

上下水道施設運用の省力化に貢献する CPSソリューション

CPS Solutions Contributing to Labor Saving at Water Supply and Sewerage Facilities

木村 彰秀 KIMURA Akihide 斗成 聡一 TONARI Soichi 穂刈 啓志 HOKARI Hiroyuki 平岡 由紀夫 HIRAOKA Yukio

国内の上下水道事業では、技術者不足が深刻化しており、限られた技術者数で施設運用していくための支援手段が求められている。

東芝グループでは、このようなニーズに応え、IoT (Internet of Things)・AI技術を活用し、熟練技術者が経験や知識で行っていた業務の支援に有効なCPS (サイバーフィジカルシステム)ソリューションを、上下水道統合プラットフォームTOSWACS-Nestaから提供し、施設の維持管理効率化及び省力化に貢献している。今回、TOSWACS-Nestaの蓄積データを活用して、上下水道施設の予防保全業務を支援するポンプ性能推定機能を開発し、その有効性を実証した。また、下水処理場の活性汚泥状態を自動で診断する技術の構築に向けて、水質指標の一つである活性汚泥のフロックサイズを顕微鏡画像から自動測定して定量化する技術を開発し、精度約90%以上を達成した。

There is a serious shortage of engineers at water supply and sewerage businesses in Japan, necessitating some means of support to run such facilities with a limited number of the qualified staff.

To meet these needs, the Toshiba Group utilizes Internet of Things (IoT) and artificial intelligence (AI) to enable the TOSWACS-Nesta integrated water supply and sewerage platform to provide cyber-physical systems (CPS) solutions which are effective for supporting tasks that are conventionally handled by skilled engineers based on experience and knowledge, contributing to streamlined facility maintenance and labor-saving efforts. Using the accumulated data from TOSWACS-Nesta, we have developed a pump performance estimation function that supports preventive maintenance tasks at water supply and sewerage facilities and have verified its efficacy. With the goal of building technology for automated diagnostics of activated sludge at sewage treatment plants, we are also developing technology that automates and quantifies the measurement of activated sludge floc size from microscope images, which is one indicator of water quality, achieving over approximately 90% accuracy.

1. まえがき

我が国では、人口が減少する社会状況になったことから、上下水道事業において、自治体職員の技術者不足、技術継承の受け皿となる若手の不足といった問題が深刻化している。今後は、現在よりも少ない人数で上下水道施設の運用レベルを維持することになるため、業務を処理しきれなくなる可能性がある。限られた人数でこれまでと同じ施設運用や市民サービスを継続していくには、業務の多くを自動化・機械化していくことが必要である。しかし、業務の中でも、熟練技術者の経験や知識によって行われていた診断業務は、暗黙知に位置付けられており、一般的には自動化・機械化することが困難とされている。また、熟練技術者から若手への技術継承を支援するためにも、暗黙知によって遂行されている業務の形式知化が重要である。

東芝グループでは、上下水道事業の課題解決への貢献を目的として、上下水道統合プラットフォームTOSWACS-Nestaのサービス提供を2021年4月に開始した。TOSWACS-Nesta

は、IoT・AIを活用したCPSソリューションを実装しており、上下水道施設の様々なデータを収集・蓄積し、豊富なコンピューティングリソースによって、新たな価値提供を展開している。

新たに提供する価値の一つとして、技術者不足の解消や技術継承に役立つ診断業務支援機能を備えており、暗黙知の形式知化を進めることで、施設の運用に関わる技術者が行っていた業務を代替するソリューションを提供し、施設運用の省力化に貢献している。

ここでは、TOSWACS-Nestaに実装される診断業務支援機能と、省力化を実現する技術について述べる。2章では、収集した既存データ(消費電力、運転/停止、流量、圧力)を利用して診断業務を支援するポンプ性能推定機能について、3章では、顕微鏡観察業務を省力化する活性汚泥画像診断技術について述べる。

2. ポンプ性能推定機能

2.1 開発の背景と目的

施設・設備を安定的に維持し、稼働させるためには、異常兆候を早期に把握し、故障を未然に防止する予防保全が重要である。保全担当者は、予防保全の対象とする設備の優先度を決定する際に、設備導入後の経過年数に基づく時間基準保全(TBM)の視点だけでなく、日常点検などから得た設備の状態に基づく状態監視保全(CBM)の視点も加えて判断している。CBMは、熟練技術者の経験や知識に依存しているが、熟練技術者が減少しており、従来の方法による予防保全の優先度決定が難しくなっている。

