

〈研究発表〉

流入負荷のオンライン測定値に基づいた OD 法エアレーション制御

湛 記先¹⁾, 池畑 将樹¹⁾, 川口 幸男²⁾, 糸川 浩紀²⁾, 村上孝雄²⁾

日本ヘルス工業株式会社 水処理制御開発室 (〒162-0813 東京都新宿区東五軒町 3-25, E-mail: jx-zhan@hels.co.jp)¹⁾
 日本下水道事業団 技術開発部 (〒335-0037 埼玉県戸田市下笹目 5141, E-mail: Kawaguchiy@jswa.go.jp)²⁾

概要

OD 法処理場の運転管理において、消費電力の削減などのコストダウンを図りながら、安定した処理水質を確保することがこれからの大きな課題である。そのために、酸素必要量に基づいたエアレーション制御技術(OR 制御)を開発した。OR 制御とは、流入水質(BOD 及び Kj-N)・水量と反応槽 MLSS・水温などを自動測定し、リアルタイムで算出した酸素必要量に基づいて酸素供給装置(ローター等)を自動操作するものである。このうち、BOD 及び Kj-N は相関関係に基づいて SS の測定値から算出する。

本制御技術の効果について、活性汚泥モデルを用いたシミュレーションにより検証すると共に、実下水処理場において実証実験を実施した。数値シミュレーションにより、他の制御方法と比較して本制御方法の処理水質安定化効果が示された。また、実下水処理場における実証実験の結果、極めて良好な処理水質が得られた。

キーワード: OD 法, 自動制御, BOD 除去, 窒素除去, 流入負荷

1. まえがき

下水処理場では、安定した水質の確保に加え維持管理コストのさらなる縮減が求められている。我々は、オキシデーションディッチ(OD)法におけるこれらの諸要求を満たすツールとして、曝気制御方法(間欠 OR 制御)を基本とする処理施設の自動制御システムの開発を行ってきた。群馬県東吾妻町にある吾妻浄化センターにおいて、このシステムを用いた自動運転の効果について一年間の検証を行った。本報では制御方法の概要と活性汚泥モデル(ASM)を用いたシミュレーション検証及び自動制御を実施した結果について報告する。

2. 酸素必要量制御(OR 制御)方法

2.1 OR 制御の概要

OD 法処理場においては、従来の代表的なエアレーション制御技術として DO 制御がある。しかしながら、DO センサーの信頼性に問題がある場合や、反応槽内に DO 分布が存在し、DO 測定場所の選定と制御設定が困難であるなどの理由で、多くの処理場で DO 制御は機能していない。その結果、ほとんどの処理場では、熟練した技術者が設定したパターン運転に頼らざるをえない状況にある。その場合、流入負荷の変動に対応することが困難である。この状況を解消するため、我々は流入負荷の簡易的なオンライン測定値に基づいた酸素必要量(OR)制御方法を開発した。

OR 制御とは、流入水質・水量・反応槽水温・MLSS などのリアルタイムデータから反応槽内で必要な酸素量

¹⁾(OR)を算出し、曝気量を制御することを特徴とする方法である。また、反応槽内の pH 測定値などを用いて、制御パラメータの自動調整も行う。制御システムの構成を Fig.1 に示す。ここで、流入負荷を簡易的に計測するために、Fig.2 に示すような相関関係を利用し、SS の自動測定値から BOD とケルダール窒素(Kj-N)を推定する。

