

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科

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、協力を得た水道事業者が所管するフィールド内の実管路において実地検証を行い、水道用の水質計を開発・改良すること並びに実用化に必要な性能諸元、最適配置及び活用形態等について提案することを目的としている。平成 29、30 年度には、実地検証等を通して、水質計内の流路・フローセルへの泡がみに起因すると想定される特徴的な変動・ばらつきが確認された。これを受けて水質計の動作プログラムの改良と、それらを搭載した現場設置制御用 PC 及び通信環境の改良を行い、浄水場内へ水質計を再度設置し、改良した通信環境のもとで評価を行ったところ、計測データの変動・ばらつきは抑えられ、比較的安定したデータが得られる見通しを得た。以上を受けて令和元年度は、改良計器を実証フィールド内に設置し、性能検証及びそれに伴う採取インターフェースの開発、通信環境の改良を進めた。また、実証フィールドでの検証に基づき、現状での水質計器の性能諸元を取りまとめるとともに、装置の活用指針として技術面・コスト面からの配置、活用形態の提案を行った。

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、実管路において実地検証を行い、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、協力を得た水道事業者が所管するフィールド内の実管路網（以下、実証フィールドという）において実地検証を行い、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ことを目的とする。

以上の目的を受けて、平成 29 年度には、新たに無線通信系を付加した水質計を用いて、実地検証を実施したところ、計測データに特徴的な変動・ばらつきが確認され、水質計内の流路やフローセルでの泡がみが直接的

な要因であると考察された。そこで平成 30 年度は、水質計の動作プログラムの改良（泡がみの抑制、気泡の除去判断等）とそれらを制御するための現場設置制御用 PC 及び通信環境の改良を行った。改良した水質計を浄水場内へ設置し、改良事項の評価を行うとともに、課題の抽出と改良案の提示を行うことを目的とした。以上を受けて令和元年度は、改良計器を実証フィールド内に設置し、性能検証及びそれに伴う採取インターフェースの開発、通信環境の改良を試みた。また、実証フィールドでの検証に基づき、現状での水質計の性能諸元をまとめ、それを基にした技術面・コスト面からの配置案、活用形態の提案を行った。

B. 研究方法

図 1 に、開発した採取インターフェース部を示す。夾雑物除去時の圧力損失を低減するために、フィルタ構造としてクロスフロー型フィルタを採用した。また計測開始時に採取部途中に滞留する水道水(残留塩素濃度濃度値劣化の可能性)を排除し、水道配管内の新鮮な水道水を取り込むために、一時貯留槽を設け、一定量の水をオーバーフローさせた後に、分析部へ搬送する系及び自動化機構を構築した。

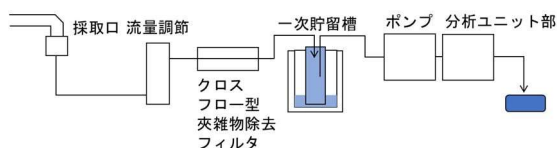


図 1 採取インターフェース部の開発

採取インターフェース部と、分析ユニットを一体・内蔵化した試作装置の外観及び内部構成を、図 3 に示す。実験操作の便宜上、各要素間は余裕をもって配置したため、装置全体の大きさは高さ 300 mm×幅 200mm×行き 150 mm 程度となったが、最終的な機能、要素配置等が決定されれば、更なる小型化は可能である。

