

水処理プラント 高度オペレーション支援システム

Advanced Operation Support Systems for Water Treatment Plants

入来院浩司*
Koji Irikiin
真辺信也*
Shinya Manabe
金澤哲夫*
Tetsuo Kanazawa

霜田健太*
Kenta Shimoda

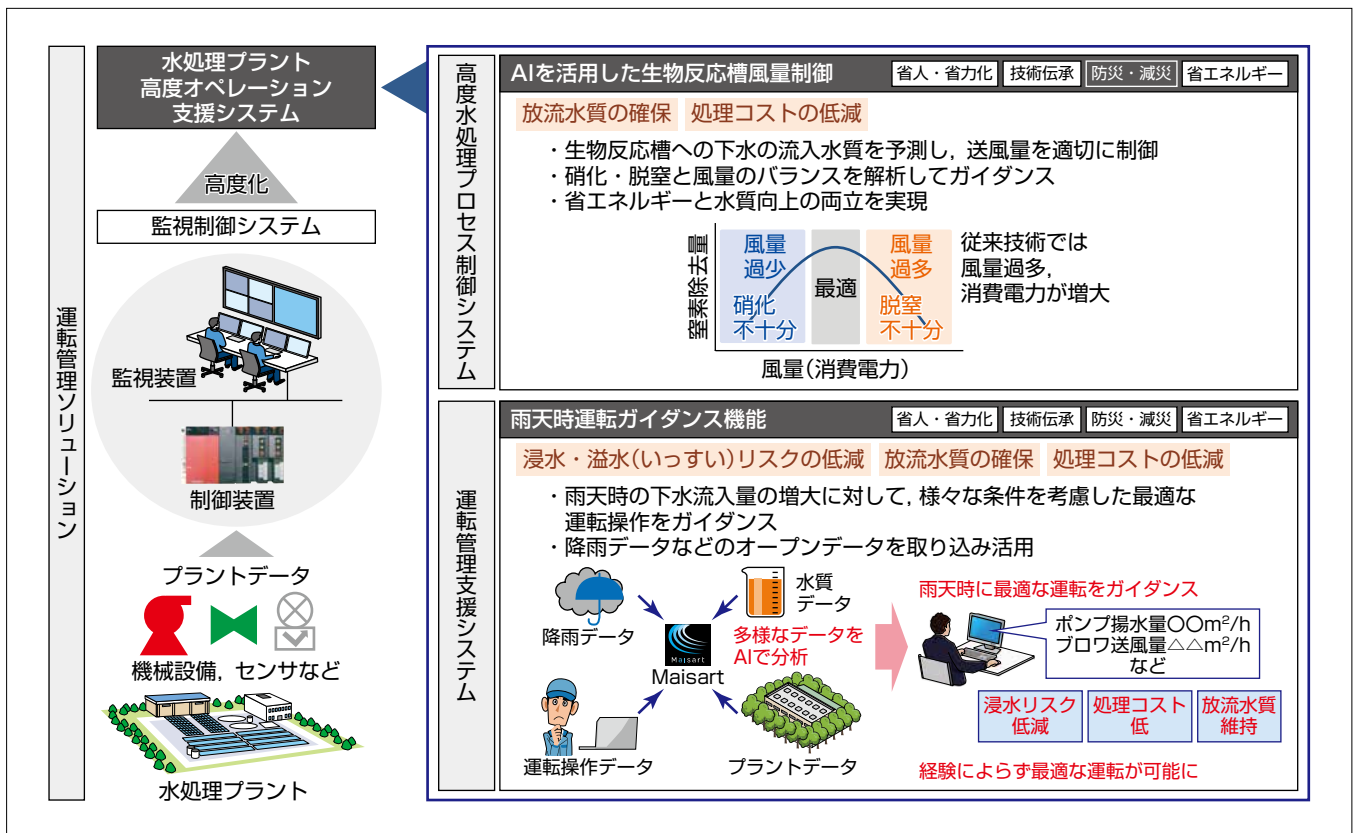
要旨

国内の上下水道事業を取り巻く環境は、水需要の減少や、高度経済成長期に整備した施設の老朽化、少子高齢化に伴う職員の減少等、厳しさを増している。特に、ベテラン職員が減少する中、必要不可欠なライフラインである水処理プラントの安定的な稼働と、効率的な運用を実現するための解決策として、IoT(Internet of Things)やAI等のデジタル技術を用いて、運転管理業務を変革するデジタルトランスフォーメーション(DX)が注目されている。

