

## 〈研究発表〉

# 自動洗浄機能を備えた水質測定ユニットの開発と下水処理場での活用

湛 記 先<sup>1)</sup>, 池 畑 将 樹<sup>1)</sup>, 小 泉 栄 一<sup>1)</sup>, 池 田 洋 平<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 株式会社ウォーターエージェンシー 水マネジメント本部 研究開発部  
(〒162-0813 東京都新宿区東五軒町3-25 E-mail: jx-zhan@water-agency.com)

### 概 要

下水処理場において、水質センサーによる測定値が、異常流入の監視や、処理場の運転制御などに利用されている。水質センサーは大変重要な役割を担っているが、し渣の絡みつきや生物膜の付着などにより汚れやすく、長期間に渡って正常な測定を継続することは困難であった。また、センサーの特性の変化などによる測定値のドリフトへの対応も必要である。このような課題を解決するために、筆者らは上水や井水を用いた自動洗浄機能を備えた水質測定ユニットを開発した。本報では、この水質測定ユニットの下水処理場での活用方法と利用実績について報告する。センサーはメンテナンスなしで6ヶ月以上に渡り正常な測定ができた。

キーワード：廃水処理, オンサイト測定, 自動洗浄, 自動補正, 自動診断

## 1. はじめに

下水処理場では、pH計、SS計、DO計、ORP計など多くの水質センサーが流入水質の監視や処理状況の確認などを目的として利用されてきた。

近年では、省エネルギーや高度処理（窒素及びりん）の安定化を目的としてNH<sub>4</sub>-N計やNO<sub>3</sub>-N計の測定値を利用した風量制御が試みられるようになってきている。

監視用に設置するセンサーであれば、多少の誤差が生じたとしても大きな問題とはならないことが多いと考えられるが、センサー値に基づいて風量制御を行うことを想定した場合には、計測値の誤差が、制御結果に大きな影響を与える恐れがあることから、センサーの汚れが制御に与える影響を低減する手段が強く求められている。

特に、下水処理場においては、センサーの汚れが測定値に与える影響が大きく、この影響をいかに防ぐかが課題となっている。また、水質センサーを用いる際には、測定値のドリフト（センサーの特性の変化による計測値の真値からのずれ）も問題となる。

一般的に、水質センサーは下水が流入する水路や反応タンクに設置され、これらの水質を連続測定する形態で用いられることが多い。市販のセンサーには、圧縮空気や超音波などによる自動洗浄機能を備えたものもあるが、これらの洗浄を行った場合でも、このような環境において、汚れの影響を長期間に渡って防ぐことは困難であり、週1回などの高い頻度でセンサーを設置箇所から引き上げて、検出部を清掃する作業（以下、引き上げ洗浄という）が必要となっていた。

近年、清浄状態を比較的長く保つことができるワイパー式の洗浄機構を備えた光学式センサーが開発されているが、適用できるセンサーの種類が限定される。また、この場合でも定期的な引き上げ洗浄とドリフト対策は必要となる。

測定値のドリフト状況を把握するためには、日常的には、計測値と手分析値との比較から推定し、より正確を期する場合には、水質センサーを引き上げて、標準液などを用いて確認する必要がある。

このように、水質センサーの信頼性を確保するために多くの手間を要することが、水質センサーを利用した制御を行ううえで大きな障害となっていた。

このような事態を鑑みて、水質センサーを活用した風量制御を実現することを目的として、筆者らは、自動洗浄機能を備えた水質測定ユニットを開発した。

この水質測定ユニットを用いることで、下水処理場の流入水を測定する場合でも、手間をかけずに、長期間に渡って水質センサーの信頼性を保つことが可能になり、水質センサーの測定値をもとにした風量制御が実現できることとなった。

