

〈研究発表〉

活性汚泥モデルを用いた嫌気-硝化内生脱窒法と 嫌気-無酸素-好気法における運転条件の比較

蒲池 一将¹⁾, 本間 康弘²⁾, 鈴木 悟³⁾

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)

³⁾ 水ing(株) 木曾川右岸管理事務所 (〒504-0923 岐阜県各務原市前渡西町1521)

概要

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。本報告では、嫌気-硝化内生脱窒法の適用した嫌気-好気-無酸素-好気(AOAO)とした系列と、並列して稼動している嫌気-無酸素-好気(A2O)の系列と比較し、さらに得られたデータを元に活性汚泥モデルを用いたシミュレーションを行うことで、それぞれの運転の特徴を明らかにした。

キーワード：活性汚泥モデル, 下水, 硝化, 脱窒, 実機

1. はじめに

1.1 下水における栄養塩除去

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。

循環式硝化脱窒法は脱窒工程のあとに硝化工程が続くフローであり、硝化液を前段の脱窒工程に循環することで下水中に含まれる有機物を脱窒反応に必要な水素供与体として利用する方法である。通常は流入水量の100~200%の循環を行うが、標準活性汚泥のフローを転用できる特徴がある。

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。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、硝化液循環に必要なポンプが不要となることや、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¹⁻⁵⁾。

硝化内生脱窒法で運転されている事例は少ないことから、水温期ごとの実測調査を行い、さらに得られたデータを元に活性汚泥モデルを用いたシミュレーションを行うことで運転条件について検討した。

1.2 活性汚泥モデル

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⁶⁾、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ASMを適用した報告が多くなされている⁷⁾。

本報告では、実施設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、運転条件が与える窒素除去への影響について嫌気-無酸素-好気法と嫌気-硝化内生脱窒法とを比較し、それぞれの特性を明らかにした。

2. 調査方法およびシミュレーション方法

2.1 調査方法

(1) 対象施設

木曾川および長良川流域(4市6町)の下水を流入している分流式下水道の木曾川右岸流域下水道各務原浄化センターの2系にて実測調査を行った。2系の処理能力は、日平均汚水量 $7,333 \text{ m}^3/(\text{日}\cdot\text{池})$ 、日最大汚水量 $9,000 \text{ m}^3/(\text{日}\cdot\text{池})$ 、公称容積 $5,482 \text{ m}^3/\text{池}$ であり、嫌気-無酸素-好気法(A2O法)にて設計された施設であるが、一部系列において硝化液循環を停止して嫌気・好気・無酸素・好気とした嫌気-硝化内生脱窒法(AOAO法)を適用している。

対象施設(2A-1池, AOAO法)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)。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. 3 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 (Table 1)。いずれも各槽は水中攪拌機を用いて攪拌している。また, 比較対象とした施設 (2B-7 池, A2O 法) は No. 1 槽と No. 2 槽は嫌気槽, No. 3 槽と No. 4 槽は無酸素槽, No. 5 槽から No. 8 槽は好気槽とし, No. 8 槽から No. 3 槽へ硝化液循環を行っている。

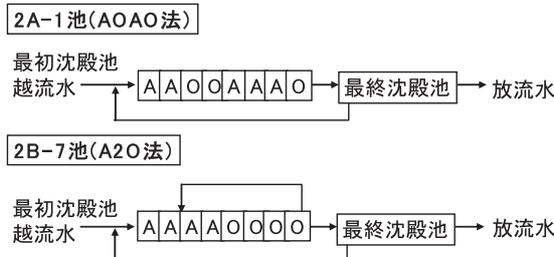


Fig. 1 Flow diagram (full-scale plant)

Table 1 Reactor setting and volume

No.	AOAO法	A2O法	容量
No.1槽	嫌気槽	嫌気槽	397 m ³
No.2槽	嫌気槽	嫌気槽	582 m ³
No.3槽	好気槽	無酸素槽	582 m ³
No.4槽	好気槽	無酸素槽	582 m ³
No.5槽	無酸素槽	好気槽	556 m ³
No.6槽	無酸素槽	好気槽	635 m ³
No.7槽	無酸素槽	好気槽	688 m ³
No.8槽	好気槽	好気槽	688 m ³

