発生量は少なく、送風量も少ない結果となった。

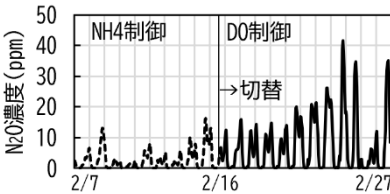


図-3 制御切替え時の N_2O 濃度推移

表-4 NH_4 制御と DO 制御の一日合計風量

		NH4	DO
風量 (m^3)	前段	18948	16641
	後段	23190	27234
	合計	42138	43875
比率 (%)	前段	45	38
	後段	55	62

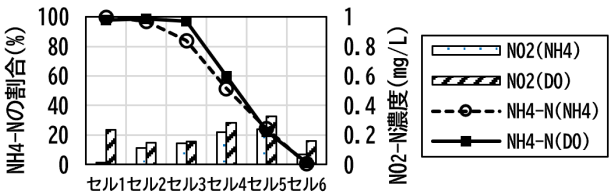


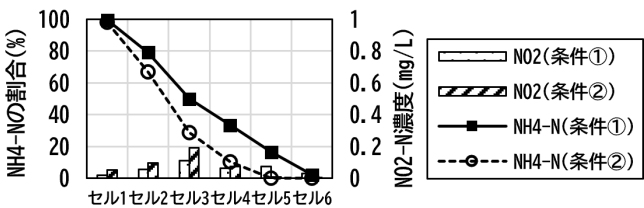
図-4 各セルにおける窒素三態中の $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の割合と亜硝酸性窒素濃度

(3) 前段後段風量比率変更試験について

反応タンク内での硝化の進行具合と N_2O 発生量の関係について検証するため、前段と後段での風量比率を変更して試験を行った。条件①と条件②の風量比率及び N_2O 濃度は表-5 の通りで、各条件での流れ方向試験結果を図-5 に示す。条件①では反応タンク全体で硝化が緩やかに進行しており、亜硝酸性窒素の蓄積は見られず、 N_2O も発生しなかった。これに対し、条件②では N_2O 濃度の増加が確認された。前段 (1~3 セル) で硝化が急激に進行しており、亜硝酸性窒素濃度も増加していることから、前段で N_2O が発生していると考えられる。以上の検討から、前段、後段の風量比率を調整し、反応タンク内での局所的な硝化進行を抑制することが、 N_2O 抑制につながると考えられる。

表－５ 風量条件とN₂O濃度

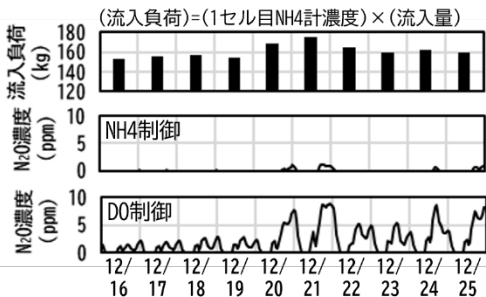
	条件①	条件②
前段比率 (%)	72	77
後段比率 (%)	28	23
N ₂ O濃度 (ppm)	0	4.1



図－５ 各セルにおける窒素三態中のNH₄-N濃度の割合と亜硝酸性窒素濃度

（４）流入負荷変動に対する NH₄ 制御の優位性について

流入負荷の日変動と D₀ 制御、NH₄ 制御における N₂O 濃度推移を図－６に示す。流入負荷の増加により N₂O 濃度も増加しているが、D₀ 制御の方が N₂O 濃度の変動が大きくなっている。12/18と12/21で各制御における送風量を確認したところ（表－６）、D₀ 制御では後段風量比率が大きく増加しているのに対し、NH₄ 制御では負荷変動によらず風量比率が一定に保たれている。負荷に応じて前段風量を調整することで、反応タンク内での局所的な硝化進行を抑制し、N₂O 発生量を低減できていると考えられる。現状では、すべての期間で適切に風量比率を調整することは実現できていないが、NH₄ 制御の演算式において最適な係数設定をすることで、期間を通した N₂O 低減効果が得られると考えている。



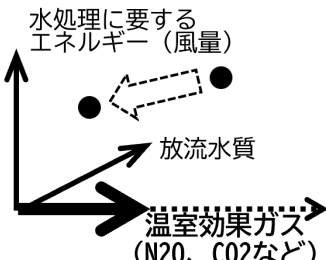
図－６ 流入負荷とN₂O濃度の関係

表－６ 流入負荷に対するNH₄制御とD₀制御の送風について

		12/18	12/21
流入負荷		157	175
合計風量	NH ₄ 制御	43331	47633
	D ₀ 制御	36392	39877
風量比率	NH ₄ 制御	前段：47 後段：53	前段：47 後段：53
	D ₀ 制御	前段：54 後段：46	前段：49 後段：51

４．まとめ

制御方式の異なる系列を比較することで、送風量が N₂O 発生量に与える影響が非常に大きいことを確認できた。検討試験を行い、硝化が急激に進行する際に N₂O 発生量が増加する傾向があることが分かり、前段・後段風量比率を適切に設定し、反応タンク全体での硝化速度を調整することで、N₂O 発生抑制効果が得られる可能性が得られた。また、NH₄ 制御による前段風量制御を活用し、負荷変動に応じた前段・後段風量比率調整を行うことで、期間全体を通しての N₂O 低減も実現できている。横浜市で推進している三軸管理の考え（図－７）に基づく、エネルギー、水質の２軸を維持したまま、温室効果ガスのみを低減できる可能性があり、温暖化対策として非常に大きなポテンシャルを持った対策内容と考える。引き続き、N₂O 測定を継続するとともに、硝化速度に着目した検討試験を実施し、適切な風量設定による N₂O 低減効果の検証を重ねていきたい。



図－７ 三軸管理のイメージ

参考文献

1) 岩崎章展ほか:硝化抑制運転による N₂O 排出抑制効果について, 第 61 回下水道研究発表会講演集, pp. 274-276 (2024)

2) 毛利崇希ほか:硝化抑制運転による N₂O 排出抑制効果と N₂O 排出係数の実測について, 第 62 回下水道研究発表会講演集, pp. 190-192 (2025)