

〈研究発表〉

AIによる下水処理場運転判断導出技術の検証

三宅雄貴¹⁾, 木村雄喜¹⁾, 高瀬信彰¹⁾, 高倉正佳¹⁾
鮫島正一¹⁾, 庭川誠¹⁾, 倉本喜文²⁾, 南浦詳仁³⁾
上原洋平³⁾, 増屋征訓⁴⁾, 川崎達⁴⁾
中橋達也⁴⁾, 松橋学⁵⁾

¹⁾ 株明電舎

(〒410-8588 静岡県沼津市東間門字上中溝515 E-mail: miyake-yu@mb.meidensha.co.jp)

²⁾ 広島市下水道局 (現 日本下水道事業団)

³⁾ 広島市下水道局

⁴⁾ 株NJS

⁵⁾ 国土交通省 国土技術政策総合研究所

概要

本稿では令和元年度B-DASHプロジェクトに採択された「AIによる下水処理場運転操作の自動化・省力化技術に関する研究」の研究結果について報告する。下水処理場では、現状、熟練技術者が、水質やリアルタイム計測値など様々な項目を判断材料として最適な運転管理を実現している。我々は熟練技術者の運転履歴を学習させることにより、熟練技術者と同様の運転判断を導出する技術を開発した。本稿では、広島市下水道局西部水資源再生センターにおいて、実際に、AI判断に基づいて運転した結果について報告する。

キーワード：下水処理, AI, 運転自動化, 技術継承
原稿受付 2020.6.25

EICA: 25(2・3) 29-32

1. はじめに

下水道担当職員は平成9年度の約47,000人をピークに減少に転じ、平成27年度にはピーク時の60%まで減少している¹⁾。また、下水道施設のストック量が増加しているにもかかわらず、維持管理担当職員数は平成8年度と比較して約8%減少した。機械、電気、水質など高い専門性を要する業種においては特に職員減少の割合が大きい。

今後も技術職員の減少が見込まれる状況においては、専門知識が必要な下水処理設備の運用を機械化し、より少ない人員で施設を運転できることが望まれる。近年、AI技術が発達し、特に画像認識等の分野では人の認知能力と同等のレベルに到達している。

本稿では、国土交通省の平成30年度および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)に採択された「AIによる下水処理場運転操作の自動化・省力化技術に関する研究」の研究結果について報告する。下水処理場では、現状、熟練技術者が、

水質やリアルタイム計測値など様々な項目を判断材料として最適な運転管理を実現している。我々は熟練技術者の運転履歴を学習させることにより、熟練技術者と同様の運転判断を導出する技術を開発した。本稿では、昨年11月半ばから12月初旬にかけて、実際に広島市下水道局西部水資源再生センター(以下、西部処理場)において、AI判断に基づいて運転した現地運転試験の結果について報告する。

2. 実施内容

2.1 評価対象

本研究で対象とした西部処理場は、広島市西部及び北部の汚水を処理するために作られた下水処理場である。昭和56年10月1日から全体計画の1/9(57,300 m³/日)で処理開始され、平成27年からは全体計画の6/9(307,200 m³/日)で運転している。平成23年4月1日から広島市内のし尿及び浄化槽汚泥を下水汚泥とともに処理し、汚泥処理から発生した返流水の高

度処理も行っている。西部処理場の概要を Fig. 1 に示す。6つの系より構成され、1系は2池が返流水処理、残り2池が標準活性汚泥法を採用している。2系から5系は擬似嫌気標準活性汚泥法である。6系は循環式硝化脱窒法を採用している。本研究における現地運転試験での導出対象は「東1~3系のDO設定値」とした。汚泥処理系を介してリンや窒素が戻ってくるため、現地運転試験では対象設備のBODだけでなくリンを主眼に置いた水処理を行っている。

