

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

令和2年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 清 塚 雅 彦

令和3 (2021) 年 5 月

目 次

| | | |
|------|--|----|
| I. | 総括研究報告 | |
| | 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 | 1 |
| | 清塚 雅彦 (公益財団法人 水道技術研究センター) | |
| II. | 分担研究報告 | |
| 1-1. | 水質管理の強化に係る既存・将来技術の文献調査と課題抽出 (アンケート) | 9 |
| | 市川 学 (公益財団法人 水道技術研究センター) | |
| 1-2. | 水質管理の強化に係る既存・将来技術の文献調査と課題抽出 (文献調査) | 14 |
| | 島崎 大 (国立保健医療科学院) | |
| 2. | 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発 | 21 |
| | 鎌田 素之 (関東学院大学) | |
| 3. | ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討 | 25 |
| | 山村 寛 (中央大学) | |
| 4. | 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 | 34 |
| | 三宅 亮 (東京大学) | |
| III. | 研究成果の刊行に関する一覧表 | 37 |

添付資料

| | | |
|----|------------|----|
| 1. | 研究体制 | 38 |
| 2. | アンケート調査票 | 39 |
| 3. | ヒアリング調査議事録 | 47 |
| 4. | WG 会議議事録 | 60 |
| 5. | 研究班会議議事録 | 85 |

I. 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）

総括研究報告書

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

研究代表者 清塚 雅彦 公益財団法人水道技術研究センター 常務理事

研究要旨

我が国では、水道事業に携わる職員が不足する中、水道システム全体において水質の安全性を確保しつつ、適正な維持管理を行う手法の導入による経営効率化を図ることが求められている。

本研究では、水質変動や異常時における早期発見を目的とするシステム導入を目指して、監視すべき水質指標を特定し、それらを効率的に監視する技術を開発するとともに、当該技術を組み込んだ水道システムの評価や改良点等をまとめるもので、具体的には以下のような4つの課題について取り組んでいる。

- (1) 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
- (2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発
- (3) ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討
- (4) 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

本研究の実施期間は、令和2年度から令和4年度の3カ年を予定しており、令和2年度は3カ年計画の1年目である。研究体制は清塚雅彦（水道技術研究センター常務理事）を研究代表者とし、学識者及び水道技術研究センター職員を研究分担者とするとともに、水道事業体の技術者を研究協力者とした。

令和2年度の研究成果の概要は次のとおりである。

- (1) 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

国内32水道事業体に対して、連続測定データの利活用に関する実態把握を目的としたアンケート調査を実施した。濁度、pH、残留塩素濃度は9割以上の事業体で測定されていた一方、データの利活用は事業体間及び項目間で差がみられた。また、自動監視装置の課題としては、費用、測定精度、維持管理などが挙げられた。

また、海外文献調査では、キーワード検索でヒットした文献の要旨等から判断し、当研究の趣旨に該当する13文献について抄録した。その上で、水質測定に関する新技術について、微生物及び溶存有機物の連続測定、オンライン型水質センサー、水質予測手法の4

項目に分類し、それぞれの開発動向や課題点を抽出、考察した。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

連続測定可能な新たな水質指標を探索すべく、文献調査及び水道事業体並びに企業へのヒアリング調査を行った。その結果、近年いくつかの事業体で三次元蛍光分析が試行され、注目されていたものの、日本では連続測定の実績が少ないことがわかった。そこで、海外文献を調査したところ、本分析はすでに、給水の有機物濃度の予測や、水質汚染事故の早期検出などに使用されていた。そのため、今後我が国でも、本分析が、水質管理において有用な連続測定項目になりうると考えられた。

(3) ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討

浄水場が保有する残留塩素濃度の時系列データに着目し、長期短期記憶 (LSTM) ネットワークモデルにより、給水末端における残留塩素濃度予測モデルの構築を試みた。その結果、予測時間を 6 時間以下にする必要があるものの、説明変数は残留塩素濃度だけでよく、4 か月分の 1 時間間隔データといった少ないデータ数でも、精度よく予測できることが分かった。

(4) 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

経済的な水質センサーの開発に向けて、既開発の湿式水質計については、採取部と分析ユニット部を一体化した構成を提案し、原理評価機の試作を行った。また、新たに、ポリイミド樹脂ベースの簡素な電極センサーを試作し、センサーとしての原形性能を評価・確認した。さらに、センサーにおける測定済データのポスト処理についての品質を確保するため、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。

研究分担者氏名・所属研究機関名及び所属研究機関における職名

- 市川 学・公益財団法人水道技術研究センター 主幹 浄水技術部長
- 島崎 大・国立保健医療科学院 上席主任研究官
- 鎌田 素之・関東学院大学 准教授
- 山村 寛・中央大学 教授
- 三宅 亮・東京大学 教授

A. 研究目的

我が国では、水道事業に携わる職員が不足する中、水道システム全体において水質の安全性を確保しつつ、適正な維持管理を行う手法の導入による経営効率化が求められている。そこで、水質変動や異常時における早期発見を目的とするシステム導入を目指し、監視すべき水質指標を特定してそれを経済的に連続監視する技術を開発するとともに、当該技術を組み込んだ水道システムの評価や改良点等をまとめることを目的

としている。

B. 研究方法

令和2年度は、「(1) 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」「(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発」「(3) ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討」「(4) 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」に取り組んだ。

(1) 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

全国の水道事業者へのアンケート調査と海外文献調査を実施し、自動監視装置を用いた水質管理の実態把握及び水質データの利活用について調査し、課題を抽出した。アンケート調査は地域に偏りがないよう絞り込んだ32事業者に対し実施した。

海外文献調査は国立保健医療科学院内にて利用可能な学術文献データベース（Web of Science Core Collection, JDream III, CiNii Articles, J-STAGE）を用い、あらかじめ設定したキーワードにて文献検索を実施した。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

国内の文献調査は、J-Dream3を用い、あらかじめ設定した「水道」「連続モニタリング」「連続測定」等のキーワードにて文献検索した。また、検索時に2015年以降の文献に絞りこみ、近年の連続測定に関する情報を収集した。国内の文献調査を踏まえ、GC/MSや三次元蛍光分析機によって水質の連続測定を行っている水道事業体に

対しヒアリング調査及び装置メーカーへのヒアリング調査を実施した。国内については、三次元蛍光分析の情報が限定的であったことから、PubMed等データベースを利用し「3D-EEM」、「Drinking Water」等のキーワードで文献検索を実施し、水道における三次元蛍光分析の活用事例について調査した。

(3) ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討

本研究では、神奈川県内広域水道企業団の水質データを用いて残留塩素予測モデルを構築した。水質データは、データセット①として、相模原浄水場、上和田給水地点、西谷給水地点での2018年7月1日から2020年6月30日の2年間分の30分間隔の残留塩素濃度(mg/L)、水温(°C)、導電率(mS/m)と、データセット②として、2010年4月1日から2020年3月31日の10年間分の1時間間隔の残留塩素濃度(mg/L)、水温(°C)、導電率(mS/m)を使用した。データセット①、②ともに、異常値の除去及びノイズを除去したものを学習・検証に使用した。

モデル構築作業では、任意時刻における浄水場出口の残留塩素濃度と給水地点の残留塩素濃度の差を「残留塩素低減量」として、長期短期記憶ネットワークモデル（以降、LSTM）の入出力値に用いた。構築したモデルの精度は、二乗平均平方根誤差（RMSE）及び相関係数 R^2 により評価した。また、残留塩素の連続測定装置の検出限界値0.05 mg/Lを勘案して、±0.025 mg/Lを許容誤差範囲とし、この範囲内に予測結果の最大値が収まることをモデル構築にあたっての目標とした。

(4) 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

既往研究で開発した水質計の課題として、を合わせると 300 mm 程度の大きさである点と、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りコストがかかる点が挙げられた。そこで今年度は、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

(1) 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

アンケートの結果、様々な水質を連続監視されており、特に濁度、pH、残留塩素濃度は 9 割以上の事業体で測定されていることが明らかとなった。濁度、pH、残留塩素濃度は、運転管理上及び危機管理上重要とされていることも明らかとなった。データの利活用は事業体間で差があり、データを利活用していない事業体も多かった。自動監視装置導入の課題としては、導入費用や維持管理費用がかかる、測定精度が低い、維持管理の煩雑化、設置スペースの確保が挙げられた。

海外文献調査ではキーワード検索でヒットした 26 文献について、要旨や結論を抄録した後、当研究の趣旨に該当する文献として、13 文献に絞り込んだ。

微生物に関する水質指標ならびに迅速モ

ニタリング技術に関する論文 4 本、溶存有機物に関する水質指標ならびに連続モニタリング技術に関する論文 2 本、オンライン型水質センサーの開発・適用に関する動向に関する論文 3 本、深層学習やビッグデータの活用等による水質予測手法の開発に関する論文 4 本について、翻訳し、抄録を行った。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

国内文献調査の結果、既に多くの水道事業体で連続的に測定が実施されている濁度、pH、電気伝導度、水温といった指標を解析し、水質管理に活用した事例が報告されており、その他の事例として、紫外可視吸収スペクトル、三次元蛍光分析、GC/MS、蛍光光度、魚類を用いたバイオアッセイなどの報告事例が挙げられた。

GC/MS によるオンラインカビ臭モニターの導入は、調べた限り少なくとも 8 事業体で行われていた。運用状況を確認できた 2 事業体はいずれもカビ臭原因物質のみを連続測定していた。三次元蛍光分析については、測定したデータからトリハロメタン性能を予測について検討されていた。ヒアリングにより、現行のトリハロメタン生成能予測方法よりも測定精度が低いことが課題として挙げられた。

(3) ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討

タイムステップとは、1 ユニットの時系列データの範囲を示す値である。このタイムステップについて検討したところ、24 時間に設定した際に最も高い精度が得られた。

なお、タイムステップが長すぎると、モデルの出力ができなかった。データセット①中、入力を残留塩素濃度低減量、導電率及び水温とし、出力を3、6、及び12時間先の残留塩素濃度低減量として、何時間先のものまで予測できるか検討した。その結果、6時間先までであればすべてのプロットが実測値 ± 0.025 mg/L以内に収まった。入力項目については、水温と導電率がモデル精度に及ぼす影響が小さく、残留塩素濃度低減量のみで、経時変化のトレンドを捉えることができた。モデル構築に必要となるデータ量としては、最低でも4か月間のトレーニングデータが必要であった。しかし、西谷給水地点では冬季4か月間データと他季節4か月間データとで異なるトレンドを示すことがあった。

(4) 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

小型化、簡素化を目的に様々な構成を検討した。その結果、①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。②余分な試料水はオーバーフローをして外部に流れ出させる。③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。という構成とすることで、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。この構成案を受けて、原理評価機を試作したところ、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ても、一定流量（ ~ 30 L/min）にて通水可能であることを確認できた。

従来の金属電極は表面の汚れを除去する

ために定期的な洗浄が必要なこと、高価な金属を使っていることの2つの課題があり、電極センサーを簡素化することができなかった。この課題解決のため、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によって、安価かつ表面が汚れたら使い捨て可能な電極を簡易的に作成することができた。また、この電極がセンサーとしての有効か確認するため、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。

D. 考察

(1) 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

アンケート調査では、自動監視装置は導入費用や維持管理費用が課題となっているとの回答が多かったことから、安価でメンテナンスフリーな装置の開発が望まれていると考えられた。

装置での測定状況を考慮すると、水質予測モデルの開発の際は、多くの事業者が連続測定しており、かつ重要度の高い残留塩素濃度、濁度、pHを目的変数として、また上記3項目に水温を加えた4項目が説明変数として利用可能と考えられた。

自動監視装置の導入の課題としては、導入費用や維持管理費用がかかる、測定精度が低い、維持管理の煩雑化、設置スペースの確保が挙げられたが、それ以外に実装されている技術という情報が現場に届いていない可能性も考えられた。

自動監視装置で測定されたデータの多く

は5年以上電子データとして各事業者が保存していることが明らかとなり、そのデータを機械学習等に用いる余地があると考えられた。

微生物に関する水質指標ならびに迅速モニタリング技術について、水道や水環境を対象とした微生物のオンライン連続測定法として、フローサイトメトリー法、ATP測定法、酵素的蛍光反応法、電気化学蛍光法等が検討されていた。今後の研究開発の課題として、特異性や感度が十分に確保されること、コストや維持管理が適当であることが重要だと考えられた。

