

II. 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「人口減少社会における情報技術を活用した水質確保を含む管路網管理向上策に関する研究」
分担研究報告書

水質計の開発及び実証

研究分担者 氏名：三宅亮 所属：東京大学工学系研究所

研究要旨

科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業において開発された小型水質計を用いて、水道事業者の協力を得て実管路において実証試験を行い、実用化に必要な性能諸元、最適配置及び管理方法等について提案する。平成 29 年度においては、前記、小型水質計に対して、現地での試薬の交換を容易とする計測用試薬部の簡易交換機能、無線での遠隔計測をより簡便とするための制御・計測回路の通信系の統合、それらを盛り込んだプロトタイプの水質計器の試作、さらに実地検証のための採取部の製作を行った。その後、小型水質計の既存計器との精度比較、維持管理に要する費用等の比較を行った。その結果、概ね安定的に動作することが確認された。一方で、既存計器の計測値の推移と比較して、取得データについては、特徴的な変動・ばらつきが確認された。これらについては要因を考察し、今後の対応策について提案した。

A. 研究目的

近年、研究が進められている小型水質計（残留塩素濃度等）について、実管路において実証を行い実用化の可能性を調査する。これらの結果を水質計の開発に関する提案に反映させる。具体的には科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業において開発された小型水質計を用いて、水道事業者の協力を得て、実管路において実証試験を行い、実用化に必要な性能諸元、最適配置及び管理方法等について提案する。

平成 29 年度においては、科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業において開発された小型水質計に対して、現地での試薬の交換を容易とする計測用試薬部の簡易交換機能、無線での遠隔計測をより簡便とするための制御・計測回路の通信系の統合、それらを盛り込んだプロトタイプの水質計器（以下、プロト計器）の試作、さらに実地検証のための採取部の製作を行う。その

後、小型水質計の既存計器との精度比較、維持管理に要する費用等の比較を行い、送配水管の水質管理等における遠隔化・省力化の実現に適した技術を評価する。

B. 研究方法

図 1 に小型水質計の構成図を示す。図中のポンプユニットで加圧・送出された試料水は、水質計ユニットの試薬カートリッジ内に入った後、上部の分析部に至る。ポンプによって与えられる圧力は、試薬カートリッジ内の試薬バックを加圧することにも利用される。分析動作時に、上部分析部に設けられた開閉バルブを一定時間開放することで、前記圧力に圧されて試薬バック内の試薬が、一定量、分析部を流れる試料水に添加される。試料水と添加された試薬は、分析部に設けられたマイクロ流路にて徐々に混和が進行し、発色反応を呈する。この発色度合は試料水中の対象物質の濃度に依存して変化する。下流部に設けられたフロー

セルの一方には赤・青・緑の順に高速で点滅する LED 光源が設けられており、もう一方の端にはフローセルを透過する光量を計測するためのフォトダイオードが設けられている。これによりフローセル中を流れる試料水の色の变化を透過光量変化として捉えられる。この透過光量から吸光度を求め、濃度に換算する。

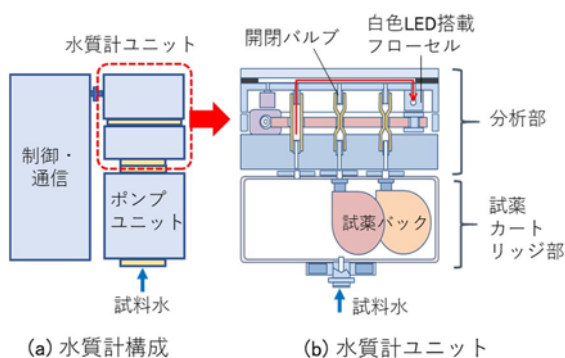


図 1 水質計の構成図

図 2 に本研究にて試作した簡易交換機能を備えた試薬カートリッジの写真を示す。従来は、試薬カートリッジと上部の分析部はネジ止めにより固定されていたが、磁気コネクタに改良し着脱容易とした。コネクタは試料水用及び試薬用と併せて 2 か所設けられている。筐体は 3D プリンタを用い、熔融樹脂を積層・硬化させて形成した。マグネットはリング状のネオジウム磁石を用いた。十分な吸引力を得るためには、上下のマグネットを平面的に密着させる必要がある。そのため、3D プリンタによる樹脂の積層ピッチを 0.028 mm、水平方向の精度を 0.1 mm とし、着脱部分の位置決め精度を確保した。

