

硝化抑制運転による N₂O 排出抑制効果について

横浜市 ○岩崎章展・岩澤明彦・佐々木怜子
神谷成行
武石由佑紀

1. はじめに

横浜市は 2050 年までの脱炭素化「Zero Carbon Yokohama」の実現に向けて、令和 5 年 1 月に「横浜市温暖化対策実行計画（市役所編）」を改定し、2030 年度における温室効果ガス排出量を 2013 年度比で 50%削減する目標を掲げ、温暖化対策を加速させている。下水道部門においては同計画の目標を達成するために「下水道脱炭素プラン」で具体的な取組を定め、全ての事業において温暖化対策を実践している。

横浜市ではこれまで完全硝化を目指す運転を行ってきたが、令和 5 年 3 月から省エネルギーを目的として、西部水再生センターの一部の系列で硝化抑制運転を試験的に実施している。同運転で反応タンクの送風量を約 40%と大幅に削減できたことに加え、温室効果の高い一酸化二窒素（以下、N₂O）の排出抑制効果も確認することができたので合わせて報告する。

2. 概要

（1）西部水再生センターについて

西部水再生センターの概要を表－1 に示す。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。

表－1 西部水再生センター概要

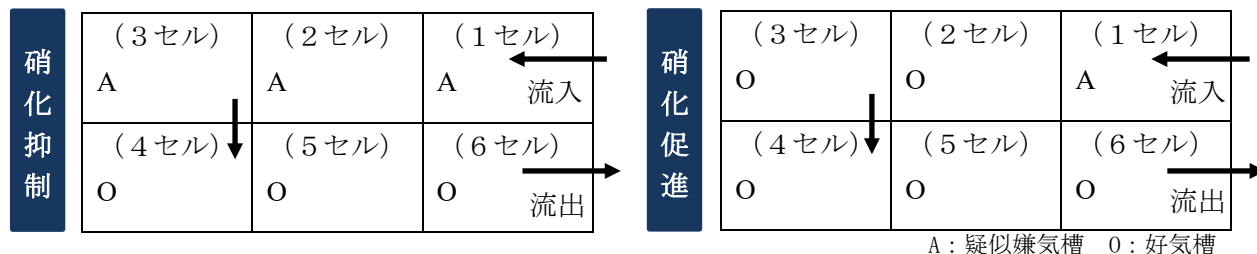
計画処理面積	3,813ha	計画処理能力	106,400m ³ /日
計画処理人口	270,300 人	処理方法	標準活性汚泥法



図－1 水再生センター配置図

（2）硝化抑制運転について

西部水再生センターの硝化抑制運転は、瀬戸内海等で行われている栄養塩類の能動的な管理運転を参考に、硝化細菌の増殖抑制を行うことで硝化の進行を抑制している。具体的には 6 セルある反応タンクのうち、1 から 3 セル目までを疑似嫌気槽に変更し、A-SRT を短縮することにより硝化細菌の増殖を抑制し、4 から 6 セル目の好気槽では主として有機物処理を促進している。対照とする硝化促進系列では 1 セル目を疑似嫌気槽とし、2 から 6 セル目の好気槽で硝化及び有機物等の処理を促進している。それぞれの反応タンクの槽割及び処理フローを図－2 に示す。



図－2 反応タンクの槽割及び処理フロー

（3）N₂O の測定について

下水処理に伴い排出される N₂O は、主に①アンモニアから亜硝酸に硝化される工程、②硝酸から窒素ガスに脱窒される工程、から発生することが知られている。当センターの硝化抑制運転ではどちらの工

程も経ないことから、従来の硝化促進型の運転と比較して N_2O の排出量も減少すると考え、令和 6 年 1 月 22 日から 2 月 11 日まで、硝化抑制系列と硝化促進系列の反応タンクから発生する N_2O 濃度を測定した。測定の概要を表－2 に示す。

