

〈研究発表〉

AIを活用した下水処理場向け運転支援技術の実用化に向けた検討

山野井 一郎¹⁾, 伊藤 健太¹⁾, 小泉 賢司¹⁾

田畑 潤也²⁾, 横井 浩人²⁾, 吉川 直聡³⁾

石川 智弘³⁾, 齋藤 朋之³⁾, 田中大輔³⁾

¹⁾ (株)日立製作所 研究開発グループ

(〒319-1292 茨城県日立市大みか町7-1-1 E-mail: ichiro.yamanoi.rt@hitachi.com)

²⁾ (株)日立製作所 水・環境ビジネスユニット

(〒101-0021 東京都千代田区神田1-5-1 E-mail: hiroto.yokoi.vb@hitachi.com)

³⁾ (公財)埼玉県下水道公社

(〒338-0837 さいたま市桜田区田島7-2-23 E-mail: n-yoshikawa@saitama-swg.or.jp)

概要

AIを用いた下水処理場向けの運転支援技術として、水処理設備の運転を対象とし、過去の計測データから長期的な運転指針を作成し、同指針に基づいたエネルギー効率の良い運転内容を演算、提示する運転支援技術を開発した。埼玉県下水道公社との共同研究にて、荒川水循環センターのひとつの処理系列に本技術を適用し、有効性を検証した結果、一年間を通じ、処理水質管理値（生物化学的酸素要求量日最大15.0 mg/L以下かつ年平均6.0 mg/L以下）を満たす安定的な運転支援に関し、一定の成果を確認した。

キーワード：AI, 運転支援, 下水処理, データ分析, 機械学習

原稿受付 2024.7.4

EICA: 29(2・3) 24-27

1. はじめに

下水道事業の運営課題には、人口の減少に伴う下水道利用者・下水道使用料の減少、設備・管路の老朽化、職員の高齢化・労働人口減少があり、将来の事業の持続に対して危機意識が高まっている。特に労働人口に関して焦点を当てると、下水道行政を所管する国土交通省によれば、自治体の下水道担当職員数はピークである平成9年の約6割にまで減少しており、他の地方公務員と比べても減少スピードが速いことが危惧されている。このような状況に対応すべく、新下水道ビジョン加速戦略¹⁾では、8つの重点項目と施策例が掲げられており、下水道分野においても官民連携やICT活用のさらなる推進が急務となっている。

これに対し、例えば、平成26年度の下水道革新的技術実証事業(B-DASH)において「ICTを活用し効率的な硝化運転制御に関する技術実証研究」が実施されており、生物反応槽に設置したアンモニアセンサの計測値を用いた送風機風量制御技術で、処理水質維持と消費電力削減が実現されている^{2,3)}。

さらに、国土交通省は「AIによる下水処理場運転操作デジタルトランスフォーメーション検討会」にて、AIを活用した水処理運転操作の最適化支援技術の活用推進を掲げており⁴⁾、既存のデータ利活用を含むAI適用性についての検討を進めている。

本研究では、一般的な下水処理場が持つ既設計装の計測値と週一回程度の定期採水データを活用した、処理水質を維持する下水向け運転支援技術を開発した。本技術の有効性検証は、埼玉県下水道公社と日立製作所が共同で荒川水循環センターにて一年間行った。以下、開発内容と有効性検証について述べる。

2. 開発内容および有効性検証条件

処理水質を維持する水処理運転操作業務の支援を目的に、本研究では熟練運転操作員の実績データから適切な運転条件を抽出し、それに基づき適切な操作量を提示する運転支援技術を開発した。Fig. 1に運転支援技術の処理フローを示す。熟練運転操作員の過去運転から適切な運転条件を抽出し、処理水質維持とエネルギー効率を考慮した最適化結果をガイダンスし、業務を支援する。

