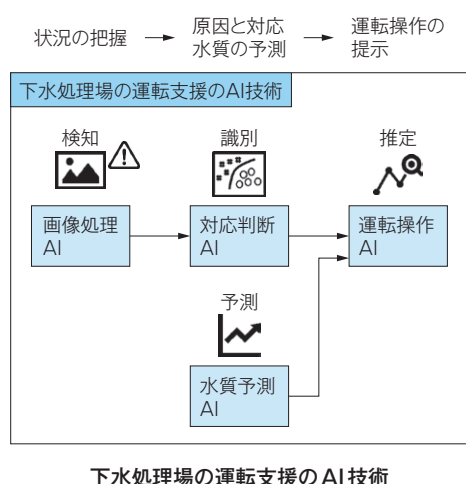


人工知能（AI）を活用した 下水処理場の運転支援

鮫島正一 Shoichi Sameshima
高倉正佳 Masayoshi Takakura
木村雄喜 Yuki Kimura
高瀬信彰 Nobuaki Takase

キーワード AI, 下水処理場, 運転支援, 技術継承

概要



人口減少に伴う熟練技術者の減少と技術継承、カーボンニュートラルの実現を見据えた温室効果ガス排出量の削減は、下水道事業を有する自治体にとって喫緊の課題である。当社では、熟練技術者が過去に実現してきた下水処理場の運転操作技術を人工知能（AI）化することで、これらの課題解決に取り組んでいる。本AI技術は、画像処理・水質予測・対応判断・運転操作の各AIが連動することを特徴とする。画像処理AIは、最終沈殿池のスカム浮遊を数や面積割合で示すことで異常判断を行うことができる。対応判断AIは、運転操作の判断を見える化し技術継承を実現する。実下水処理場でのAI技術による運転操作の例として、反応タンク溶存酸素（DO）設定のAI化による水質の安定性・判断の妥当性を示した。

1 まえがき

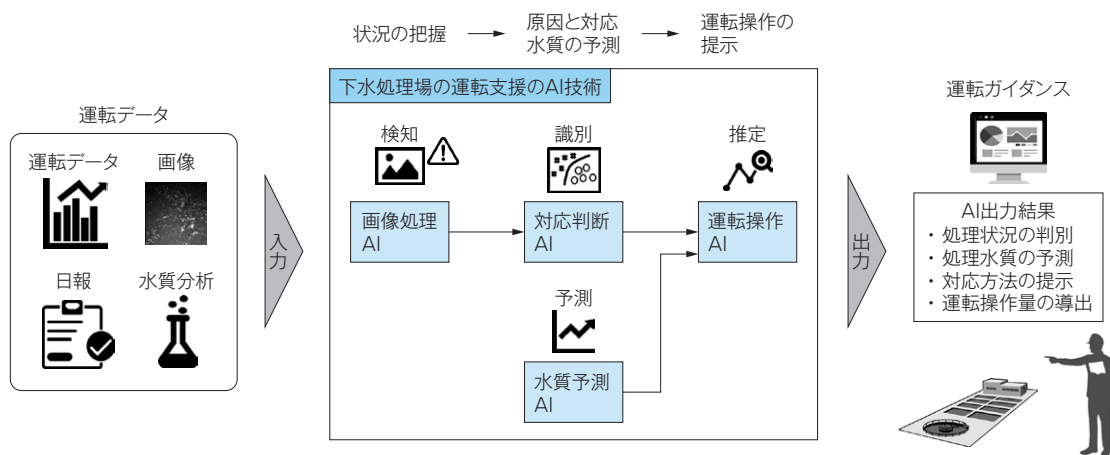
我が国の人口減少や高齢化に伴い、地方公共団体における下水道担当職員数は、1997年のピークと比較して約3分の2の水準に低下している。下水道施設の運転管理は民間委託が進んできているものの、団塊世代の職員の退職に伴い、下水道施設の運転管理に関する技術継承や人材育成に課題が残されていると考える。また、下水道事業の温室効果ガス排出量は、日本全体の約0.7%に相当する量を占めており、2050年のカーボンニュートラル実現に向けた下水道事業の取り組みが始まっている⁽¹⁾。

このような課題を解決するため、国土交通省はデジタルトランスフォーメーション（DX）による下水道の革新的技術を開発する取り組みを進めている。当社は過去の実現可能性調査で培った人工知能（AI）技術を活用し、運転操作技術の継承に対する

