

上下水道向け データ利活用ソリューション

Data Utilization Solutions for Water and Wastewater

後藤 佳*
Kei Gotoda
後藤伸介*
Shinsuke Goto
霜田健太*
Kenta Shimoda

谷 浩平*
Kohei Tani
金澤哲夫*
Tetsuo Kanazawa

*神戸製作所

要 旨

三菱電機は、上下水道向けの監視制御システムに蓄積されたプラントデータを活用して安心・安全なプラント運用を支援する“データ利活用ソリューション”の提供を目指している。その取組みの中で、下水道向けにAI技術を適用した“高度水処理プロセス制御システム”と“運転管理支援システム”を開発し、フィールド実証を行った。

高度水処理プロセス制御システムは、窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度で風量制御を行うもので、風量削減(省エネルギー)と処理水全窒素濃度低減(水質改善)の両立を確認した。運転管理支援システムは、雨天時の揚水量制御に対して水位・水質・消費電力を考慮した運転操作ガイダンスを提示するもので、浸水リスク低減・水質改善・消費電力低減を確認した。

1. ま え が き

当社は、上下水道向けの監視制御システムに蓄積されたプラントデータに加えて、降雨データ等の外部データや点検記録等の保守データを収集し、IoT(Internet of Things)・AI技術を適用したデータ分析やシミュレーションを行うことで、上下水道施設の運用合理化、保守・保全コスト削減等を実現する“上下水道向けデータ利活用ソリューション”の提供を目指している(図1)。



図1. 上下水道向けデータ利活用ソリューション

国内の上下水道事業は、職員の高齢化・減少や施設の老朽化に加えて、脱炭素への取組み、気候変動に伴い多発している集中豪雨等への対応が厳しさを増す中、ライフラインである水処理プラントの安心・安全な運転が求められている。そ

本稿では、これらのシステムの概要と顧客との共同研究で実施したフィールド実証の結果について述べる。

次に、先に述べた窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度の算出にAI技術を活用した生物反応槽風量制御システムを構築した(図4)。このシステムは、生物反応槽の入り口と出口にそれぞれ設置された水質センサーと、流入水質予測機能を持つアンモニア制御を行うコントローラー、処理水アンモニア濃度の目標値を算出するガイダンス装置で構成される。目標値を算出するアルゴリズムは、AI技術に分類されるJust-in-timeモデリング(過去のデータから必要ときに関連データを抽出しモデル化する手法)を用いた。図5にこのアルゴリズムの概念図を示す。まず、過去の処理水アンモニア濃度と窒素除去量のデータを用いて、その相関関係に影響を与える流入負荷等の複数指標でデータの分類を行う。さらに、指標ごとに図3で示したような流入負荷の高低等のしきい値でデータを分類し、現在の運転状況に最も近い領域に属するデータから窒素除去量と処理水アンモニア濃度の相関関係をモデリングする。このモデルを用いて、窒素除去量が最大になる処理水アンモニア濃度の目標値を算出する。