そこで、TOSWACS-Nestaに蓄積している膨大なデータを活用し、保全担当者の経験や習熟度によらない客観的なCBM指標を自動的に算出して提供することで、より合理的な保全管理を実現し、上下水道事業における関係者間の合意形成や意思決定を支援することを目的として、開発を推進した。

診断業務を支援する対象には、多くの上下水道施設で稼働しているポンプ設備を選定し、ポンプの性能をエネルギー変換効率から推定することで、保全担当者の診断業務を支援するポンプ性能推定機能(以下、ポンプ性能推定と略記)を開発した。

2.2 特長

ポンプ性能推定は、図1に示すとおり、各ポンプの消費電力や運転/停止の状態、全体の流量、吐出圧力の計測データを、TOSWACS-Nestaに収集・蓄積しているポンプ設備を対象としている。これらの蓄積データを活用し、2.3

節で述べる技術を用いて、新たなセンサーやシステムを追加せず、ポンプ個別の流量-圧力、流量-電力、流量-総合効率といった各性能曲線を推定して、経時変化を可視化する。多くのポンプ設備への適用を可能とするため、メーカーを問わず、斜流ポンプ及び遠心ポンプを対象としている。

2.3 個別流量推定技術、性能曲線可視化技術

各ポンプで流量、圧力、消費電力を計測できれば2.2節で述べた各曲線を計算できる。しかし、実際の設備では運転・維持管理の必要性や経済性から、ポンプ個別に計測しているのは消費電力だけであり、流量と吐出圧力は合流部で計測している例が多い。吐出圧力は運転しているポンプで共通と考えて差し支えないため、特に重要なのは、計測している合流部の流量から、運転しているポンプ個別の流量を合理的に推定することである。ポンプ性能推定では、運転号機の組み合わせが入れ替わりながら運用されている1か月間程度の分単位データを基に、吐出圧力変動の影響を考慮しつつ、各瞬間の合計流量から統計的にポンプ個別の流量を推定する。

この方法で推定した個別流量と吐出圧力の関係、及び各瞬間の消費電力を基に、納入時や整備後の試験成績に記載されている各性能曲線を、現在の性能へ補正する形で経時変化を可視化する。推定した曲線における定格流量での圧力、電力、効率に着目して経時変化を数値で捉え、トレンド表示することで、長期的な経時変化の傾向も可視化できる。

これまで13機場でポンプ性能推定を検証した。ポンプ性能推定を用いてポンプ設備の更新前(2017年12月)と更新後(2019年3月)の消費電力の推定結果を比較した事例

