

濁水処理設備の自動化に関する取り組み

Efforts towards the automation of turbid water treatment facilities

辻岡 高志*

Takashi Tsujioka

井上 洸也**

Koya Inoue

山本 悟*

Satoru Yamamoto

原 圭太***

Keita Hara

要 約

濁水処理設備の担当者は、汚濁水の水質に合わせて薬品の添加量を調整する必要があり、湧水が常時発生するトンネル現場においては、担当者の拘束時間の短縮が課題とされている。そこで、濁水処理設備内の全ての水質データとフロクの形成状況からAIが各種薬品の添加量を自動で調整・添加するシステム「FlocTrack（フロクトラック）」を開発した。本システムにより濁水処理設備担当者の拘束時間を短縮することが可能である。

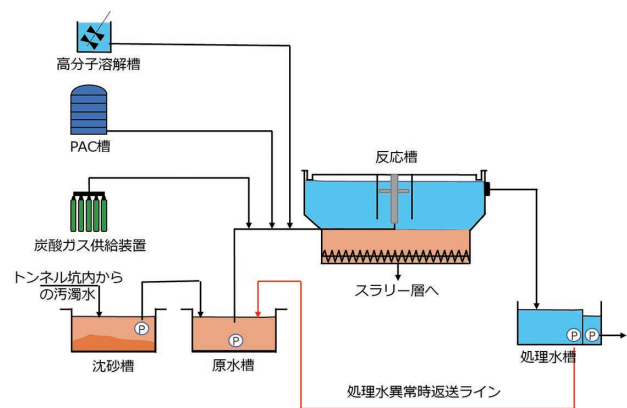
目 次

- § 1. はじめに
- § 2. システムの概要
- § 3. 機器構成とAIの判定フロー
- § 4. システムの特長
- § 5. 適用結果
- § 6. まとめ

§ 1. はじめに

山岳トンネル工事において、発生した汚濁水は濁水処理設備にて炭酸ガス等による中和処理とPAC（ポリ塩化アルミニウム）等の無機凝集剤と有機系高分子凝集剤による凝集処理が施され、濁度やpHといった環境影響項目の排水基準を満たしてから河川等へ放流される（図－1）。汚濁水の性状は地質の変化や切羽で実施中の工種によって刻一刻と変化するため、濁水処理設備の担当者は集水された汚濁水の処理状況を現地で定期的に目視点検し、フロクの形成状況（土粒子の凝集状況）や処理水槽での濁度やpHを基に各種薬品の添加量を調整する必要がある。トンネルからの湧水は常時発生することが多く、休日でも濁水処理設備は稼働するため、担当者の拘束時間の短縮が課題とされる。