本技術の検証に向けて構築したシステム構成図を

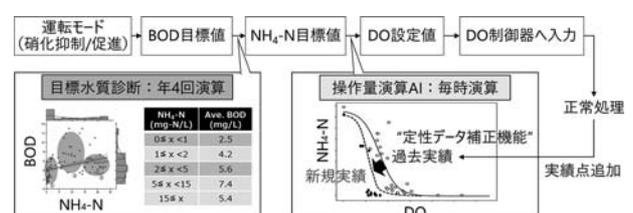


Fig. 1 Processing flow of operation support technology

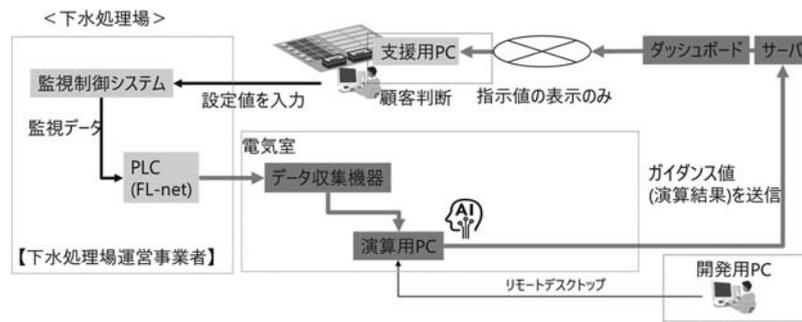


Fig. 2 System configuration for verification

Fig. 2に示す。運転状況のリアルタイムデータは、既設の監視制御システムからFL-netを用いて毎分データ収集機器に蓄積される。演算用PCは、蓄積されたデータを用いて各操作量を演算し、サーバにアップロードする。支援用PCはサーバ上に存在する操作量ガイダンス値を読み出し、表示する。検証では、2時間に一回の頻度でガイダンス画面表示内容に従い現地機器を操作した。

本技術は、既設の設備機器に必要な最小限の機能を追加することで、AIによる操作指示を実施する点の特長である。アンモニアセンサ等の追加センサを必ずしも要求しない仕様とすることで、低コストでの業務効率化の実現、および、少ないデータ量での操作量ガイダンスをめざした。

また、本技術は各操作量ガイダンス機能をモジュール化しており、各処理場の実情や要求に合わせ、構成を変更可能である。本稿では、溶存酸素量(DO)ガイダンス機能を例に、実績データから長期的な運転指標を作成する「目標水質診断」と、同指針に基づきエネルギー効率の良い運転内容を毎時演算して提示する「操作量演算AI」の詳細を述べる。

2.1 目標水質診断

目標水質診断では、適切な運転操作がなされている過去データから運転条件を抽出し、処理設備ごとに長期的な運転指標を設定する。例として、DOガイダンス機能では、規制や法律をもとに与えられる生物化学的酸素要求量(BOD)の処理目標値に対し、運転指標として季節ごとに処理水アンモニア態窒素濃度(NH₄-N)中間目標値を算出する。処理水NH₄-N中間目標値は、処理性能を表す重要指標である。中間目標値を設定している理由は、処理水BODの測定誤差による影響を抑え、長期的な処理性能変化をとらえるためである。目標水質診断では、詳細な時間変動に加え季節変動やそれ以上の長期的なスパンで変動傾向を把握する季節変動トレンドグラフや、処理水質維持とエネルギー効率が高い水準で実現できていた期間を抽出し、その期間における各指標の値を明らかにするクラスタリング等の手法を用い、適切な運転指標を作成

する。

2.2 操作量演算AI

操作量演算AIでは、目標水質および運転指標を満たし、かつエネルギー効率を考慮した毎時の操作量を演算する。DOガイダンス機能では、目標水質診断で導出した処理水NH₄-N中間目標値に対して、定性データ補正機能付帰帰ロジックを用いて設定値を演算する。正常に処理された場合、運転実績データベースに実績点が追加され、次の演算の際に過去データの一つ(直近データ)として扱う。操作量演算AIでは、年度ごとの気候差異や、処理設備ごとにセンサ位置等が異なることを想定し、過去データからとらえた定性的な傾向を直近データで定量的に補正する「定性データ補正機能」を備える。過去データから関係式を構築し、直近データで係数更新(定性関係の定量化)を行い、処理水NH₄-N目標値となるDO値を演算する。