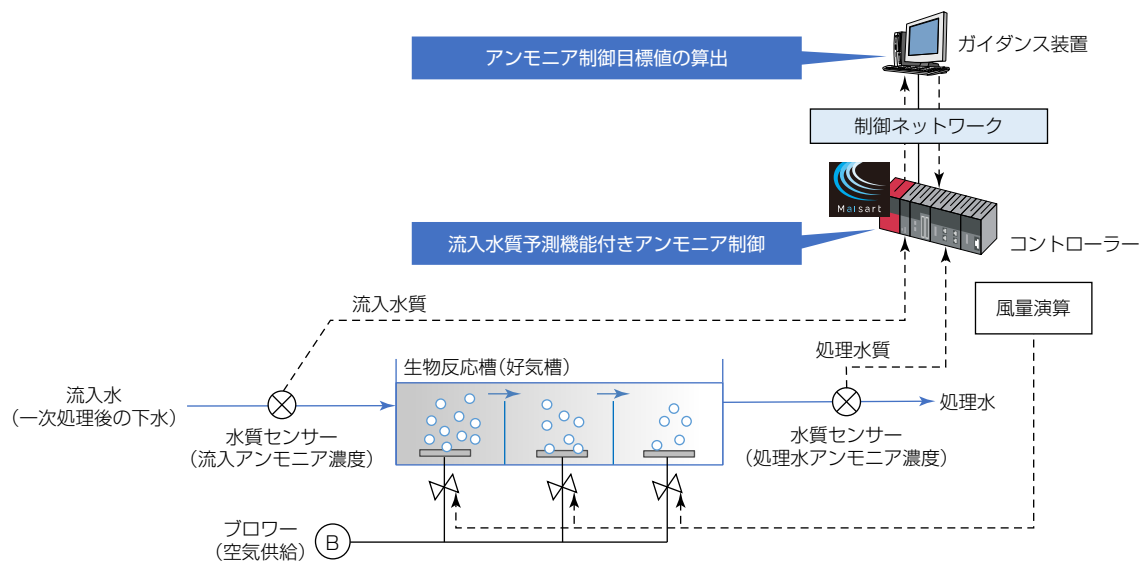


図4. AI技術を活用した生物反応槽風量制御システム

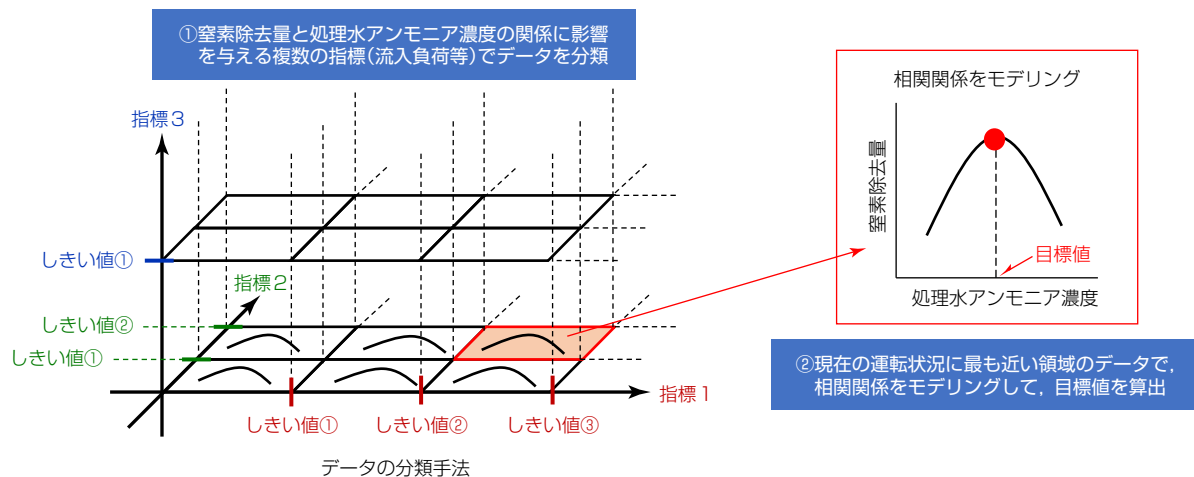


図5. アンモニア制御目標値を算出するアルゴリズムの概念図

2.3 フィールド実証結果

フィールド実証は同じ処理方式の2系列を用いて、一方は実証系として流入水質予測機能付きアンモニア制御、他方は比較系として既設のDO(Dissolved Oxygen: 溶存酸素)濃度一定制御でそれぞれ約6か月間運用し、風量と処理水全窒素濃度を比較した。実証系では処理水アンモニア濃度の大幅な悪化を防ぐため、3mg/Lを超えない曝気(ばっき)量で制御した。なお、今回のフィールド実証では、ガイダンス装置で算出した目標値を自動でコントローラーに入力し、アンモニア制御を実施した。

風量は、図5に示すアルゴリズムで算出した処理水アンモニア濃度の目標値に追従するように制御したことで、図6のとおり比較系と比べて低い値で推移した。処理水全窒素濃度についても、ガイダンス機能によって窒素除去量が最大になる条件で制御したことで、図7のとおり比較系と比べて低い値で推移した。

