

〈研究発表〉

活性汚泥モデル (ASM) を用いた内生脱窒法における運転条件の検討

蒲池 一将¹⁾, 本間 康弘²⁾

¹⁾ 水ing(株) 技術開発室 第二グループ
(〒251-8502 神奈川県藤沢市本藤沢4-2-1 E-mail: kamachi.kazumasa@swing-w.com)

²⁾ 水ing(株) オペレーション業務室 技術部
(〒108-8470 東京都港区港南1-7-18 E-mail: homma.yasuhiro@swing-w.com)

概要

内生脱窒法は活性汚泥に取り込まれた有機物や細胞内に蓄積された下水中の有機物を脱窒反応の水素供与体を用いる処理方法であり、系外からの有機物添加が不要な処理方法である。高い窒素除去率が得られるが、脱窒速度が小さいために施設容量が大きくなる特徴があるため、実施での適用例は多くない。

本報告では実施で得られたデータを元に活性汚泥モデル (ASM) を用いたシミュレーションを行うことで、運転条件が窒素除去特性に与える影響について検討し、本法の処理特性を明らかにする。

キーワード：活性汚泥モデル, 下水処理, 硝化, 内生脱窒, 実施

1. はじめに

1.1 下水処理における窒素除去

下水に含まれる栄養塩除去を目的とした高度処理施設では、窒素除去方法として微生物による硝化・脱窒を元にする窒素除去方法が採用されている。代表的な窒素除去方法として、循環式硝化脱窒法、ステップ流入式多段硝化脱窒法、硝化内生脱窒法がある。

硝化内生脱窒法は硝化工程のあとに脱窒工程が続くフローであり、脱窒反応に必要な水素供与体を外部から添加せず、活性汚泥に吸着されたり、細胞内に蓄積された下水中に含まれる有機物を水素供与体として利用する方法である。循環式硝化脱窒法の T-N 除去率の目標値 65~70% といわれるのに対して、目標値は 70~90% と高い特徴がある。循環式硝化脱窒法と比較して、硝化液循環に必要なポンプが不要となるが、脱窒速度が遅いため反応槽の容量は 1.2~1.3 倍が必要とされている¹⁾。硝化内生脱窒法は循環式硝化脱窒法より長い処理時間が必要とされるが、窒素除去率の向上が期待されるため一部施設に適用されている²⁻⁴⁾。

1.2 活性汚泥モデルについて

近年、国際水協会 (IWA) により活性汚泥における生物反応を数式で表した活性汚泥モデル (Activated Sludge Model, ASM) が提唱され⁵⁾、日本国内でも運転方法の最適化や、増設・改築更新時の設計検討に活性汚泥モデル (ASM) を適用した報告が多くなされている⁶⁾。

本報告では、実施での実測調査結果をもとに、ASM を用いたシミュレーションを行うことで、運転条件が硝化内生脱窒法に与える影響について本処理方法の処理特性を明らかにし、処理水質の改善、曝気風量の削減を目指した。

2. 調査方法および結果

1.1 調査方法

(1) 対象施設

分流水道 A 処理場にある処理施設を対象に実測調査を行った。本施設の生物反応槽は隔壁によって 8 槽に分割されている (**Fig. 1**)。各槽の容積を **Table 1** に示す。No. 1 槽と No. 2 槽は生物学的リン除去を行うための嫌気槽、No. 2 槽と No. 4 槽は好気槽、No. 5 槽から No. 7 槽は無酸素槽、No. 8 槽は好気槽としている。各槽は水中攪拌機にて攪拌されている。調査時の汚泥返送率は反応槽流入水量の 25% に調整されている。

(2) 調査方法

調査は中水温期として 2012 年 10 月 31 日から 11 月 1 日にかけて、反応槽流入水、反応槽 (No. 2 槽, No. 4 槽, No. 7 槽, No. 8 槽)、最終沈殿池処理水の測定と採水を 4~6 時間おきに行った。流入水の有機物分画は、物理化学的方法である凝集ろ過法にて行った⁷⁾。