溶存有機物に関する水質指標ならびに連続モニタリング技術について、河川水等の水道水源を対象としたEEM-PARAFAC解析の適用により、溶存有機物の構成や存在状況や季節変動を捉えることが可能であり、そのうち、トリプトファン様物質は大腸菌との相関を有することが示されたことから、水道の水質管理において留意すべき溶存有機物群（例えば消毒副生成物前駆物質であるフミン様物質等）を対象とした連続監視にも適用できる可能性があると考えられた。

オンライン型水質センサーの開発・適用に関する動向について、グラフェン様物質を用いた水質センサーは基準電極が必要でない、薬品を要しないオンライン水質分析への展開が今後有望であると考えられた。一方で、現時点では分析感度や安定性の確保など、研究開発上の課題が見受けられた。

深層学習に代表される機械学習を用いた水質予測モデルの開発により、水道水源の水質予測や、浄水場の浄水量予測が試みられており、多くの場合、従来の時系列予測モデルよりも予測精度に優れていた。一方で、

ゼロ値の測定値が数多く観察される糞便汚染指標を対象とした場合などの一部の予測モデルでは、低濃度の予測精度に問題を生じる事例もあった。これらより、各モデルの特性ならびに水道の運転管理・水質管理を行う現場のニーズに応じ、適切なシミュレーションモデルを選択することが肝要と考えられた。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

国内文献調査から、GC/MSによる臭気物質の連続モニタリングデータと三次元蛍光分析による消毒副生成物前駆物質の連続モニタリングデータを連続測定可能な水質指標の特定に利用できると考えられた。

調査した2事業者では、GC/MSによる連続測定についてカビ臭物質のみを測定対象としていたが、測定モードを変えると多種の物質を同時に測定できるため、今後事業者と協力してデータ取得及び解析を行うことが必要と考えられた。

三次元蛍光分析装置による連続測定を行っている事業者では、トリハロメタン生成能の予測に挑戦しており、予測精度を課題としていた。国内では非常に事例が少ないため、海外の文献調査をした結果、蛇口水や配水管網の水質管理における三次元蛍光分析の利用例が確認され、連続測定可能な水質指標として有望であると考えられた。

(3) ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討

タイムステップを24時間に設定した際に最も高い精度が得られたことは、対象地域の水質変動パターンが24時間周期であ

ることに起因すると考えられた。一方で、タイムステップが長すぎてモデルの出力ができなかったことは、パラメーターが複雑になりモデルが収束しなかったものと考えられた。LSTMにより構築したモデルは、水温や導電率などの環境因子を参照せずに、残留塩素濃度低減量の経時変化のトレンドを捉えることで、将来を予測していると推測された。モデル構築に必要となるデータ量としては、最低でも4か月間のトレーニングデータが必要と考えられたが、給水地点の季節によってモデル精度が変化したことから、安定したモデル精度を得るためにはさらに長期間のデータセットを用いる必要性も示唆された。

(4) 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

新たに試作した水質計の構成においては、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がある。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ため、今後更なる分析感度、耐久性や安定性、フローセルへの実装方法などの検証が必要である。これらについては、令和3、4年度に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。

E. 結論

(1) 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

アンケート調査から、濁度、pH、残留塩素濃度は9割以上の事業体で測定されてい

たが、データの利活用は事業体間で差はあるものの進んでいない事業体が多かった。また、導入及び維持管理費用、データの測定精度、装置の維持管理の負担増などが自動監視装置の課題であると明らかになった。これらより、連続測定データの利活用の推進及び自動監視装置の更なる開発促進が日本国内の水道事業の基盤強化につながると考えられた。

文献調査では、微生物・ウイルスや、特定の溶存有機物群を対象とした、迅速検出や連続測定を可能とする測定手法の技術開発と適用が進展していることが明らかとなった。検出の特異性の確保や検出感度の向上、ならびに、コストの適正化や維持管理の簡易化が課題として挙げられた。オンライン型水質センサーについては、先端化学材料等を用いた新規センサー開発、ならびに、既存の水質センサーを組み合わせた新規対象物質への適用という方向に大別された。深層学習やビックデータを用いた水質予測手法の開発では、水質測定データセットの特性により、特定のモデルにおいて予測精度が低下する場合があった。測定現場にて利用可能な資源やニーズ、得られた測定データの期間や項目等に応じて、適切な水質センサーや予測モデルを選択し、活用することが必要であると考えられた。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

新たな連続モニタリング方法としては、GC/MSや三次元蛍光分析による連続測定の可能性が示された。特に三次元蛍光分析については水質汚染事故の検出や蛇口水の有機物質のトレンド等、新しい知見が得ら

れており、連続モニタリング可能な水質項目として有用だと考えられた。

(3) ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討

時系列の濃度変化の傾向を長短期記憶ネットワーク (LSTM) アルゴリズムにより学習することで、数時間先の残留塩素濃度を推測できる予測モデルを構築した。構築にあたって最適なタイムステップは 24 時間であり、誤差目標値 ± 0.025 以下に収めるには、予測時間を 6 時間以下にする必要があることが判明した。モデル構築に必要な最小限のデータ量は 4 月～7 月の 4 か月間の残留塩素濃度低減量であることがわかった。この期間のデータをトレーニングデータに用いたとき、高い精度のモデルが構築できた。以上より残留塩素濃度の 1 時間間隔の時系列データが 4 か月分準備できれば、6 時間先の残留塩素濃度を LSTM により予測できることがわかった。

(4) 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

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想能を評価・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. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

(該当なし)

2. 学会発表

(該当なし)

H. 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)

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

水質管理の強化に係る既存・将来技術の文献調査と課題抽出（アンケート）

研究分担者 市川 学 公益財団法人 水道技術研究センター 主幹 浄水技術部長

研究要旨

全国 32 の水道事業者へのアンケート調査により、実際の現場で自動監視装置を用いた水質管理方法及び水質データの利活用状況について調査し、課題を抽出した。事業者の規模や、水源を汚染する恐れのある物質、浄水処理方法が異なることから、安心して飲める水を安定供給するために様々な水質を連続監視していた。特に濁度・pH・残留塩素濃度は 9 割以上の事業者で測定され、運転管理上及び危機管理上重要とされていた。一方で、データの利活用は事業者間で差があり、特にデータを利活用していない事業者も多かった。自動監視装置導入の課題としては、導入費用や維持管理費用がかかる、測定精度が低い、維持管理の煩雑化、設置スペースの確保が挙げられた。以上から、連続測定データの利活用の推進及び自動監視装置の更なる開発促進が日本国内の水道事業の基盤強化につながると考えられた。

A. 研究目的

現在、水道分野では、水質（代替）指標項目の連続測定、深層学習等による早期水質予測、小型で省スペースな水質センサーといった、先端的な技術が開発されている。このような連続測定に係る新技術を水道水源から給水末端に至る水質管理に活用することで、少ない技術系職員数でも効率的で高度な水質管理が可能になると考えられる。しかし、自動監視装置の導入状況は事業者によって異なることから、連続測定データの利活用に関する実態把握が求められている。そこで本年度は、自動監視装置を用いた水質管理の実態把握及び水質データの利活用について、全国の水道事業者に対しアンケート調査を行い、その回答から現状及び課題を明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

アンケートは電子データで作成し、電子メールにて全国の水道事業者に配布した。対象事業者は、地域に偏りが無いよう絞り込んだ 32 事業者（日本の総人口の約 43%の給水人口）とした。

アンケートでは、(1)自動監視装置による連続測定の実施状況や今後の計画等について、(2)自動監視装置により得られた水質データの利活用について調査した。

(1) 自動監視装置による連続測定の実施状況や今後の計画等

自動監視装置によって測定していると考えられる、水温、濁度、残留塩素濃度などの水質 18 項目について、測定場所、測定頻度、

重要度、水質面の課題や運用上の課題などを調査した。重要度は、選択肢を大中小として質問し、大3・中2・小1として、測定事業体あたりの重要度平均値を算出した。また、導入の予定または導入の予定はないが検討をしている水質、将来的な技術開発に対し期待することを調査した。

(2) 自動監視装置により得られた水質データの利活用

連続測定している水質項目のうち特に重要と考える水質項目を調査し、併せてその理由も利用目的とともに調査した。さらに、水質データの解析や水質予測等への活用事例の有無についても調査した。

C. 調査結果

(1) 自動監視装置による連続測定の実施状況や今後の計画等

表1に各水質項目における測定事業体数を示した。原水、処理工程水、給配水において、自動監視装置により全く連続測定していないという事業体は少なく、特に給配水ではアンケートの対象とした32事業体全てで何らかの水質を連続測定していた。測定水質項目数の平均は、原水で6.7項目、処理工程水で4.8項目、給配水で4.3項目であった。連続測定している水質項目は原水において、濁度・pH・水温・電気伝導度の順に多かった。処理工程水においては、残留塩素濃度・濁度・pH・水温の順に、連続測定されている水質項目が多かった。給配水においては、残留塩素濃度・濁度・pH・色度の順に、連続測定されている水質項目が多かった。

表1 各水質項目における測定事業体数

| 水質項目 | 測定事業体数 (N=32) | | |
|--------------|---------------|-------|-----|
| | 原水 | 処理工程水 | 給配水 |
| 濁度 | 30 | 29 | 26 |
| pH | 30 | 28 | 22 |
| 水温 | 27 | 13 | 17 |
| 電気伝導度 | 24 | 7 | 13 |
| アルカリ度 | 19 | 4 | 4 |
| 油分・油膜 | 15 | 0 | 0 |
| 毒物(バイオセンサー等) | 13 | 2 | 0 |
| アンモニア態窒素 | 10 | 2 | 0 |
| 溶存酸素 | 7 | 5 | 0 |
| 塩素要求量 | 7 | 3 | 0 |
| カビ臭物質濃度 | 7 | 2 | 3 |
| 色度 | 4 | 7 | 19 |
| 残留塩素濃度 | 0 | 30 | 32 |

表2に各水質項目における重要度の平均を示した。重要度については、運転管理上は残留塩素濃度・濁度・pH、危機管理上は毒物・油分・濁度の重要度が高くなっていた。

表2 各水質項目における重要度平均

| 水質項目 | 重要度平均 | |
|--------------|-------|------|
| | 運転管理 | 危機管理 |
| 濁度 | 2.97 | 2.90 |
| pH | 2.87 | 2.52 |
| 水温 | 2.20 | 1.54 |
| 電気伝導度 | 2.27 | 2.15 |
| アルカリ度 | 2.39 | 2.16 |
| 油分・油膜 | 2.46 | 2.93 |
| 毒物(バイオセンサー等) | 2.55 | 3.00 |
| アンモニア態窒素 | 2.50 | 2.20 |
| 溶存酸素 | 1.90 | 1.80 |
| 塩素要求量 | 2.75 | 2.38 |
| カビ臭物質濃度 | 2.86 | 2.57 |
| 色度 | 2.26 | 2.11 |
| 残留塩素濃度 | 3.00 | 2.88 |

データの測定頻度は事業体や水質により回答にばらつきがあった。データの保存頻度についても同様にばらつきがあったが、いずれも測定した全てのデータを保存せず、頻度を下げて保存していた。

事業体が水質について抱える課題については、各水質で様々な意見が挙げられた。特に重要度の高いという回答の多かった濁度については、原水では高濁度への対応、処理

工程水及び給配水では測定機器のメンテナンス(異常値や気泡による誤差等)が課題と感じている事業者が多かった。pHの課題は、原水 pH 変化に伴う凝集不良やモルタルライニング配管による水温上昇時の pH 上昇を課題とする事業者が多かった。残留塩素濃度の課題は、指示値と実測値の誤差、機器校正等のメンテナンス、水温による残留塩素濃度の変化を課題とする事業者が多かった。

導入を予定しているまたは導入予定はないが希望する水質項目について調査した結果、毎日検査の省力化や安定した管理のため残留塩素濃度や濁度の連続測定を導入検討している事業者が確認された。また、臭気物質を機械で連続測定することで、省力化及び人の感覚に頼らない検査を目指す事業者や、紫外線吸光度で送水過程での残留塩素濃度予測を検討している事業者があった。

導入の課題として、導入費用や維持管理費用が多くかかること、校正等の保守点検作業の増加すること、測定精度が低いこと、設置スペースの確保ができないことが挙げられた。

将来的に望まれる技術開発として、原水や処理工程水において臭気を連続測定することで適切に粉末活性炭処理を行うことが望ましいと 5 事業者から回答があった。さらに、検査の担い手不足から、水道水質基準全てを自動測定できるようにしてほしいという意見や、小規模配水系においても装置による毎日検査を実施できるよう、安価な装置を開発してほしいを開発して欲しいとの意見もあった。

