

〈研究発表〉

濁度計を用いた下水処理場の自動曝気制御

池 畑 将 樹¹⁾, 湛 記 先¹⁾

¹⁾株式会社ウォーターエージェンシー 水マネジメント本部 研究開発部
(〒162-0813 東京都新宿区東五軒町3-25 E-mail: 00081@water-agency.com)

概 要

筆者らは酸素必要量に基づく曝気装置の自動制御技術（OR制御）を開発し、複数の下水処理場で運用している。この制御方法は、流入水や反応タンク内の水質及び水量を用いて処理に必要な酸素量を算出し、曝気装置を過不足なく制御することを特長とする。本報では、オキシデーションディッチ法の下水処理場において、ワイパー洗浄機能を持つ浸漬型の濁度計を利用し、従来よりも簡易的に流入水質を測定する方法でOR制御を行った結果について報告する。

キーワード：濁度、下水、自動制御、流入負荷、エアレーション

1. はじめに

筆者らは下水処理場における自動制御システム（以下、本システム）を開発し、現在までに複数の下水処理場で運用している。本システムでは、流入水（反応タンク流入水）や反応タンク内の水質と水量を用いて酸素必要量（Oxygen Requirement、以下、OR）を算出し、曝気装置を無駄なく制御することを特長とするOR制御を採用している。開発当初は、オキシデーションディッチ（以下、OD）法の下水処理場を制御対象としてきたが、本システムの運用実績として全ての導入箇所において、水質安定化と省エネ効果が得られたことから、近年ではその適用範囲を標準活性汚泥法及びその変法にまで広めている^{1,2)}。

一方、オキシデーションディッチ法を代表とする小規模処理施設は、財政規模の小さい地方自治体等で多く採用されており、システム導入コストの削減は自動制御技術の普及を図るうえで大きな課題である。本報では濁度計を用いて、従来よりも簡易的に流入水質を測定する方法でOR制御を実施した結果について報告する。

2. 検証方法

2.1 流入水測定方法

一般に下水処理場において流入水を測定するセンサーは、夾雑物や生物膜が付着しやすく、頻繁な洗浄や校正などのメンテナンスを必要とすることが多い。このため、一部の例外的な事例を除き、多くの下水処理場では流入水に直接センサーを浸漬させて使用することはメンテナンス上、難しい状況にある。特に自動制御を行う場合は、センサー測定値の信頼性は重要となるため、本システムでは専用の水質自動測定ユニット（以下、ユニット）を用いてサンプリング方式で流

入水質を間欠測定してきた。ユニットを用いることで複数個所の水質を測定できるほか、水道水等を用いた自動洗浄により長期的にメンテナンスが不要になるなどのメリットがある。しかし、今回は導入コストを縮減する目的でユニットは使用せず、ワイパー洗浄機能を持つ濁度計を使用した。下水分野においては合流式下水道越流水（CSO）の監視等に濁度計を用いることがあるが³⁾、今回は曝気制御への応用を前提としてOD法の流入分配槽に直接検出器を浸漬させ、自動除塵機通過後の流入水を常時測定した。なお、使用した濁度計は透過光方式により0～3000度（ホルマジン度）の濁度が測定でき、ワイパーによる自動洗浄が10分に1回行われる仕様となっている。

2.2 OR制御概要

Fig. 1にOR制御の概要を示す。従来のシステムではユニットにより測定した流入SSを指標とし、BODやケルダール窒素を相関から推定してきたが、本報におけるOR制御では、濁度を用いてこれらの流入負荷を推定した。濁度及び放流量などから算出した流入負荷の処理に必要な酸素量と、MLSS（手分析値）及び水温（実績値）などから算出した内生呼吸に必要な酸素量の合計でORを算出する。OR制御では、算出したORに基づいて曝気装置の間欠制御を行う。このとき指標となるものがリアルタイムで計算したORと、曝気装置回転数などから算出した供給酸素量との差分を積分したOR積算値である。OR積算値が一定量蓄積すると、曝気装置の運転を開始し、酸素供給がなされる。酸素供給によりOR積算値がゼロになると曝気装置を停止する。これを繰り返すことで低負荷時間帯は停止時間が長くなり運転時間が短くなる一方で、高負荷時間帯は停止時間が短くなり運転時間が長くなる（**Fig. 2**）。また、制御上は曝気装置運転中のOD槽内