間欠曝気運転の場合は、OR の積算値を制御指標とする²⁾。この積算値が設定値以上になると曝気を開始し、

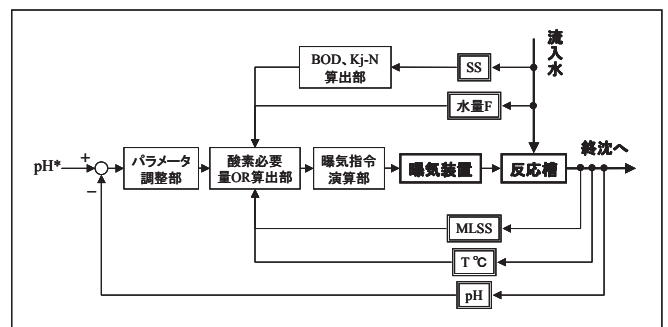


Fig. 1: Diagram of the OR control

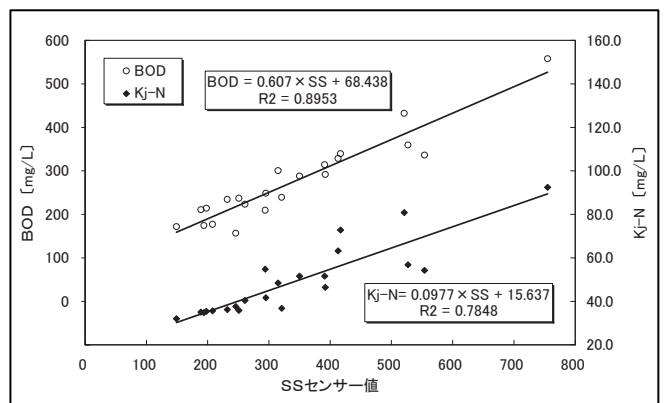


Fig. 2: Example of influent SS vs. BOD and Kj-N

供給酸素量が OR に達した時点で曝気を停止する。この操作を自動的に繰り返すことで流入負荷と反応槽内の状況変化に応じた間欠曝気運転を行う。

2.2 短期・長期 OR 概念の導入

活性汚泥モデル (ASM) を参考として、OR 計算に以下の概念とパラメータを導入した。

(1) 短期 OR (OR_{in_S})

流入負荷のうち、直ちに酸素を必要とする部分 (例: 易分解性基質、NH₄-N 等)。

(2) 長期 OR (OR_{in_L})

流入負荷のうち、長時間かけて徐々に酸素を消費する部分 (例: 難分解性基質とそれに含まれる窒素等)。

(3) 導入パラメータ

短期 OR の割合: α_S

長期 OR の割合: α_L ($\alpha_L = 1 - \alpha_S$)

短期 OR の分解時間: t_S

長期 OR の分解時間: t_L

この概念によれば、ある瞬間の OR は、内生呼吸に必要な酸素量に加え、 t_L 時間前から残存する OR_{in_L} と t_S 時間前から残存する OR_{in_S} の和として計算される。なお、実際の制御では、OR_{in_S} にリアルタイム値を採用し、計算を簡略化した。

2.3 内生呼吸分の酸素必要量に対する水温の影響の補正

内生呼吸に必要な酸素量 (OR_E) の計算に、水温の影響を補正した。内生呼吸速度係数は、一般的に $0.05 \sim 0.15 \text{ kg-O}_2 / (\text{kg-MLVSS} \times \text{d})$ ¹⁾ とされるが、範囲が大きいため利用しにくい。そこで、ASM³⁾ を参考に、任意の水温 T における内生呼吸速度係数 B(T) を次のように定義する。

$$B(T) = B(20^\circ\text{C}) \times \exp(\theta_T \times (T - 20^\circ\text{C})) \quad (1)$$

ここで、 $\theta_T = \ln(B(T_1) / B(T_2)) / (T_1 - T_2)$ で計算される。好気条件下の従属栄養微生物の比内生呼吸速度は 20°C の値 (0.2) が 10°C の値 (0.1) の 2 倍であることから、 $\theta_T = 0.06932$ となり、20°C の値を基準に次式で表される。

$$B(T) = B(20^\circ\text{C}) \times \exp(0.06932 \times (T - 20^\circ\text{C})) \quad (2)$$

なお、基準温度は 20°C に限らず、各処理場で利用しやすい任意の温度を採用しても良いと考えられる。

3. ASM を用いたシミュレーション

3.1 シミュレーション条件

自動制御の有効性を検証するツールとして、活性汚泥モデル (ASM2d) を用いたシミュレーションを行った。シミュレータには HEMMIS 社の WEST を用いた。

プロセスモデルは、OD 法における 1800m³ の反応槽を模擬する 9 槽の槽列形式とし、処理水質を検討した。流入水量は実処理場における流入水量を参考に時間変動を設けた。流入水質は実処理場で行った通日試験実施時のデータ (Table 1) を用い、有機物の分画は STOWA 分画法⁴⁾ を用いた。

