

〈研究発表〉

AIによる下水処理場の運転支援

小野 泰弘¹⁾, 平林 和也²⁾, 上野 和博³⁾, 占部 正敏⁴⁾, 藤原 翔⁵⁾

¹⁾北九州市上下水道局

(〒 803-8510 福岡県北九州市小倉北区大手町 1-1 E-mail: yasuhiko_ono01@city.kitakyushu.lg.jp)

²⁾安川オートメーション・ドライブ(株) システム技術本部

(〒 141-0032 東京都品川区大崎 1-11-1 ゲートシティウエストタワー 7F E-mail: kazuya.hirabayashi@yaskawa.co.jp)

³⁾安川オートメーション・ドライブ(株) システム技術本部

(〒 824-8511 福岡県行橋市西宮市 2-13-1 E-mail: Kazuhiro.Ueno@yaskawa.co.jp)

⁴⁾安川オートメーション・ドライブ(株) システム技術本部

(〒 824-8511 福岡県行橋市西宮市 2-13-1 E-mail: Masatoshi.Urabe@yaskawa.co.jp)

⁵⁾安川オートメーション・ドライブ(株) システム技術本部

(〒 141-0032 東京都品川区大崎 1-11-1 ゲートシティウエストタワー 7F E-mail: sho.fujiwara@yaskawa.co.jp)

概要

下水処理場の運転管理に係る職員の減少や技術継承などの対策が課題となっている。これらの課題解決を目的として AI の予測アルゴリズムの 1 つであるランダムフォレスト法を用いた水処理の制御設定値を予測する「水処理制御支援システム」を用いた実機実証試験を実施した。本研究では、第一段階として、過去の運転データから AI モデルを構築し、リアルタイムデータから予測値を算出、ガイダンスを行う経験ガイダンスを行った。本稿では、その結果と第二段階として予定している最適ガイダンスの方向性について報告する。

キーワード：人工知能, 実証試験, ランダムフォレスト

原稿受付 2023. 8. 21

EICA: 28(2・3) 74-77

1. 背景, 目的

昨今, 下水処理事業に係る職員数減少やそれに伴う技術継承などの対策が課題となっている。これらの課題解決のために, AI の予測アルゴリズムの 1 つであるランダムフォレスト法¹⁾を用いて水処理の制御設定値を予測し, 運転支援を行う水処理制御支援技術²⁾を活用した実機実証試験を実施してきた。本研究では, 浄化センターの過去の運転条件, 水質データから AI モデルを構築し, 予測値のガイダンスを行うことで, 運転員の負担軽減 (ヒューマンエラーの低減, 安心感の醸成), 省エネ化 (電気料金の低減, 脱炭素), 運転状況の可視化 (運転ノウハウの形式知化), 処理の安定化 (安定水質の確保) を目指してきた。本稿では, 第一段階として実施してきた経験ガイダンス (ベテラン運転員の運転操作の再現) の結果と第二段階として予定している最適ガイダンス (目標達成に必要な操作の提言) について報告する。

2. 対象 機 場

本研究の対象機場は北湊浄化センターで処理方式は標準活性汚泥法, 処理能力は 44,000 m³/日, 4 系列

(標準槽 2 系列, 深槽 2 系列) の処理場となっている。北湊浄化センターのフロー, AI モデルの構築に使用した曝気風量, DO 等の主な自動測定箇所を Fig. 1 に示す。北湊浄化センターでは, 曝気槽の風量の調整を風量調整弁で行っており, 経験ガイダンスの検証においては, 風量調整弁開度を対象とした。