開発した風量制御方法とその制御結果については既報<sup>1,2)</sup>で詳述している。

本報では、水質測定ユニットの機器構成、自動洗浄の方法、測定値の補正方法などについて概説する。

## 2. 水質測定ユニットの概要

### 2.1 水質測定ユニットの構成

水質測定ユニットは、Fig. 1に示すように、計測タンク、採水ポンプ、電動弁、センサー等で構成されて

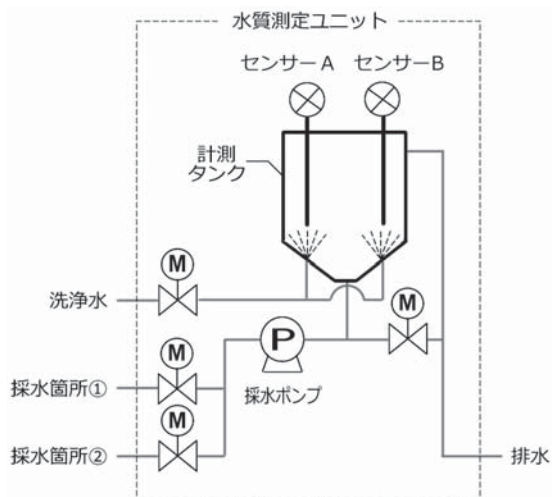


Fig. 1 Outline of the wastewater quality measurement unit

いる。採水用の電動弁は複数設けられており、電動弁の切り替えにより複数個所の水質を測定できるようになっている。また、計測タンクには複数の水質センサーを設置することができる。水質測定ユニットを新たに設置するためには一定のコストがかかるが、これらの工夫により、測定対象毎にセンサーを設置する場合や、センサー毎に洗浄装置を設ける場合に比べ、イニシャルコスト及びランニングコストを大幅に低減することが可能となる。

ここで、計測タンクに設置するセンサーは、SS計、 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計、 $\text{NO}_3\text{-N}$ 計、pH計などが考えられる。

採水ポンプと電動弁の動作により、測定と洗浄が自動的に行われるが、これらの機器はコントローラによって自動的に制御される。測定時間、洗浄時間などは測定環境などに応じて自由に設定することができる。

## 2.2 洗浄方法

水質測定ユニットでは、計測終了後に計測タンクからサンプルを排出し、計測タンクが空になった状態で一定以上の水圧に保った洗浄水をセンサーの検出部に向けて洗浄ノズルから噴出させることにより、水質センサーを洗浄する。さらに、洗浄水に上水または井水を用いることで、洗浄効果を高めている。

従来の自動洗浄方法は、いずれも、サンプルにセンサーが浸った状態で検出部に付着した汚れを除去しようとしていた。このような洗浄方法では、洗浄効果は不完全なものとならざるを得ず、その結果、定期的な引き上げ洗浄を併用する必要が生じていた。

これに対して、水質測定ユニットでは、大気中において、清水（上水または井水）を用いて洗浄を行うという、新たな発想により、これまでになく高い洗浄効果が得られ、引き上げ洗浄頻度は大幅に減少する。

さらに、洗浄が終了した後、計測タンクに洗浄水を満たし、計測タンクに設置したセンサーにより洗浄水

の水質を測定する工程（以下、「ゼロ測定」工程という）を設けることで、洗浄水の水質測定結果をもとにして、センサーの汚れ状況やドリフト状況を確認することが可能となった。

## 3. センサーの汚れとドリフトへの対応

### 3.1 センサーの汚れとドリフトについて

水質測定ユニットを用いることにより、従来に比べ、センサー測定値に対する汚れによる影響は大きく改善されるが、測定対象の性質によっては、汚れを完全に防ぐことができない場合も考えられる。そのような場合でも、汚れの程度の把握が可能であって、それに対処することができれば、測定値の信頼性を長期間に渡って維持することは可能であると考えられる。計測値にドリフトが生じた場合にも、ドリフト状況の把握と、それに対する処置を行うことでドリフトした値を補正することができる。

一般的に、汚れによる影響はセンサーの測定原理によって異なる挙動を示す。

例えば、イオン選択電極式の $\text{NH}_4\text{-N}$ 計の場合は、測定時間が十分確保される条件においては、汚れが生じて測定結果には大きな変化は見られないが、応答性が悪くなる。そのため、測定時間が短い場合には、汚れの影響が測定値に与える影響は大きくなる。

これに対して、光学式のSS計では、応答性に影響はないが、汚れにより測定値は真値よりも高くなる。

一方、測定値にドリフトが生じた場合は、測定原理によらず、いずれの形式のセンサーにおいても、測定結果に誤差が生じ、校正または補正が必要となる。

ここで、ドリフトには、ゼロドリフトとスパンドリフトがあるが、以下の議論においてはゼロドリフトに限定して検討を進める。また、直線性が高くゲインが安定していることを前提とする。

### 3.2 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計の測定値補正方法

Fig. 2に汚れの有無による $\text{NH}_4\text{-N}$ 計の応答性の違いを示す。 $\text{NH}_4\text{-N}$ 計はイオン選択電極式のものをを用いた(WTW社 AmmoLyt®Plus 700IQ)。試料はA処理場(オキシデーショントイッチ法)の流入水である。

はじめに、センサーが汚れた状態でサンプルを測定し、その後、センサーを洗浄したうえで、汚れの無い状態で同じサンプルを測定した。汚れの無い状態では15分経過した時点で測定値が安定したのに対して、汚れた状態では経過時間が1時間を超えても測定値は安定しなかった。

