

## 〈研究発表〉

# OR 制御によるブロワ省エネ運転

池 畑 将 樹<sup>1)</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: wa04-00009@water-agency.com)

### 概 要

凝集剤併用型3段階流入式硝化脱窒法の下水処理施設において、OR（酸素必要量）制御を用いて3台のブロワの自動切り替えと、吸込み風量制御を行った。本報では導入後1年間の運転実績データをもとに効果を検証した。その結果、良好な処理水質を維持しながらブロワ消費電力量が原単位ベースで12%程度削減される効果が得られたので報告する。

キーワード：下水処理、曝気風量制御、酸素必要量、ブロワ、省エネルギー

原稿受付 2016.7.20

EICA: 21(2・3) 122-126

## 1. はじめに

### 1.1 背景

下水道における消費電力量は、わが国の総消費電力量の0.7%を占め、このうちおよそ6割がブロワの運転によるものであると言われている。近年、下水処理場では超微細気泡の散気装置の導入によるエネルギー効率の改善や、アンモニア計など各種センサーを用いた送風制御の最適化など、特に送風にかかる省エネルギー化への取り組みが積極的に行われている。

筆者らは、反応タンク流入負荷と反応タンク内の水質をオンライン測定して算出したOR（酸素必要量）による送風量の自動制御を実施してきた<sup>1,2)</sup>。OR制御は反応タンクへの送風量を制御することを目的とし、これまでの導入実績では風量調節弁を制御対象としてきたが、今回は3段階硝化脱窒法の処理施設（2系列）において、ブロワ吸込み風量の制御と3台のブロワの制御を行うことで、処理場全体の送風制御について自動化を行った。本報では1年間の運転データをもとにOR制御の導入効果について検証した。

### 1.2 対象施設の概要と課題

蒲郡市下水道浄化センター（以下、当浄化センター）は、昭和58年に標準活性汚泥法として供用開始し、平成18年に高度処理対応として改修され、現在は凝集剤併用型3段階流入式硝化脱窒法となっている。水処理施設の概要をTable 1に示す。

送風設備としてブロワが3台（小・小・大）整備されているが、反応タンク側の送風分配は手動ダイヤライ弁の開度で適宜調整しており、風量調節弁等により系列分配を自動調整することはできない。このため、通常運転時の風量調整は、ブロワの切り替えと吸込み

風量の調整により実施している。既存の制御システムには流量比例制御が整備されているが、流入水質の変動に対応できないために運用されていなかった。また、DO制御は整備されておらず、これまでの運転ではオペレータが反応タンク末端DOを指標として、風量調整を実施してきた。ここでの操作はブロワの切り替えと、操作器によるブロワ吸込み風量の調整であるが、すべて手動であったため負荷変動への追従が遅れ、目標DO（概ね2mg/L）を大きく外れるなどの課題があった。

Table 1 Outline of the plant

排除方式	分流式
処理方式	凝集剤併用型3段階流入式硝化脱窒法
処理能力	32,000m <sup>3</sup> /d
流入下水量	18,000m <sup>3</sup> /d
水処理系列数	2系列
反応タンク容積	1系列あたり6,505m <sup>3</sup>
反応タンク容積比	1:1:1.3:1.3:1.7:1.7

## 2. 自動制御の概要

### 2.1 システム構成

システム導入にあわせ2系列ある反応タンクのうち1系を代表系列としてセンサーを新設した。反応タンク流入水路に濁度計を設置するとともに、自動洗浄機能をもつ水質測定ユニット（Fig. 1）を設置してアンモニア性窒素を連続測定した。さらに、反応タンク末端から20mほど上流にはアンモニア・硝酸計を設置し、処理の進行度合いを判断した。また、風量制御には直接関与しないが、塩素混和池に設置した透視度計により処理水質を常時監視した。