そこで筆者らは、近年その発展が目覚ましいAIを活用して、集水された汚濁水の性状に合わせて各種薬品の添加量の調整を自動化することで、濁水処理設備の担当者



図－1 濁水処理フロー図

の拘束時間の短縮による労働生産性の向上を図った。

本稿では、開発したシステムの概要や、現場への適用性の検討結果について述べる。

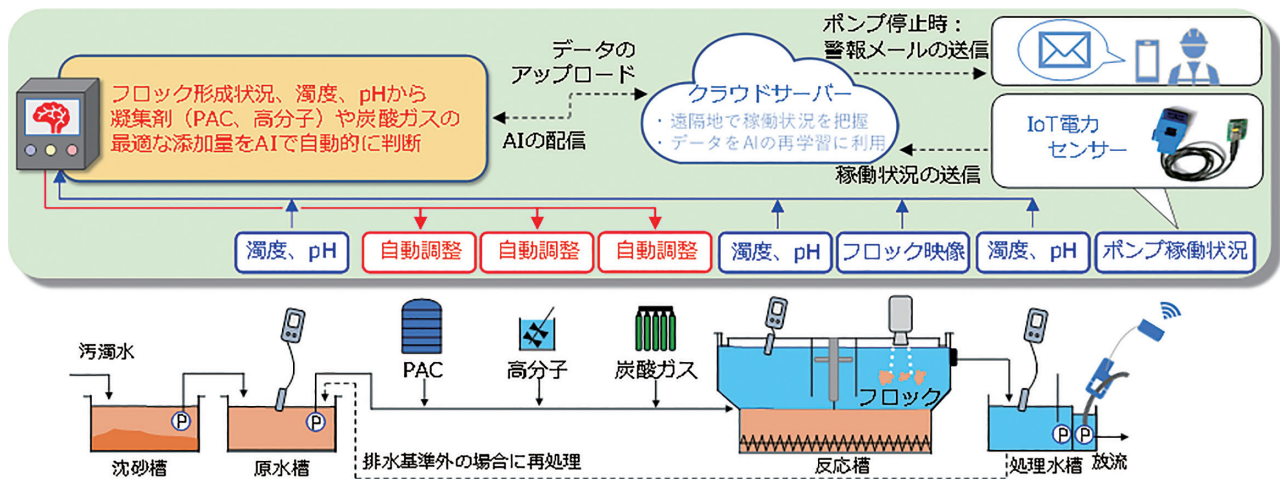
§ 2. システムの概要

本システム（図－2）は、濁水処理設備内に配置される原水槽、処理水槽、反応槽から取得できる水質データ（濁度、pH）と、反応槽でのフロクの形成映像を基に、発生した汚濁水に対する各種薬品（PAC、高分子凝集剤、炭酸ガス）の最適な添加量をAIで常に判断し続けて自動で添加することで、担当者の目視確認による拘束時間を短縮することができる。また、現場から突発的に大量の汚濁水が発生した場合においても、臨機応変に対応することができる。

* 技術研究所土木技術グループ

** 機材部

*** 西日本（支）不破原トンネル（出）



図ー2 本システムの概要図

§ 3. 機器構成と AI の判定フロー

3-1 処理映像撮影カメラ

各種水槽内の映像を取得するためにネットワークカメラを設置した。取得した映像データを AI の判定に活用するため、「映像が鮮明で、解像度やフレームレートの数値が十分に大きいこと」、「ネットワーク接続が安定するよう、PoE 給電方式であること」、「悪天候時においても撮影が安定すること」を選定条件とし、図ー3 に示すカメラを選定した。



項目	仕様
ビデオ解像度	1920×1080ピクセル
フレームレート	50/60fps
電源	PoE給電
防水規格	IP66
動作温度	-30～55℃
寸法	φ132×260mm
重量	800g

図ー3 処理映像撮影カメラ

3-2 原水槽の濁度計測

原水槽に集水される汚濁水は非常に高濁度となるため、通常の濁度計（最大計測値 3,000 mg/L）では計測することができない。そこで、原水槽の濁度計には最大濁度 25,000 mg/L までの計測が可能な SS チェッカー (TS-Mx-D) を選定した。本計測器には、計測レンズを清掃するためのワイパーが搭載されているため、定期清掃が可能となり、計測器の清掃作業を削減することができる。

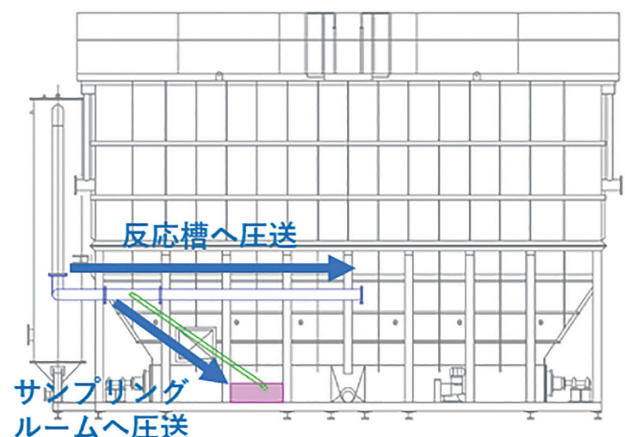


図ー4 サンプルルーム設置状況

3-3 フロック形成撮影設備（サンプリングルーム）

フロックの形成状況を安定した環境で撮影するために、サンプリングルーム（図ー4）を設置した。サンプリングルームはフロックの形成に支障をきたすことがないように、汚濁水に各種薬品が添加され反応槽へ圧送される配管を分岐させ、分岐部から自然圧送される位置に設けた（図ー5）。

AI の判定に用いる映像データは、一定の撮影条件が必要となる。そこで、太陽光を除去するためにサンプリングルームの周囲には遮光シートを設置した。また、フロックの形状を確認するために、サンプリングルームの側方向と下部には照明を設置した。