このように、イオン選択電極式のセンサーでは、汚れの影響により応答性が悪くなるため、測定時間を一

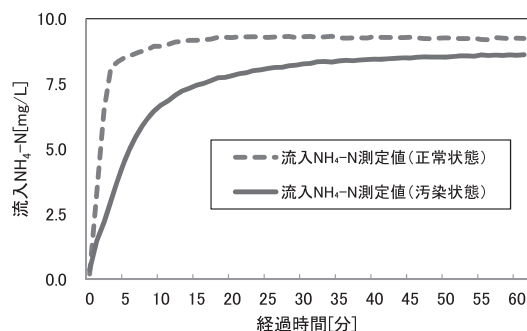


Fig. 2 Responsibility comparison of stained to clean ISE NH<sub>4</sub>-N sensor

定とした条件（例えば測定時間を15分とした場合）においてはサンプルの水質が真値に比べて低く測定されることになり、この値をもとにして風量制御を行った場合、必要な風量に対して、送風量が不足する事態となり、処理水質に影響が生じることになる。

水質測定ユニットでは、Fig. 2に示したような測定値の経時変化を監視することで、汚れの影響が疑われる際には警報を発報するとともに、制御のために使用する水質を測定値からパターン値（過去1週間の時間毎の平均値などを用いる）に切り替えるといった方法で、このような問題に対処することが可能である。

一方、センサー値のドリフトに対しては、洗浄水の測定値を利用して対処している。一般的に、上水や井水のNH<sub>4</sub>-Nは0 mg/Lであると考えられる。ここで、NH<sub>4</sub>-Nセンサー測定値と真値（分析値）とが線形関係にあるとした場合、洗浄水を測定した際の測定値が0 mg/Lでなければ、ドリフトが生じていると判断して、洗浄水測定時の値を用いてサンプルの測定値を補正することで、水質センサーによる測定値を、より正確なものとする事ができる。

上に述べた補正方法のイメージをFig. 3に示す。補正式は次式で示される。

$$C_{\text{補正}} = k \times C_{\text{測定}} - k_0 \times C_0 \quad (1)$$

ここで、各変数とパラメータは以下に定義される。

- C<sub>補正</sub>：ドリフト補正後の値
- C<sub>測定</sub>：補正前の値
- C<sub>0</sub>：洗浄水の測定値
- k：補正乗数（通常は1とする）
- k<sub>0</sub>：補正乗数（通常は1とする）

### 3.3 SS計の測定値補正方法

SS計の汚れに対する自動診断と自動補正の方法を確立するとともに、洗浄条件を最適化することを目的として、開発当初、B処理場（オキシデーショニング法）において調査実験を行った。

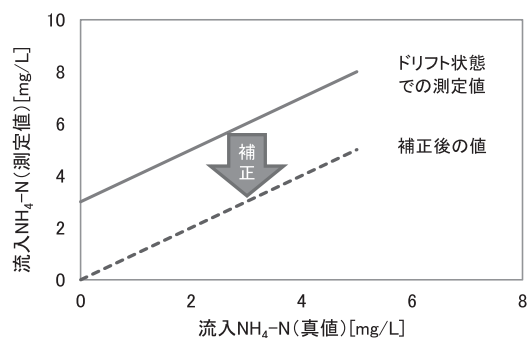


Fig. 3 Image of drift compensation

SS計は透過光・散乱光比較方式のものを使用した（横河電機SS300G）。水質測定ユニットにSS計を設置し、流入水と反応タンクの水質を測定したが、ここでは流入水の測定結果について検討する。

流入水のSSは1時間に1回、1回あたり20分間測定した。流入水の測定後、一定の頻度で洗浄水を計測タンクに満たしてSSを測定する「ゼロ測定」工程を設けた。この洗浄水のSS測定値の日最小値をSS<sub>0</sub>とした。

以下では、流入水SSの日最小値をもとに、センサーの汚れの影響を検討する。ここで、日最小値を用いたのは、流入水の水質は、一般的に最大値や平均値については日によって変動がみられるのに対して、最小値については大きな差異は生じない傾向にある、という経験的な知見によるものである。

SS<sub>0</sub>と流入SS日最小値との関係をFig. 4に示す。一次近似式の傾きは1に近い値となっており、このことはSSセンサーの汚れに対してSS<sub>0</sub>を用いた補正が有効であることを示唆している。

上記の仮説を検証することを目的として以下に示す手順によりC処理場（標準法）で実験を行った。

- ① 橙色に着色した透明な薄いビニルテープをSS計の検出部に貼り付けることで、センサーに模擬的な汚染状態を作る。
- ② 流入水と反応タンク混合液を、井水を希釈水として4段階に希釈し、試験に用いる試料を調製