の溶存酸素濃度 (DO) に基づいて、OR 計算のパラメータをフィードバック調整する機能も有しているが、こちらの機能については説明を割愛する。

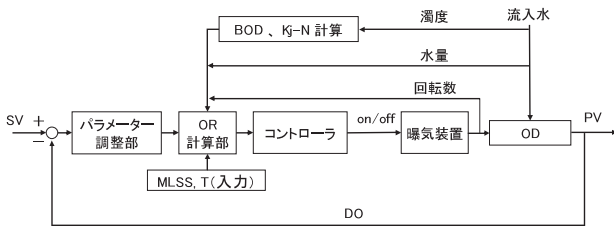


Fig. 1: Flow diagram scheme of OR control strategy

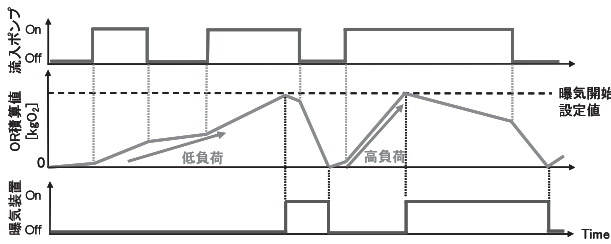


Fig. 2: Outline of intermittent OR control

2.3 検証施設概要

検証を行った長野県長和町の長門水処理センター (以下、当水処理センター) は、日最大汚水量 3,290 m³/日の OD 法下水処理場で、2 系列の馬蹄型 OD に縦軸型曝気装置が系列あたり 2 台設置されている。平成 24 年度の平均放流量は 1,528 m³/日であり、流入率はおよそ 50% である。

Table 1 に本システムの制御対象機器を示す。曝気装置、返送汚泥ポンプ、余剰汚泥ポンプ、脱水機など、処理場内の主要機器は概ね自動制御の対象としているが、本報では曝気装置の制御結果について報告する。

Table 1: List of equipment for automatic control

機器名称	台数
曝気装置	4
返送汚泥ポンプ	4
余剰汚泥ポンプ	2
濃縮汚泥移送ポンプ	2
濃縮汚泥供給ポンプ	2
高分子凝集剤供給ポンプ	2
無機凝集剤供給ポンプ	1
多重円板外胴型スクリーブレス脱水機	1

3. 検証結果

3.1 流入濁度測定結果

Photo 1 に浸漬後約 1ヶ月が経過した濁度計検出器の状態を示す。検出器本体には生物膜の付着が目立つが、透過光の検出部には目立った汚れの付着はなかった。ワイパー洗浄機能の有効性を確認するため、3ヶ月間の濁度センサー日平均値の推移を Fig. 3 に示す。

光学式のセンサーにおいて検出部に夾雑物や生物膜が付着した場合、測定値が大きくなることが予想される。検証期間中は検出器を約 1ヶ月に 1 回の頻度で引き上げて洗浄を行ったが、洗浄前後で目立った測定値の変化はなく、日平均値 150~200 程度で推移した。この範囲での濁度変化は、日常的な負荷変動を表していると推測され、センサーにより安定的な測定が行われた。

Fig. 4 には濁度の 1 週間分の測定例を示す。センサー値は汚水ポンプの起動-停止により測定値にばらつきが見られたため、平準化する目的で 20 分間の移動平均値を採用した。ここで見られる流入濁度は、毎日類似したパターンで変化しており、生活排水主体の下水で見られる典型的な負荷変動を示していると考えられる。時折見られる短期的な高いピークは、ポンプ井の底引き (フラッシング) によるものであり、短時間の水質変化はユニットを用いた流入 SS の間欠測定よりも正確に捉えることができたと言える。

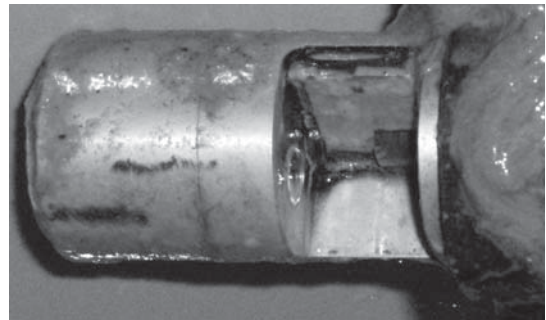


Photo 1: The detector (one month after installation)