図ー5 サンプリングルームへの導水経路

3-4 水中ポンプ稼働監視

各水槽間で処理水を圧送するためのポンプを対象にIoT電力センサー（図-6）を設置することで、ポンプの稼働状況を常時監視する。本センサーは、カレントトランスと無線装置が一体となった無給電・無線電力センサーであり、設備の稼働時に電線周囲に発生する漏れ磁束を利用して発電を行い、発生させた電気を使用してポンプの電流値や電圧等のデータを無線送信する。一方、設備の停止時には発電が行われないため、データの取得や送信が途切れ、一定時間を超えてデータ送信が確認されなかった場合やデータ送信が復旧した場合には、通知が関係者に送信される。

なお、これらのデータは現場内のネットワークを通じてクラウドに蓄積される。

3-5 AIの判定フロー

本システムの判定フローを図-7に示す。反応槽におけるフロクの形成映像と各種水槽の水質データを基にして各種薬品の添加量を調整する。例えば、サンプリングルームへ処理水が流入してフロクの形成が確認できていて、放流槽の水質データが放流基準内であれば薬品の添加量は変更せずに処理を行い、フロクが形成が確認できなければ各薬品の添加量をAIが最適な量に調整する。また、サンプリングルームの映像が濁りが無く放流槽の水質データが放流基準内であれば、薬品の添加をしないように調整する。

§ 4. システムの特長

4-1 濁水処理設備の自動化

原水槽、放流槽の水質データと反応槽におけるフロクの形成映像を教師データとして構築したAIを用いて、汚濁水の処理に最適な添加量を自動で調整することで、担当者の目視確認による拘束時間を短縮することができる。

4-2 処理データの管理

原水槽、反応槽および放流槽に設置されたカメラ映像や、計測器で計測されているpHや濁度といった水質データ、各種薬品の添加量、日当たりの処理水量は現場ネットワークを通じてクラウドに自動保存される。

4-3 濁水処理設備の遠隔監視

原水槽、放流槽のカメラ映像と反応槽におけるフロクの形成状況、上記水槽の濁度とpH、水中ポンプの稼働状況等はWeb上で閲覧することができるため、週末や長期休暇等を含めた現場不在時においても、現場に行くことなく、濁水処理の状況を確認することができる（図-8、図-9）。