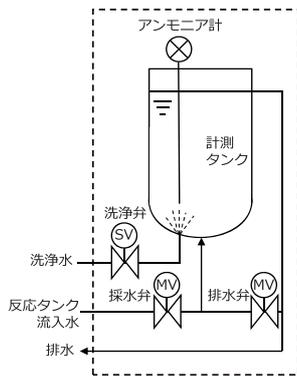


Fig. 1 Water quality measuring unit

2.2 OR制御の概念

OR制御の概念図を Fig. 2 に示す。OR制御の特長は反応タンク流入負荷変動に応じたフィードフォワード制御である。反応タンク流入水の濁度やアンモニア性窒素測定値は、事前に調査した相関式 (Fig. 3) を用いて BOD やケルダール窒素 (便宜的に T-N で分析) に換算し、水量を乗じて流入負荷を推定したうえで、これらの処理に必要な酸素量を算出した。また、MLSS 計 (既存) 測定値と水温にもとづいて、活性汚泥の内生呼吸に必要な酸素量を求めた。これらを合算して酸素必要量 (OR) を算出し、最終的に送風量に換算した。なお、反応タンク出口側のアンモニア性窒素や DO (既存) の測定値をもとに OR 計算値及び計算パラメータを自動補正した。

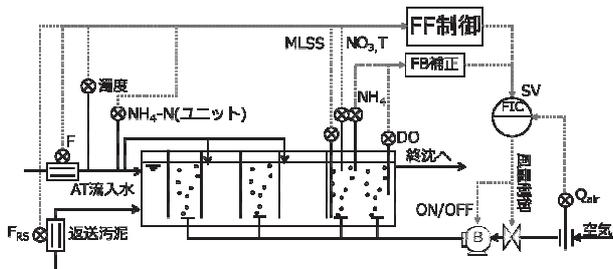


Fig. 2 Diagram of OR control

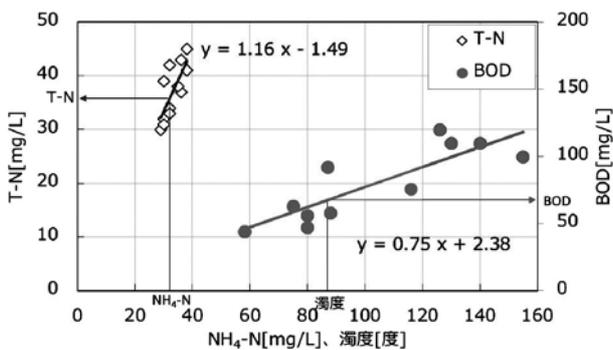


Fig. 3 Correlation of the influent concentration items

2.3 制御対象

今回の制御対象は3台のターボブロワである。OR制御では算出した目標風量を吸込み弁によるブロワ風量制御のSVとして与えた。また、各ブロワの能力に応じた送風範囲 (Table 2) を設け、目標風量が送風範囲から一定時間逸脱した場合にブロワの自動切り替えを行った。

Table 2 Operation ranges of blowers

ブロワ	通常送風範囲 (Nm <sup>3</sup> /h)
1号	3,000~6,000
2号	3,000~6,000
3号	6,000~11,000

2.4 OR制御の導入方法

OR制御導入時は、試運転期間において、従来 (導入前) の運転方法を実施しながら OR制御のオンラインシミュレーションを行い、処理水質 (NH<sub>4</sub>-N と NO<sub>3</sub>-N) の計測値から曝気風量を検討する。以下は実施した検討結果を示す。

(1) 導入前の運転方法

導入前のデータとして Fig. 4 に反応タンク末端 DO を指標とした手動調整時のブロワ総吸込み風量と、DO の経時変化を示す。午前中は深夜に流入した低負荷下水が反応タンクから流出する時間帯であるが、この時間帯に送風量を低下させているにもかかわらず、追従しきれずに DO が上昇する現象が見られている。このように、反応タンク末端の DO を指標とする DO 制御による時間遅れの問題は、多くの下水処理場で報告されている。また、図中の丸印で示すデータは、1系 DO が大きく上昇したことから送風量を大きく下げた事例である。

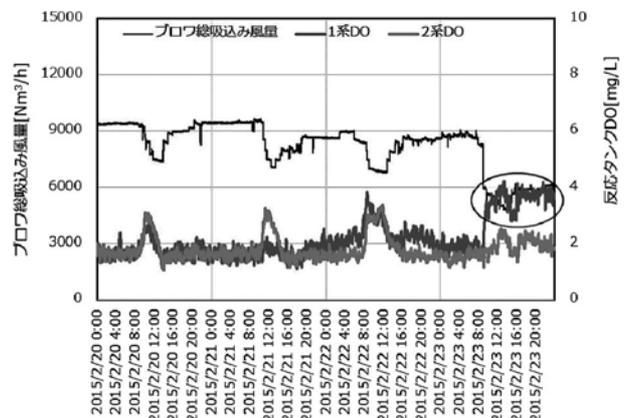


Fig. 4 Air flow rate and DO (before OR control)

