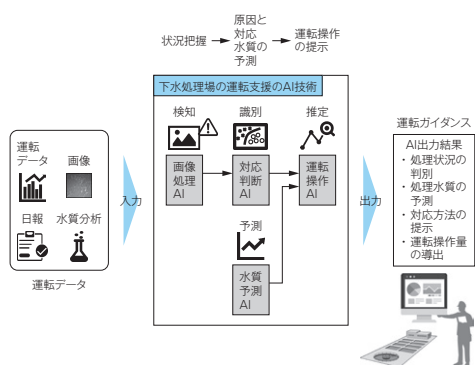


人工知能（AI）による下水処理場 運転操作のガイドライン策定

鮫島正一 Shoichi Sameshima
中田昌幸 Masayuki Nakata
酒井孝輔 Kosuke Sakai
徐 鄭 Jo Tei

キーワード 人工知能（AI）、下水処理場、運転支援、技術継承、ガイドライン

概要



AIによる運転支援ガイドランスの構成

現在、人口減少による熟練技術者の不足や技術継承が懸念されている。下水処理場は多くのデータや設備の制約を勘案し、熟練技術者の経験を基に運転することが多い。当社は、技術継承に対する懸念を解消するため、下水処理場の運転の特徴を考慮し、運転方針を導出する過程や結果を見える化する人工知能（AI）技術を開発した。国土交通省国土技術政策総合研究所B-DASHプロジェクトの実証研究として、開発したAI技術を広島市・船橋市・(株)NJSと共同で性能検証を実施した。その結果、フロックやスカムの検出といった処理状況の判別だけでなく、運転方針の導出においても目標性能を満たすことを確認した。これらの研究成果を含むAI技術導入に関する情報は、国土交通省国土技術政策総合研究所がガイドライン（案）として公開し、日本国内及び海外で普及が望まれる技術であることを提示した。

1 まえがき

少子高齢化に関する問題は下水道分野においても例外ではない。全国下水道担当職員は、平成9年度の約47,000人をピークに減少に転じている。平成30年度の時点で下水道担当職員は、ピーク時の60%に減少しており、維持管理担当職員数は平成14年度から現在まで約12.3%減少している⁽¹⁾。特に機械・電気・水質など高い専門性を要する業種においては職員減少の割合が大きいとされている。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、運転管理に関する技術継承や人材育成が大きな課題である。今後も技術職員の減少が見込まれるため、下水処理設備の運用レベルを持続するためには、熟練技術者のノウハウを継承し、経験の浅い職員でも熟練技術者と同等の運転管理を支援する技術が期待されている。

この状況を踏まえ、国土交通省は、下水道の革新的技術を開発する“B-DASHプロジェクト（Breakthrough by Dynamic Approach in Sewage High Technology Project）”を実施している⁽²⁾。B-DASHプロジェクトでは、下水道事業が抱える様々な課題に対応するために国が主体となって実規模レベルの施設を設置して技術的な検証を行う。また、開発した技術のガイドライン化により革新的技術の全国展開を図ることを目的とする。

当社は、この課題を解決するため、下水処理場の運転操作の分野で熟練技術者のノウハウを継承する人工知能（AI）技術を開発した。これらの技術を普及促進するため、フィールド及びデータを提供する広島市と船橋市、新技術の普及促進を図るコンサルタントとして(株)NJS、当社の4者で共同研究体を構成した。国土技術政策総合研究所から令和3年度B-DASHプロジェクト実規模実証『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研究』(以下、実証研究)として研究委託を受けた。本実証研究では、AIによる下水処理場運転操作技術の見える化及び技術継承、熟練技術者の運転方針との比較並びに、水質の安定と維持管理コストなどの低減について令和5年度までに実証した。これらの成果は、国土交通省から令和7年7月に「AIを活用した下水処理場運転操作の先進的支援技術 導入ガイドライン(案)」(以下、ガイドライン(案))として国土交通省国土技術政策総合研究所のホームページで公開している³⁾。

