

## 〈特集〉

# 処理水質の安定化と省エネルギーを両立させる自動制御技術

## 湛 記 先

(株)ウォーターエージェンシー

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

### 概 要

水再清ロボットは、下水処理における送風量を中心に、水処理から汚泥処理設備まで、処理場全体を対象とした自動制御システムである。本技術はこれまでに複数の特許を取得している。また、本技術は国内の下水処理場において三十数箇所の導入実績があり、放流水質の安定化や電力使用量の削減を達成している。今後は海外においても、この技術の活用を図っていくと考えている。

キーワード：廃水処理、曝気制御、省エネルギー、水質制御、ICT

原稿受付 2023.3.29

EICA: 28(1) 29-31

## 1. 背 景

下水道事業においては、カーボンニュートラル社会に向けて、早急に対策を講ずることは課題である。一方、下水処理の運転管理においては、省エネルギーと良好な処理水質はトレードオフ関係にある。そのため、安定な処理水質を確保しながら省エネルギーを追求することは重要かつ難しいテーマとなっている。また、下水道業界では職員数の減少や熟練技術者の退職に伴う技術者不足の問題が顕在化している。このような問題に対処するために、ICTを駆使した自動制御技術は最も有効な手段の一つである。

当社は独自の曝気制御技術、酸素必要量 (Oxygen Requirement, 以下、OR) のリアルタイム計算に基づく曝気制御方法、OR制御技術を開発し、日本下水道事業団と実施した共同研究により、その有効性を確認した<sup>1,2)</sup>。その後は自動制御の範囲を曝気制御から処理場全体へ徐々に拡大している。

このように、「汚れた水を再び清らかにするシステム」という理念のもと、当社は処理水質の安定化と省エネルギーを両立させる自動制御技術 (以下、「水再清ロボット」という) を提案した。以下は、OR制御を中心に本技術を紹介する。

## 2. 技 術 概 要

OR制御技術のシステム構成例は Fig. 1 に示し、曝気制御の技術概要と特徴を以下に説明する。

### 2.1 概要

本制御技術は、リアルタイムで負荷変動へ対応する

ため、制御に必要な水質センサーを設置し、反応タンク入口の  $\text{NH}_4\text{-N}$ 、濁度、反応槽出口  $\text{NH}_4\text{-N}$ ・ $\text{NO}_3\text{-N}$ などを計測する。反応タンク入口の濁度と  $\text{NH}_4\text{-N}$  センサー値から反応タンク流入水の BOD と K<sub>j</sub>-N (ケルダール窒素) 濃度をそれぞれ推定する。

そして、推定した BOD と K<sub>j</sub>-N 濃度、反応タンク流入水量、MLSS 濃度、水温等から、反応タンクに必要な酸素量 (OR) を算出する。その OR 計算値から散気装置の性能曲線、または現場運転実績データに基づいて、必要な送風量を求め、曝気量のフィードフォワード制御 (以下、FF 制御) を行う。

また、反応タンク出口の水質 ( $\text{NH}_4\text{-N}$ 、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 、DO 等) に基づき、OR 制御パラメータに対して定期的なフィードバック調整 (以下、FB 制御) を自動で行う。

### 2.2 特徴

水再清ロボットは技術面と実用面から見て、以下の特徴がある。

- (1) リアルタイムでの計測が難しい BOD を濁度から、K<sub>j</sub>-N を  $\text{NH}_4\text{-N}$  から推定することによって、設計用の酸素必要量の概念をリアルタイム制御へと適用可能にした。
- (2) 微生物の内生呼吸に必要な酸素量を計算することで、MLSS や水温等の変動の影響を反映させた。これにより、季節変動に伴う水温の変化と、返送汚泥量と余剰汚泥量の変化により生じた MLSS の変動にスムーズに対応できるようになった。
- (3) OR 制御は活性汚泥処理に必要な酸素量に影響を与える主要な要素をすべて考慮した FF-FB 制御であるため、反応槽末端の DO や窒素濃度に

