

〈研究発表〉

既存の DO センサーを活用した OR (酸素必要量) 制御の複数系列への適用

湛 記 先¹⁾, 池田 洋平¹⁾, 小泉 栄一¹⁾

¹⁾(株)ウォーターエージェンシー 研究開発部

(〒162-0813 東京都新宿区東五軒町3-25 E-mail: jx-zhan@water-agency.com)

概要

近年, 下水処理における省エネルギーと良好な処理水質の確保に対する需要がますます高まっている。これらを両立させるうえで, 曝気風量制御の役割が重要となる。弊社では, 酸素必要量 (OR) 計算に基づいた曝気制御方法を開発し, 実処理場に導入してきたが, 導入コストの抑制と水質センサーのメンテナンスコストの削減が課題と考えている。そこで, 酸素必要量制御のフィードバック調節に既存の DO センサーを用いる手法を考案し, 実処理場においてその省エネルギー効果と処理水質安定化効果を確認した。

キーワード: 下水処理, 曝気風量制御, 酸素必要量, 溶存酸素濃度, フィードフォワード (FF)・フィードバック (FB) 制御

原稿受付 2015. 6. 30

EICA: 20(2・3) 68-71

1. はじめに

1.1 背景

近年, 省エネルギー化と環境負荷低減に対する需要がますます高まっている。下水処理場における活性汚泥処理では, 反応タンクの曝気に要する電力量が, 水処理使用電力量のうち約3分の2を占めており, 省エネルギー化に対する重要な要素となっている。また, 良好な処理水質を確保するためには, 曝気風量を負荷に応じて適切に調整する必要がある。

従来の代表的な曝気風量制御技術として, DO 一定制御がある。DO 一定制御では, 反応タンク末端に設置した DO 計の計測値に基づいて制御を行うため, 流入負荷の変動に対して, 制御に時間的な遅れが生じる結果, 良好な処理水質を安定的に保つことは難しい。また, これらの問題を考慮して DO 目標値を必要以上に高く設定した場合には曝気に要する電力量が増大することとなる。反応タンクへの流入負荷変動が大きな施設ほど, このような現象が生じやすいと考えられる。

1.2 課題

筆者らは, 省エネルギー化, 環境負荷低減を両立させるため, 酸素必要量計算に基づいた曝気制御 (以下, OR 制御) を開発し, これを実処理場に適用した成果について報告してきた^{1,2)}。OR 制御は, 水質センサーなどを用いたフィードフォワード計算を用いるため, 流入負荷変動の大きな処理施設においても安定した曝気風量制御を実現できる点に特徴がある。

しかし一方で, OR 制御は DO 一定制御や比例制御

など従来の送風制御方式に比べて水質センサーを多く必要とする。その結果, 導入コストが高くなり, センサーのメンテナンス負荷も増大する。これらの課題を解決することを目的として, 本研究を実施した。

2. 課題の解決手法

2.1 OR 制御について

OR 制御では, 反応タンク流入水質を水質センサーにより測定し, これに反応タンク流入水量を乗じることで流入水に起因する酸素必要量を求める。また, 反応タンク内に設置した水質センサーによって活性汚泥の内生呼吸に起因する酸素必要量を求める。以上を合算し, 散気装置の性能曲線を用いて曝気風量を算出する。また, 反応タンク内に設置した水質センサーを用いて, 算出した曝気風量をフィードバック調節する。これまで OR 制御の対象とした反応タンクには, これら水質センサーをそれぞれ設置していた。

制御の適用対象を増やすには, 「新規処理施設への適用」と, 既に OR 制御が部分的な系列へ導入されている状況で, 「適用する水処理系列を増やす」という2つのケースが考えられる。本報では, 後者について検証した。

2.2 複数系列への制御対象拡大

OR 制御を複数の反応タンクへ適用する場合, 既に OR 制御が導入されている系列と反応タンクの構造や散気装置が同一であれば, 流入水量などの諸条件を揃えたうえで, 同じ風量で曝気をおこなうことで複数系

列へOR制御を適用することができる。しかし、反応タンクの構造や散気装置が異なる場合には、このような方法でのOR制御の適用は困難であり、これまでの手法では、新たに水質センサーを設置することが必要となっていた。この場合、水質センサーの導入コストとメンテナンスコストが問題となる。

