

〈研究発表〉

A₂O 法下水処理場における窒素濃度制御堀岡 洋二¹⁾, 湛 記先¹⁾¹⁾(株)ウォーターエージェンシー 研究開発部

(〒162-0813 新宿区東五軒町3-25 E-mail: wa03-00018@water-agency.com)

概要

A₂O 法の下水処理場において、放流水の窒素濃度の安定化と省エネルギーを目指した運転を実施した。アンモニア性窒素については曝気制御を行い、硝酸性窒素については時間帯別のパターン運転により硝化液循環比の調整を行った。OR 計算に基づいて曝気風量の調整を行うことで、反応タンク出口のアンモニア性窒素は概ね目標値の 2.0(mg/L) に制御ができた。また循環比率の調整によって、硝酸性窒素は一定範囲で安定化させることができた。本報は運転結果を報告する。

キーワード：A₂O 法, 窒素制御, OR 制御, 省エネルギー

原稿受付 2020.7.3

EICA: 25(2・3) 22-25

1. はじめに

1.1 背景

千葉県内にある木更津下水処理場（以下、当処理場：Table 1）は、放流先が東京湾のため、総量削減基本方針により、窒素及びりんといった汚濁負荷量の削減が求められている。当処理場の放流水質は各排水基準値を大幅に下回っているが、一方で近年、下水処理場におけるコスト削減の要求は厳しさを増している。そのため、適切な処理水質を維持しながら、省エネ運転を目指す必要がある。

このため弊社では水質自動制御システム（以下、制御システム）を当処理場に設置し、流入水の負荷量をもとに計算した必要酸素量（OR：Oxygen Requirement）を指標とした送風運転（OR 制御）を実施している。

Table 1 Outline of the plant

下水処理場名	木更津下水処理場
現有処理能力	32,950 m ³ /日（日最大）
流入水量	24,563 m ³ /日（2019 年度実績）
水処理方式	嫌気無酸素好気法（現有 2 系列）
排除方式	分流式（一部合流式）
汚泥処理方式	貯留・濃縮—脱水

1.2 課題と検証

当処理場では、放流水の窒素濃度を全窒素計によって中央監視室から常時監視している。窒素については、pH 等を指標に曝気風量や循環流量を経験的に設定することで処理を行ってきた。

A₂O 法における放流水の窒素濃度は、好気槽で曝気することによる硝化反応と、硝化液を循環することによる脱窒反応で濃度変動する。このため放流水の窒素濃度を制御する方法として、NH₄-N を送風制御で、NO₃-N を硝化液循環量で個別に制御する取組みが考えられる。これまで OR 制御では、流入負荷に応じた送風量の自動制御により、NH₄-N 濃度を目標とする値に制御してきたが、ここではさらに循環量を適切に制御することで窒素濃度の安定化を図ることとした。本報では、この NH₄-N 制御の効果を検証するとともに、循環量の調整による NO₃-N 制御についての検討を行ったので報告する。

2. 制御システムの構成

2.1 対象系列

当処理場は 2 系列あり、流入水比率は 1 系：2 系＝1：2.5 である。2 系列とも嫌気無酸素好気法（A₂O 法）であるが、今回は水量比率の高い 2 系のみを対象とした。

2.2 制御システムの概要

当処理場では 2016 年 12 月に制御システムを設置し、2017 年 5 月～11 月の試運転期間（検証データから除外）を経て、2017 年 12 月より OR 制御を開始した。センサー構成は Fig. 1 に示す通り、最初沈殿池出口に濁度計、無酸素槽と好気槽末端にアンモニア・硝酸計を設置している。

なお、ここでは便宜的に制御と表現しているが、当

処理場においては電氣的な信号による自動制御は実施しておらず、OR制御における最適な送風量の算出結果を、オペレーターが既存CRTに風量設定値として入力することで対応している。

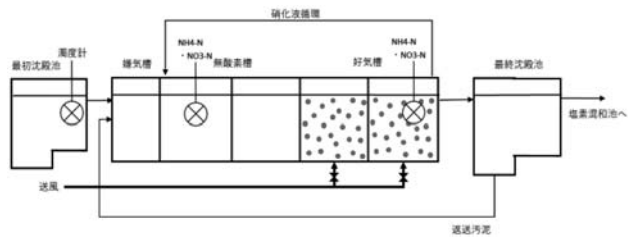


Fig. 1 Diagram of OR control system

3. 窒素濃度の制御方法

3.1 NH₄-N の制御

NH₄-N の制御については、筆者らが OR 制御によって、反応タンク出口 NH₄-N 濃度の自動制御の実績を報告している¹⁾。OR 制御は、反応タンク出口における NH₄-N 濃度目標値を定めて自動制御を行うが、この目標値を変化させることで硝化促進運転、硝化抑制運転など様々な運転方式に対応できる。当処理場においては、窒素除去のため、硝化反応を進めながらも、省エネ効果が期待できるよう NH₄-N 濃度目標値は 2.0 mg/L とした。