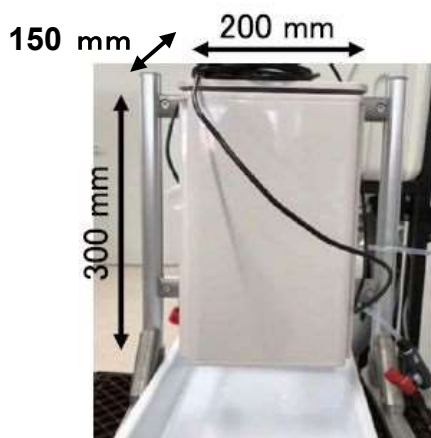


図 2 試作装置外観

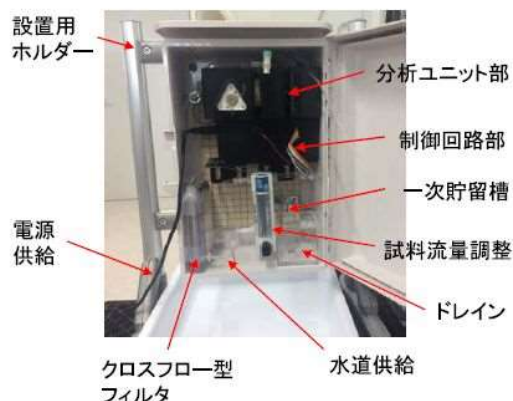


図 3 試作装置内部

C. 研究成果

図 4 に、試作装置を屋外の実証フィールドに設置した様子を示す。開発した水質計を組み込んだ試作装置は、自律型ゲートウェイステーションとの間を無線、その後、インターネット回線を介して遠隔場所から制御可能とした。この設置環境を利用して、採取インターフェースの機能、給電環境、無線制御の検証などを実施した。

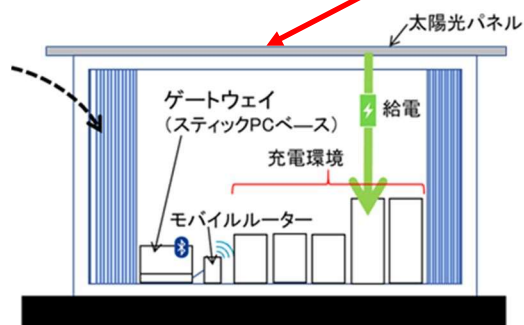


図 4 実証フィールドへの実装状況

本試作装置を1週間程度、現場に留置した結果、水道配管と試作装置をつなぐ接手部から漏水が発生した。水道配管から直接試料水を採取する場合は、耐圧性の高い接手構造や漏水の遠隔診断、遠隔回復機能等が重要な課題であることが確認された。

表 1 に、試作装置に設定されている無線機能（近距離無線）における通信距離を評価した結果を示す。金属等のパッケージ被覆がない場合は、100 m 程度まで通信可能であることが判明した。一方、障害物として薄い金属箔が一層存在するだけで、通信距離は 50 m 程度まで低下することが判明した。今後の装置の外装パッケージの仕様決定や設計、あるいはアンテナの配置等の設計指針に反映させる必要がある。

表 1 水質計の信号到達距離の評価

障害物条件	距離(m)				
	0	10	20	50	100
無	◎	◎	◎	◎	○
1層	◎	○	○	△	x
3層	◎	△	x	x	x

図 5 は、取得される情報の漏洩防止、安全性を向上させる目的で水質計から発信される信号に暗号処理を施した場合、ゲートウェイでの復号化処理を含めた処理時間を検証したものである。これによると、5 台相当の計器において、信号を複合するのに、最大 10 分程度の時間を要することがわかった。

以上の検討結果を受けて、開発した水質計の現状での性能達成状況を表 2 に示す。参考に目標とする性能諸元についても併記する。全体を構成する要素としては、概ね対応済であるが、直接水道配管から試料水を採取する場合、水漏れしない接手、漏水の診断機能の搭載等が必要である。全体の寸法については、目標とする寸法には至っていないが、目的に沿って構成や実装を最適化することで 150mm 立方（マンホール内設置を想定）に

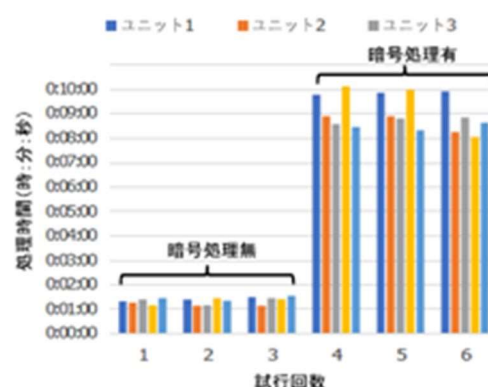
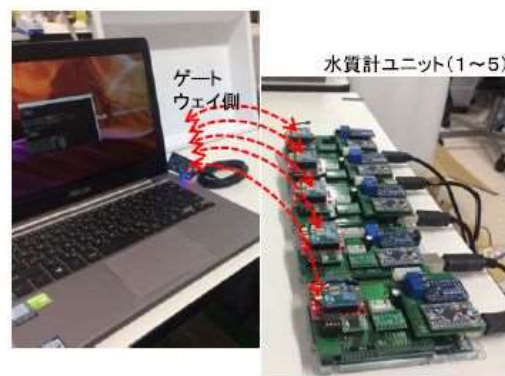