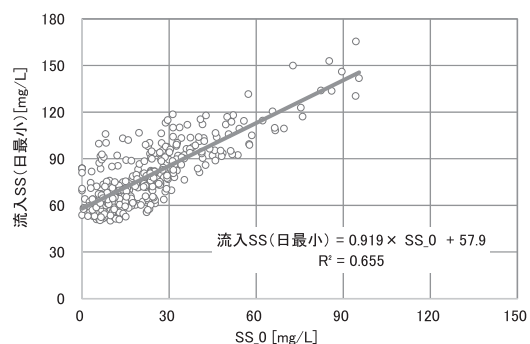


Fig. 4 Correlation of measured influent SS to SS<sub>0</sub> values



する。

- ③ ①のセンサーを用いて、②で調製した試料を測定する。試料の測定前にセンサーを洗浄水に浸し、センサー値が安定した時点で、次の測定を行う。
- ④ ①で貼り付けたビニルテープを除去した後、②で調製した試料の測定を行う。③と同様に、試料の測定前にセンサーを洗浄水に浸し、センサー値が安定した時点で、次の測定を行う。

③で測定した洗浄水の測定値の平均値は 82.9 mg/L であり、④で測定した洗浄水の測定値の平均値は 0.5 mg/L であった。

Fig. 5 に、③で測定した試料の測定値と④で測定した試料の測定値の関係を(1)の補正式を用いた理論式とともに示す。

Fig. 5 からは、測定結果と理論式がよく一致していることがわかる。このことから、SS 計の汚れに対する補正についても、前述した(1)式を適用することができると考えられる。また、SS 計のゼロドリフトに対しても汚れと同様に対処し、両者の影響を合わせて、SS\_0 を利用して、(1)式により補正することが可能である。

さらに、水質測定ユニットでは、SS\_0 を利用して、汚れやドリフトの程度を自動診断することが可能であり、警報設定値を超えた場合には警報を発報する。

洗浄方法や洗浄条件について工夫した結果、水質センサーを水質測定ユニットに設置してから、6 か月以上、引き上げ洗浄を実施することなく、正常な水質測定ができるようになった。その一例を Fig. 6 に示す。SS\_0 は 200 日間に渡って低い値で安定しており、流入 SS の測定値も正常な動きを示している。

#### 4. ま と め

筆者らは水質センサーを活用した下水処理場における風量自動制御を実現することを目的として、自動洗浄機能を備えた水質測定ユニットを開発した。

本報では、これを用いることで、水質センサーの汚

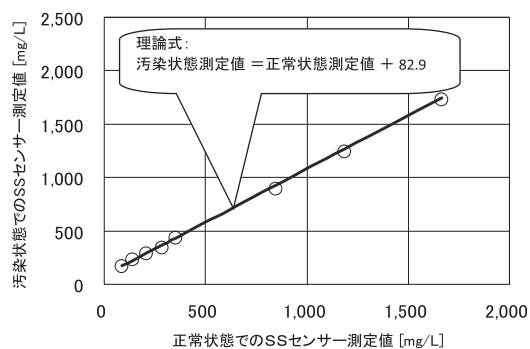


Fig. 5 Comparison of stained to unstained SS sensor

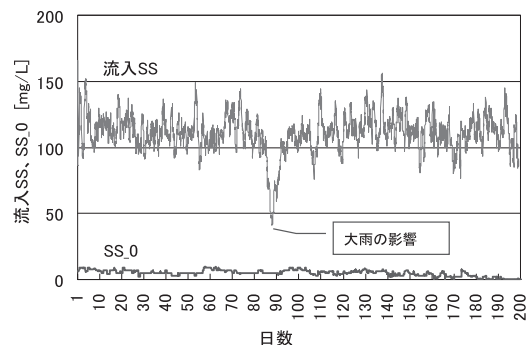


Fig. 6 Long term result of SS sensor values without maintenance

れの問題を解決できることを明らかにするとともに、実施において、6ヶ月以上、引き上げ洗浄を行うことなく、正常な水質測定ができたことを示した。

また、NH<sub>4</sub>-N 計と SS 計を例として、洗浄水の測定値を利用したゼロドリフトに対する具体的な補正方法を提示した。そして、この方法が、SS 計の測定値に対する汚れの影響の補正においても有効であることを実験を通じて証明した。

#### 参 考 文 献

- 1) 湛 記先, 池畑将樹, 川口幸男, 糸川浩紀, 村上孝雄: 流入負荷のオンライン測定値に基づいた OD 法のエアレーション制御, 学会誌「EICA」, Vol. 13, No. 2/3, pp. 97-100 (2008)
- 2) 湛 記先, 小泉栄一, 黛 将志, 川口幸男, 橋本敏一: 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」, Vol. 17, No. 2/3, pp. 47-50 (2012)