

## 〈研究発表〉

# アンモニアを指標とした OR 制御と送風機最適運転による省エネ効果の検証

池 畑 将 樹<sup>1)</sup>, 小 池 啓 介<sup>2)</sup>, 湛 記 先<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> (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)

<sup>2)</sup> (株)ウォーターエージェンシー群馬流域管理所  
(〒370-1127 群馬県佐波郡玉村町上之手1846-1 県央水質浄化センター内  
E-mail: wa04-11002@water-agency.com)

### 概 要

下水処理場において良好な処理水質を維持しながらエネルギー消費を極力抑えるため、反応タンク出口のアンモニア性窒素を 1 mg/L に設定した OR 制御を実施した。この結果、一般的な DO 制御（目標値 2.0 mg/L）と比較し、反応タンクへの送風量は 19.4% 削減される結果が得られた。また、送風機の吐出圧を低下させる運転や、適切な台数制御を実施することで、より消費電力を低減させることが可能であり、これらを組み合わせることで送風機の消費電力を 29.0% 削減できる試算結果が得られたので報告する。

キーワード：省エネルギー，OR 制御，送風機制御，アンモニア，最適化

原稿受付 2020.6.24

EICA: 25(2・3) 18-21

## 1. はじめに

### 1.1 背景

近年、下水処理場の送風機設備の省エネ運転を行うため、アンモニア計を用いた自動制御技術が注目されている。この技術は反応タンク内の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度をイオン電極式センサーで測定し、この測定値を指標として曝気風量を制御するものであり、FF（フィードフォワード）制御、FB（フィードバック）制御、あるいは FF+FB 制御など様々な技術が開発されている。

弊社においても平成 20 年頃よりアンモニア計を活用した自動制御技術として、OR 制御を開発・実用化しており、現在では様々な規模、処理方式の下水処理場で活用している<sup>1)</sup>。

### 1.2 OR 制御のしくみ

OR 制御では、反応タンク流入水の濁度・ $\text{NH}_4\text{-N}$ （あるいは反応タンク入口  $\text{NH}_4\text{-N}$ ）濃度から BOD・ケルダール窒素濃度を推定し、反応タンク流入水量と掛け合わせて汚濁負荷量を算出することで、その処理に必要な酸素量を算出する。あわせて MLSS 濃度や水温などから内生呼吸に必要な酸素量を算出し、反応タンク内の必要酸素量（AOR）を演算する。OR 制御はこの値をもとに曝気風量を制御する FF 制御と、反応タンク出口側の  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度や DO を用いた FB 制御を組み合わせた制御方式である。 $\text{NH}_4\text{-N}$  については FF 制御、FB 制御の両面において非常に重要な指標となる。

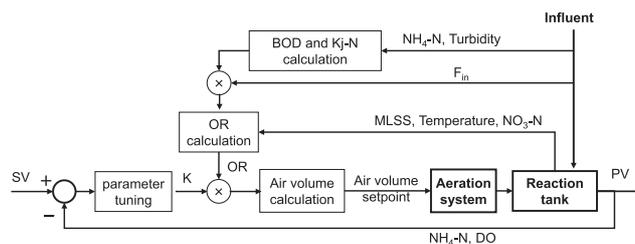


Fig. 1 Diagram of OR control system

## 2. OR 制御を用いた省エネ運転

### 2.1 アンモニア制御

OR 制御は、反応タンク出口における  $\text{NH}_4\text{-N}$  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、部分硝化運転など様々な運転方式に対応できる（OR 制御は硝化抑制運転にも対応できるが、アンモニアを用いた制御ではなくなるため本報では割愛する）。

水質とエネルギー消費量の関係は、基本的にはトレードオフの関係にあるため、 $\text{NH}_4\text{-N}$  目標値が高いほど省エネ効果は得られるが、水質基準や放流水域への環境配慮などの観点から下水処理場の実情に応じた目標値を定める必要がある。

### 2.2 送風機の最適運転

また、エネルギー消費量の多い送風機では、単位送風量あたりの消費電力量をなるべく低く抑える運転が重要である。具体的には少ない台数、低い圧力での運転が有効であると考えられる。