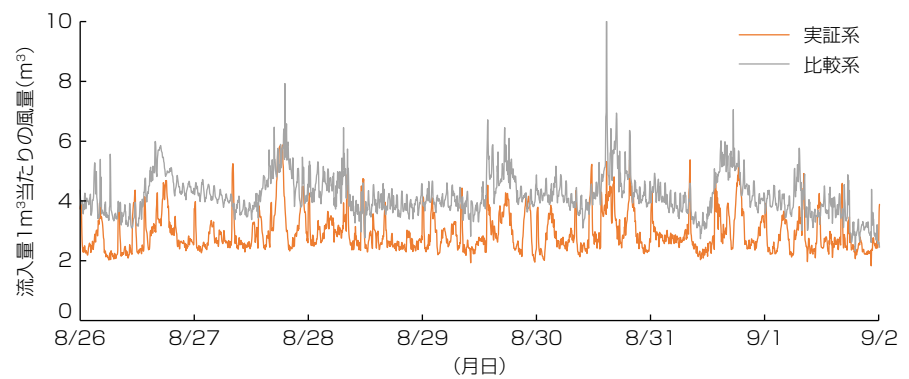


図6. 流入量当たりの風量の推移

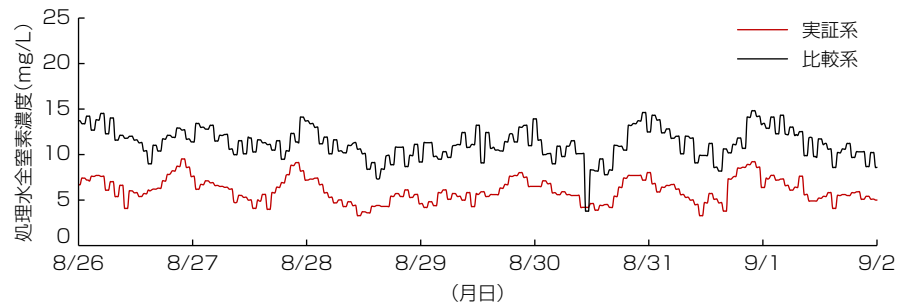


図7. 処理水全窒素濃度の推移

表1は、実証試験期間での実証系列の風量削減率と処理水全窒素濃度低減率である。約6か月の連続試験で、実証系では比較系よりも風量が15.8%削減、処理水全窒素濃度が36.2%低減され、風量削減(省エネルギー)と処理水全窒素濃度低減(水質改善)の両立が確認できた。今後は、冬季データを収集して、年間を通した効果の確認を行っていく。

表1. 風量削減率と処理水全窒素濃度低減率

	風量削減率(%)	処理水全窒素濃度低減率(%)
5月	17.2	32.8
6月	16.1	27.7
7月	19.5	43.5
8月	17.4	45.7
9月	12.0	30.2
10月	12.3	37.4
全体	15.8	36.2

3. 運転管理支援システム

3.1 プラント運転管理での現状と課題

水処理プラントの運転管理で、水量や水質等の目標値設定はベテラン運転員のノウハウに依存している。特に、気候変動に伴い多発している台風・集中豪雨に対する浸水防止等の非常時対応は高度な運転ノウハウを必要とするが、ベテラン運転員の人数は年々減少している。そのため、ベテラン運転員に依存しない安心・安全な水処理プラントの運用が課題になっている。

3.2 雨天時運転ガイダンスシステム

雨天時運転ガイダンスシステムは、雨天時での揚水ポンプの運転操作を支援するシステムであり、幹線流量データや降雨データから下水処理場への流入量を予測する“流入量予測機能”，生物反応モデルを用いて放流水質を予測する“水質予測機能”，目的に応じて適切な揚水ポンプの運転操作を提示する“AI運転ガイダンス機能”で構成される（図8）。

このシステムは、流入量予測機能で予測した流入量変動に対して、流入渠（きょ）水位上限値や水質総量規制値の制約条件範囲内で、水位重視、水質重視、消費電力重視の各目的にマッチする揚水量パターンを、あらかじめAIによる多目的最適化で作成された揚水量パターンの中から抽出し、各揚水量パターンの水位・水質・消費電力の予測値と併せて運転員に提示することによって、運転員の目的に応じた揚水ポンプの最適な運転支援を行う（図9）。

