

〈研究発表〉

単槽型硝化脱窒プロセスにおける ICT・AI 制御の 風量制御性能と送風電力削減効果

中 大 輔¹⁾, 高 橋 宏 幸¹⁾, 橋 本 敏 一²⁾
松 井 穰³⁾, 藤 井 都 弥 子⁴⁾

¹⁾メタウォーター(株) 事業戦略本部 R&D センター ソリューション技術開発部 制御技術開発グループ
(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 JR 神田万世橋ビル E-mail: naka-daisuke@metawater.co.jp)

²⁾日本下水道事業団 技術戦略部
(〒113-0034 東京都文京区湯島2-31-27 湯島台ビル)

³⁾町田市 下水道部 水再生センター
(〒194-0045 東京都町田市南成瀬8-1-1 成瀬クリーンセンター)

⁴⁾国土交通省国土技術政策総合研究所 下水道研究部 下水処理研究室
(〒305-0804 茨城県つくば市旭1番地)

概 要

令和元年度下水道革新的技術実証事業に「単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術」が採択された。その要素技術である統合演算制御システムは、ICT・AI を用いて負荷変動に対応してリアルタイムに反応タンク中間の NO_x-N 濃度と末端の NH₄-N 濃度を制御目標値に追従させる為の必要風量を演算・制御する。更に、風量演算結果から配管圧損を計算し、送風機最適吐出圧力設定値を導出する吐出圧力演算機能を有している。本稿では、風量制御の性能と吐出圧力制御による送風電力削減効果を報告する。

キーワード：ICT, AI (人工知能), 風量制御, 圧力制御, 送風電力

原稿受付 2020.6.26

EICA: 25(2・3) 40-43

1. はじめに

「単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術」(以下、「本技術」と記載)は、令和元年度下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)に採択され、町田市、日本下水道事業団、メタウォーターの三者により東京都町田市成瀬クリーンセンターにて実規模実証研究を実施した。

本技術で用いる3つの要素技術のうち全体を統括管理する統合演算制御システムは、負荷変動に対応しつつ、①反応タンク中間の NO_x-N 濃度と末端の NH₄-N 濃度を制御目標値に追従させる為の必要風量をリアルタイムに演算・制御する風量制御機能と、②風量演算結果からリアルタイムに配管圧損を計算し送風機最適吐出圧力設定値を演算・制御する吐出圧力可変制御機能を有する。本稿では、実証結果として風量制

