

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、既開発の湿式水質計の採取部と分析ユニット部を一体化した構成を提案、原理評価機の試作を行った。また簡素な電極センサー開発に向け、ポリイミド樹脂ベースの電極の試作を行い、センサーとしての原理性能を評価・確認した。さらにエッジでの計算処理回路を組み込んだゲートウェイの製作及び公衆サービスの選定を実施した。

A. 研究目的

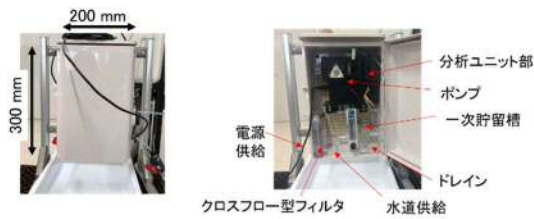
水道システム全体を視野に入れた経済的な水質センサー及びデータ活用手法の開発等を行う。具体的には科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業において開発された小型水質計、及びそれに続く厚生労働省科学研究費補助金における実証試験を通して明らかにした、実用化に必要な性能諸元等の要件をベースに、計測の簡素化方法、及びそれを可能とする水質センサーを提案・検証し、データ伝送・活用方法の提案を目的とする。

以上の目的を受けて、令和2年度は、簡素な水質センサーの構成及び計測方法等の提案を行い、一部について原理試作を実施する。また本センサー形態に合わせたデータ伝送方法を検討すべく、エッジでの計算処理を可能とする手段及び公衆サービスの調査・選定を実施する。

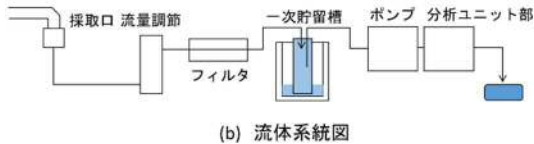
ロスフロー型フィルタを採用した。また計測開始時に採取部途中で滞留する水道水を排除し、水道配管内の新鮮な水道水を取り込むために、一次貯留槽を設け、一定量の水をオーバーフローさせたのちに、分析部へ搬送する系及び自動化機構を備えた。その結果、分析ユニット部分は小型であるが、周辺機能を合わせると300mm程度の大きさとなった。また試料液を導入するためのポンプや電磁弁、貯留槽などを備える必要があった。以上からコストを抑え、多くの場所に現場設置可能とするためには、その大きさ、簡素化の面で更なる改良を行う必要があった。

B. 研究方法

図1に既往研究で開発した水質計の外観と流路系統図を示す。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



(a) 採取部を含む水質計外観



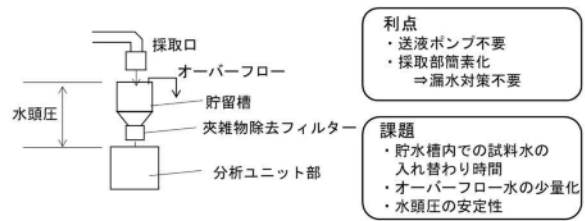
(b) 流体系統図

図 1. 既往研究における水質計

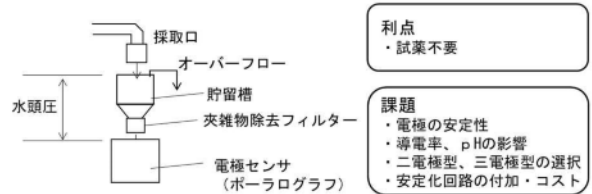
これを受けて、全体の小型化を阻む要因である試料水の採取方法や、コストを上げる要因であるポンプ類を省く構成を新たに検討し、一部、原理評価機の試作に着手した。また本センサー形態に合わせて、エッジでの計算処理を可能とする手段及び公衆サービスの調査・選定を実施した。

C. 研究成果

小型化、簡素化を目的に、様々な構成を検討した結果、図 2 に示す採取部とポンプ機能を統合・簡素化したシステム構成を提案した。上面を開放状態とした貯留槽を設け、ここに採取口から直接、試料水を供給する。余分な試料水はオーバーフローをして外部に流れ出す。貯留槽に入った試料水は水頭圧により夾雑物除去フィルタを経由して分析ユニットに入る。この構造とすることでポンプや流路切り替えの電磁弁等が不要となる。分析ユニット部は既往研究で開発済の分析ユニット部の他、本研究で新たに開発する電極センサーのいずれかを用いる。本構成を実現するための課題として、貯留槽内での試料水の滞留時間の削減、水頭圧の安定性が挙げられる。