また、操作量演算AIは季節に合わせた数種類の運転モードを持ち、状況に合わせて切り替えながら運用する。主な運転モードには、夏季向けの硝化促進運転と冬季向けの硝化抑制運転、それぞれの移行期間にあたる切替運転がある。将来的にはAI自動判断機能を活用した運転モード切替を想定しているが、今回の有効性検証では関係者間で協議し、手動で運転モードを切り替えた。

2.3 有効性検証条件

開発した運転技術が処理水質を維持した安定的な運転支援を実現できるか明らかにすべく、埼玉県下水道公社と日立製作所が共同で有効性を検証した。検証の趣旨は温室効果ガスの排出量削減や業務の効率化であり、その手段としてAI等の先進技術を1年間適用した(実施期間:2022年9月1日~2023年8月31日)。検証では、本技術の演算結果の妥当性を現地運転操作員が判断し、現地機器に入力する形式を取り、実設備を用いた。ただし、強雨時などの非定常事象下は検証対象外とした。

対象サイトの荒川水循環センターは処理能力955,800 m³/日の大規模処理場で、埼玉県戸田市に所

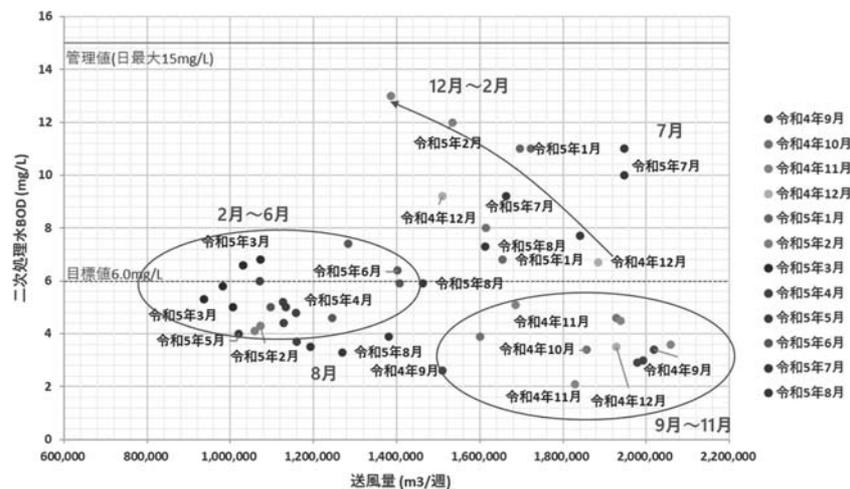
Table 1 Trend data, monitoring data, and treated water quality data

データ種類	項目	期間	取得頻度
過去データ	DO, 送風量, 流入水量	2018/4/1~2022/3/31 (5系列A1池)	毎時1回
監視データ	DO, 送風量, 流入水量	2022/6/18~2023/8/31 (5系列C1池)	毎時1回
処理水質データ	BOD, NH ₄ -N, 全窒素, 全リン	2018/4/1~2022/3/31 (5系列A1池)	毎週1回
		2022/6/18~2023/8/31 (5系列C1池)	

在する。荒川水循環センターに流入した下水および雨水は分水槽に一時貯留された後、1~8系の反応槽へ振り分けられる。本稿では、このうち嫌気好気活性汚泥法の5系列C号池(C1池, C2池)での検証について述べる。今回使用した過去データ, 監視データ, 処理水質データのうち主要項目を **Table 1** に示す。5系列C号池では, DOと余剰汚泥引抜量の操作量を指示した。運転操作員は, 本技術による操作指示を2時間に一回の頻度で受け付けた。