(2)自動監視装置により得られた水質データの活用

連続測定している水質項目のうち特に重要と考える水質項目は、原水では濁度と pH、処理工程水及び給配水では残留塩素濃度と濁度と pH であった。その理由は、ろ過池の運転管理や各種薬品注入率の決定に濁度、pH、残留塩素を利用しているからであった。一部事業者からは、原水において毒物やシアン物の連続測定を危機管理に使用しているため重要であるとの回答もあった。

表 3 に測定データの利活用状況を示した。測定データは、残留塩素濃度やカビ臭物質濃度等の水質予測や、水質異常の早期発見、活性炭や凝集剤等の注入率の決定に使用されていた。13 事業者からは特に活用している事例がないとの回答であった。

表 3 測定データの利活用状況

| 項目 | 回答数 | 使用する水質項目 |
|---------------------|-----|---------------------|
| 残留塩素濃度予測 塩素消費量予測 | 9 | 残留塩素濃度、水温、有機物量 |
| 臭素酸濃度予測 | 1 | 水温、pH、溶存オゾン濃度 |
| カビ臭物質濃度予測 | 1 | 濁度 |
| トリハロメタン生成予測 | 1 | 残留塩素濃度、原水水質 |
| 水質異常の早期発見 | 4 | 電気伝導度など |
| 活性炭注入率 | 3 | カビ臭物質濃度、水温、アンモニア態窒素 |
| 凝集剤注入率 | 2 | TOC、pH、電気伝導度 |
| pH調整 | 1 | pH |

測定したデータの閲覧については、一部職員のみ閲覧できる、専用端末等でのみ確認できる、パスワードを設定し管理している、といった管理をほとんどの事業者で行なっていたが、特に制限を設けていないという事業者も確認された。

データの保存期間は、5 年や 10 年が最も多く、中には永年保管しているという事業者が確認された。また少数意見として、HDD の容量がいっぱいになったら古いデータか

ら消えていく設定や、特に保管期間を設定していないという回答もあった。

データの保存媒体は、多くが HDD やファイルサーバーにデータを保存していたが、中にはオンラインストレージを利用している事業者や紙媒体のみで保存という事業者もあった。

D. 考察

(1)自動監視装置による連続測定の実施状況や今後の計画等

自動監視装置は全国の水道事業者で導入され始めており、濁度・pH・残留塩素濃度については多くの事業者で導入されていると推察された。ただし、今回のアンケートは中大規模事業者を対象としているため小規模事業者の実態については把握できていない。また、導入費用や維持管理費用が課題との回答が多く、安価でメンテナンスフリーな自動監視装置の開発が望まれていると考えられた。

自動監視装置の汎用性の高い水質予測モデルの開発に当たっては、多くの事業者が連続測定しており、かつ重要度の高い残留塩素濃度、濁度、pH を目的変数にすべきであると考えられた。また、説明変数としては、上記 3 項目に加えて水温も利用可能と考えられた。

7 事業者ではカビ臭物質の自動監視装置を導入していた一方で、5 事業者からは将来的に望まれる技術開発としてカビ臭物質の自動監視が望まれると回答があった。導入の課題として導入費用・維持管理費用・測定精度・維持管理が挙げられたが、すでに実装化された技術であるという情報が現場に届いていない可能性も考えられた。

(2)自動監視装置により得られた水質データの利活用

自動監視装置で測定されたデータには、濁度、pH、残留塩素濃度のよう、水質予測や水質異常の早期発見、活性炭や凝集剤等の注入率の決定のように浄水のプロセス制御に使用されるものと、水温や色度のよう、日常検査の手間を省くために導入されたため現状では活用できていないデータがあると考えられた。また、これらのデータの多くは 5 年以上電子データとして各事業者が保存していることが明らかとなったため、機械学習等による水質予測に用いることができると考えられた。

E. 結論

アンケート調査に基づき、実際の現場で自動監視装置を用いた水質管理方法及び水質データの利活用について調査し、課題点を抽出した。自動監視装置による水質測定は多くの事業者で進んでおり、特に濁度・pH・残留塩素濃度が測定され、かつ日常の管理でデータを利用して重要と認識されていた。測定データを水質予測の解析に用いることで、データ活用がさらに推進するものと考えられた。データの利活用が進んでいる事業者と進んでいない事業者とで分かれており、また測定された全データが活用されていないこと明らかとなった。自動監視装置の導入の課題としては、導入費用や維持管理費用がかかる、測定精度が低い、維持管理の煩雑化、設置スペースの確保が挙げられた。つまり、小型、安い、維持管理の手間が少ない、測定精度が確保されていることが望まれていた。

アンケート結果から、連続測定データの利活用の推進及び自動監視装置の更なる開発促進が日本国内の水道事業の基盤強化につながると考えられた。

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)

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

水質管理の強化に係る既存・将来技術の文献調査と課題抽出（文献調査）

研究分担者 島崎 大 国立保健医療科学院 上席主任研究官

研究要旨

海外の学術文献検索により、水質管理の強化に係る既存および将来的な要素技術に係る知見を収集し、近年の開発動向や課題点を抽出、考察を行った。病原体を含む微生物・ウイルスや、特定の溶存有機物群を対象に、迅速検出や連続測定を可能とする測定法の技術開発と適用が進展していた。検出の特異性の確保や検出感度の向上、ならびに、コストの適正化や維持管理の簡易化が課題として挙げられた。オンライン型水質センサーの技術開発は、①先端化学材料を用いた新規センサー開発、②既存センサーを組み合わせた新規対象物質への適用という方向に大別された。深層学習やビックデータを用いた水質予測手法の開発では、水質測定データセットの特性により、特定のモデルにて予測精度が低下する場合があった。測定現場にて利用可能な資源やニーズ、得られた測定データの期間や項目等に応じて、適切な水質センサーや予測モデルを選択し、活用することが必要であると考えられた。

A. 研究目的

水質（代替）指標項目の連続測定や、小型水質センサー等の導入、深層学習等による早期水質予測といった先端的な開発技術を水道水源から給水末端に至る水質管理に活用することで、水道事業者の限られた技術系職員数であっても効果的かつ効率的な水質管理が可能となり、さらには従来よりも高度な水質管理が可能になると考えられる。本年度は、海外の文献調査に基づいて、①連続測定可能な（代替）水質指標、②水質変動の早期予測、③水質センサーの開発とデータ利活用に関する最新動向および課題点を抽出し、明らかにすることを目的とした。

B. 研究方法

国立保健医療科学院内にて利用可能な学術文献データベース（Web of Science Core Collection, JDream III, CiNii Articles, J-STAGE）を用い、下記キーワードにて文献検索を実施した。

○共通キーワード：

drinking, water, quality, management, data

○（代替）水質指標、（連続）測定：

(alternative) indicator,

(continuous) monitoring

○水質変動、（早期）予測

{variation | trend}, (early) prediction

○水質センサー、開発

{online | remote} sensor, development

ヒットした 26 文献のうち、要旨や結論等

の内容から判断して、当研究の趣旨に該当しない 13 文献を除外し、13 文献を対象とした。

C. 調査結果

(1) 微生物に関する水質指標ならびに迅速モニタリング技術

従来、水質指標として用いられてきた各種微生物は、糞便汚染や細菌現存量の指標等として長年データが蓄積されており意義があるものの、耐塩素性の細菌群や、各種の水系感染性ウイルス等に対する指標性について課題がある。Saxena らは、水系の健康リスク管理における指標微生物の役割を考慮し、従来の指標微生物と代替指標微生物等の有用な点と課題点、ならびに、水環境中の病原体や指標微生物等のモニタリングのために提案されている、従来の培養法と分子生物学的手法等について、最新の情報レビューを行った 1)。代替指標として、嫌気性芽胞菌、ビフィドバクテリウム属、バクテロイデス、大腸菌ファージ、従属栄養細菌数、糞便性ステロールについて概説した。特に、 β -グルクロニダーゼ活性測定法に基づいた大腸菌のオンライン測定は、すでに商品化されているものの、検出感度が優れない点を指摘した。

Bonadonna らは、水中の微生物やウイルスを対象とした迅速検出手法についてレビューを行った 2)。特に近年、分子生物学的手法に基づく方法（定性 PCR・定量 PCR）の発展が著しく、とりわけ次世代シーケンシング (NGS: Next generation sequencing) 技術は、環境微生物の検出、同定、相対定量を網羅的に実施できる貴重なツールとして有望視されており、水環境モニタリングの分野

にも急速に展開されている。また、フローサイトメトリー法 (FCM: Flow cytometry) や免疫磁気分離 (IMS: Immunomagnetic separation) 法などの従来の手法でも、核酸プローブや免疫蛍光交替と組み合わせることで生残性を評価でき、迅速かつ定量的で汎用性の高い方法であるとしている。その他、アデノシン三リン酸 (ATP) 法、各種バイオセンサー、マトリックス支援レーザー脱離イオン化 (MALDI-TOF MS) による微生物種の同定法を紹介した。

中でも FCM 法については、2000 年代以降、国内外で水道の水処理プロセス等における適用が進んでいる。Safford らは、水処理・配水プロセスや排水の再利用における FCM 法の適用に関して、2000 年から 2018 年までに発表された約 300 件の文献を対象に、各適用分野における FCM 利用による水質管理の利点と課題を解説した 3)。課題点として、水系感染症ウイルスの検出感度の向上、標的病原体を特異的に検出するための測定手法の最適化、リアルタイム FCM を可能にするための、サンプル前処理と染色処理の自動化、データ分析を支援する計算ツールの開発、異なる機器や設定条件を使用して得られた各結果の再現性や比較を支援する、標準的な手法の開発の必要性を指摘した。また、Adomat らは、FCM 法、細胞内外 ATP 測定法、アルカリホスファターゼ全酵素活性 (ALP-TEA) 測定法を用いて、細菌現存量に関する指標を対象に、3 箇所のバンクフィルトレーション処理を実施している地点にて測定を行った 4)。加えて、限外ろ過 (UF) パイロットプラントの微生物除去能力を、オンライン FCM 法を用いて調査した。FCM 法と ALP-TEA 法による各

測定結果の相関性は良好であったが、乖離も観察された。これらは、FCM 法における核酸染色や、ATP 法・ALP-TEA 法における阻害イオンなど、手法上の制約に依るものと考えられた。

(2) 溶存有機物に関する水質指標ならびに連続モニタリング技術

近年、河川水や湖沼水等の水環境を対象として、三次元励起蛍光スペクトル法 (EEM: three dimension excitation-emission matrix) により溶存性有機物のデータを網羅的に取得し、多変量解析の一種である平行因子分析 (PARAFAC: Parallel Factor Analysis) や主成分分析 (PCA: principal component analysis) を用いて個々の蛍光ピークを分離、同定する手法が発展しており、各種の溶存有機物の挙動解析や汚染源の推定などに適用されている。Yang らは、オンタリオ湖にある浄水場の取水口における下水処理場排水の存在状況を、連続モニタリングにより取得した蛍光データを用いて EEM-PARAFAC 法により調べるとともに、排水の指標であるスクラロースの分析を行った 5)。主たる蛍光成分は、水生生物由来フミン様物質、微生物由来フミン様物質、トリプトファン様物質であった。また、排水検出の回帰モデルを開発し、1 箇所の取水口にて採取した連続蛍光データに適用したところ、下水排水の混和率は 1%未満と推定され、スクラロースの分析結果と一致した。

Bedell らは、トリプトファン様物質 (トリプトファンおよびインドール) の蛍光波長特性 (励起波長:280nm、蛍光波長:355nm) に注目し、遠隔地向けオンライン大腸菌検出センサーの初期プロトタイプ開発を試み

た。トリプトファン様物質の蛍光波長と大腸菌数との応答に高い相関を確認した。純水を用いた卓上型プロトタイプ機器による検討ではあるものの、大腸菌の検出下限として 4CFU/mL を達成した 6)。

(3) オンライン型水質センサーの開発・適用に関する動向

水質管理の現場への適用を目指した、小型かつ維持管理が容易であるような水質センサーの開発が進展している。主な開発の方向性は、①先端化学材料等を用いた新規センサー開発、②既存のセンサーを組み合わせた新規対象物質への適用である。

前者として、Zubiarrain-Laserna らはグラフェン様物質を用いた水質センサーの基礎・応用開発のレビューを行った 7)。グラフェンとは、炭素原子が六角形格子構造を形成し、1 原子の厚みを有するシート状の形態である。グラフェンを用いた電界効果トランジスタ (FET: field-effect transistors) や化学抵抗センサー (chemiresistive sensor) は、基準電極が必要ない、電子物性を容易に変化できる等、今後最も有望な新技術の一つであるとした。これまでに鉛、水銀、硝酸塩、有機リン、六価クロム、抗菌剤、病原体 (大腸菌、ロタウイルス) 等が開発の対象となっている。グラフェンを用いた水質センサー開発における今後の課題は、①分析対象の拡大、②センサーの再設定・再利用性、③長期安定性、④現場での校正を挙げた。