図 5 通信データの安全性向上（暗号化処理）と必要処理時間

収めることは可能と考える。一方、現状では試薬の劣化が抑えきれておらず、特に低濃度の計測時には誤差が含まれる場合があり、更なる解決策、工夫が必要である。通信距離は、現状では 50 m 程度であるが、山間部での利用を考えると 200 m 程度は必要である。今後の通信機器の性能向上が待たれる。計測頻度は、情報安全性を確保するため、暗号化、特に復号化処理を行う必要があり、これらの処理は分単位の時系列生データを直接、送出している。これが計測頻度を制限する要因となり、現状では 1 計測に 10 分程度を要する。計測頻度を上げるためには、例えば、水質計本体やゲートウェイ等に演算機能（エッジ処理）を搭載し、濃度値を算出、濃度値データのみを送信できれば解決可能だが、エッジ処理については、今後、検討すべき課題である。計測頻度を上げる上で最も律速となるのは、

表 2 小型水質計の性能諸元

項目	目標性能諸元	現状
構成	水質計本体、通信機能、フィルタ部、採取部	水質計本体、通信機能、フィルタ部
寸法	～150 mm 立方	～200 mm x 300 mm
計測項目	残留塩素、水温、色度、濁度、水圧	残留塩素(水温、水圧)
計測レンジ、安定性	0.1 ～2.0 ppm, ±3 %	0.3 ～ 2.0 ppm, ±5 % (課題: 試薬安定性)
計測頻度	1 回/分	1回/時間
利用環境耐性	-10 ～ 60 °C	-10 ～35 °C (課題: 高温耐性)
保守性能	試薬交換1回/3ヵ月	試薬交換1回/1ヵ月
通信距離	200 m	～50 m
情報安全性	無線通信時、暗号化・復号化処理	無線通信時、暗号化・複合化処理可 (ただし所用時間～10分)
給電	無給電(太陽光発電)	バッテリー駆動
コスト(試作ベース)	～ ¥100,000	水質計本体: ～ ¥50,000 通信部: ～ ¥10,000 フィルタ部: ～ ¥100,000 電源: ～ ¥50,000

試薬の搭載量である。試薬搭載量を増加させるか(装置が大型化)、あるいは1回の計測での試薬消費量を減らす(分析精度とのバランス)ことで計測頻度を増加させることは可能である。

D. 考察

表 3 に、現状での達成状況を基に想定される小型水質計の活用形態案を示す。活用形態

案として、大きく随時利用と常時設置の2案に分けられる。前者は、水質計自体を持ち運んでスポット的な計測に利用する方法や、一定期間だけ所定の場所に設置して水道水質の変動データを取得するものである。特に、荒井研究分担者が構築した水質変化の予測モデル(NNモデル)の学習データを取得する際に有用と考える。一方、後者の常時設置は、該当する地域に分散設置して継続的に水

表 3 小型水質計の活用形態案

活用形態	用途	システム規模	水質計の運用形態	課題	対応状況	
随時利用	①可搬利用	ポイント・短時間での残留塩素などの計測	1～少数台 ・レンタル ・少数台保有し随時利用	・簡便な水採取技術	○	
	②モデル支援利用	水質変動予測モデル向けに地域配管網の特性データ取得用	数台程度(モデル対象規模に依存) ・レンタル ・予測サービス事業に含まれる定期計測サービス	・着脱容易な配管接続技術 ・モデル構築に適した採取箇所の選定	○	
常時設置	③計測頻度変動型	通常時は低頻度で測定、水利用増大時あるいは緊急時には高頻度測定	地域毎に～十台+ゲートウェイ ・計測事業受託(配水運用向けデータ取得用)	・頻度変更システムの開発 ・ダウン制御技術の開発	△	
	計測頻度固定型	④低頻度	水質計毎に測定タイミングをずらして補間補正、見かけ上高頻度化	地域毎に～十台+ゲートウェイ ・計測事業受託(同上)	・補間補正方法の技術開発 ・通信距離拡大	△
		⑤高頻度	各水質計で同時・同期計測	地域毎に数十台+複数ゲートウェイ ・事業体にて運用(含エビデンス利用)	・計測高頻度化 ・初期投資額	×