同期間の反応タンク出口側 (末端より 20 m 上流) での各態窒素 (センサー値) の経時変化をブロワ総吸

込み風量と併せて Fig. 5 に示す。午前中はアンモニア性窒素がかなり減少し、硝酸性窒素が上昇していることから、センサー設置位置において完全硝化に近い状態であることがわかるが、その他の時間については、アンモニア性窒素が大きく変動しており、負荷変動に追従しきれていない。また、Fig. 4 で示した1系 DO が大きく上昇した時間帯においても、アンモニア性窒素の上昇が見られることから、送風量が不足していることが見て取れる。このことから DO の上昇は、気泡の付着など何らかの外乱によるものである可能性が考えられる。

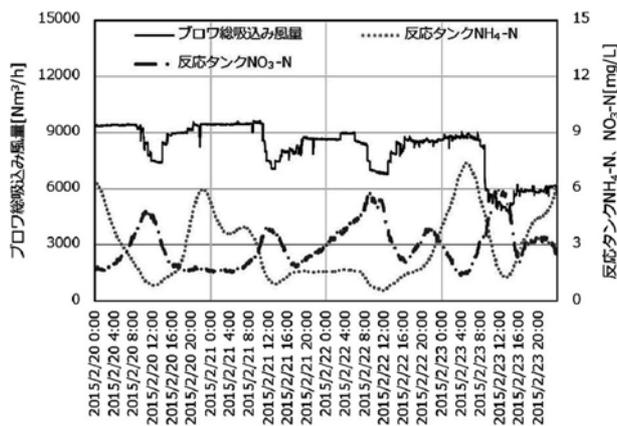


Fig. 5 Example data of air flow rate and nitrogen concentrations (before OR control)

## (2) OR 制御による曝気風量シミュレーション

Fig. 5 に OR 制御による目標風量を加え Fig. 6 に示す。OR 制御目標風量は、実際の送風量（反応タンク末端 DO を指標とした運転）と比べ、送風量増加・減少の変化が数時間早いことがわかる。これは OR 制御が反応タンク流入側の負荷変動に応じたフィードフォワード制御であるためである。また、変動幅はこれまでよりも大きい。図中の丸印で示すように、実際の送風量と OR 制御目標値との差が大きい時間帯では、

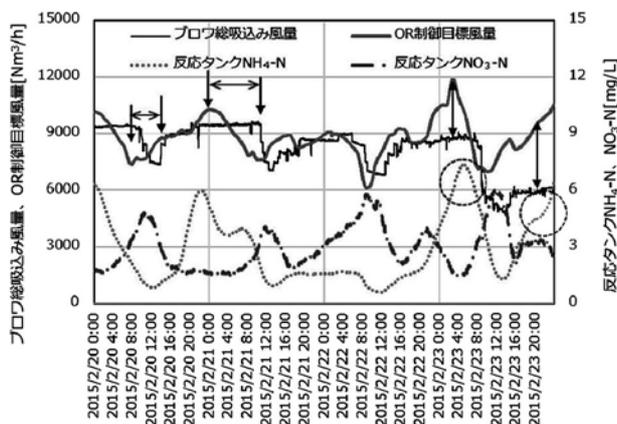


Fig. 6 The difference in air flow rate before and after OR control introduction

反応タンク出口側（末端より 20 m 上流）で送風量が不足し、アンモニア性窒素が上昇していることから、OR 制御の妥当性が示されている。この検証結果に基づき、OR 制御の実施を 2015 年 3 月から開始した。

## 3. 導入効果検証

### 3.1 各態窒素の経時変化

OR 制御を実施した期間の各態窒素の経時変化を風量と併せて Fig. 7 に示す。導入前と比べて各態窒素の変動幅が小さく、これまでよりも水質が安定化していることがわかる。このことから OR 制御が流入負荷の変動に対して有効な制御方法であるといえる。