3.2 NO₃-N の制御

一方、NO₃-N の制御に関しては、オペレーターの設定による循環比率一定で運転してきた。現在は NO₃-N 濃度がセンサーによりリアルタイムで監視できるため、本研究では、通常運転時の NO₃-N の実績をもとに、好気槽 NO₃-N 濃度を平均化するようにシミュレーション計算を行い、その計算結果にもとづき循環比率の調整を行った。

4. 検証方法

4.1 NH₄-N の制御

制御システム導入前1年間と、システム導入後から現在までの好気槽 NH₄-N や放流水の各水質と、送風機電力量原単位について実績値を比較した。

4.2 NO₃-N の制御

循環比率一定での運転期間中、1週間の初沈流入量や循環比率、好気槽 NH₄-N・NO₃-N 等について、時間あたりのデータを平均化した。その中で、好気槽 NO₃-N について、なるべく変動幅を抑えることを考えた。具体的には、Fig. 2 に示すように、好気槽 NO₃-N 濃度が高い場合は、循環比率を上げる、逆に低い

場合は循環比率を下げるといった設定を行うことを検討した。

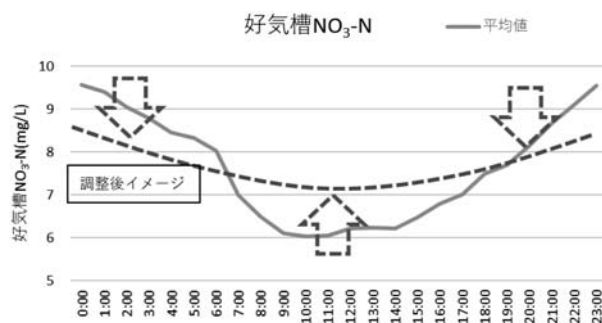


Fig. 2 Image of averaging aerobic tank NO₃-N

そこで、NO₃-N 濃度に応じて循環比率を3つのパターンに分けて設定することとした。

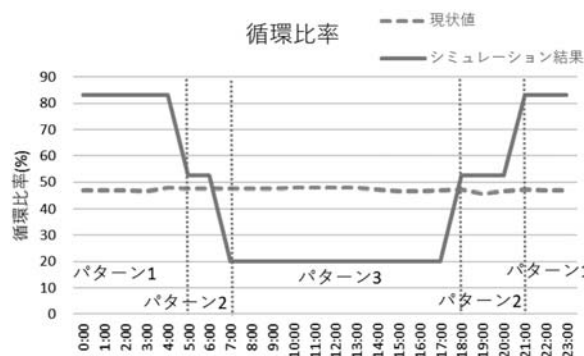


Fig. 3 Simulation results of recirculation ratio

そのうえでシミュレーション計算を行い、NO₃-N 濃度が一定に近づくように Fig. 3 のようなパターン化した循環比率を算出した。

5. 検証結果

5.1 NH₄-N の制御

検証期間は、制御システム導入前の2016年4月から、2020年5月末までとした。それぞれの期間中について、送風機運転の概要を以下に示す。

Table 2 Operation method for each period

期間	運転概要
2016年4月～ 2017年4月末	反応タンクのpH値をもとに送風量を設定
2017年12月～ 2020年5末日	OR制御にて運転

放流水質として NH₄-N、NO₃-N の経時変化を Fig. 4 に示す。制御システム導入後、省エネ運転を目指し、わずかに NH₄-N が残存するよう運転を行っているため、NH₄-N は若干増加し、NO₃-N が低下した傾向が見てとれる。NH₄-N 濃度については、概ね安定していた。

