

## 〈研究発表〉

# 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 複数池一括制御の検討

中 大 輔<sup>1)</sup>, 高 橋 宏 幸<sup>2)</sup>, 糸 川 浩 紀<sup>3)</sup>, 松 井 穰<sup>4)</sup>

<sup>1)</sup> メタウォーター(株) 事業戦略本部 R&D センター 先端技術開発部 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)

<sup>2)</sup> メタウォーター(株) プロダクトセンター システム開発部  
(〒 191-0065 東京都日野市旭が丘 3-1-30)

<sup>3)</sup> 日本下水道事業団 技術開発室  
(〒 113-0034 東京都文京区湯島 2-31-27)

<sup>4)</sup> 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)

## 概 要

筆者らは、「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」について実規模での長期間の実証試験を行っており、既報にて、要素技術の一つである統合演算制御システムが、反応タンク中間の NO<sub>x</sub>-N 濃度と末端の NH<sub>4</sub>-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を示した。本稿では、本技術における水質センサーの設置や維持管理に要する費用の縮減を目的として、反応タンク 1 池を代表池として他の池の曝気風量を一括して制御する「複数池一括制御」を試行し風量制御性能等を検証した結果を報告する。

キーワード：風量制御，制御性能，水質センサー，維持管理，複数池一括制御

原稿受付 2022.7.7

EICA: 27(2・3) 30-34

## 1. はじめに

筆者らは、高度処理の普及における課題解決を目的とする「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」(本技術)について、令和元年度から令和 2 年度にかけて、国土交通省の下水道革新的技術実証事業(B-DASH プロジェクト)において実規模実証施設を設置し、1 年 3 ヶ月間の通年での実証試験を実施した。本試験において、従来の高度処理法の 1 つである嫌気無酸素好気法(A2O 法)に比べて、短い水理学的滞留時間(HRT)で同等の処理水質が四季を通じて得られることを確認した<sup>1)</sup>。また、同実証期間において、本技術の要素技術の 1 つである「統合演算制御システム」が、流入汚水量の時間変動に対応して反応タンク中間の亜硝酸性及び硝酸性窒素(NO<sub>x</sub>-N)濃度と末端のアンモニア性窒素(NH<sub>4</sub>-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を確認した<sup>2)</sup>。更に、令和 3 年度以降も当該実証施設の連続運転を継続し、各種検討を実施している。

本稿では、本技術における水質センサー(NO<sub>x</sub>-N 計, NH<sub>4</sub>-N 計)の設置や維持管理に要する費用の縮減を目的として、後述する「複数池一括制御」を実規模で試行し風量制御性能等を検証した結果を報告する。

特に、本検討にて用いた風量設定値の補正方法の実用性と反応タンクの運転状況(MLSS 濃度と流入水量)に関する考察を報告する。

## 2. 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概要<sup>3)</sup>

本技術の概念図を Fig. 1 に示す。本技術は、ICT・AI を活用した新たな高度処理(窒素・リン除去)技術で、A2O 法に比べて、短い HRT で同等の処理水質を達成するとともに、省エネルギーと維持管理性の向上を図るものである。本技術を構成する 3 つの要素技術のうち、要素技術 1 (統合演算制御システム) と 2 (単槽型硝化脱窒プロセス) について、反応タンクの風量制御の観点から以下に説明する。

「統合演算制御システム」は、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から、後述する 2 箇所の水質センサーの計測箇所における 3 時間先の水質を予測し、その予測結果に基づいて、現在設定すべき曝気風量(要求風量)を 20 秒毎に演算する。