筆者らはより効率的な運転を確立するため、複数の下水処理場でOR制御を活用した送風機の台数制御や、吸込み風量制御（送風系統全体送風量の制御）を実施している。本報では実処理場において、これらの制御を総合的に実施した場合の省エネ効果を試算した。

### 3. 検証方法

#### 3.1 施設概要

群馬県にある県央水質浄化センター（以下、当センター）は、現有5系列（15池）240,000 m<sup>3</sup>/日の処理能力を有する大規模流域下水処理場である。処理方式は標準活性汚泥処理法であるが、疑似嫌気-好気での硝化促進運転を行っている。

Table 1 Outline of the plant

下水処理場名	県央水質浄化センター
現有処理能力	240,000 m <sup>3</sup> /日（日最大）
処理水量	143,699 m <sup>3</sup> /日（平成30年度実績）
水処理方式	標準活性汚泥法（現有5系列）
排除方式	分流式
汚泥処理方式	濃縮-脱水

送風系統は1~2系と3~5系で完全に分かれており、本検証では処理場全体の約7割の汚水を処理している3~5系の送風系統を対象とした。送風系統の概略図をFig. 2に示す。送風機は処理場全体で6台整備されており、3~5系は1, 5, 6号送風機が対応している。この3台の送風機は同一能力（多段式ターボ形遠心式420 kW, 290 m<sup>3</sup>/min）であり、通常は2台運転での圧力一定制御を行っている。反応タンク側の送風制御は、補助調節弁を対象として、主にDO制御を利用しているが、一部の系列（4系）においてはOR制御を利用することができる（主風量調節弁は手動調整のみ）。

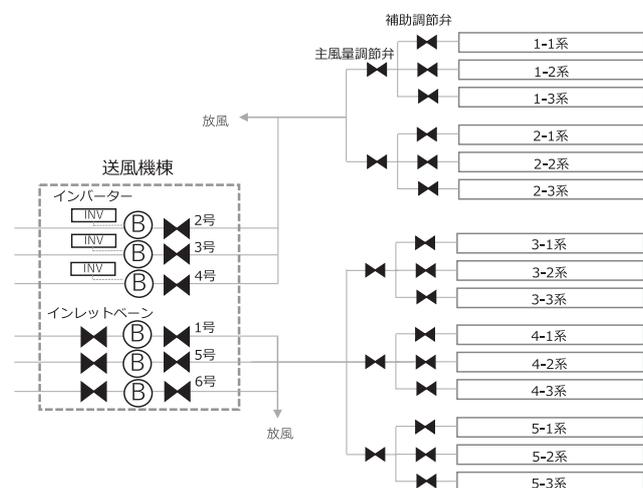


Fig. 2 Layout of the total aeration system

#### 3.2 OR制御とDO制御の比較

4-3系を対象系としてOR制御を実施した。通常は完全硝化を目指した運転を行っているが、ここではNH<sub>4</sub>-N濃度目標値を1 mg/Lとし、わずかにNH<sub>4</sub>-Nが残存することを許容することで得られる省エネ効果を検証した。参照系列は4-2系とし、一般的なDO制御（2.0 mg/L）を実施した。これら両系列は構造上の差はなく、試験実施前の水質や送風量、試験期間中の送風量の上下限制限にはほとんど差がなかった。試験期間は1週間とし、送風量や水質について確認した。

#### 3.3 送風機最適運転の調査

当センターでは送風機の圧力目標値は自動設定ではない。吐出圧を必要以上に高く設定すると圧力損失が増え、エネルギー的に非効率となる。吐出圧を下げるためには吐出側の弁（主風量調節弁、補助調節弁）開度をなるべく開けた状態で維持することが重要であり、これを自動制御によって実現するためには、送風系統全体を制御する上位制御が必要となる。

しかしながら当センターでは4系補助調節弁制御にのみOR制御が導入されていることから、現時点で自動制御による検証を行うことはできない。このため、主風量調節弁及び補助調節弁を意図的に開けた状態で送風量のバランスをとり、開度を固定して最適運転条件を模擬的に再現した。この状態で送風機の吸い込み風量を段階的に調節し、送風量・吐出圧・消費電力量の関係を調査した。なお、調査時の弁開度はTable 2の通りであった。