Table 1: Influent water quality

採水時刻	SS	BOD	Kj-N	NH4-N	T-COD _{cr}	S-COD _{cr}	究極BOD	S _i	S _a	S _f	X _s	X _i
0:00	145	275	26.1	16.7	416.2	162.8	293	14.4	19.7	128.7	144.2	109.2
2:00	103	164	25.6	18.2	319.8	128.2	207	14.4	19.7	94.1	92.8	98.8
4:00	116	184	26.5	18.2	336.0	115.7	221	14.4	19.7	81.6	119.3	101.1
6:00	123	175	34.2	24.2	382.0	122.2	261	14.4	19.7	88.1	153.4	106.4
8:00	182	176	53	37.1	407.2	128.2	284	14.4	19.7	94.1	170.4	108.6
10:00	179	260	33.9	20.5	525.2	212.3	398	14.4	19.7	178.2	199.8	113.1
12:00	147	185	23.8	12.9	377.5	146.1	257	14.4	19.7	112.0	125.5	105.9
14:00	155	177	33.7	21.2	321.6	86.5	208	14.4	19.7	52.4	136.1	99.0
16:00	174	377	39.2	24.2	679.3	324.4	559	14.4	19.7	290.3	248.5	106.4
18:00	163	253	39.5	27.3	500.9	203.9	374	14.4	19.7	169.8	184.1	112.9
20:00	175	229	34.6	21.2	469.4	157.4	343	14.4	19.7	123.3	199.8	112.1
22:00	185	411	30	17.4	703.6	354.8	585	14.4	19.7	320.7	244.7	104.1

通日試験時の処理水 S-COD_{cr} (0.1 μ m) は 15.2 ~ 16.6mg/L と時間変動がほとんど無かったことから、一定値 (16mg/L) として S_i 計算に利用した。流入水の S_a については、分析を行った検体数が少なかったことと S_f と比べて小さいことから、平均値 (19.7mg/L) を用いた。

シミュレーションのパラメータはほとんどデフォルト値を用いたが、OD 法の現実に合わせる目的で X_{AUT} の K_{O₂} (0.5 → 0.1) と K_{NH₄} (1.0 → 0.2)、脱窒関係の K_{N₂} (0.5 → 0.2) をそれぞれ変更した。

3.2 検討したシナリオ

(1) 条件1: 流入水量変化時のOR制御

曝気は間欠 OR 制御とし、平日は 1500m³、土日は 1800m³ の流入がある条件で 3 週間分の処理水質を検証した。曝気強度については、土日のローターの運転時間と停止時間が概ね 1:1 となるように設定した。汚泥引抜き制御は、処理水質に対する影響が低いと予想されたことから、返送量を一定 (2000m³/日) とし、MLSS については 2000mg/L で一定となるよう余剰汚泥量を設定した。

(2) 条件2: OR制御と均等曝気の比較

OR 制御は、負荷の時間変動を考慮して曝気を行うため、1 日のなかで曝気量に時間的な分布が生じる。

比較対象として、日流入水量に比例して曝気時間を設定するものの、時間的な分布を無くして等間隔で曝気を行う制御方式 (以下均等曝気と呼ぶ) を検討した。

流入水量を 1800m³ で固定し、間欠 OR 制御を 5 日間行った後、均等曝気に変更して処理水質の比較を行った。曝気時間はどちらも 12h/d であった。返送及び余剰の引抜き条件は (1) と同様とした。

(3) 条件3: 水質変化時のOR制御と均等曝気の比較

(2) の条件から、流入水の濃度を 10% ずつ増減させた場合の OR 制御と均等曝気を比較した。

3.2 シミュレーション結果

(1) 条件 1

条件 1 でのシミュレーション結果を Fig.3 に示す。処理水中の NH₄-N、NO₃-N は共に低いレベルで推移している。土日に負荷が上昇することで、若干 NO₃-N の上昇が見られるが、NH₄-N はほぼ変化がない。流入水量の変化に対して、OR 制御が有効であることがわかる。

