

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 3 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 清 塚 雅 彦

令和 4 (2022) 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 (ヒアリング)	12
	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)	20
	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	32
	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	37
	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	51
	三宅 亮 (東京大学)	
III.	研究成果の刊行に関する一覧表	54

添付資料

1.	研究体制	55
2.	企業ヒアリング調査票	56
3.	企業ヒアリング調査議事録	57
4.	事業体ヒアリング調査議事録	79
5.	WG 会議議事録	130
6.	研究班会議議事録	147

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) 水質管理の強化に係る既存・将来技術の文献調査と課題抽出
- (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およ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3年度は3カ年計画の2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、学識者およ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3年度の研究成果の概要は次のとおりである。

- (1) 水質管理の強化に係る既存・将来技術の文献調査と課題抽出

自動監視装置における測定データの活用方法や今後の展望を把握すべく、令和2年度にアンケート調査を実施した31事業体の中から9事業体と自動監視装置を製造する8社に対してヒアリングを実施した。その結果、自動監視装置が浄水処理の指標等として重要な役割を果たしていることや、十分な実用性を有していることが確認できた。一方で、官と民ではデータ活用の考え方等にギャップがあり、水道事業の更なる基盤強化のためには、このギャップの解消が重要であることが確認できた。

国内外の文献調査では、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等測定データ利活用、新規水質センサーの開発状況について、キーワード検索によりヒットした文献の中から、要旨や結論等の内容から当研究の趣旨に該当すると考えられる文献を選定し最新動向を把握するとともに、課題点の抽出を行った。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

水道において連続的にモニタリング可能な新たな水道指標として三次元蛍光分析に着目し、文献調査、ヒアリング及び実測調査を実施した。結果、水分野において三次元分析を利用した研究は2018年以降顕著に増加しており、従来のDOMの挙動や消毒副生成物のモニタリングに加え、バイオフィームや藻類由来の有機物による消毒副生成物前駆物質の特定や再生水等の窒素化合物の評価など様々な場面で広く利用されており、有用なツールであることが示された。一方、事業者へのヒアリングから導入に際しては多くのデータや煩雑な解析が必要となること、装置の価格や設置場所等、解決すべき問題があることも確認できた。三次元蛍光分析に関する実測調査からは、蛇口水において降雨やダム放流による水質変動を検出可能なことや三次元蛍光スペクトルにより油類の種類を判断できる可能性が示された。

(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、長期短期記憶ネットワーク(LSTM)アルゴリズムにより、給水末端における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他、モデルの構築に必要な最小限のデータ量を検討した。その結果、モデル構築にあたって最適なブロックは24時間であり、予測誤差目標値を $\pm 0.025\text{mg/L}$ 以下に収めるためには、予測時間を6時間以下にする必要があることが確認できた。また、6時間先の残留塩素濃度をLSTMにより目標誤差以下で予測するために必要最小限のデータは、残留塩素濃度の1時間間隔の時系列データ4ヶ月分であることがわかった。

(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およ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、計測の簡素化方法、およびそれを可能とする水質計を提案・検証し、データ伝送・活用方法の提案をすることを目的に、提案に基づき試作した簡素な水質計を民間施設における給水地点に設置し原理評価を実施するとともに、課題の抽出とそれに基づく改良を実施した。

**研究分担者氏名・所属研究機関名および
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3年度は、「(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」「(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およびデータ活用手法の開発」に取り組んだ。

(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

自動監視装置を製造する企業8社（A社～H社）および9事業体に対してヒアリン

グ調査を実施し、自動監視装置による連続測定の実施状況や今後の展望、自動監視装置により得られた連続水質データの利活用方法および今後の展望等について調査を行い、官と民の両側からの考え方について整理を行った。

海外文献調査は国立保健医療科学院内で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、設定したキーワードにて文献検索を実施し、34文献を選定した。

国内文献調査は国立保健医療科学院内で利用可能な学術文献データベース（CiNii Articles, CiNii Books, J-STAGE, NDL Online, Google Scholar）を用い、設定したキーワードにて文献検索を実施し、31文献を選定した。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

J-Dream3 または PubMed を用いて、水分野における三次元蛍光分析の研究事例に関する文献調査を実施した。文献調査等の結果を踏まえ、三次元蛍光分析の研究実績がある大阪市水道局へ三次元蛍光分析の活用事例、導入の経緯等についてヒアリングを実施した。

三次元蛍光分析の実用可能性を検討するため、水源河川における降雨情報や水質事項に対応する日の試料を選定し三次元蛍光分析を実施することにより、蛇口水における水質変化の検出可能性について検討した。加えて、河川水に油類を添加し、三次元蛍光分析による検出が可能かについて基礎的な検討を実施した。

(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、および沖縄県企業局の水質データを用いて残留塩素濃度低減量を予測するモデルを構築した。水質データは、神奈川県内広域水道企業団の相模原浄水場出口、上和田給水地点、西谷給水支店での2018年7月1日から2020年6月30日(2年間)における5分間隔の残留塩素濃度(mg/L)、水温(°C)、電気伝導度(mS/m)をデータセットA、2010年4月1日から2020年3月31日(10年間)における1時間間隔の残留塩素濃度(mg/L)、水温(°C)、電気伝導度(mS/m)をデータセットBとした。また、モデルの汎用性の評価として沖縄県企業局の石川浄水場を起点として、金武調整池、東恩納調整池、山城調整池および具志川調整池における残留塩素濃度低減量を予測するモデルを構築し、それぞれの調整池での2018年4月1日から2021年3月31日(3年間)における1時間間隔の残留塩素濃度(mg/L)をデータセットCとした。全データセットにおいて、異常値の除去及びノイズ除去したものを学習・検証に使用した。データセットは任意の割合でモデル構築用の学習データとモデル精度検証用のテストデータに分割した。

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、電気伝導度、水温および残留塩素低減量をLSTMの入出力値に用いた。

残留塩素低減量予測モデルの精度は、二乗平均平方根誤差(RMSE)により評価した。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およびデータ活用手法の開発等

簡素化水質計を用いた原理評価により確認された課題を解決するため、耐水構造の見直しや、電子回路基板の極小化・内蔵化を進めた。

また、透過光量変化の信号から、塩素由来の信号値を補正する方式を新たに提案するとともに、これらに関するプログラムコードを開発した。

C. 研究成果

(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

企業へ「コスト」「維持管理性」「装置の大きさ」のうち、どれが重要であるかをヒアリングした結果、コストが最も重要で次いで維持管理性が重要であるという回答が多く得られた。また、装置導入の際に問合せが多い事項については、メンテナンス性、導入・維持管理コストや測定精度が多いとの回答であり、令和2年度に実施したアンケート調査(以下、令和2年度調査と表記。)より明らかとなった民側が考える重要事項と概ね一致する結果となった。

また、企業へ水質データの利活用方法についてヒアリングしたところ、ビッグデータ解析を実施することで配水傾向を予測するシステムを有していると回答した企業がある一方で、多くの企業では水質データの

入手が難しく、利活用が進んでいないとの回答であった。しかしながら、データが自由に活用できるのであれば、運転制御の指標として使用するなどの意見も見受けられ、データの入手が容易となれば、更なる水質データの利活用が進むと考えられた。

事業体へのヒアリングからは、濁度や残留塩素など浄水処理の指標として活用している水質項目がある一方で、データを活用しきれていない項目があることが確認できた。また、自動監視装置に関して期待することについては、どれだけ人の手間を減らすことができるかが重要、装置の導入維持管理コストが委託費よりも安く抑えることができればよいや、自動監視装置の精度を上げてほしいとの意見が得られ、事業体側はコストの低減や維持管理性の向上に期待していることが確認できた。

文献調査における連続測定可能な(代替)水質指標および迅速モニタリング技術については、微生物指標に関するものが主であった。

水質変動の早期予測等測定データ利活用については、原水、処理工程水、配水過程それぞれにおいて研究事例が報じられていた。原水においては、水源域における藍藻類および関連水質指標の予測、原水中の濁度予測や水質項目の予測事例が多く見受けられた。処理工程水では、浄水処理の各工程における処理条件の最適化や自動化について、機械学習の適用等による検討が行われており、配水過程では水質変化予測、水質異常検知に関する検討、水道管路の維持管理や水質管理についての検討が多く報告されていた。

新規水質センサーについては、微生物、フ

ッ素や消毒副生成物を対象とした研究が進められていることが確認できた。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

海外における三次元蛍光分析の研究事例として、PubMed を用い“EEM Drinking water”および“EEM water”のキーワードで検索したところ、2018年以降、水分野において三次元蛍光分析を活用した研究事例が増加していることが確認された。

事業体へのヒアリングより、消毒副生成物の予測、水質事故等に対応できる新たな手法を検討した結果、消毒副生成物の予測精度の向上事例が報告されていることや吸光度及びTOC等とは異なる物質を同定可能な分析手法であることが三次元蛍光分析の導入のきっかけであったとの回答を得た。また、三次元蛍光分析により消毒副生成物のより詳細な予測や前駆物質の挙動の把握が可能となったが、浄水処理工程の特性上、常時監視の必要性が低いことから連続的なモニタリングは行っていないとのことであった。加えて、三次元蛍光分析は、測定自体は簡便であるが PARAFAC 解析の作業が煩雑であり、解析ソフトが高価であるとの課題があるとの回答も得られた。

三次元蛍光分析の実用性を検証するため、蛇口水の採水および測定を実施した。その結果、蛇口水では腐食性物質に対応するコンポーネント (C1) に顕著な増加が認められたが、以前に同流域で測定を実施し、PARAFAC 解析の結果が得られていた C1 以外の 5 つのコンポーネントについては大きな変化は認められなかった。これより、水質変動を蛇口水でも検出可能であることが示

された。また、河川水に油類を添加して三次元蛍光分析を実施した結果、得られた三次元蛍光分析スペクトルより油類の種類を判断できる可能性が示された。

(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

データセット A 中、入力を残留塩素低減量、電気伝導度および水温とし、出力を 6 時間後の残留塩素低減量とした際に、ブロックサイズがモデル精度に及ぼす影響を検討したところ、上和田給水地点及び西谷給水地点においてブロックが 12~48 時間で、すべてのプロットが目標精度である実測値±0.025mg/L 以内に収まった。特に、ブロックを 24 時間に設定した際に最も高い精度が得られた。これは、対象とした地域の水質変動パターンが 24 時間周期であったことに起因すると考えられた。一方で、ブロックの設定を 48 時間または 168 時間に設定した際には、モデルの出力ができなかった。

データセット A 中、入力を残留塩素濃度低減量、電気伝導度および水温とし、出力を 3、6 および 12 時間先の残留塩素濃度低減量とした際に、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 時間とした際に、一部のプロットにおいて、実測値±0.025mg/L から逸脱する点を確認されたが、予測時間を 6 時間に設定した場合には、すべてのプロットが実測値±0.025mg/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わかった。

モデル構築に最小限必要となる項目を検討するため、各項目の予測精度に対する影響を分析した。データセット A を対象とし

て、入力項目のうち残留塩素濃度低減量、電気伝導度および水温から、電気伝導度を削除した場合、水温を削除した場合、電気伝導度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。入力項目を残留塩素濃度低減量のみとした場合とその他の場合の RMSE に大差がみられなかったことから、水温と電気伝導度がモデル精度に及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。

モデル構築に必要となるデータ量（データ蓄積期間）について、データセット B を用いて検討した。入力項目は残留塩素濃度低減量とし、年度毎に使用するデータを 12 ヶ月分から 1 ヶ月ずつ減少することで、6 時間後の残留塩素濃度低減量を予測するモデルの精度にデータ量が及ぼす影響を検討した。学習データを減少した際に、4 ヶ月分までは同程度の精度を維持したものの、3 ヶ月分になると急激に精度が悪化した。このことから、モデル構築には最低でも 4 ヶ月間の学習データが必要となることが示唆された。4 ヶ月間の学習データについて、1 年のデータを 4 ヶ月毎に区切り開始月と終了月を変化させてモデルを構築（12 パターン）することで、精度の悪化を誘発するデータ群を検索した。その結果、4 ヶ月間の学習データであっても、用いたデータ期間によって精度が異なることが明らかとなった。

LSTM モデル構築アルゴリズムの汎用性を検証するため、データセット C を用いて、ブロックサイズを 24 時間、予測時間を 6 時間として予測モデルを構築したところ、それぞれの調整池地点における RMSE は目標精度である±0.025mg/L 以内に収まってい

た。続いて、モデル構築に必要となるデータ量とデータの質が予測精度に与える影響について検討したところ、4ヶ月分までは同程度の精度を示したものの、3ヶ月分になると急激に精度が悪化した。これらの結果はデータセット B の結果と同様であり、データによってモデル精度が変化することが明らかとなった。

(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およびデータ活用手法の開発

防水・耐水構造および電子回路基板の内蔵化による改良を行った結果、外部からの水の侵入は無くなり、装置も直径 60mm、高さ約 350mm まで小型・簡素化された。

また、塩素由来の信号値に吸光度信号を補正した信号強度補正や流速変化を加味した補正を加えることにより、安定した吸光度信号値を得ることに成功した。加えて、安定的に信号値を受信できるよう、遠隔にて自動的に気泡除去動作を行う系を開発した。

上記に加え、水質センサーの代替として、樹脂ポリイミドフィルムを用いて電極センサーを試作した。

D. 考察

(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

企業ヒアリングおよび事業体ヒアリングの結果より、両者ともにコストや維持管理性を重要視しており、特に事業体では安価で維持管理が容易かつ高精度で測定できる装置が望まれていることが確認できた。装置の性能向上のためには、企業だけでなく、装置を実際に運用している事業体の意見や

