

AIを活用した運転操作の 先進的支援技術の取組み



かんばる ようへい*
上原 洋平*

1. まえがき

我が国の人口減少や高齢化に伴い、地方公共団体における下水道担当職員数は、平成9年のピークと比較して約3分の2の水準に低下している。下水道施設の運転管理は民間委託が進んできているものの、団塊世代の職員の退職に伴い、下水道施設の運転管理に関する技術継承や人材育成に課題が残されていると考えている。また、下水道事業の温室効果ガス排出量は、日本全体の約0.7%に相当する量を占めており、2050年のカーボンニュートラル実現に向けた下水道事業の取組みが始まっている。

このような課題を解決するため、広島市では令和3年3月に「ひろしま下水道ビジョン2030」を策定し、令和12年度までの基本理念、基本方針及び施策の方向性を取りまとめた。施策のひとつとして、ICTによる管理の高度化・効率化を掲げており、その一環として株式会社明電舎、株式会社NJS、船橋市と共同研究体を構成し、令和3年度下水道革新的技術実証事業（B-DASH）の『AIを活用した下水処理場運転操作の先進的支援技術に関する実証事業』として、国土技術政策総合研究所からの研究委託を受けて研究を進めている。本稿では、下水処理場運転操作のAI活用の意義や技術概要について紹介する。

2. 運転管理におけるAI活用の意義

持続的な下水道事業の運営においては、高齢化に伴う熟練技術者の退職や自治体担当職員の人事異動、運転管理の委託業者の交代がある場合にも対応できるよう、自治体は下水処理場の高度な運転操作技術

を共有し、その技術を維持・継承することに努める必要がある。この運転操作技術は、下水道維持管理指針等による基本的な内容以外に、各下水処理場毎での熟練技術者のこれまでの経験によるところが大きい。AIは、識別や予測、推定といった特性を有していることから、熟練技術者のノウハウを学習・再現させることで、熟練技術者が減少した状況下においても、安定した放流水質の確保や省エネルギー運転の実現等に寄与できる技術であると考えられる。

3. 運転操作のためのAI技術

下水処理場の運転管理を支援するAIによる運転支援ガイダンスの概念図を図-1に示す。

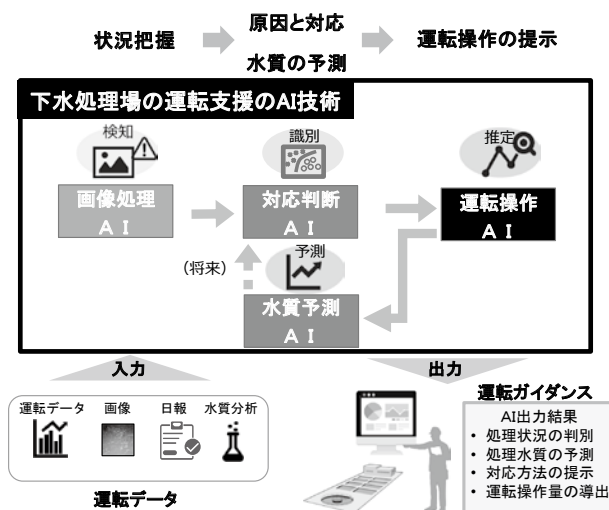


図-1 AIによる運転支援ガイダンス

このAI技術は、図-1に示す4つのAIが連動して運転操作ガイダンスを行う。特に、判断根拠を見える化して技術継承を行うことが本AI技術の特徴である。各AI技術の役割を以下に記す。

*広島市 下水道局 管理部 西部水資源再生センター 技師

- ・画像処理AI：人の目の代わりとなり沈殿池の水面等の画像から処理の状況や異常を検知する。
- ・対応判断AI：水質や画像から原因と対応の関連が見える化し、今取るべき対策を絞り込む。
- ・運転操作AI：対応判断AIが示した対策を踏まえ、数値データを用いて最適な運転操作量を推定する。
- ・水質予測AI：現在及びAIが推定した運転操作量に対して処理水質を予測する。