要素技術 2『単槽型硝化脱窒プロセス』では、隔壁を有しない単一槽型の反応タンクにおいて、嫌気-前半好気-無酸素-後半好気の 4 つのゾーンを設定し、

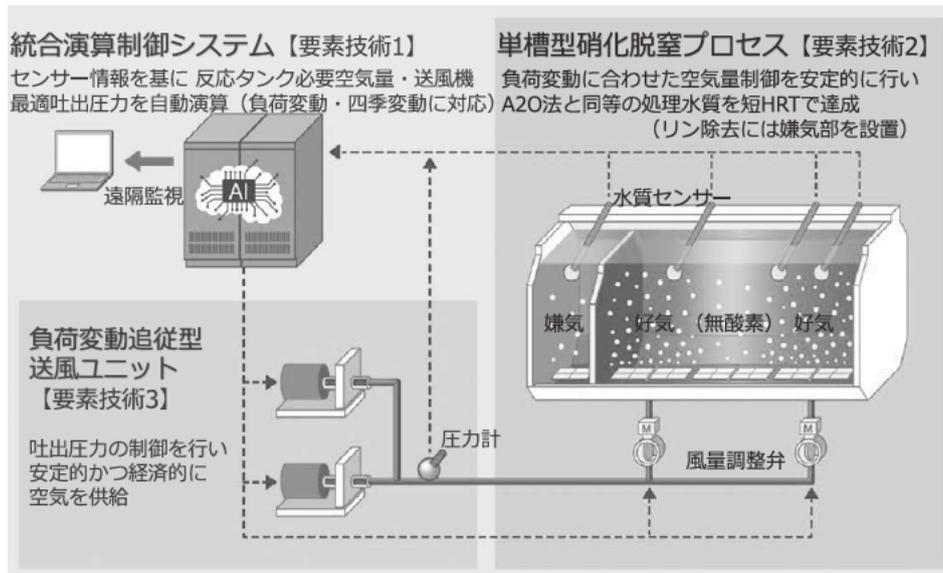


Fig. 1 Outline of the demonstrated technology

水質センサーとして前半好気ゾーン末端に  $\text{NO}_x\text{-N}$  計、後半好気ゾーン末端付近に  $\text{NH}_4\text{-N}$  計をそれぞれ設置する。前述の「統合演算制御システム」を用いて風量制御を実施し、当該箇所の  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度と  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を目標値に維持することで、最適な好気ゾーン及び無酸素ゾーンの条件を形成し、硝化・脱窒による窒素除去を行う。

### 3. 複数池一括制御の実施方法

本技術において「複数池一括制御」を実施することで、代表池 ( $\text{NO}_x\text{-N}$  計と  $\text{NH}_4\text{-N}$  計の計測値をもとに「統合演算制御システム」で算出した要求風量を風量設定値に使用する池) と展開池 (代表池の要求風量をそのまま、或いは補正したうえで風量設定値に使用

する池) で同等の  $\text{NO}_x\text{-N}$  濃度と  $\text{NH}_4\text{-N}$  濃度を安定的に得ることができれば、展開池における  $\text{NO}_x\text{-N}$  計と  $\text{NH}_4\text{-N}$  計の設置が不要となり、これらの設置や維持管理にかかる費用が削減できる (Fig. 2)。

本検討では、代表池の要求風量から展開槽の風量設定値を算出するための補正の方法として、「乗数補正」と「水量補正」の片方または両方を試行した。「乗数補正」では、代表池～展開池間での酸素移動効率や活性汚泥の生物活性などの差異を想定し、代表池の要求風量に一定の乗数を掛けることで展開池の風量設定値を算定した。一方、「水量補正」では、要求風量が流入水量に比例すると仮定し、代表池～展開池間での流入水量の比率を代表池の要求風量に乗じることで展開池の風量設定値を算定した。展開池の風量設定値の計算式を、「乗数補正」と「水量補正」のそれぞれで以