(2) 調査方法

実測調査は AOAO 法を適用している 2A-1 池を対象に高水温期 (2011/9/13-9/14), 低水温期 (2012/2/22-2/23), 中水温期 (2012/10/31-11/1) に実施した。採水は, 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⁸⁾。A2O 法を適用している 2B-7 池については No. 8 槽のみ採水を行った。

2.2 シミュレーション方法

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, 返送汚泥ラインに仮想無酸素槽を設置して脱窒の再現を図った。キャリアレーションは実測調査の結果を元に実施し, さらに返送汚泥の水質に合うように仮想無酸素槽の容量を 200 m³ に決定した⁹⁾。

ケーススタディは好気槽の最適 DO について, 汚泥返送率 (AOAO 法), 循環率 (A2O 法) に関して行った。好気槽 DO は各槽同一とし, 0.2~1.5 mg/L の範囲で設定した。ただし No. 8 槽の DO は 1.0 mg/L に固定した。AOAO 法の汚泥返送率は流入水量の 50~100%, A2O 法の循環率は流入水量の 100~200% の範囲で設定した。なお, MLSS は No. 8 槽にて 2,000 mg/L となるように余剰汚泥引抜量を調整した。計算は中水温期の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。

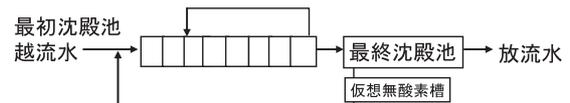


Fig. 2 Flow diagram (ASM)

3. 結果

3.1 調査結果

(1) 運転条件と流入水質

調査時の運転条件および流入水質を Table 2 に示す。流入水量は高水温期に最も多く, また返送汚泥量および余剰汚泥引抜量は高・低水温期では同等であったが中水温期では少なく設定されていた。曝気風量は高・低・中水温期において大きな変化はなかった。

Table 2 Operating conditions and raw water quality

	調査時期			
	水溫(流入水) (°C)	高水温期	低水温期	中水温期
運転条件	流入水量 [m ³ /(日・池)]	8,645	7,185	7,340
	返送汚泥量 [m ³ /(日・池)]	3,279	3,310	1,797
	余剰汚泥引抜量 [m ³ /(日・池)]	60	60	44
	曝気風量 [m ³ /(日・池)]	23,276	22,874	23,584
流入水質	BOD (mg/L)	82	122	94
	COD _{Cr} (mg/L)	171	218	198
	NH ₄ -N (mg/L)	14.2	19.4	18.2
	PO ₄ -P (mg/L)	1.5	1.4	1.6

(2) 実測調査結果における AOAO 法と A2O 法の比較

A2O 法と AOAO 法の系列について好気槽 (No. 8 槽) における水質, および曝気風量, 循環水量について Fig. 3 に示す。いずれの水温期においてもほぼ完全に硝化しており NH₄-N は 0.2 mg/L 以下であった。AOAO 法は A2O 法と比較して, NO₃-N は 0.1~1.9 mg/L 低いが, PO₄-P は 0.1~0.4 mg/L とわずかに高かった。また, 曝気風量は 71~79% であった。AOAO 法は A2O 法と比較してほぼ同等の処理水質を得ることができ, 曝気風量の削減, 循環ポンプの停止による動力削減に加え, 循環ポンプの維持管理を省力化できる効果が得られた。

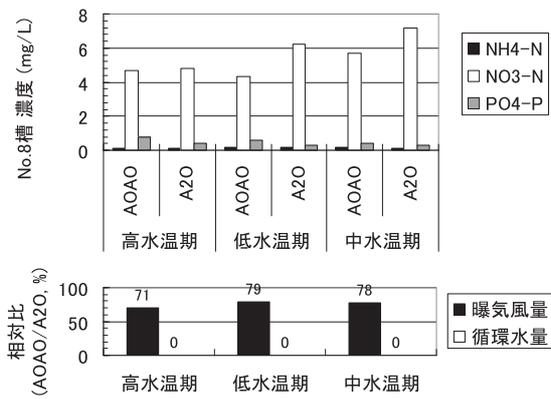


Fig. 3 Effluent water quality and operating condition (actual measured value)