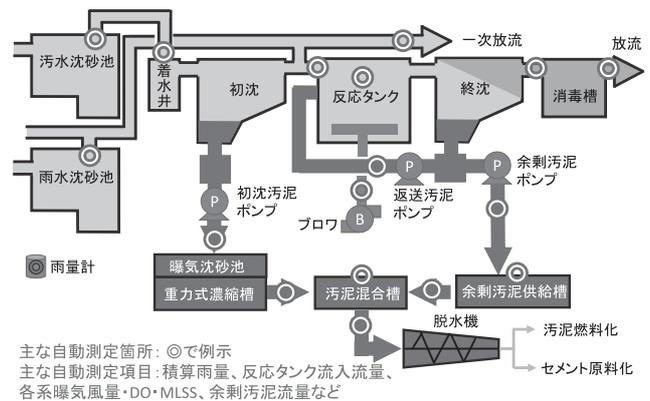


Fig. 1 The flow of kitaminato sewage treatment plant

3. AI の予測手法

予測手法にはランダムフォレスト¹⁾を用いた。ランダムフォレストとは, 条件分岐に用いる特徴をランダ

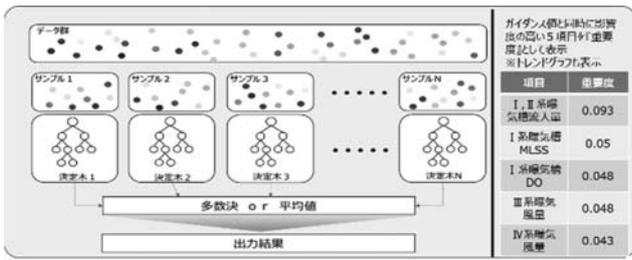


Fig. 2 The image of random forest

ムに選択することで、相関の低い多様な決定木を生成出来るようにした手法である。ランダムフォレストには分類と回帰が存在するが、時系列データの予測では回帰を用いる。ここで、決定木とは木の枝のように条件分岐を繰り返してデータを分割していくことである。ランダムフォレストの特徴は、1つの決定木での予測よりも安定で性能の良い結果が得られることと、モデル生成により重要度という計測データ項目毎の予測値への影響度が確認出来ることである (Fig. 2)。

4. オフラインでの AI モデルの検証

I系曝気槽においてはI系-2風量調節弁の開度調整を行っており、その開度を対象としてAIモデルを構築し、2022年7月5日～8月18日の計測データを用いてAIによる開度の予測値と実運用で設定した実績値の比較を実施した (Fig. 3) (Fig. 4)。日中において、DOの目標範囲外への変動に伴う対応や省エネ運転、雨天時の簡易放流の実施等により予測値と実績値に乖離が発生したが、それらを特異な運用と判断し、除外すると、誤差率は5.8%となった。また、Fig. 3, Fig. 4からスパンの長い変動、短い変動に対して、同じように予測値が実績値に追従出来ていることが確認出来た。

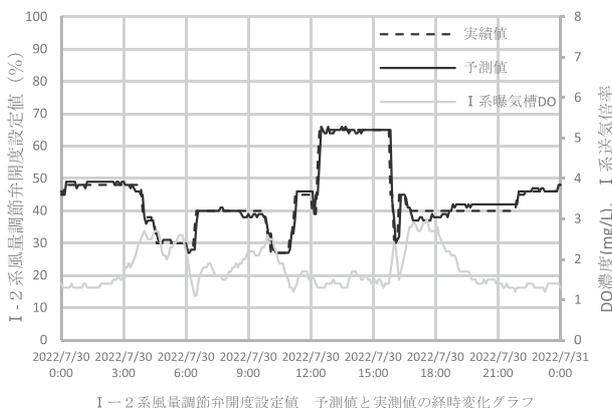


Fig. 3 Predicted and measured in 30th July

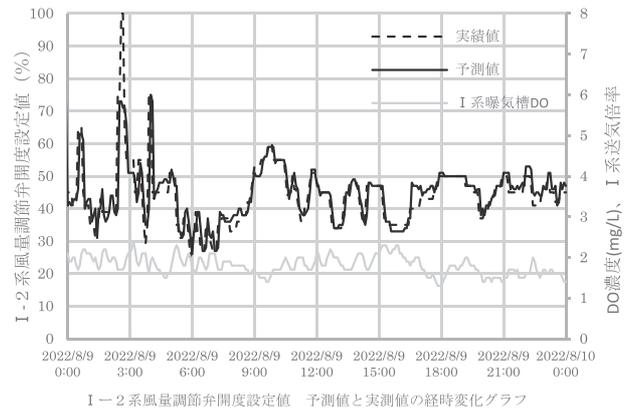


Fig. 4 Predicted and measured in 9th August

5. 運転支援システム (AI ガイダンス装置) の構成

まず、水処理設備監視盤のPLCに通信用カードを挿入、通信環境の構築を実施した。その後、AIガイダンス装置へのデータ送信が出来るようにPLCのプログラム改造を行い、AIガイダンス装置と水処理設備監視盤を接続した。リアルタイムでAIガイダンス装置へデータを収集し、予測値のガイダンス及び、重要度の高いデータや対象設備のトレンドを表示する環境を構築した。また、構築したAIモデルは蓄積データを用いて都度、更新を実施し、最新の状況を反映出来るようにした。

6. オンラインでの実証結果

6.1 1系列での実証試験

I系曝気槽 (標準槽) のI系-2風量調節弁 (曝気槽後段風量調節弁) の開度を対象として2022年12月14日13:00～16:00の時間帯で、構築したAIモデルを用いて5分周期で風量調節弁の設定値をオンラインで予測し、この予測値を実際の設定に入力する実証試験を実施した。この時、流入量等の制御は実施せず、風量調節弁以外は通常どおりに運転を行った。但し、曝気槽のDO (流出部DO) の値が1.0 mg/L以下が5分以上継続する場合や3.0 mg/L以上が5分以上継続する場合、簡易放流を行うような降雨時、風量調節弁開度20%以下が5分以上継続する場合等は実証試験を中止し、運転員の判断による運転を実施することとした。また、曝気槽のDOの管理値は1.8 mg/L±0.5の範囲とする。