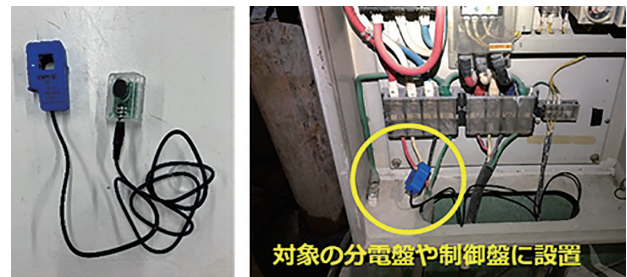


図-6 IoT電力センサー

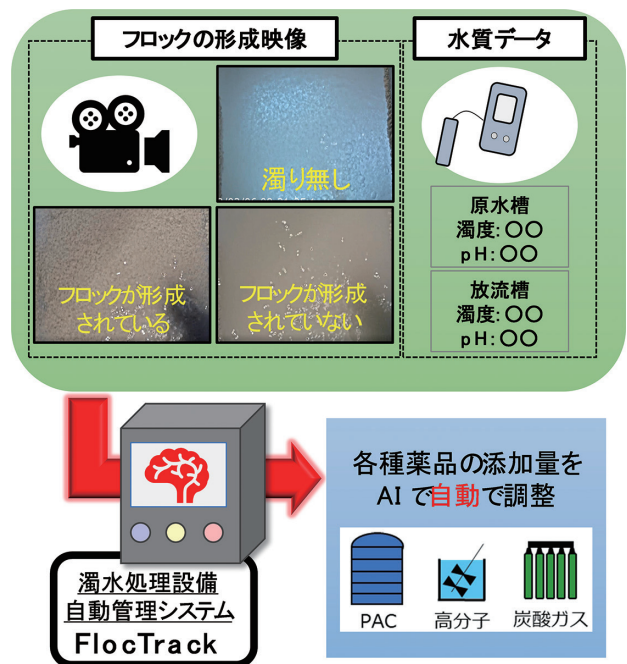


図-7 AIの判定フロー

4-4 薬品注入ポンプの遠隔操作

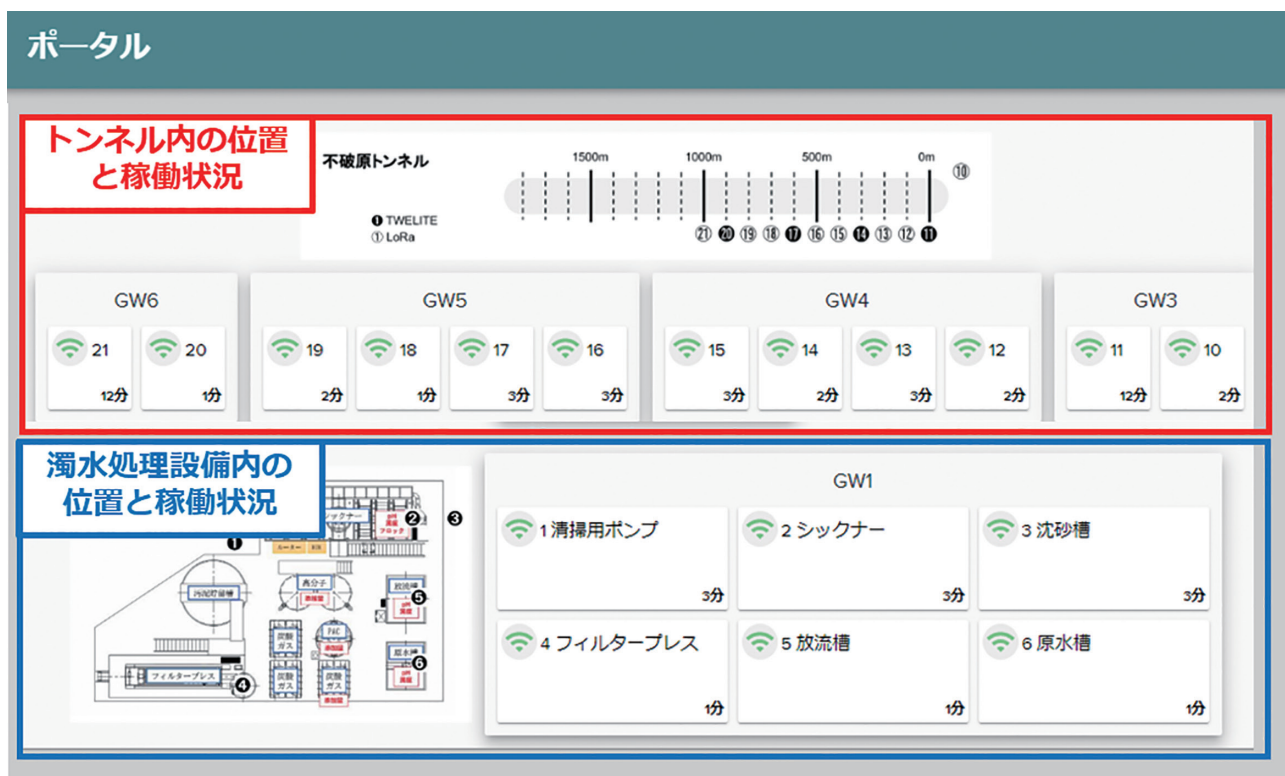
従来ダイヤル式で添加量を調整していた薬品注入ポンプをインバータ制御することが可能であり、万が一AIによる自動調整ができないケースにも対応することができる。周波数と添加量の関係は現場で使用している薬品注入ポンプごとに異なるため、実測している基準となる周波数を決定する。さらにWeb上のシステム操作画面から遠隔で周波数を変更することで、現場に行くことなく薬品の注入量を調整することが可能である。

4-5 AIの精度向上による過剰添加の防止

クラウドに保存されたデータを用いてAIの再学習を行うことで、調整精度を向上させることができ、各種薬品の過剰添加を防止できる。



図一八 濁水処理設備遠隔監視用 Web ページ



図一九 水中ポンプ監視用 Web ページ

§ 5. 適用結果

5-1 適用現場

弊社施工中の高知県のトンネル現場にて本システムの試行を行った。試行期間中は、トンネル掘削工及び覆工コンクリート工により発生する作業水と現場から発生する大量の湧水の処理を行った。現場には 150 m³/h 級の濁水処理設備が設置されている。