測定データのフィードバック等が重要となることから、企業と事業体との間で今まで以上に意見交換の場が必要になるものと考えられた。

また、測定データの利活用については、令和 2 年度調査において、大学や研究機関に対し水質データを提供できると回答した事業体は 11 事業体 ($11/32=34\%$) であり、企業へのデータ提供となるとさらに低くなると考えられ、企業側がデータを活用するのが難しい現状と一致する。しかしながら、AI 等による水質予測技術の開発のためには、水道事業体の抱えるビッグデータが必要不可欠であり、水質予測技術の開発を進めていくうえでは、水道事業におけるオープンデータ化が重要となるだろう。

文献調査の結果から、連続測定可能な(代替)水質指標および迅速モニタリング技術について、水道水源における酵素活性を用いた測定では、クリプトスポリジウム等の病原体との相関性が高く、汚染イベント発生時の採水が最適化できると考えられた。また、浄水や配水過程における菌数を対象としたオンライン型フローサイトメトリーの適用により、衛生状況の変化が把握できると考えられた。

水質変動の早期予測等測定データ利活用については、水道水源・浄水処理工程・配水過程においてオンライン測定データを用いた水質予測や自動制御が試みられており、実用化・商品化されている技術も見受けられた。深層学習モデルにおける予測精度はデータセットの質や量、データ前処理に依存するものの、高い評価を受けており、特に短期長期記憶 (LSTM) モデルの予測精度は優れていた。

新規水質センサーの開発に関する最新動向および課題点に関しては、糞便汚染指標として規制される細菌類や消毒副生成物のオンライン連続測定に対するニーズが高いことが確認できた。消毒副生成物のオンライン連続測定を目的とした電気センサーの開発が進められているものの、対象物質や認識物質の長期保持など、技術的な課題が大きい状況にあった。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

文献検索によると、海外ではこれまで研究が行われてきた原水中に含まれる天然のDOMの特性把握やそれらに由来する消毒副生成物の評価だけでなく、バイオフィームや藻類由来の有機物の特性把握、消毒副生成物の生成ポテンシャルや硝酸対窒素のような畜産由来の汚染の特定および監視にも活用されている。一方で、今回文献調査の結果、本研究と関係性の高いと考えられた論文の多くが中国で実施された研究であり、我が国の水道事業者へ適用するには、装置の確保や測定体制などを検討する必要があると考えられた。

水道事業者へ三次元蛍光分析を導入する際の課題として、PARAFAC解析を実施する場合には一定数のサンプル数が必要であること、解析に煩雑な操作が必要なことや装置が高価であるため、単一の項目をモニタリングする目的での導入は難しく、装置のコストダウンや複数項目のモニタリングに活用するなどの工夫が必要になったことが明らかとなった。

三次元蛍光分析により油類の種類を判断できる可能性が示されたが、分析には油類

の濃度として 1ppm 程度が必要であることから、連続的な油類の監視については分析方法の最適化とモニタリング箇所の選定等の課題があることが示された。

(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

ブロックサイズがモデル精度に及ぼす影響を検討した際、ブロックを 48 時間または 168 時間に設定したときにモデルの出力ができなかったが、これはパラメータが複雑となりモデルが収束しなかったことが原因と考えられた。

予測期間がモデル精度に与える影響について検討した結果、データセット A を用いて、入力を残留塩素濃度低減量、電気伝導度および水温とし、出力を 6 時間先の残留塩素濃度低減量とした際のモデルの予測誤差は 0.008mg/L となった。これは機械学習を用いた既往研究における予測誤差と比べ低い値であり、LSTM による予測精度は既往研究よりも高いことが示された。

また、データセット A を用いてモデル構築に最小限必要な項目を検討した結果、水温と電気伝導度がモデル精度に及ぼす影響は小さいことが明らかとなった。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は、水温や電気伝導度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を捉えることで、将来を予測していると推測される。

モデル構築に必要なデータ量の検討から、用いた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。

精度に影響する学習データ特性を検討するため、特に精度が高いモデルおよび低いモデルの構築に用いた学習データについて、最大値、最小値、中央値、四分位値を算出した。精度が高いモデルのデータ分布はテストデータの中央値、四分位値とおおむね一致していたのに対し、精度が低いモデルのデータは中央値、四分位値がテストデータと大きくずれていた。このことから、モデルの適用にあたって、学習データとテストデータの中央値、四分位値を比較することで、モデルの適否を迅速に評価できる可能性が示唆された。

(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およびデータ活用手法の開発

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があり、継続的な検証およびアルゴリズムの修正が必要である。これらについては、令和4年度に実環境における中長期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、改良した水質計に実装し、試薬による湿式分析との相関性の確認や、相補的活用法等について検証する予定である。

E. 結論

(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

自動監視装置が浄水処理の指標等として水質管理において重要な役割を果たしているとともに、十分な実用性を有していることが明らかとなった。

しかしながら、企業側へのデータ提供が難しく、技術開発が進まないという課題があることも明らかとなった。水道事業の基盤強化のためには、水道事業者がデータの公開や産官学の共同研究への協力等を進めていくことに加え、企業側が装置のより一層の性能向上や水質予測技術の開発を進めていくことが重要となるだろう。

国内外の文献調査から、水質指標項目の連続測定に関しては、迅速に細菌を検出可能な酵素活性やフローサイトメトリーといった測定手法が実施されていることが確認できた。また、人工衛星等によるセンシングならびに画像解析技術により、広域における水源水質の把握や漏水探知が早期、省コストかつ省力的に実現できる可能性があり、大いに注目すべきと考えられた。深層学習による早期の水質予測等測定データ利活用に関しては、各測定データを活用することにより、浄水場の運転管理や水質管理のみならず水道事業に係る広汎な業務を支援できると考えられた。一方、新規水質センサーの開発状況については、研究開発は進展しているものの、水道事業者のニーズが高いと想定される消毒副生成物の電気化学センサーについては、対象物質や認識物質の長期保持などに技術的な課題があることが確認できた。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

水道事業において連続的にモニタリング可能な水質指標として、三次元蛍光分析に着目し、文献調査、ヒアリングおよび実測調査を実施した。結果、水分野において三次元蛍光分析を利用した研究は2018年以降に増

加しており、従来の DOM 挙動や消毒副生成物のモニタリングにとどまらず、バイオフィルムや藻類由来の有機物による消毒副生成物前駆物質の特定や再生水等の窒素化合物の評価など様々な場面で広く利用されており、有用なツールであることが確認できた。一方、事業者へのヒアリングから、導入に際しては多くのデータや煩雑な解析が必要なこと、装置の価格や設置場所について解決すべき課題があることが確認できた。また、蛇口水に対する実測調査から、降雨やダム放流による水質変動を蛇口水でも検出可能なことや三次元蛍光スペクトルより油類の種類を判断できる可能性が示された。

(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

モデル構築にあたって最適なブロックは 24 時間であり、誤差目標値±0.025mg/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。また、モデル構築に必要な最小限のデータは、残留塩素濃度の 1 時間間隔の時系列データ 4 ヶ月分であり、この期間のデータを学習させることができれば、6 時間先の残留塩素濃度を LSTM により高精度で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およ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の簡素な水質計を試作し、民間施設における給水地点に

設置、原理評価を行うとともに、課題の抽出とそれに基づく改良を実施した。

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) Dai Simazaki, Takuya Marubayashi, Takahiro Yokoi, Akie Watanabe, Shigeyuki Nomoto, Manabu Ichikawa, Masahiko Kiyozuka, Questionnaire Survey on Installation of Online Water Quality Monitors and Data Utilization for Water Supply Systems in Japan, Journal of Water and Environment Technology, Vol.20, No.1: 21-27, 2022.

2. 学会発表

1) Dai Simazaki, Takuya Marubayashi, Takahiro Yokoi, Akie Watanabe, Shigeyuki Nomoto, Manabu Ichikawa, Masahiko Kiyozuka, Questionnaire Survey on Installation of Online Water Quality Monitors and Data Utilization for Water Supply Systems in Japan, Water and Environment Technology Conference (WET2021)-online 11 Aug 2021, Session 2A 2-b.

2) 横井 貴大, 丸林 拓也, 市川 学, 清塚 雅彦, 島崎 大, 自動水質監視装置の利活用の実態と今後の可能性, 日本水道協会令和三年度全国会議(水道研

究発表会) オンライン開催, 2022/2/1-
2022/2/28.

3) 山村 寛, 石井 崇晃, 小野 一樹, 市
川 学, 清塚 雅彦, 長短期記憶ネット
ワークによる給配水系統における残留
塩素濃度低減量の予測. 環境工学フォー
ラム, 環境工学研究論文集, 77 巻
7 号 p. III_293-III_301, 11 月,
2021 年.

4) Yuta Kozuka, Zhou Lu, Tsukuru
Masuda, Shintaro Hara, Toshihiro
Kasama, Ryo Miyake, Norifumi Isu,
and Madoka Takai, “EVALUATION OF
BACTERIAL ADHESION STRENGTH ON
ANTIFOULING COPOLYMER FILMS BY
USING MICROFLUIDIC SHEAR DEVICES” ,
Proceedings of MicroTAS 2021, DOI;
978-1-7334190-3-1/μTAS2021

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（ヒアリング）

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

令和2年度は31事業体にアンケート調査を行い、自動監視装置による水質管理の実態把握を行った。そこで本年度は追加調査として、測定データの活用方法や今後の展望等を把握すべく、アンケートを実施した事業体の中から9事業体と自動監視装置を製造する企業8社に対しヒアリングを実施した。その結果、自動監視装置が浄水処理の指標等として重要な役割を果たしているとともに、十分な実用性を有していることが明らかになった。一方、官と民とでデータ活用の考え方にギャップがあることが分かった。そのため今後は、水道の基盤強化に向けて、水道事業体はデータの公開や産官学の共同研究への協力を進め、企業は装置の更なる性能向上や水質予測技術の開発を進めることが重要だと考えられた。

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体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。令和2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、全国の水道事業体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した。そこで令和3年度は、①自動監視装置製造企業へのヒアリングを

行うことで、企業から見た日本の水質管理の現状や将来の展望を整理すること、②水道事業体で自動監視装置をどのように役立てているのか追加ヒアリングを行うことで、自動監視装置の重要性の把握や得られた情報の活用方法及びその展望を整理することを目的とした。

B. 研究方法

(1) 企業ヒアリング調査

自動監視装置を製造する企業8社（A社～H社）に対して、作成したアンケート票を事前送付し、対面式を基本としてヒアリング調査を行った。

このヒアリングでは、企業側からの視点での、自動監視装置による連続測定の実施状況や今後の展望、自動監視装置により得られた連続水質データの利活用方法について

て調査した。

アンケート票に記載した質問の概要は以下のとおりである。

- ・自動監視装置を導入するときや自動監視装置のメンテナンスする際に、事業者からどのような質問が来るのか。
- ・事業者アンケートで重要とわかった「コスト」「メンテナンス性」「装置の大きさ」について、企業としてはどれが一番の課題と考えているか。
- ・自社の装置で測定された水質データの活用方法について何か考えていることがあるか。
- ・水道の基盤強化に向けて企業として考えていることがあるか。

(2) 水道事業者ヒアリング調査

令和2年度にアンケート調査を実施した32事業者のうち、9事業者に対し追加となるヒアリング調査をWEB又は対面式で実施した。この9事業者は、他の事業者では連続測定していない水質を測定していると回答のあった事業者や、他の事業者で連続測定を実施している水質項目を連続測定したいと考えている事業者から抽出した。

このヒアリングでは、個々のアンケート結果に対して、水質の管理値及び管理値を超えた場合の対応方法、なぜその水質を連続測定しているのか、装置に関して今後期待することなどを調査した。

C. 調査結果

(1) 企業ヒアリング調査

1) 事業者からの問い合わせ事項

表1に自動監視装置の導入時における事業者からの問い合わせ事項を整理した。導

入時は、イニシャルコストやランニングコストはどのくらいか、測定対象水質をどのくらいの精度で測定できるか、納入実績はどのくらいあるか、通信条件はどうか、装置のメンテナンス性はどうか、装置の大きさはどのくらいかという問い合わせが来ることがわかった。そのうち、G社を除く全ての企業から装置のメンテナンス性についての問合せが来るとの回答を得た。

一方で、既に自動監視装置を導入している場合や装置の更新時においては、既に使用した実績やコストがどのくらい必要だったか等の情報を事業者で持っていると考えられるため、コストや納入実績、計器の大きさについて問い合わせは少ないという回答であった。

表1 導入時における事業者からの問い合わせ事項

	導入コスト	維持管理コスト	測定対象水質	納入実績	通信条件	メンテナンス性	装置の大きさ	その他
A			○	○		○		
B	○	○	○	○		○		
C						○		
D	○	○			○	○		
E	○	○			○	○	○	
F						○		○
G			○	○				
H			○			○		○

表2に維持管理時における事業者からの問い合わせ事項を整理した。多くの企業に保守点検の方法やその頻度について問い合わせがあることがわかった。これらの企業では、装置の維持管理マニュアルを準備している企業が多かった。また、問題が発生した際に現場に駆け付けることのできる体制を整える、企業の教育を充実させる、交換す

る部品の予備を常に在庫しておくなど、緊急時の体制を充実させている企業が多かった。一方、装置部品のユニット化を進めた企業では、装置導入後のメンテナンスの問い合わせはほぼないとの回答であった。

表2 維持管理時における事業体からの問い合わせ事項

	保守点検 方法頻度	緊急時体 制と連絡	保守費用	部品消耗 品の有無
A	○	○	○	
B	○	○		○
C	○		○	
D	○	○		
E				○
F				○
G	○	○	○	
H	○			