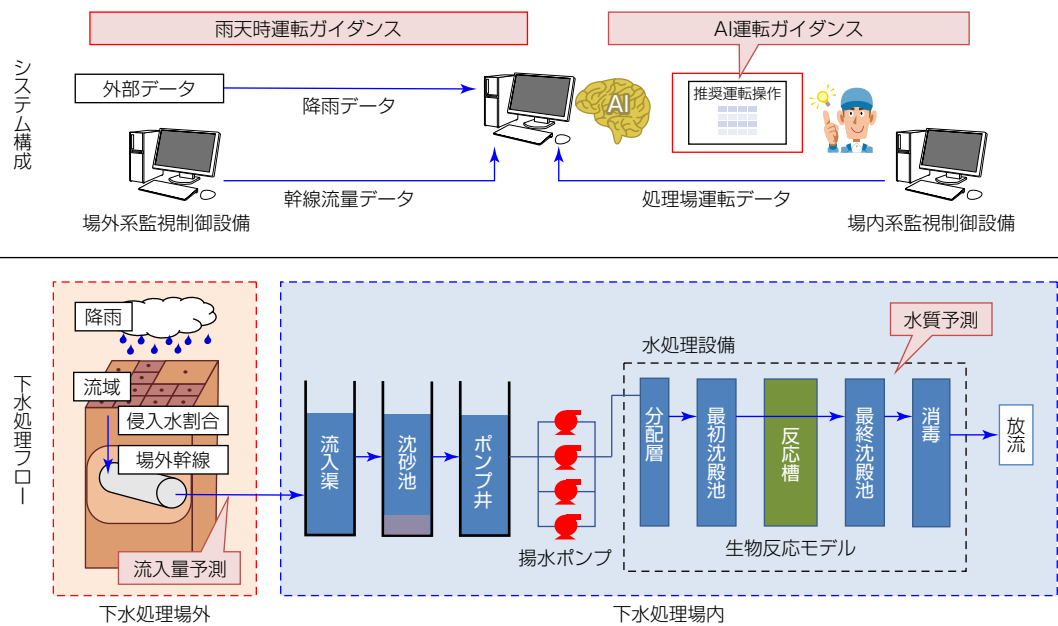
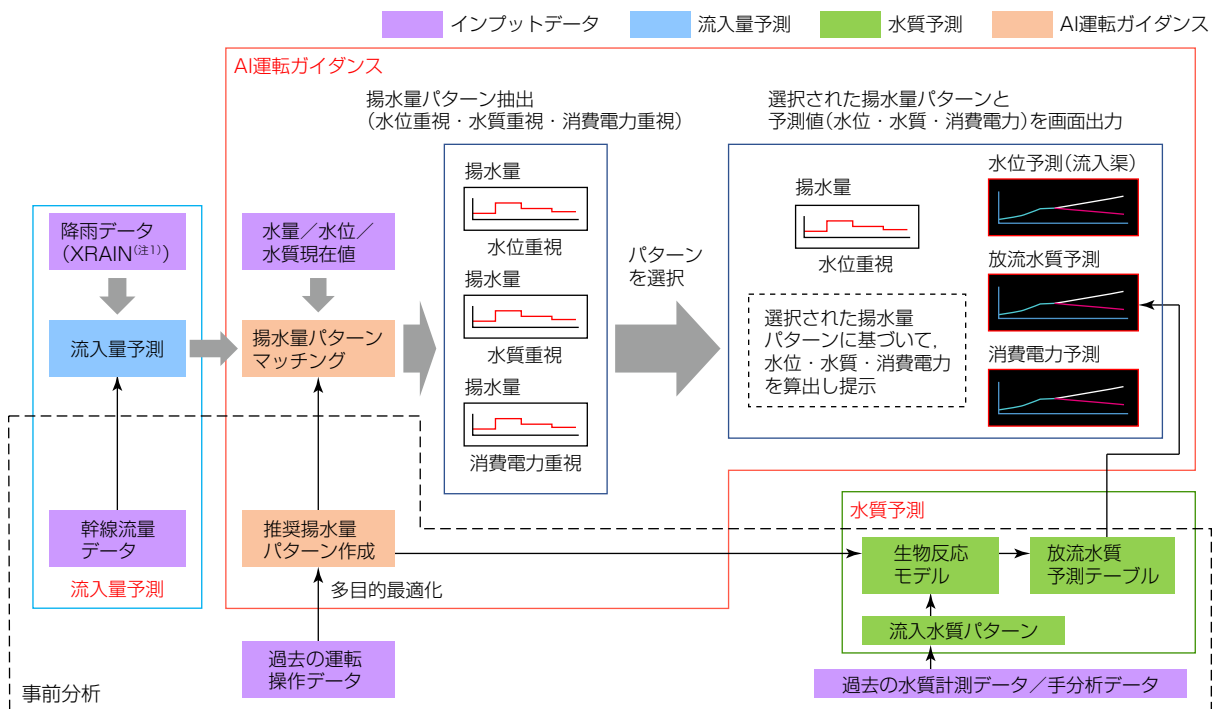