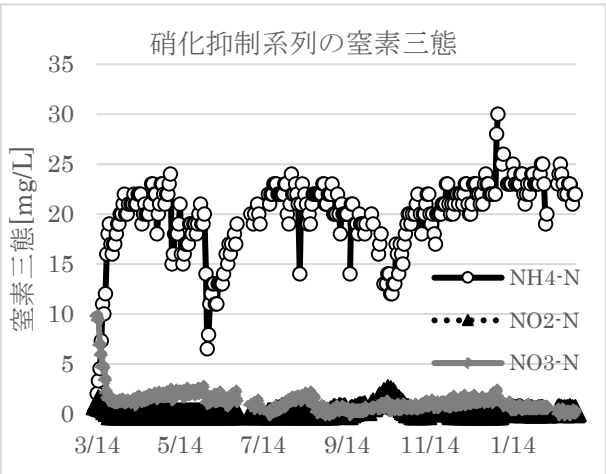
表－2 N_2O 測定概要

ガスの採取場所	反応タンク脱臭ダクト
測定方法	自動連続測定（非分散形赤外線吸収法）
ガスの流量	脱臭ダクトの断面積と内部の風速より算出

3. 結果

（1）硝化抑制運転結果

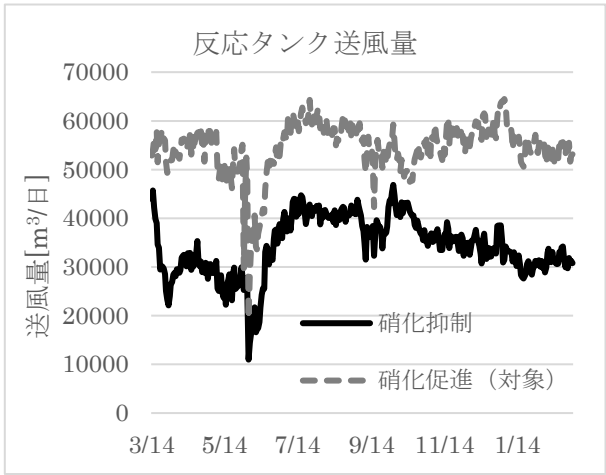
令和 5 年 3 月から硝化抑制運転を開始し、現在も抑制運転を継続している。窒素三態の経時変化を図－3 に示す。令和 5 年 10 月中旬に汚泥調整槽（重力濃縮槽）の故障により汚泥循環し、硝化促進系列からの硝化細菌が硝化抑制系列に流入したため硝化が進んだが、それ以外の期間は $\text{NO}_2\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ が低濃度に保たれ $\text{NH}_4\text{-N}$ として残存させることができた。特に、水温の高い夏季において、硝化細菌が増殖することが懸念されたが、疑似嫌気槽の ORP を -100mV 以下に保つように風量調整を行うことや、きめ細やかに A-SRT を調整することにより硝化抑制を継続できた。



図－3 硝化抑制系列の窒素三態（処理水）

（2）電力量削減及び CO_2 排出量低減結果

硝化抑制系列と硝化促進系列の反応タンク送風量の経時変化を図－4 に示す。硝化抑制運転は硝化に必要な酸素が不要となるため、硝化促進系列と比較して送風量を約 40%削減することができた。この送風量の削減量は必要酸素量の計算式より硝化に必要な酸素量を除いた量とよく一致している。



図－4 反応タンク送風量の経時変化

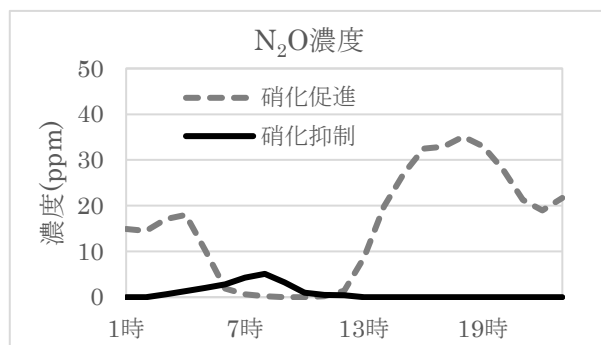
送風機電力量は全ての系列で硝化促進運転を行っていた令和 3 年度と比較すると、1 年間で約 40,000kWh 削減することができ、 CO_2 排出量としては約 190t 削減することができた。