懸念を持つ広島市と船橋市、AIを活用した新技術の普及促進を図るコンサルタントとして(株)NJSの4者で共同研究体を構成し、『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』を実施中である。なお、本実証事業は、国土技術政策総合研究所から2021年度B-DASHプロジェクト^(注1)実規模実証の研究委託を受けて実施するものである。本稿では、本実証事業に関連し、当社が有する下水処理運転操作のAI技術の考え方や成果の一部を紹介する。

2 運転操作のためのAI技術

下水処理場で適切な運転管理の責任を持つ熟練技術者は、その施設における下水流入状況や設備の運用範囲の特徴を考慮し、自身のノウハウを基に運転操作を行う。熟練技術者の退職や自治体担当職員



第 1 図 AIによる運転支援ガイダンス

四つのAIが連携することで、日常の運転管理で得られるデータから、処理状況の判断や水質の予測結果、運転操作の方針と操作量をガイダンスする。

の人事異動、運転管理の委託業者の交代がある場合でも対応できるように、自治体は施設の高度な運転操作技術を共有し、その技術の維持に努める必要がある。

このような下水処理の運転管理の特徴を考慮したAI技術を当社で開発した。第 1 図にAIによる運転支援ガイダンスを示す。本AI技術では、四つのAIが連動して運転操作ガイダンスを行う。個々のAI技術の概要は、以下のとおりである。

- (1) 画像処理AI 人の目の代わりとなり、沈殿池の水面などの画像から処理の状況や異常を検知する。
- (2) 対応判断AI 水質や画像から原因と対応の関連を見える化し、今取るべき対策を絞り込む。
- (3) 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。
- (4) 水質予測AI 現在の操作及びAIが推定した運転操作量に対して処理水質を予測する。

画像処理AIで診断された異常は対応判断AIに引き継がれ、運転方針の決定に活用される。対応判断AIが出力した運転方針は、運転操作AIに引き継がれ設定値の導出に利用される。水質予測AIでは、運転操作の現状値と運転操作AIによる推論値で将来水質を予測し比較することで、設定変更のリスク判定ができる。対応判断AIで判断根拠を見える化して技術継承を行うことができるとともに、過去のデータを学習することで、従来の運転操作と比較し

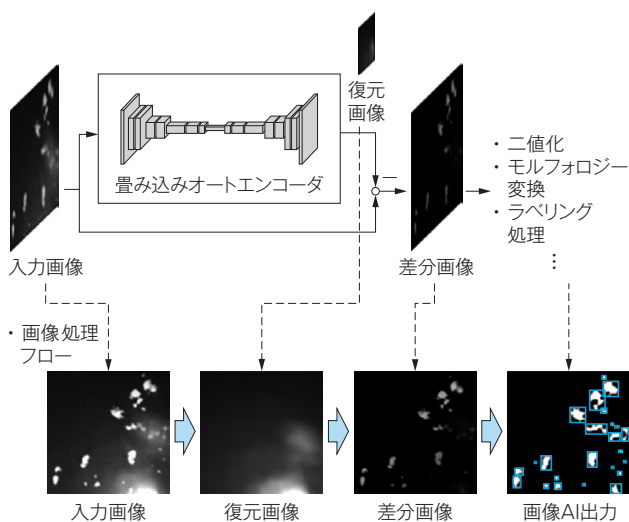
て温室効果ガス排出量の削減につながる先進的な運転操作支援を実現することが本AI技術全体の特徴である。

広島市及び船橋市の下水処理施設内に、AI推論を行うシステムを設置した。プロセスデータ・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。熟練技術者は、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でも処理水質が安定化することを確認するとともに、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示す。

下水処理場は多様な処理方式を採用しているが、標準活性汚泥法や嫌気無酸素好気法、小規模で採用例が多いオキシデーション・ディッチ法や回分式活性汚泥法に対応するAI技術を構築する予定であり、全国の下水処理場の約8割が本AI技術の適用対象となる見込みである。

3 画像処理AI

下水処理場では、毎日設備の巡回点検を行い、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



第2図 運転操作AIの概要

畳み込みオートエンコーダを中核とする画像処理により、最終沈殿池の浮遊物の数や識別範囲に占める面積比を求めることができる。

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、スカム浮上のほか、異常発泡や浮遊物(SS)の流出などが挙げられるが、このような池の状況を把握することは下水処理場の運転管理を行う上で大変重要な作業である。

このような池の状況を把握し、運転操作の方針に必要な情報を提示する画像処理AIを開発した⁽²⁾。

第2図に運転操作AIの概要を示す。最終沈殿池のスカム浮上をカメラで検知し、画像処理AIで判定した例である。カメラで撮影した画像は、畳み込みオートエンコーダ(CAE)と呼ばれる画像データを圧縮し、復元することができるアルゴリズムで処理される。ここで、CAEは微小のスカムを復元せず正常な水面の状況を復元するように学習させる「背景モデリング」と呼ばれる手法を採用している。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・個数・面積を特定することができる。異常の判断は、個数や面積にしきい値を設け、その値を超過した時点とする。