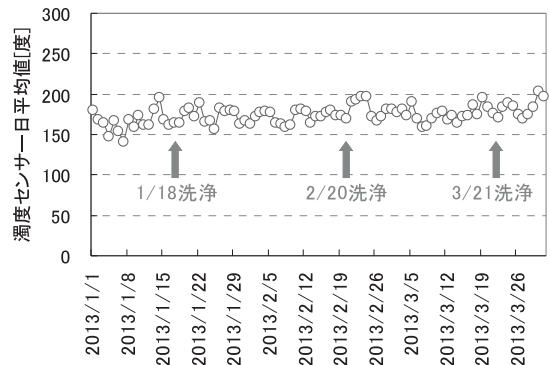


Fig. 3: Three-month turbidity (24 hour moving average)

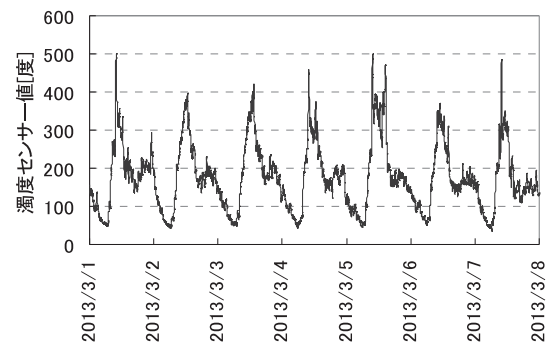


Fig. 4: One-week turbidity (20min· moving average)

3.2 通日試験結果

OR 制御の実施に先立ち、濁度と BOD 及び濁度とケルダール窒素との相関性を確認する目的で通日試験を実施した。ここで、流入水に含まれる $\text{NO}_2\text{-N}$ 及び $\text{NO}_3\text{-N}$ は微量であるため便宜上 T-N を分析し、ケルダール窒素の代替として利用した。

Fig. 5 に当水処理センターで実施した通日試験時の濁度センサー値と、ATU-BOD, T-N の経時変化を示す。濁度と ATU-BOD は正午前後にピークを迎え、早朝にかけて徐々に低下した。T-N は全体的には濁度と類似した傾向が見られたが、ピークがやや前倒しになっており、完全には一致しなかった。これは流入水に含まれる溶解性の $\text{NH}_4\text{-N}$ が濁度とやや異なる動きをするためであると考えられるが、滞留時間の長い OD 法では大きな問題にならないと考えられた。なお、より正確に流入水のケルダール窒素を把握する目的で、ユニット内に $\text{NH}_4\text{-N}$ センサーを設置した事例もあるが、本報では簡易的に負荷を把握することを目的としているため採用しなかった。

Fig. 6 に相関図を示す。それぞれ正の相関が確認された。このことから、濁度をモニタリングすることで、流入 SS と同様に OR の算出に必要な BOD やケルダール窒素をリアルタイムで推定することが可能であると確認できた。