三菱電機は水処理プラント監視制御システムに蓄積されたプラントデータから抽出したベテラン操作員の運転ノウハウをシステムに組み込んで、AI技術を活用した運転ガ

イダンスや自動運転の高度化などによって、水処理プラントの最適運転を支援する“水処理プラント高度オペレーション支援システム”の開発を進めている。

水処理プラント高度オペレーション支援システムは、ベテラン操作員が不在の状況でも、省エネルギーや水質向上、台風・ゲリラ豪雨など緊急時の最適な運転管理を実現するためのシステムであり、現在、その主要機能である“高度水処理プロセス制御システム”を下水処理場の生物反応槽へ、“運転管理支援システム”を下水処理場の揚水ポンプ設備へそれぞれ導入し、顧客との共同研究での実証を通じて、機能・性能を検証中である。



水処理プラント高度オペレーション支援システム

当社の水処理プラント監視制御システムに、“水処理プラント高度オペレーション支援システム”の機能を組み込んで、上下水道事業者が抱える課題の解決に貢献する。以前から計測・監視している水処理プラントのデータに、新たに降雨量など外部システムのオープンデータを組み合わせることによって、流入量や水位等の予測精度を高めるなど、水処理プラントの運転管理の更なる高度化に必要な機能を実現する。

1. ま え が き

近年、国内の上下水道事業を取り巻く環境は、水需要の減少や、高度経済成長期に整備した施設の老朽化、少子高齢化に伴う職員の減少等、厳しさを増している。特に、ベテラン職員が減少する中、必要不可欠なライフラインである水処理プラントの安定的な稼働と、効率的な運用が求められており、これらの実現に向けてIoT/AI技術等の活用によって運転管理業務を変革するDXが目玉されている。

当社は、デジタルツインの技術を用いて水処理プラントを仮想空間上に再現し、プロセスシミュレーションやAI技術を活用した最適運転パターンガイダンス、自動運転の高度化などによって、水処理プラントの最適運転を支援する“水処理プラント高度オペレーション支援システム”の開発を進めている。

2. 水処理プラント高度オペレーション支援システム

水処理プラント高度オペレーション支援システムは、図1のように水処理プラント監視制御システムの主要機器である監視制御装置やコントローラに、新たにガイダンス装置を加えた構成になる。ガイダンス装置は、監視制御装置に蓄積された計測値・状態信号・操作履歴などのプラントデータや、外部システムから取り込んだ気象データなどの情報を基に、AIを用いたデータ分析やシミュレーションを行い、プロセス制御の目標値や運転操作ガイダンスなど、プラントの最適運用に必要な情報を操作員に提供する。