（3） N_2O 測定結果

硝化抑制系列及び硝化促進系列の N_2O の経時変化を図－5、測定期間中の処理水質及び N_2O 濃度を表－3 に示す。硝化促進系列では窒素負荷の少ない夜間・早朝の時間帯で N_2O の発生量が少なく、その他の時間帯は高い濃度で発生していることが確認できた。 N_2O は硝化の過程で発生し、 $\text{NO}_2\text{-N}$ との関係性が報告されている。今回の測定では水温が低く硝化の進みにくい冬季という条件で、硝化促進系列でも $\text{NO}_2\text{-N}$ が比較的高かったため、 N_2O が高い濃度で発生したと考えられる。

硝化抑制系列は硝化促進系列とは反対に夜間・早朝の時間帯に N_2O の発生が確認できた。これは反応タンクでの滞留時間が長く、空気倍率が高いため、硝化抑制系列でも若干の硝化が進んだことにより N_2O が発生したと考えられる。ただし、硝化抑制系列は硝化促進系列と比較すると N_2O の発生濃度

は非常に低く、期間中の平均は 1/25 程度で、N₂O の排出抑制効果が確認された。



図－5 N₂O 経時変化（代表例）

表－3 処理水及び N₂O 測定結果（期間中平均値）

	硝化抑制	硝化促進
NH ₄ -N[mg/L]	23	2.8
NO ₂ -N[mg/L]	0.3	0.6
NO ₃ -N[mg/L]	0.6	7.6
N ₂ O[ppm]	0.7	18.3

（４）N₂O 排出係数及び CO₂ 排出量

N₂O の排出係数を表－4 に示す。水温が低く硝化の進みにくい冬季という条件だったが硝化促進系列の N₂O の排出係数は環境省の標準活性汚泥法による排出係数（ 1.42×10^{-7} ）と大きな差はなかった。硝化抑制系列は N₂O の発生量が非常に少なかったため、排出係数も低くなった。

当センターの令和 4 年度の二次処理水量は 22,809,000m³/年であった。硝化抑制運転系列の二次処理水量は全水量の約 1/5 で、今回の測定結果を基に環境省の排出係数と比較すると、約 0.54t/年 N₂O の発生を抑制することができ、CO₂ 換算では 160 t/年の発生を抑制できる。

表－4 N₂O 排出係数等

	処理量[m ³ /日]	排出係数[t/m ³]
硝化抑制	11,305	2.31×10^{-8}
硝化促進	11,490	2.99×10^{-7}

4. まとめ

硝化抑制運転により、送風量を約 40%削減することが確認できた。また、N₂O の排出も大幅に抑制することができることが示唆された。N₂O は硝化の過程で発生するため、当センターで行っている硝化抑制のように、NH₄-N で残存させることができれば、非エネルギー起源の温室効果ガスの発生も抑制できることが示唆された。

今後は、年間を通じた N₂O を測定し、硝化抑制運転と硝化促進運転の N₂O 発生実態を調査する予定である。また、溶存 N₂O も合わせて調査することにより、系全体の N₂O 排出量を調査する予定である。また、現在は小規模に試験を行っているだけであるが、放流河川への影響も見極めながら、温暖化対策と放流水質の維持のバランスを模索していきたい。

参考文献

- 1) 国土交通省 栄養塩類の能動的運転管理の効果的な実施に向けたガイドライン（案）
- 2) 社団法人日本下水道協会 下水道維持管理指針 実務編
- 3) 濱本亜希, 塩見浩, 佐藤浩一 水処理から発生する N₂O（一酸化二窒素）の排出抑制技術の開発その 2 東京都下水道局技術調査年報（2012）p157～167
- 4) 横浜市環境創造局 水質試験年報（令和 4 年度）
- 5) 国土技術政策総合研究所 下水道技術開発会議エネルギー分科会（2023.9.4）資料 7

問合わせ先：横浜市下水道河川局下水道施設部水質課

TEL：045-621-4343 E-mail：gk-suishitsu@city.yokohama.lg.jp