プロセスデータや水質分析データ、画像データをオンラインで取得してAI推論を連続的に実行することで、運転操作のガイダンスを行う。運転操作員は、AIによるガイダンス結果を確認した後、下水処理場の運転操作にその結果を反映する。実証事業では、AIによるガイダンス結果で運転操作した場合にも処理水質が安定化すること、温室効果ガス排出量の削減に寄与する消費電力量や薬品使用量が維持もしくは低減化されていることを確認する。

次に各AIの技術概要と、実規模実証の前段階として平成30年～令和元年度に実施した実現可能性検証における研究結果について記載する。なお、水質予測AIについては、現在実証事業で検証を進めている最中であることから、本稿では今後の展望として記載する程度に留めることをご了承いただきたい。

1) 画像処理AI

下水処理場では、毎日設備の巡回点検を行っており、その過程で池の状況を把握している。例えば、巡回点検の結果、最終沈殿池のスカムが浮上した場合、底層の嫌気化が懸念されるため余剰汚泥を引き抜くといった運転操作を行うことがある。目に見える異常としては、スカム浮上の他、異常発泡やSSの流出等が挙げられる。この異常判定を人の目に代わって行うのが画像処理AIである。最終沈殿池のスカム浮上をカメラで検知し、画像処理AIで判定した例を図-2に示す。カメラで撮影した画像は、畳み込みオートエンコーダ（Convolutional AutoEncoder、以下、CAE）と呼ばれる画像データを圧縮し、復元することが可能なアルゴリズムで処理される。CAEによる復元画像と実画像を比較して得られた

差分画像からスカムの位置や個数、面積を特定することができる。異常の判断は、個数や面積に閾値を設け、その値を超過した時点とする。

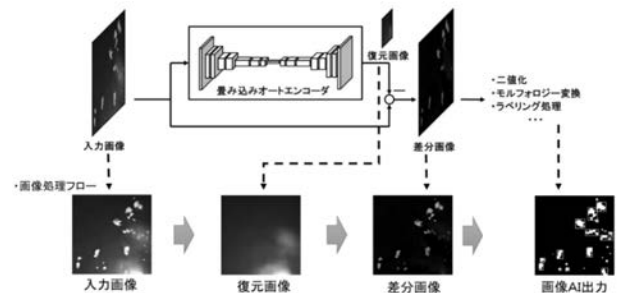


図-2 画像処理AIの概要

この方法は、異常画像が正常画像と比較して非常に少ないこと、学習時に異常画像を選別する手間を省けること、外光による色の変化の影響を受けないことが利点として挙げられ、異常の少ない下水処理場を監視するために適した手法である。

図-2の写真は最終沈殿池の浮遊物の異常検知として30分毎に撮影した画像を画像処理AIで処理したものである。元の画像に含まれているスカムがCAEでは背景のみ復元される一方、差分画像でスカムを抽出し個数や面積を黄色い枠で抽出できていることが分かる。スカムの個数、撮影面積に対する浮遊物の割合を求めることができ、この状態から、現状の最終沈殿池の状態の異常を判定し運転判断に活用することができる。

2) 対応判断AIと運転操作AI

日々の運転管理で蓄積している監視装置や水質分析のデータ、過去の運転操作の履歴や運転操作の判断に至った思考過程をデータ化し、対応判断AIと運転操作AIを組み合わせ、運転データを与えることで運転操作の判断とその見える化が可能となる。

対応判断AIでは、与えたデータから運転操作の方針を導出する。運転操作の方針とは、例えば、水質分析の結果、全りん濃度が高いと判断した場合、送風量を減らすような運転を行う。一方、全窒素濃度が高い場合には硝化を促進させて脱窒を行う。

このような観測したデータと運転方針を過去の運転履歴に関連付ける方法として、グラフィカルモデルと因果関係を確率で表現できる方法を採用した。

この方法のメリットは、過去の操作のブレを確率として学習し、同時にデータと対応の関連を見える化できることである。対応判断AIによる運転操作の方針の明示化のイメージを図-3に示す。対応判断AIの実行目的である運転操作の方針を対応判断層で示す。観測可能事象層では、プロセスデータや水質分析結果等、実測した各種データを取り込む。これらのデータから運転操作の変更に至る原因を判断根拠層に示す。高い確率を示した運転操作とそれに寄与する因子を線で結んで示すことで、観測項目の状態、判断根拠、運転操作対応の関係が明示される。後世の技術者は、熟練技術者の運転を表現した結果をまねることで、運転操作技術の継承を行うことが可能となる。