6.2 1系列での実証試験結果

1系列での実証試験結果を Fig. 5 に示す。曝気槽のDOの値が高い (2.3 mg/L 以上) 時間帯 (14:00～15:00) では風量調節弁の予測値は閉方向 (風量減少

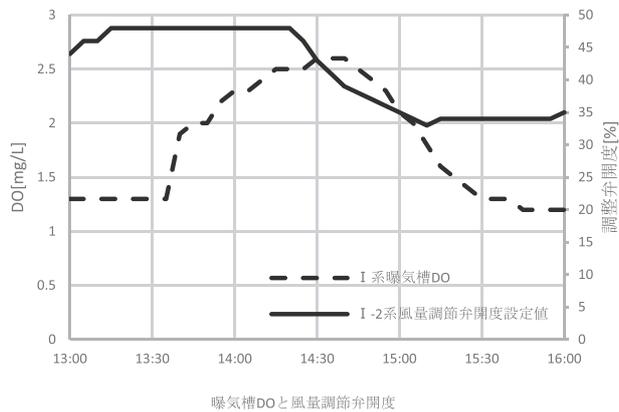


Fig. 5 Air volume adjustment valve output and Dissolved Oxygen

方向)を示しており、正常に予測出来ていることが確認出来た。同時刻にII系曝気槽のDO値増加に伴いII系-2風量調節弁を閉動作させたため、I系曝気槽の風量が増加しており、I系-2風量調節弁を閉動作させても風量の減少が少なく、DO値の低下に時間がかかったと考えられる。また、後半で曝気槽のDOの値が低い(1.3 mg/L以下)時間帯(15:30~16:00)が発生しているが、風量調節弁の予測値は開方向(風量増加方向)を示していることから、開閉ともに正常に予測値を算出出来ていると判断することが出来る。

6.3 全系列での実証試験

全系列の曝気槽の風量調節弁を対象として2023年3月14日10:00~15:00の時間帯で、構築したAIモデルを用いて5分周期で各風量調節弁の設定値をオンラインで予測し、この予測値を実際の設定に入力する実証試験を実施した。この時、流入量等の制御は実施せず、風量調節弁以外は通常どおりに運転を行った。但し、曝気槽のDOの値が1.0 mg/L以下が5分以上継続する場合や3.0 mg/L以上が5分以上継続する場合、簡易放流を行うような降雨時、風量調節弁開度20%以下が5分以上継続する場合等は実証試験を中止し、運転員の判断による運転を実施することとした。また、曝気槽のDOの管理値は1.8 mg/L \pm 0.5の範囲とする。

6.4 全系列での実証試験結果

I系(標準槽)の実証試験結果をFig. 6、II系(標準槽)の実証試験結果をFig. 7、III系(深槽)の実証試験結果をFig. 8、IV系(深槽)の実証試験結果をFig. 9に示す。試験開始後、全系列でDO値が低下し、II系では管理値以下の0.6 mg/Lまで低下した。風量調節弁の予測値は開方向を示しており、正常に動作しているが、DO値が上昇しないことから総曝気風量が不足していると判断し、浄化センター運転員の操作によりブロワを1台追加することで、総曝気風量を