5-2 適用結果

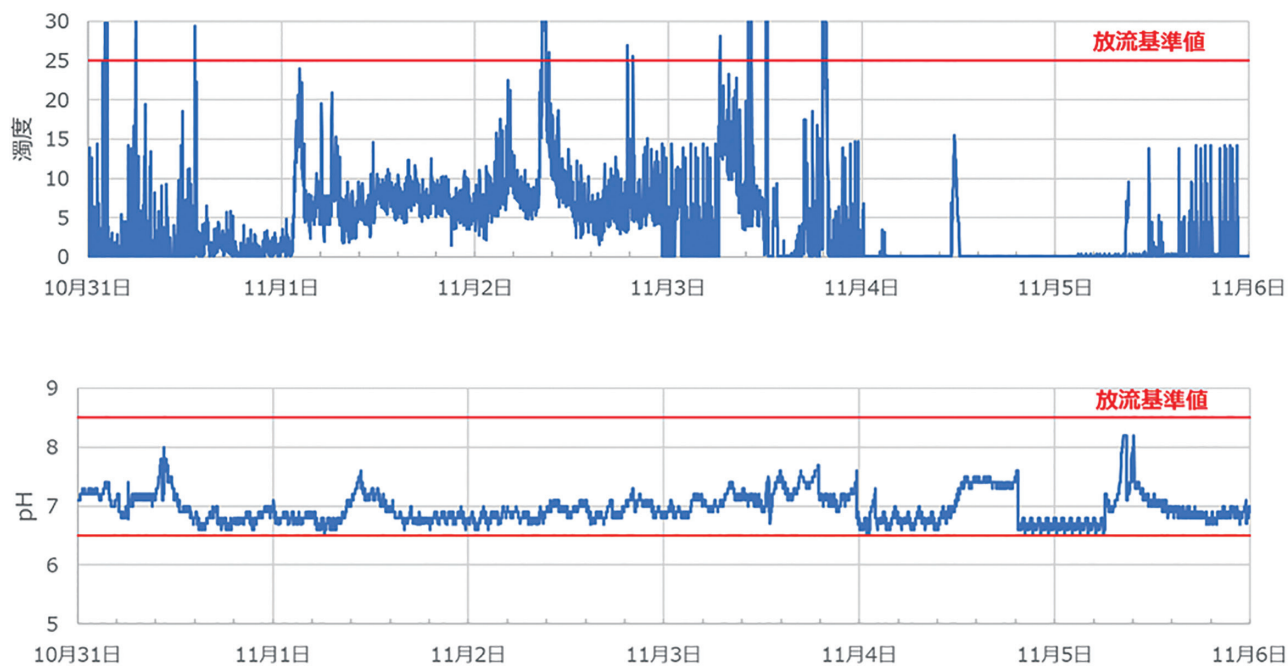
従来の担当者の目視点検による管理を行った時の水質データ (図一10) と本システムを適用した時の水質データ (図一11) を示す。従来の管理方法では、急な水質変化や担当者の確認不足によって処理水の濁度が排水基準から外れたことで、処理水の再処理を実施している。一方、本システムでは汚濁水の急な水質変化に対しても AI が常時自動で最適な添加量に調整し、処理水の排水基準

を満たすことで、再処理は一度も発生しなかった。

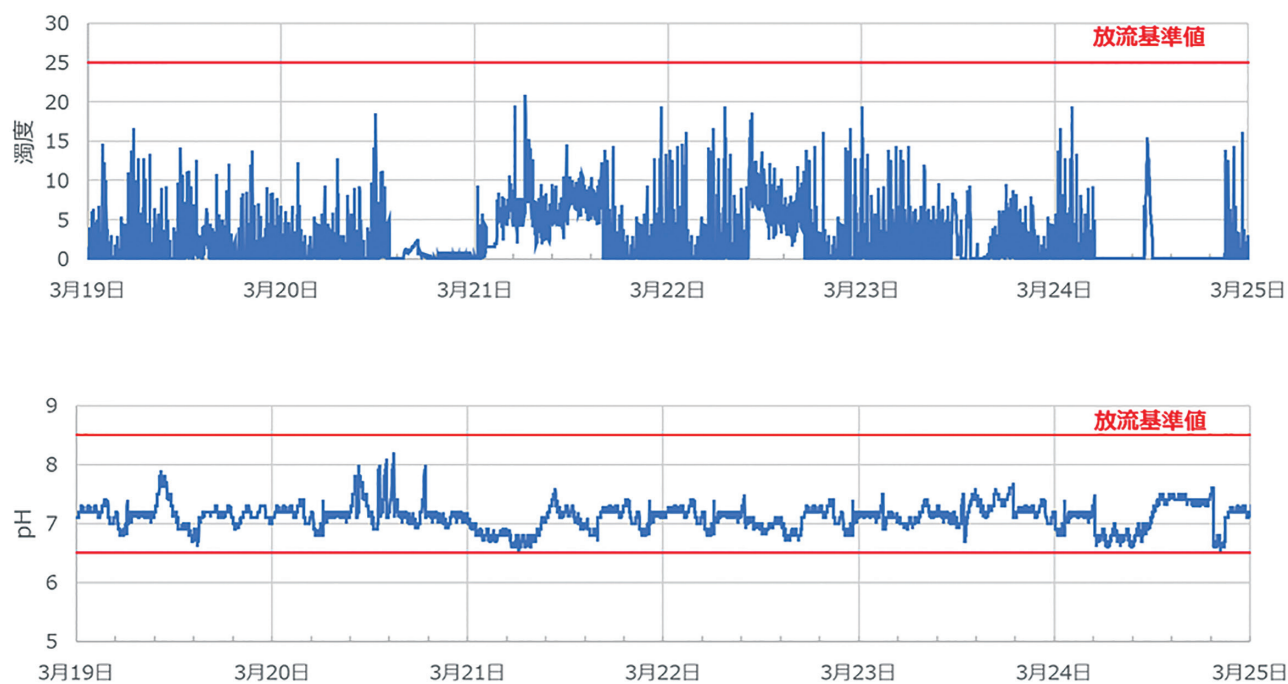
従来方法と本システムによる拘束時間を表一に示す。本システムによって処理状況の目視確認に要する管理時間がゼロとなり、高分子の作成や汚泥の加圧脱水作業に要する時間のみとなった。特に、休日における管理時間はゼロとなった。本システムの導入により、1週間当たりの拘束時間が730分から266分となり、約63%削減することができた。