そこで今回、OR制御の導入コスト、メンテナンスコストを縮減する手法として、フィードバック調節に既設のDO計を用いたOR制御を考案した。

3. 検証方法

3.1 検証対象

従来から一部の系列でOR制御による運転を実施してきたO浄化センターにおいて検証をおこなった。Table 1にO浄化センターの施設概要を、Table 2に反応タンクの概要を示す。

Table 1 Outline of the plant

排除方式	分流式
処理方式	標準活性汚泥法
処理能力	31,800 m ³ /日
流入水量	12,500 m ³ /日
水処理系列数	3系列
使用系列数	2系列

Table 2 Outline of the reaction tanks

系列	1・2系反応タンク	3系反応タンク
池数	1池/系列	2池/系列
形状	4槽分割(迂回流)	4槽分割(直列)
容量	3,500 m ³ /池	1,811 m ³ /池
分割比	1:1:1:1	1:1.5:1.5:2.25
エアレーション方式	散気式	機械攪拌式

O浄化センターでは流入水率が低いことから、3系列ある水処理設備のうち2系列を使用している。検証時には、2系と3系を使用していた。このうち3系を対照系として従来の方式でOR制御をおこない、2系を実験系とし、今回考案したDOによるフィードバック調節を用いたOR制御を実施した。Table 2に示したように、実験系と対照系では反応タンクの形状やエアレーション方式が異なっている。

Fig. 1にO浄化センターの反応タンク流入水量・流入水質の日間変動を、Fig. 2に反応タンク曝気風量の週間変動を例示する。流入負荷変動が大きいいため、反応タンク曝気風量は大きな日間変動、週間変動を示している。

Fig. 3に対照系と実験系のセンサーの構成、反応タンクの形状を示す。なおO浄化センターでは、放流河川への栄養塩類による影響に配慮し、硝化促進運転をおこなっている。

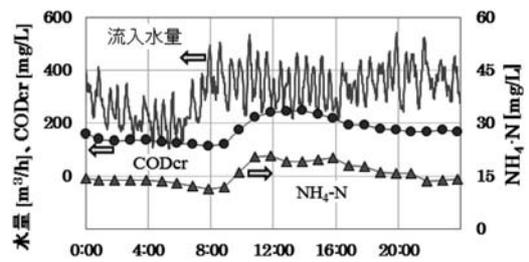


Fig. 1 Diurnal variation of influent flow rate and concentrations measured with sensors

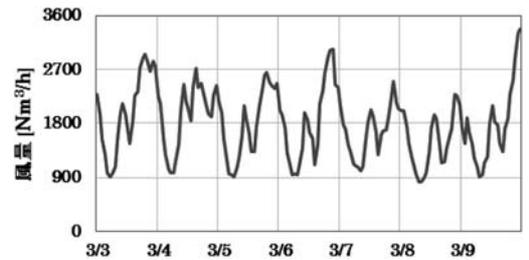


Fig. 2 Weekly variation of air volume in the trial lane

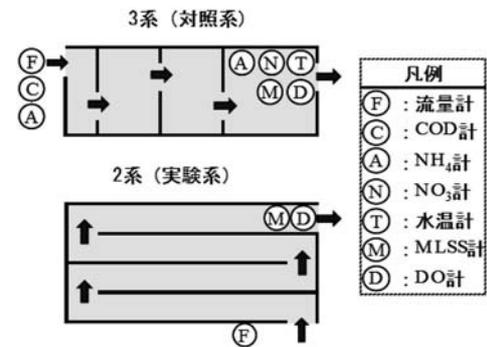


Fig. 3 shapes of lane and configurations of sensors for reference and trial lanes

3.2 実験系におけるOR制御

対照系における従来のOR制御では、CODセンサーとNH₄センサーによって測定した反応タンク流入水の水質と反応タンク流入水量から流入負荷を求め、これをもとに曝気風量を算出した。また、反応タンク末端のNH₄センサー測定値などを用いてフィードバック調節をおこなった。

一方実験系では、反応タンク末端のDOセンサー測定値を用いて曝気風量のフィードバック調節をおこなった。反応タンク流入水の水質には、対照系の測定値を用いた。Fig. 4とFig. 5はそれぞれ、対照系においておこなった従来手法のOR制御と、今回考案した実験系におけるOR制御の制御ブロック図である。