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。

最終沈殿池の浮遊物の異常検知として、30分ごとに撮影した画像を画像処理AIで処理した。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青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異常を判定し運転判断に活用できる。

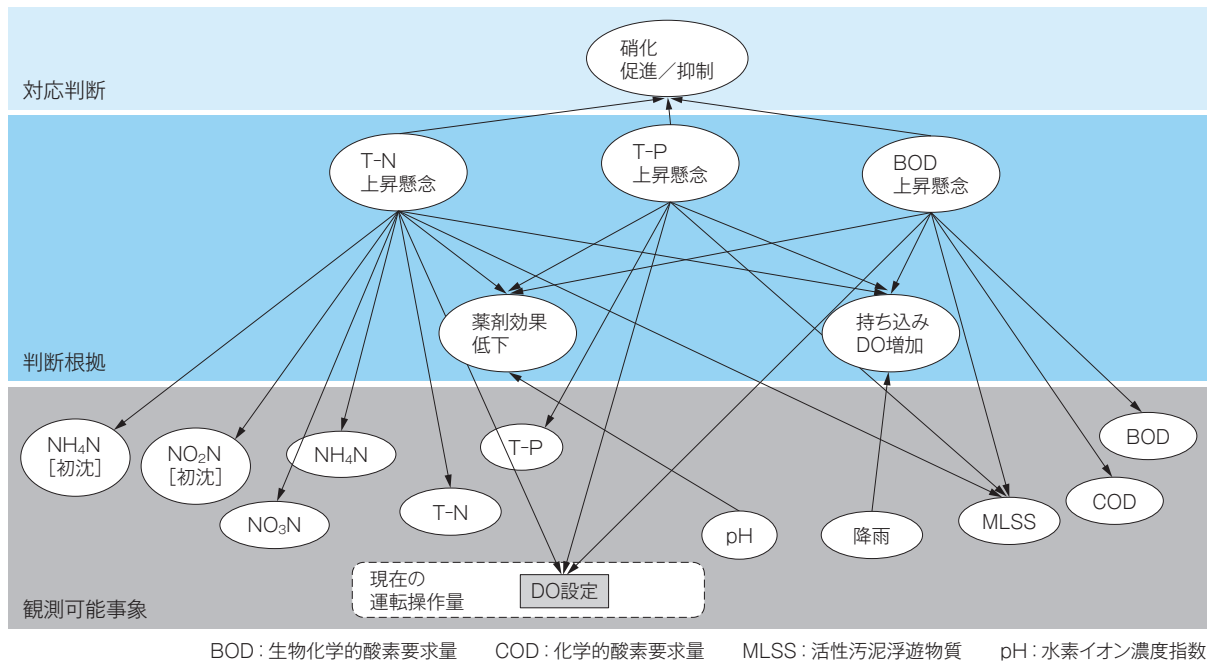
4 対応判断AIと運転操作AI

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、運転状況を与えることで運転操作の判断とその見える化が実現できる。

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で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。第3図に対応判断AIによる運転操作方針の明示化のイメージを示す。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している。観測可能事象層では、プロセスデータや水質分析結果など、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寄与す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、運転操作技術を継承できる。

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、そのほかのデータも利



第3図 対応判断AIによる運転操作方針の明示化イメージ

運転操作の方針を求め明示するため、観測可能事象層で観測データを示し、判断根拠層で操作のための原因を示す。

用して操作量を演算する。近年は深層学習（ディープラーニング）を利用したAIが注目されているが、下水処理の運転操作履歴や水質データ分析の頻度を考慮すると、深層学習として必要なデータを確保することは困難であると考え、深層学習とは異なる機械学習手法を採用した。