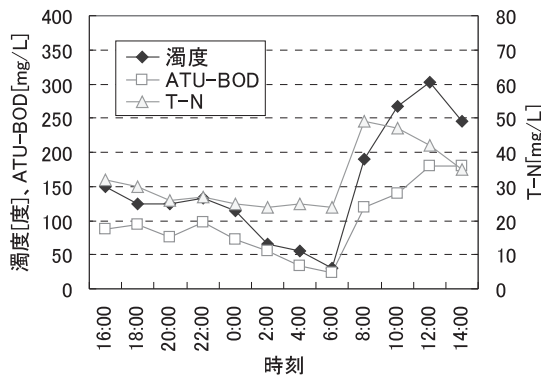


Fig.5: Time course of turbidity, BOD, and T-N

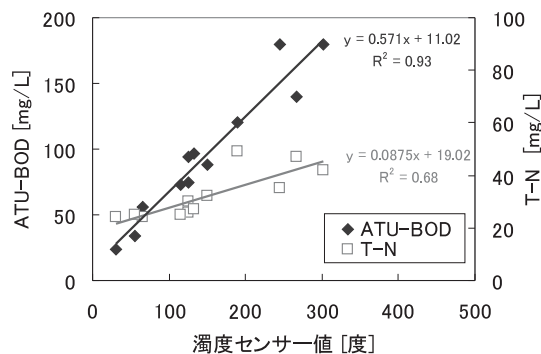


Fig.6: Correlation of turbidity, BOD and T-N

3.3 OR 制御による運転時間と省エネ効果

Fig. 7 に OR 制御開始前後の曝気装置運転時間の推移を示す。従来は、タイマーを用いて曝気装置を 1 日

あたり高速で 14 時間、低速で 6 時間、合計 20 時間運転していた。高速運転時の曝気装置回転数は 32~37 rpm 程度であり、DO 濃度等を参考に不定期にオペレーターが調整した。このような運転方法は OD 法においては一般的であるが、日常的な負荷変動に対応できるように、やや余裕を持った設定を行うことが慣例となっていた。

一方、OR 制御開始後は曝気装置回転数を直前の値 (高速 35 rpm) で固定し、酸素供給能力の低い低速運転は行わない設定とした。OR 制御により高速運転は、1 日あたり 12 時間程度まで短縮され、処理水量の変化、流入濁度の変化など日々の負荷変動に応じて自動的に運転時間が調整された。さらに、途中で高速運転時の曝気装置回転数を 38 rpm に変更したが、酸素供給能力が上がったことに自動的に追従し、高速運転は 1 日あたり 9 時間程度まで短縮された。その後、水温上昇に伴い内生呼吸に必要な酸素量が増加したため、曝気時間は徐々に増加した。

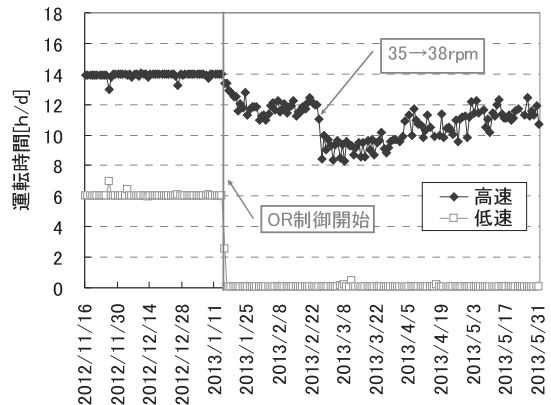


Fig.7: Operation time of aeration rotors

省エネ効果を検証するため、OR 制御実施期間 (1/16~6/30) の水処理設備消費電力量を前年度の運転実績と比較し、Fig. 8 に示す。日平均値は従来運転で 661 kWh/日、OR 制御で 584 kWh/日となり、およそ 1 割削減することができたことになる。

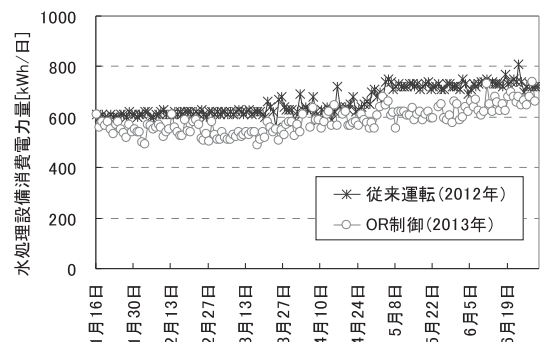


Fig.8: Time course power consumption (water treatment section)

3.4 OR 制御による処理水質

Fig. 9 に過去 1 年間の処理水 SS, BOD, COD_{Mn} , 透

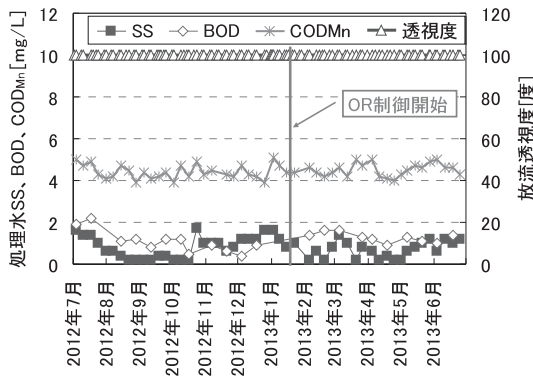


Fig.9: SS, BOD, COD, and Transparency of treated water

視度の推移を示す。当水処理センターではOR制御実施前も良好な処理水質が得られていた。OR制御開始後は約半年分しか経過していないため、季節的な変動に対する評価は難しいが、OR制御実施後も目立った変化は見られず、継続的に良好な処理水質が得られた。