次にポンプユニットのポンプを駆動するための通信制御系と水質計ユニットの計測系を一体化した。従来は、ポンプユニットと水質計ユニットは別々の通信系にて制御されていたため、遠隔に設置した場合に同期が乱れる等の課題があった。そこで 2 つの制御プログラムを、同じ通信系統で扱う

ことができるように、システムを拡張・改良を施した。



図 2 簡易交換機能付試薬カートリッジ

図 3 に、実地検証のための採取部の構成図を示す。平成 29 年度は、浄水場の既存プロト計器が設置されている環境に水質計を並置して、比較評価を行った。そのため、既存計器と同じ採水ラインから試料水を採取する構成とした。図に示すように、採水栓から管路を分岐させ、一次溜め容器に導入する。余剰の試料水は一次溜め容器からオーバーフローさせて、その外部に設けられた排水パンを経て、排水する。一次溜め容器から水質計へは、ポンプユニットを動作させて試料水を水質計ユニットに引き込む。以上の構成とすることで、採水栓にかかる圧力を開放させるとともに、ポンプユニットに加わる水頭圧を一定に保つことができる。

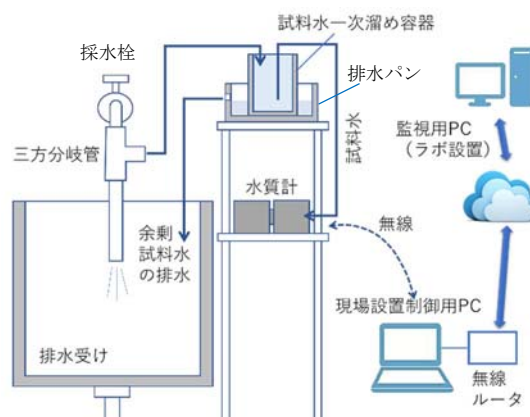


図 3 採取部構成図

C. 研究成果

図4に、実地検証のためのT浄水場の採取箇所での水質計の設置状況を示す。評価時期は、2018年2月6日から2月14日である。気温が、零度付近まで下がり、試薬反応に影響を及ぼす可能性があるため、気温、加えて湿度、気圧、照度の4項目を5分ごとに遠隔にて計測可能な環境センサ装置も併せて設置した。



図4 水質計設置状況

残留塩素濃度の検出法として、本研究では、DPD法を用いた。DPD法では、試料水に試薬を混和すると、赤色の発色を生じる。この試料水に対して、赤、青、緑3色のLED発光を照射すると、緑色光と青色光において透過光が吸収されるが、ここでは青色の

透過光量を残留塩素濃度計測用の値として採用した。図5に、上記試験期間中において、1時間毎に取得した透過光量の変化を示す。青色実線はブランクの透過光量値、青色点線は発色時の透過光量値を示す。なお、本透過光量値は、発色度合がピークを取るタイミングでの透過光量値を採用した。参考のために、環境センサ装置からの気温計測履歴も同図に示す。

全期間を通して、ブランク値に対して、おおそ一定値低下した透過光量値が得られている。同じ場所に設置されている既存計器の残留塩素濃度値においても、値は大きく変動せず、ほぼ一定値を維持している。以上から、今回新しく開発した試薬カートリッジおよび通信制御系を備えた水質計は、本試験期間中において、概ね安定的に動作したものと考えられる。また設置環境での気温は上下10℃程度の日変動があり、また朝方には零度付近まで低下したが、計測データを見る限り、気温変化は特に試薬反応に影響を与えているようには見えなかった。