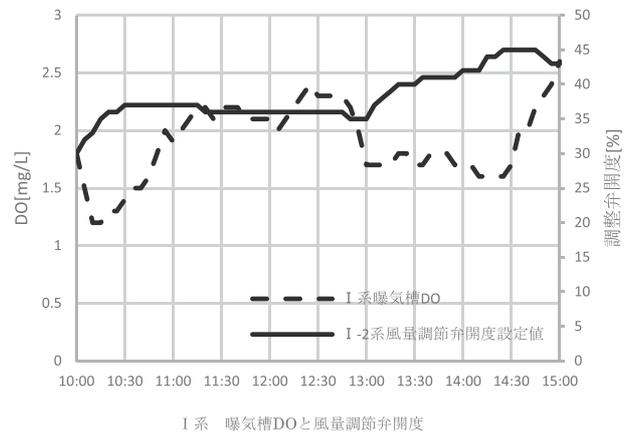


Fig. 6 Air volume adjustment valve output and Dissolved Oxygen of I system

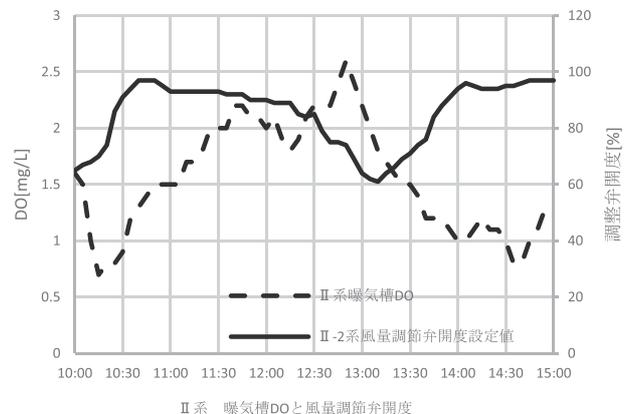


Fig. 7 Air volume adjustment valve output and Dissolved Oxygen of II system

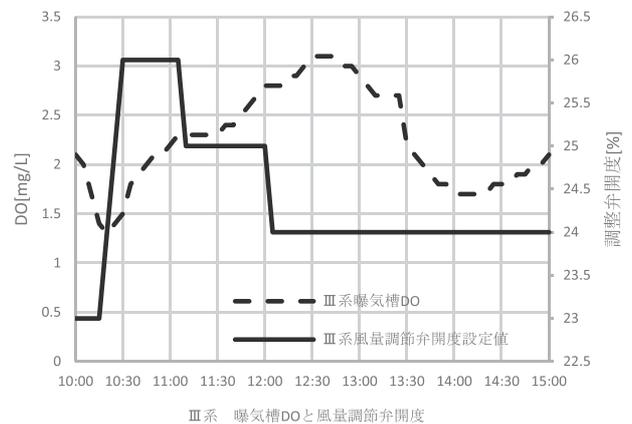


Fig. 8 Air volume adjustment valve output and Dissolved Oxygen of III system

5,875 Nm³/hから6,400 Nm³/hに増加させた。直後、各曝気槽のDO値が管理値内に復帰した。その後もDOの増減に伴い、各風量調節弁の予測値も変動している。但し、運転員の操作によりブロワの運転台数やインレットバンの開度操作を行うことで総曝気風量の調整を行い、流入流量増減等に伴うDOの変化に対応を行っている。実証期間中(5時間)、総曝気風量の調整を5回行った。総曝気風量を適切な範囲で設

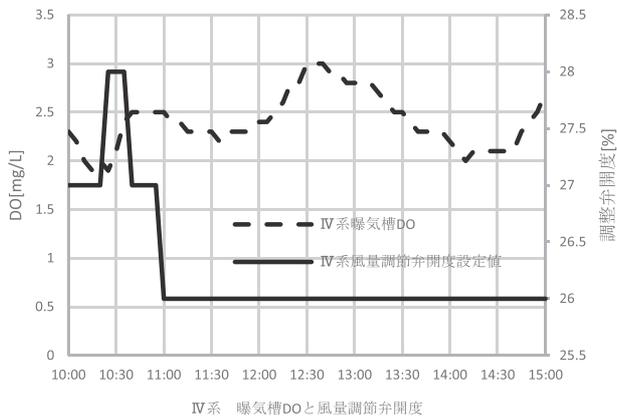


Fig. 9 Air volume adjustment valve output and Dissolved Oxygen of IV system

定出来ていれば、全系列の各曝気槽風量を AI により適切に予測出来ていると判断することが出来る。

以上の結果から、流入流量に応じて総曝気風量が適切な範囲に設定されていることを条件として、AI を活用することにより風量調節弁を対象とした経験ガイダンス（ベテラン運転員の運転操作を再現）がおおむね可能であると確認出来た。

7. 最適ガイダンスへの展開

最適ガイダンスでは、目標（水質等）の設定に対し、AI モデルが過去データから必要となる指標（DO 等）

を算出。その指標を達成するために必要となる予測値を算出し、ガイダンスを行うことを目標として検討を行う。検討にあたっては、経験ガイダンスの実証試験により得られた知見等を活かしながら、上流ポンプ場の運転も含めた検討を実施していく。

8. まとめ

ランダムフォレストを用いた AI ガイダンス装置を北湊浄化センターに実装し、風量調節弁の開度設定を対象とした実証試験を実施した。過去の運転データから運転員の操作を学習した AI モデルにより、通常の運転において運転員の操作を再現可能かを確認した結果、オンライン、オフラインにおいても正常に予測値を算出出来ていることが確認出来た。今後は、最適ガイダンスの実現に向けた検討を進めていく。

参考文献

- 1) Breiman, L.: Random forests, Machine Learning, Vol. 45, pp. 5-32 (2001)
- 2) 藤原翔, 平林和也, 大場正隆, 綿引綾一郎, 石川進, 張亮, ゲンタンフォン, 糸川浩紀, 山下洋正, 矢本貴俊: AI を活用した水処理制御支援技術による処理場運転管理設定値の予測誤差の検証, 第 56 回下水道研究発表会講演集, pp. 1016-1018 (2019)