本稿では、ガイドライン(案)の概要を紹介するとともに、下水処理場運転操作の見える化、及び実証研究の成果の一部を紹介する。

2 下水処理場の運転操作を支援するAI技術の概要

下水処理場における運転管理は、現状、熟練技術者のノウハウに基づいて運転操作を行っているのが実情である。例えば、反応タンクへの送风量などの操作量は、各所で採水した水質や、センサによってリアルタイム計測値などの項目を取得する。それらを判断材料として、長年培った知識と経験に基づいてそれらを総合的に判断して決定する。これらを踏まえ、当社は四つのAIで構成される運転支援技術を開発した。下水処理場の状況を把握し、運転時に発生した異常の原因とそれに対する対応を推定するとともに水質を予測する。下水処理場最終沈殿池の状況を把握する「画像処理AI」、計測した結果から操作変更に至る原因と対応を推定する「対応判断AI」、処理水質を予測する「水質予測AI」、あるべき運転操作方法を提示する「運転操作AI」が連動してガイダンスを行う。

特に、対応判断AIでは運転判断の根拠が見える化することで技術継承に繋げる。また、過去の熟練技術者の運転判断履歴とその時の状況を示す水質や流量などのデータと関連付けながら学習することで、AIが熟練技術者と同様の判断を行う。この結果、温室効果ガス排出量の削減に繋がる運転操作支

援を実現することが本技術の特長である。個々のAI技術の概要は以下のとおりである。

- ・画像処理AI：熟練技術者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。
- ・対応判断AI：水質や画像処理AIの検知結果から原因と対応の関連が見える化し、状況に応じて対策を絞り込む。
- ・運転操作AI：対応判断AIが示した対策を踏まえ、最適な運転操作量を数値で提示する。
- ・水質予測AI：現在操作量及びAIが推定した操作量に基づいて、将来の処理水質を予測する。

本研究委託では、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。センサによる計測値や各所で採水した水質分析値、各沈殿池の画像データをオンラインで取得する。これによって、AIによる運転判断などを連続的に実行し運転操作をガイダンスする。現地の熟練技術者は、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。AIによるガイダンス結果で一定期間運転させた場合においても、熟練技術者の判断と同様、処理水質が安定化した。また、温室効果ガス排出量に寄与する消費電力量や薬品使用量の維持・低減ができることを示した。

3 ガイドライン(案)について

ガイドライン(案)は、実証研究の成果をもとに、国土交通省国土技術政策総合研究所が発行したものである。下水処理場における熟練技術者による良好な処理水質と電力及び薬品使用量の低減の両立を実現した運転管理をAIに学習させる。さらに、運転操作の支援を行うAIを作成することで、熟練技術者の運転管理を再現しノウハウを継承する。この技術は、若手技術者の育成を助け、全国や海外に普及されることを期待すると評価されている。

ガイドライン(案)の構成は以下のとおりである。

第1章：総則として、適用範囲や用語を定義

第2章：技術の概要と評価の概要を記載

第3章：導入検討の手順と効果や判断方法を提示

第4章：導入計画や設備設計

第5章：システムの維持管理や異常時の対応

資料編として、広島市や船橋市における実証結果についても記載している。

4 画像処理 AI

最終沈殿池で生じるスカムやフロックは、BOD (Biochemical Oxygen Demand：生物化学的酸素要求量) やSS (Suspended Solids：浮遊物質量) などの処理水質に対して悪影響を及ぼす。そのため、定期的に最終沈殿池の状態を確認し、これらの発生を抑えるための運転操作を行う。スカムやフロックの確認は、作業員が目視で巡回点検している。

これらの確認作業を代替するため、異常検知手法を構築した。構成は、①画像加工機構・②画像推定機構 (撮影画像の各ピクセルが背景・スカム・フロックの中のどのクラスに属するかを推定して、セグメンテーションマップを出力) ・③異常判定機構、④異常通報機構である⁽⁴⁾。この技術を画像処理 AI と呼んでいる。

最終沈殿池に固定カメラを設置して30分周期で画像を撮影した。第1表に画像処理 AI の評価結果を示す。判定の結果、船橋市で撮影した1050枚ではスカム検出の真陽性率100%、偽陽性率3%であった。広島市で撮影した450枚ではフロック検出の真陽性率94%、偽陽性率0.25%であり、本AI技術が高い性能を示した。