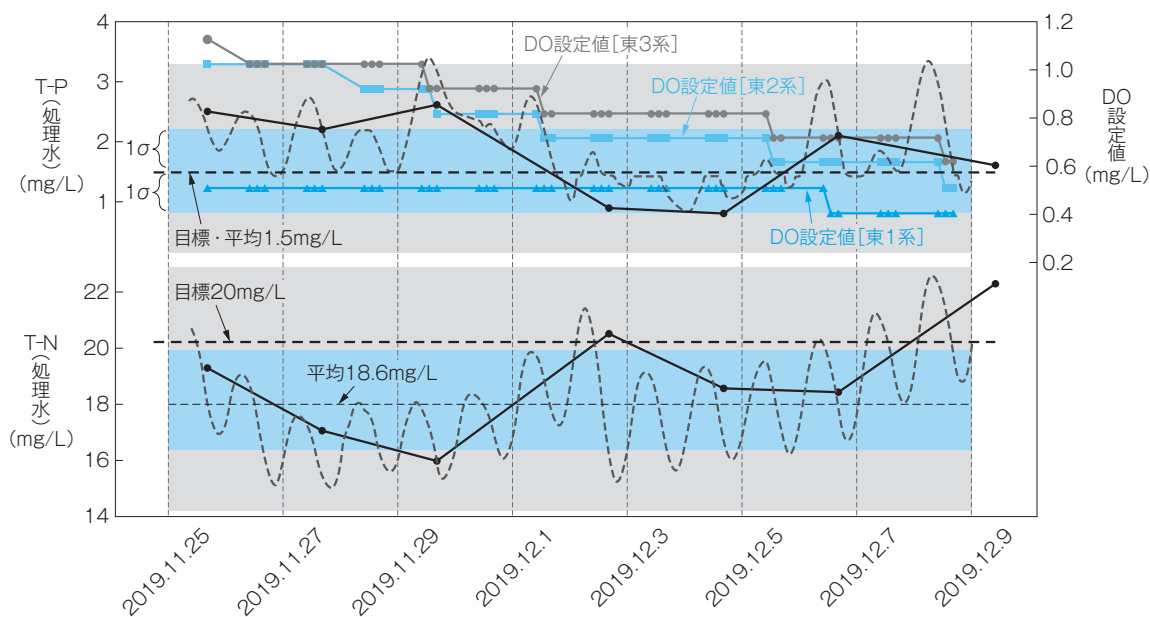
第4図にAIによるDO設定の運用例を示す。対応判断AIと運転操作AIの組み合わせで導出した運転操作量を広島市西部水資源再生センターの反応タンク溶存酸素（DO）制御の設定値導出に適用した例である⁽³⁾。日報や水質分析などの現在のデータをあらかじめ学習させた対応判断AI・運転操作AIに与え、東1系2池、東2系2池、東3系5池のDO設定値をそれぞれ導出し、処理水質をモニタリングした。AI導出は1日3回の頻度で計40回行い、現地の熟練技術者の判断比較も並行して実施した。AIと熟練技術者それぞれの判断は、40回中32回で一致した。残りの8回も、AIの判断は若干遅れがあるものの設定値は妥当であり許容できる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。2019年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る。

5 むすび

下水処理場の運転操作技術の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などの各設定にも適用でき、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によって水質予測を熟練技術者の判断材料とすることで、無駄な送風量や薬品量の削減を実現することも期待できる。過去の多くの運



第4図 AIによるDO設定の運用例

AIが導出したDO設定で運用することで、放流水の全りん（T-P）や全窒素（T-N）を運用範囲に収めることができている。

転データを活用してAIがよりよい運転結果を学ぶことで、技術継承だけでは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。

最後に、下水処理場における本AI技術の実規模実証の機会を与えていただいた国土交通省、施設の利用許可並びに運用方針やデータのご提供をいただいた広島市及び船橋市、並びに普及展開戦略の策定にご協力いただいた(株)NJSの関係各位に感謝の意を表する次第である。

・本論文に記載されている会社名・製品名などは、それぞれの会社の商標又は登録商標である。

(注記)

注1. B-DASHプロジェクト：国土交通省が2021年度から実施している下水道革新的技術実証事業（Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project）の略

《参考文献》

- (1) 国土交通省ホームページ：『脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会』第1回（令和3年10月1日）会議資料 http://www1.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000734.html（2022年1月21日）
- (2) 高瀬信彰ほか：「量み込みオートエンコーダを用いた下水処理施設の異常検知」, DIA2020 動的画像処理実用化ワークショップ, pp.276-282, 2020
- (3) 木村雄喜ほか：「AIによる下水処理場運転判断導出技術の検証」, 第57回下水道研究発表会講演集, pp.889, 2020

《執筆者紹介》

	<p>鮫島 正一 Shoichi Sameshima ソリューション企画部 上下水道システムの研究開発に従事</p>
	<p>高倉 正佳 Masayoshi Takakura 水インフラ営業・技術本部技術部 社会インフラソリューション関連のシステム開発に従事</p>
	<p>木村 雄喜 Yuki Kimura 先進技術研究所 AI関連の製品技術サービスの研究開発に従事</p>
	<p>高瀬 信彰 Nobuaki Takase 先進技術研究所 AI関連の製品技術サービスの研究開発に従事</p>