3. 有効性検証結果および考察

5系列C号池で評価対象とした処理水質BODの年間トレンドグラフを **Fig. 3** に示す。DOと余剰汚泥引抜量を操作の対象として, 開発した運転支援技術によ

**Fig. 3** Trend graph of BOD in treated water**Fig. 4** Relationship between airflow rate and BOD in treated water

り管理値(日最大 15.0 mg/L 以下かつ年平均 6.0 mg/L 以下)を超過せず運転できた。この結果は, 本技術が荒川水循環センターの5系列C号池にて, 一年にわたり下水処理性能の長期的な傾向を捉えられたことを示している。

Fig. 4 に送風量と処理水質 BOD の関係を示す。水質は5系列C号C1池の手分析結果, 送風量は週の合計値である。全体的な傾向としては, 共同研究を開始した令和4年(2022年)9月~11月は, 硝化促進運転のため送風量が大きく, 処理水質 BOD が, 検証開始時に安全考慮の目標値とした 4.2 mg/L 付近となった。切替期の令和4年(2022年)12月~令和5年(2023年)2月にかけては, 低温期の硝化不良で悪化した水質(BOD含む)を改善するため, 送風量を低減した結果, 令和5年2月の後半には BOD は低減した。その後, 令和5年6月までは, 低送風量の硝化抑制運転で BOD は 6.0 mg/L 付近の結果となった。令和5年7月には硝化促進運転への切替により送風量および BOD が増加したが, 令和5年8月にはいずれも低減した。

なお, **Table 1** で示した, 5系列A1池をベースとする“過去データ”と, 検証で担当した5系列C号池の“監視データ”の傾向は必ずしも類似していなかった。定性データ補正機能付帰帰ロジックは, このような過去データが定量的に異なる場合(例えば, 類似の他系列や他処理場にガイダンスを横展開する場合も含まれる)でも有効となるように改良したロジックであり, 今回有用性が実証できた。

共同研究期間全体で, 検証対象日(強雨など非定常事象の発生日は除外)となった308日間のうち, 運転操作員が演算結果を受容した日数は307日間であり, 受容割合は99.7%となった。長期的な傾向を捉え, 運用に支障のない範囲での処理水質制御を志向したため, 演算結果が運転操作員に受容されたと考えている。

これらの結果は, 本技術が長期間, 処理水質管理値

を満たす安定的な運転を支援できたことを示す。

4. おわりに

本研究では、処理水質を維持する水処理運転操作業務の支援を狙いとして、一般的な下水処理場がもつ既設計装の計測値と週一回の定期採水データを活用し、運用に支障のない範囲で処理水質を制御する技術を開発した。荒川水循環センターでの有効性検証の結果、一年間を通じ、処理水質管理値（生物化学的酸素要求量日最大 15.0 mg/L 以下かつ年平均 6.0 mg/L 以下）を満たす安定的な運転支援に関し、一定の成果を確認した。今後も様々な条件下での技術実証を通じて、実用化に向けた検討を行っていく。

参考文献

- 1) 国土交通省水管理・国土保全局下水道部：新下水道ビジョン加速戦略～実現加速へのスパイラルアップ～ 令和4年度改訂版（2023）
- 2) 国土交通省国土技術政策総合研究所：下水道革新的技術実証事業（B-DASH プロジェクト）ICTを活用した効率的な硝化運転制御の実用化に関する技術実証事業 技術導入ガイドライン（案）（2016）
- 3) 西田佳記，山野井一郎ほか：ICTを活用した効率的な硝化運転制御システムの実証，下水道協会誌，Vol. 58, No. 702, pp. 78-86（2021）
- 4) 国土交通省下水道におけるデジタルトランスフォーメーション（DX）検討会：下水処理場運転操作へのAI導入に向けた環境整備に関するあり方について（2024）