

## 〈研究発表〉

## 下水処理場流入水質の連続計測と運転管理への応用

福嶋 俊貴<sup>1)</sup>, 西村 文武<sup>2)</sup><sup>1)</sup> メタウォーター(株) 事業戦略本部 事業企画室 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)<sup>2)</sup> 京都大学大学院工学研究科附属流域圏総合環境質研究センター  
(〒520-0811 滋賀県大津市由美浜1-2 E-mail: nishimura.fumitake.3n@kyoto-u.ac.jp)

## 概要

下水処理場の二酸化炭素排出実質ゼロを実現すべく、下水道が有するポテンシャルを把握するために池田市下水処理場で流入水質(NH<sub>4</sub>-N)の連続計測を試み、計測結果を活用した下水処理場運転管理も併せて検討した。流入水NH<sub>4</sub>-Nは早朝に最小値となり、午前中に最大値となる典型的な時間変動が年間を通じて見られ、最小値と最大値では4倍近い差があり運転管理に考慮が必要と考えられた。流入水NH<sub>4</sub>-Nの予測では、平日の晴天日に関しては、ある程度の精度で予測が可能と考えられ、今後の運転計画システムへの展開が期待された。

キーワード：下水処理場、流入水質、連続計測、運転管理、流入負荷量予測

原稿受付 2022.6.30

EICA: 27(2・3) 41-44

## 1. はじめに

2050年カーボンニュートラル(二酸化炭素排出実質ゼロ)の実現に向け、下水道分野でも社会の脱炭素・循環型への転換を先導する「グリーンイノベーション下水道」を下水道事業の目指すべき姿とするとの報告書<sup>1)</sup>がまとめられた。実現するための方針のひとつとして、下水道が有するポテンシャルの最大活用が挙げられている。

下水道ポテンシャルとして、下水中有機物の化学エネルギーは下水処理場での電力消費量をはるかに上回ると報告されているが日本では十分に活用されていない。そこで、実際の下水処理場での流入ポテンシャルを把握するために流入水質の連続計測を試み<sup>2)</sup>、計測

結果を活用した下水処理場運転管理への活用も併せて検討した。

## 2. 流入水質計測システム

流入水質の連続計測にあたり、分流式(一部合流)下水道で処理能力74,400m<sup>3</sup>/日の池田市下水処理場の一系初沈流入部にFig.1に示すようにアンモニア性窒素計<sup>3)</sup>(NH<sub>4</sub>-N計)を設置し、計測データ(1分周期データ)はモバイル回線を経由してクラウドデータセンターに保存することとした。計測データはパソコンやスマホでトレンドグラフとして表示確認でき、データ出力も可能である。