本稿では、水処理プラント高度オペレーション支援システムのうち、“高度水処理プロセス制御システム”を下水処理場の生物反応槽へ、“運転管理支援システム”を下水処理

場の揚水ポンプ設備へそれぞれ導入し、顧客との共同研究を通じて実証中の事例を述べる。

3. 高度水処理プロセス制御システム

3.1 下水処理場のプロセス制御での現状と課題

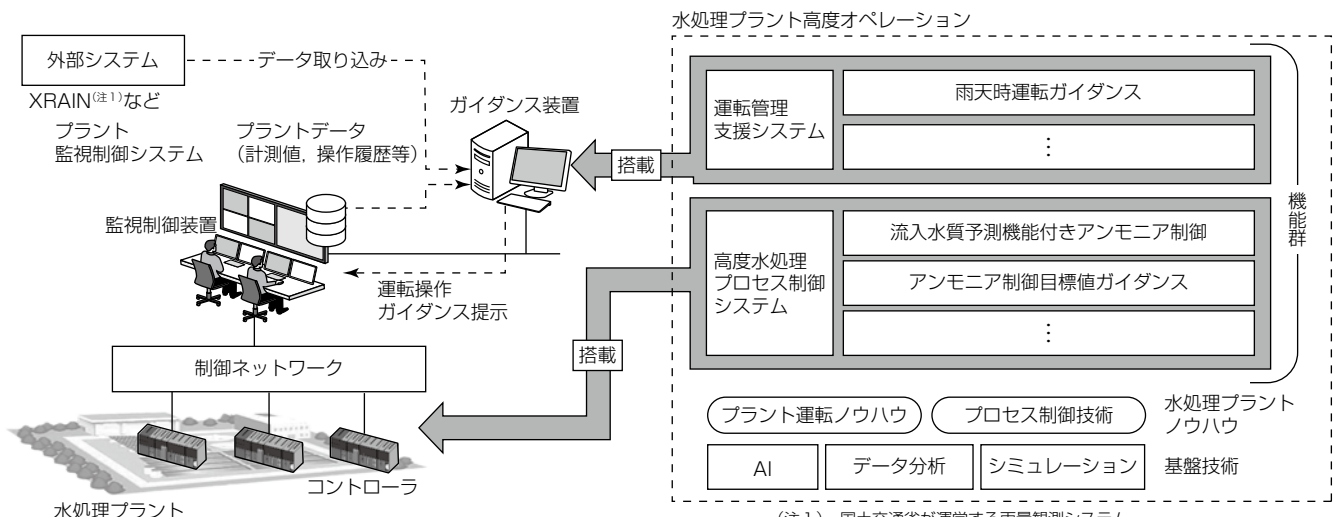
国内の下水処理施設では、日本の年間消費量の約0.7%を占める約70億kWh⁽¹⁾の電力が消費されている。中でも、主ポンプから汚泥処理までの下水処理プロセスで、生物反応槽で有機物を分解する活性汚泥(微生物)に酸素を供給する、送風機の消費電力量が約32%⁽²⁾と最も大きい。生物反応槽では、下水に含まれる窒素を除去するため、アンモニア性窒素を硝酸に変換する硝化反応と、硝酸を窒素として大気へ放出する脱窒反応が行われている。窒素除去率とエネルギー消費にはトレードオフの関係があるため、目標とする処理水質を最小のエネルギー消費で実現する風量制御が求められている。

3.2 AIを活用した生物反応槽風量制御システム

図2は、省エネルギーと水質向上の両立を実現する、AIを活用した生物反応槽風量制御システムである。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と、流入水質予測機能付きアンモニア制御を行うコントローラ、アンモニア制御目標値ガイダンスを行うガイダンス装置で構成される。

3.2.1 流入水質予測機能付きアンモニア制御⁽³⁾

従来のアンモニア制御は、処理水質である生物反応槽出口のアンモニア濃度が目標値と一致するように送風量を制御するフィードバック(FB)制御が一般的である。さら



(注1) 国土交通省が運営する雨量観測システム。XRRAIN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1. 水処理プラント高度オペレーション支援システムの全体構成