図8. 雨天時運転ガイダンスシステムのシステム構成



（注1） XRAINは、国土交通省国土技術政策総合研究所長の登録商標である。

図9. 雨天時運転ガイダンスシステムの概略演算フロー

なお、水質予測は、あらかじめ過去の水質データに基づく流入水質パターンと推奨揚水量パターンを生物反応モデルに入力して放流水質予測テーブルを作成しておき、その中から今回の流入水質と揚水量パターンに合致するものを抽出し提示する。

このシステムを、国土交通省の令和3・4年度下水道革新的技術実証事業(B-DASHプロジェクト)の実規模実証“AIを用いた分流式下水の雨天時浸入水対策支援技術に関する実証事業”で、AI技術を適用し適切な運転操作を提示する雨天時運転ガイダンスシステムのデータ分析、プロトタイプシステム構築、及びフィールド実証に適用した。

3.3 フィールド実証結果

フィールド実証は約7か月間実施し、流入量予測機能と水質予測機能は予測値と実測値を比較し、運転ガイダンス機能は、水位重視・水質重視・消費電力重視それぞれの推奨揚水量パターンに基づいて運転した場合の水位・水質・消費電力の予測値と実運用結果(実測値)を比較して有効性を評価した。

流入量予測機能は、変動の大きな場合の追従性に着目した評価手法で雨天時の急激な流入量変動への追従性評価に適しているNS(Nash-Sutcliffe, NashとSutcliffeによって提唱された評価指標)係数⁽³⁾で評価した。実測値と比較した結果、NS係数は0.912と、予測精度が良いとされる0.7を大きく上回っており、良好な精度が確認できた(図10)。

