

# 無終端水路反応槽における亜酸化窒素排出量のシミュレーションに関する基礎的検討

秋田工業高等専門学校 技術教育支援センター  
技術専門職員 大友 渉 平

## 1 はじめに

下水処理場の生物反応槽では、窒素除去の過程で亜酸化窒素 ( $N_2O$ ) が生成される。 $N_2O$  は温室効果ガスであり、強力なオゾン層破壊物質でもあるため、各処理場において排出量を定量化する必要性が示唆されている[1]。 $N_2O$  排出量は日変動や季節変動をとまうため、センサーを用いた連続測定[2]や通年調査[3]による実測が行われている。ただし、これには専用の器具、それを効率的に使用するため知識と技術が必要である[4]。一方で、活性汚泥モデルに代表される水処理シミュレーションは、水処理の予測、プラント設計、運転管理などに活用され[5]、海外では  $N_2O$  排出の定量化を可能とする強力なツールとして、実処理場での適応事例も報告されている[6]。そこで本研究では、 $N_2O$  抑制戦略の構築を見据えた排出量のシミュレーションに関する知見の蓄積を目的とし、我が国で最も多い生物反応槽である無終端水路を対象として基礎的な検討を行った。

## 2 方法

### 2.1 プラントの設定

本研究では、水処理シミュレーションソフトである SUMO ver. 21 (Dynamita 社製) の Sumo 4N をモデルベースとして使用し、無終端水路反応槽で水処理を行う 0 処理センターを想定したプラント設定を行った。基準となる設定には、既往の研究における現場調査データ[2, 3]を使用した。図 1 にモデル上のプラント構成を示す。実反応槽は一つのリアクターで、反時計周りに槽内を活性汚泥混合液が循環しているが、モデルでは 8 つの機械式攪拌リアクターで反応槽を構成した。また、0 処理センターは最初沈殿池を有するが、本モデルでは最初沈殿池以降の水

処理工程を設計した。さらに、本研究における反応速度論定数、化学量論係数および変換係数はデフォルト値を使用した。反応槽内の状態変数初期濃度もデフォルト値を使用し、シミュレーション稼働後、状態変数と流出水質が安定したことを確認してシミュレーションの評価を行った。なお、シミュレーション中の全てのデータは一分間隔で取得した。

### 2.2 攪拌機制御による溶存酸素の設定

攪拌機は 0 処理センターにおける通常の運転方法を想定し、Zone 1 と Zone 4 において 3 時間ごとに交互に稼働させ、交替前に 30 分間の二台停止期間を設けた。その他の Zone は常に攪拌機を停止させた。また、攪拌により反応槽内の溶存酸素 (DO) が増加するが、この濃度は DO point 1 もしくは DO point 2 において制御した。制御値は  $0.59 \text{ mg L}^{-1}$  とし、攪拌地点を最高値とした濃度勾配の形成を確認した (図 2)。これらの設定には、攪拌機のモーター効率を操作変数としたタイマー制御、ワイヤーパワーを操作変数とした P 制御を使用した。

### 2.3 その他の設定

反応槽への流入量、流入ケルダール性窒素濃度、流入 COD 濃度は調査データの平均値を使用し、それ以外の流入水質データはデフォルト値を使用した。流入水温と外気温は  $19.5^\circ \text{C}$  とし、プラント内で変化が生じないように設定した。MLVSS は返送汚泥が流入する Zone 1 において、返送汚泥のポンプ流量を操作変数とした P 制御により  $1,500 \text{ mgVSS L}^{-1}$  とした。また、調査データの返送汚泥量と余剰汚泥量の平均値の合計より、最終沈殿池からの汚泥の排出量を設定した。さらに、攪拌機稼働中の反応槽混合液が循環する流速を  $0.5 \text{ m s}^{-1}$  に、攪拌機停止中は流入水流量と返送汚泥流量の合計値と同程度になる