後者として、Zamyadi らは、カナダ国ケベック州の水道水源を対象に、既存のオンライン型水質センサーを用いて、シアノバクテリアの連続監視を行った 8)。細胞内フィコシアニンおよびクロロフィル *a* を、蛍光

光度法による市販のマルチプローブで測定、これと並行して pH、溶存酸素、電気伝導率、水温、濁度を連続測定した。フィコシアニンおよびクロロフィル *a* 両方を対象とすることで、連続測定の精度を向上し、応答性を改善することができた。

また、Bono らは、遠隔水質センサーに求められる性能や機能について、使用者のニーズおよび趣向に関する現場調査をインド農村部にて行い、微生物を対象とした遠隔水質センサーの設計における優先順位を決定するフレームワーク構築を試みた 9)。微生物の汚染濃度と推奨される行動（例えば飲用可能であること）を統合して報告する機能、センサーが再利用可能である、添加する試薬が 1 種類であること、検査当日に結果が判明すること、検体あたりのコストが安価であることに対する趣向が強かった。開発途上国の農村部など、人的ならびに経済的な資源が限られている条件においては、使用者のニーズや趣向を把握した上でセンサーの開発を行うことで、費用対効果が高くなると結論づけた。

(4) 深層学習やビッグデータの活用等による水質予測手法の開発

計算機の演算能力や内部記憶装置、外部記録媒体等の記憶容量および記録速度が飛躍的に増大したことにより、近年、深層学習やビッグデータを活用した予測技術が発展し、水質モニタリングデータを活用した将来の水質予測が多く試みられている。

Zhang らは、中国全国の水質場の総合的な性能を予測することを目的として、人工ニューラルネットワーク (ANN: Artificial neural network) と遺伝的アルゴリズム (GA:

Generic algorithm) を組み合わせたハイブリッド統計モデル「HANN」を構築した 10)。国内 45 カ所の浄水場の月次データを使用し、入力変数として温度や COD などの水質パラメータと電力消費量や薬品消費量などの運転パラメータを選択し、出力変数として浄水量を採用した。当 HANN モデルの予測精度は、決定係数 (R^2) を指標とした場合に多層 ANN モデルよりも常に高い性能を示し、複雑な非線形関係や外挿が可能であるとした。シナリオ分析の結果、HANN モデルは水質及び運転パラメータ等の変動に基づいて浄水量の変動を予測できるとした。

Liu らは、中国揚州市長江における水道原水取水口の自動水質監視ステーションで収集した水質データ (2016 年 1 月～2017 年 12 月) を元に、LSTM (long short-term memory) ディープニューラルネットワークを用いた水質予測手法を提案し、データの前処理、パラメータ設定、学習手順を検討した 11)。当水質予測モデルは、6 ヶ月後 (2018 年 1 月～6 月) の水源水質 (pH, DO, 電気伝導率, 濁度, COD_{Mn} , $\text{NH}_3\text{-N}$) を良好に予測でき、古典的な時系列分析モデルである自己回帰和分移動平均 (ARIMA: Auto Regressive Integrated Moving Average) モデルや、サポートベクター回帰 (SVR: Support Vector Regression) モデルよりも高精度であるとした。

Delpla らは、人工ニューラルネットワークモデルを用いて、カナダ国ケベック市の水道水源である Saint Charles 流域における濁度平均濃度とピーク濃度の予測を行った 12)。2012-2016 年における日平均濁度、ならびに、降雨量・降雨間隔や湿度に関する気象データを使用した。トレンド分析によって、

取水口における濁度のピークは、水源域の水質モニタリング地点と比較して、夏季は中央値で約 25 分、冬季は約 85 分の遅れを生じていた。気象データを導入した当モデルにより、将来的には、一日の平均濁度の予測や気候変動による降水パターン変化の影響を評価することが可能になるとした。

Mohammed らは、ノルウェー国オスロ市の水道水源を対象に、4 種類の糞便汚染指標（大腸菌群, *E.coli*, 腸球菌, 嫌気性芽胞菌）の濃度予測を行った¹³⁾。2009 年から 2015 年までの水質データ (pH, 温度, 電気伝導度, 濁度, 色度, アルカリ度) と集水域の降水量データを用い、4 種類の予測モデル (ZIP: zero-inflated Poisson, ZINB: zero-inflated negative binomial, RF: Random Forest regression, ANFIS: Adaptive Neuro-fuzzy Inference System) を構築、比較した。原水の pH, 温度, 濁度, 電気伝導度が、各糞便汚染指標との相関性が高かった。ANFIS モデルは原水中の各糞便汚染指標の変動予測に優れていたが、低濃度の予測精度が低かった。浄水場の運転管理においては、ANFIS モデル以外の 3 モデルを用い、信頼性の高い糞便汚染指標の推定が可能であるとした。

D. 考察

(1) 微生物に関する水質指標ならびに迅速モニタリング技術

従来の培養法による指標微生物に加えて、直接的に糞便系病原体の指標となる項目や、迅速に検出が可能となる測定手法の開発と適用が進展していたと考えられた。とりわけ、分子生物学的手法を中心に、特定の微生物を特異的かつ迅速に検出する技術開発が試みられ、医療現場等への導入が進展して

いる技術もあった。水道や水環境を対象とした微生物のオンライン連続測定法として、フローサイトメトリー法、ATP 測定法、酵素的蛍光反応法、電気化学蛍光法等が検討されていた。今後の研究開発の課題として、特異性や感度が十分に確保されること、コストや維持管理が適当であることが重要だと考えられた。

(2) 溶存有機物に関する水質指標ならびに連続モニタリング技術

河川水等の水道水源を対象とした EEM-PARAFAC 解析の適用により、溶存有機物の構成や存在状況や季節変動を捉えることが可能であること、そのうち、トリプトファン様物質は大腸菌との相関を有することが示された。水道の水質管理において留意すべき溶存有機物群（例えば消毒副生成物前駆物質であるフミン様物質等）を対象とした連続監視にも適用できる可能性があると考えられた。

(3) オンライン型水質センサーの開発・適用に関する動向

グラフェン様物質を用いた水質センサーは基準電極が必要でない、薬品を要しないオンライン水質分析への展開が今後有望であると考えられた。一方で、現時点では分析感度や安定性の確保など、研究開発上の課題が見受けられた。市販の水質分析プローブの組み合わせにより、水道水源におけるシアノバクテリア連続監視など、特定の水質汚染物質を有効に迅速測定する方向での検討も進められていた。加えて、予算や人員が限られている状況下においては、現場のニーズや趣向を把握した上で、オンライン

水質システムを企画設計することが望ましいと考えられた。

(4) 深層学習やビッグデータの活用等による 水質予測手法の開発

深層学習に代表される機械学習を用いた水質予測モデルの開発により、水道水源の水質予測や、浄水場の浄水量予測が試みられていた。多くの場合、従来の時系列予測モデルよりも予測精度に優れた。一方で、一部の予測モデルは、ゼロ値の測定値が数多く観察される糞便汚染指標を対象とした場合、低濃度の予測精度に問題を生じる事例もあった。各モデルの特性ならびに水道の運転管理・水質管理を行う現場のニーズに応じ、適切なシミュレーションモデルを選択することが肝要と考えられた。

E. 結論

海外の文献調査に基づき、水質指標項目の連続測定や、深層学習による早期の水質予測、小型水質センサー等の開発状況について最新動向を把握し、課題点を抽出した。糞便由来の病原体を含む微生物・ウイルスや、特定の溶存有機物群を対象とした、迅速検出や連続測定を可能とする測定手法の技術開発と適用が進展していた。検出の特異性の確保や検出感度の向上、ならびに、コストの適正化や維持管理の簡易化が課題として挙げられた。オンライン型水質センサーについては、先端化学材料等を用いた新規センサー開発、ならびに、既存の水質センサーを組み合わせた新規対象物質への適用という方向に大別された。深層学習やビッグデータを用いた水質予測手法の開発では、水質測定データセットの特性により、特定

のモデルにおいて予測精度が低下する場合があった。測定現場にて利用可能な資源やニーズ、得られた測定データの期間や項目等に応じて、適切な水質センサーや予測モデルを選択し、活用することが必要であると考えられた。

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) Saxena, G, *et al.*: Microbial indicators, pathogens and methods for their monitoring in water environment, JOURNAL OF WATER AND HEALTH, 13(2), 319-339, 2015, DOI: 10.2166/wh.2014.275
- 2) Bonadonna, L, *et al.*: Innovative analytical methods for monitoring microbiological and virological water quality, MICROCHEMICAL JOURNAL, 150, 104160, 2019, DOI: 10.1016/j.microc.2019.104160
- 3) Safford, HR, *et al.*: Flow cytometry applications in water treatment, distribution, and reuse: A review, WATER RESEARCH,

- 151, 110-133, 2019, DOI: 10.1016/j.watres.2018.12.016
- 4) Adomat, Y, *et al.*: New Methods for Microbiological Monitoring at Riverbank Filtration Sites, *WATER*, 12(2), 584, 2000, DOI: 10.3390/w12020584
- 5) Yang, YZ, *et al.*: Towards real-time detection of wastewater in surface waters using fluorescence spectroscopy, *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL SCIENCES*, 86, 195-202, 2019, DOI: 10.1016/j.jes.2019.06.002
- 6) Bedell, E, *et al.*: Demonstration of Tryptophan-Like Fluorescence Sensor Concepts for Fecal Exposure Detection in Drinking Water in Remote and Resource Constrained Settings, *SUSTAINABILITY*, 12(9), 3768, 2020, DOI: 10.3390/su12093768
- 7) Zubiarrain-Laserna, A, *et al.*: Review-Graphene-Based Water Quality Sensors, *JOURNAL OF THE ELECTROCHEMICAL SOCIETY*, 167(3), 37539, 2020, DOI: 10.1149/1945-7111/ab67a5
- 8) Zamyadi, A, *et al.*: Monitoring of potentially toxic cyanobacteria using an online multi-probe in drinking water sources, *JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MONITORING*, 14(2), 579-588, 2012, DOI: 10.1039/c1em10819k
- 9) Bono, MS, *et al.*: Fieldwork-based determination of design priorities for point-of-use drinking water quality sensors for use in resource-limited environments, *PLOS ONE*, 15(1), e0228140, 2020, DOI: 10.1371/journal.pone.0228140
- 10) Zhang, YY, *et al.*: Integrating water quality and operation into prediction of water production in drinking water treatment plants by genetic algorithm enhanced artificial neural network, *WATER RESEARCH*, 164, 114888, 2019, DOI: 10.1016/j.watres.2019.114888
- 11) Liu, P, *et al.*: Analysis and Prediction of Water Quality Using LSTM Deep Neural Networks in IoT Environment, *SUSTAINABILITY*, 11(7), 2058, 2019, DOI: 10.3390/su11072058
- 12) Delpla, I, *et al.*: Drinking Water Source Monitoring Using Early Warning Systems Based on Data Mining Techniques, *WATER RESOURCES MANAGEMENT*, 33(1), 129-140, 2019, DOI: 10.1007/s11269-018-2092-4
- 13) Mohammed, H, *et al.*: Comparative predictive modelling of the occurrence of faecal indicator bacteria in a drinking water source in Norway, *SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT*, 628-629, 1178-1190, 2018, DOI: 10.1016/j.scitotenv.2018.02.140

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

連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

研究分担者 鎌田 素之 関東学院大学 准教授

研究要旨：

水道使用量減少や技術者の不足から今後、水道の水質面において様々な問題が生じることが懸念される。このような状況に対応すべく水道において連続的にモニタリング可能な水質指標についてヒアリング及び文献調査を実施した。調査の結果、水質基準に関連する項目以外に連続的にモニタリングしている項目は少なく、新たに利用可能な測定項目として GC/MS と三次元蛍光分析が挙げられた。特に三次元蛍光分析は蛇口水の有機物のトレンドや配水管網における汚染イベントの検出での研究例もあり、連続モニタリング可能な新たな水質指標の候補として有用と考えられる。

A. 研究目的

人口減少や節水機器等の普及により水道の使用量は減少が進んでおり、今後、水質面で様々な問題が生じる可能性が懸念される。また、水道事業に関わる技術者の数の減少は、特に中小の水道事業体において深刻な問題となっている。そのため、水質管理における連続測定技術の向上が求められている。