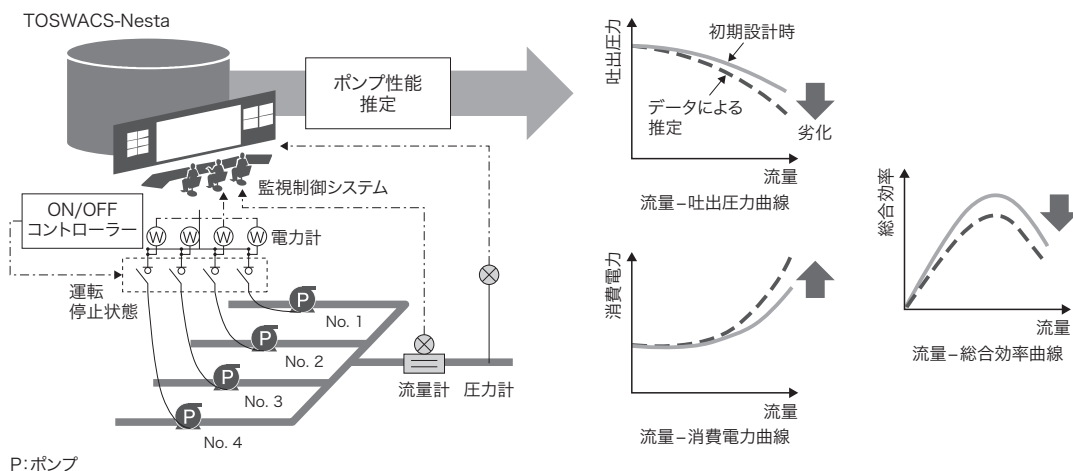


図1. ポンプ性能推定の概要

TOSWACS-Nestaに収集・蓄積しているデータを基に、新たなセンサーやシステムを追加せず流量-圧力曲線などのポンプ性能の評価を可能とする。

Overview of pump performance estimation

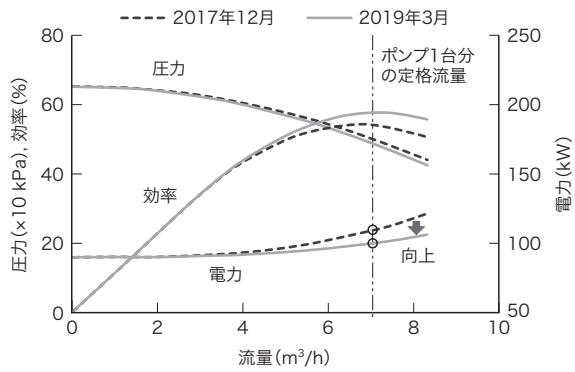


図2. ポンプ設備更新前後のデータを用いたポンプ性能推定の性能検証

更新前後のデータを用いてポンプ性能を推定した結果、総合効率と消費電力における性能向上を確認した。

Pump performance estimation evaluation using data from before and after pump equipment updates

では、図2に示すように、1台分の定格流量に対して消費電力の低下という性能の向上が見られた⁽¹⁾。一般に、更新後は性能が向上する傾向にあることから、ポンプ性能推定により実際の傾向と一致した結果が得られることを確認できた。消費電力の変化は設備更新により短期間で得られた性能変化の事例であるが、設備の経年劣化のような、より長期にわたる変化も可視化できる。

ポンプ設備の修繕や更新時期の支援情報として利用するために、ポンプ性能推定の結果を継続的に可視化する機能を製品化し、TOSWACS-Nestaに実装済みである。

2.4 今後の展開

下水道分野において、このポンプ性能推定を、送風機設備（ブロワー）に転用し、ブロワー性能推定に適用できるか否かを検討している。

また、最終的には、熟練技術者がいなくても上下水道施設の維持管理の効率化に貢献できるようにすることを目指しており、ポンプ設備の更新時期の決定に役立つポンプ設備の健全性、更には余寿命を数値化することを目標としている。

目標達成には大量のデータを長期にわたって数多くのプロセスで蓄積し分析することが重要である。これまで適用してきた機場での分析を継続していくとともに、適用機場を拡大して知見を獲得していく。

3. 顕微鏡観察業務を省力化する活性汚泥画像診断技術

3.1 開発の背景と目的

下水処理場において、適正な下水処理を行うためには、活性汚泥の状態を常に良好に保つことが極めて重要である。

このため、水質担当者の業務の一つとして、採取した活性汚泥の状態や処理状況を判断するために、顕微鏡による観察業務が行われている。

顕微鏡観察を行うことで、活性汚泥中の細菌が凝集したフロックと呼ばれる塊のサイズや形状の均一性、糸状菌の有無などを目視にて確認できるとともに、運転障害の原因分析や障害要因の早期発見などにもつながる。例えば、活性汚泥法の運転障害の一つである最終沈殿池の処理水の濁りは、糸状菌の過剰増殖、微細なフロックの出現などが要因となって生じる。顕微鏡観察は、このような要因を発見する有効な手段となる。しかしその一方で、活性汚泥の顕微鏡観察には、高度な知識と多くの経験が必要とされるため、経験の浅い水質担当者は運転障害の要因の判断に時間が掛かるなど、顕微鏡観察の結果を十分に活用できないことがある。

そこで、活性汚泥を顕微鏡で撮影した画像（以下、活性汚泥画像と略記）を基に、活性汚泥の状態を自動的に診断する活性汚泥画像診断技術の開発を、現在進めている。これにより、顕微鏡観察業務の負担が軽減でき、更はその診断結果を基に、下水処理場の効率的な運転管理を行うことが期待できる。

3.2 特長

東芝グループの活性汚泥画像診断技術は、AI技術を活用することで、診断対象であるフロック、糸状菌、微生物を自動で検出し、更に、活性汚泥に関わる水質指標である、フロックのサイズ、糸状菌出現割合、微生物数を自動で測定することで、顕微鏡観察業務の省力化と診断精度の向上を実現する。

また、測定した水質指標を基に、活性汚泥の沈降性などの良否の傾向を自動で診断し、その診断結果などの情報については、UI（ユーザーインターフェース）を通じて運転員に効果的に提示することで、下水処理場における効率的な運転を支援する。