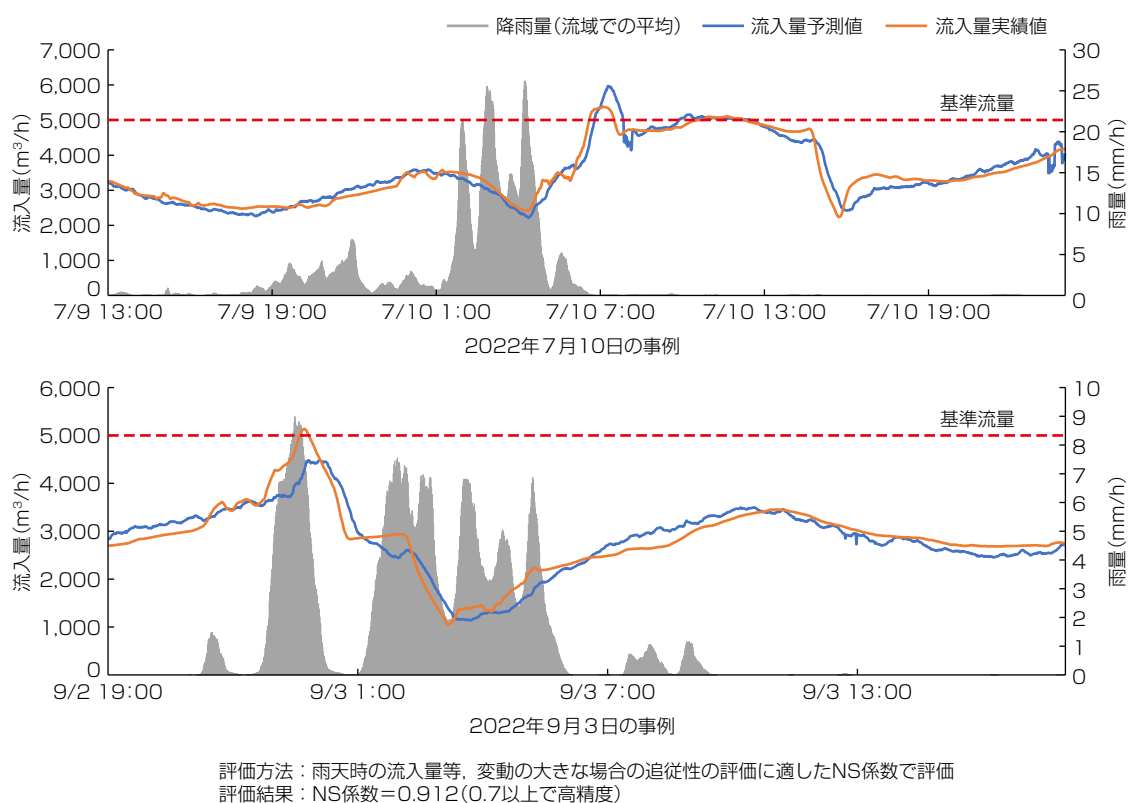


図10. 流入量予測機能の評価結果

水質予測機能は、誤差(予測値-実測値)と実測値との割合の平均値を示す一般的な評価手法であるMAPE(Mean Absolute Percentage Error: 平均絶対誤差率)で評価した。実測値と比較した結果、MAPEは化学的酸素要求量(COD)で11.3%, 全窒素(TN)で13.4%, 全リン(TP)で34.5%になり、特にCODとTNについてはTPに比べて良好な精度が確認できた(図11)。

表2は、運転ガイダンス機能の各揚水量パターン(水位重視・水質重視・消費電力重視)での運転方法と評価結果である。水位重視運転パターンは、流入渠水位の管理水位の超過回数が2回から0回になり、浸水リスクの低減が確認できた。水質重視運転パターンは、COD・TN・TPが目標とする水質総量規制値の60%以下を達成し、晴天時と同等の水質が確認できた。消費電力重視運転パターンは、雨天時の揚水ポンプの消費電力を5.0%削減する効果が確認できた。