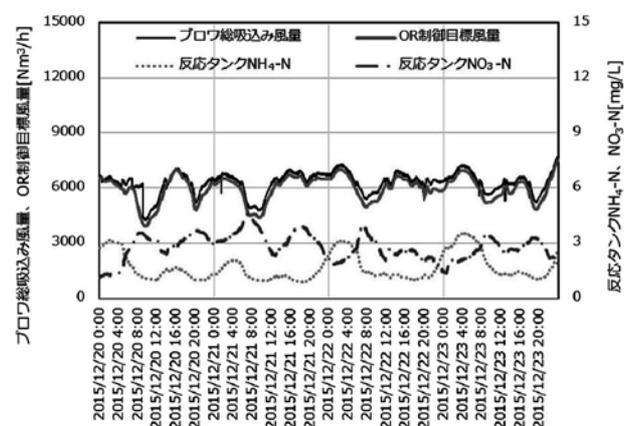


Fig. 7 Example data of air flow rate and nitrogen concentrations (after OR control)

### 3.2 反応タンクアンモニア性窒素の年間計測値

反応タンク末端から 20 m 上流に位置したセンサー設置位置でのアンモニア性窒素濃度には、OR 制御実施期間を通じて 2 mg/L 前後 (1.5~2.5 mg/L) の目標値を定めた。この目標値は、反応タンク出口で完全硝化に近い状態を維持しつつ、エネルギー使用量を抑える目的で設定した。Fig. 8 にアンモニア性窒素計測値（日平均値）の推移を示すが、概ね目標値に近い運転を行うことができた。

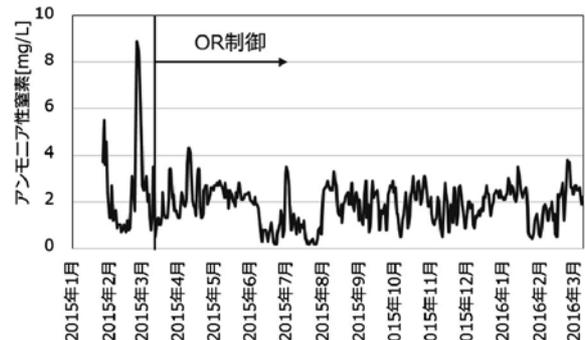


Fig. 8 Annual data of ISE sensor-measured  $\text{NH}_4\text{-N}$

**Table 3** Water quality before and after introduction of OR control

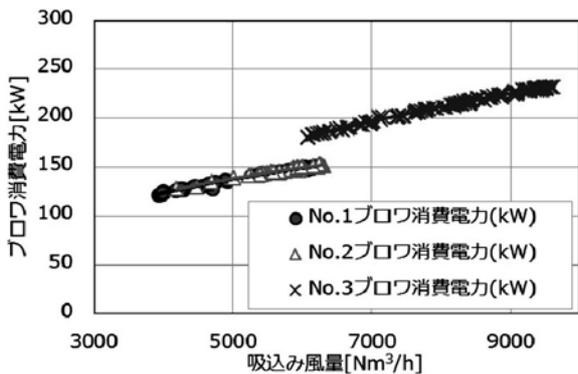
項目	導入前	導入後
透視度	100 以上	100 以上
SS	1.5	1.3
COD	7.7	7.9
BOD	1.5	0.9
NH <sub>4</sub> -N	1.7	1.6
NO <sub>3</sub> -N	2.5	1.6
全窒素	4.7	5.2
全リン	0.3	0.3

### 3.3 年間処理水質

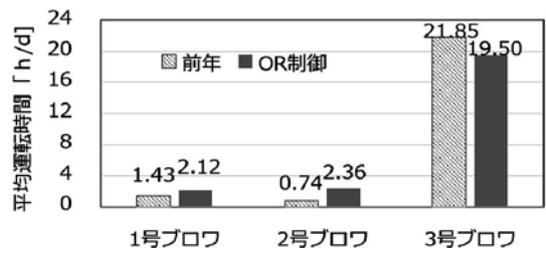
導入前後1年間の処理水質（全窒素、全リンは計器による測定値）を **Table 3** に示す。OR 制御における処理水質は導入前と概ね同程度であり、システム導入による大きな変化は見られなかったが、BOD や NO<sub>3</sub>-N は低下傾向が見えるなど良好な水質が年間を通して維持された。