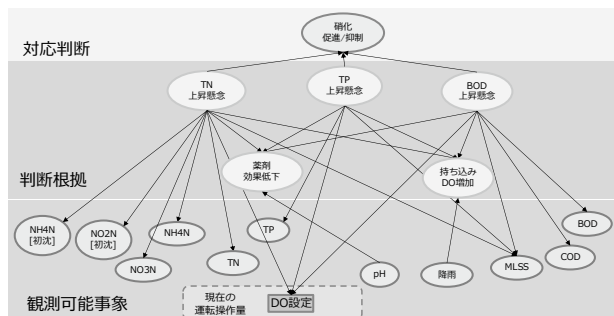


図-3 対応判断AIの概要

一方で、対応判断AIで出力した運転操作の対応は運転操作AIに引き継がれ、その他のデータも利用して操作量を演算する。対応判断AIと運転操作AIの組み合わせで導出した運転操作量を広島市西部水資源再生センターの反応タンクDO（溶存酸素濃度）制御の設定値導出に適用した事例を図-4に示す。適用試験は令和元年11月25日～12月8日まで二週間行った。対応判断AI、運転操作AIに日報や水質分析等のデータを与え、東1系2池、東2系2池、東3系5池のDO設定値をそれぞれ導出し、処理水質をモニタリングした。AI導出は1日3回の頻度で計40回行い、現地の熟練技術者の判断比較も並行して実施した。AIと熟練技術者のそれぞれの判断は、40回中32回で一致した。残り8回についても、AIの判断は若干遅れがあるものの設定

値は妥当であり許容できるとの熟練技術者判断から、AIによるDO設定値をそのまま運転操作に適用した。11月25日の開始当初は全りん（T-P）濃度の目標値1.5mg/Lと比較して高い処理水質であったが、AIがDO設定値を下げる判断を繰り返すことで目標値付近に収れんしていることが分かる。全窒素（T-N）濃度は、DO設定を下げて送風量が減ることで目標水質付近まで増加した。現場検証は開始後二週間（12月8日）で終了したが、終了直後の9日にはDO設定を増加し、硝化促進する判断をしている。このように、熟練技術者が過去に実施した運転操作履歴や運転・水質データを活用することで、AIが下水処理場の運転操作の判断に使えることを示すことができたと考えている。

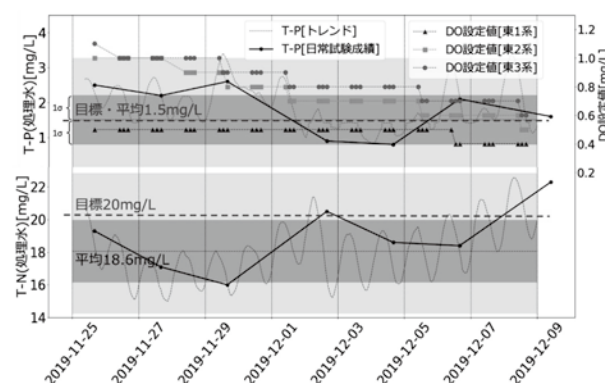


図-4 AIによるDO設定の運用例

4. 今後の展開

下水処理場の運転操作へのAI技術を紹介した。AI化の対象は今回紹介したDO制御以外にも、熟練技術者が判断する余剰汚泥引抜量、凝集剤や消毒剤の注入量等の各設定にも適用可能であり、現在進行中であるB-DASHプロジェクト実規模実証の中で取り組んでいく予定である。水質予測AIにより水質予測結果を熟練技術者の判断材料とすることで、送風量や薬品量の削減を実現することも期待できる。これにより技術継承だけでなく温室効果ガス排出量の削減につながる成果を示していく所存である。

【著者紹介】 上原 洋平 (かんばん ようへい)

平成20年神戸大学海事科学部卒。平成25年広島市役所入庁（電気職）。下水道施設の設計積算、工事監理、計画等の職務に従事し、平成30年から現職。