表一 濁水処理設備拘束時間の比較

従来				本システム			
月	日	曜日	管理時間(分)	月	日	曜日	管理時間(分)
10	31	月	148	3	19	日	0
11	1	火	141	3	20	月	64
11	2	水	152	3	21	火	55
11	3	木	128	3	22	水	38
11	4	金	119	3	23	木	52
11	5	土	20	3	24	金	57
11	6	日	22	3	25	土	0
合計			730	合計			266



図一〇 水質データ（従来の管理方法）



図一一 水質データ（本システムの管理方法）

5-3 課題

(1) サンプリಂಗールームの清掃

長期間使用するとサンプリングールーム内にフロックが堆積し、処理状況の映像を撮影することができなくなってしまう。そのため、1週間に1回のサンプリングールーム清掃作業を行う必要がある。

(2) 分岐配管設置のための揚重作業

本システムは稼働中の濁水処理設備に対しても後付けで設置することは可能だが、サンプリングールームへの分岐配管を設置するために、処理水槽内の水抜きや配管を設置するための揚重作業が発生する。フロックの形成状況を安定して撮影を行うためにはサンプリングールームは必要であるため、より簡易な方法を検討中である。

§ 6. まとめ

本稿では、濁水処理設備を対象とした労働生産性を向上させるためのシステムについて述べた。濁水処理設備内の各種水槽から得られる水質データと反応槽で撮影したフロックの形成映像を基に、各種薬品の添加量を自動で調整・添加するAI活用システムを開発し、現場への適用を行った。その結果、本システムは汚濁水の急な水質変化にも対応でき、常時自動で最適な薬品添加を行うことで担当者の拘束時間を削減できることを確認した。今

後は、濁水処理設備を設置する現場での運用を積み重ね、より汎用的なシステムの構築を目指すとともに、薬品の作成や残数管理の自動化等に取り組み、濁水処理設備の全自動化を目指す。

謝辞. 本試行は国土交通省の令和4年度「建設現場の生産性を飛躍的に向上するための革新的技術の導入・活用に関するプロジェクト」の一環として「令和2-5年度窪川佐賀道路不破原トンネル工事」施工現場で行ったものである。また、監督員、現場の皆様、協力業者をはじめとした多くの方々には大変お世話になりました。感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 山本悟・三井善孝・石垣純一・岡竜：濁水処理設備自動調整システムの開発（フェーズⅠ）、西松建設技報VOL.43, 2020.
- 2) 辻岡高志・山本悟・原圭太・井上洸也・吉原崇将：濁水処理設備における薬液の添加量自動調整システムの開発, 土木学会第78回年次学術講演会, VI-1187, 2023.
- 3) 辻岡高志・山本悟・井上洸也・塚田純一・園田香織・佐藤博晃：濁水処理設備の自動管理システムの開発, 建設施工と建設機械シンポジウム, 2023.