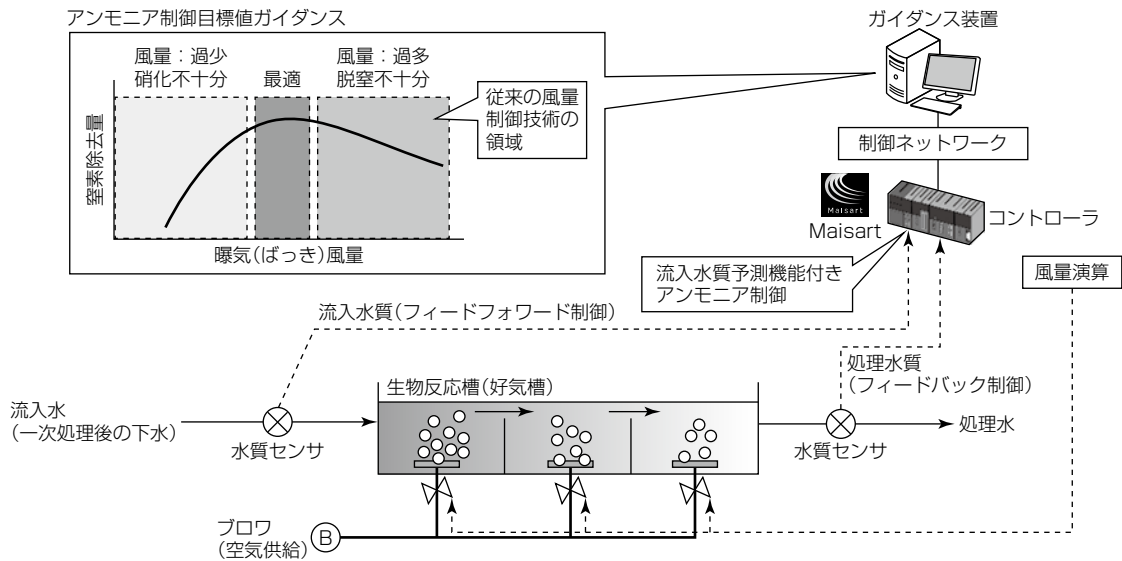


図2. AIを活用した生物反応槽風量制御システム

に近年では、FB制御と流入水質である生物反応槽入り口のアンモニア濃度の変動を補正するフィードフォワード (FF) 制御を組み合わせたものが開発されている。しかし、硝化反応は送風量に対する応答時間が長い為、生物反応槽入り口のアンモニア濃度変動が大きい場合には、FF制御による補正が間に合わず、FB制御の目標値に対する追従性が悪化する可能性がある。

そこで当社は、生物反応槽入り口のアンモニア濃度の変動を予測したFF制御が行えるよう、AI技術“Maisart^(注2)”を用いて、プラント監視制御システムに蓄積された過去のデータから、現在の状態に類似するデータ探索によって、生物反応槽入り口のアンモニア濃度を予測する機能を開発した。これによって、生物反応槽入り口のアンモニア濃度が下降傾向の場合、早めに送風量を下げることによる消費エネルギーの削減や、上昇傾向の場合、早めに送風量を上げることによるFB制御の安定性向上が期待できる。

(注2) Mitsubishi Electric’s AI creates the State-of-the-ART in technologyの略。全ての機器をより賢くすることを目指した社のAI技術。

3.2.2 アンモニア制御目標値ガイダンス機能

当社は、東京都下水道局との共同研究“アンモニア／NADH(還元型ニコチンアミドアデニンジヌクレオチド)計を活用した省エネルギーと水質改善を両立する制御技術の開発”で、各種水質や水量、風量等のデータ分析及びプロトタイプシステム構築、フィールド実証等を行っている。

データ分析の過程で、硝化・脱窒反応には、窒素除去率が最大になる風量の最適域が存在し、その最適域は流入負荷によって変動することが明らかになった。水質改善と省エネルギーを両立させるためには、制御目標値を流入負荷の変動に合わせて都度変更するのが望ましいが、ノウハウ

が少なく実施が困難であった。

そこで、プラント監視制御システムに蓄積された流入水質や水量データ、運転データの活用によって、窒素除去率が最大になるアンモニア濃度目標値を推定し、操作員にガイダンスするシステムの開発を進めている。

現在、共同研究では実プラントでのプロトタイプシステム構築を完了し、フィールド実証を開始したところである。今後は、フィールド実証でガイダンスの妥当性検証や、制御目標値の推定アルゴリズム改良及び自動変更機能の検討などを進めていく。

4. 運転管理支援システム

4.1 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、水量や水質などの目標値の決定は、最終的に操作員による判断が必要になることが多い。例えば下水処理場の操作員は、豪雨の場合、増加する流入量と、現在のプラント状況から放流水質、消費電力など複数の項目を考慮し、刻々と変化する状況に対応しなければならない。また、近年甚大な被害を及ぼす台風や、頻発するゲリラ豪雨への対応も必要になっている。これらへの対応は、長年の経験を持つベテラン操作員のノウハウに依存しているが、その人数は年々減少しており、ノウハウの蓄積や伝承が課題になっている。

