

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）
「水道の基盤強化に資する技術の水道システムへの実装に向けた研究」
分担研究報告書

水道システム全体を視野に入れた経済的な水質センサー及びデータ活用手法の開発等

研究分担者 三宅 亮 東京大学工学系研究科 教授

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、及びそれに続く厚生労働省科学研究費補助金における実証試験を通して明らかにした、実用化に必要な性能諸元等の要件をベースに、センサーデータのポスト処理の品質を確保しつつ、経済的なセンサーを提案するために、計測の簡素化方法、及びそれを可能とする水質計を提案・検証し、データ伝送・活用方法の提案を目的とした。これに対して、令和4年度は、試作した簡素な水質計を屋外配水拠点に設置し、性能検証を行った。またそれらの知見を基に、実用的かつ経済的なデータ活用方法及びそれに対応した水質センサーの仕様の提示を行った。

A. 研究目的

水道システム全体を視野に入れた経済的な水質センサー及びデータ活用手法の開発等を行う。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、及びそれに続く厚生労働省科学研究費補助金における実証試験を通して明らかにした、実用化に必要な性能諸元等の要件をベースに、計測の簡素化方法、及びそれを可能とする水質計を提案・検証し、データ伝送・活用方法の提案を目的とする。以上の目的を受けて、令和4年度は、令和3年度に試作した簡素な水質計の更なる改良を進めるとともに、屋外排水拠点（水道配水池に近接設置されている計器ボックス内）に設置し、性能検証を行う。またそれらの知見を基に、実用的かつ経済的なデータ活用方法及びそれに対応した水質センサー（水質計および通信系）の仕様の提示を行う。

B. 研究方法

令和3年度に提案・試作した簡素化水質計は、試料水の採取環境により、本体部周辺に

も試料水が接触して流れる。そこで、水質計の耐水性能をさらに向上させるために、図1に示すように、試料水の導入ヘッド部分のドレイン構造の改良や、水質系本体部に設けられた電源ケーブル孔を耐水性のある脱着容易な防水コネクタへ変更し、また排出チューブ孔を脱着容易なコネクタへ変更した。さらに試薬バックの脱着安定化のために、ピアス穿孔周辺部の再設計・強度向上を図った。

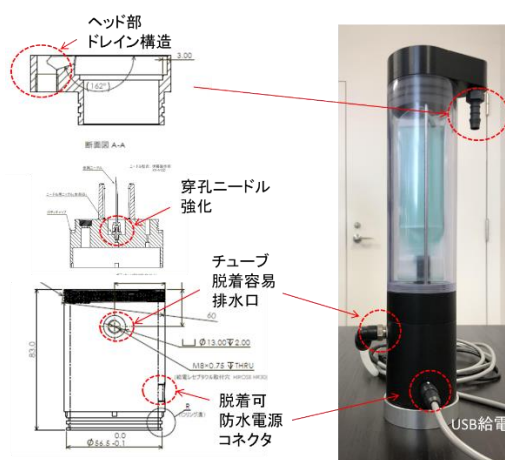


図1. 耐水性を強化した改良水質計

また、令和3年度に提案したブリリアントブルー-FCF色素による塩素由来の信号値を補正する信号処理アルゴリズムの改良を進め、信号幅に応じた解析範囲の自動調整、流速変動の影響補正などの機能を追加した(図2左参照)。それらの改良後の濃度と補正後の信号値との関係を同図(右)に示す。良好な線形関係が得られている。

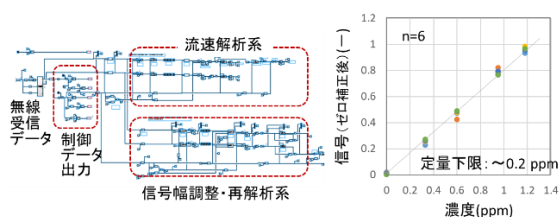


図2. 信号処理アルゴリズムの改良

次に、クラウドへのデータのアップロード時間間隔と計測遅延や波形のひずみ状況に与える影響について調べた(表1参照)。その結果、時間間隔を10秒程度にすることで、遅延(実計測時とのずれ)が発生せず、かつ再生された波形も歪まないことがわかった。

表1. クラウドへの伝送頻度と計測遅延

アップロード間隔(秒)	計測遅延(実際は15分毎)	波形再生状況(波形の粗さ)
1~2.5	20分以上	◎
5	~18分	○
10	15~16分	○
20	15分	×

C. 研究成果

以上の改良を施した水質計を、屋外の配水拠点に設置し、性能検証を行った。具体的には、横浜市水道局の協力の下、市内の公共施設に隣接する排水施設用の水質計器ボックス内に、図3に示すように水質計を取り付けた。水質計内への試料水の導入量は1計測当たり約0.5 mLであり、余分の試料水はヘッドドレイン部から排水される。計測頻度は15分に1回とした。水質計からの元データは近距離無線にて、同じボックス内に設置した

ゲートウェイ(マイコン+通信機能)に0.1秒間隔で送られる。波形データおよび前記の信号処理アルゴリズムによって計算されたデータ(水質推定値、マイクロ流路内試料流量等)が、ゲートウェイから専用のクラウドに公衆ネットワーク回線(LTE)経由でアップロードされるように設定した。電力はボックス内に収まるサイズのバッテリー電源(1週間程度の容量)で賄った。