2) コスト・維持管理性・装置の大きさ

表3に「コスト」と「維持管理性」と「装置の大きさ」ではどれが重要であるかヒアリングした結果を整理した。コストが最も重要で、次いで維持管理性が重要であるという回答が多かった。また、維持管理性を向上させるために設備のユニット化を進めるとコストが上昇するなど、コストと維持管理性のトレードオフの関係に対して気を遣っている状況が明らかとなった。大きさについては、給配水末端など設置スペースが限られるところでは重要になるのではという回答があったが、課題であると回答した企業はあまりなかった。

表3 重要な課題と考えるもの

	コスト	維持管理性	大きさ
A	重要課題	重要課題	重要課題
B	最重要課題	重要課題	少し重要
C	—	最重要課題	—
D	最重要課題	重要課題	—
E	重要課題	最重要課題	—
F	重要課題	重要課題	少し重要
G	最重要課題	—	—
H	最重要課題	—	—

— は言及なし

3) 水質データの利活用方法

水質データの利活用方法については、ビッグデータ解析を実施することで配水傾向を予兆するシステムを持っている企業や、測定データから装置の状態を判断することに使えないかと考えている企業があった。その一方で、測定された水質データは事業体のものであるため、装置を導入しているからといって、企業単独で水質データを用いて解析するという事はなかった。

また、企業の研究をベースとしてデータをどのように分析するか、どのように利活用するかが事業体でもわかるよう HP にて公表している企業もあった。

水質データが公表され自由に使えるとした場合、運転制御の指標として利用する、運転支援のために利用する、水質異常の自動検知に利用するという回答があった。また、現状では人が水質データを確認したのち、手動で処理を変更している事業体が多いことから、研究が進むことさらに多くの装置を自動で処理を制御できるのではないかと意見もあった。

4) 事業体からの要望

事業体から装置に関してくる要望は、安くして欲しい、メンテナンスを容易にして欲しいという既に明らかとなっている課題に加え、水質の測定下限値をもっと下げて欲しい、流入水の自動モニタリングとそのモニタリングデータを水処理に反映させるシステムを作って欲しい、装置のサブスクリプション化ができないか考えて欲しい、浄水処理困難物質の測定ができないかといったものがあった。一方で、事業体からの要望は特にないという回答が複数企業であった。

5) 今後の展望

水道の基盤強化に向けて企業として考えていることとしては、蛍光波長を利用して油分・藻類・濁度などを測定し将来予測に利用する、水処理を最適化するために水質データを使う、専用水道や小規模水道に最適化した装置を考えている、ろ過水濁度を上昇させる水中の粒子を励起蛍光波長にて選択的に測定する技術の実装を目指している、データは予知保全に使うことで維持管理の効率化を図る、測定精度を保ちながら安価な装置を作る、情報のデジタル化を進める手助けをするなどが挙げられた。一方、現状としては具体的に考えている事はない、と回答した企業もあった。

その他、企業として事業体に対し、コロナ禍となったことにより直接話せる機会が減ったため、何かしらの形で議論する時間を設けたい、実証実験を一緒に行うためのフィールドがあれば提供して欲しいなどの要望も挙げられた。

(2) 事業体ヒアリング調査

1) 特定の水質項目について

他の事業体では連続測定していない、もしくは、連続測定している事業体が少なかった水質として、ピコプランクトン、フッ素化合物、フェノール、酸化還元電位、3次元蛍光励起波長、カビ臭物質を対象とした。

ピコプランクトンについては、連続監視により、前々塩素や前塩素、後 PAC など迅速に対応できるようになったことに加え、人への負荷が低減されたという回答があった。また、メンテナンスも特段難しいことを行っていないとのことだった。さらに、非生物粒子や生物粒子など様々なデータが取れることから、今後の研究開発にも利用できる可能性が示唆された。

フッ素化合物については、火山の噴火により高くなり、通常の処理では処理できないため連続測定していた。通常時は測定下限値未満のため値が 0 を示すが、年に数回は噴火の影響を受けるため取水停止している状況であった。

フェノールについては、水質基準の一つであり流入したら問題となるため連続測定しているとのことだった。現状では流入した実例がないことも明らかとなった。

酸化還元電位については、導入経緯が資料に残っておらず、何を目的として導入したのかは不明であったが、おそらくダム水源の水質変動をいち早く検知し、浄水処理を支障なく行うことを目的としていたと考えられるとのことだった。

3次元蛍光励起については、消毒副生成物発生量を推定できないかという研究段階であり、まだ実浄水場での運用はしていないとのことだった。

カビ臭物質については、連続測定により現在のような人による測定の手間を省けたとの回答があった。その一方で、装置のメンテナンス回数が多く必要となったとの回答も得られた。

2) その他一般的な水質項目について

その他の連続測定している水質の利用については、原水、処理工程水、給配水のそれぞれで様々な使われ方がされていることが明らかとなった。

原水での水質測定では、水温が4℃以下となることで凝集しにくくなるため攪拌強度を変えて対応する、高濁度発生時は凝集剤注入量を増価させたり取水量を減らしたりして対応する、大雨などでアルカリ度が低下したときはアルカリ剤を追加し対応する、植物プランクトンなどにより原水 pH が上昇した場合には酸剤を注入して pH を下げた後から処理を行う、電気伝導度やアンモニア態窒素の連続測定により粉末活性炭を注入して対応するか判断する、油分や油膜を検知した場合は粉末活性炭処理を行う、などに活用されていた。

処理工程水での水質測定では、水温によってフロックの出来が変わるので測定している、pH 調整がうまくできていないとろ過砂からマンガンが溶出し色度が上昇することがあるので測定している、紫外線吸光度を測定することで有機物がどのくらい処理できているか判断する、DO の低下は活性炭吸着池の生物活性に影響するので測定している、油事故やアンモニア態窒素が流入した場合は残留オゾン濃度を増やし全てオゾンと反応させて対応する、微粒子数を測定することによりろ過砂や活性炭の交換の判

断を行っている、などに活用されていた。

給配水での水質測定では、給配水時の水温によって残留塩素濃度の消費量が変わってくるということがわかっているため測定している、消火栓の操作や配管工事等で給水末端の濁度や色度が高くなることがあるので測定している、滞留時間が長いところでは pH が上昇することがあるので捨水の判断のために測定している、確実な残留塩素濃度確保のため連続測定している、などの回答が得られた。

3) 今後の期待

装置に関して今後期待することとしては、自動監視装置の導入によりどれだけ人の手間を減らすことができるかが重要、装置の導入維持管理コストが委託よりも安く抑えることができればよいと思う、装置によっては異常を検知してからの再度使用できるようにするまでのメンテナンスに手間がかかることが課題、自動監視装置と手分析との値の乖離が大きくなることがあるので精度を上げて欲しい、などの回答が得られた。

D. 考察

(1)自動監視装置の重要性について

企業ヒアリング及び事業体ヒアリングの回答結果を確認すると、残留塩素濃度や濁度といった水質項目は、浄水処理の指標として活用しているとの回答があり、これは、アンケート調査で運転管理の重要度大と回答があった項目と一致していた。また、多くの装置は、円滑に運用できており、部品交換頻度などは増えるものの、無人施設でも運用できている状況であることが明らかとなった。以上の結果から、自動監視装置は水質

管理において重要な役割を果たしているとともに、十分な実用性を有していることが分かった。そのため、原水水質の急変や職員減少といった課題を抱える水道業界においては、水質管理の高度化や省力化に向けて、積極的な自動監視装置の活用が望まれる。

ただし、原水系の装置ではメンテナンス性、給配水系の装置ではコストが課題としてあげられていた。また、かび臭やバイオセンサー等、特定の装置に関しても、メンテナンス性や精度に課題があった。そのため、自動監視装置の更なる普及を進めるには、装置自体のより一層の性能向上が求められる。

また、装置の性能向上のためには、企業だけでなく、装置を実際に運用している事業者の意見や、場合によっては共同研究も不可欠となると考えられるため、企業と事業者との間で今まで以上に意見交換の場が必要となるものと考えられた。

(2)連続測定データの利活用

事業者では連続測定を実施しているが、そのデータを浄水処理に活用できていないとの回答も散見された。測定場所とのタイムラグが原因との回答もあったため、連続測定を効率的に実施するには、装置の設置場所も重要であると考えられた。

また、浄水処理の指標としている場合でも、人の判断によるとの回答が多くなっていった。そのため今後は、運転管理の効率化に向け、AI等による水質予測技術の開発等が望まれると考えられた。

一方で、企業においては、データを解析して機器の自動制御や配水量の予測等に使用したいと考えている会社もあった。しかし、水質データが得られず、なかなか技術開発が

進みにくい状況も明らかとなった。これは令和2年度に実施したアンケートで、大学や研究機関に対し水質データを提供できると回答のあった事業者が11事業者(11/32=34%)であったこともあり、企業へのデータ提供となるとさらにデータ提供しにくい状況と一致している。AI等による水質予測技術の開発等のためには、水道事業者の抱えるビックデータが必要不可欠となるため、行政データをオープンデータ化する流れが水道事業でも起これば、今後の発展につながるだろう。

表4 大学や研究機関に対し水質データの提供が可能かどうか (R2年度結果)

回答	事業者数
可能	11
要相談	11
不可	6
未回答	4

(3)装置の小型化

事業者には給水末端で人の手による毎日検査を安価で小さな機器で代用したいとの意見もあった。企業では装置の小型化はそこまで重要視されていない状況であり、事業者と企業の間でのギャップがみられた。今後は、水道事業の現場での省力化に向け、安価な小型装置の技術開発が求められると考えられるが、更なるニーズ調査等も必要だろう。

(4) 事業者と企業のギャップ

(1)~(3)までの考察をもとに、事業者と企業のギャップを表5にまとめた。自動監視装置の重要性については、事業者及び企業とも一致していたが、データ活用・今後の

展望・装置で重要なこと、といった点ではギャップがみられた。

事業体と企業とでは他にも、事業や責任の対象が異なっている。事業の対象としては、事業体は基本的に水道事業に焦点を絞っているが、企業はより幅広い分野で事業展開している。また、責任の対象としては、事業体は給水対象となる市民に対して責任を持つが、企業は購入した事業体に対して責任を持つ。このような、事業や責任の対象といった違いが、事業体と企業とのギャップにつながったと考えられた。

表 5 事業体と企業とのギャップ

<p>データ活用</p> <p>【事業体】全てを活用できているとはい切れず、データ活用の余地を持っている</p> <p>【企業】データを活用してより良い製品やシステムを作りたい気持ちがあるが、使えるデータがない</p>
<p>今後の展望・期待</p> <p>【事業体】省コスト化、省メンテナンス化</p> <p>【企業】装置の更なる性能向上、測定データをもとにしたシステム開発、事業体との積極的な意見交換</p>
<p>装置で重要なこと</p> <p>【事業体】コスト、メンテナンス性、装置の大きさ</p> <p>【企業】コスト、メンテナンス性</p>

E. 結論

自動監視装置を製造する企業 8 社に対しヒアリングを行うことで、企業から見た現状の水質管理や将来の展望を整理した。ま

た令和 2 年度にアンケート調査を行った 9 水道事業体に対し追加ヒアリングを実施し、自動監視装置の重要性の把握や得られた情報の活用方法及びその展望を整理した。

その結果、自動監視装置が浄水処理の指標等として水質管理において重要な役割を果たしているとともに、無人施設でも円滑な運用が可能である等、十分な実用性を有していることが明らかとなった。

また、企業はデータ活用を望んでいるがデータ入手が難しく、逆に事業体では膨大なデータ全て活用しきれていない現状が明らかとなった。このように、データ活用の考え方にギャップがあることが分かったため、今後は官と民での積極的な意見交換等が必要だと考えられた。

更には、今後の水道の基盤強化のため、水道事業体はデータの公開や産官学の共同研究への協力を進め、企業は装置のより一層の性能向上や水質予測技術の開発を進めることが重要となるだろう。

F. 研究発表

1. 論文発表

1) Dai Simazaki, Takuya Marubayashi, Takahiro Yokoi, Akie Watanabe, Shigeyuki Nomoto, Manabu Ichikawa, Masahiko Kiyozuka, Questionnaire Survey on Installation of Online Water Quality Monitors and Data Utilization for Water Supply Systems in Japan, Journal of Water and Environment Technology, Vol.20, No.1: 21–27, 2022.

2. 学会発表

- 1) Dai Simazaki, Takuya Marubayashi, Takahiro Yokoi, Akie Watanabe, Shigeyuki Nomoto, Manabu Ichikawa, Masahiko Kiyozuka, Questionnaire Survey on Installation of Online Water Quality Monitors and Data Utilization for Water Supply Systems in Japan, Water and Environment Technology Conference (WET2021)-online 11 Aug 2021, Session 2A 2-b.
- 2) 横井 貴大, 丸林 拓也, 市川 学, 清塚 雅彦, 島崎 大, 自動水質監視装置の利活用

の実態と今後の可能性, 日本水道協会令和三年度全国会議(水道研究発表会) オンライン開催, 2022/2/1-2022/2/28.