3.3 フロック定量化技術

活性汚泥画像診断技術において、診断対象の一つである、フロックのサイズを自動で測定するフロック定量化技術について述べる⁽²⁾。

フロック定量化技術は、図3に示すように、顕微鏡で撮影した活性汚泥画像からフロックが映る領域を抽出する検出処理と、抽出した領域からフロックのサイズを定量化する測定処理により構成される。検出処理では、ディープラーニングモデルを用いて、検出対象か否かを画素ごとに識別することで、フロックが映る領域を抽出する。明度の変化にかかわらず、精緻に検出するために、画像の明るさを変化さ

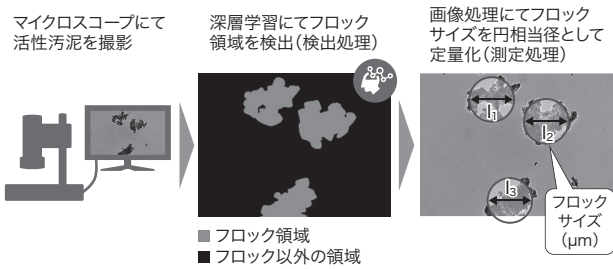


図3. フロック量化技術の概要

活性汚泥画像からフロック領域を検出し、領域ごとにフロックサイズとして円相当径を算出する。

Overview of floc quantification technology

せる画像処理により拡張した訓練データを用いて、深層学習モデルを訓練する。また、測定処理では、検出した領域ごとに画素数を求めた後、その画素数に相当する真円の直径（円相当径）を算出することで、量化されたフロックのサイズを得る。

このフロック量化技術の検出性能を、人工排水と実排水の活性汚泥画像を基に評価した結果、適合率（フロックと識別した画素数のうち、正しくフロックと識別できた画素数の割合）と再現率（フロックが映る領域を教示した画素数のうち、正しくフロックと識別できた画素数の割合）が共に約90%以上となり、フロックを精度良く検出できた。一方で、測定結果から、円相当径が300 μm未満の微細なフロックの検出誤差が、測定誤差に影響を及ぼすことが分かった。今後、訓練データの追加や画像処理による拡充を行い、検出誤差の減少により、測定精度の向上を図る必要がある。

3.4 今後の展開

3.3節で述べたフロック量化技術以外の水質指標である、糸状菌出現割合、微生物数の量化についても、現在、技術開発を進めており、診断精度の向上を目指している。これらの量化が可能になれば、測定した水質指標を基に、例えば、フロックの平均サイズが大きくなった場合は活性汚泥の沈降性が良好な傾向にあり、糸状菌割合が多くなった場合は活性汚泥の沈降性が悪化する傾向にある、といったように、活性汚泥の沈降性などの良否の傾向を自動で診断することも可能になる。診断結果などの情報については、UIを通じて監視制御システム内の運転管理データや、活性汚泥画像、アイコンなどを組み合わせて運転員に効果的に提示することで、下水処理場における効率的な運転を支援できると期待している。

今後、実際の下水処理場における実証も行うことで、顕微鏡観察業務の省力化及び施設運用の効率化に貢献するソリューションとして実用化できるように、取り組みを進めていく。

4. あとがき

診断業務を支援し省力化に貢献するCPSソリューションであるポンプ性能推定、活性汚泥画像診断技術について述べた。

東芝グループでは、今回報告したソリューション以外にも、水処理プロセスに関する業務などを支援するCPSソリューションの提供及び開発を進めている。

今後も、上下水道事業に広く貢献できるように、引き続き技術開発を推進していく。

文献

- (1) 難波 諒, ほか, “監視データを利用したポンプ性能推定技術の長期評価”. 令和3年度全国会議(水道研究発表会)講演集, オンライン開催, 2021-12, 日本水道協会, 2021, p.534-535.
- (2) 間嶋義喜, ほか, “活性汚泥診断の自動化に向けたフロック量化技術の開発”. 第59回下水道研究発表会講演集, 東京, 2022-08, 日本下水道協会, 2022, p.817-819.



木村 彰秀 KIMURA Akihide
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 水・環境システム技術第二部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



斗成 聡一 TONARI Soichi
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 水・環境システム技術第一部
電気学会・環境システム計測制御学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



穂刈 啓志 HOKARI Hiroyuki
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 水・環境システムPPP事業開発部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



平岡 由紀夫 HIRAOKA Yukio
東芝インフラシステムズ(株)
社会システム事業部 水・環境システム技術第一部
計測自動制御学会・電気学会・環境システム計測制御学会会員
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.