

〈研究発表〉

AI を利用した流入水量・水質予測に基づく下水処理場運転計画立案システム

福 嶋 俊 貴

メタウォーター(株) 事業戦略本部事業企画部

(〒101-0041 東京都千代田区神田須田町1-25 E-mail: fukushima-toshiki@metawater.co.jp)

概 要

下水処理場は放流水質基準を守るのみでなく、省エネ・創エネ、資源回収、水の再利用といった機能も期待されている。機能発揮には地域特性に応じた価値の最大化や複数の下水処理場の連携・統合管理が重要となる。そこで、下水処理場を流域における健全な物質循環拠点化とすべく、AIに基づく流入予測を利用した運転計画立案システムを検討した。

キーワード：下水処理場、健全な循環拠点、シミュレータ、AI、流入予測

原稿受付 2018.6.13

EICA: 22(2・3) 187-190

1. はじめに

平成26年7月に策定された新下水道ビジョンでは「循環のみち下水道の成熟化」のひとつとして、下水道システムの『水・資源・エネルギーの集約・自立・供給拠点化』が取り上げられている。そのなかで「下水道の有する資源・ポテンシャルを最大限活用することで、下水道が地産地消の地域づくりに貢献することを目標とする」とされている²⁾。さらに、平成29年8月には新下水道ビジョン加速戦略がまとめられ、重点項目として「汚水処理システムの最適化」（下水処理場等複数施設の集中管理・遠隔制御等を行うためのICTの活用や下水処理場等施設の統廃合の推進）、「下水道の活用による付加価値向上」（各下水処理場の処理方式や汚泥性状、地域特性に応じた汚泥利用による付加価値の最大化や省エネ・創エネ技術、資源利用技術の基礎研究レベルから実用化段階までの技術開発）などが取り上げられた²⁾。

一方、ICTの活用については平成29年2月に「i-Gesuido」がまとめられ、4本の柱のひとつに「水処理革命」があり、リアルタイム運転管理データの集約やAIによる最適運転の自動化を通じ、処理水量・負荷削減量当たりのエネルギー等使用量・コストを削減、安定した処理水質の提供、運転管理情報や水質リスク情報等のビッグデータ活用による新たな産業等の創出が目標とされている³⁾。

そこで、下水処理場を流域における健全な物質循環拠点化とすべく、下水処理場シミュレータを活用した流入予測に基づく運転計画を立案し、創エネ・資源回収・再生水といった多機能からの評価を可能とするシステムを検討した。

2. 下水処理場シミュレータ

下水処理場シミュレータとして使用する下水処理場機能評価システム（PES：Performance Evaluation System）の機能構成図を図1に示す。省エネ診断や再構築検討等に利用しているスタンドアロン型PESを中心とし、流域下水道の管理のように複数の下水処理場の比較を可能とするネットワーク型PESと、今回の運転計画立案システムに使用するオンライン型PESとから構成されている。水処理・汚泥処理の各プロセスは処理ユニットとして定義されており、原単位やフットプリント、水環境効率といった指標で総合評価可能である。

PESのモデル式は一次反応で記述され、水処理（標準活性汚泥法等）のみならず、汚泥処理（濃縮・消化・脱水・焼却）と連携した計算を可能としている^{4,5)}。水質データとしては有機物（BOD）・固形物（SS）・窒素（T-N）・リン（T-P）を同時に計算し、

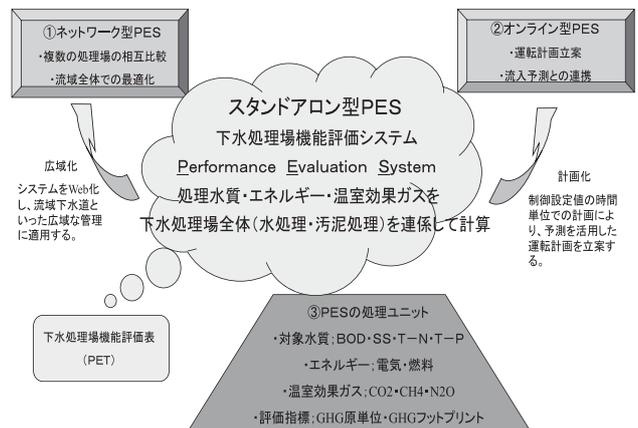


図1 PES機能概要図

エネルギーとしては使用電力量を中心に扱い、焼却炉の燃料使用量も対象としている。

なお、PESの実下水処理場への適用性については、月単位での水量・水質データを利用することにより標準法・高度処理法の処理水質が再現できることを確認している^{6,7)}。