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

国内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等測定データ利活用、新規水質センサー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。従来の培養法による指標微生物に加えて、迅速に細菌を検出可能である酵素活性やフローサイトメトリーといった測定手法の適用が実施されていた。人工衛星によるセンシングならびに画像解析技術により、広域における水源水質の把握や漏水検出等が、従来よりも大幅に期間を短縮し省コストかつ省力的で実現できる可能性があり、大いに注目すべきと考えられた。深層学習技術を用いた水道事業における各測定データの利活用により、浄水場の運転管理や水質管理のみならず水道事業に係る広汎な業務を支援できると考えられた。各種新規水質センサーの研究開発が進展しているものの、水道事業者のニーズが高いと想定される消毒副生成物の電気化学センサーについては、対象物質や認識物質の長期保持など依然として技術的な課題が大きい状況にあった。

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、海外および国内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等測定データ利活用、③新規水質センサーの開発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

(1)海外における既存・将来技術の文献調査
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 水道、水質：
{drinking OR potable} AND water AND quality
○指標 自動・遠隔・連続・オンライン測定：
indicator AND {automated OR remote OR online} AND monitoring
○機械学習
{machine OR deep} AND learning
○自動・遠隔・オンラインセンサー 開発

{automated OR remote OR online} AND sensor AND development

ヒットした 194 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文献を除外し、34 文献を選定した。

(2)国内における既存・将来技術の文献調査

②水質変動の早期予測等測定データ利活用に関しては、国内の研究開発や実用事例等も情報収集の対象に加えた。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 (CiNii Articles, CiNii Books, J-STAGE, NDL Online, Google Scholar) を用い、下記キーワードにて文献検索を実施した。

○共通：

{水道 OR 水質 OR 浄水}

○機械学習・データ利活用：

{機械学習 OR 深層学習 OR ディープラーニング OR AI OR ニューラルネットワーク}

当研究の趣旨に該当しない文献を除外し、31 文献を選定した。

C. 調査結果

(1)連続測定可能な(代替)水質指標および迅速モニタリング技術

i)微生物指標

従来の大腸菌や一般細菌、従属栄養細菌といった微生物指標は、糞便汚染や細菌現存量の指標として意義があるものの、いずれも培養法に依存しているため、測定に時間を要する、コロニー生成能を有する細菌のみを評価している等の課題がある。

大部分の大腸菌が特異的に保有する、βグルクロニダーゼ(GLCU)活性を指標として、大腸菌の迅速測定法の開発を検討した

事例が報じられている¹⁻³⁾。この中で、Burnetらは GLCU 活性を指標とした市販の大腸菌連続モニタリング装置と自動採水装置を組み合わせた。カナダ国ケベック州の水道水源域を対象に、GLCU 活性が上昇した際に自動的に採水を行ったところ、大腸菌、バクテロイデス 3 種、クリプトスポリジウムおよびジアルジアが同時かつ大幅に増加することを確認した。同手法は、突発的な水源の糞便汚染のデータを効率的に収集する際に有用であるとした³⁾。

一方、オンライン型フローサイトメトリーを用いた、全菌数のリアルタイム連続測定手法の適用も試みられている⁴⁻⁵⁾。Adomatらは、複数のバンクフィルトレーションの現場や限外膜ろ過プラントを対象として、フローサイトメトリーによる浄水中の細菌の計数値を他の酵素的検出法(ATP 法、ALP-TEA 法)による評価値と比較し、差異について考察を行った。特に限外膜ろ過プラントでは、細菌数の日中変動が大きいことが判明し、細菌モニタリングのあり方についてさらなる検討を要するとした⁴⁾。Favereらは、実規模の配水管網内を対象としてフローサイトメトリーによる測定を行い、Bray-Curtis 指数による類似度評価を組み合わせることで、配水管網内の異常検知に適用できる可能性を示した⁵⁾。

人工衛星の画像を用いた広範囲の水源水域モニタリングの試みも報告されている。Keithらは、Landsat-8 Operational Land Imager(OLI)センサーを用いて、藻類増殖の指標としてクロロフィル a 濃度の推定を試行した。OLI センサーの空間分解能は 30m であった。OLI のスペクトルバンド 1,3,5 を組み合わせた 3 バンドの反射率補正アルゴ

リズムを用いたモデル式により、湖沼のクロロフィル a 濃度を正確に推定できた (R2 値は 0.66、二乗平均誤差値 8.9 $\mu\text{g/L}$)。米国内の 2 水源 (ノースカロライナ州 Jordan 湖、ロードアイランド州貯水池) を対象として、クロロフィル a 濃度の空間変動および時間変動を予測可能とした⁶⁾。

他に、Pardo-Iguzquiza らは、開発途上国の遠隔地など定期的な採水が困難である地域等を想定し、ネットワーク最適化により採水箇所の適正配置を行う手法を提案した⁷⁾。Goffin らは、下水処理水中に含まれる溶存有機物の常時監視を目的に、パリ市内の EEM-PARAFAC 解析手法の適用を検討、溶存態 BOD5 の予測が可能であるとした⁸⁾。

(2)水質変動の早期予測等測定データ利活用 i)原水

浄水処理において支障となるなど、留意すべき水質項目を対象に、水道原水中の水質予測を行った研究事例が報じられている。

海外においては、水源域における藍藻類および関連水質指標の予測^{9,10)}や、原水中の濁度予測¹¹⁻¹³⁾が多く見受けられた。前者として、Gandola らは顕微鏡画像から藍藻毒産生種を含む各藍藻類を形態等の各パラメータから自動判定定量するアルゴリズムを開発し、人手による従来の判定手法と比較して迅速に定量可能とした⁹⁾。Lee らは、韓国の 4 主要河川における藻類発生予測に回帰分析および複数の深層学習モデル (MLP: 多層パーセプトロン, RNN: リカレントニューラルネットワーク, LSTM: 長期短期記憶) を適用し比較した。各河川の貯水池における 1 週間の水質・水位・水量データを基に、翌週のクロロフィル a 濃度を予測し、RSME (root

mean square error) により実データと比較、予測精度を評価したところ、LSTM モデルはクロロフィル a 濃度の予測精度が最も高く、実際の濃度変動に追従できていた¹⁰⁾。後者として、Zhang らはランダムフォレスト (RF) モデルを用い、水道水源である中国・太湖の濁度予測を行った。風速、風向、気温、降雨を入力データとして、3 年間の毎時測定データを入手し、四分位値棄却等のデータ処理を施した。パラメータ最適化の後、予測値と実測値の相関係数は 0.7 以上であり、予測値の 55% 以上が実測値と比較して 20% 以内の誤差範囲となった¹³⁾。その他、流域の土地利用形態が原水中の病原体の存在に与える影響評価への機械学習の適用¹⁴⁾や、地下水の水質評価への適用例¹⁵⁾があった。

国内においても、同様に水道の水質管理において重要となる水質項目の予測事例が報じられていた。石井らは浄水場が保有する原水水質データを活用し、FFANN (Feed Forward Artificial Neural Network) および LSTM (Long Short-term Memory) によりカビ臭物質濃度を短期予測するモデルを開発し、3 時間後のカビ臭物質濃度の短期予測を可能とした¹⁶⁾。神部らは、多摩川を対象としてニューラルネットワークを用いた河川の上流・中流・下流を示す水質パラメータの抽出を行った^{17,18)}。微生物指標に関して、小林らはサポートベクターマシン (SVM) による河川水中大腸菌濃度のリアルタイム予測の実現性に関する計算機実験¹⁹⁾、大石らは階層ベイズ推定法等による環境水中のウイルス自然死滅モデルの構築²⁰⁾を行った。また、水道水源ではないものの、富栄養湖の溶存酸素濃度予測²¹⁾、沿岸域の赤潮発生予測²²⁾、港湾部の COD 予測²³⁾の事例があっ

た。一方、水害対策等の観点から、河川水位予測手法²⁴⁻²⁶⁾や、流域水収支モデルのパラメータ最適化²⁷⁾、高濁度発生時の流況画像分類に基づく河川モニタリングへの適用事例²⁸⁾が報告されていた。

ii) 工程水

浄水処理の各工程における処理条件の最適化や自動化について、機械学習の適用等による検討が行われていた。

海外においては、Ratnaweeraらはオンライン水質測定および機械学習等を用いた凝集過程の自動制御手法に関するレビューを行った²⁹⁾。これまでに検討された手法は、①原水データを用いたフィードフォワード制御、②処理工程水または浄水データを用いたフィードバック制御、③多変量解析、人工ニューラルネットワークモデル(ANN)、ファジー理論モデル等を用いた凝集剤注入率決定であった。また、よく用いられる水質データは流量、pH、濁度、懸濁物質、UV吸光度等であった。凝集過程の安定性向上や、凝集剤使用量の低減による薬品・汚泥処理コスト縮減が期待できるとした。Uptonらは、機械学習の一つである分類回帰木(Classification and regression tree approach: CART)アルゴリズムを用い、実際の浄水場におけるろ過池の運用データやろ過水濁度データ等に基づいて、ろ過水濁度0.1NTUを超過するろ過性能低下の因子および関連する条件をモデル化した³⁰⁾。浄水処理における水質制御に関して、消毒副生成物の生成プロセスのモデル化³¹⁾や、前駆物質の蛍光スペクトル解析への適用³²⁾が行われていた。さらには、高度処理による微量化学物質の制御に関して、オゾン処理における低減予

測³³⁾や粒状活性炭ろ過における除去効率の構造活性に基づく予測³⁴⁾が試みられていた。Liらは、浄水処理工程を対象とした人工知能および機械学習技術の適用に関するレビューにおいて今後の課題として、対象とする汚染物質をスクリーニングし特定するための効果的な特性評価データの取得、ならびに、浄水場全体の管理を支援するためのマクロモデルおよび判断スキームの確立を挙げた³⁵⁾。

一方、国内では、凝集沈殿プロセスの制御に関する検討が多く実施されていた。山村ら³⁶⁾、鈴木ら³⁷⁾、林ら³⁸⁾はいずれも凝集ブロック画像の機械学習に注目し、山村らおよび鈴木らは畳み込みニューラルネットワーク解析による沈降性予測モデルならびに凝集後濁度予測モデルの構築を、林らは凝集の自動制御をそれぞれ試みた。陰山らは、膜ろ過の前処理として凝集剤の最適注入率制御を目的に、ニューラルネットワークを用いて膜ろ過抵抗変化のモデルを開発し、逆洗直後のろ過抵抗の変化を良好に推定可能とした³⁹⁾。平林らは、浄水処理の各薬品注入プロセスを対象に、ランダムフォレストモデルを用いた注入率予測をプラント規模で実証した⁴⁰⁾。その他、AIを用いた魚による水質監視支援システムの構築⁴¹⁾、ハロ酢酸生成能の機械学習モデルの検討が報告されていた。

iii) 送配水

海外においては、送配水過程の水質変化予測や水質異常検知に関する検討が多く報告されていた。前者として、Mohammedら⁴³⁾は、ベイジアンネットワークモデルを用い配水管内の全菌数と各水質データ間の関

係や気象データへの依存性を評価したところ、気温、夏季、降水量、残留塩素、水温、アルカリ度、電気伝導度が全菌数と強い相関を示した。また、全菌数を予測する深層学習(LSTM)モデルを構築、配水管内の水質データに加えて気象データを組み込むことで予測精度は向上した。水道水質項目および気象項目のオンラインセンサーと深層学習モデルを組み合わせることで、配水過程の微生物学的水質の管理に資すると結論した。Speight らは、機械学習技術のうち自己組織化マップ (self-organizing maps:SOM) を用いて英国 3 水道会社の全国規模データセットのマイニングを行い、鉄溶出による色度上昇の主たるメカニズム (残塩濃度低下、硝化、無ライニング鉄管の腐食) を特定した⁴⁴⁾。また、Mounce らは、配水過程における鉄による着色障害に注目し、ランダム アンダーサンプリング ブースティング (RUSBoost)の適用により着色障害の発生リスクを DMA 単位で評価した⁴⁵⁾。後者として、Arnon らはリアルタイム紫外吸光光度分析と機械学習を組み合わせた早期汚染検出アルゴリズムを開発し、低濃度の汚染を極めて低い擬陽性率にて検出できたとした⁴⁶⁾。Xu らは、飲用可能再生水のクロスコネクションのリアルタイム検出を目的に、既往の水質センサーおよび機械学習を組み合わせた検出システムを構築した⁴⁷⁾。Dogo らは、送配水過程を対象とした機械学習の適用に関するレビュー文献において、これまでに古典的な機械学習手法を用いて数多くの研究が報告されており、近年の深層学習技術や IoT 等センサー技術、ビッグデータ解析技術の進展により新たな展開を迎えていること、一方、深層学習モデルの予測精度

はネットワーク深度や教師データの量に大きく依存することを指摘した⁴⁸⁾。また、Ngouna らは欠損が多いデータセットから水質汚染事例を検出する手法について検討を行い、工業界において実績がある Prognostics and Health Management (PHM)手法が適用可能であるとした⁴⁹⁾。

一方、国内においては、水道の管路維持管理や水質管理、といった実務に則した様々な実践的な検討が見られた。例として、配水管網における残留塩素濃度の推定モデルの構築^{50,51)}や、漏水監視^{52,53)}、水圧管理⁵⁴⁾、バルブ異常検知⁵⁵⁾、水需要予測⁵⁶⁾や流量予測⁵⁷⁾であった。また、送水系運転支援システムの構築を目的とした運転ノウハウの抽出⁵⁸⁾、埋設管の位置推定⁵⁹⁾や地震被害位置の推定⁶⁰⁾など、今後の技術者不足をふまえた運用管理の省力化や自動化に関する検討も見受けられた。

(3)新規水質センサーの開発に関する最新動向および課題点

i)微生物

Simoes ら⁶¹⁾は、独自のオンサイト型連続蛍光光度センサーを開発し、トリプトファン様物質の蛍光検出による、大腸菌群濃度の推定手法を検討した。L-トリプトファン溶液と E.coli 培養液の各蛍光スペクトルを比較し、励起波長 280nm、蛍光波長 330nm と設定してセンサーを作成した。発光部には UV-LED を用いた(高さ 19cm,直径 10cm)。実験室内での L-トリプトファン標準物質を用いた試行では、検出下限濃度は 4.89nM ($\approx 0.1 \mu\text{g/L}$)となった。再現性も良好であった。現場での試行では、大腸菌群との相関性が他の現場型センサー(濁度,pH,電気伝導