2.2 AIの概要

運転操作の導出には2つのAIを組み合わせて行う。1つは大きな運転の方向性を決定するAI（対応判断AI）、もう一つは対応判断AIの結果を入力として受け取り、具体的に操作量を導出するAI（運転操作AI）である。2つのAIによる操作量導出までの流れを Fig. 2 に示す。運転操作AIの出力は現地運転試験の導出対象であるDO設定値、対応判断AIの出力は、DO設定値の決定に関して設定値変更の目的を示す「硝化促進」「硝化抑制」「リン除去」「T-N除去」「SS調整」「BOD調整」「風量抑制」「経過観察」の8項目とした。各AIのアルゴリズムとしては、対応判

断AIについては、水質等の入力項目と判断結果の因果関係の可視化が可能な手法としてベイジアンネットワーク²⁾を採用した。また、運転操作AIについては、入力となる水質データを大量に確保することが困難である現状を踏まえ、大量の学習データを必要とする深層学習手法以外の手法の中で精度が高いことで知られるXGBoost (eXtreme Gradient Boost)³⁾を採用した。

2.3 評価方法

現地運転試験では、試験期間は2019年11月25日から同年12月8日までの14日間とし、11月25日の16時を開始として、以降、10時、13時、16時の1日3回の計40回、東1系~3系のそれぞれの系ごとに対応判断AIおよび運転操作AIの2つのAIの導出結果に対して評価した。評価の方法としては、AI判断と現場運転員の判断の一致/不一致の割合と、AIの導出した運転操作値で実際に運転した結果として現れる水質の妥当性の2つの観点により行った。