本研究では、連続測定のニーズが高い水質項目を把握し、その分析装置の現状と課題を明らかにすることを目的に、水道事業体における連続測定項目について文献調査及び今後の更なる開発が期待されているガスクロマトグラフ質量分析計（GC/MS）や三次元蛍光分析による連続測定についての文献調査並びにヒアリング調査を行った。

B. 研究方法

1)連続測定可能な水質指標に関する文献調査
全国の水道事業体では、水道水質基準項目等についての水質管理を目的として、様々な連続測定可能な水質測定機器が導入されており、モニタリングが行われている。本研究の目的である突発的な水質の変化や中・長期的な水質のトレンドの把握可能な連続測定可能な水質指標を選定するため J-Dream3 を利用して文献調査を実施した。キーワードとして、

「水道」「連続モニタリング」「連続測定」等設定し、検索を実施した。近年の連続測定に関する情報を収集すべく、2015年以降の文献に絞って調査を実施した。

2)連続測定可能な水質指標に関する実施に関するヒアリング

文献調査等の結果を踏まえ、連続測定可能な水質指標として実用可能な水質項目に関して、国内における実施事例のヒアリング調査を実施した。具体的には、GC/MSを用いた連続測定の事例として、前処理装置であるヘッドスペース法を組み合わせたかび臭モニターの導入事例とモニタリング状況を、三次元蛍光分析に関する事例として、連続測定の結果を水質監視に活用している水道事業体及び装置メーカーに対しヒアリング調査を実施した。

3) 三次元蛍光分析に関する文献調査

三次元蛍光分析の連続モニタリングに関する事例が国内では限定的であったことから、海外での導入事例について調査するため PubMed 等データベースを利用して文献調査を実施した。具体的には「3D-EEM」、「Drinking Water」等のキーワードで文献検索を実施し、水道における三次元蛍光分析の活用事例について調査を実施した。

C. 研究結果及びD. 考察

1)連続測定可能な水質指標に関する文献調査

「水道」「連続モニタリング」で調査した結果、既に多くの水道事業体で連続的に測定が実施されている濁度、pH、電気伝導度、水温といった指標を解析し、水質管理に活用した事例が報告されており、その他の事例として、紫外可視吸収スペクトル、三次元蛍光分析、GC/MS、蛍光光度、魚類を用いたバイオアッセイなどの報告事例があった。

同様に、「水道」「連続測定」で検索を実施し、新しい項目としてはイオンクロマトグラフィ、GC/MS を活用した報告事例があった。

また、「水道水」「連続監視」の関連するキーワード検索を行い、結果を整理したところ、蛍光分析、GC/MS が新たな連続測定可能な水質指標として報告事例があり、実用の可能性があることが示唆された。具体的には GC/MS は従来から利用されている臭気物質の連続モニタリングに加え、原油をはじめとする油類の分析や消毒副生成物の連続モニタリングにも活用されている報告事例があった。また、蛍光分析では、藻類の連続モニタリングや三次元蛍光分析による消毒副生成物前駆物質の連続モニタリングなどの報告事例があった。

2)連続測定可能な水質指標に関する実施に関するヒアリング

オンラインかび臭モニターは確認できた範囲で神奈川県、神奈川県内広域水道企業団、横浜市、千葉県、東京都、北千葉広域水道企業団、埼玉県、釧路市に導入されており、比較的多くの事業体で連続モニタリングが実施されていることが確認できた。また、過去に導入していた事例として、大阪市ではかび臭物質のモニタリングを実施していたが、高度浄水処理の導入に伴ってモニタリングを終了していた。

運用状況を確認できた千葉県、神奈川県内広域水道企業では、水質基準値があるかび臭原因物質の 2-メチルイソボルネオール (2-MIB) とジェオスミンのみを測定対象としていた。また、埼玉県では同様の装置を用いて消毒副生成物の連続測定について報告事例があった¹⁾。いずれの事業体も目的物質を絞っ

た連続モニタリングを実施していたが、質量分析計は測定モードによって多種の物質を同時に測定できるため、かび臭の原因物質や消毒副生成物以外の物質も同時にモニタリングできると考えられる。そのため今後は、多種の物質の連続測定の実現可能性について引き続きヒアリングを実施するとともに、事業体と協力してデータ取得及びその解析を行う予定である。

三次元蛍光分析による連続測定を実施している事例として、沖縄県企業局にヒアリング調査を実施した。沖縄県企業局では一部の浄水場で消毒副生成物の濃度が高く、浄水工程において濃度を低減する必要があることから全有機炭素 (TOC) と電気伝導率の連続測定データを用いることでトリハロメタン生成能を予測し、ポリ塩化アルミニウム (PACl) 注入率等の決定など、運転管理に利用していた。一方で、TOC は連続測定が可能であるが、測定に際して試薬が必要となることから、今後の導入に向けた検討として、無薬品で測定可能な三次元蛍光分析装置による連続測定を行っていた。しかし安定した測定値が得られず、現行の TOC を用いた予測より高い精度が得られなかったことが確認できた。沖縄県企業局へのヒアリング結果から、三次元蛍光分析は無薬品で測定できるものの、測定精度に関する課題が示された。そこで、三次元蛍光分析装置について更なる情報収集を行うべく、装置メーカーである堀場製作所にヒアリングを実施した。結果、海外での浄水処理工程における消毒副生成物の予測と薬品等の注入制御に活用している事例が確認できたが、国内での実用例は少ないとことが確認できた。そのため、連続測定を実施する場合には設置場所やデータの活用方法も含め検討する必要が示唆された。

3) 三次元蛍光分析に関する文献調査

GC/MS による連続測定についてはヒアリングを多く実施できたものの、三次元蛍光分析を導入している水道事業体は少ないことが分かった。そこで、三次元蛍光分析について水道分野における最新の知見を得るため、文献調査を実施した。

結果、2015年以前の文献では主に浄水工程の管理や膜処理におけるファウリングに関連した研究例が多く見られたが、2015年以降は蛇口水の分析事例や配水管網における水質管理や油類の分析など新しい知見が得られた。

Tahir Maqbool (2021)²⁾では、三次元蛍光分析を用いて中国南部の大都市の水道水と原水中の溶存有機物 (DOM) の1年にわたる調査を実施した結果、水道水中のDOMは原水の季節と採水場所によって変化し、雨季には腐植物質が多く、乾季にはタンパク質様の物質が多いことを示していた。また、東江の東支流を水源とする水道水は、川の西部を水源とする水道水よりもタンパク質様物質が有意に高いことを示していた。この論文より、三次元蛍光分析水源の違いや季節変動を蛇口でのモニタリングできる明らかにすることができ、原水のモニタリングで蛇口の水質を詳細に予想できる可能性が示唆された。

同じく Tahir Maqbool (2021)³⁾では、中国南部の都市の配水管網における塩素消費とDOM組成に関する季節変動と影響を、三次元蛍光分析により調査していた。過剰な残留塩素濃度条件下では、塩素消費量はN-ニトロソジメチルアミン及びその生成能と関係しており、雨季は乾季と比べ塩素消費量が増加することを示していた。これは雨季には浄水中に腐植物質がタンパク質様物質より優勢であることに起因しており、配水管網における塩素消費量が浄水中のDOM組成に大きく影響されると報告していた。また、腐植性物質に関連する蛍光ピークの代替指標として単一励起、蛍光の指標を用いることで残留塩素の管理が可能としており、配水管網における残留塩素の濃度変化を三次元蛍光分析で捉えることができると考えられた。

Masoumeh Heibati (2017)⁴⁾では、水道水中のDOMに着目し、微生物学的に安定した配水システムから給水されている世帯を対象としてDOMの光学特性、微生物指標生物、微量元素の関係を調査している。配水システムにおける腐植物質等の起因する蛍光強度の変動に関連する因子を明らかにした上で三次元蛍光分析を実施することで、配水管網へのトリプトファン等の強い蛍光を示す汚染を検出で

きる可能性を示し、DOMの三次元蛍光検出が配水管網における感度の高い指標であることを示していたことから、配水管網における汚染イベントを三次元蛍光分析で検出できる可能性が示唆された。

Deming Kong (2020)⁵⁾では、励起-蛍光マトリクスと二次元判別分析を使用して、石油汚染の原因物質の分類を実施していた。オイルサンプルの三次元蛍光分析データとアルゴリズムを使用して分類し、高い精度でオイルサンプルを分類できたと報告しており、三次元蛍光分析がDOMだけでなく、水質事故事例が多い油分の分析にも活用できる可能性について示していた。

文献調査の結果、2015年以降、蛇口水や配水管網の水質管理における三次元蛍光分析の利用例が報告されており、連続モニタリング可能な新たな水質指標として有望であると考えられた。また、国内でもGC/MSによる連続測定調査事例のあった油類の分類にも対応する事例が報告されており、水道水や原水に恒常的に含まれる有機物だけでなく、水質事故事例が多い油類についても分析可能だと示された。

E. 結論

水道において新たに連続的にモニタリング可能な水質指標について文献調査、ヒアリングを実施した。濁度、色度、残留塩素等の水質基準に関連する項目の連続モニタリングは多くの水道事業者で実施されているが、新たな連続モニタリング方法としては、GC/MSや三次元蛍光分析による連続測定の可能性が示された。特に三次元蛍光分析については水質汚染事故の検出や蛇口水の有機物質のトレンド等、新しい知見が得られており、連続モニタリング可能な水質項目として有用だと考えられた。

参考文献

- 1) 三上雅人, 川井恵里奈, 寺中郁夫, 2021, ヘッドスペース型GC/MS自動連続測定装置の活用事例, 令和2年全国水道研究発表会, pp.618-619
- 2) Tahir Maqbool, Chengyue Li, Yanling Qin,

Jiaxing Zhang, Muhammad Bilal Asif, Zhenghua Zhang, 2021, A year-long cyclic pattern of dissolved organic matter in the tap water of a metropolitan city revealed by fluorescence spectroscopy. Science of the Total Environment, 771, 14485

3) Tahir Maqbool, Jiaxing Zhang, Yanling Qin, Muhammad Bilal Asif, Quang Viet Ly d, Zhenghua Zha, 2021, Fluorescence moieties as a surrogate for residual chlorine in three drinking water networks. Chemical Engineering Journal, 411, 128519

4) Masoumeh Heibati, Colin A. Stedmon, Karolina Stenroth, Sebastien Rauch, Jonas Toljander, Melle Save-Soderbergh, Kathleen R. Murphy, 2017, Assessment of drinking water quality at the tap using fluorescence spectroscopy. Water Research, 125, pp.1-10

5) Deming Kong, Yaoyao Cui, Lingfu Kong, ShutaoWanga, 2020, Classification of oil pollutants based on excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy and two-dimensional discriminant analysis. Spectrochimica Acta Part A: Molecular and Biomolecular Spectroscopy, 228, 117799

F. 研究発表

1. 論文発表

特になし

2. 学会発表

特になし

3. 著書

特になし

G. 知的所有権の取得状況

なし

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

ビッグデータに基づく水質変動の早期予測手法の検討

研究分担者 山村 寛 中央大学 教授

研究要旨

塩素注入量が多すぎた場合、トリハロメタンの生成につながることから、給配水系統における水道水の残留塩素濃度は 0.5 mg/L 程度になるように厳格に管理されている。現在は、高度な技術を持つ職員が経験に基づいて注入量を決定しているが、大量のベテラン職員の退職と職員数の減少などから、経験に依存しない、新しい塩素注入量管理手法が求められている。本研究では、浄水場が保有する残留塩素濃度の時系列データに着目し、時系列の濃度変化の傾向を学習することで、数時間先の残留塩素濃度を推測できる予測モデルの構築を目的とした。具体的には、長期短期記憶（LSTM）ネットワークモデルにより、3 時間、6 時間、12 時間、24 時間先の残留塩素濃度予測モデルの構築を試みた。続いて、アルゴリズム中のパラメーター類、及び入力データ数が予測精度に及ぼす影響を検討した。

予測に必要な入力項目を検討した結果、水温及び導電率による予測精度への影響は僅かであり、残留塩素濃度だけで信頼に足るモデルの構築が可能となることが明らかになった。モデル精度の向上を目指してタイムステップ及び予測時間を様々に変化させた結果、タイムステップを 24 時間に設定した際に最も精度が高く、誤差目標値±0.025 mg/L 以下に収めるには、予測時間を 6 時間以下にする必要があることが判明した。入力データ数を 10 年から 1 ヶ月にまで減少させながらモデルを構築した結果、最低 4 か月分の 1 時間間隔データがあれば、予測値と実測値の差を目標値以内に収めることができた。