なお、気象データについては最寄りのアメダスデー

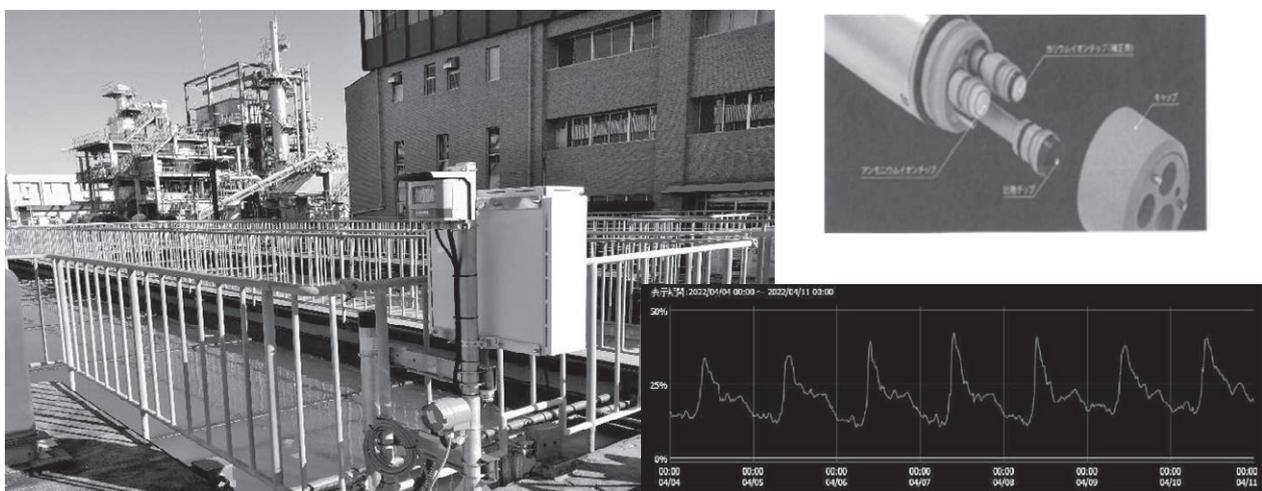


Fig.1 Influent quality monitoring system

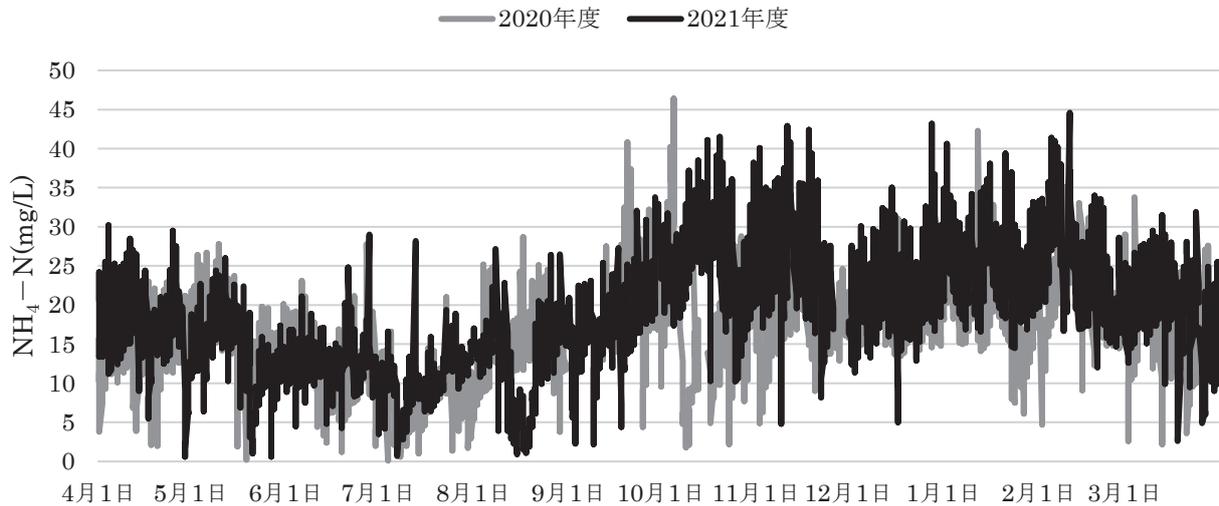


Fig. 2 Influent quality monitoring results

タ（豊中）を利用した。連続計測は2020年4月から開始したが、一部期間には新型コロナウイルス感染症緊急事態宣言等が発令されていた。

### 3. 連続計測結果

#### 3.1 季節変動

2年間にわたる流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  の連続計測結果を Fig. 2 に示す。大きな季節変動では夏場に低く、秋から冬にかけて上昇し、春には低下するという同じようなパターンが見られた。2021年度において、降雨の影響の少ない平日の平均値は、最も高い1月が25.2 mg/Lであり、最も低い7月の13.3 mg/Lの2倍近くとなっていた。さらに時間変動の最小値と最大値の幅も大きくなっていった。時々最小値が大きく低下しているのは降雨の影響であり、特に2021年8月12日から19日にかけての総降雨300 mm（時間最大は25 mm）を超える降雨の影響は大きく、最大値でも10 mg/L以下となっていた。さらに影響が長引き、元のレベルまで回復するのに一週間以上かかっていた。なお、一部期間に出されていた外出自粛要請の影響は確認できなかった。

2年間の流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  と気温との関係を Fig. 3 に

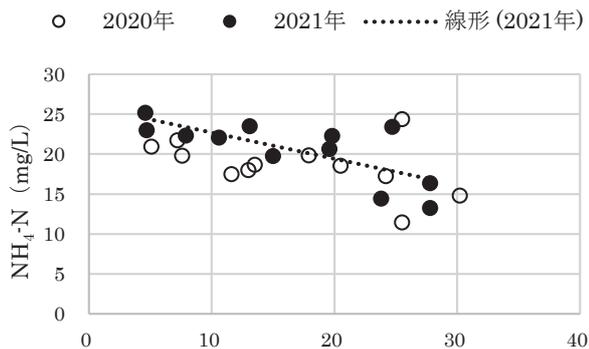


Fig. 3 Relationship between influent  $\text{NH}_4\text{-N}$  and temperature

示す。2020年度・2021年度ともに気温が低いほうが流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  が高いという傾向であった。