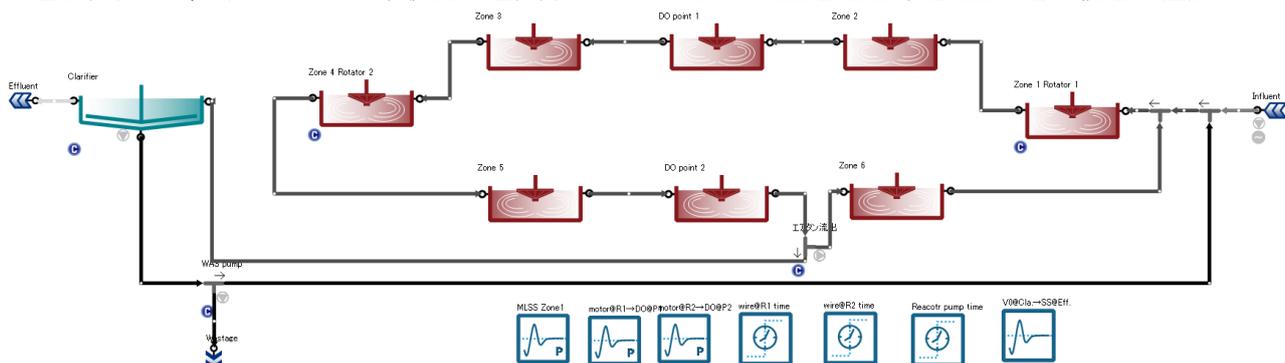


図 1 モデル上のプラント構成

ように DO point 2 と Zone 6 間のポンプ流量の設定とタイマー制御を行った。図3は攪拌機稼働中の流量を表すサンキーチャートであり、一般的な無終端水路と同様に、反応槽内の循環流量が他のラインの流量と比較して大きいことが確認された。

### 3 結果と考察

#### 3.1 溶存態 N<sub>2</sub>O 濃度変動

図4に溶存態 N<sub>2</sub>O (DN<sub>2</sub>O) 濃度のトレンドグラフを示す。DN<sub>2</sub>O 濃度は攪拌機稼働時に増加し、停止後に一時的なピークを計測した後、すぐに 0 mgN L<sup>-1</sup> 付近まで低下した。また、攪拌状態として Zone 4 が稼働している場合の方が、Zone 1 が稼働している場合よりも最高濃度が低くなった。上記の傾向は既往の調査データと同様であり、プラント設定は良好であったと考えられる。

#### 3.2 水面からの N<sub>2</sub>O のガス化速度

表1に本研究および既往研究[3]における、攪拌機稼働中の単位表面積あたりの N<sub>2</sub>O ガス化速度と DN<sub>2</sub>O 過飽和濃度との関係を表す係数を示す。これより、本研究における係数の平均値は 0.097 L m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> もしくは 0.098 L m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> であり、既往研究よりも低い値となった。一方で、攪拌機が停止から稼働に切替わるときに 0.14 L m<sup>-2</sup> s<sup>-1</sup> 程度の高い値を示した。ただし、高い値を示す時間はわずかであるため、平均値を基準とし、ガス化速度に関するパラメータを実測値に合わせてキャリブレーションする必要があると考えられる。

### 4 まとめと展望

実無終端水路反応槽を対象とした N<sub>2</sub>O 排出量のシミュレーションについて、攪拌機やポンプ流量などの制御に関する基礎的な検討を行った。今後は、実際の窒素除去量にあわせた反応速度論定数のキャリブレーションを行い、様々な環境条件下でのダイナミックシミュレーションによる N<sub>2</sub>O の発生量推定を行う予定である。

謝辞：本研究は、JSPS 科研費 21H04108 の助成を受けたものです。

#### 【参考文献】

[1] Mannina, G., Rebouças, T. F., Cosenza, A., Chandran, K.: A plant-wide wastewater treatment plant model for carbon and energy footprint: Model application and scenario analysis. *J. Clean*, Vol.217, pp.244-256, 2019.