また実験系におけるDO濃度の設定値は、過去の運転データから処理水中のNH₄-N濃度とDO濃度の関係を調査し決定した。実験系において目標とする反応タンク末端のDO濃度は、処理水中のNH₄-N濃度

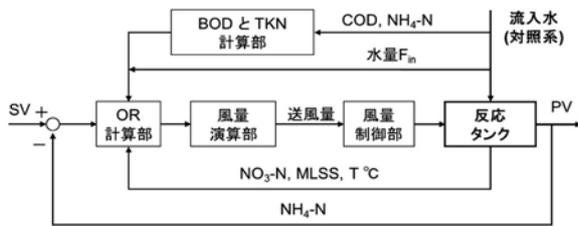


Fig. 4 Diagram of OR control for reference lane

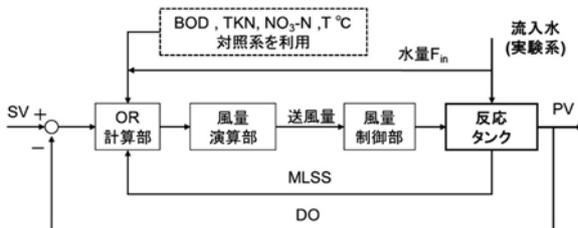


Fig. 5 Diagram of the control strategy for trial lane

が 0.5 mg/L 程度となることを目標に、時間帯ごとに 1.0~1.8 mg/L の範囲内で段階的に設定した。

3.3 検証方法

今回考案した OR 制御の性能として、水質安定化効果と省エネルギー効果について比較検討をおこなった。

水質安定化効果については、実験系で DO によるフィードバック調節を用いた OR 制御を 1 週間実施し、実験系と対照系の処理水質の比較をおこなった。実験系では 1 日 1 回、反応タンク末端の形態別窒素濃度 ($\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NO}_3\text{-N}$) を分析した (平日のみ)。また期間中に 1 回、最終沈殿池処理水の通日試験 (2 時間間隔で採水) をおこない、形態別窒素濃度を分析した。対照系の処理水質は、設置されているセンサーの測定値によって確認した。 NH_4 センサーには、WTW 社の AmmoLyt Plus 700IQ を用い、分析には Dionex 社の ICS-1100 を使用した。

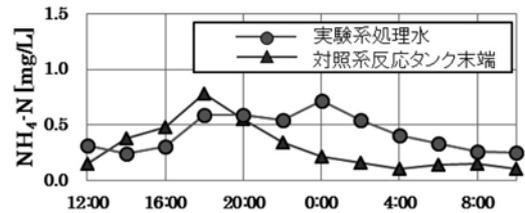
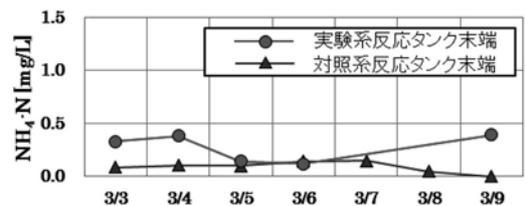
また、一般的な風量制御方法である DO 一定制御と、今回考案した制御方法のエネルギー消費量を比較した。実験系において、DO 一定制御と今回考案した制御をそれぞれ 1 週間おこなった。DO 一定制御では、反応タンク末端の目標 DO 濃度は 2.0 mg/L に設定した。この値は、下水道施設計画・設計指針と解説³⁾に記述のある「硝化反応を遅滞なく進行させるための値」から設定した。

4. 結果および考察

4.1 水質安定化効果

対象施設は硝化促進運転をおこなっているため、水質安定化効果は処理水 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度によって比較確認した。Fig. 6 に、実験系の処理水中 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (分

析値) と、対照系の反応タンク末端 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (センサー値) の、1 日の推移を示す。

Fig. 6 Diurnal $\text{NH}_4\text{-N}$ concentrations of the trial lane (analysis value) and the reference lane (sensor value) (May. 3 to 4, 2015)Fig. 7 Weekly $\text{NH}_4\text{-N}$ concentrations of the trial lane (analysis value) and the reference lane (sensor value)

測定箇所の違いからピークにずれが生じているが、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度の日最大値は実験系で 0.7 mg/L、対照系で 0.8 mg/L と、同程度であった。