Fig. 10 に処理水各態窒素の推移を示す。当水処理センターは、放流先河川の下流に水道水源があるため、NH₄-N に対して厳しい規制値（日平均 1.3 mg/L、最大 2.0 mg/L）が設定されている。そのため従来は、曝気不足によって NH₄-N が高くないよう、やや余裕を持った曝気装置の運転が行われており、その結果、脱窒反応が進みにくくなる冬季を中心に NO₃-N が残りやすい傾向が見られた。このような管理自体は、リスク回避の観点から必要であったと考えられる。

一方、OR制御実施後は硝化・脱窒を考慮してORを算出し、酸素供給量が自動的に調整されたことから、冬季にもかかわらず NO₃-N の低下が見られ、その後も概ね 1 mg/L 程度で推移した。この間、NH₄-N はほとんど検出されておらず、OR制御により曝気装置の運転時間が短縮されたことによる悪影響は見られない。日々の負荷変動に対してはOR制御により自動的に追従することで、リスクを回避しながら、継続的に過不足のない曝気装置の運転が行われたと言える。

なお、Table 2 には主な処理水質平均値をOR制御

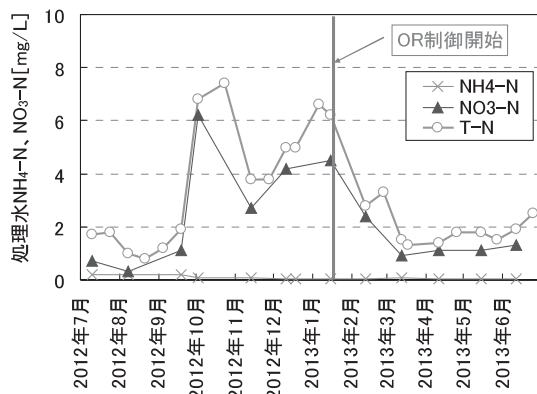


Fig.10: NH₄-N, NO₃-N, and T-N of treated water

Table 2: Water quality (average value) before and after OR control

項目	SS	BOD	COD	T-N	NH ₄ -N	NO ₃ -N	透視度
OR制御実施前(2012.7~2013.1)	0.8	1.1	4.4	3.8	0.11	2.8	100
OR制御実施後(2013.1~2013.6)	0.7	1.3	4.5	2.0	0.05	1.4	100

実施前後に分けて示す。年間を通して安定した処理水質が得られるかどうかは、今後継続的に処理水質を確認して検証していく予定である。

4. 結 論

濁度計を用いて流入水質を簡易的に測定してOR制御を実施したところ、以下の結論が得られた。

- (1) 濁度計はワイパー洗浄機能が有効に働き、1ヶ月に1回程度の引き上げ洗浄だけで安定的に流入水質を測定することができた。
- (2) 通日試験における濁度センサー値と分析値との相関により、濁度を用いてBODや窒素濃度を推定することが可能であることが確認された。
- (3) OR制御により効率的な運転が行われた結果、曝気装置の運転時間が短縮され、水処理設備の消費電力量を前年度比でおよそ1割削減することができた。
- (4) 処理水質は非常に良好な値が得られた。特に窒素除去率の改善が見られ、OR制御により過不足のない運転が行われたことが示唆された。

なお、本システムでは濁度計の検出器に対して、夾雑物等の付着があった場合に、センサーの異常を検知して過去の実績値を自動的に参照するバックアップ機能を有しているが、今後は機能の有効性の検証などを行っていく予定である。

謝 辞

本研究を行うにあたり、ご協力を頂きました長和町建設水道課の皆様へ深く感謝の意を表します。

参 考 文 献

- 1) 湛 記先, 池畑将樹, 小泉栄一, 黛 将志: OD 法実処理場におけるOR(酸素必要量)制御効果の検証, 第49回下水道研究発表会講演集, pp.892-894 (2012)
- 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) 伊賀益司, 保岡敦子, 村上愛美: 現場設置型濁度計によるCSO実態調査への適応性及び改善策の効果判定について, 第46回下水道研究発表会講演集, pp.392-394 (2009)