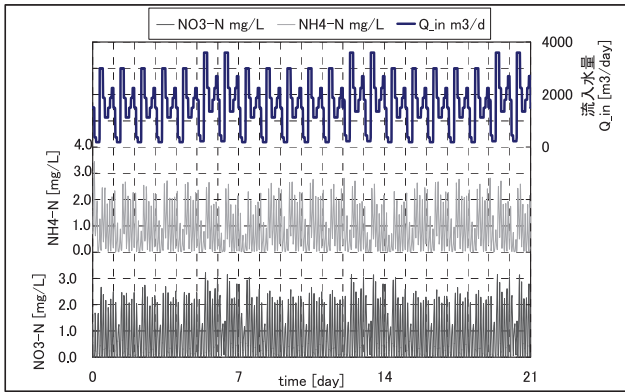


Fig. 3: Results of OR control when daily water quantity changes

(2) 条件 2

条件 2 でのシミュレーション結果を Fig.4 に示す。均等曝気では、NH₄-N の時間変動が激しく、特に負荷の高い朝の時間帯に急激に上昇する。一方、OR 制御ではこの時間帯に曝気を増やすことで、1 日の曝気時間は同じでも NH₄-N の上昇が抑えられている。負荷の時間変動に OR 制御が有効であることが示された。

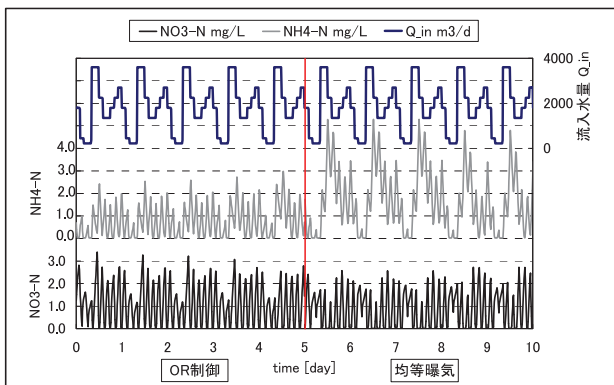


Fig. 4: Comparison of OR control to even intermittent aeration under the same condition except the aeration method

(3) 条件 3

条件 3 でのシミュレーション結果を Fig.5 に示す。均等曝気では、負荷濃度増加時に NH₄-N が上昇し、濃度低下時に NO₃-N が上昇する傾向が見られる。一方、OR 制御では、安定した処理水質が得られている。これらのことから、負荷濃度の日間変動に対しても OR 制御が有効であることが示された。

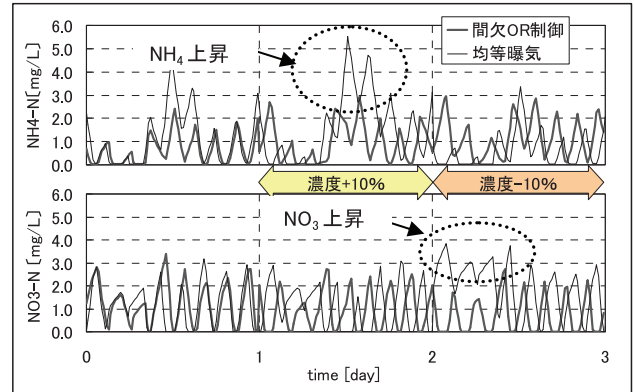


Fig. 5: Comparison of OR control to even intermittent aeration when daily influent concentration varies by $\pm 10\%$

4. OD 法処理場における自動運転の実例

4.1 処理場概要

群馬県東吾妻町にある吾妻浄化センターは、縦軸型曝気ローター2台を有する馬蹄型 OD 処理場であり、現在 OR 制御による自動制御を行っている。当浄化センターの処理能力(日最大汚水量)は 1790m³/d であるのに対し、現在の処理水量は、徐々に増加しているものの 500m³/d 程度である(Fig.6)。調査期間は平成 19 年 3 月から平成 20 年 2 月までの 1 年間とし、処理水質を調査した。