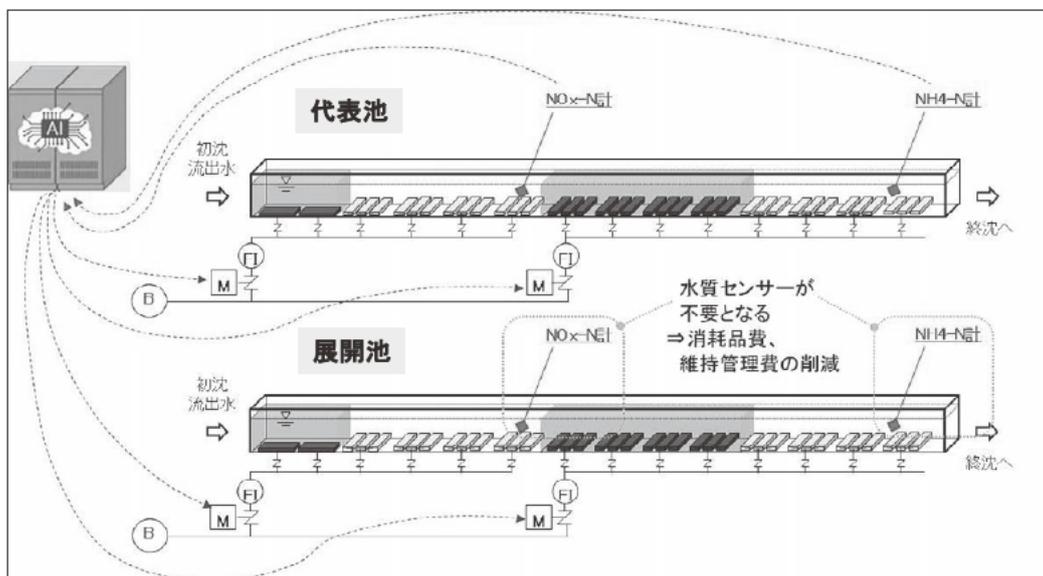


Fig. 2 Image of the multiple-train control

下に示す。

$$\text{乗数補正：風量設定値}_{\text{展開池}} = \text{要求風量}_{\text{代表池}} \times \text{乗数}$$

$$\text{水量補正：風量設定値}_{\text{展開池}} = \text{要求風量}_{\text{代表池}} \times \frac{\text{流入水量}_{\text{展開池}}}{\text{流入水量}_{\text{代表池}}}$$

## 4. 実証施設および検討方法

### 4.1 実証施設

本検討を実施した実証施設は、東京都町田市成瀬クリーンセンターの反応タンク3系列12池のうち、1系反応タンク（1-1系～1-4系の4池）である。同反応タンクの設備概要を **Table 1** に示す。

**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 2875 m <sup>3</sup> ) × 4 池
水質センサー・風量制御	NO <sub>x</sub> -N 計：1 台/池 反応タンク前半風量制御：前半好気ゾーン末端 NO <sub>x</sub> -N 計 (UV 式) の計測値を目標設定値に維持 NH <sub>4</sub> -N 計：1 台/池 反応タンク後半風量制御：後半好気ゾーン末端付近 NH <sub>4</sub> -N 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 2 台/池 (各池の前半と後半に 1 台ずつ)、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%
流入水量計	レーザーフロー流速流量計：1 台/池

### 4.2 検証方法

#### (1) 複数池一括制御機能の追加

1系反応タンク4池のうち、1-1系と1-2系の片方を代表池、もう片方を展開池として自動制御できるように、前述の「複数池一括制御」の機能を監視制御コントローラに追加した。

#### (2) 複数池一括制御の運転条件および制御性能の検証指標

各池での個別の制御により連続運転してきた実証施設において、令和3年10月～令和4年2月に「複数池一括制御」を実施した。まず、令和3年10～11月の期間にて、「乗数補正」あるいは「水量補正」単独での運転を日中のみ実施し（日中運転）、各補正方法における制御性能を確認した。次いで、両補正方法のうち制御性能が優れると判断された方法にて、令和3年12月～令和4年2月の約70日間、通日での運転を実施した（通日運転）。

日中運転は、原則として各日の9～16時に行い、それ以外の時間帯は1-1系と1-2系の各池で「統合演算制御システム」の演算結果による風量制御を実施した。運転条件を **Table 2** の条件1～4に示す。各補

正方法単独による制御性能を確認するため、条件1～2を「乗数補正」単独、条件3～4を「水量補正」単独で運転とした。また、各補正方法について、代表池を1-1系（条件1, 3）と1-2系（条件2, 4）で切替えた場合の制御性能の差異も、あわせて確認した。なお、乗数補正で使用した乗数値（0.94, 0.84, 1.07, 1.20）は、1-1系と1-2系の両方で「統合演算制御システム」の演算結果を用いた風量制御を実施した時間帯の風量データを用いて、両系の風量の比率から算出した。