#### 3.2 日間変動

$\text{NH}_4\text{-N}$  の日間変動の一例（2022年4月4日（月）～10日（日））を Fig. 4 に示す。早朝に最小値となり、午前中（9時から10時）に最大値となる典型的な時間変動が一年を通じて見られた。また、最小値と最大値では4倍近い差があり、運転管理でも考慮が必要と考えられた。

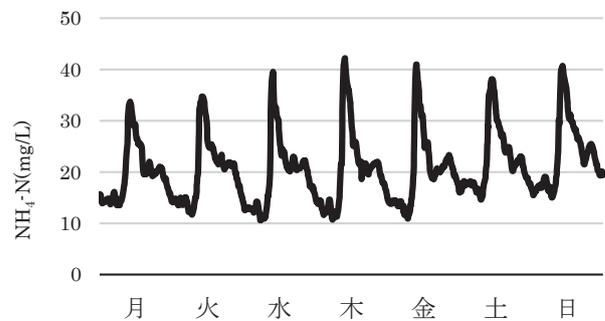


Fig. 4 Influent  $\text{NH}_4\text{-N}$  monitoring results (one week)

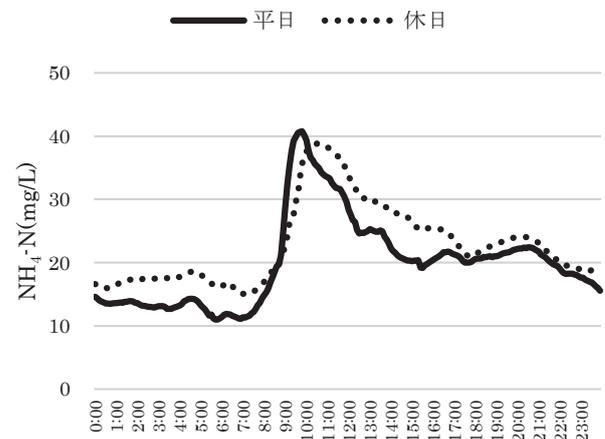


Fig. 5 Influent  $\text{NH}_4\text{-N}$  monitoring results (week day & holiday)

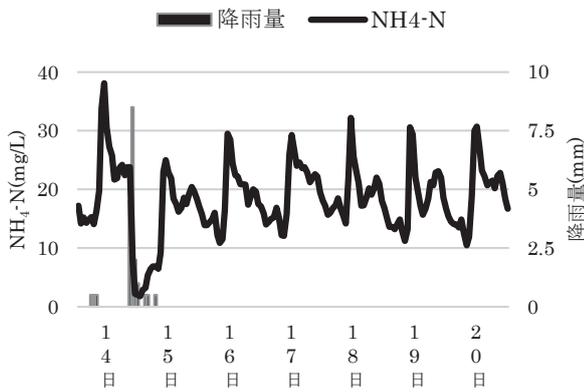


Fig. 6 Impact of rainfall on influent NH<sub>4</sub>-N

また、平日と休日ではピーク時間に差が見られたので、平日と休日の平均値の変化を Fig. 5 に示す。休日ではピークの時刻が平日よりも1時間程度遅く、ピーク値も若干小さくなっていった。また、午後に向けてゆっくり低下するという傾向も見られた。

分流式(一部合流)下水道ではあるが、降雨の影響について、2022年4月14日(木)の総降雨量20mm(時間最大8.5mm)の計測結果を Fig. 6 に示す。流入水 NH<sub>4</sub>-N は降雨の影響を大きく影響を受け、時間最大降雨時は2mg/L 近くまで低下していた。また、降雨終了後の回復には4日以上かかるようであり、降雨終了後も数日間は活性汚泥の回復も含めて運転管理に留意が必要であると考えられた。