A. 研究目的

日本では、水道法において蛇口における残留塩素濃度を 0.1mg/L 以上に維持することが義務づけられている。塩素消毒は高い消毒効果を長時間にわたって持続できる一方で、浄水処理施設で注入された塩素消毒剤が配水管・配水池ならびに給水管を經由して給水栓や一般家庭等の蛇口に到達する

間に、水中のフミン質やアンモニア態窒素、配水管の管路壁面や表面に付着した生物膜などとの化学反応により、徐々に残留塩素濃度が希薄化する。給水栓や蛇口で残留塩素濃度 0.1mg/L を維持するためには、配水中に消費される残留塩素量を勘案した上で、浄水場での塩素注入量を決定する必要がある。

塩素消毒剤と水中の有機物が反応することで、トリハロメタンをはじめとする消毒副生成物が生成される。水質管理目標設定項目では残留塩素濃度が1 mg/L以下となるように設定されている他、総トリハロメタン濃度が0.1 mg/L以下となるように水質基準項目が定められている。神奈川県内広域水道企業団では、トリハロメタン抑制の観点から残留塩素濃度の管理目標値を0.5 mg/Lに定めており、現状、高度な技術を持つ職員が経験に基づいて適宜、塩素注入量を判断している。

日本は、2008年に人口がピークに達した後、徐々に人口が減少する人口減少社会に突入した。浄水場の職員数も徐々に減少しており、2030年までには、2000年比30%程度職員が減少すると予測されている。特に、高度な技術を持つベテラン職員の大量退職を控えており、これらの技術と経験の継承が重要な課題となっている。既存施設を持続的に維持・管理していくためにも、職員の技能や経験に依存しない、新しい浄水場の運転管理手法が求められている。そこで、本研究では配管内の残留塩素濃度の低減量を予測するモデルの構築に挑戦する。予測モデルが構築できれば、高度な技術を持った職員の判断を必要とせず、正確かつ迅速な塩素注入量の設定を自律的に最適化できるようになると期待する。

これまで、配管内の残留塩素予測を目的として、様々な物理モデルが構築されている。代表的なものとして、米国EPAが提供するEPANETが世界中の水道事業者にも利用されており、滞留が存在しない配管では比較的正確に残留塩素濃度の予測が可能とさ

れる。一方で、貯水槽や滞留を伴う配管及び二次枝管などについては、既存モデルの適用が難しいことが指摘されている。Abokifaら¹は、既存の物理モデルに確率需要発生器を接続することで、水需要の変動による滞留時間の変化を組み込んだ確率モデルを開発したが、既存モデルよりも精度が向上した一方で、塩素注入制御に足る精度には至っていない。

神奈川県内広域水道企業団は、神奈川県内の4事業体（神奈川県営水道、横浜市水道局、川崎市上下水道局、横須賀市上下水道局）へ浄水を給水する特別地方公共団体である。浄水された水は、42ヶ所の給水地点を経由して、各事業体に供給されており、各給水地点において、基本的な水質項目が連続的に監視されている。よって、神奈川県内広域水道企業団は、浄水場の出口に加え、各給水地点において、基本的な水質に関する連続監視データを保有していることになる。これらの膨大なデータセットを活用することで、給水地点における残留塩素濃度を高精度に予測しうるモデルが構築できるものと期待する。

ビッグデータを利用した制御方法として、ニューラルネットワークを用いたモデル構築が挙げられる。計算機の進化に伴って、ニューラルネットワークの中間層を時系列の前後で接続することで、時系列変化のパターンを学習するリカレントニューラルネットワーク（RNN）が開発され、様々な分野で将来予測に利用されている。Bowdenら²は、南オーストラリア、アデレード南部の配水システムを対象として、浄水場出口、ポンプ場、給水地点での残留塩素データを

使用して RNN による 72 時間後の残留塩素レベル予測モデルを構築した結果、 $R^2=0.96$ の精度で予測することに成功している。本モデルは、浄水場出口及び給水地点前段の塩素濃度を把握する必要があるため、連続残留塩素系を多数備えた地域に限定されることが欠点として挙げられる。実用性の高いモデル構築には、さらに簡潔なデータセットによる予測モデルが必要とされる。

近年、特に長期間の予測を目的として、RNN の隠れ層に CEC (constant error carousel) を設置することで、入力ゲート、出力ゲート、忘却ゲートによって、過去から引き継いだデータを必要に応じて取得・修正・消去できる特徴を持つ長期短期記憶 (LSTM) ネットワークモデルが開発された。Xuan-Hien Le ら³は、LSTM によってベトナムの洪水予測モデル構築に挑戦している。1961 年から 1984 年の 24 年間、上流地点の降雨量と流量を入力値として、下流地点における 3 日後の流量を予測するモデルを構築した結果、95%以上の予測精度が得られている。LSTM により正確な予測結果を得るには、タイムステップと予測時間を適切に設定する必要がある。タイムステップは 1 ユニットの時系列データの範囲を示す値であり、水質変動の周期に合わせて設定する必要がある。水質変動の周期よりタイムステップが短すぎると変化のパターンが単調になり、特徴を捉えられずに、モデル精度の低下を招く。一方で、水質変動の周期よりタイムステップが長すぎる場合、変化のパターンが多すぎるため、全てトレンドを学習するには膨大なデータ量が必要となる。

以上の背景から、本研究では神奈川県内

広域水道企業団が保管する浄水場と給水地点における膨大なデータセットを活用して、3~12 時間先の給水地点における残留塩素濃度を予測しうるモデルを構築する。モデル構築にあたって、時系列データの将来予測に有効なリカレントニューラルネットワークモデルのうち、長期間の予測モデル構築に優れる短長期記憶 (LSTM) モデルを利用する。具体的には、データの前処理アルゴリズムを検討すると共に、モデルの各種パラメーター、データ種、データ数が予測精度に及ぼす影響について検討する。

B. 研究方法

モデル構築に利用したデータ

本研究で使用したデータは、水道技術研究センターの協力の下、神奈川県内広域水道企業団より提供頂いた。神奈川県内広域水道企業団は、相模川、酒匂川で取水した水を 6 か所の浄水場で浄水している。本研究では、相模川及び酒匂川の 2 河川を水源とする相模原浄水場を基点として、約 15km に位置する上和田給水地点、及び矢指調整池を経由して約 20km に位置する西谷給水地点における残留塩素予測モデルを構築する。本研究では、他の浄水場の影響を受けない地点として、上記の 2 給水地点を選定した。

相模原浄水場、上和田給水地点、西谷給水地点での 2018 年 7 月 1 日から 2020 年 6 月 30 日の 2 年間分の 30 分間隔の残留塩素濃度(mg/L)、水温($^{\circ}$ C)、導電率(mS/m) (以下データセット①と表記する) と、2010 年 4 月 1 日から 2020 年 3 月 31 日の 10 年間分の 1 時間間隔の残留塩素濃度(mg/L)、水温($^{\circ}$ C)、

導電率(mS/m) (以下データセット②と表記する)を使用した。データセット①、②ともに、以下の方法で異常値の除去及びノイズを除去したものを学習・検証に使用した。

異常値の除去は、箱ひげ図を用いて、上限=95%点+四分位範囲(IQR)×3、下限=95%点-IQR×3として、極端にトレンドから外れた値を除外した後に、前後の値で線形補完した。

データノイズの除去は、下式を用いて前後12時間の24時間移動平均を算出することで、平滑化処理を実施した。

$$x_{t-6}, \dots, x_{t-1}, x_t, x_{t+1}, \dots, x_{t+6} = \frac{x_{t-6} + \dots + x_{t-1} + x_t}{7}, \frac{x_{t-5} + \dots + x_t + x_{t+1}}{7}, \dots, \frac{x_t + x_{t+1} + \dots + x_{t+6}}{7}$$

なお、 x_t は、ある時刻tにおける残留塩素濃度低減量とする。

モデル構築作業

管路内の滞留時間に時間周期性があると仮定し、滞留時間の周期変動も加味した残留塩素低減量を評価する。本研究では任意時刻における浄水場出口の残留塩素濃度と給水地点の残留塩素濃度の差を「残留塩素低減量」として、LSTMの入出力値に用いた。残留塩素低減量以外の2因子(導電率、水温)は、正規分布として平均0、分散1になるように一般標準化したものを入力値として用いた。

LSTMは以下の式で表現される。

$$x_L = \{x_t, x_{(t+1)}, x_{(t+2)}, \dots, x_{(t+L-1)}\}$$

ここで、Lをタイムステップ、tを時間、 x_t を時間tにおける入力値、 x_L をタイムステップ時間における入力値とする。バッチサイズは32、活性化関数はrelu関数、エポック数は50、ノード数は1024とした。学

習関数、エポック数、ノード数は複数検討したが、どの組み合わせでもモデル精度の大幅な変化はなかった(データは非表示)。タイムステップとして、12、24、48、168時間(7日間)の4条件を検討した。

データセットを目的に応じて任意の割合で学習用のトレーニングデータとモデル精度検証用のテストデータに分割した。使用したデータセットを表にまとめる。

モデル精度の評価方法

モデルの精度は、二乗平均平方根誤差(RMSE)及び相関係数 R^2 により評価した。以下にRMSE及び R^2 値の計算式を示す。

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum (\text{実測値} - \text{予測値})^2}$$

$$R^2 = 1 - \frac{\sum (\text{実測値} - \text{予測値})^2}{\sum (\text{実測値} - \text{実測値の平均値})^2}$$

残留塩素の連続測定装置の検出限界値0.05 mg/Lを勘案して、±0.025 mg/Lを許容誤差範囲とし、この範囲内に予測結果の最大値が収まることをモデル構築にあたっての目標とした。

C. 結果と考察

タイムステップがモデル精度に与える影響

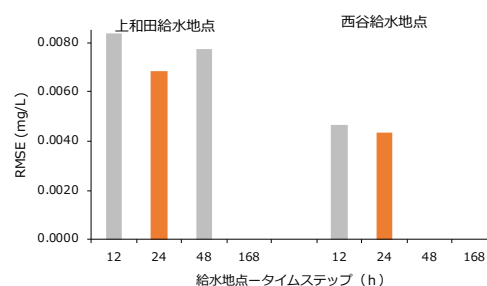


図-1 タイムステップと予測誤差の関係

データセット①中、入力を残留塩素低減量、導電率及び水温とし、出力を6時間後の残留塩素低減量とした際に、タイムステップがモデル精度に及ぼす影響を検討する。図-1に上和田給水地点及び西谷給水地点におけるタイムステップとRMSEの関係を示す。図-1を見ると、タイムステップ12~48時間において、すべてのプロットが目標精度である実測値±0.025 mg/L以内に収まっていた。特に、タイムステップを24時間に設定した際に、最も高い精度が得られた。この結果は、対象とした地域では、水質変動パターンが24時間周期であることに起因すると考える。本研究では、今後の検討においてタイムステップを24時間に設定した。

図-1中、上和田給水地点と西谷給水地点を比較すると、どの条件も上和田給水地点がより低い予測精度を示した。上和田給水地点は浄水場から比較的近く、残留塩素濃度低減量が低いことから測定誤差が大きくなったものと推測する。

上和田給水地点及び西谷給水地点のタイムステップを168時間に設定した際、及び西谷給水地点のタイムステップを48時間に設定した際に、モデルの出力が出来なかった。これはパラメーターが複雑になったことで、モデルが収束しなかったことが原因と考えられる。