通日運転では、原則として年末年始を除く期間で「複数池一括制御」の連続運転を継続した。運転条件は、日中運転で制御性能の優れた「乗数補正」単独の条件で実施した（**Table 2** の条件5）。

**Table 2** Operating conditions of the multiple-train control

条件	実施時間帯	代表池 → 展開池	水量補正	前半乗数	後半乗数
1	日中運転	1-1系 → 1-2系	なし	0.94	0.84
2		1-2系 → 1-1系		1.07	1.20
3		1-1系 → 1-2系	あり	1	1
4		1-2系 → 1-1系		1	1
5	通日運転	1-1系 → 1-2系	なし	0.94	0.84

「複数池一括制御」では、展開池の制御対象水質を代表池と一致させることを目標とするため、その制御性能を検証するための指標として、「代表池～展開池間での水質センサーの計測値（NO<sub>x</sub>-N濃度、NH<sub>4</sub>-N濃度）の差の絶対値」を用いた。計算式を以下に示す。1分毎の取得データにて毎分の差を算出し、各条件での実施期間における最大値・平均値を算出した。

前半 NO<sub>x</sub>-N の差の絶対値 =

$$\left| NO_{x-N} \text{展開池} - NO_{x-N} \text{代表池} \right|$$

後半 NH<sub>4</sub>-N の差の絶対値 =

$$\left| NH_{4-N} \text{展開池} - NH_{4-N} \text{代表池} \right|$$

#### (3) 代表池～展開池間での MLSS 濃度および流入水量の比較

代表池～展開池間での MLSS 濃度と流入水量の差異は、各々、「複数池一括制御」における「乗数補正」に用いる補正乗数と、「水量補正」で算出される展開池の風量設定値に影響すると考えられるため、それらの確認をあわせて行った。

代表池と展開池の MLSS 濃度の計測は、ポータブル MLSS 計（飯島電子工業：IM-100、赤外線パルス透過方式）を用いて、令和3年12月～2月の平日9:30, 11:30, 13:30, 15:30に実施した。両池の同時刻の MLSS 計測値を比較した。