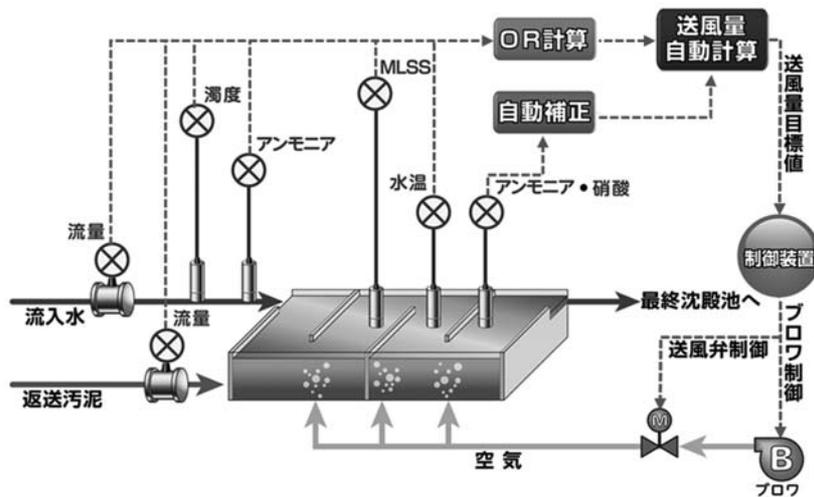


Fig. 1 System Configuration for OR control of an AO Process

に基づいた単純なFB制御より応答性が速く、流入水量や $\text{NH}_4\text{-N}$ 濃度などに基づいた単純なFF制御より安定性に優れている。

- (4) 下水処理運転管理のノウハウを活かし、センサーの異常に対する自動対応機能や、制御パラメータの単純化など、実用性を重視した多くの工夫を凝らしている。

### 3. 導入効果

水再清ロボットは2023年3月現在、OD法に14件、標準活性汚泥法に20件、合計34箇所の下水処理場に導入しており、様々な処理プロセス（硝化促進から部分硝化、硝化抑制まで異なる硝化反応要求水準、また嫌気・好気法や、擬似嫌気・好気法、多段ステップ流入硝化・脱窒法、 $\text{A}_2\text{O}$ 法等異なる処理方式）と多種多様な曝気設備（各種の機械曝気、異なる散気装置）に対応し、今後も増え続けると予想される。以下に具体的な導入効果を示す。

#### 3.1 水質安定化効果

これまでに本技術を導入したOD法の処理場において、ほぼ全ての水質項目は改善しており、特に全窒素については効果が大きかった<sup>3)</sup>。

標準活性汚泥法においても、導入実績データを整理した結果、ほぼ全処理場で従来処理と同等若しくはそれ以上の良好な水質が得られた。

また、Fig. 2に示すように、OR制御では処理水質 $\text{NH}_4\text{-N}$  ( $\text{NO}_3\text{-N}$ でも同様な実績あり)の設定水準に合わせた曝気制御が可能である。これにより、異なる水質要求水準に対応可能であることが示されている。例えば、硝化促進運転の処理場には処理水のアンモニア性窒素を一定レベル以下に、硝化抑制運転の処理場には硝酸性窒素濃度を一定以下に、それぞれ自由に制御できる。このように、OR制御技術は異なる水質要求水準に自由に対応できるため、海産物養殖などの地域においては季節別に異なる水質要求水準に対応可能であることが示されている。