御の性能と吐出圧力可変制御による送風電力削減効果を報告する。

2. 統合演算制御システムの概要

本技術は、Fig.1で示す通り、システム全体を統合

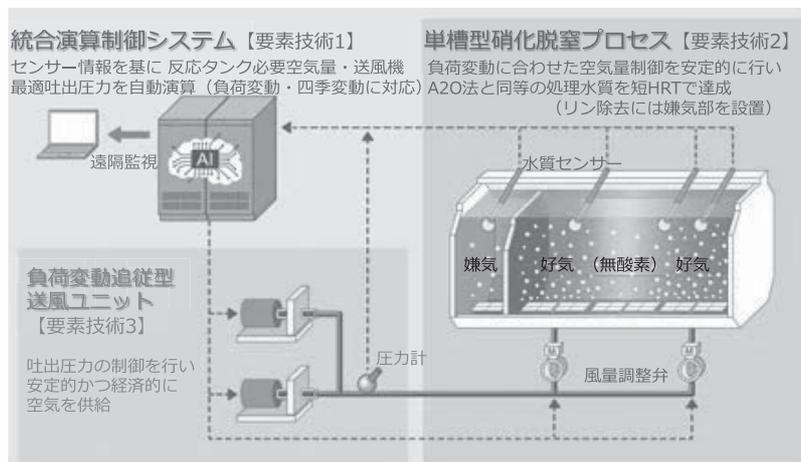


Fig.1 Conceptual diagram of demonstration technology

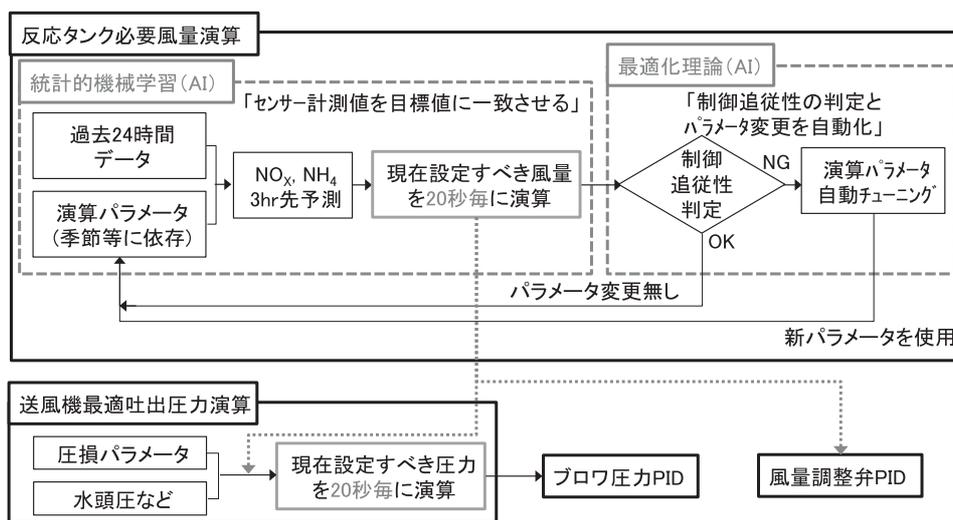


Fig. 2 Flow diagram of Integral Computation and Control System

Table 1 Outline of the demonstration plant

設備	概要
反応タンク	幅 7.1 m × 長 67.5 m × 有効水深 6.0 m (有効容積 2,875 m ³) × 4 池 2018 年度平均流入水量 25,914 m ³ /日/4 池 (HRT=10.9 hr)
水質センサー・風量制御	反応タンク前半風量制御でタンク中間 NOx 計 (UV 式) の計測値を目標設定値に維持 反応タンク後半風量制御でタンク末端 NH ₄ 計 (隔膜式) の計測値を目標設定値に維持
風量調節弁	電油操作式バタフライ弁 8 台 (各池前半・後半 × 4 池), 風量 PID 制御
散気装置	低圧損型メンブレンパネル式, 散気水深 5.0 m, 酸素移動効率 26%
送風機	磁気浮上式インバータブロー × 2 台 (3号: 50 m ³ /分, 5号: 100 m ³ /分) 運転台数自動制御盤
吐出圧力制御	「吐出圧力一定制御」, 「吐出圧力可変制御」から選択

的に管理し運転効率を最大化する『統合演算制御システム』, 高度処理施設と同等の放流水質を達成する『単槽型硝化脱窒プロセス』, 最適かつ効率的に必要な空気を供給する『負荷変動追従型送風ユニット』の3つの要素技術で構成される。このうち, 『単槽型硝化脱窒プロセス』の機構および性能については別報「単槽型硝化脱窒プロセスの ICT・AI 制御による高度処理技術における水処理性能」で述べた通りである¹⁾。

『統合演算制御システム』は, Fig. 2 に示す通り, ICT・AI 技術を用い, 反応タンク必要風量および送風機最適吐出圧力を自動演算する。具体的には, 統計的機械学習 (AI 技術) を用い, ICT により収集した水質センサー計測値や風量計測値等のプラントデータの直近のデータから, 各水質センサーの計測箇所における水質の将来予測演算を経て, 現在設定すべき風量 (必要風量) を 20 秒毎に演算する²⁾。同時に, その風量演算結果を用いて最適吐出圧力演算を実施し, 設定すべき吐出圧力を 20 秒毎に演算する³⁾。なお, 本シ

ステムは最適化理論 (AI 技術) による演算パラメータ自動チューニング機能を搭載しており, 季節変動等に自動対応する。

3. 実証施設の概要

本実証研究は, 町田市成瀬クリーンセンターの反応タンク 1 系列 4 池 (1-1~1-4) にて実施した。1 系反応タンクおよび送風機設備の概要を Table 1 に示す。反応タンクの風量制御は全 8 箇所を独立制御した。すなわち, 各池の中間 NOx-N 計測値を目標設定値に維持する為の前半必要風量と, 末端 NH₄-N 計測値を目標設定値に維持する為の後半必要風量を, 『統合演算制御システム』でリアルタイムに演算し, 風量調節弁 8 台へ出力した。