質状態を観測する利用法である。ただし、計測頻度は1回/10分程度が上限であり、現状の電極型水質計と比較して見劣りする。そのため水需要や気候が安定している場合は、長い時間間隔で計測し、急激な需要量の変化や、河川水量の増大などがある場合において、短い時間間隔での計測に切り替えるなどの対応が考えられる。これにより試薬の消費を抑え、試薬交換無しに長期間連続計測を可能とする。また、図6に示すように、各々の水質計での計測タイミングを少しずつずらして計測する。これとNNモデルと連動させることで、計測時間インターバル間の水質値変化を補間する方法も考えられる。

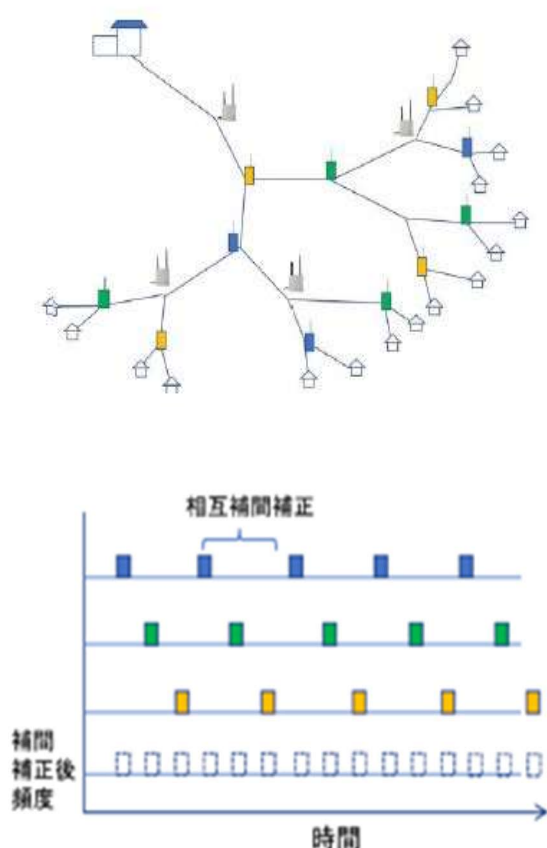


図6 水質変化予測モデルとの連動による水質値補間

E. 結論

平成29、30年度に実施した実証フィールドでの水質計の検証、改良を経て、令和元年度は、採取インターフェースを備えた試作装置を製作した。本試作装置を実証フィールド内に設置し、性能検証及び通信環境の改良を行った。また、実証フィールドでの検証に基づき、現状での水質計の性能諸元を取りまとめ、それを基にした技術面・コスト面からの配置案、活用形態を提案した。

F. 研究発表

1. 論文発表

1) 佐藤 友美, 室岡 駿, 三橋 雅彦, 田澤 英克, 笠間 敏博, 三宅 亮, マイクロ流路へのDiamond Like Carbon コーティング法, 日本機械学会第10回マイクロ・ナノ工学シンポジウム講演論文集, 20-m3-PN3-22, (2019).

2. 学会発表

1) Shun Murooka, Tomomi Sato, Toshihiro Kasa-ma, Zhou Lu, Keiichiro Kushiro, Madoka Takai, Ryo Miyake, Evaluation of mineral precipitation and bacteria adhesion on Diamond-like carbon coated microchannel, International Symposium on Microchemistry and Microsystems (ISMM), 2019/5/18

2) 室岡 駿, 佐藤 友美, 笠間 敏博, 陸 洲, 久代 京一郎, 高井 まどか, 三宅 亮, DLC薄膜を用いたオンサイト水質計向けマイクロ流路表面処理技術, 第39回化学とマイクロ・ナノシステム学会, 2019/5/28.

3) 室岡 駿, 佐藤 友美, 笠間 敏博, 三宅 亮, 試料液中の懸濁微小物質付着・滞留評価のためのマイクロ流路評価実験系の構築, 第40回化学とマイクロ・ナノシステム学会, 2019/11/19.

4) 佐藤 友美, 室岡 駿, 三橋 雅彦, 田澤 英克, 笠間 敏博, 三宅 亮, マイクロ流路への Diamond Like Carbon コーティング法, 日本機械学会第 10 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2019/11/20.

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

Ⅲ. 研究成果の刊行に関する一覧表

研究成果の刊行に関する一覧表

刊行書籍又は雑誌名（雑誌の時は、雑誌名、巻数、論文名）、刊行年月日、刊行書店名、執筆者氏名

該当なし