(a) 湿式水質計のセンサ部・採取部の簡素化構成と課題



(b) 電極方式による水質計代替案と課題

図 2. 水質計の簡素化に向けた構成案

以上の構成案を受けて、原理評価機を試作した。図 3 に具体的な構成と評価機の外観を示す。貯留槽を含めて大きさは直径 60 mm、長さ 200 mm の円筒状となった。実際に貯留槽に試料水を連続滴下供給、一部、オーバーフロー状態にて稼働させた結果、一定流量（ $\sim 30 \mu\text{L}/\text{min}$ ）にて通水可能であることを確認した。本原理評価機については、貯留槽に外部から試料水を落下供給した場合に水頭圧が変動し、それに起因する水質分析ユニット内での流量変化が懸念されたが、日内において変化は見られず安定な流れが得られた。

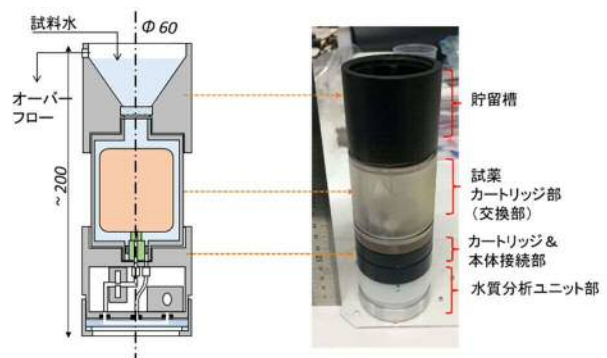


図 3. 原理評価機

次に電極センサー簡素化の検討を行った。従来は、切削加工等によって作成された金属

電極をフローセル内に挿入、電極表面を常に初期状態に保つために、析出物や汚れを除去するための洗浄機能を設ける必要があり、簡素化を阻む要因となっていた。そこで電極部を定期的な使い捨て部品とすることで、これらの洗浄機能を不要とすることを目指した。そのため、まず電極の簡易作製方法の検討を行った。

半導体加工技術により Si 基板にフローセルを作成し、その流路面に電極となる金属薄膜をパターン形成する方法などを候補として検討したが、最終的には材料として安価なポリイミド樹脂を用い、レーザー加熱により表面にグラフェン様導電層を形成する方法を試すこととした。図 4 にレーザー加熱により生成したグラフェン層の SEM 写真と、それを備えた電極の構造図を示す。センサーとしての有効性を確認するために、濃度の異なる塩化カリウム溶液を随時、電極部に滴下し、交流インピーダンス変化を計測したところ、濃度に依存したインピーダンス変化を捉えることができた。

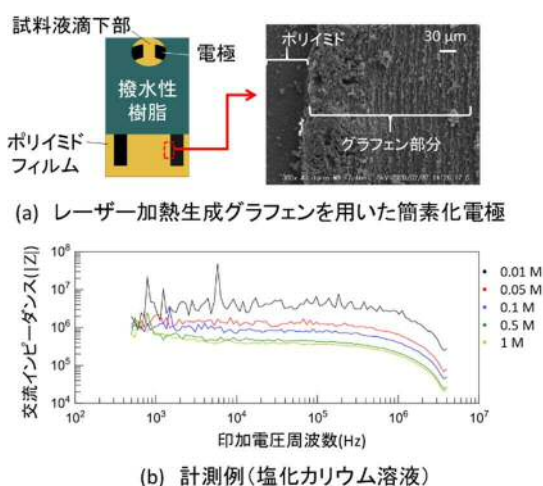


図 4. 簡素化電極の試作・原理確認

以上に加えて、前記センサー形態に合わせて、伝送データ量の低減を目的にエッジでの計算処理回路を組み込んだゲートウェ

イの製作及び公衆サービスの調査・選定を実施した。

D. 考察

新たに試作した水質計においては、長期的には貯留槽から分析ユニットに至る流路内への汚れや詰まり等により流動抵抗が増加、流量が変化する可能性もあり、これらについては実環境での中長期での設置評価にて検証する予定である。一方、電極センサーについては、極めて簡素な電極形成方法が見出された。今後は、分析感度、耐久性や安定性、フローセルへの実装方法などの検証を実施する。

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、既開発の湿式水質計の採取部と分析ユニット部を一体化した構成を提案、原理評価機の試作を行った。また簡素な電極センサー開発に向け、ポリイミド樹脂ベースの電極の試作を行い、センサーとしての原理性能を評価・確認した。さらにエッジでの計算処理回路を組み込んだゲートウェイの製作及び公衆サービスの選定を実施した。

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