度、色度)よりも高かった。水源水域における、微生物汚染の早期警戒システムに適用できると考えられた。Offenbaume ら⁶²⁾は、糞便汚染指標として用いられている大腸菌 *E.coli* ならびに腸球菌を対象とし、現在の監視方法や将来的な課題に関する 150 論文を対象としたレビューを行った。各論文にて採用されていた測定法は、①メンブランろ過法、②培養法、③定性/定量 PCR 法、④ DNA プローブ法、⑤吸光光度法、⑥蛍光光度法 (3 次元蛍光分析法、フローサイトメトリー)、⑦バイオセンサー法 (電気化学法、試験紙法、マイクロラマン分光法)、⑧ ATP 生物発光検出法、⑨酵素活性検出法、⑩自動現場測定バイオセンサー法、⑪可搬型バイオセンサー法であった。この中で、各バイオセンサー法やフローサイトメトリーは 1 時間以内で測定結果が得られるとされた。一方、各培養法は 24 時間程度を要した。いずれの手法も、水道原水に含まれる夾雑物による検出感度の低下や、他の細菌による検出特異性の低下、採水や測定に係る労力が課題であった。また、Hansen らはマイクロ流体デバイス型の ATP 常時測定装置を開発し、2.5pg/mL の検出下限値を達成した⁶³⁾。

ii) フッ素

Ameer ら⁶⁴⁾は、水中のフッ素 (フッ化物) イオンを対象とした、各測定法や将来的な課題等に関するレビューを行った。現在の主要なフッ素イオン測定法は、①分光光度法、②イオンクロマトグラフ法、③滴定法、④比色法、⑤電気化学法 (イオン電極法) などであるものの、いずれも、正確性や安定性等の面からフッ素イオンの常時オンライン測定には適していないとした。一方、研究開発の段階ではあるものの、化学センサー

(chemical sensor) の進展によりフッ素イオンの高感度かつ特異的な迅速測定が可能になるとした。変換器 (transducer) の種別により、①質量感受性 (mass sensitive) センサー、②電気化学 (electrochemical) センサー、③光学 (optical) センサーに大別され、いずれも WHO 飲料水水質ガイドラインの指標値である 1.5mg/L 付近ないしはそれ以下の濃度のフッ素イオンが検出可能であるとした。一例として、酸化グラフェンとアルミニウムを交互嵌合した電極により、0.1-10ppm の範囲の水中フッ素イオンが検出できるとの事例があった。

iii) 消毒副生成物

Zhang ら⁶⁵⁾は、電気化学センサーを用いた水中の消毒副生成物 (DBPs) の検出法に関する過去 10 年間の研究動向についてレビューを行った。DBPs の認識については、酸化還元たんぱく質 (ヘモグロビン、ミオグロビン等)、ポルフィリン含有金属錯体、酵素類 (西洋ワサビペルオキシダーゼ等)、分子インプリンティングポリマーが使用されており、対象とする DBP はほとんどがトリクロロ酢酸 (TCA) のみであった。電極の作成については、金属類を使用した例は限られており、多くの場合グラファイト等の炭素類が使用されていた。特に、電子移動速度の面で有利であることから、カーボンイオン性電極 (carbon ionic liquid electrode) が多用されていた。シグナル出力については、サイクリックボルタンメトリーの使用事例が多かった。その他に、差分パルスボルタンメトリー、矩形波ボルタンメトリー、アンペロメトリー等が使用されていた。今後の研究開発における課題として、トリクロロ酢酸以外の DBPs への適用 (NDMA 等)、複数の

DBPs の同時測定、DBPs 認識たんぱく質や酵素類の長期的な保持、応答時間の明確化と短縮が挙げられた。

D. 考察

(1)連続測定可能な(代替)水質指標および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、迅速に検出可能である測定手法の開発と適用が行われていた。水道水源の糞便汚染指標として、ほとんどの大腸菌に固有である β -D-グルクロニダーゼ (GLCU) 活性を連続測定し、自動採水に適用する事例が見られた。クリプトスポリジウム等の病原体との相関性が高く、汚染イベント発生時の採水が最適化できると考えられた。

浄水や配水過程を対象としたオンライン型フローサイトメトリーの適用により、水源変更や季節変化に伴う細菌の再増殖等、衛生状況の変化が把握できると考えられた。

人工衛星による多波長スペクトル画像の活用を通じて、広範囲の水源水域における藻類等の増殖のモニタリングが容易になると考えられた。

(2)水質変動の早期予測等測定データ利活用

水道水源・浄水処理工程・配水過程においてオンライン測定データの利活用による多様な水質予測や自動制御が試みられており、実用化・商品化されている技術も一部に見受けられた。

データセットの質や量、データ前処理に依存するものの、深層学習モデルによる予測精度は全般に高く評価されており、中でも短期長期記憶 (LSTM) モデルの予測精度は優れていた。

浄水場の運転管理や水質管理に加えて、漏水管理・水圧管理、水需要予測、バルブの異常検知など、水道事業に係る広汎な業務を支援できると考えられる。

(3)新規水質センサーの開発に関する最新動向および課題点

大腸菌や腸球菌など糞便汚染指標として規制される細菌類のオンライン連続測定に対するニーズは高い。既往のセンサー技術のうちトリプトファン様物質を対象とした蛍光検出法やバイオセンサー法の実用化が有力と考えられた。

フッ素イオンは飲料水の安全性において優先度が高く、現在、イオン電極法等により選択的な検出が可能である。一方で、現場での簡易測定を目的とした試験紙等の開発が進められていた。

消毒副生成物のオンライン連続測定を目的とした電気化学センサーの開発が進められているものの、対象物質や認識物質の長期保持など、技術的な課題が大きい状況にあった。

E. 結論

国内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等測定データ利活用、新規水質センサー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。従来の培養法による指標微生物に加えて、迅速に細菌を検出可能である酵素活性やフローサイトメトリーといった測定手法の適用が実施されていた。また、人工衛星等によるセンシングならびに画像解析技術により、広域における水源水質の把握や漏水検出等が、従来よりも大

幅に期間を短縮し、省コストかつ省力的で実現できる可能性があり、大いに注目すべきと考えられた。深層学習技術を用いた水道事業における各測定データの利活用により、浄水場の運転管理や水質管理のみならず水道事業に係る広汎な業務を支援できると考えられた。各種新規水質センサーの研究開発が進展しているものの、水道事業者のニーズが高いと想定される消毒副生成物の電気化学センサーについては、対象物質や認識物質の長期保持など依然として技術的な課題が大きい状況にあった。

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) Burnet, JB, et al.: Autonomous online measurement of beta-D-glucuronidase activity in surface water: is it suitable for rapid E. coli monitoring?, WATER RESEARCH, 152, 241-250, 2019.
- 2) Ender, A, et al.: Evaluation of beta-D-glucuronidase and particle-size distribution for

microbiological water quality monitoring in Northern Vietnam, SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 580, 996-1006, 2017.

- 3) Burnet, JB, et al.: Automated Targeted Sampling of Waterborne Pathogens and Microbial Source Tracking Markers Using Near-Real Time Monitoring of Microbiological Water Quality, WATER, 13(15), 2069, 2021.
- 4) Adomat, Y, et al.: New Methods for Microbiological Monitoring at Riverbank Filtration Sites, WATER, 12(2), 584, 2000.
- 5) Favere, J, et al.: Online microbial fingerprinting for quality management of drinking water: Full-scale event detection, WATER RESEARCH, 170, 115353, 2020.
- 6) Keith, D, et al.: Monitoring algal blooms in drinking water reservoirs using the Landsat-8 Operational Land Imager, INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING, 39(9), 2818-2846, 2018.
- 7) Pardo-Iguzquiza, E, et al.: A geostatistical protocol to optimize spatial sampling of domestic drinking water supplies in remote environments, STOCHASTIC ENVIRONMENTAL RESEARCH AND RISK ASSESSMENT, 32(8), 2433-2444, 2018.
- 8) Goffin, A, et al.: Towards a better control of the wastewater treatment process: excitation-emission matrix fluorescence spectroscopy of dissolved organic matter as a predictive tool of soluble BOD5 in influents of six Parisian wastewater treatment plants, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH, 25(9), 8765-8776,

- 2018.
- 9) Emanuele G, et al. ACQUA Automated Cyanobacterial Quantification Algorithm for toxic. JOURNAL OF MICROBIOLOGICAL METHODS.124, 2016, p.48-56.
- 10) Lee, S, et al. Improved Prediction of Harmful Algal Blooms in Four Major South Korea Rivers Using Deep Learning Models. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND PUBLIC HEALTH. 15(7), 2018.
- 11) Stevenson M, et al. Advanced turbidity prediction for operational water supply planning. DECISION SUPPORT SYSTEMS. 119, 2019, p.72-84.
- 12) Zounemat-Kermani M, et al. Online sequential extreme learning machine in river water. WATER AND ENVIRONMENT JOURNAL. 35(1), 2021, p.335-348.
- 13) Zhang, YP, et al. Turbidity prediction of lake-type raw water using random forest model based on meteorological data: A case study of Tai lake, China. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. 290, 2021.
- 14) Phiri BJ, et al. Does land use affect pathogen presence in New Zealand drinking water supplies? WATER RESEARCH. 185, 2020.
- 15) Agrawal P, et al. Exploring Artificial Intelligence Techniques for Groundwater Quality Assessment. WATER 13(9), 2021.
- 16) 石井 崇晃ら. ニューラルネットワーク (FFANN) および長期短期記憶 (LSTM) を用いた 2-MIB・ジェオスミン濃度の簡易予測および将来予測モデルの構築. 環境工学研究論文集. 第 58 巻, 77(7), 2021, p. III_303-III_310.
- 17) 神部順子ら. 主成分分析法とニューラルネットワークを用いた河川の上流・中流・下流を示す水質パラメータの抽出 東京多摩川の水質データを用いて. The journal of chemical software. 8(1), 2002, p.27-36.
- 18) 神部順子ら. 欠測データを含むデータの解析が可能な多階層型ニューラルネットワークシミュレーション(CQSAR)法を用いた河川の上流および中・下流を示す水質パラメータの抽出 東京多摩川の水質データ(1994~2002)を用いて. The journal of computer chemistry. 5(4), 2006, p.201-212.
- 19) 小林 美里ら.SVM によるリアルタイム河川水中大腸菌濃度予測.情報処理学会第 78 回全国大会講演論文集. 2016(1), 2016, p.453-454.
- 20) 大石 若菜ら. スパース推定法と階層ベイズ推定法による環境水中ウイルス自然死滅モデルの構築. 環境工学研究論文集 第 57 巻. 76(7), 2020, p.III-449-III-460.
- 21) 齋 幸治ら. フィードバック型ニューラルネットワークモデルによる富栄養湖の溶存酸素のリアルタイム予測. 農業土木学会論文集. 2007(248), 2007, p.177-184.
- 22) 金 相曄ら. 機械学習を用いた沿岸海域における赤潮予測. 水工学論文集第 64 巻. 75(2), 2019, p.781-786.
- 23) 中島 浩薫ら. 機械学習を活用した水質データの予測に関する研究. 富山県環境科学センター年報. 令和 2 年度版(48), 2020, p.95-99.
- 24) 一言 正之ら. 深層学習を用いた河川水位予測手法の開発. 土木学会論文集 B1 (水工学). 72(4), 2016, p.187-192.

- 25) 一言 正之ら. 深層ニューラルネットワークと分布型モデルを組み合わせたハイブリッド河川水位予測手法. 土木学会論文集 B1 (水工学). 73(1), 2017, p.22-33.
- 26) 一言 正之. AI と土木工学の融合による水害対策技術の発展. 土木学会誌. 106(1), 2021, p.36-37.
- 27) 沼尻 治樹. 機械学習による流域水収支モデルのパラメータの自動最適化. 法政大学情報メディア教育研究センター研究報告. 36, 2021, p.42-46.
- 28) 塙 翔一郎ら. Deep Learning 応用による河川水の濁りを対象とした流況画像分類に基づく河川モニタリング. 地球環境研究論文集 第 27 巻. 75(5), 2019, p.297-306.
- 29) Ratnaweera, H, et al. State of the Art of Online Monitoring and Control of the Coagulation Process, WATER, 7(11), 6574-6597, 2015.
- 30) Upton A et al. Rapid gravity filtration operational performance assessment and diagnosis for preventative maintenance from on-line data. CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL. 313, 2017, p.250-260.
- 31) Park J, et al. Modeling trihalomethanes concentrations in water treatment plants using machine learning techniques. DESALINATION AND WATER TREATMENT. 111, 2018, p.125-133.
- 32) Peleato NM, et al. Neural Networks for Dimensionality Reduction of Fluorescence Spectra and Prediction of Drinking Water Disinfection by-Products. Water Research. 136, 2018, p.84-94.
- 33) Cha D, et al. Prediction of Oxidant Exposures and Micropollutant Abatement during Ozonation Using a Machine Learning Method. ENVIRONMENTAL SCIENCE & TECHNOLOGY. 55(1), 2021, p.709-718.
- 34) Kennicutt AR, et al. A quantitative structure activity relationship to predict efficacy of granular activated carbon adsorption to control emerging contaminants. SAR AND QSAR IN ENVIRONMENTAL RESEARCH. 27(8), 2016, p.653-676.
- 35) Li L, et al. Recent advances in artificial intelligence and machine learning for nonlinear relationship analysis and process control in drinking water treatment: A review. CHEMICAL ENGINEERING JOURNAL. 405, 2021.
- 36) 山村 寛ら. 凝集フロック画像の畳み込みニューラルネットワーク解析による沈降性予測モデルの構築. 令和元年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. 2019, p.420-421.
- 37) 鈴木 昭弘ら. 機械学習による浄水プロセスにおける凝集後濁度予測手法. 情報処理学会第 82 回全国大会講演論文集. 2020(1), 2020, p.37-38.
- 38) 林 益啓ら. 機械学習/ディープラーニングを用いたフロック画像による凝集制御の実用可能性. 令和元年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. 2019, p.418-419.
- 39) 陰山 晃治ら. 凝集剤注入率制御を目的としたニューラルネットワークによる膜ろ過抵抗変化のモデル化. 水道協会雑誌. 80(9), 2011, p.9-21.
- 40) 平林 和也ら. AI 技術による薬品注入量の予測誤差の検証. 令和元年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. 2019.
- 41) 柏木 雅彦. AI を用いた魚による浄水場