3.2 活性汚泥モデルによる運転条件の検討結果

(1) AAO法

好気槽 (No. 3 槽, No. 4 槽) の最適 DO の検討を行ったケーススタディの結果を Fig. 4 に示す。計算の結果, No. 8 槽における NH₄-N+NO₃-N が最小となるのは No. 4 槽 DO が最も低い 0.2 mg/L であったが, NH₄-N が 0.7 mg/L と若干残留した。DO 0.5 mg/L 以上では NH₄-N は 0.3 mg/L 以下であった。好気槽 DO が高いと NO₃-N が残留するため, DO 0.5 mg/L 程度での制御が重要であると見られる。

好気槽 (No. 3 槽, No. 4 槽) の DO を 0.5 mg/L とした場合の槽別の NH₄-N, NO₃-N の挙動を Fig. 5 に

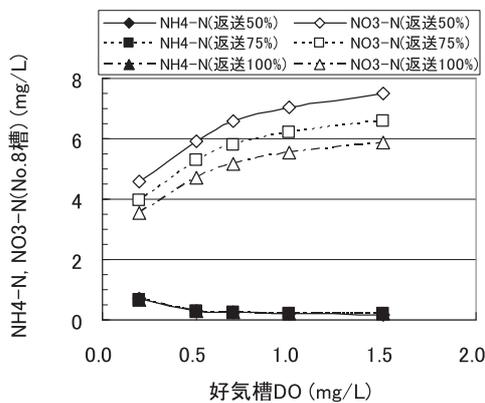


Fig. 4 NH₄-N and NO₃-N profile at AAO process

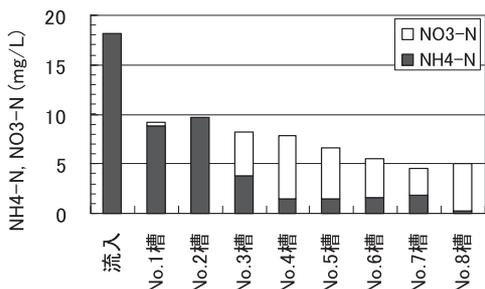


Fig. 5 NH₄-N and NO₃-N profile at AAO process (Sludge return ratio 100%)

示す。No. 3 槽では, 硝化と脱窒が同時に生じており, No. 2 槽の窒素の 19% が除去された。無酸素槽では, No. 5 槽に流入した NO₃-N の 61% が内生脱窒により除去され, ASM 上も内生脱窒を確認することができた。

(2) A2O法

好気槽 (No. 5 槽~No. 7 槽) の最適 DO の検討を硝化液循環率ごとに行ったケーススタディの結果を Fig. 6 に示す。計算の結果, No. 8 槽における NH₄-N+NO₃-N が最小となるのは No. 4 槽 DO が最も低い 0.2 mg/L であったが, NH₄-N が 0.5 mg/L と若干残留した。DO 0.5 mg/L 以上では NH₄-N は 0.2 mg/L 以下であった。循環率を 100% から 200% に増加すると NO₃-N は 6.8 mg/L から 5.3 mg/L に減少した。

好気槽 (No. 5 槽~No. 7 槽) の DO を 0.5 mg/L, 循環率 100% とした場合の槽別の NH₄-N, NO₃-N の挙動を Fig. 7 に示す。No. 8 槽からの循環液中の NO₃-N は直ちに脱窒され No. 3 槽では 0.7 mg/L, No. 4 槽では残留していなかった。No. 8 槽では NH₄-N は 0.2 mg/L, NO₃-N は 6.8 mg/L であった。