Fig. 1 Flow diagram (full-scale plant)



Fig. 2 Flow diagram (ASM)

Table 1 Reactor volume

No.1 槽	嫌気槽	397 m ³
No.2 槽	嫌気槽	582 m ³
No.3 槽	好気槽	582 m ³
No.4 槽	好気槽	582 m ³
No.5 槽	無酸素槽	556 m ³
No.6 槽	無酸素槽	635 m ³
No.7 槽	無酸素槽	688 m ³
No.8 槽	好気槽	688 m ³

Table 2 Water quality and characterization

水槽	DO (mg/L)	T-N (mg/L)	NH ₄ -N (mg/L)	NO ₃ -N (mg/L)	PO ₄ -P (mg/L)
反応槽流入水	—	26.0	18.2	0.0	1.6
No.2 槽	0.0	—	14.9	0.0	11.4
No.4 槽	1.2	—	4.5	8.4	2.7
No.7 槽	0.0	—	4.2	1.3	1.3
No.8 槽	3.2	—	0.2	5.7	0.4
終沈処理水	—	7.3	0.1	5.7	0.4
返送汚泥	—	786	1.2	0.1	3.4

(3) 活性汚泥モデル

シミュレーターは市販のソフトを使用し、IWAの活性汚泥モデルASM2dを用いてシミュレーションを行った。実施設と同様に8槽の完全混合槽と最終沈殿池を組み合わせたプロセスモデルを作成した (Fig. 2)。返送汚泥では脱窒がみられたため仮想無酸素槽を設置して脱窒の再現を図った。キャリブレーションは実測調査の結果を元に非定常計算にて行い、ケーススタディでは平均流入条件に対して100日間運転した定常計算結果を用いた。

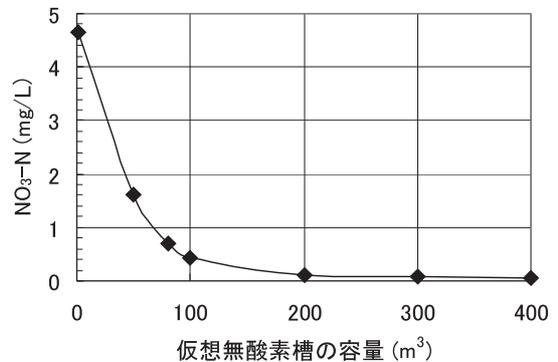


Fig. 3 NO₃-N profile at each volume of virtual anoxic reactor

1.2 調査結果

調査時の水質の平均値を Table 2 に示す。調査時、DOはNo.4槽よりNo.8槽の方が高く、No.4槽においてNH₄-Nが残存し、No.8槽で完全に硝化していた。反応槽流入水に対するT-N除去率は72%であった。

1.3 キャリブレーション

(1) 仮想無酸素槽

仮想無酸素槽の容量を変えてシミュレーションを行った結果、200 m³以上ではほぼ脱窒し返送汚泥のNO₃-Nの挙動を再現できた (Fig. 3)。

Table 3 Modified parameter

パラメーター	採用値	デフォルト値
K_O2_AUT	0.3	0.5
η_NO_Het	0.3	0.8
K_NO	1.0	0.5
K_O2	0.1	0.2
η_NO_Hyd	0.6	0.2

(2) キャリブレーション

パラメーターはデフォルト値を使用し、一部はキャリブレーションによって決定した (Table 3)。キャリブレーションの結果、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ は実測値と計算値の挙動は一致した (Fig. 4)。