現場運転員の判断との一致/不一致の比較については、完全に「一致」した場合(○)、現場運転員の判断とは「不一致だが許容範囲内」で実運転への採

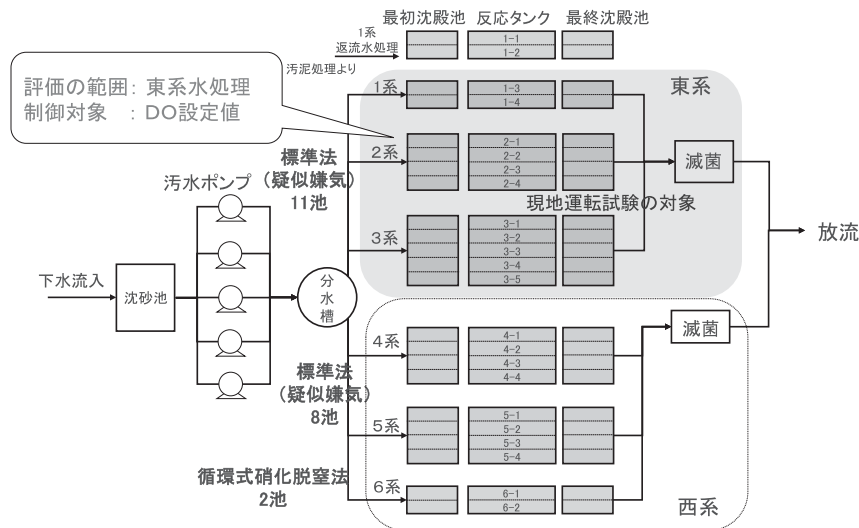


Fig. 1 Outline of Hiroshima City West Water Resources Reclamation Center

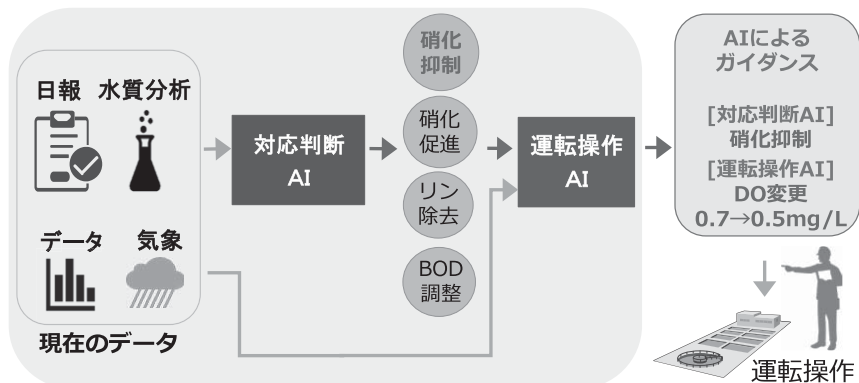


Fig. 2 Flow for estimating manipulated variables

用が可能である場合 (△), 現場運転員の判断から「許容範囲を逸脱」し, 実運転への適用が困難な場合 (×) の3段階で評価した。水質の妥当性に関しては, 西部処理場が実際に放流水質基準として使用している数値と同じ数値を目標水質として評価を行った。西部処理場における主な放流水質基準を **Table 1** に示す。

Table 1 Effluent standards

項目	放流水質目標値	目標達成率 (PI※)	放流水質法定基準
全窒素 (mg/L)	20 以下	70%	120 以下 (日間平均 60 以下)
全リン (mg/L)	1.5 以下	50%	16 以下 (日間平均 60 以下)
BOD	—	—	日間平均 15 以下