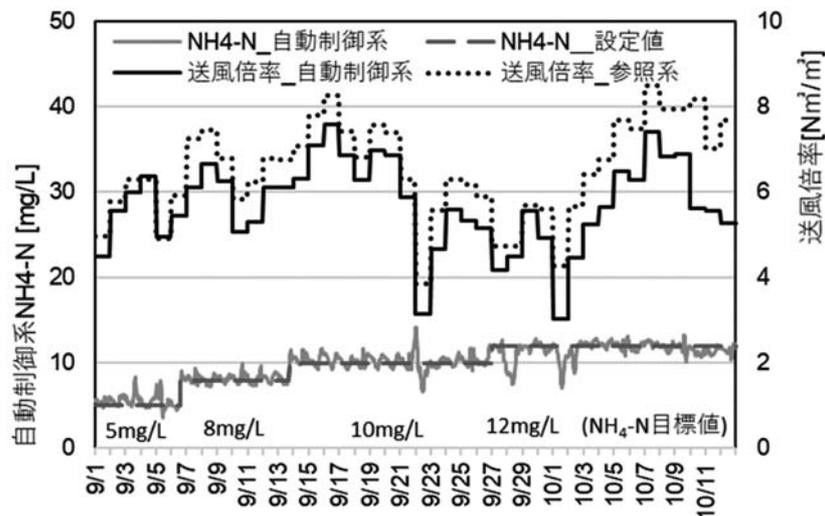


Fig. 2 Controlled  $\text{NH}_4\text{-N}$  Concentration and Air Volume

### 3.2 省エネルギー効果

水再清口ロボットは曝気系統の省エネルギーを図るため、トータル送風量の最小化や、各系列への合理分配、送風弁開度の最大化、並びに最適な送風機の号機組合せと台数制御など、様々な要素を取入れたシステムである<sup>4)</sup>。

OD法においては、本技術を導入した処理場実績では、各処理場の全体受電量ベースで平均12.9%の電力量削減ができた。一方、標準活性汚泥法においては、硝化促進と硝化抑制など処理水質の要求水準とシステム導入前の運転状況によって、省エネルギー効果が異なるが、導入実績では3分の2の処理場において省エネルギー効果が得られている。典型例としては、15.5%の送風倍率の削減を報告している<sup>5)</sup>。

### 3.3 水処理過程の見える化と管理の効率化効果

近年、下水処理場の運転管理においてはDXを求めている。水再清口ロボットは、水質センサーの活用により、反応タンクの入口、出口、放流水まで一連の処理過程の水質を常時に監視することができるため、水質管理者は常に水処理プロセス全体状況を数値で掌握できる。また、曝気設備などの運転状況も同時に監視できるため、運転操作の妥当性を判断しやすく、異常現象が起こったときにも迅速かつ的確な対応をしやすくなるメリットがある。

一方、本技術は、ICT(情報、通信技術)と自動制御の活用により、下水処理場の運転管理の効率化と品質の向上を図ることができている。例えば、かつて常駐管理の小規模処理場へシステムを導入してから、遠方監視と巡回管理に変更した事例がある。このことは水再清口ロボットの導入により無人時でも安定的な水処理を行うことができているから実現した。

大規模処理場においては、水質を手分析で行い、分析結果を受けてから運転を調整するまで一連の作業を、センサーの活用と自動制御によって代替するため、水質分析や運転調整などでの工数を削減できるメリットが生じる。このように、水再清口ロボット等の技術の導入は、下水処理場の運転管理を根本から変えることになりつつある。

## 4. ま と め

水再清口ロボットは開発されて以来、日本国内に多数の処理場に導入しており、水質制御と省エネルギー効果を発揮している。同時に、ICTを活用することにより、処理場の運転管理に対しても、従来の経験と勘による運転からデータに基づく運転へと変革(DX)をもたらした。持続可能な環境対策が求められている時代においては、このような水質確保しながら省エネルギーを実現できる技術はまさにSDGsを実現するために有効な技術である。

当社の下水処理自動制御技術は、日本での導入実績が多数あり、日本だけでなく世界各国でも大幅な水質改善と省エネルギーを実現できる可能性を秘めていると確信している。一方、先進国から途上国への技術支援においては、従来のハード技術(施設と設備)重視から、運転管理のソフト技術を含めたハードとソフト一体化の支援が重要となる。そのために、日本発の自動運転技術が活躍できるのではないかと考えている。

地球規模でカーボンニュートラルとより健全な水環境に向けた取り組みが喫緊の課題となっている現在、私たちの使命は、有効な技術を海外に拡大し、さまざまなコミュニティが直面する水処理の課題に持続可能なソリューションを提供することである。このような技術をさまざまな地域に導入することで、水資源の水質を向上させながら、温室効果ガスの排出を削減し、エネルギーを節約することができる。それを実現するためには、多くの人と協力していく必要がある。

### 参 考 文 献

- 1) 湛 記先, 池畑将樹, 川口幸男, 糸川浩紀, 村上孝雄: 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, 学会誌「EICA」, Vol. 13, No. 2/3, pp. 97-100 (2008)
- 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) 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)
- 4) 池畑将樹, 湛 記先: 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, 学会誌「EICA」, Vol. 25, No. 2/3, pp. 18-21 (2020)
- 5) 池畑将樹, 湛 記先: OR制御によるプロワ省エネ運転, 学会誌「EICA」, Vol. 21, No. 2/3, pp. 122-126 (2016)