[2] 大友 渉平, 柴田 悟, 李 玉友, 高階 史章, 宮田 直幸, 増田 周平: 攪拌方法の最適化による無終端水路反応槽における N<sub>2</sub>O 排出抑制戦略—実処理場での連続測定と実証試験—. *土木学会論文集 G (環境)*, 77 巻, 7 号, pp. III\_71-III\_82, 2021.

[3] Otomo, S., Terada, A., Li, Y. Y., Nishitoba, K., Takakai,

F., Okano, K., Miyata, N., Masuda, S.: Long-term assessment of N<sub>2</sub>O emission factor in full-scale oxidation ditch reactor considering spatiotemporal distribution, *J. Water Environ. Technol.*, Vol.19, Issue 3, pp.139-152, 2021.

[4] Rapson, T. D., Dacres H.: Analytical techniques for measuring nitrous oxide. *Trends Analyt. Chem.*, Vol.54, pp.65-74, 2014.

[5] Henze, M., Gujer, W., Mino, T., van Loosdrecht, M.: Activated sludge models ASM1, ASM2, ASM2D, ASM3, *IWA Publishing*, 2000.

[6] Maktabifard, M., Blomberg, K., Zaborowska, E., Mikola, A., Maķinia, J.: Model-based identification of the dominant N<sub>2</sub>O emission pathway in a full-scale activated sludge system. *J. Clean*, Vol.336, 130347, 2022.

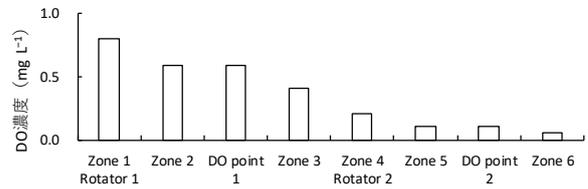


図2 反応槽の DO 濃度

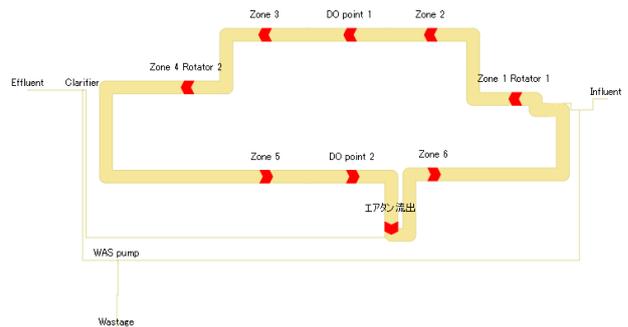


図3 攪拌機稼働中の流量を表すサンキーチャート

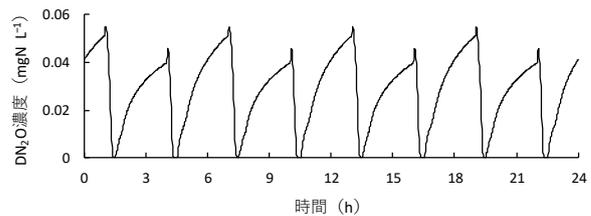


図4 DO point 2 の DN<sub>2</sub>O 濃度トレンド

表1 反応槽の N<sub>2</sub>O に関する水面からのガス化速と過飽和濃度の関係を表す係数

	単位表面積あたりの N <sub>2</sub> O ガス化速度 / DN <sub>2</sub> O 過飽和濃度 (L m <sup>-2</sup> s <sup>-1</sup> )			
	Zone 2	Zone 3	Zone 5	Zone 6
最小値	0.096	0.095	0.096	0.096
最大値	0.141	0.148	0.139	0.147
平均値	0.097	0.097	0.097	0.098
実測値	0.114 <sup>a</sup>			

<sup>a</sup> Otomo *et al.* の実測値を水温 19.5 °C に補正した値