### 3.3 時間変動

下水処理場の運転管理においては、流入負荷量(=水量×水質)としての把握が重要と考えられる。そこで、2021年12月6日～12月10日(7日には14mmの降雨有)の流入水量データを入手し、計測した流入水質から流入負荷量を計算した。降雨の影響の少ない晴天日の流入負荷量の時間変動パターンを Fig. 7 に示す。池田市下水処理場では、流入管きよの貯留能力を活用した揚水量平滑化運転が実施されているので、流入水質時間変動の影響が大きく、午前中に大きなピークが見られ、夕方には流入水量の影響による2つ

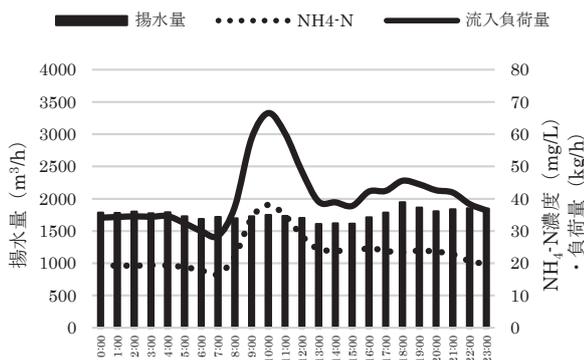


Fig. 7 Inflow load on a sunny day

目のピークも見られた。

池田市下水処理場では流入水 NH<sub>4</sub>-N の時間変動の計測結果を利用し、反応タンクへの流入負荷の低くなる時間帯の送風量削減を行い、省エネの可能性を確認している<sup>4)</sup>。

### 3.4 流入水質予測の試み

時系列データの予測手法としていくつかの手法が提案され、雨天時流入量予測<sup>5,6)</sup>や処理水質の予測<sup>7)</sup>に適用されている。ここでは、流入水質が24時間(1日)という強い周期性を持つことが確認されたので、自己回帰<sup>8)</sup>による晴天時の流入水 NH<sub>4</sub>-N の予測を試みた。

Fig. 4 に示した2022年4月4日(月)～10日(日)の流入水 NH<sub>4</sub>-N データ(6分間隔)を用いて各日毎の相関係数を計算し Table 1 にまとめた。平日では特に前日との相関が高く、相関係数は0.98程度であったが経過日数が増加すると相関係数は低下していた。また、土日は平日との相関は低く、特に土曜日は0.9を下回っていた(土日間は高い相関有)。

そこで、前の週のデータとの相関も考慮し。以下の式で流入水 NH<sub>4</sub>-N を予測した。

$$\text{流入水 NH}_4\text{-N} = (\alpha 1 \times R1 \times \text{前日 NH}_4\text{-N} + \alpha 2 \times R2 \times \text{前々日 NH}_4\text{-N} + \alpha 3 \times R3 \times \text{前週同曜日 NH}_4\text{-N}) / 3 + b$$

$\alpha$  ; 影響係数 (今回は全て1), R ; 相関係数, b ; 補正值

Table 1 Correlation coefficient for each day

	4月4日	4月5日	4月6日	4月7日	4月8日	4月9日	4月10日
4月4日		0.978	0.962	0.972	0.962	0.939	0.964
4月5日			0.981	0.976	0.964	0.933	0.966
4月6日				0.986	0.985	0.880	0.926
4月7日					0.986	0.888	0.928
4月8日						0.871	0.914
4月9日							0.981
4月10日							

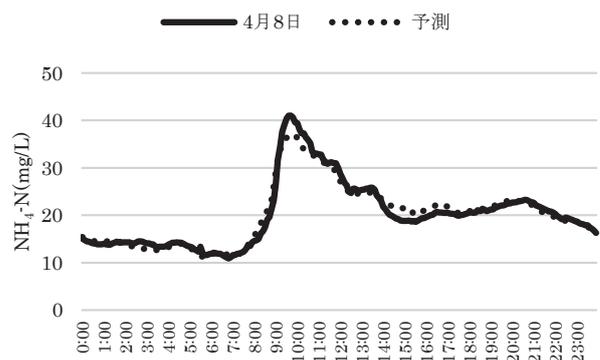


Fig. 8 Prediction result of influent NH<sub>4</sub>-N

平日の最終日であった4月8日(金)の流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  の予測結果を実績値とともに Fig. 8 に示す。時間変動パターンを概ね予測できていた。ただし、午前中のピーク時の最大値は実績値の 41 mg/L に対し、予測値は 37.2 mg/L と約 4 mg/L 低くなっていた。これは前週の流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  が低めに推移し、同曜日の最大値が 28.2 mg/L であったのと同じ影響係数で評価したためと考えている。