- 水質監視支援システム. 環境技術. 17(9), 1988, p.593-596.
- 42) 森居 麗ら. 生分解を考慮した人為由来化合物の塩素処理に伴うハロ酢酸生成能の機械学習モデルを用いた推定. 環境衛生工学研究. 35(3), 2021, p.118-120.
- 43) Mohammed H, et al., Modelling the impact of weather parameters on the microbial quality of water in distribution systems. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. 284, 2021.
- 44) Speight VL, et al., Identification of the causes of drinking water discolouration from machine learning analysis of historical datasets. ENVIRONMENTAL SCIENCE-WATER RESEARCH & TECHNOLOGY. 5(4), 2019, p.747-755.
- 45) Mounce SR, et al., Ensemble Decision Tree Models Using RUSBoost for Estimating Risk of Iron Failure in Drinking Water Distribution Systems. WATER RESOURCES MANAGEMENT. 31(5), 2017, p.1575-1589.
- 46) Arnon TA, et al., Water characterization and early contamination detection in highly varying stochastic background water, based on Machine Learning methodology for processing real-time UV-Spectrophotometry. WATER RESEARCH. 155, 2019, p.333-342.
- 47) Xu XY, et al., Real-time detection of portable-reclaimed water pipe cross-connection events by conventional water quality sensors using machine learning methods. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT. 238, 2019, p.201-209.
- 48) Dogo EM, et al., A survey of machine learning methods applied to anomaly detection on drinking-water quality data. URBAN WATER JOURNAL. 16(3), 2019, p.235-248.
- 49) Ngouna RH, et al., A data-driven method for detecting and diagnosing causes of water quality contamination in a dataset with a high rate of missing values. ENGINEERING APPLICATIONS OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE. 95, 2020.
- 50) 稲員 とよの, 小泉 明. 配水管網における残留塩素濃度推定に関するニューラルネットワークの応用. 水道協会雑誌. 71(8), 2002, p.2-10.
- 51) 中岡 祐輔ら. 送配水過程における残留塩素濃度減少の推定モデルに関する一考察. 令和元年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2019, p.836-837.
- 52) 野澤 敦司ら. 漏水常時監視システムの実フィールド検証. 令和元年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2019.
- 53) 南 泳旭ら. リカレンスプロットの活用と畳み込み NN による漏水判別モデルの構築. 土木学会論文集 G 環境システム研究論文集. 第 48 巻, 76(6), 2020, p.273-284.
- 54) 山原 裕之ら. AI 技術を用いた余剰圧力削減のための末端圧力推定. 令和元年度全国会議(水道研究発表会). 2019, p.602-603.
- 55) 野村 泰稔. 深層学習に基づく配管バルブの状態認識・異常検知システムの検討. 土木学会誌. 106(1), 2021, p.32-33.
- 56) 池田 拓哉. 水需要予測への機械学習技術の適用. 令和 2 年度全国会議(水道研究発表会)講演集. 2020.
- 57) 中野 民雄ら. 推定最大値による計画瞬時流量モデルの構築. 日本建築学会環境系論文集. 71(603), 2006, p.71-76.

- 58) 松木 洋ら. K 平均法および PLS 回帰分析を用いた運転ノウハウの抽出による運転支援の為に上水送水系運転システム. 電気学会論文誌 D (産業応用部門誌). 134(3), 2014, p.301-307.
- 59) 鈴木 慎人ら. ディープラーニングを用いた地中レーダ探査による埋設管の位置推定. 土木学会論文集 F3. 77(1), 2021, p.39-48.
- 60) 有田 京平. 上水道管路の地震被害位置の予測に向けた機械学習手法の利用. 令和元年度修士論文要旨集. 2020, p.157-160.
- 61) Simoes, J, et al.: An ultrasensitive fluorimetric sensor for pre-screening of water microbial contamination risk, SPECTROCHIMICA ACTA PART A: MOLECULAR AND BIOMOLECULAR SPECTROSCOPY, 258, 119805, 2021.
- 62) Offenbaume, KL, et al.: Monitoring Approaches for Faecal Indicator Bacteria in Water: Visioning a Remote Real-Time Sensor for E. coli and Enterococci, WATER, 12(9), 2591, 2020.
- 63) Hansen, CB, et al.: Monitoring of drinking water quality using automated ATP quantification, JOURNAL OF MICROBIOLOGICAL METHODS, 165, 105713, 2019.
- 64) Ameer, N, et al.: CHEMICAL SENSORS: PROMISING TOOLS FOR THE ONLINE MONITORING OF FLUORIDES, FLUORIDE, 51(3), 252-266, 2018.
- 65) Zhang, W, et al.: Recent Advances on Electrochemical Sensors for the Detection of Organic Disinfection Byproducts in Water, ACS SENSORS, 4(5), 1138-1150, 2019.

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 関東学院大学理工学部 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の発生が懸念され、それらに対応可能なモニタリング技術が必要となっている。本年度は連続的にモニタリング可能な水質指標として三次元蛍光分析に着目し、文献調査、ヒアリングおよび実測調査を実施し、三次元蛍光分析の有用性と実用に向けた課題について検討を行った。結果、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に関する研究例もあり、三次元傾向分析は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であると考えられる。

A. 研究目的

人口減少や節水機器の普及により水道水の使用量の減少が進んでおり、今後、様々な対応が求められる。また、水道事業に関わる技術者の数も減少しており、特に中小の事業体において顕著であり、より効率的なモニタリングや水質管理が求められている。本研究では、水道事業において連続的な測定のニーズが高い水質項目を把握し、その分析手法の現状と課題を明らかにすることを目的として、三次元蛍光分析に着目し、水分野における実用例に関する文献調査を行うとともに実際に分析を行い、実用の可能性について検討する。加えて、水道事業体を対象にヒアリングを実施し、現状と導入における課題について整理を行った。

B. 研究方法

1) 三次元蛍光分析に関する文献調査

連続測定が可能で新たに実用可能な測定項目として三次元蛍光分析に着目して文献調査を実施した。具体的には国内の文献に関しては J-Dream3 を利用し、海外の文献に関しては PubMed を利用し、水分野における三次元蛍光分析の研究事例に関する文献を収集し、内容を検討した。

2) 三次元蛍光分析に関する水道事業体へのヒアリング

文献調査等の結果を踏まえ、国内で三次元蛍光分析の利用実績のある水道事業体として大阪市水道局を選定し、三次元蛍光分析の活用事例、導入の経緯等についてヒアリングを実施した。

3) 三次元蛍光分析に関する実測調査

三次元蛍光分析の実用可能性を検討するため蛇口水を継続的に採取し、水質事故や降雨等のイベントにおけるモニタリングの可能性について、基礎的な検討を行った。具体的には横浜市内3箇所の蛇口水を継続的に採取し、水源河川における降雨情報や水質事故に対応する日の試料を選定し、三次元蛍光分析を実施することで、蛇口水における水質変化の検出可能性について検討した。加えて、河川水に油類を添加し、三次元蛍光分析による検出が可能かについて基礎的な検討を実施した。

C. 研究結果及びD. 考察

1) 三次元蛍光分析に関する文献調査

海外における三次元蛍光分析の研究事例として、PubMed を用い“EEM Drinking water”および“EEM water”のキーワードで検索を実施したところ、2018年以降、“EEM & Drinking water”では56件の文献が該当し、年

間 10 件以上の文献が公表されていた。また，“EEM & water”では 459 件の文献が該当し、年間 100 件以上の文献が公表されており、2018 年以降、水分野において三次元蛍光分析を活用した研究事例が増加していることが確認できた。水道分野における研究事例としては Water Research に 6 件、Chemosphere に 5 件、Science of the Total Environment に 7 件、その他に Environmental Pollution , Spectrochimica Acta Part A に複数の論文が掲載されていた。

Water Research では DOM の季節変動やこれに伴う消毒副生成物挙動に関する知見が多かった。例えば、TahirMaqbool (2020)¹⁾では三次元蛍光分析を用い、深川市(中国)3つの浄水場において腐植様物質(C1)とタンパク様物質(C2)の2つのコンポーネントに着目し、これらの季節変動や浄水処理過程における除去性について継続的な調査を実施した。その結果、雨季は腐植様物質が多い一方、乾季はタンパク様物質が多く、腐植様物質は化学的処理および塩素処理によって良好に除去され、タンパク様物質は物理的処理によって優先的に除去されることが示されていた。これは三次元傾向分析で水源に存在する DOM の季節的変動とこれらの除去性の評価が可能なる事を示している。Tahir Maqbool (2020)²⁾では中国南部の 10 の浄水場において N-ニトロソアミンと N-ニトロソジメチルアミン生成能(NDMA-FP)を評価しており、原水および浄水の NDMA-FP は、雨季では低く、乾季では高いことを示し、EEM-PARAFAC 解析を活用することで、雨季には腐植様物質(C1)が主要であるのに対し、乾季にはタンパク質様成分(C2)が主要であり、多くの N-ニトロソアミンは、タンパク様物質(C2)との強い関連性があり、連続的な三次元蛍光分析により消毒副生成物の季節変動や原因物質の変化を評価できることを示している。また、Weixin Shi (2021)³⁾は、上水および下水分野の DOM 評価における三次元蛍光分析と高分解能質量分析のレビュー論文である。34 の論文を引用し、DOM の評価における EEM-PARAFAC 解析や FT-ICR-MS の重要性を示すとともに、DOM の組成の変化や各処理工程における除去性の評

価に三次元蛍光分析が有用なツールであることを示している。

Chemosphere では Water Research 同様、DOM の特性や浄水処理プロセスにおける除去性に関する論文が見られたが、Lei Li (2020)⁴⁾では、工水を対象として消毒副生成物生成へのバイオフィルムの寄与について検討している。バイオフィルムを約半年間にわたって培養し、連続的に三次元蛍光分析を実施することで消毒副生成物の前駆物質はタンパク様成分(約 90%)、腐植様成分(約 10%)となり、特にトリプトファン様物質は DBP 生成能と強い相関関係を示していた。この研究では EEM-PARAFAC 解析によってバイオフィルム構成成分の生体分子特性の監視が可能であり、本解析がバイオフィルム由来の微量な有機物から生成する消毒副生成物の予測にも有用であることを示している。

Science of the Total Environment では、他のジャーナル同様、DOM のモニタリングや季節変動、浄水処理過程における消毒副生成物との関係性について論じている研究が多く見られたが、Yunpeng Wang(2021)⁵⁾では、三次元蛍光分析を用いて、浄水処理過程におけるニトロソアミン(NA)生成に関して *Microcystis aeruginosa* (*M.aeruginosa*) と *Cyclotella meneghiniana* (*C.eneghiniana*) の2つの藻類の寄与について調査している。反応時間、藻類細胞濃度、クロラミン濃度、藻類細胞成分(細胞破片(CD)、細胞内有機物(IOM)、細胞外有機物(EOM))を評価し、反応時間と藻類細胞濃度が NA 生成に寄与しており、特に可溶性微生物代謝物(SMP)とタンパク様物質が主要な細胞成分であることを三次元蛍光分析より明らかにし、藻類由来の有機物の解析についても三次元蛍光分析が有用であることを示している。また、Tahir Maqbool(2021)⁶⁾では、三次元蛍光分析を用いて蛇口水の連続的なモニタリングを実施し、蛇口水から検出される DOM は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優勢であることを示している。また、DOM の組成と濃度から水源の違いも評価できることを示しており、季節変化や水源の特性を考慮した浄水処理の運転条件最適化に三次元蛍光分析が有用なツールに

なることを示している。

また、Water Research の Yuanzheng Zhang (2021)⁷⁾では、三次元蛍光分析を用いて畜産由来の地下水汚染評価を行っている。地下水は汚染度が異なる3つのクラスターに分類でき、トリプトファン様物質とNO³⁻の汚染がクラスターごとに異なっていることを明らかにし、畜産由来の地下水汚染を特定、監視することが可能であると結論付けている。文献調査の結果、三次元蛍光分析は、海外ではこれまで研究が行われてきた原水中に含まれる天然のDOMの特性把握やそれらに由来する消毒副生成物の評価だけでなく、バイオフィルムや藻類由来の有機物の特性把握、消毒副生成物の生成ポテンシャルや硝酸態窒素のような畜産由来の汚染の特定および監視にも活用されている。一方で、今回文献調査の結果、本研究と関係性の高いと考えられた論文の多くが中国で実施された研究であり、我が国の水道事業者への適用可能性については、装置の確保や測定体制などを慎重に検討する必要があると考える。

国内では木村(2020)⁸⁾において、山間部の浄水所における降雨時のフミン質に由来する消毒副生成物の水質基準値超過に対するリスク解消のために三次元蛍光分析を活用している。蛍光強度と色度及び消毒副生成物の生成能の関係性や生成能を推定する式の導出により、色度による生成量の制御を可能とし、消毒副生成物の生成量の制御に活用している事例が紹介されている。春田(2020)⁹⁾では、三次元蛍光分析を活用することで、桂川において下水処理場放流水からのタンパク質様ピークを有する蛍光負荷が大きいことを明らかにしている。浄水処理過程にて分解・除去される蛍光物質は、塩素系トリハロメタン生成能の減少と相関があることも示しており、粒状活性炭(以下GAC)処理水の蛍光強度はGACの適切な品質管理の指標の一つとして活用できる可能性や水質事故による異常の有無および影響範囲の迅速な判断に活用できることを紹介している。春田(2021)¹⁰⁾では、三次元蛍光分析法を活用して、A重油、軽油、灯油の3種についてEEM-PARAFAC解析により成分の分離に成功している。精製水、原