3. 流入水量・水質予測に基づく下水処理場の戦略的管理

流入水量・水質予測に基づく下水処理場の戦略的管理の実現イメージを図2に示す。下水処理場がその高いポテンシャルを發揮し、流域の「水・資源・エネルギー循環拠点」となるべく、『戦略的管理ツールとして活性汚泥モデルベースの下水処理場シミュレータ』を活用し、運転計画立案により自動運転を実現する。シミュレータとしては水処理工程のみでなく汚泥処理工程も含めたプラントワイドモデルを採用する。

① 流入水量・水質の予測

プラントフローモデル構築には流入水質（有機物・窒素・リン）や処理水質、運転管理情報（下水処理量・返送率・汚泥引抜率・使用電力量等）が必要となるが、これは過去の運転実績データを利用することにより実施できる。（ビッグデータ活用）

とりわけ、下水処理場の運転計画立案における、主要な変動要素である流入水の水量・水質の予測にはAI（機械学習）を活用する。下水処理場のポテンシャルをフルに發揮するために流入水質を「発電・肥料・水資源のポテンシャル」として捉えるといった発想の転換も必要となろう。

② 下水処理場の能動的な運転管理

自動運転管理目標としては従来の放流水質のみでなく、二軸管理⁸⁾で提案されているエネルギー消費も対象とする。もちろん、瀬戸内海等で実施されている放流水質の能動的な管理にも対応可能とする。さらに、再生可能エネルギーの固定価格買取制度（FIT制度）の開始以降導入の進んでいる消化ガス発電を対象とし

た創エネ運転や、下水道へ流れ込んでいるリンの回収（資源回収）を優先というような資源回収運転も目標として選択可能とする。一方、近年、日本では優先度の低い温室効果ガス（GHG）についても考慮するものとする。

③ 非正常時の運転計画

合流式下水道におけるゲリラ豪雨や、不定期な人間活動（コンサート活動等）の過去データからの学習のみでは対応できないケースも想定され、流入予測の適用条件の明確化や非正常時の運転計画立案システムでの対応（必要に応じた手動介入）も検討するものとする。

3.1 AIを利用した流入水量・水質予測モデルの開発

下水道の流入予測に関しては「スマート雨水管理」の一環としてB-DASH事業でも光ファーター水位計を用いた浸水被害の低減や、都市型レーダ雨量計等の観測データから流出解析を活用した情報提供による住民自助・共助の促進による地域防災力の向上が実施されてきた⁹⁾。

一方、通常時の下水処理場の流入水質の把握については、酸素必要量（OR）計算に基づいた実下水処理場の曝気制御のために初沈越流水のCODやNH₄-N、SSが測定されている。とりわけ、流入下水への適用を考慮し、NH₄-NとSSに関しては水質測定ユニットを設置している¹⁰⁾。同様に、活性汚泥モデルを反応タンク制御に用いるために非接触で有機物（固形性および溶解性COD）をモニタリングし、制御に利用可能なレベルでの水質変動を把握した報告がある¹¹⁾。非接触の水質計測としては、流入下水ではないが有機物のみでなく窒素等への適用も報告されており¹²⁾、今後は流入水の各種水質項目がオンラインでモニタリングされることが期待される。

ただし、下水処理場シミュレータにはいくつかの水質項目の入力が必要であり、特定の水質項目から推定することも有力であろう¹³⁾。

従来の運転計画立案システムでは図3に示すような過去の運転実績（例えば、流入水質の通日試験データ）からパターン化し、1日1回実績値で補正することとしていた¹⁴⁾。

今回は人間活動から定常的に提供される流入ポテンシャルについて、AIを利用して変動パターンをベースとした水量・水質予測モデルを開発する。現在までに、「機械学習を利用した分析システム」のプロトタイプを試作し、下水ではないが重回帰モデルを利用した配水池残塩の予測では7か月分のデータの学習により5か月分の予測を行ったところ、平均誤差0.4 mg/Lと10%以下の予測精度が得られている。