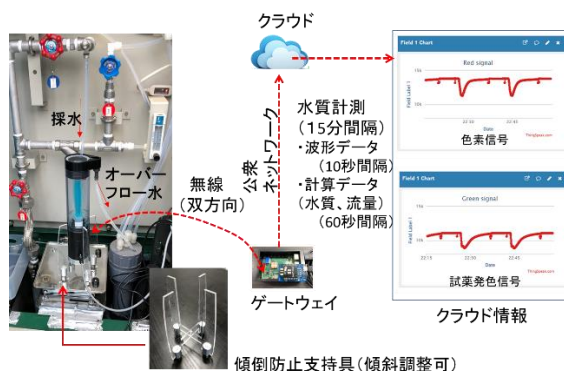


図3. 屋外計器ボックス内への実装の様子

設置開始後、試料水が本体内部へ侵入する問題が発生したため、後半では耐水性を強化した水質計に交換、設置した。その結果、若干のデータ遅延が発生したが、耐水性能に問題はなく、連続して動作した。試薬の消費量については、この間(1週間)で、全体の約20%であった。図4上段に、水質推定値の経時変化の一例(24時間)を示す。また同じ計器ボックス内に既設されている市販水質計による同時刻の水質値を下段に示す。概ね安定して計測できることが確認された。

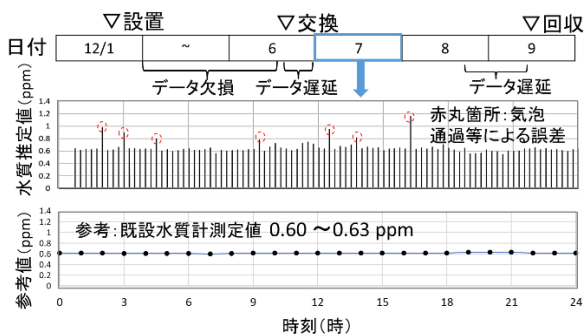


図4. 改良水質計による計測例

水質計の交換後に発生したデータの遅延（時刻のずれ）については、今後、信号アルゴリズムの軽量化、水質計本体にタイムスタンプ機能を付加する等の対策を講じる予定である。

D. 考察

水質計の改良およびフィールド評価での知見を基に、実用的かつ経済的なデータ活用方法及びそれに対応した水質計の仕様について以下に考察・提案する。まず耐水性能や堅牢性などを付与した、最終形に近い水質計本体の製作コストは20～30千円であった。これにゲートウェイの約10千円が追加される。これらをフィールドに設置した場合のランニングコストは、水質の測定時間間隔と、クラウドにアップロードするデータ仕様によって変わる。測定間隔が短くなれば試薬の交換頻度も高くなるため、コストも上昇する。試薬費用およびデータ管理コストの面から3通りに試算した結果を表2に示す。

表2. システム仕様とコスト算定

測定時間間隔	15分	30分	60分
試薬交換頻度 ¹⁾	1か月	2か月	4か月
試薬費用* (円/年/台)	～2,400	～1,200	～600
データ仕様	水質値	水質値、 波形データ	水質値、 波形データ、 動作状態データ (流量変化など)
データ管理コスト [§] (円/年/台)	～1,600	～10,000	～6,000

¹⁾フィールド実験での試薬消費量から算定

* 試薬コスト: 200円/バックと想定

[§] 商用IoTプラットフォーム: 0.003円/messageを想定

一例として15分間隔で水質計測を行う場合について述べる。試薬費用については、1か月程度で試薬バックの交換が必要であり、試薬バックの価格を200円程度と仮定すると年間2,400円が必要となる。また、15分間隔の場合は、データ遅延を起ささないために、アップロードするデータは水質推定値(60秒毎)に限定される。IoT向けの商用プラットフォームでのデータ管理コストはおおよそ0.003円/メッセージと想定されるので年間

のデータ管理コストは1,600円程度となる。一方、60分に1回程度の間隔での計測で良いとのことであれば、試薬バックの交換は4か月に1回程度となり、費用も600円程度まで圧縮できる。計測間隔が広がるので、保守に必要な動作状態データ(試料水流量など)も併せてアップロード可能となるが、データ量の増加に伴い、データ管理コストは年間6,000円程度となる。

分担研究「水質管理の基盤強化に係る既存・将来技術の調査および課題抽出」において実施された調査の結果、現行の水道末端での手分析による水質監視の代替として、コストが見合えば、自動計測のニーズがあることが明らかになった。これに対して、本水質計および通信系を用い、測定時間間隔を60分程度、データ仕様を水質推定値のみとする仕様とすることで、手分析の代替となるコスト競争力のある提案が可能と思われる。

E. 結論

センサーデータのポスト処理の品質を確保しつつ、経済的なセンサーを提案するために令和4年度は、令和3年度に試作した簡素な水質計の更なる改良を進めるとともに、配水拠点に設置し、性能検証を行った。またそれらの知見を基に、実用的かつ経済的なデータ活用方法及びそれに対応した水質センサー(水質計・通信系)の仕様の提示を行った。

F. 研究発表

1. 論文発表

Hidekatsu Tazawa, Tomomi Sato, Yu Sakuta, Ryo Miyake, "Development of microfluidic devices for on-site water quality testing using glass molding", Analytical Sciences, DOI:10.1007/s44211-023-00335-3

2. 学会発表(予定)

Masayuki Kawakami, Toshihiro Kasama, Tomomi Sato, Madoka Takai, Daisaku Yano,

Hidekatsu Tazawa, Kaito Maehara, Hiroshi Murakami and Ryo Miyake, “SIMPLE AND SMART FLOW INJECTION TYPE WATER QUALITY METER DRIVEN BY BRILLIANT COLORED REA-GENT”, Proc. Of Transducers 2023, Kyoto, June 2023(accepted)

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