(3) AAO法とA2O法の比較

前述の結果より, AAO法とA2O法の比較を行った。

AAO法では流入水量に対する汚泥返送率 100% における NO₃-N は, DO 0.5 mg/L で 4.7 mg/L, DO

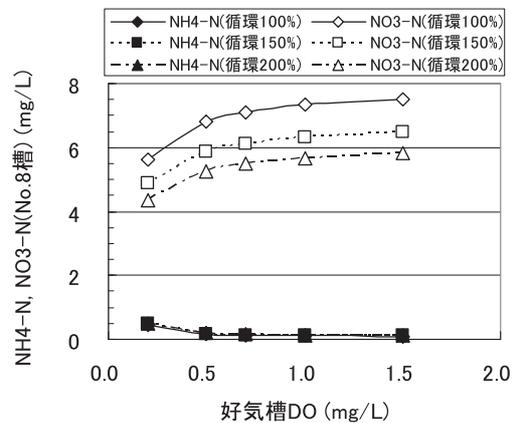


Fig. 6 NH₄-N and NO₃-N profile at A2O process

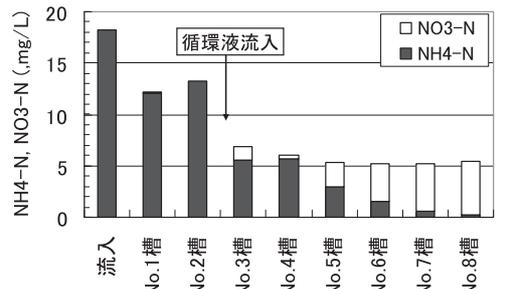


Fig. 7 NH₄-N and NO₃-N profile at A2O process (Sludge return ratio 50%, Internal recycle ratio 200%)

1.5 mg/L で 5.9 mg/L に増加した (Fig. 4)。一方、A2O 法では硝化液循環率 200% における NO₃-N は DO 0.5 mg/L で 5.3 mg/L, DO 1.5 mg/L で 5.8 mg/L の増加に収まった (Fig. 6)。AOAO 法は A2O と比較して、好気槽 DO 設定値が高いことによる No. 8 槽 NO₃-N の増加が大きい結果であった。AOAO 法は好気槽 DO を低い値で制御することで流入下水中の有機物を無酸素槽に送ることが安定処理に重要とされており、シミュレーション結果からも同様の結果が得られた。

4. ま と め

実施設の実測調査結果をもとに、AOAO 法と A2O 法の処理特性について比較するとともに、ASM を用いてケーススタディを行い、DO、汚泥返送率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 各水温期における実測調査の結果、AOAO 法は A2O 法と比較してほぼ同等の処理水質を得ることができ、循環ポンプの動力が不要なことに加え、曝気風量は A2O 法の 71~79% に削減された。
- ② ASM を用いたケーススタディにより、AOAO 法における好気槽の最適 DO は 0.5 mg/L であった。A2O 法における好気槽の最適 DO も 0.5 mg/L であった。
- ③ AOAO 法は好気槽 DO を低い値で制御することが、安定処理に重要であるとことをシミュレーション結果から得られた。

謝辞

本調査にあたっては(株)岐阜県浄水事業公社の関係者に多大なご協力を得て実施した。ここに感謝の意を表する。

参 考 文 献

- 1) 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)
- 2) 宮崎 清, 室崎重信, 井野久美子: 循環式ステップ流入 2 段階硝化脱窒+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)
- 3) 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)
- 4) 坂本俊彦, 寺沢敏夫, 平等愛子, 三好孝枝: 嫌気・無酸素・好気法と嫌気・硝化脱窒法との処理状況比較について, 第 47 回下水道研究発表会論文集, pp. 170-172 (2010)
- 5) 蒲池一将, 本間康弘, 鈴木 悟, 小林勝朗, 坪内功資: 硝化内生脱窒法の適用事例と活性汚泥モデルによる運転条件の検討, 第 51 回下水道研究発表会論文集, 印刷中 (2014)
- 6) 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)
- 7) 下水道新技術推進機構: 活性汚泥モデル活用マニュアル (2010)
- 8) Mamais, D., D. Jenkins and P. Pitt: A rapid physical-chemical method for the determination of readily biological soluble COD in municipal waste-water. Water Res., Vol. 27, No. 1 pp. 195-197 (1993)
- 9) 蒲池一将, 本間康弘: 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, 環境システム計測制御学会誌 18 巻(2/3号), pp. 42-45, 2013