4. 実証方法・結果

4.1 風量制御性能の評価

反応タンク 1-1 前半～1-4 後半の 8 箇所の風量制御について、令和 2 年 1 月 13 日(月) 10:00～2 月 10 日(月) 10:00 の取得データを用いて制御性能評価を実施した。制御性能評価に際して、予め「適合率」を「20 秒毎に取得される評価対象期間の水質センサー計測値点数のうち、制御目標値±0.5 mg/L 以内の点数の割合(%)」と定義し、定量評価した。

評価対象の全 8 箇所のうち、代表的なものとして、1-1 前半の評価データを **Fig. 3** に示す。1-1 前半では安定的に目標値に追従できていることがわかる。そして風量制御により NO_x-N 濃度が目標設定値である「4.0 mg/L の±0.5 mg/L」以内に収まっていた時間帯は期間全体の 98% だった (適合率 98%)。また

1-1 前半では風量上下限に到達する時間帯が皆無だった。

1-1 前半から 1-4 後半の全 8 箇所の評価結果を **Table 2** にまとめた。反応タンク前半の風量制御は 1-1～1-4 の全てで適合率 95% 以上を達成した。一方、後半の風量制御については適合率 78～93% となった。後半の適合率が低かった原因として、風量の上下限に到達する時間帯が長く、その期間は目標値への追従性が損なわれていたことが考えられた。計測濃度を分析した結果、前半風量制御における平均は全て目標濃度設定値通り 4.0 mg/L だった。後半風量制御においては、目標設定値 2.0 mg/L に対し計測平均値は 2.0～2.3 mg/L だったが、これは風量不足 (風量上限到達) による NH₄-N 増加の結果と考えられる。

1/13(月) 10:00～2/10(月)10:00 反応タンク 1-1 前半風量制御 除外期間 0% 適合率 98%

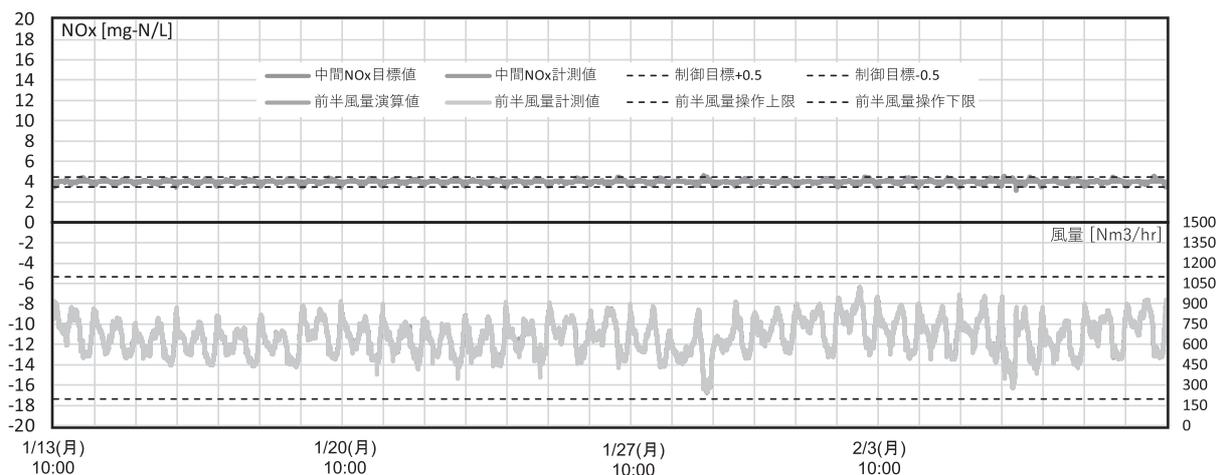


Fig. 3 Air volume control data of the first half of aeration tank 1-1

Table 2 Evaluation result on air volume control

	適合率 (制御目標値±0.5 mg/L 以内)	風量の上下限到達の影響を 受けた時間帯の割合	計測濃度平均値 [mg/L]
1-1 前半	98%	0%	4.0 (設定 4.0)
1-1 後半	78%	38%	2.3 (設定 2.0)
1-2 前半	99%	0%	4.0 (設定 4.0)
1-2 後半	93%	8%	2.0 (設定 2.0)
1-3 前半	96%	7%	4.0 (設定 4.0)
1-3 後半	85%	23%	2.1 (設定 2.0)
1-4 前半	95%	2%	4.0 (設定 4.0)
1-4 後半	83%	34%	2.3 (設定 2.0)