4.2 雨天時運転ガイダンスシステム

4.1節の課題に対して当社は、AI技術などを活用し、ベテラン操作員のノウハウを反映した運転操作を支援する“雨天時運転ガイダンスシステム”(図3)の開発を進めている。

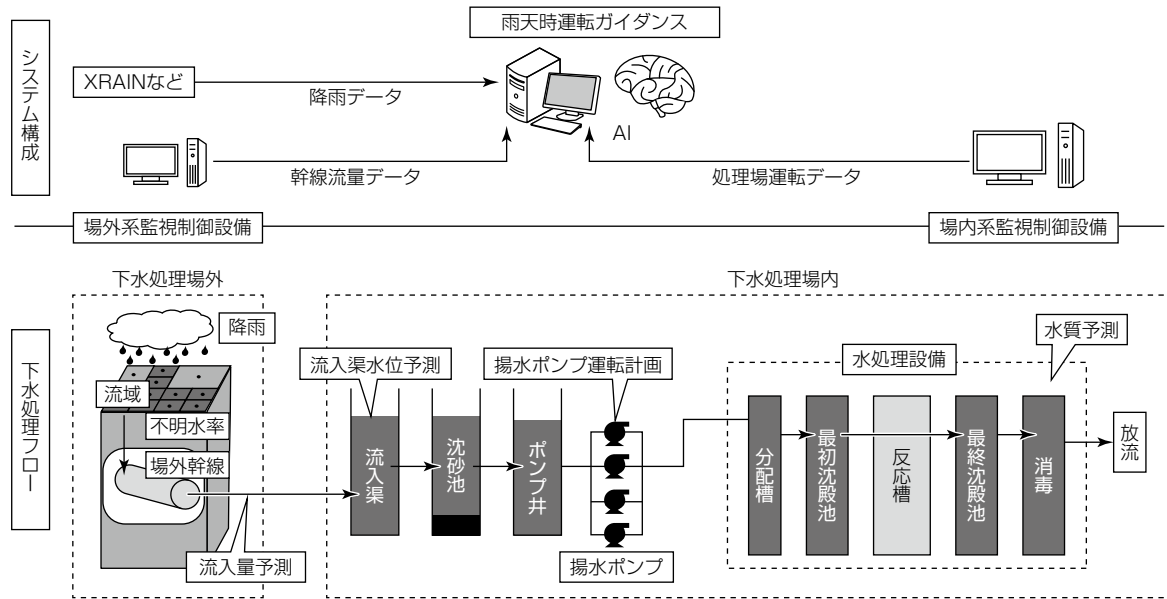


図3. 雨天時運転ガイダンスシステム

このシステムは、雨天時での下水処理場の流入渠(きょ)水位を予測する水位予測シミュレーション機能や、放流水質などの変化を予測する水質予測シミュレーション機能、プラントデータから抽出された操作員の運転ノウハウを用いたAIによる運転ガイダンス機能で構成される。これによって、ガイダンスされた操作をあらかじめシミュレートして結果を確認した上で実操作可能にすることによって、雨天時での安定したプラント運用を実現する。

なお、このシステムは国土交通省の令和3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」で実証中である。

4.2.1 水位予測シミュレーション機能⁽⁴⁾

雨天時には、処理区域の浸水リスクを早期に把握し、ポンプの先行運転などの事前対応を行うため、流入量や流入渠、ポンプ井水位などの予測が必要である。

この機能は、まず晴天時に下水処理場に流入する汚水量を各時刻、曜日での過去の流入量実績値に基づいて予測する。次に、XRAINやAMEDAS^(注3)の降雨データから処理区域の現在の雨量を求めて、管渠に流入する雨水の浸入率、下水処理場までの到達時間を考慮して下水処理場への流入量を予測する(図4)。下水処理場の流入渠やポンプ井の予測水位は、流入量の予測値とポンプ揚水量から求める。