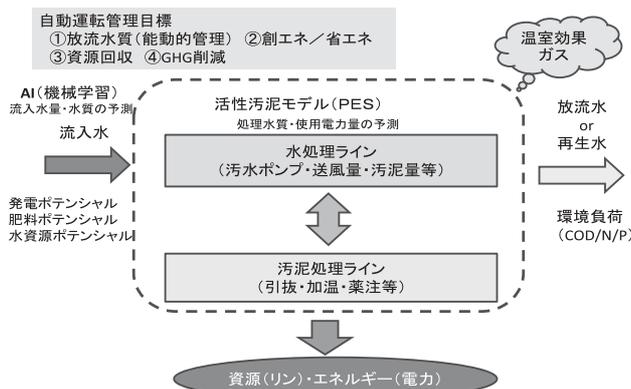


図2 下水処理場の戦略的管理イメージ

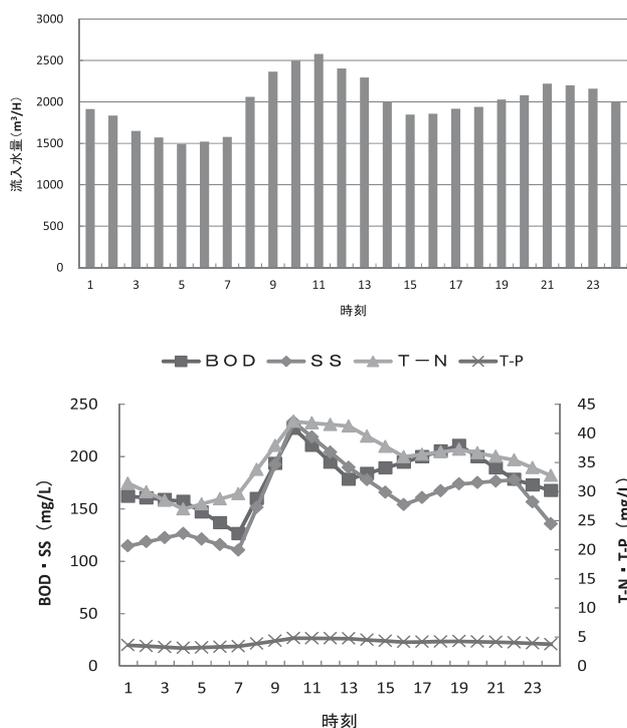


図3 水量水質変動パターン

さらに、同じく下水ではないが水質予測の事例として深層 NN モデルでは重回帰モデルよりも予測精度が向上するとも報告されており¹⁵⁾、併せて検討することも有効であろう。

ただし、現在日本では流入水質(有機物・窒素・リン)の連続モニタリングはあまり実施されておらず実績データが入手できない可能性がある。そのため、閉鎖性水域の水質保全のための総量規制で設置されている「放流水の COD・T-N・T-P 計」のデータから下水処理場シミュレータによる逆推定を行い、変動パターンへの入力とすることも考えられる。

また、活性汚泥モデルのパラメータ調整に必要な水質詳細(溶解性 BOD, NH₄-N, PO₄-P 等)の把握のために、定期的なサンプリングによる水質分析と併せて評価するものとする。

3.2 下水処理場シミュレータを用いた運転計画立案

運転計画立案システムとしては、東日本大震災をキッカケとして「省エネモード」について検討した。(他には、「通常モード」・「水質優先モード」)一例として、循環式硝化脱窒法へ「省エネモード」を適用した時の、循環率の設定値と使用電力量を図4に示す。「通常モード」の循環率100%で一定に対し、夜間と昼間の循環率を下げることにより、処理水 T-N は 2~3 mg/L 悪化したが負荷量ベースの日平均では 9.5 mg/L と目標値の 10 mg/L をクリアしており、使用電力量は1時間あたり 20~30 kWh の削減となり、1日では 1.1% の削減に繋がっていた¹⁴⁾。

運転計画立案システムは、近年導入の進んでいる能

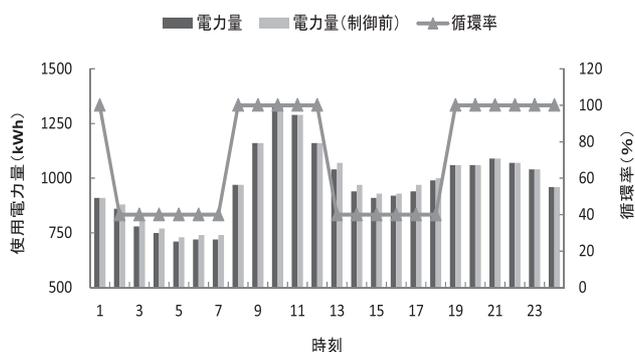


図4 省エネモード

動的管理(季節別運転)¹⁶⁾へも適用が可能であり、「能動的管理モード」として、季節ごとの放流水質目標による運転計画を実施する。さらに、初沈で有機物を積極的に回収する「創エネモード」、リンを水処理工程から汚泥処理工程に移動し回収する「資源回収モード」も検討している。

なお、自動化が技術的には可能となっても、いきなり実下水処理場には適用されるとは限らない。そこで、運転計画立案システムは「循環率・返送率・汚泥引抜率」といった制御設定値を1時間単位の表として作成し、「既存制御システム」との役割分担を行う¹⁰⁾。いったんオペレータが判断し、良いと判断した場合には制御設定値表を制御システムに反映するものとする。ここでの、熟練オペレータの判断も次の学習の情報として利用するとともに将来的な完全自動化に向けての向上を継続する。