以上のことより、平日の晴天日に関してはある程度の精度で流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  が予測できると考えられた。流入水質と流入水量とから計算する流入負荷量が予測できると、AIによる処理水質モデル<sup>9)</sup>や下水処理場シミュレータを利用した運転計画システム<sup>10)</sup>への発展も期待できる。しかしながら、休日の予測のための影響係数の考え方や降雨時の流入負荷量予測、さらには降雨終了後の回復期の流入水質の予測等、実用化に向けては課題も多い。

#### 4. おわりに

本検討では、池田市下水処理場での流入ポテンシャルを把握するために流入水質の連続計測を試み、計測結果を活用した下水処理場運転管理への活用も併せて検討した。

得られた結果をまとめると以下ようになる。

- ① 流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  は早朝に最小値となり、午前中(9時から10時)に最大値となる典型的な時間変動が年間を通じて見られた。また、最小値と最大値では4倍近い差があり、運転管理でも考慮が必要と考えられた。
- ② 一年間の  $\text{NH}_4\text{-N}$  の変動では、冬場のほうが高い傾向であり、最小値と最大値の幅も冬場が大きかった。気温の低い冬場が  $\text{NH}_4\text{-N}$  が高い傾向となっており、水使用量の減少等が考えられた。一部合流式のために降雨の影響も考えられたが、気温ほど顕著な関係は見られなかった。
- ③ 流入負荷量に関しては、流入管きよの貯留能力を活用した揚水量平滑化運転が実施されているために  $\text{NH}_4\text{-N}$  変動の影響が大きく、午前中に大きなピークが見られ、夕方には流入量の影響

による2つ目のピークも見られた。

- ④ 自己回帰による流入水  $\text{NH}_4\text{-N}$  の予測では、平日の晴天日に関してはある程度の精度で予測が可能と考えられた。

今後は実下水処理場への各種施策の実装も視野に、他の下水処理場での連続計測も実施して時間変動パターンの一般性の確認も行いつつ、流入負荷量予測に基づく下水処理場運転計画システムを確立したいと考えている。

本研究は「流入水質を活用する下水処理場の水質管理検討会」の活動の一環として実施しました。関係各位に感謝します。とりわけ  $\text{NH}_4\text{-N}$  計を設置させていただいた池田市下水処理場の皆様に感謝します。

#### 参考文献

- 1) 国土交通省下水道部・日本下水道協会：脱炭素社会への貢献のあり方検討小委員会報告書，令和4年3月。
- 2) 福嶋俊貴・西村文武：下水処理場流入水質の連続計測と運転管理への活用に関する基礎的研究，環境衛生工学研究 投稿中。
- 3) 堀場アドバンスドテクノ：アンモニア態窒素計 HC-200NH
- 4) 工藤亨・森数樹・乃一宏之(2022)：アンモニア負荷変動に応じた反応タンク送風量の削減検討，第59回下水道研究発表会講演集，pp.397-399(2022)。
- 5) 佐藤克己・中根進・高橋岩仁・保坂成司・森田 弘昭：流量・水温法データのAI機械学習による雨天時浸水量解析の研究，下水道協会誌，Vol.58 No.708，pp.88-99(2021)。
- 6) 柏崎拓成・湛記先：AIを活用した下水流量の予測，学会誌「EICA」第26巻 第2・3合併号，pp.35-38(2021)。
- 7) 隋鵬哲・島村和彰：下水処理における人工知能モデルの構築及び処理水水質の予測精度検討，第58回下水道研究発表会講演集，pp.758-760(2021)。
- 8) 平岡正勝・津村和志・藤田逸朗・金谷利憲：自己回帰モデルによる活性汚泥プロセスのシステム同定，水システム自動計測ワークショップ講演集，pp.287-290(1989)。
- 9) 西村文武・全邦釘・藤森祥文・児玉千絵・日高平・森脇亮・羽藤英二：都市域・流域圏の情報拠点としての下水道一運転管理データ活用の試み一，AI・データサイエンス論文集 Vol.1, No.J1, pp.278-285(2020)。
- 10) 福嶋俊貴：流入負荷量予測に基づく下水処理場運転計画立案システム，学会誌「EICA」第24巻 第2・3合併号，pp.58-61(2019)。