(注3) 気象庁が運営する自動気象データ収集システム。

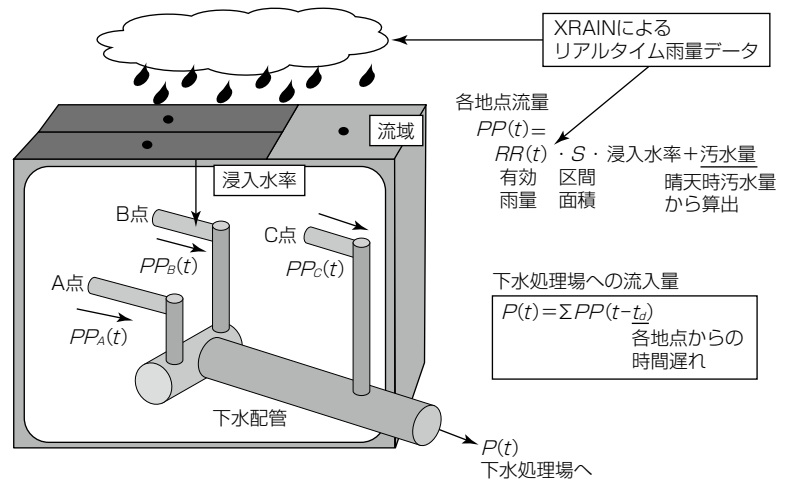


図4. 下水処理場への流入量予測の概念図

4.2.2 水質予測シミュレーション機能⁽⁵⁾

雨天時には、水質悪化や汚泥界面上昇に伴う汚泥流出事故を未然に防止するため、放流水質や最終沈殿池の汚泥界面の予測が必要である。

放流水質の指標(B-DASHプロジェクト実証研究ではCOD(Chemical Oxygen Demand)、全窒素(TN)、全リン(TP)濃度)については、生物反応槽内の水質収支に基づく生物反応モデル(Activated Sludge Model: ASM)でのシミュレーションによって予測する。また、最終沈殿池の汚泥界面は、SVI(Sludge Volume Index)等のデータと重力沈降モデルから求めた汚泥沈降速度を用いて予測する(図5)。

4.2.3 AIによる運転ガイダンス機能

ベテラン操作員はこれまでの経験・知識に基づいて、設

備能力などプラント固有の制約を考慮した上で、浸水・溢水リスクの低減や放流水質を確保する運転操作を行っている。

この機能では、監視制御システムに蓄積された過去の運転データから、次の手順によってベテラン操作員の運転ノウハウを“デジタル化”する。

(1) 降雨量と降雨時間を基に、運転データを晴天・小雨・豪雨・長雨等のパターンに分類する。

(2) パターンごとの運転操作履歴・流入渠水位・放流水質・消費電力等の過去データから、放流水質などの管理基準を満たして、消費電力が最小になるパターンを抽出する。

(3) 抽出されたパターンをガイダンスに用いる“運転操作カタログ”としてシステムに登録する。

実運用では、降雨量や流入量、流入渠水位等の計測値からAIがプラント状態を判断し、運転操作カタログの中から推奨する運転パターンを操作員に提示する。操作員は、AIが提示した運転パターンと、パターンごとの水位や水質、消費電力の予測シミュレーション結果を確認することによって、最適な運転操作の選択が可能になる(図6)。

今後は、実プラントでプロトタイプシステムを構築し、各シミュレーション結果の精度や、運転ガイダンスの有効性に関する検証を行う。

5. むすび

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。このような環境下でも、上下水道を安定かつ効率的に運用していくための解決策として、水処理プラント高度オペレーション支援システムの主要機能である、AI技術等を用いて省エネルギーと水質向上を両立させる“高度水処理プロセス制御システム”及びベテラン操作員の運転管理を再現する“運転管理支援システム”に