一方、図中①、②、③の部分では、計測データの推移に特徴的な変化が見られる。

これらの要因として想定される事象と対応策について、次項にて議論する。

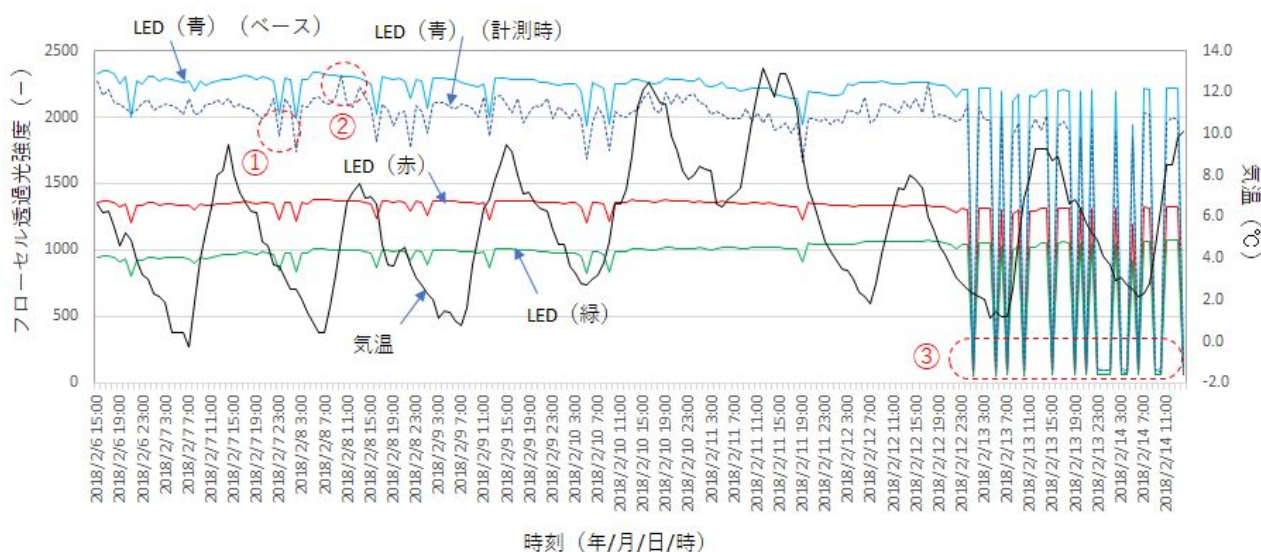


図5 実地での計測データ (透過光量及び気温履歴)

D. 考察

図中①については、ブランク値も同様に低下しているため、要因としては、試料水中に混入した微小気泡や夾雑物がフローセルを通過する際の光量低下が要因と想定される。これについては、吸収波長域から離れた赤色のブランク値との差分値にて補正する方法等が対応策として考えられる。

図中②については、測定時の透過光量の時間変化を細かく観察したところ、通常に比べて発色試料水のフローセルへの到達に時間を要していることが確認された。その要因としては、流路の一部に気相が入り、試料水の流動を阻害していることが想定される。これについては、到達時間にウィンドウを設け、それから外れた信号値については、再検査を実施するなどを盛り込んだ計測プロトコルを新たに開発する。

図中③について、より詳細に透過光量の時間変化を観察したところ、著しく透過光量が低下している部分においても、ブランク値と透過光量値の比率は、それ以外の部分と同じであることが確認された。すなわちフローセルの光透過部分、特に両端の導入・導出窓部分に透過光を遮るものが常時、付着・停留したことが要因として考えられる。付着物としては試料水中のミネラル分、気泡などが想定される。対応策としては、汚れや気泡の付きにくい窓材質あるいは表面処理技術の開発が求められる。

E. 結論

簡易交換機能を備えた試薬カートリッジや、ポンプユニットと水質計ユニットを同じ無線系で通信制御可能な水質計を開発した。これを用いて T 浄水場内において実地検証を実施した。その結果、概ね安定的に動作することが確認された。一方で、既存計器の計測値の推移と比較して、取得データについては、特徴的な変動・ばらつきが

確認された。これらについては要因を推察し、今後の対応策について提案した。

F. 研究発表

1. 論文発表
該当なし
2. 学会発表
該当なし

G. 知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得
該当なし
2. 実用新案登録
該当なし
3. その他
該当なし

参考文献

- 1) 三宅亮, W.P.Bula, 遠藤喜重, 佐藤友美, 村上裕二, 横山新, 浅野由花子, 富樫盛典, 渡辺彬, マイクロデバイスを活用する水質モニタリング, 化学とマイクロ・ナノシステム学会誌, 2017年, Vol. 16, No.1 pp. 8-14