### 3.4 省エネルギー効果

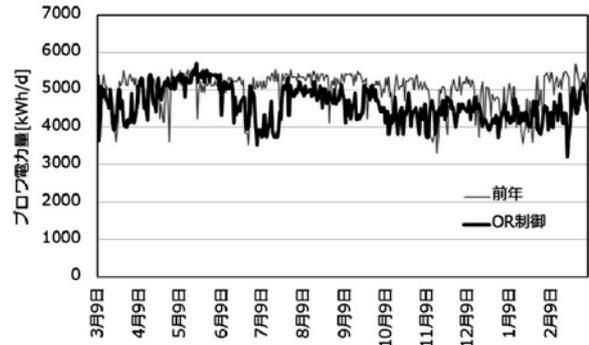
当浄化センターのブロワ吸込み風量と消費電力の関係を **Fig. 9** に示す。消費電力は吸込み風量が増加するにつれて大きくなるが、6,000 Nm<sup>3</sup>/h 付近では送風能力の小さい1~2号ブロワのほうがエネルギー的に有利である。そのため OR 制御目標風量が低下した際に1~2号ブロワへの自動切り替えを行った。この結果、3号ブロワの運転時間は年間平均で1日あたり2時間以上短縮された (**Fig. 10**)。ブロワ消費電力量は **Fig. 11** に示すように、前年と比較してほとんどの期間で低く推移し、平均値は4,997 kWh/d から4,605 kWh/d に削減された。ここでの削減率は7.8%であるが、処理水量が4.9%増加したため汚水1 m<sup>3</sup> を処理するために用いたブロワ電力量の原単位としては12.2%の削減効果となった (**Table 4**)。



**Fig. 9** Electricity consumption vs. air flow rate for different blowers



**Fig. 10** Daily-average operation hour of different blowers



**Fig. 11** Annual comparison of electricity consumptions before and after introduction of OR control

**Table 4** Annual result of electricity saving by OR control

項目	ブロワ電力量 (kWh/d)	ブロワ電力量原単位 (kWh/m <sup>3</sup> )
前年実績平均値	4,997	0.296
OR 制御実施期間平均値	4,605	0.260
削減率	7.8%	12.2%

### 3.4 その他の効果

システム導入によるその他の効果として、センサーの設置による反応タンクへの流入負荷変動や反応タンク内の水質、処理水質の「見える化」が挙げられる。また、中央監視業務については送風量の調整が自動化されたことでオペレータの個人差がなくなり、業務の効率化と標準化を進めることができた。

## 4. おわりに

凝集剤併用型3段階流入式硝化脱窒法の蒲郡市下水道浄化センターにおいて、OR 制御による運転を1年間継続して実施した。OR 制御では1系を代表系列としてセンサーを新設し、既存計装信号と合わせて酸素必要量を算出した。これを送風量に換算してブロワの制御を行った結果、これまで手動操作であったブロワの切り替えやブロワ吸込み風量の調整といった送風量の調整が全て自動化された。

反応タンク末端 DO を指標とした従来の運転と比

較した場合、OR 制御の方が負荷変動に対する送風変化の応答が早く、水質的にも優位であると考えられた。また、処理水質については導入前後で目立った変化は見られなかったが、BOD や  $\text{NO}_3\text{-N}$  は低下傾向が見えるなど年間を通じて良好な水質が得られた。エネルギー面での効果として、汚水  $1\text{ m}^3$  を処理するために用いたブロー電力量原単位では 12.2% の削減効果が得られた。

## 謝 辞

本件にご協力をいただきました蒲郡市下水道浄化センターの皆様に深く感謝の意を表します。

## 参 考 文 献

- 1) Zhan, J. X., Ikehata, M., Mayuzumi, M., Koizumi, E., Kawaguchi, Y. and Hashimoto, T. 2013 An Aeration Control Strategy for Oxidation Ditch Processes Based on Online Oxygen Requirement Estimation, *Wat. Sci. Tech.*, 68(1), pp. 76-82 (2013)
- 2) 湛 記先, 小泉栄一, 黛 将志, 川口幸男, 橋本敏一: 流入水質のオンライン測定と酸素必要量 (OR) 計算に基づいた実下水処理場の曝気制御, 学会誌「EICA」, Vol. 17, No. 2/3, pp. 47-50 (2012)