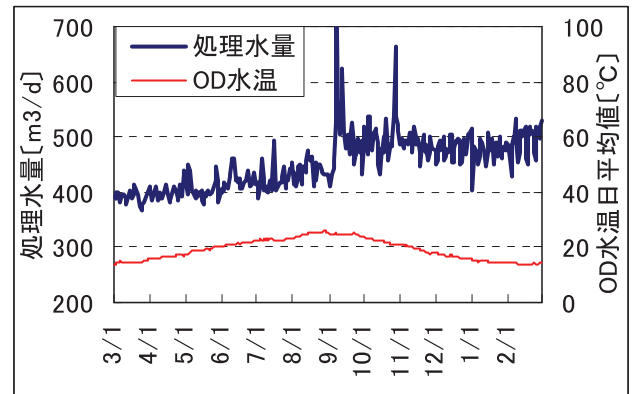


Fig. 6: Annual change of water quantity and temperature of the ditch

4.2 自動制御の結果

調査期間中のエアレーションについては、間欠 OR 制御を実施した。1 日中の OR 積算値の挙動と、それに基づく曝気ローターの制御結果を Fig.7 例示する。

また、窒素及び BOD の処理状況を Fig.8 に示す。ここで、流入水の水質は、1 回/2 週の 24 時間流量比例コンポジットサンプル、処理水(終沈出口より採水)は、1 回/週のスポットサンプルの分析結果である。平均除去率は窒素 96.4%、BOD 99.2%であり、いずれも調査期間を通して安定した処理を行うことができた。なお、同期間の SS 及びリンの除去率は、SS 99.3%、リン 97.2%であ

り、処理目標を十分満足するものであるとともに、処理水透視度についても、ほぼ全期間で100度以上と良好であった。

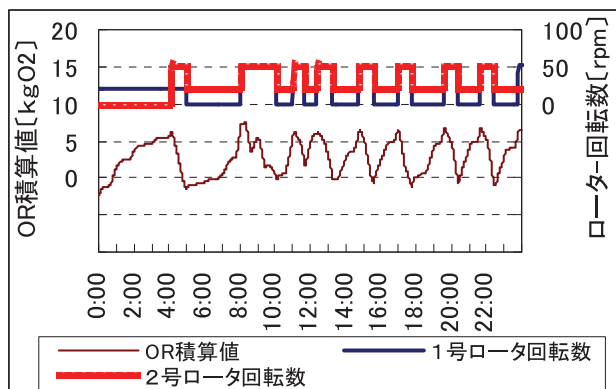


Fig. 7: Example of Daily Performance of OR Control

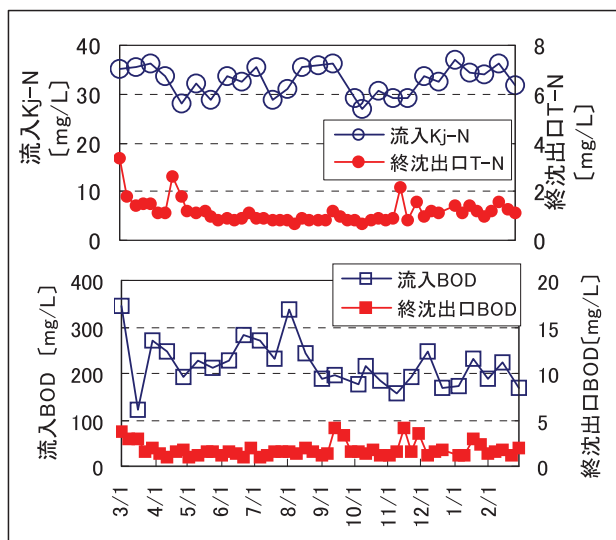


Fig. 8: Annual result of nitrogen and BOD removal

5. まとめ

酸素必要量に基づくエアレーションの自動制御技術を開発し、シミュレーションによる検証と、実処理場での実証を行い、以下の知見が得られた。

- 流入水量が変化する場合におけるOR制御の有効性が確認できた。
- 均等曝気と比較して、負荷の時間変動及び日間変動に対するOR制御の優位性が確認できた。
- 1年間の実処理場での実証では、自動制御により非常に良好な処理水質が得られた。

謝辞

本研究を行うにあたり、ご協力を頂きました東吾妻町上下水道課の皆様へ深く感謝の意を表します。

[参考文献]

- 1) 社団法人日本下水道協会：下水道施設計画・設計指針と解説、後編、2001年版、p.43 (2001)
- 2) 湛記先、池畑将樹、松本雅文、寺澤江美、青木忠、伊藤茂：OD法における間欠酸素必要量(OR)制御、第41回下水道研究発表会講演集、pp882-884 (2004)
- 3) 味埜俊(監訳)：活性汚泥モデル、環境新聞社、pp164-166 (2005)
- 4) Roelleveld, P.J., van Loosdrecht, M.C.M. : Experiences with Guidelines for Wastewater Characterization in the Netherlands, Wat.Sci.Tech., vol.45, No.6, pp77-87 (2002)