代表池と展開池の流入水量は、各池に設置されている流量計で取得し、各池の同時刻の1時間毎の平均



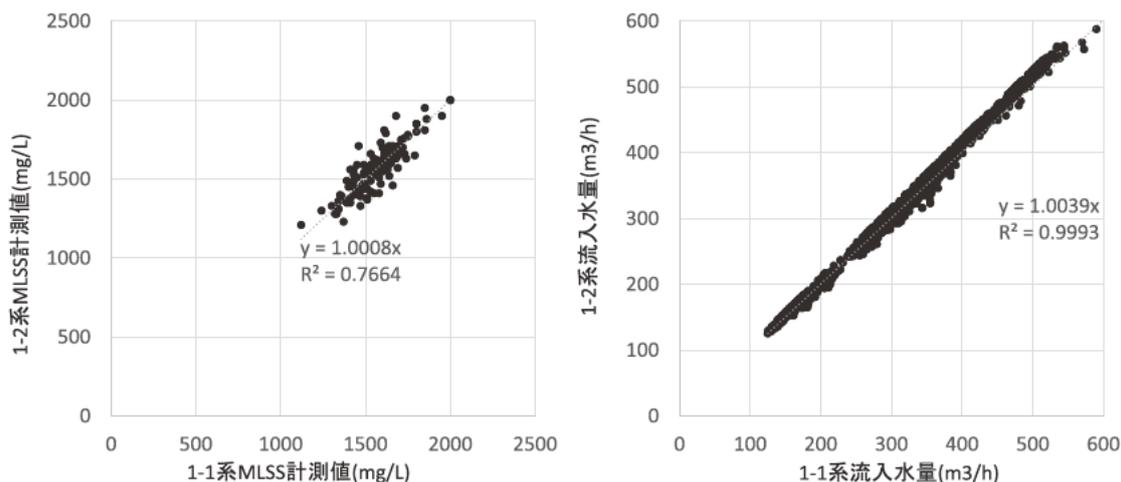


Fig. 5 Comparison of MLSS concentration and inflow rate between two trains

前半 NO<sub>x</sub>-N 濃度と後半 NH<sub>4</sub>-N 濃度の両方で明らかに大きく、その平均値は 1 mg/L 以上だった。

この結果から、「乗数補正」と「水量補正」のうち、「乗数補正」の効果が大きいと判断し、「乗数補正」単独の通日運転を約 70 日間実施した（条件 5）。本期間のうち 12 月 7 日からの 7 日間における代表池と展開池の水質センサー計測値と風量の経時変化を Fig. 4 に示す。通日運転においても、「乗数補正」により、代表池～展開池間での前半 NO<sub>x</sub>-N 濃度と後半 NH<sub>4</sub>-N 濃度の差は各々平均で 0.18, 0.33 mg/L と、実用上十分に小さい値とすることができた。

#### (2) 代表池～展開池間での MLSS 濃度と流入水量の比較結果

代表池～展開池間での MLSS 濃度と流入水量の比較結果を Fig. 5 に示す。両系列における同一の時間帯の計測値をプロットし、原点を通過する近似曲線の傾きがほぼ 1 だったことから、両池における MLSS 濃度と流入水量は、ほぼ同等だったと言える。

両池において、MLSS 濃度がほぼ同等であったことから、活性汚泥の生物活性に大差があったとは考えにくい。よって、本検証において「乗数補正」（酸素移動効率や活性汚泥の生物活性などの差異に対する補正）が必要となった主たる原因は、「活性汚泥の生物活性の差異」以外にあったと考えられる。

両池において流入水量がほぼ同等であった点は、本検証において水量補正の効果が小さかった点の主たる要因と考えられ、池間の流入水量の差異が大きい場合の水量補正の必要性については、別途の確認が必要である。

## 6. 結 論

本検討では、「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」において、代表池における風量制御演算を他池へ展開する「複数池一括制御」を

実規模で試行し風量制御性能等を検証した。代表池～展開池間での反応タンク MLSS 濃度と流入水量がほぼ同等の条件において、過去の風量制御結果から見出した補正乗数を用いて「複数池一括制御」を実施した結果、の制御対象である NO<sub>x</sub>-N 濃度と NH<sub>4</sub>-N 濃度の計測値が代表池～展開池間で概ね同等となることが確認された。これより、限定された条件ではあるものの、本検討に用いた乗数補正による「複数池一括制御」の実用性が示されたと言える。

今後も「複数池一括制御」の検証を継続し、MLSS 濃度・流入水量等の処理条件が池間で異なる場合の影響を把握する。また、代表池にのみ NO<sub>x</sub>-N 計と NH<sub>4</sub>-N 計が設置される状態において、適切な補正乗数を推定する方法についても検討を進めていく。

## 謝 辞

本稿の内容は、国土技術政策総合研究所から借り受けた実証施設を使用し、メタウォーター(株)・日本下水道事業団・町田市共同研究体が実施したものである点を明記すると共に、同研究所および共著者以外の関係者各位に感謝の意を表す。

## 参 考 文 献

- 1) 初山祥太郎, 中村高士, 鈴木重浩, 糸川浩紀, 松井穰, 藤井都弥子: 単槽型硝化脱窒プロセスにおける ICT・AI 制御による高度処理技術の長期実証, EICA, Vol. 26, No. 2/3, pp. 48-50 (2021)
- 2) 中大輔, 高橋宏幸, 糸川浩紀, 松井穰, 藤井都弥子: 単槽型硝化脱窒プロセスにおける ICT・AI を活用した風量制御の性能及び特性, EICA, Vol. 26, No. 2/3, pp. 44-47 (2021)
- 3) 国土技術政策総合研究所: B-DASH プロジェクト No. 38 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導入ガイドライン(案), 国総研資料第 1190 号, <http://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1190.htm> (2022)