予測期間がモデル精度に与える影響

モデルの出力となる予測期間は、浄水場職員からヒアリングした上で、3、6、12及び24時間をそれぞれ検討した。本研究で対象とした給水地点は、平均的な滞留時間が

6時間程度であることが事前調査で明らかになっている。予測結果に応じて浄水場出口での次亜塩素酸の注入制御を実施するには、6時間先の予測結果が少なくとも必要となる。

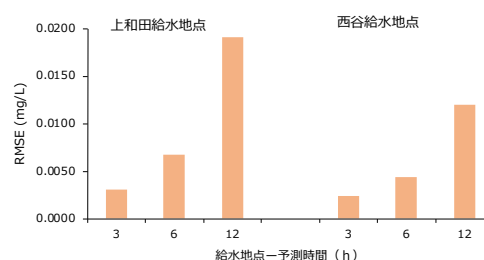


図-2 予測時間と予測誤差の関係

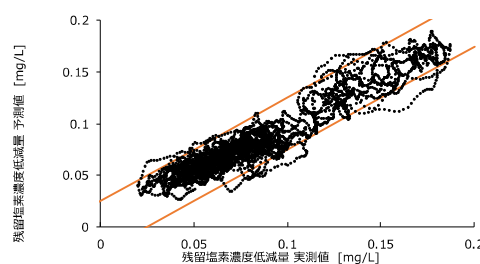


図-3 上和田給水地点における12時間後の残留塩素低減量 予測モデル精度

データセット①中、入力を残留塩素濃度低減量、導電率及び水温とし、出力を3、6、及び12時間先の残留塩素濃度低減量とした際のモデル精度を図-2に示す。両方の給水地点共に、予測時間の増加に伴って精度が徐々に悪化する傾向が得られた。予測時間を12時間に設定した際に、RMSEは0.020 mg/Lを示したが、実測値と予測値の散布図(図-3)から、一部のプロットにおいて、実測値±0.025 mg/Lから逸脱する点が観察された。予測時間を6時間に設定した際(図-4)に、すべてのプロットが実測値±0.025

mg/L 以内に収まったことから、より高い精度で予測するには、予測時間 6 時間が望ましいことが分かる。

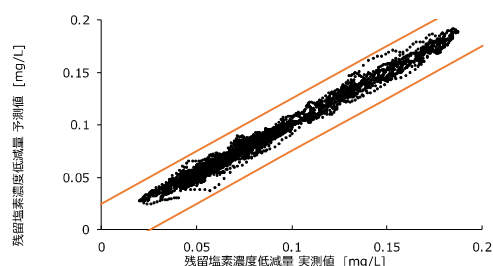


図-4 上和田給水地点における 6 時間後の残留塩素低減量 予測モデル精度

また、図-1 と同様に、図-2 中、上和田給水地点は西谷給水地点と比較して、どの条件でもより低い予測精度を示した。

以上の結果から、現場で必要とされる 6 時間先の残留塩素濃度低減量を予測できることが示された。

入力項目が予測精度に与える影響

これまで、入力には残留塩素濃度低減量その他、一般的な水質項目である導電率と水温も使用してモデルを構築してきた。続いて、モデル構築に最小限必要となる項目を検討するために、各項目の予測精度に対する感度を分析した。

データセット①を対象として、入力項目中、残留塩素濃度低減量、導電率及び水温から、導電率を削除した場合、水温を削除した場合、導電率と水温を削除した場合の 4 条件で 6 時間後の残留塩素濃度低減量を予測するモデルを構築し、予測精度を比較した結果を図-5 に示す。

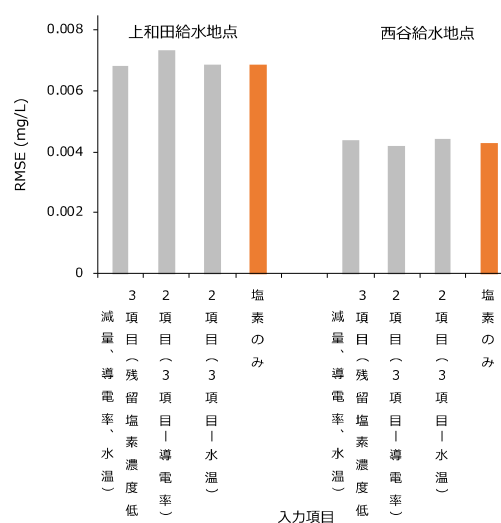


図-5 入力項目と予測精度の関係

図-5 の通り、入力項目を 3 項目（残留塩素濃度低減量、水温、導電率）から 1 項目（残留塩素濃度低減量）に減らした際に、RMSE に大差が見られなかったことから、水温と導電率がモデル精度に及ぼす影響が小さいことが分かる。残留塩素濃度低減量を予測する物理モデルについて検討する既往研究において、水温や導電率を環境因子とする研究が散見されるが、LSTM により構築したモデルは、これらの環境因子を参照せずに、残留塩素濃度低減量の経時変化のトレンドを捉えることで、将来を予測していると推測される。本研究により、予測モデルの構築にあたって、残留塩素低減量の情報のみで、十分な精度のモデルが構築できることが明らかになった。

データ量が予測精度に与える影響

モデル構築に必要なデータ量（データ蓄積期間）について検討する。データセット②を対象として、入力項目を残留塩素濃度低減量として、6 時間後の残留塩素濃度

低減量を予測するモデルを構築した。モデル構築にあたって、使用するデータを12ヶ月分から1ヶ月ずつ減少することで、データ量がモデル精度に及ぼす影響を検討した。なお、データの減量について、3月から4月にかけて1ヶ月ずつ減らしたP1と4月から3月にかけて1ヶ月ずつ減らしたP2について、それぞれ検討した。2014年から2018年の5年分実施した際の平均値を図-6及び図-7に示す。

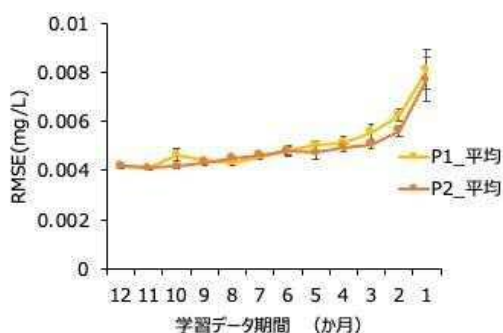


図-6 上和田給水地点におけるトレーニングデータの期間が予測精度に及ぼす影響

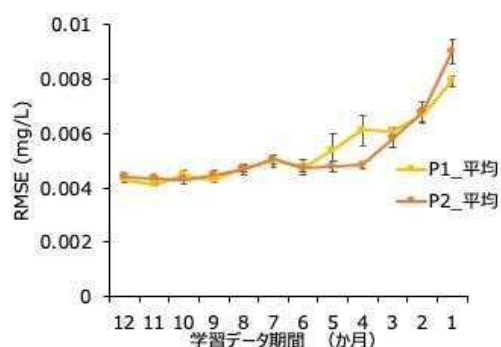


図-7 西谷給水地点におけるトレーニングデータの期間が予測精度に及ぼす影響

上和田給水地点及び西谷給水地点ともに、3月から前年の4月まで1ヶ月ずつ遡ってトレーニングデータを減少した際(P2)に、

4ヶ月分まで同程度の精度を維持した一方で、3ヶ月分になると急激に精度が悪化した。この傾向は、3月から4月まで1ヶ月毎データを減らした際(P1)でも同様の傾向が観察された。これらのことから、本研究で使用したデータについて、最低でも4ヶ月間のトレーニングデータが最低限、必要となることが示唆された。

西谷給水地点において、P1条件下で4ヶ月間(12月~3月)学習した際のモデル精度が他の結果と比較して顕著に低いことがわかる。おそらく、12月から3月のデータが他とは異なるトレンドを示したことが原因と考える。これらの結果から、データによってモデル精度が変化することが明らかになったと共に、モデル構築に用いるデータによっては、さらに長期間のデータセットを用いてモデル構築を行う必要性が示された。

トレーニングデータの質が予測精度に与える影響

本研究で用いたデータでは、精度の高いモデル構築に4ヶ月間のトレーニングデータが必要となることが明らかになった。4ヶ月間のトレーニングデータについて、開始月と終了月を変化させてモデル構築することで、精度の悪化を誘発するデータ群を探索した。

1年のデータを4ヶ月毎に区切ることで12パターンのトレーニングデータを準備し、モデル構築に用いた。2014年から2018年の5年間について年度毎にモデルを構築し、各パターンにおける精度の平均値を算出した。予測には、入力値、出力値共に残留塩素

濃度低減量を用いた。

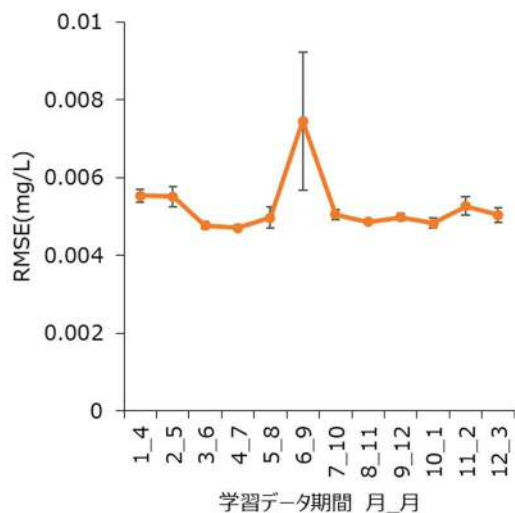


図-8 上和田給水地点におけるトレーニングデータの時期が予測精度に及ぼす影響

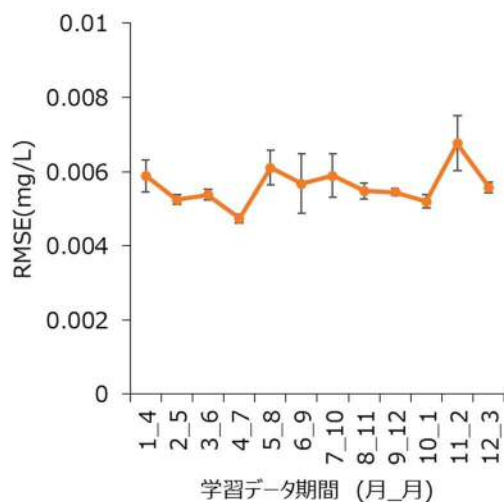


図-9 西谷給水地点におけるトレーニングデータの時期が予測精度に及ぼす影響

上和田給水地点の結果を図-8、西谷給水地点の結果を図-9 に示す。4 ヶ月間のトレーニングデータであっても、用いたデータ期間によって精度が異なることが明らかに

なった。本研究では、上和田給水地点、西谷給水地点共に、4 月から7月の4 か月間のデータをトレーニングデータとして使用した際に、最も高い精度が得られた。一方で、上和田給水地点では6月から9月にかけて夏期間のデータ、西谷給水地点では11月から2月にかけて冬期間のデータをトレーニングデータとして使用した際に、モデル精度が低くなることが明らかになった。

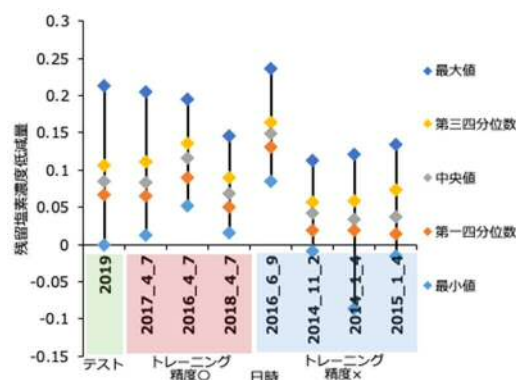


図-10 高精度及び低精度が得られたモデルのトレーニングデータのデータ特性

精度に影響するトレーニングデータ特性を検討するため、特に精度が高いモデル及び低いモデル構築に用いたトレーニングデータについて、最大値、最小値、中央値、四分位値をそれぞれ算出した結果を図-10 に示す。

テストデータとして、本研究では2019年のデータを用いたが、特に精度が高かった4月から7月のデータの分布とテストデータの中央値、四分位値がほぼ一致していることがわかる。一方で、精度が低かったトレーニングデータは、中央値、四分位値がテストデータと大きくずれていた。これらの結果から、テストデータの分布に近いデ

ータ群をトレーニングデータとして利用することで、精度が高いモデルを構築できると考えられる。

D. 結論

本研究では、時系列の濃度変化の傾向を長短期記憶ネットワーク (LSTM) アルゴリズムにより学習することで、数時間先の残留塩素濃度を推測できる予測モデルの構築を目的とした。また、他の自治体での適用可能性を示すためにモデルの構築に必要最小限のデータ量を検討した。

モデル構築にあたって最適なタイムステップは 24 時間であり、誤差目標値 ± 0.025 以下に収めるには、予測時間を 6 時間以下にする必要があることが判明した。

モデル構築に必要最小限のデータ量は 4 月～7 月の 4 か月間の残留塩素濃度低減量であることがわかった。この期間のデータをトレーニングデータに用いたとき、高い精度のモデルが構築できた。以上より残留塩素濃度の 1 時間間隔の時系列データが 4 ヶ月分準備できれば、6 時間先の残留塩素濃度を LSTM により予測できることがわかった。

E. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

なし

F. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし

参考文献

1. Abokifa, A. A.; Yang, Y. J.; Lo, C. S.; Biswas, P., Water quality modeling in the dead end sections of drinking water distribution networks. *Water Res* **2016**, *89*, 107-17.
2. Bowden, G. J.; Nixon, J. B.; Dandy, G. C.; Maier, H. R.; Holmes, M., Forecasting chlorine residuals in a water distribution system using a general regression neural network. *Math Comput Model* **2006**, *44* (5-6), 469-484.
3. Le, X. H.; Ho, H. V.; Lee, G.; Jung, S., Application of Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Network for Flood Forecasting. *Water* **2019**, *11* (7).