Table 2 Valve opening during investigation

	主風量調節弁	補助調節弁
3-1系	100%	100%
3-2系		—
3-3系		35%
4-1系	99%	—
4-2系		95%
4-3系		97%
5-1系	30%	—
5-2系		26%
5-3系		27%

※ 3-2, 4-1, 5-1系は調査休止中

### 4. 検証結果

#### 4.1 OR制御とDO制御の比較結果

調査期間中の送風量経時変化をFig. 3に示す。各制御方法での送風量平均値は、DO制御が79.4 m<sup>3</sup>/minであったのに対し、OR制御では64.0 m<sup>3</sup>/minと19.4%の大幅な削減効果が見られた。このときの

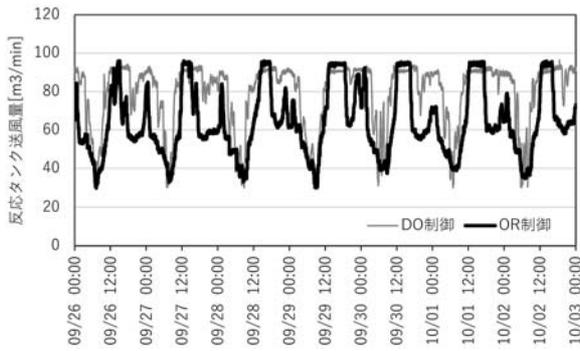


Fig. 3 Air volume of DO control and OR control

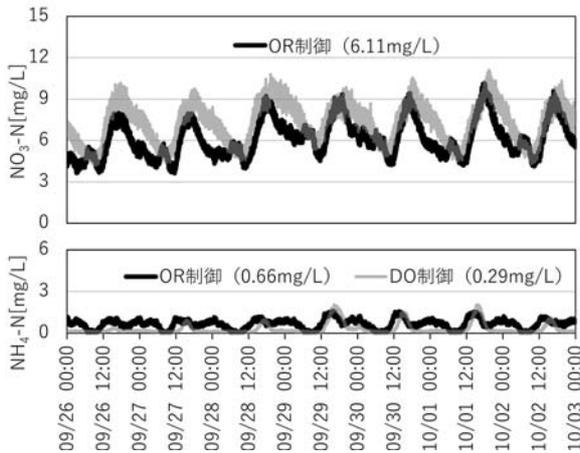


Fig. 4 NH<sub>4</sub>-N and NO<sub>3</sub>-N in DO control and OR control

反応タンク出口における NH<sub>4</sub>-N 及び NO<sub>3</sub>-N センサー値の経時変化を Fig. 4 に示す。OR 制御によりわずかに残存させるよう設定した NH<sub>4</sub>-N は、DO 制御よりもやや高くなっているが、NO<sub>3</sub>-N は明確に低下している。

次に DO の経時変化を Fig. 5 に示す。調査期間中の送風量は送風機的能力に応じた送風量の上限・下限

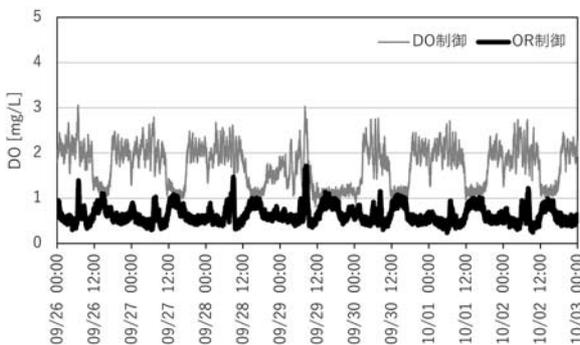


Fig. 5 DO in DO control and OR control

Table 3 Comparison of water quality

制御方式	AT 送風量 m <sup>3</sup> /min	NH <sub>4</sub> -N mg/L	NO <sub>3</sub> -N mg/L	DO mg/L
DO 制御	79.4	0.29	7.30	1.72
OR 制御	64.0	0.66	6.11	0.63