※ PI…年間達成回数の割合

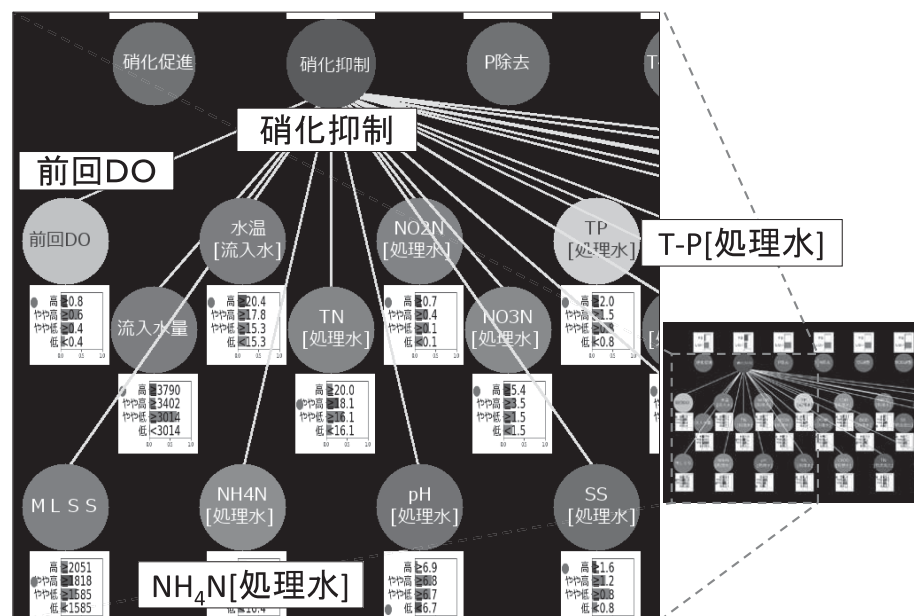


Fig. 3 Example of AI-generated judgment on treatment situation

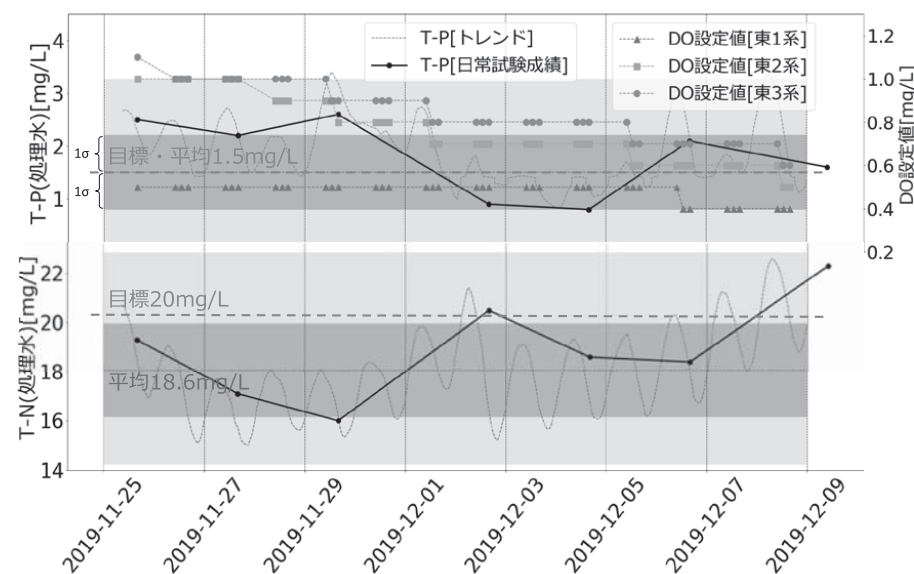


Fig. 4 Transition of DO set values estimated by AI, total phosphorus and total nitrogen

3. 結果と考察

現地試験期間において対応判断 AI が出力した結果の例を **Fig. 3** に示す。対応判断 AI では, 判断根拠として寄与度が高い項目ほど白く光ったように表示される。**Fig. 3** を見ると「前回 DO」(現在の DO 設定値) と「T-P[処理水]」(東系処理水全リン値) が強く寄与していることが分かる。また, 「NH₄N[処理水]」も他の項目よりも若干ではあるが強く寄与している。これらを総合的に判断して対応判断 AI は「硝化抑制」の判断を下したと解釈することができる。実際, この日時では全リンが高濃度の状態にあり, また, DO 設定値も東 3 系については 1.1 mg/L と過去の統計値と比較して高濃度の状態にあった。現場運転員にヒアリングした結果についても, この状況においては同様の判断であることが確認された。

現地試験期間全体における AI 判断と現場運転員判断の比較結果については計 40 回の評価のうち, ○ (一致) が 32 回, △ (不一致だが許容範囲内) が 8 回, × (許容範囲を逸脱) が 0 回であり, 計 40 回の評価全てにおいて実運転への適用「可」と判定され, 現地試験期間全体に渡って AI 判断のみで水処理運転が可能であることを確認した。また, 「△ (不一致だが許容範囲内)」を示した 8 回については, 運転員判断の方が AI 判断よりも早く硝化抑制と判断したものであった。いずれの場合もタイミングの遅れによるものであり, 運転操作値の増加又は減少の判断は正しく, AI による運転判断の妥当性について確認することができた。

AI 運転期間中の DO 設定値および全リン (T-P), 全窒素 (T-N) の推移を **Fig. 4** に示す。全リン (T-P) が高濃度な状態からの現地試験開始となったが, AI 判断により段階的に硝化抑制をすることにより, 全リンの管理目標濃度である 1.5 mg/L 付近に収束し, AI 運転期間中を通して放流水質は法定基準を満足する結果となった。

4. おわりに

14日間という短い試験期間ではあったが、降雨時や工事期間等の非日常的な場合を除いて、AIの導出した運転操作値により水処理運転が可能であることを確認した。対応判断AIのベイジアンネットワークモデルについてさらに検討を進め、水質などの観測可能な数値だけでなく潜在的な要因に焦点を当てた見える化を実現すること、また、運転判断の回数を増やす等により対応の遅れを解消することが今後の課題である。

謝辞

本研究の実施にあたりデータ提供を頂いた広島市下

水道局西部水資源再生センターの関係者および本研究の関係者各位に謝辞を表す。

参考文献

- 1) 日本下水道協会, 『下水道統計 (平成27年度版: 第72号)』
- 2) Pearl, Judea. "Bayesian Networks: a Model of Self-Activated Memory for Evidential Reasoning". Proceedings, Cognitive Science Society: pp. 329-334 (1985)
- 3) Tianqi Chen and Carlos Guestrin. Xgboost: A scalable tree boosting system. In Proceedings of the 22Nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining, pp. 785-794 (2016)