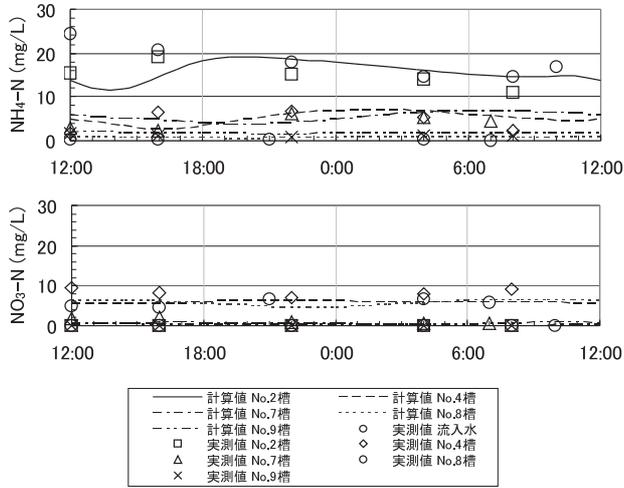


Fig. 4 $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ profile (measured and calculated data)

3. ケーススタディ結果

3.1 DO

No. 4 槽と No. 8 槽の最適 DO の検討を行った結果を Fig. 5 に示す。No. 3 槽と No. 4 槽の曝気量は同量とした。DO が低いと $\text{NH}_4\text{-N}$ が残留しやすくなるため No. 4 槽・No. 8 槽で 1.0 mg/L 以上が必要となる。No. 8 槽の DO は低いほど $\text{NO}_3\text{-N}$ が低下するが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 残留を抑制するため DO 1.0 mg/L 以上程度が必要であった。

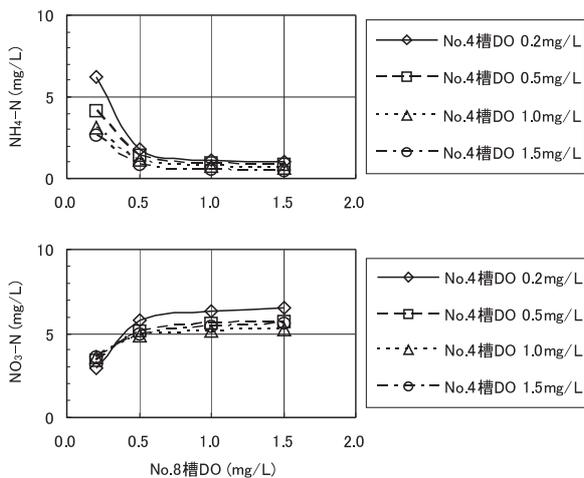


Fig. 5 $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ profile at each DO

3.2 汚泥返送率

曝気風量は変更せず、汚泥返送率を 25~200% の範囲で検討した結果を Fig. 6 に示す。汚泥返送率の増加にしたがって No. 8 槽の $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ が減少し

た。硝化内生脱窒法に適した汚泥返送率は 100% といわれているように¹⁾、75~100% を超えると No. 8 槽の $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ の減少度合いが低下した。

対象処理施設では現在汚泥返送率 50% にて運転していることから、以降のケーススタディでは汚泥返送率 50% で計算を進めた。

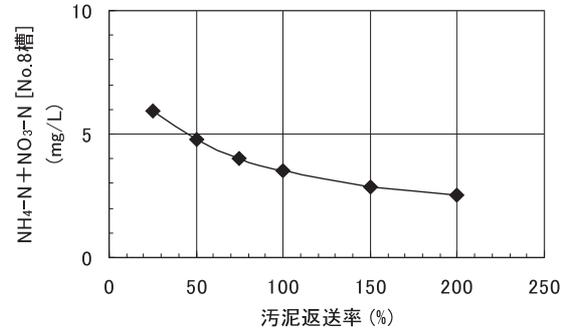


Fig. 6 $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ profile at each return sludge ratio

3.3 好気槽の配置

No. 4 槽の DO 1.0 mg/L、No. 8 槽の DO 1.0 mg/L として槽ごとの窒素挙動を計算した。あわせて、実施施設の現状の配置 (No. 3 槽、No. 4 槽、No. 8 槽を好気条件) とした場合と、前段好気槽を 1 段前に移動 (No. 2 槽と No. 3 槽、No. 8 槽を好気条件) した場合を検討した。いずれも No. 4 槽より前段の好気槽の曝気量は均等にした。