Table 3 Evaluation result on blower electricity reduction performance

吐出 圧力制御	吐出圧力 [kPa]	風量 [Nm ³ /hr]	送風電力量 [kWh/hr]	送風電力原単位 [kWh/Nm ³]	該当データ 時間数 [hr]
圧力一定	68.6	4,949	151	0.0310	312
圧力可変	59.5 (▲ 9.1)	5,123	131	0.0256 (▲ 17%)	312

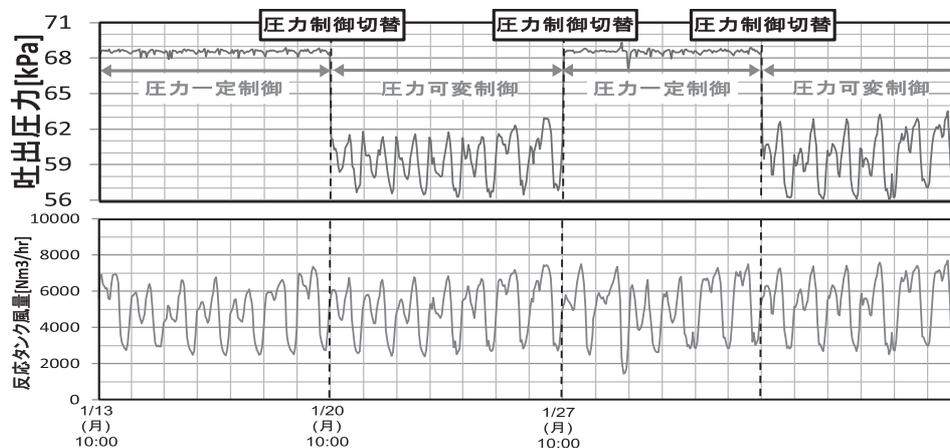


Fig. 4 Blower operation pressure and aeration tank air quantity

4.2 吐出圧力可変制御による送風電力削減効果の評価

令和2年1月13日(月)10:00～2月10日(月)10:00において、吐出圧力制御モード切替え(吐出圧力一定制御と吐出圧力可変制御の切替え)を1週間毎に実施し、双方の制御モードでの送風量1Nm³当たりの送風電力量(送風電力原単位)を比較することで、送風電力削減効果の評価した。当該期間中の送風機吐出圧力、反応タンク風量、送風電力量の解析結果をTable 3に、反応タンク風量と送風機吐出圧力の経時データをFig. 4に示す。送風機の設計圧力である68.6kPaとした吐出圧力一定制御に比して、吐出圧力可変制御において平均吐出圧力が9.1kPa低減され、送風電力原単位が17%低減された(送風電力削減効果17%)。

5. 結論

「単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術」の実証研究にて、統合演算制御システム

は、負荷変動に対応して反応タンク中間のNO_x-N濃度と末端のNH₄-N濃度を制御目標値の近傍に維持する風量制御性能を有すること、また風量演算結果を活用した吐出圧力演算機能による吐出圧力可変制御が設計圧力一定制御に対する17%の送風電力削減効果を示した。

参考文献

- 1) 初山祥太郎, 中村高士, 鈴木重浩, 橋本敏一, 松井穰, 藤井都弥子: 単槽型硝化脱窒プロセスのICT・AI制御による高度処理技術における水処理性能, 第32回環境システム計測制御学会研究発表会
- 2) 葛西孝司, 曾根啓一, 鈴木重浩, 高橋宏幸, 黒住光浩, 坂根良平: 好気タンク内の脱窒を利用した新たな高度処理技術(同時硝化脱窒処理)の開発, 下水道協会誌 Vol. 52, No. 635, pp. 114-121 (2015)
- 3) 中大輔, 高橋宏幸, 橋本章生, 森健一郎: 反応槽要求風量に基づく送風機運転圧力可変制御による送風電力削減効果の検証, 第56回下水道研究発表会講演集, pp. 1220-1222 (2019)