水に油類を添加した実験でも高い相関性が得られており、揮発により一部成分の減少を認めているが、揮発後も一定の規則性が見られ、迅速な判別が可能であることを示しており、水質事故における有用なツールとなり得ることを紹介している。

2) 三次元蛍光分析に関する実施に関するヒアリング

文献調査の結果をうけて、国内で三次元蛍光分析による知見の蓄積が進んでいる事業者として大阪市水道局を選定し、ヒアリングを実施した。三次元蛍光分析の導入のきっかけとして消毒副生成物の予測、水質事故等に対応できる新たな手法を検討した結果や消毒副生成物の予測精度の向上の事例が報告されていることや吸光度およびTOC等とは異なる物質を同定可能な分析方法であることから三次元蛍光分析を導入し、研究を進めている旨の回答を得た。導入によって改善された点と課題に関しては、消毒副生成物の予測について三次元蛍光分析により消毒副生成物のより詳細な予測や前駆物質の挙動の把握が可能となったが、大阪市では高度浄水処理を実施していることから前駆物質の除去が可能であり、各処理工程における消毒副生成物や関連する前駆物質の挙動が一度把握できれば常時監視の必要性が低いことから連続的なモニタリングは実施していない旨の回答を得た。また、三次元蛍光分析は、測定自体は簡便であるがPARAFAC解析の作業が煩雑であり、専用のソフトを使用する事で簡便に解析が行えるがソフトが高価であることが課題との回答を得た。油類の監視に関しては、主に水質事故等による油類の流入を想定して検討を進めてきたが、油類の種類の特等定の検証には有用であることが確認できた。一方で、油類の検出後に適切な対応を取るためには浄水場ではなく、取水施設等でモニタリングする必要があるが、現在、市販されている装置では設置場所等が制限されることから常時監視への適用には至っていない旨の回答が得られた。更に、油類に関しては臭いが問題となるが、三次元蛍光分析の油類の検出感度は臭気試験や官能試験等と比べて必ずしも十分ではなく、物質によっては課題があるとの回答を得た。今後、

水道事業体において三次元蛍光分析を導入する際の課題として、PARAFAC 解析を実施する場合には一定数のサンプルが必要であること、解析に煩雑な操作が必要なことから有効に活用できる事業体は限られることや現時点では装置が高価であることから単一の項目をモニタリングする目的での導入は難しく、装置のコストダウンや複数項目のモニタリングを活用するなどの工夫が必要になった。ヒアリングの結果、三次元蛍光分析を用いた研究は一定の成果が得られており、有用な手法であることは確認できたが、水道事業体における常時監視においては解決すべき課題も多いことが明らかになった。

3) 三次元蛍光分析に関する実測調査

三次元蛍光分析の実用性を検証するため蛇口水を連続的に採水し、測定を実施した。採水期間において、大きな水質事故はなく、事故による水質変化の検証は行えなかった。降雨に関しては 8 月に積算雨量が 100mm を超える継続的な降雨が確認され、蛇口水の水源となる河川においてはダムの放流も行われた。降雨後、蛇口水では腐食性物質に対応するコンポーネント (C1) に顕著な増加が認められたが、以前に同流域で測定を実施し、PARAFAC 解析の結果得られた C1 以外の 5 つコンポーネントについては大きな変化は認められなかった。測定事例に限られるが、降雨やダム放流による水質変動を蛇口水でも検出可能であることが示された。また、ヒアリングの結果も踏まえ、河川水に油類を添加して三次元蛍光分析を実施した結果、得られた三次元蛍光スペクトルより油類の種類を判断できる可能性が示されたが、分析には油類の濃度として 1ppm 程度が必要であることから、連続的な油類の監視については分析方法の最適化とモニタリング箇所の選定等の課題があることが確認できた。

E. 結論

水道において連続的にモニタリング可能な新たな水質指標として、本年度は三次元蛍光分析に着目し、文献調査、ヒアリング、実測調査を実施した。結果、水分野において三次元分析を利用した研究は 2018 年以降顕著

に増加しており、従来の DOM の挙動や消毒副生成物のモニタリングにとどまらず、バイオフィーム由来の有機物や藻類由来の有機物による消毒副生成物前駆物質の特定や再生水、地下水の窒素化合物の評価など様々な場面で広く利用されるなど、有用なツールとして広く使われていることが示された。一方で、事業体へのヒアリングの結果、導入に際しては多くのデータや煩雑な解析が必要となること、装置の価格や設置場所について解決すべき問題があることも確認できた。

参考文献

- 1) Tahir Maqbool, Yanling Qin, Quang Viet Ly, Jiaxing Zhang, Chengyue Li, Muhammad Bilal Asif, Zhenghua Zhang, Exploring the relative changes in dissolved organic matter for assessing the water quality of full-scale drinking water treatment plants using a fluorescence ratio approach, *Water Research*, Volume 183, 2020, 116125
- 2) Tahir Maqbool, Jiaxing Zhang, Yanling Qin, Quang Viet Ly, Muhammad Bilal Asif, Xihui Zhang, Zhenghua Zhang, Seasonal occurrence of N-nitrosamines and their association with dissolved organic matter in full-scale drinking water systems: Determination by LC-MS and EEM-PARAFAC, *Water Research*, Volume 183, 2020, 116096
- 3) Weixin Shi, Wan-E Zhuang, Jin Hur, Liyang Yang, Monitoring dissolved organic matter in wastewater and drinking water treatments using spectroscopic analysis and ultra-high resolution mass spectrometry, *Water Research*, Volume 188, 2021, 116406
- 4) Lei Li, Youchul Jeon, Hodon Ryu, Jorge W. Santo Domingo, Youngwoo Seo, Assessing the chemical compositions and disinfection byproduct formation of biofilms: Application of fluorescence excitation-emission spectroscopy coupled with parallel factor analysis, *Chemosphere*, Volume 246, 2020,

125745

- 5) Yunpeng Wang, Fei Li, Jiayu Du, Xiaoyang Shi, Aixi Tang, Ming-Lai Fu, Wenjie Sun, Baoling Yuan, Formation of nitrosamines during chloramination of two algae species in source water—*Microcystis aeruginosa* and *Cyclotella meneghiniana*, *Science of The Total Environment*, Volume 798, 2021, 149210
- 6) Tahir Maqbool, Chengyue Li, Yanling Qin, Jiaxing Zhang, Muhammad Bilal Asif, Zhenghua Zhang, 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*, Volume 771, 2021, 144850
- 7) Yuanzheng Zhang, Yunde Liu, Aiguo Zhou, Li zhang, Identification of groundwater pollution from livestock farming using fluorescence spectroscopy coupled with multivariate statistical methods, *Water Research*, Volume 206, 2021, 117754
- 8) 木村 拓也, 佐々木 真, 小山 祐樹, 笹原 貴志, 辻 正仁, 吉澤 健一, 次元分光蛍光光度法による原水スペクトルの比較及び消毒副生成物生成量の色度による管理, *水道協会雑誌*, 89 巻 1 号, 2020, pp. 13-21
- 9) 春田 知昭, 平林 達也, 北本 靖子, 水道水質管理における三次元蛍光分析の活用, *水道協会雑誌*, 89 巻 3 号, 2020, pp. 2-11
- 10) 春田 知昭, 平林 達也, 北本 靖子, 三次元励起蛍光マトリクス法と PARAFAC 解析を用いた油類の迅速分析, *水道協会雑誌*, 90 号, 第 9 号, 2021, pp.2-12

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 中央大学 山村 寛

研究要旨

塩素注入量は、現在、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、長期短期記憶ネットワーク（LSTM）アルゴリズムにより、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他、モデルの構築に必要な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ブロックは24時間であり、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。また、モデル構築に必要な最小限のデータ量は4月～7月の4ヶ月間の残留塩素濃度低減量であることがわかった。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。

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0.1 mg/L以上に維持することが義務づけられている¹⁾。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0.1 mg/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²⁻⁴⁾。

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¹⁾。神奈川県内広域水道企業団では、消毒副生成物の抑制も考慮した残留塩素濃度の管理値を各給水地点で季節別に定めており、現状、高度な技

表-1 モデル構築に用いたデータセットの概要

データセットA：5分間隔の2年分データ

	全データ	欠損値	異常値	30分にデータを圧縮+ 移動平均算出後	学習データ	テストデータ	平均値	最小値	最大値
相模原	残留塩素	210528	0	129			0.73 mg/L	0.64 mg/L	0.87 mg/L
	水温	210528	0	0	35088	29833	16.7 °C	0 °C	26.5 °C
	電気伝導度	210528	0	130			16.5 mS/m	12.1 mS/m	18.4 mS/m
上和田	残留塩素	210528	0	103			0.67 mg/L	0.49 mg/L	0.80 mg/L
	水温	210528	0	2	35088	29833	17.0 °C	0 °C	30.3 °C
	電気伝導度	210528	0	68			17.6 mS/m	12.4 mS/m	19.0 mS/m
西谷	残留塩素	210528	0	67			0.64 mg/L	0.55 mg/L	0.81 mg/L
	水温	210528	0	1	35088	29833	17.2 °C	0 °C	29.0 °C
	電気伝導度	210528	0	66			16.0 mS/m	12.7 mS/m	19.9 mS/m

データセットB：1時間間隔の10年分データ

	全データ	欠損値	異常値	移動平均算出後	学習データ	テストデータ	平均値	最小値	最大値
相模原	残留塩素	87672	0	19			0.75 mg/L	0.63 mg/L	0.89 mg/L
	水温	87672	0	2	87648	74500	16.32 °C	5.2 °C	27.0 °C
	電気伝導度	87672	0	43			16.6 mS/m	12.5 mS/m	19.2 mS/m
上和田	残留塩素	87672	0	22			0.68 mg/L	0.54 mg/L	0.88 mg/L
	水温	87672	0	3425	87648	74500	16.78 °C	0 °C	30.2 °C
	電気伝導度	87672	0	3508			17.2 mS/m	12.8 mS/m	21.7 mS/m
西谷	残留塩素	87672	0	1701			0.67 mg/L	0.49 mg/L	0.87 mg/L
	水温	87672	0	1485	87648	74500	16.61 °C	4.1 °C	28.9 °C
	電気伝導度	87672	0	1561			17.5 mS/m	12.3 mS/m	22.7 mS/m

データセットC：1時間間隔の3年分データ

	全データ	欠損値	外れ値	移動平均算出後	学習データ	テストデータ	平均値	最小値	最大値	
石川	残留塩素	26304	0	0	26280	17520	8760	1.11 mg/L	0.93 mg/L	1.32 mg/L
金武	残留塩素	26304	0	0	26280	17520	8760	0.65 mg/L	0.40 mg/L	0.83 mg/L
東恩納	残留塩素	26304	0	15	26280	17520	8760	0.92 mg/L	0 mg/L	1.10 mg/L
山城	残留塩素	26304	0	2	26280	17520	8760	0.92 mg/L	0.76 mg/L	1.25 mg/L
具志川	残留塩素	26304	0	9	26280	17520	8760	0.79 mg/L	0.45 mg/L	1.47 mg/L

である。浄水処理された水は、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(図-1)。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: Recurrent neural network)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¹⁰⁾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

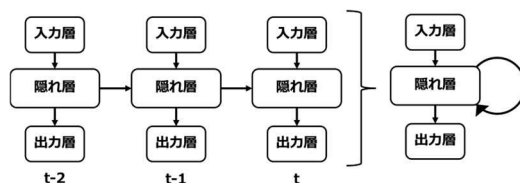


図-2 LSTM ネットワーク概要

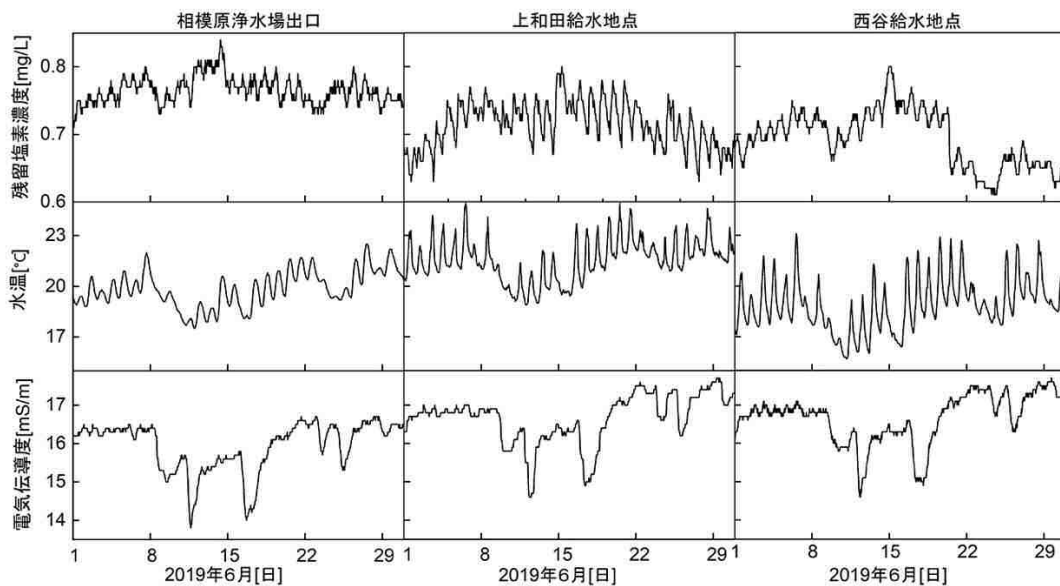


図-3 データセット A、B の 2019 年 6 月における残留塩素濃度，水温，電気伝導度の 1 ヶ月変動(图中，異常値除去後の値を示す)