(1) 実施施設の配置における窒素挙動

窒素の挙動を Fig. 7 に示す。No. 3 槽では DO 0.2 mg/L と低く、硝化と脱窒が同時に進行し、No. 2 槽からの $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ の 3 割が除去された。No. 5 槽から No. 7 槽の無酸素槽では、No. 4 槽の $\text{NO}_3\text{-N}$ の 9 割 ($\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ の 6 割) が無酸素槽で除去された。

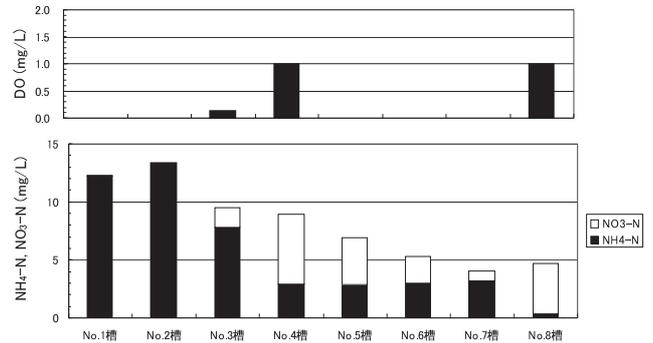


Fig. 7 $\text{NH}_4\text{-N}$ and $\text{NO}_3\text{-N}$ profile (No. 3 and No. 4 tank are aerobic)

(2) No. 2 槽、No. 3 槽と No. 8 槽を好気条件とした場合

窒素の挙動を Fig. 8 に示す。No. 2 槽では DO が 0.2 mg/L と低く、硝化と脱窒が同時に進行し、No. 1 槽からの $\text{NH}_4\text{-N} + \text{NO}_3\text{-N}$ の 3 割が除去された。No. 3 槽では $\text{NH}_4\text{-N}$ の大部分は硝化され 1.7 mg/L であっ

た。No.4槽からNo.7槽の無酸素槽では、No.3槽のNO₃-Nの9割(NH₄-N+NO₃-Nの6割)が無酸素槽で除去された。

(1)と比較して無酸素槽の容量が増えたことで脱窒量が増加しただけでなく、No.2槽(嫌気槽)でのNH₄-Nが増加しなかった影響があり、No.8槽のNH₄-N+NO₃-Nは4.7mg/Lから4.1mg/Lに減少した。

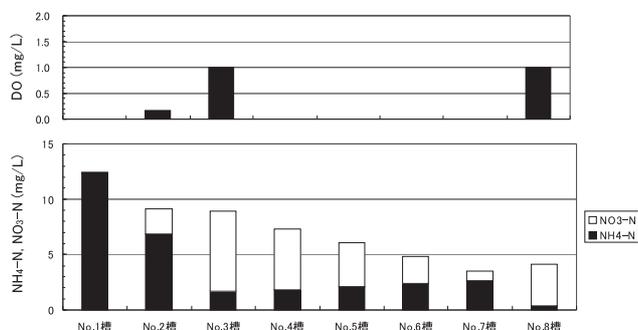


Fig. 8 NH₄-N and NO₃-N profile (No.2 and No.3 tank are aerobic)

3.4 曝気量の分配方法の検討

前段好気槽 (No.2槽・No.3槽もしくはNo.3槽・No.4槽)をそれぞれ所定DOとし、No.8槽はDO 1.0 mg/Lに一定とした結果をFig. 9に示す。No.2槽・No.3槽をDO 0.2 mg/Lとした場合、No.3槽・No.4槽をDO 0.2 mg/Lとした場合では、No.8槽のNH₄-N+NO₃-Nは、それぞれ4.2 mg/L、4.6 mg/Lであり、3.3の結果とほぼ同様であった。