続いて Fig. 7 に、1 日 1 回 10:00 に採水した実験系の反応タンク末端 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (分析値) と、同時刻における対照系の反応タンク末端 $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度 (センサー値) を示す。

1 週間を通じて、実験系の $\text{NH}_4\text{-N}$ は対照系に比べてやや高い値となっているが、最大でも 0.4 mg/L 程度であり、問題とならない水準と考えることができる。

以上の結果から、DO 計を用いたフィードバック調節により、従来の方法と同等の良好な処理水質が得られたといえる。

4.2 省エネルギー性能

省エネルギー性能を検証する指標として、送風倍率を用いた。これは今回対象とした施設が複数の反応タンクで共通の送風機、送風システムを用いているため、送風機電力量による比較が難しいと考えられたためである。Fig. 8 は比較期間中対象系列の送風倍率と、反応タンク末端の DO 濃度日平均値の推移を示す。

実験系の比較期間における送風倍率は、1 週間の平均値で、DO 一定制御が 5.9 倍、今回考案した制御方法は 5.6 倍であった。よって、反応タンク末端の DO 濃度を 2.0 mg/L に設定した DO 一定制御に比べ約 5% の削減効果が得られたことになり、省エネルギー効果を発揮できていることが確認できた。

Fig. 8 の比較期間中、実験系反応タンク末端 DO 濃度の平均値は、DO 一定制御で 1.9 mg/L、今回考案

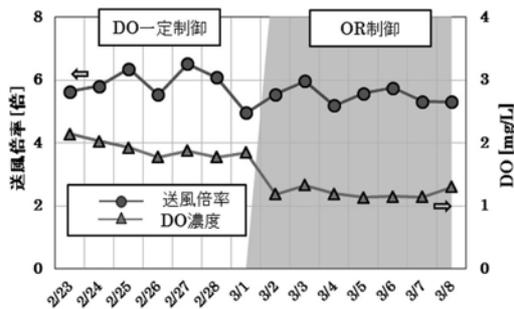


Fig. 8 Weekly data comparison in air-volume ratio between DO and OR control strategies (Left half; DO control from Feb. 23 to Mar. 2, 2015. Right half; OR control from Mar. 2 to 9, 2015.)

したOR制御では1.2 mg/Lであった。反応タンク内の酸素溶解効率、タンク内DO濃度が低ければ低いほど向上する。DO濃度が低く抑えられた結果、酸素溶解効率が向上し、省エネルギー効果が得られたと考えられる。

また Fig. 9 に、実験系をDO一定制御によって運転した際におこなった、処理水通日試験結果を示す。

Fig. 6 に示したOR制御期間と比べて低いが、終日若干のNH₄-Nが処理水中に残存している様子が見られた。よって、今回比較として用いたDO一定制御の目標値2.0 mg/Lも、決して高い値ではなかったこ

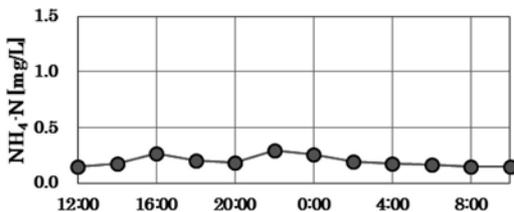


Fig. 9 Diurnal effluent NH₄-N concentration of the trial lane (analysis value) under DO control (Feb. 24 to 25, 2015)

とがわかる。

OR制御では、フィードフォワード計算を用いるため調節遅れが少なく、流入負荷変動が大きな処理場においてもDO設定値に持たせる余裕を最小限に抑えることが可能となるため、処理水質を良好に保ちながら省エネルギーを実現できたと考えられる。

5. まとめ

OR制御の導入コストとメンテナンスコストを削減するための手法として、既設のDO計を用いたフィードバック調節による運転を試行し、従来のNH₄-Nを指標としたフィードバック調節を用いたOR制御との比較をおこなった。また、DO一定制御による運転と、今回考案した方法によるOR制御とのエネルギー消費量を、送風倍率を指標として比較した。

処理水質は従来の方式と同程度であることが判った。また、送風倍率は反応タンク末端のDO濃度を2.0 mg/Lに設定したDO一定制御に比べ約5%低かった。これらのことから、フィードバック調節にDO計の測定値を用いたOR制御の有効性が実証できた。

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)
- 3) 社日本下水道協会, 下水道施設計画・設計指針と解説 後編—2009年版—