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

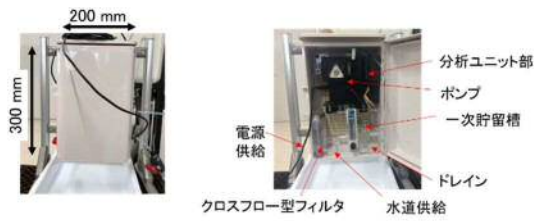
水道システム全体を視野に入れた経済的な水質センサー及びデータ活用手法の開発等を行う。具体的には科学技術振興機構の戦略的創造研究推進事業において開発された小型水質計、及びそれに続く厚生労働省科学研究費補助金における実証試験を通して明らかにした、実用化に必要な性能諸元等の要件をベースに、計測の簡素化方法、及びそれを可能とする水質センサーを提案・検証し、データ伝送・活用方法の提案を目的とする。

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。

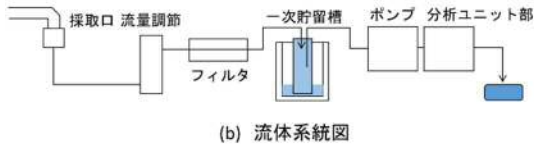
ロスフロー型フィルタを採用した。また計測開始時に採取部途中で滞留する水道水を排除し、水道配管内の新鮮な水道水を取り込むために、一次貯留槽を設け、一定量の水をオーバーフローさせたのちに、分析部へ搬送する系及び自動化機構を備えた。その結果、分析ユニット部分は小型であるが、周辺機能を合わせると300mm程度の大きさとなった。また試料液を導入するためのポンプや電磁弁、貯留槽などを備える必要があった。以上からコストを抑え、多くの場所に現場設置可能とするためには、その大きさ、簡素化の面で更なる改良を行う必要があった。

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



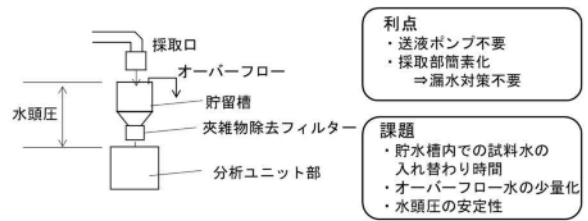
(b) 流体系統図

図 1. 既往研究における水質計

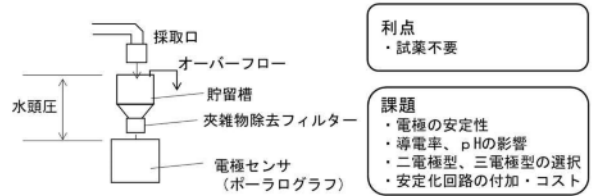
これを受けて、全体の小型化を阻む要因である試料水の採取方法や、コストを上げる要因であるポンプ類を省く構成を新たに検討し、一部、原理評価機の試作に着手した。また本センサー形態に合わせて、エッジでの計算処理を可能とする手段及び公衆サービスの調査・選定を実施した。

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。

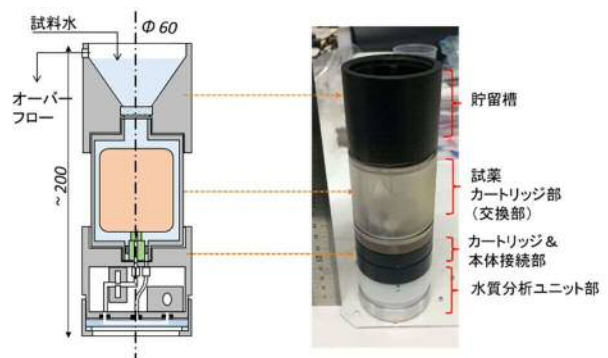


図 3. 原理評価機

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。

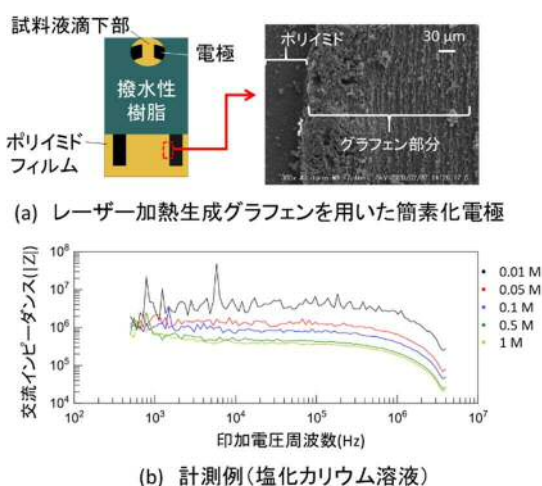


図 4. 簡素化電極の試作・原理確認

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

研究成果の刊行に関する一覧表

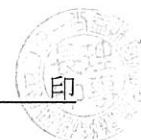
刊行書籍又は雑誌名（雑誌の時は、雑誌名、巻数、論文名）、刊行年月日、刊行書店名、執筆者氏名

該当なし

令和 3年 5月 25日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 (公財) 水道技術研究センター
所属研究機関長 職名 理事長
氏名 安藤 茂



次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部局・職名) 常務理事
(氏名・フリガナ) 清塚 雅彦・キョヅカ マサヒコ

4. 倫理審査の状況

| | 該当性の有無 | | 左記で該当がある場合のみ記入 (※1) | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| | 有 | 無 | 審査済み | 審査した機関 | 未審査 (※2) |
| ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 遺伝子治療等臨床研究に関する指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

| | |
|-------------|---|
| 研究倫理教育の受講状況 | 受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/> |
|-------------|---|

6. 利益相反の管理

| | |
|--------------------------|---|
| 当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究機関におけるCOI委員会設置の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:) |
| 当研究に係るCOIについての報告・審査の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究に係るCOIについての指導・管理の有無 | 有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:) |

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

令和 3年 5月 25日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 (公財) 水道技術研究センター
所属研究機関長 職名 理事長
氏名 安藤 茂 印

次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部局・職名) 主幹 浄水技術部長
(氏名・フリガナ) 市川 学・イチカワ マナブ

4. 倫理審査の状況

| | 該当性の有無 | | 左記で該当がある場合のみ記入 (※1) | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| | 有 | 無 | 審査済み | 審査した機関 | 未審査 (※2) |
| ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 遺伝子治療等臨床研究に関する指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

| | |
|-------------|---|
| 研究倫理教育の受講状況 | 受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/> |
|-------------|---|

6. 利益相反の管理

| | |
|--------------------------|---|
| 当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究機関におけるCOI委員会設置の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:) |
| 当研究に係るCOIについての報告・審査の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究に係るCOIについての指導・管理の有無 | 有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:) |

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

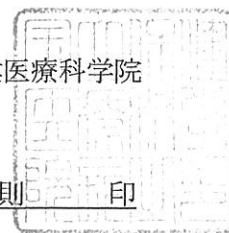
令和3年3月29日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立保健医療科学院

所属研究機関長 職名 院長

氏名 宮寄 雅則 印



次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業2. 研究課題名 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3. 研究者名 (所属部局・職名) 生活環境研究部・上席主任研究官(氏名・フリガナ) 島崎 大・シマザキ ダイ

4. 倫理審査の状況

| | 該当性の有無 | | 左記で該当がある場合のみ記入 (※1) | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| | 有 | 無 | 審査済み | 審査した機関 | 未審査 (※2) |
| ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 遺伝子治療等臨床研究に関する指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査に場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

| | |
|-------------|---|
| 研究倫理教育の受講状況 | 受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/> |
|-------------|---|

6. 利益相反の管理

| | |
|--------------------------|---|
| 当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究機関におけるCOI委員会設置の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:) |
| 当研究に係るCOIについての報告・審査の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究に係るCOIについての指導・管理の有無 | 有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:) |

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

国立保健医療科学院長 殿

機関名 関東学院大学

所属研究機関長 職名 学長

氏名 小山 巖也



次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部局・職名) 理工学部理工学科・准教授
(氏名・フリガナ) 鎌田 素之・カマタ モトユキ

4. 倫理審査の状況

| | 該当性の有無 | | 左記で該当がある場合のみ記入 (※1) | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| | 有 | 無 | 審査済み | 審査した機関 | 未審査 (※2) |
| ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 遺伝子治療等臨床研究に関する指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

| | |
|-------------|---|
| 研究倫理教育の受講状況 | 受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/> |
|-------------|---|

6. 利益相反の管理

| | |
|--------------------------|---|
| 当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究機関におけるCOI委員会設置の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:) |
| 当研究に係るCOIについての報告・審査の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究に係るCOIについての指導・管理の有無 | 有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:) |

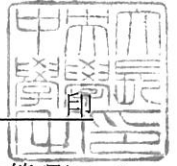
(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

国立保健医療科学院長 殿

機関名 中央大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 福原 紀彦



次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業
2. 研究課題名 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
3. 研究者名 (所属部局・職名) 理工学部・教授
(氏名・フリガナ) 山村 寛・ヤマムラ ヒロシ

4. 倫理審査の状況

| | 該当性の有無 | | 左記で該当がある場合のみ記入 (※1) | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| | 有 | 無 | 審査済み | 審査した機関 | 未審査 (※2) |
| ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 遺伝子治療等臨床研究に関する指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

| | |
|-------------|---|
| 研究倫理教育の受講状況 | 受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/> |
|-------------|---|

6. 利益相反の管理

| | |
|--------------------------|---|
| 当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究機関におけるCOI委員会設置の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:) |
| 当研究に係るCOIについての報告・審査の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究に係るCOIについての指導・管理の有無 | 有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:) |

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。

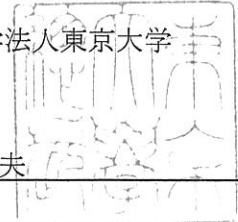
令和3年4月23日

国立保健医療科学院長 殿

機関名 国立大学法人東京大学

所属研究機関長 職名 総長

氏名 藤井 輝夫 印



次の職員の令和2年度厚生労働科学研究費の調査研究における、倫理審査状況及び利益相反等の管理については以下のとおりです。

- 1. 研究事業名 健康安全・危機管理対策総合研究事業
- 2. 研究課題名 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
- 3. 研究者名 (所属部局・職名) 大学院工学系研究科・教授
(氏名・フリガナ) 三宅 亮・ミヤケ リョウ

4. 倫理審査の状況

| | 該当性の有無 | | 左記で該当がある場合のみ記入 (※1) | | |
|-------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--------------------------|--------|--------------------------|
| | 有 | 無 | 審査済み | 審査した機関 | 未審査 (※2) |
| ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 遺伝子治療等臨床研究に関する指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 人を対象とする医学系研究に関する倫理指針 (※3) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| 厚生労働省の所管する実施機関における動物実験等の実施に関する基本指針 | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |
| その他、該当する倫理指針があれば記入すること (指針の名称:) | <input type="checkbox"/> | <input checked="" type="checkbox"/> | <input type="checkbox"/> | | <input type="checkbox"/> |

(※1) 当該研究者が当該研究を実施するに当たり遵守すべき倫理指針に関する倫理委員会の審査が済んでいる場合は、「審査済み」にチェックし一部若しくは全部の審査が完了していない場合は、「未審査」にチェックすること。

その他 (特記事項)

(※2) 未審査の場合は、その理由を記載すること。

(※3) 廃止前の「疫学研究に関する倫理指針」や「臨床研究に関する倫理指針」に準拠する場合は、当該項目に記入すること。

5. 厚生労働分野の研究活動における不正行為への対応について

| | |
|-------------|---|
| 研究倫理教育の受講状況 | 受講 <input checked="" type="checkbox"/> 未受講 <input type="checkbox"/> |
|-------------|---|

6. 利益相反の管理

| | |
|--------------------------|---|
| 当研究機関におけるCOIの管理に関する規定の策定 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究機関におけるCOI委員会設置の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合は委託先機関:) |
| 当研究に係るCOIについての報告・審査の有無 | 有 <input checked="" type="checkbox"/> 無 <input type="checkbox"/> (無の場合はその理由:) |
| 当研究に係るCOIについての指導・管理の有無 | 有 <input type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (有の場合はその内容:) |

(留意事項) ・該当する□にチェックを入れること。
・分担研究者の所属する機関の長も作成すること。