第1表 画像処理 AI の評価結果

最終沈殿池に浮遊するスカムやフロックはAIによって、目標より高精度で検出できることを確認した。

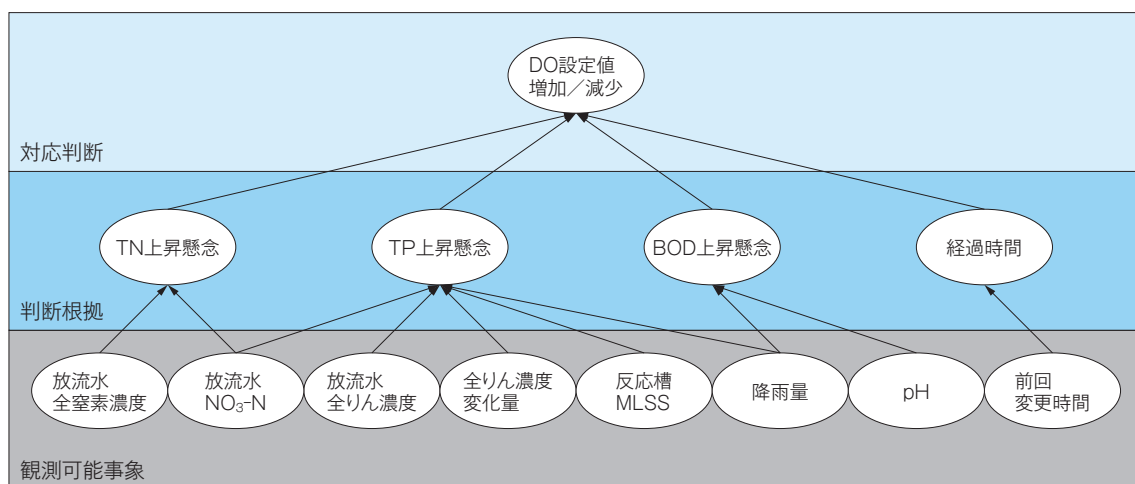
実証項目	目標効果	達成度
画像処理 AI	真陽性率：90%以上 偽陽性率：10%以下	[スカム浮上] 真陽性率：100%、 偽陽性率：3% [フロック浮遊] 真陽性率：94%、 偽陽性率：0.25%

5 対応判断 AI 及び運転操作 AI

対応判断 AI は、流量や水質センサなどで取得されるリアルタイム計測値や水質分析結果から運転操作の方針を導出する技術である。運転操作の方針とは、例えば水質分析の結果、処理水の全りん濃度が高く、想定よりも嫌気状態にできていないと判断した場合は送風量を減らす。一方、全窒素濃度が高く空気が不足していると判断した場合には、送風量を増やし硝化を促進させる。このように運転の方向性を示す。水質や流量などの観測項目と運転操作の方針を関連付ける方法として、ベイジアンネットワークと呼ばれる手法を採用した。ベイジアンネットワークは複数の入力変数の間の定性的な因果関係をネットワーク構造で表現する。さらに、個々の変数間の定量的な関係を条件付確率で表した確率モデルである。このモデルは、確率計算によって不確実性を含む事象の予測やシステムの制御・障害診断などに利用できることが大きな長である。この方法のメリットは、過去の運転判断のブレを確率的に扱える点にある。さらに、観測した項目から運転判断に至るまでの各項目間の対応関係を見える化できる点もある。

第1図に対応判断 AI を構成するベイジアンネットワークによる観測可能事象と対応判断などとの関連を示す。本図のとおり、「観測可能事象層」「判断根拠層」「対応判断層」の3層で構成したベイジアンネットワークで構成される⁽⁵⁾。観測可能事象層は、水質などのセンサのリアルタイム計測値や水質分析結果など、実測した各種データである。判断根拠層は、観測データと関連する運転操作の変更に寄与する因子とする。高い確率を示した対応判断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・最終的な対応判断との関係が明示される。また、学習によって熟練技術者の運転判断が反映された対応判断 AI の運転判断イメージを経験の浅い技術者と共有し、運転操作技術の継承を行うことができるようになる。

第2表に対応判断 AI 及び運転操作 AI の実証結果 (令和5年度) を示す⁽⁵⁾⁽⁶⁾。実証の結果、一致率の目



DO: Dissolved Oxygen(溶存酸素量) TN: Total Nitrogen(全窒素)
 TP: Total Phosphorus(全りん) MLSS: Mixed Liquor Suspended Solids(混合液浮遊物質)