削減率 19.4%

値は期間平均値

の制約を受けたため、DO 制御における DO は設定値である 2.0 mg/L に達しない時間帯が存在した。一方、OR 制御では低 DO 状態が維持された。これにより省エネ効果が得られ、なおかつ同時硝化脱窒反応により窒素除去が優位であったものと考えられる。

## 4.2 送風機最適運転の調査結果

Fig. 6 に送風機の吸込み風量と吐出圧の関係を示す。現状運転はすべて送風機 2 台運転での圧力一定制御時のデータである。圧力設定値は通常 65 kPa 程度であるが、送風量が少なくなる時間帯においては弁開度調整だけでは送風量を絞れず、段階的に圧力設定値を 60 kPa 程度まで低下させて対応している。また、それでも送風量が多すぎる場合は、休止池へ送風を逃がす操作も行っている (Fig. 7)。

一方、調査時のデータは弁開度を高めに維持したため、送風量あたりの吐出圧が低くなっている。送風量に応じた最適な圧力設定値と想定される。

次に送風量あたりの消費電力量 (消費電力量原単位) を Fig. 8 に示す。300 m<sup>3</sup>/min 付近の低風量時は、1 台運転へと切替えることで消費電力量原単位が大きく低下することがわかる。現状では低風量である時間が短いため、送風機の頻繁な起動/停止を避ける目的で 2 台運転のまま対応することが多くになっているが、適切な台数制御により省エネ効果が得られることが示唆される。

また、Fig. 9 に 2 台運転時のデータを拡大表示するが、調査時データは現状運転より消費電力量原単位が低くなっており、吐出圧の低減が省エネ運転に有効で

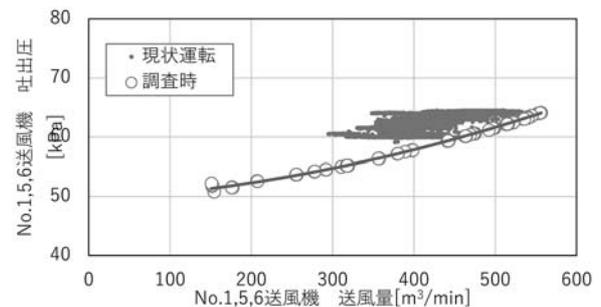


Fig. 6 Correlation between air volume and pressure

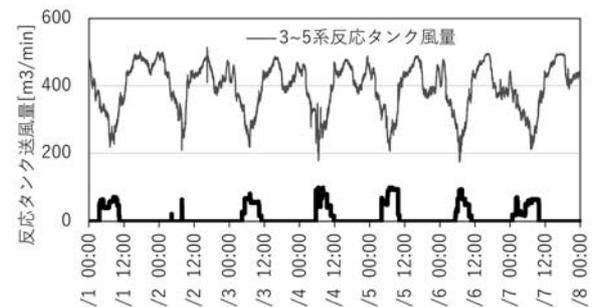


Fig. 7 Aeration air volume and invalid air volume

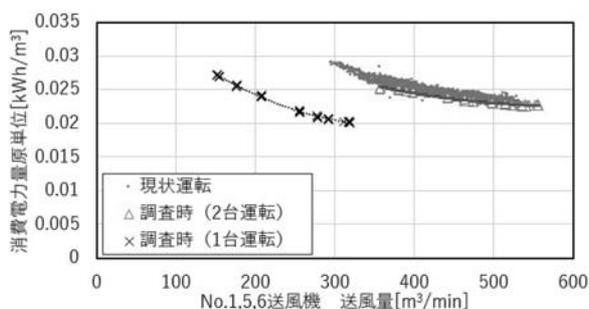


Fig. 8 Relationship between power consumption and air volume

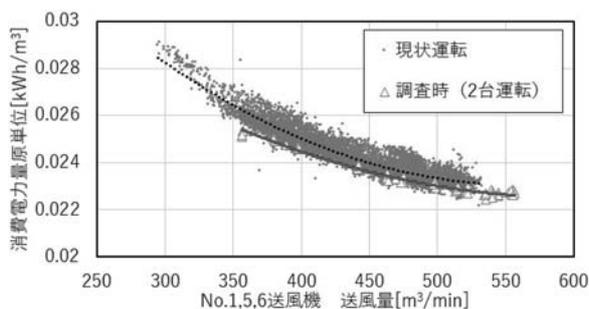


Fig. 9 Relationship between power consumption and air volume When operating with two blower units)