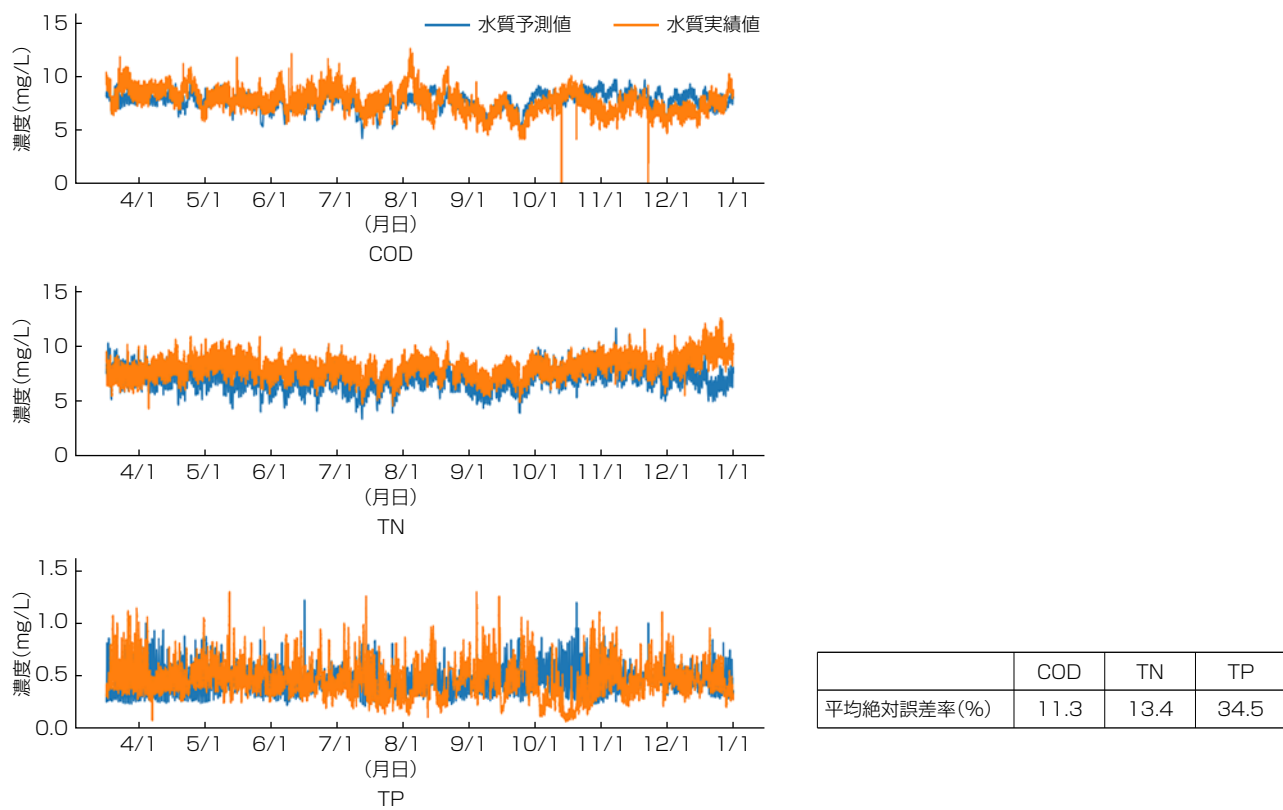


図11. 水質予測機能の評価結果

表2. 運転ガイダンス機能の評価結果

揚水量パターン	目的	運転方法	目標値	評価結果
水位重視運転	浸水リスクの低減	流入渠水位が管理水位を超えないようにあらかじめ揚水しておく運転	流入渠水位の管理水位超過回数10%低減	○ 管理水位超過回数0回(100%低減)
水質重視運転	晴天時と同等の水質確保(水質総量規制値)	水質総量規制値(揚水量×水質濃度)の目標値を超えないように揚水を抑える運転	COD・TN・TPの水質総量規制値の60%以下(=晴天時の水質)	○ 水質総量規制値の60%以下を達成
消費電力重視運転	消費電力の低減	消費電力を抑えるように揚水を抑える運転(揚水ポンプ運転を抑える)	揚水ポンプの雨天時消費電力量を1.5%削減	○ 雨天時消費電力量を5.0%削減

4. む す び

データを利活用したソリューションとして“高度水処理プロセス制御システム”による省エネルギーと水質改善の両立、及び“運転管理支援システム”による雨天時の運転操作支援の実証結果を述べた。

国内の上下水道事業を取り巻く環境は、今後ますます厳しくなることが予想されるが、このような環境下でも、ライフラインである水処理プラントを安心・安全に運用していくことが必要である。

今後は、上下水道向けの監視制御システムに蓄積されているプラントデータだけでなく、外部データ等の活用による更なる予測精度向上や、保守データや施設データとの連携によって維持管理領域や設計・施工での業務効率化を進めていき、設計・施工段階から運転・維持管理までをカバーするトータルソリューションの提供を目指す。

参 考 文 献

(1) 入来院浩司, ほか: 水処理プラント高度オペレーション支援システム, 三菱電機技報, 95, No.12, 737~741 (2021)

(2) 国土交通省: 下水処理場のエネルギー最適化に向けた省エネ技術導入マニュアル(案)(概要版) (2019)
<https://www.mlit.go.jp/common/001295312.pdf>

(3) Nash, J.E., et al.: River flow forecasting through conceptual models part I- A discussion of principles, Journal of Hydrology, 10, 282~290 (1970)