3.3 流域特性による下水処理場の健全な物質循環拠点化

下水処理場は流域の水環境保全に大きく貢献してきたが、「水・物質・エネルギー循環拠点」としての機能を発揮するにあたっては、流域内に複数存在する下水処理場を立地地点や利用者のニーズに応じて連携していく必要がある。流域における統合管理の概念を「流域センター」として図5に示す。機能発揮の例として、沿岸域にある下水処理場は栄養塩の季節別運転(能動的管理)を通じて、地域特有の野菜の産地に隣接する地域ではリン地産地消を通じて物質循環の拠点

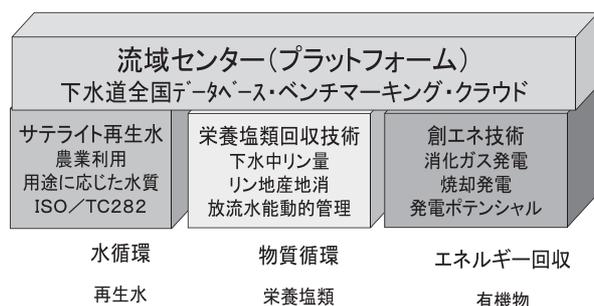


図5 流域センター概念図

となりうると考えられる。生活系廃水の多い地域では、生ごみの受け入れや、ごみ焼却との連携によりエネルギー拠点になり、上流の水道水源や美しい水環境に恵まれた地域では更に処理水を磨き、水循環の拠点になりうると考えられる。

上記、流域センターの実現には流域単位での下水道整備計画や下水処理場からの放流負荷の水環境へ及ぼす影響の把握が重要となる。また、水環境中の水質のモニタリングには自動観測装置が利用されており、下水処理場への流入水質の変動の解析への参考となると思われる。

4. お わ り に

下水処理場を流域における健全な物質循環拠点化とすべく、下水処理場シミュレータを活用したAIを活用した流入水量・水質予測システムに基づく運転計画立案システムを提案した。

今後は、下水処理場が流域における「水・資源・エネルギーの循環拠点」としての機能をフルに発揮できるように、流域センターとしての機能の実現も含めた、実際の下水処理場の運転データを活用した運転計画立案システムを早期の実用化が期待される。

参 考 文 献

- 1) 国土交通省下水道部：新下水道ビジョン，(2014)。
- 2) 国土交通省下水道部：新下水道ビジョン加速戦略，(2017)。
- 3) 国土交通省下水道部：i-Gesuidoの推進について，(2017)。
- 4) 宗宮功・福嶋俊貴：下水中の有機物の高度利活用に関する研究，下水道協会誌，Vol. 49, No. 595, pp. 97-103, (2012)。
- 5) 福嶋俊貴・西村文武：下水処理場再構築におけるシミュレータの活用に関する基礎的研究，下水道協会誌，Vol. 54, No. 655, pp. 100-107, (2017)。
- 6) 福嶋俊貴：水・物質・エネルギーの一体管理へのシミュレータの利用に関する検討，第51回下水道研究発表会講演集，pp. 505-507, (2014)。
- 7) 福嶋俊貴ら：望ましい資源循環を目指した下水処理場へのオゾン処理技術導入の検討（その2），第55回下水道研究発表会講演集，pp. 167-169, (2018)。
- 8) 国土交通省下水道部：水質とエネルギーの最適管理のためのガイドライン～下水処理場における二軸管理～，(2018)。
- 9) 国総研下水道研究部：B-DASH ホームページ
<http://www.nilim.go.jp/lab/ecg/bdash/bdash.htm>，2018年6月アクセス
- 10) 湛記先ほか：流入水質のオンライン測定と酸素必要量（OR）計算に基づいた実下水処理場の曝気制御，学会誌「EICA」第17巻 第2・3合併号，pp. 47-50, (2012)。
- 11) 山口東洋司ほか：下水処理施設運転支援ツールの開発，下水道協会誌，Vol. 48, No. 586, pp. 111-120, (2011)。
- 12) 岸本直之ら：散乱スペクトル分析による水質の連続分析，水環境学会誌，第19巻 第1号，pp. 47-55, (1996)。
- 13) Markus Ahnert et al: A black-box model for generation of site-specific WWTP influent quality data based on plant routine data, Water science & Technology 74.12 pp. 2978-2986, (2016)。
- 14) 福嶋俊貴・宗宮功：下水処理場運転計画支援システムの開発，学会誌「EICA」第17巻 第2・3合併号，pp. 11-18, (2012)。
- 15) 中谷祐介：深層学習モデルを利用した河川感潮域の水質予測，土木学会誌，Vol. 103, No. 2, pp. 34-35, (2018)。
- 16) 岩井聖：地域のニーズに応じた「能動的な水環境管理の実現」，下水道協会誌，Vol. 53, No. 649, pp. 8-11, (2016)。