あることが示されている。

### 4.3 省エネ効果の試算結果

これらの結果を踏まえ 3~5 系の送風系統全体を OR 制御とし、アンモニア目標値を 1 mg/L とした OR 制御を実施することで送風量を削減し、さらに送風機の吐出圧最小運転、最適な台数制御を実施した場合を想定して省エネ効果を試算した。試算対象期間は 2019 年 9 月の 1ヶ月間とした。

想定される送風機風量の経時変化を Fig. 10 に示す (図は 1 週間分を例示)。OR 制御実施時の想定風量は、実績風量をベースとし、Fig. 3 の結果から 1 時間毎の平均削減率を算出して求めた。この結果、特に低負荷時間帯において送風機 1 台運転で対応可能な時間が増える結果が得られた。なお、実績風量については、現状実施している低風量時の逃がし風量 (無効風量) が含まれているため、送風機での風量削減率は 24.5%

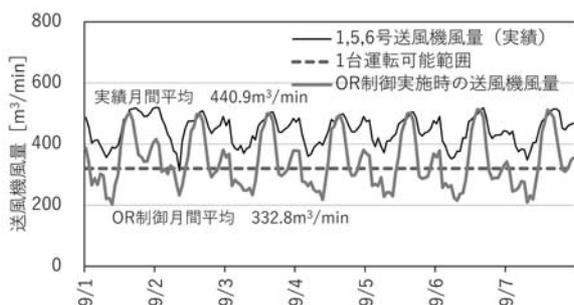


Fig. 10 Actual blower air volume and assumed air volume in OR control

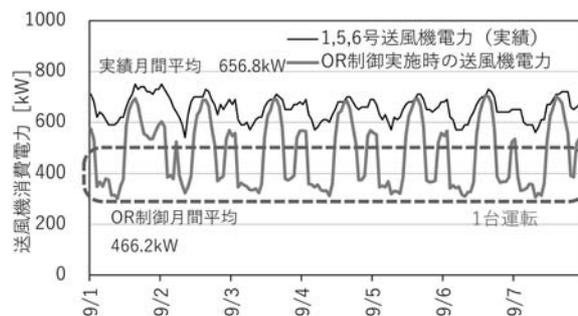


Fig. 11 Actual data and expected results by OR control in blower electricity consumption

Table 4 Comparison of actual data and expected results by OR control in blower electricity consumption

制御方式	送風機風量 m <sup>3</sup> /月	送風機電力 kWh/月
実績運転	19,047,600	472,880
OR 制御	14,376,300	335,639
削減率	24.5%	29.0%

となった。

次に Fig. 8 の関係から OR 制御実施時の想定風量を消費電力に換算して Fig. 11 に示す。ここでは 320 m<sup>3</sup>/min 以下の条件では送風機を 1 台運転へと切替えることを前提とした。最終的な送風機の消費電力削減率は 29.0% であった。

## 5. まとめ

アンモニア性窒素目標値を 1 mg/L に設定した OR 制御の省エネ効果について検証した。一般的な DO 制御 (目標値 2.0 mg/L) と比較し、反応タンクへの送風量は 19.4% 削減される結果が得られた。また、送風機吐出圧を低下させる運転や、適切な台数制御を実施することで、より消費電力を低減させることが可能であり、これらを組み合わせることで送風機の消費電力を 29.0% 削減できる試算結果が得られた。

## 謝 辞

本研究にあたり、ご協力いただきました群馬県県土整備部下水環境課ならびに群馬県下水道総合事務所の皆様に感謝の意を表します。

## 参考文献

- 1) 湛 記先：OR 制御技術の紹介，月間下水道，Vol. 42，No. 7，pp. 65-69 (2019)