実測調査時と同じ条件 (No.3槽、No.4槽、No.8槽の曝気量は均等分配)の曝気量に対する比率は、前段好気槽DO 0.5 mg/L以下で1.0を下回り、DO 0.2 mg/Lでは0.92となった。前段好気槽を2槽ともDO 0.2 mg/Lとすることで曝気量の削減を図ることが可能であることが分かった。

また、前段好気槽DO 0.2 mg/Lに設定時の曝気量比は、No.2槽:No.3槽:No.8槽=No.3槽:No.4槽:No.8槽=2:1:1であった。この曝気風量比となるように好気槽への風量を調整することで、各好気槽のDO制御を行わなくても曝気量を削減した運転が可能であることが示唆される。

4. ま と め

実施の実測調査結果をもとに、嫌気・硝化内生脱窒法の処理特性について活性汚泥モデルを用いてケーススタディを行い、DO、汚泥返送率、好気槽配置が窒素除去性能へ与える影響を算出した。結果を以下にまとめる。

- ① NH₄-N 残留を抑制するため No.8 槽の DO は 1.0 mg/L 以上程度が必要であった。

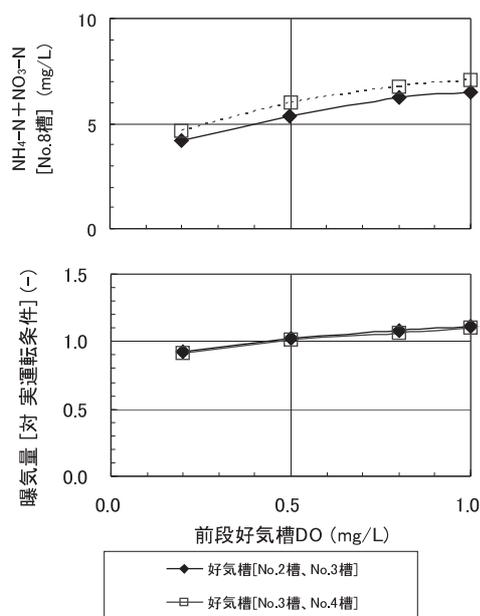


Fig. 9 NH₄-N + NO₃-N and aeration ratio at each DO

- ② 汚泥返送率の増加にしたがって No.8 槽の NH₄-N+NO₃-N が減少したが、75~100% を超えると No.8 槽の NH₃-N+NO₃-N の減少割合が低下した。
- ③ No.2 槽、No.3 槽を好気槽とすることで、No.8 槽の NH₄-N+NO₃-N は 0.5 mg/L は減少した。
- ④ 好気槽の前段 2 槽をそれぞれ DO 0.2 mg/L、No.8 槽 DO 1.0 mg/L とすることで、好気槽への曝気量を均等分配している実測調査時とほぼ同等の NH₄-N+NO₃-N を維持して、曝気量の比率を 0.92 に削減された。

参 考 文 献

- 1) 日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説 (2009)
- 2) 森山克美, 佐藤和明, 原田良誠, 北村武之：硝化・内生脱窒法に関する研究, 衛生工学研究論文集, Vol. 24, pp. 65-73 (1988)
- 3) 宮崎清, 室崎重信, 井野久美子：循環式ステップ流入 2 段硝化脱窒+内生脱窒による窒素除去向上試験, 第 38 回下水道研究発表会論文集, pp. 466-468 (2001)
- 4) 岸川昭夫, 福原敏生, 大津三月：既存施設における内生脱窒運転, 下水道協会誌, Vol. 44, No. 534, pp. 105-112 (2007)
- 5) Henze, M., Gujer, W., Mino, T., and van Loosdrecht: Activated sludge model ASM1, ASM2, ASM2d and ASM3, IWA scientific and technical reports No. 9, IWA Publishing, London (2000)
- 6) 下水道新技術推進機構：活性汚泥モデル利活用マニュアル (2010)
- 7) Mamais, D., D. Jenkins and P. Pitt: A rapid physical-chemical method for the determination of readily biological soluble COD in municipal wastewater. Water Res., Vol. 27, No. 1, pp. 195-197 (1993)