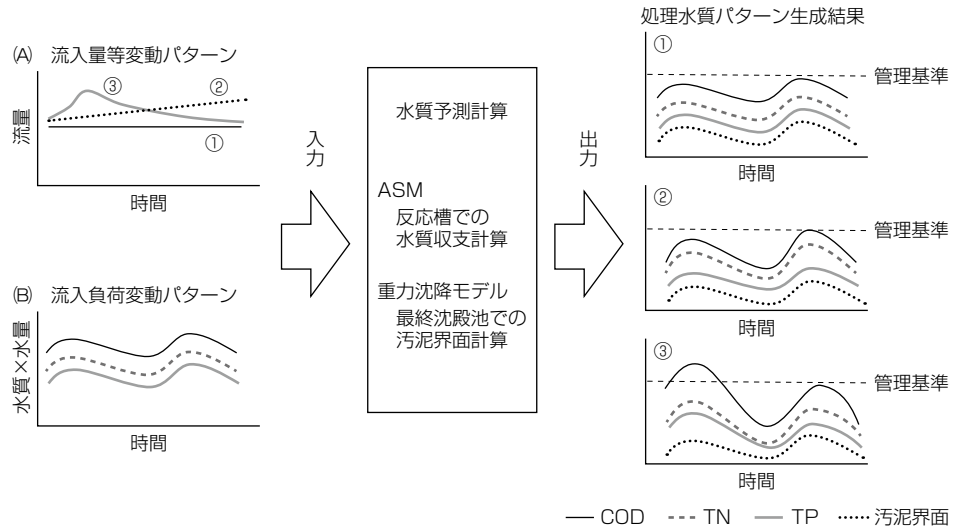


図5. 水質・汚泥界面予測の概念図

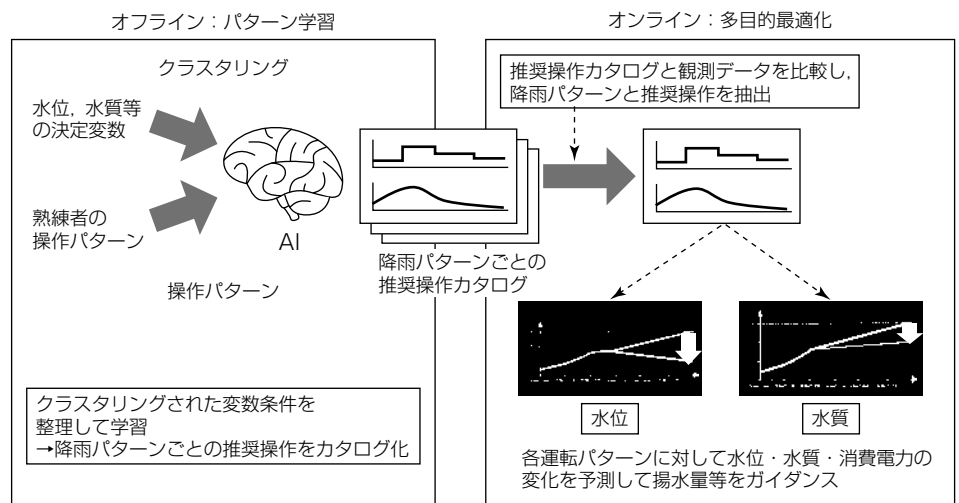


図6. 最適な運転操作ガイダンスの概念図

ついて述べた。

現在上下水道プラントの監視制御システムに蓄積されているプラントデータに加えて、気象などの外部データを活用することによって、運転管理の更なる高度化が可能になる。今後も上下水道プラントの運転管理を変革する“デジタルトランスフォーメーション”の推進を支援していく。

参考文献

- (1) 国土交通省：下水道における資源・エネルギー施策の現状分析(2013)
<https://www.mlit.go.jp/common/001022698.pdf>
- (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) 橋爪弘二, ほか：流入・流出水質データを活用した下水処理場向け曝気風量制御, 三菱電機技報, 93, No.7, 409~412(2019)
- (4) 三浦浩之, ほか：修正RRL法による浸水を考慮した都市域下水の流出解析, 土木学会論文集, No.533, 205~214(1996)
- (5) 味埜 俊：第2回 IWA活性汚泥モデルの構造, EICA, 7, No.4, 43~49(2002)