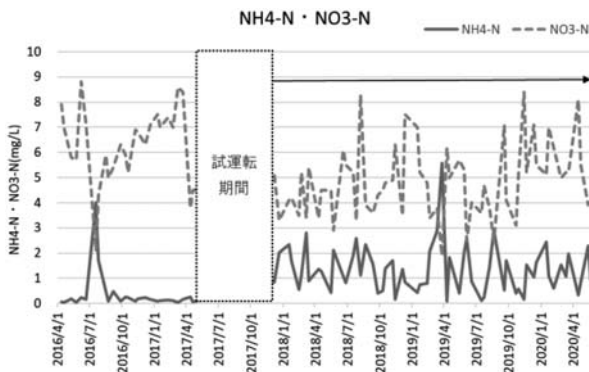


Fig. 4 Time-course change of effluent NH₄-N · NO₃-N

Fig. 4 では、NH₄-N は週に 2 回の分析のため、詳細な変化がわからない。そこで、反応タンク出口の NH₄-N のセンサー値について、1 か月間の経時変化を Fig. 5 に示す。反応タンク出口 NH₄-N は、概ね 2.0 mg/L に制御することができた。

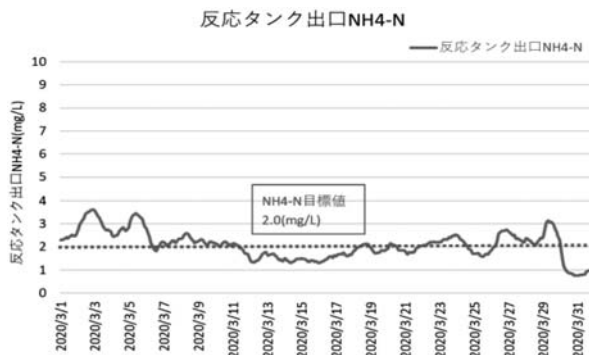


Fig. 5 Time-course change of NH₄-N at the exit of reaction tank (sensor values)

2系送風量の経時変化を Fig. 6 に示す。制御システム導入後、送風量は明らかな低下傾向が見られる。

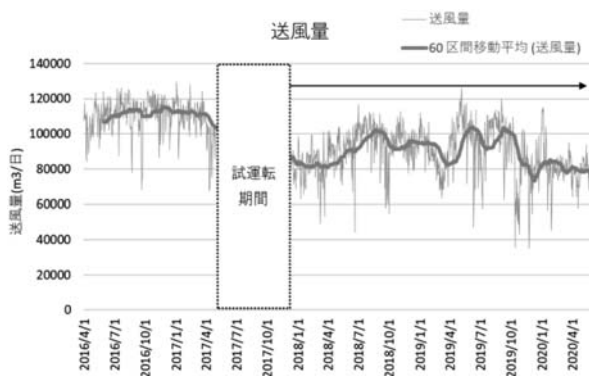


Fig. 6 Time-course change of air volume

次に、オペレーターの設定値入力による OR 制御が、OR 計算結果と相違がないかを確認するため、1 週間の経時変化を Fig. 7 にまとめた。多少の違いはあるものの、OR 計算結果に従い、送風量の設定が行われていることが見てとれる。将来はオペレーターの負担軽減のため、自動化を検討する予定である。

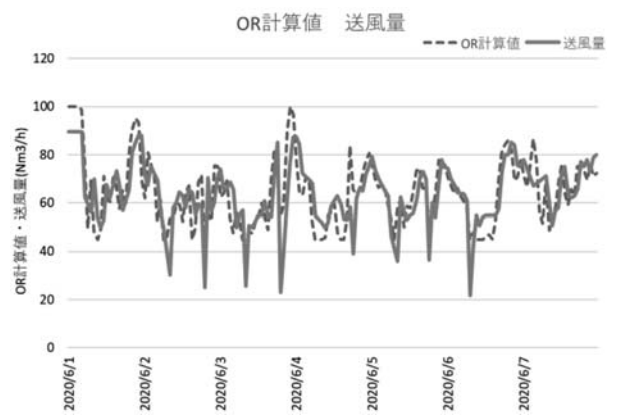


Fig. 7 OR calculated value and air flow result

制御システム導入前後の期間、流入水の負荷量や送風量、放流水質の各平均と、削減率及び差を Table 3 にまとめた。送風量については、19.7%削減され、省エネ運転が行われたことが明らかになった。放流水質については、送風量の削減により、NH₄-N と BOD が若干上昇したが、NO₃-N が低下しており、窒素除去としては同等以上の結果が得られた。