第1図 対応判断AIを構成するベイジアンネットワークによる観測可能事象と対応判断などとの関連

水質分析や観測データから処理に与える要因や、操作変更の方針を推論するイメージを示す。ツリーの関係はベイジアンネットワークというAIモデルとして解析に利用する。

第2表 対応判断AI及び運転操作AIの実証結果（令和5年度）

下水処理の運転での主要な操作をAIで推論した結果、熟練技術者と同じか異なっても運転適用を許可された割合（一致率）は、目標（それぞれ80%以上）を大きく超えた。

機場名	処理方法 処理能力	推定項目	一致率
広島市 西部水資源再生センター	標準活性汚泥法（擬似嫌気好気法） 307,200m ³ /日	DO設定（2系、3系）・送風量設定（4系、5系） 返送汚泥率設定（2系～5系） 次亜塩素酸ナトリウム注入率設定（東系・西系） 返流水PAC注入率設定	89～90% 98～99% 97% 99%
船橋市 高瀬下水処理場	嫌気無酸素好気法 102,000m ³ /日	PAC注入率設定（1系～5系）	95%

PAC：ポリ塩化アルミニウム

標80%に対して各項目とも高い値である結果を得た。

6 導入効果の試算

広島市での実証では、将来的に熟練技術者をAI代替した場合の導入効果を試算した。費用回収年は4.6年である。この結果は、処理水量・処理方法・採用するAIの数によって変動する。ガイドライン（案）には費用回収年計算の一例を示している。

7 むすび

本稿では、下水処理場の運転操作を支援するAI技術と実証研究の代表的結果を紹介した。日本各地

には、設置場所や流入条件などの様々な条件に対応するため多様な下水処理方式がある。本実証研究では、できる限り網羅するため、標準活性汚泥法・嫌気無酸素好気法・小規模処理場で採用例が多いオキシデーション・ディッチ法、回分式活性汚泥法におけるAI技術を構築した。その結果、全国の下水処理場の約8割が本技術の適用対象となった。また、海外でも同様の水処理方法を採用しており、本技術の海外展開も期待される。

本実証研究の成果が、下水道分野における技術継承や高効率運転の一助となることを期待する。

・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。

《参考文献》

- (1) 「下水道事業の現状と課題 ―持続可能な下水道事業とするために―」, 国土交通省 水管理・国土保全局 下水道部, 令和元年9月, <https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/content/001313228.pdf>
- (2) B-DASHプロジェクト(下水道革新的技術実証事業), https://www.mlit.go.jp/mizukokudo/sewerage/mizukokudo_sewerage_tk_000450.html
- (3) 国土交通省国土技術政策総合研究所:「B-DASHプロジェクトNo.44 AIを活用した下水処理場運転操作の先進的支援技術導入ガイドライン(案)」
<https://www.nilim.go.jp/lab/bcg/siryou/tnn/tnn1325.htm>
- (4) 徐鄭, 木村雄喜, 鮫島正一, 高倉正佳, 増屋征訓, 中橋達也, 小笹山秀夫, 信川貴紀, 齋藤宏之, 長谷川翔一, 石井淑大:「AIを用いた沈殿池の異常検知」, 第60回下水道研究発表会講演集, pp.1183-1185, 2023
- (5) 中田昌幸, 鮫島正一, 高倉正佳, 酒井孝輔, 増屋征訓, 川崎達也, 中橋達也, 信川貴紀, 長谷川翔一:「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研究」, 学会誌EICA(投稿中)
- (6) 石井淑大, 松橋学, 重村浩之, 鮫島正一, 高倉正佳, 中田昌幸, 酒井孝輔, 増屋征訓, 信川貴紀, 長谷川翔一:「下水処理場における対応判断および運転操作を支援するAI技術の需要把握と導入実証」, 土木学会論文集, Vol.80, No.25, 24-25035, 2024

《執筆者紹介》



鮫島正一
Shoichi Sameshima
水インフラ技術本部技術部
上下水道システムの研究開発に従事



中田昌幸
Masayuki Nakata
水インフラ技術本部技術部
下水処理システムの研究開発に従事



酒井孝輔
Kosuke Sakai
水インフラ技術本部技術部
下水処理システムの研究開発に従事



徐 鄭
Jo Tei
デジタル基盤開発部
AIに関連する製品技術サービスの研究開発に従事