Table 3 Influent load, air volume and treated water quality

期間	流入 BOD 負荷量 kg/日	流入 Kj-N 負荷量 kg/日	送風量 m ³ /日	NH ₄ -N mg/L	NO ₃ -N mg/L	BOD mg/L
OR 制御システム導入前 (2016年4月～2017年4月末)	2130	486	110742	0.40	6.20	0.75
OR 制御システム導入後 (2017年12月～2020年5月末)	2833	480	88958	1.35	4.86	1.45
	+703	-6	削減率 19.7%	+0.95	-1.34	+0.71

次に流入水の BOD と Kj-N 濃度から、流入 OR 負荷量を算出した。この値は流入負荷量を処理するために、必要な酸素量を意味する。流入負荷量変動の影響を補正するため、送風機消費電力量を流入 OR 負荷量で除し、原単位に換算したものを算出し、経時変化を Fig. 8 に示す。送風量と同様に、消費電力量原単位も、制御システム導入後低減している。



Fig. 8 Time-course change of blower electricity consumption per unit OR

Table 4 に OR 制御の省エネ効果についてまとめた。制御システム導入前と比較すると、電力量は 11.9% 削減した。また、送風機消費電力量原単位（流入 OR ベース）では、22.5% と大きな削減効果が得られた。

Table 4 electricity consumption data

期 間	流入 OR 負荷量 kg/日	送風機電力量 kWh/日	送風機消費電力量原単位 (流入 OR ベース) kWh/kg・日
OR 制御システム導入前 (2016 年 4 月～2017 年 4 月末)	2755	2822	1.03
OR 制御システム導入後 (2017 年 12 月～2020 年 5 月末)	+346	削減率 11.9%	削減率 22.5%

5.2 NO₃-N の制御

検証期間は、2020 年 6 月 1 日から 6 月 19 日までとした。6 月 1 日～11 日は循環比率を一定、12 日～19 日は循環比率をパターン別に変更した期間である。

期間中の循環流量の変化を Fig. 9 に、好気槽の NO₃-N の変化は Fig. 10 に示す。



Fig. 9 Operation results of recirculation ratio

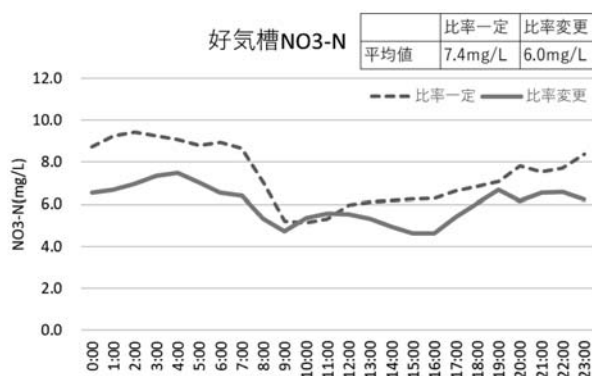


Fig. 10 Result of NO₃-N at the exit of reaction tank

循環比率の設定変更を行うことで、比率一定時と比較すると、好気槽 NO₃-N は平均値が低下し、変動は小さくなった。今回は通常の NO₃-N 濃度の日間変動からパターン化した循環比率によって検証を行ったが、循環比率をリアルタイム制御することで、より安定的な窒素除去が可能であると示唆される。

一方で、NH₄-N については、平均値はほぼ同じであったが、逆に変動が大きくなる現象も見られた。これは、高負荷時間帯に循環比率が高くなることで反応タンク内の流速が速まり、これにより OR が上昇したことで送風機の能力が追い付かなくなったためであると考えられる。循環量の制御を行う場合は、送風能力に留意する必要がある。

5. ま と め

アンモニア性窒素の制御については、反応タンク出口の NH₄-N 濃度は、概ね 2.0 mg/L に制御ができた。省エネについては、送風機電力量で 11.9%、流入 OR 負荷量を用いて消費電力量原単位に換算すると、22.5% 削減した結果が得られた。

硝酸性窒素の制御に関しては、循環比率の設定を変更することで、NO₃-N は一定範囲で安定化できた。一方、NH₄-N の変動が大きくなり、結果的に放流水 T-N については、僅かな違いしか見られなかった。

当処理場においては、将来的に自動制御を行うことにより、きめ細かな送風量と循環比率の設定が可能となり、全窒素濃度の安定化や、省エネ効果が期待される。

謝 辞

本研究にあたり、ご協力いただきました木更津市都市整備部下水道推進室の皆様へ感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小貫博章, 畑山俊昭, 湛記先: アンモニア計を用いた反応タンク出口アンモニア性窒素濃度の自動制御, 第 56 回下水道研究発表会講演集 (2019)