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、浄水場出口および給水地点前段の塩素濃度を把握する必要があるため、残留塩素濃度の連続測定装置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短期記憶 (LSTM: Long-short term memory) モデルが開発された (図-2)。Xuan-Hien Le ら¹¹⁾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 により精確な予測結果を得るには、ブロック (もしくは、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。ブロックは 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ブロック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ブロックが長すぎる場合、変化のパターンが多すぎるため、全ての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

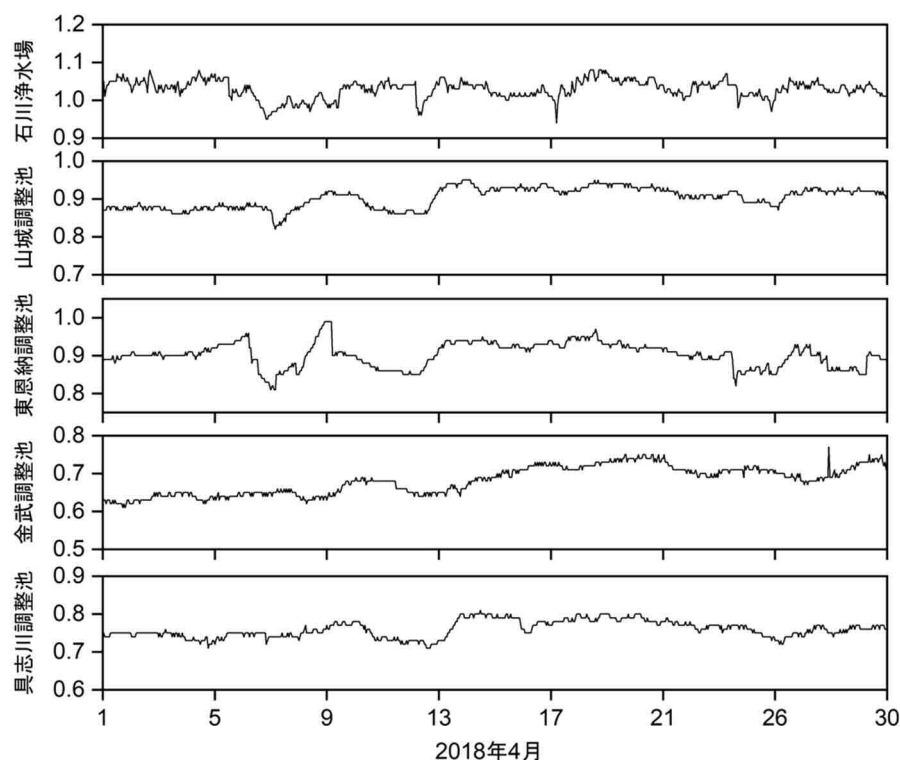


図-4 データセット C の 2018 年 4 月における残留塩素濃度の 1 ヶ月変動
(図中、異常値除去後の値を示す)

測に有効な RNN モデルのうち、長期間の予測モデル構築に優れる 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、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。また、沖縄県企業局が保管する浄水場と調整池地点における膨大なデータセットを活用して、モデルの汎用性を評価した。

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、および沖縄県企業局より提供頂いた。図-1 に示す通り、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ヶ所の浄水場で浄水している。沖縄県企業局はダムより取水した水を 5ヶ所の浄水場で浄水している。

本研究では、相模川および酒匂川の 2 河川を水源とする相模原浄水場を基点として、約 15km 先に位置する上和田給水地点（平均給水量約 7,500m³/hr）、および矢指調整池を經由して約 20km 先に位置する西谷給水地点（平均給水量約 75,000m³/hr）における残留塩素濃度低減量を予測するモデルを構築する。上記の 2 給水地点は、通常、相模原浄水場からのみの給水となっている。相模原浄水場出口、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（2 年間）における 5 分間隔の残留塩素濃度（mg/L）、水温（℃）、電気伝導度（mS/m）（以下データセット A と表記する）

と、2010年4月1日から2020年3月31日（10年間）における1時間間隔の残留塩素濃度(mg/L)、水温(°C)、電気伝導度(mS/m)（以下データセットBと表記する）を使用した。また、モデルの汎用性の評価には、久志浄水場処理水、漢那・金武・山城ダムを水源とする石川浄水場を基点として、金武調整池、東恩納調整池、山城調整池、および具志川調整池における残留塩素濃度低減量を予測するモデルを構築した。それぞれの調整池での2018年4月1日から2021年3月31日（3年間）における1時間間隔の残留塩素濃度(mg/L)（以下データセットCと表記する）を使用した。使用したデータセットの特徴（平均値、最大値、最小値）を表-1にまとめる。データセットA、Bは、以下の方法で異常値の除去およ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、前後の値で線形補間した。データセットCは、以下の方法で異常値の除去およ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=75%点+四分位範囲(IQR)×3、下限=25%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、前後の値で線形補間した。表-1中に除外した異常値数を示す。データセットAは、30分間隔に変換することでデータ量を圧縮した。データノイズを除去するため、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。

データセットA、Bの平滑化処理前の各

項目の2019年6月における1ヶ月変動を図-3、データセットCの平滑化処理前の各項目の2018年4月における1ヶ月変動を図-4に示す。残留塩素濃度と水温は24時間周期で小刻みに変動しながら値が推移した一方で、電気伝導度は大きな変動が数回発生する変動傾向を示した。水温が高い時に残留塩素濃度が低く、水温の低下に伴って残留塩素濃度が上昇する傾向が観察された。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、電気伝導度、水温および残留塩素低減量をLSTMの入出力値に用いた。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。電気伝導度および水温は、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モデルの概念を図-2に示す。LSTMは、現時刻を t としたとき、時刻 $t-L$ から時刻 t までのデータを使用して、時刻 $t+M$ のデータを予測する。このとき、 L をブロック、 M を予測時間と定義する。本研究では、活性化関数にReLU、ネットワーク重みにAdamを使用した。バッチサイズは32、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、ノード数を複数検討したが、どの組み合わせでもモデル精度に大幅な変化がなかった（データは非表示）。ブロックとして、12、24、48および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モデル構築用の学習データとモデル精度検証用のテストデータに分割した。本研究

で使用した学習データおよびテストデータを表-1 中にまとめる。モデルの構築・検証は、tensorflow 1.13.1 を用いて、CPU : intel core i9 9900KF、GPU : Nvidia GeForce RTX 2080 Ti を搭載したワークステーションにて計算した。

モデル精度の評価方法

残留塩素低減量予測モデルの精度は、式 1 に示す二乗平均平方根誤差 (RMSE) により評価した。

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

残留塩素濃度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

ブロックサイズがモデル精度に与える影響

データセット A 中、入力を残留塩素低減量、電気伝導度および水温とし、出力を 6 時間後の残留塩素低減量とした際に、ブロックサイズがモデル精度に及ぼす影響を検討する。なお、モデル構築には、表-1 に示したデータセット A の全データのうち、学習データとして 2018 年 7 月 1 日 6:00 から 2020 年 3 月 31 日 17:30 までの 29833 個のデータをモデル構築に、テストデータとして 2020 年 3 月 13 日 18:00 から 2020 年 6 月 30 日 17:30 までの 5255 個のデータを精度の評価に使用した。

図-5 に上和田給水地点および西谷給水地点におけるブロックサイズと RMSE の関係

を示す。図-5 を見ると、ブロックが 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、ブロックを 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、図-3 に示すように、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、以後の検討において、モデル構築時のブロックを 24 時間に設定した。

図-5 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。

上和田給水地点および西谷給水地点のブロックを 168 時間に設定した際、および西谷給水地点のブロックを 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。

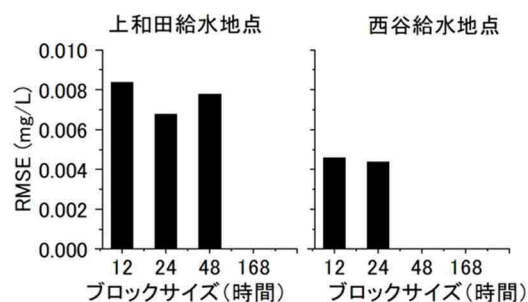


図-5 ブロックサイズと予測誤差の関係

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 お

よび 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。

データセット A 中、入力を残留塩素濃度低減量、電気伝導度および水温とし、出力を 3、6、および 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-6 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-7) 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-8) 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。また、図-5 と同様に、図-6 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。

井上ら¹²⁾は、天候、水量、水質および初期残留塩素濃度を入力としたニューラルネットワークにより、予測誤差 0.0806mg/L を達成した。松本ら¹³⁾は、機械学習と化学反応モデルのハイブリッド化により、予測値誤差 0.048mg/L を達成した。本研究で構築した 6 時間先の残留塩素濃度低減量を予測するモデルの予測誤差は 0.008 mg/L であり、

LSTM による予測精度は上述した既存の機械学習モデルと比較してより高いことが示された。

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電気伝導度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影響を分析した。

データセット A を対象として、入力項目中、残留塩素濃度低減量、電気伝導度および水温から、電気伝導度を削除した場合、水温を削除した場合、電気伝導度と水温を削除した場合の 4 条件で 6 時間後の残留塩

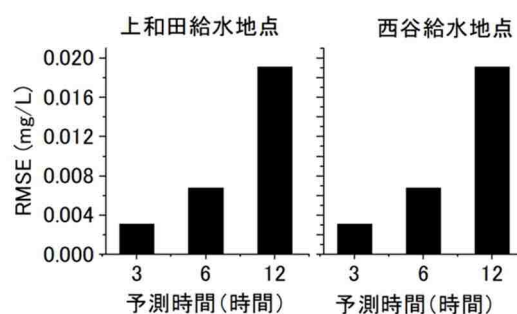


図-6 予測時間と予測誤差の関係

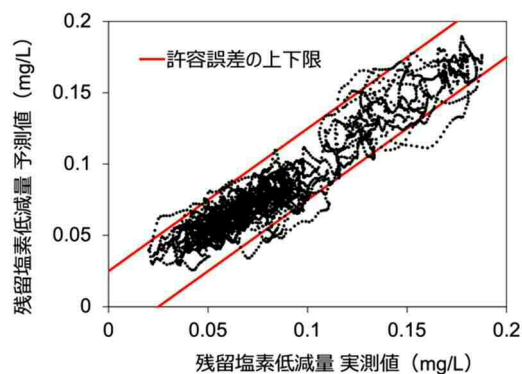


図-7 上和田給水地点における 12 時間後の残留塩素低減量予測モデルの精度

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-9 に示す。

図-9 の通り、入力項目を3項目(残留塩素濃度低減量、水温、電気伝導度)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、水温と電気伝導度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、水温や電気伝導度を環境因子とする研究^{リ7)}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 B 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。なお、モデル構築には、表-1 に示したデータセット B の全データのうち、学習データとして2014年4月1日00:00から2019年3月31日23:59までのデータをモデル構築に、テストデータとして2019年4月1日00:00から2020年3月31日23:59までのデータを精度の評価に使用した。

モデル構築にあたって、年度毎に使用するデータを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、データセット B 中、異常値の出現にあたって、年および月に偏りがないことを確認している。データの減量については、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-10 および図-11 に示す。

上和田給水地点(図-10) および西谷給水地点(図-11) 共に、3月から前年の4月ま

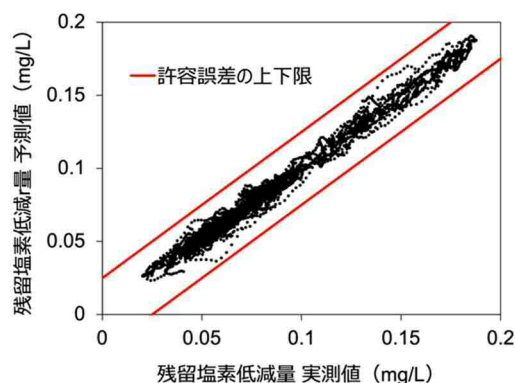


図-8 上和田給水地点における6時間後の残留塩素低減量予測モデルの精度

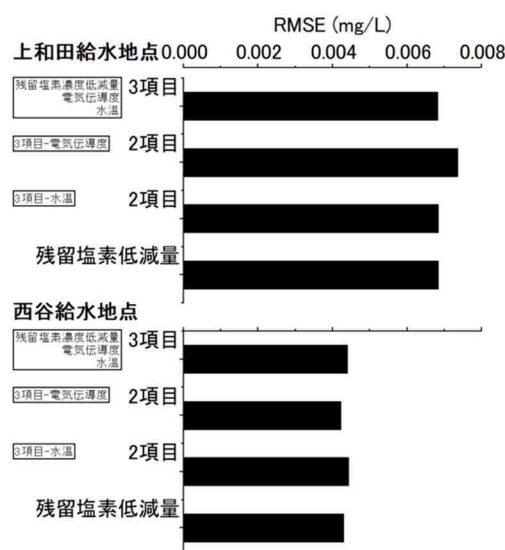


図-9 入力項目が予測精度に及ぼす影響

で1ヶ月ずつ遡って学習データを減少した際 (P1) 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、4月から3月まで1ヶ月毎データを減らした際 (P2) 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ヶ月間の学習データが必要となることが示唆された。

西谷給水地点 (図-11) 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。

学習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ヶ月間の学習データが必要となることが明らかになった。4ヶ月間の学習データについて、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パターンの学習データを準備し、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。

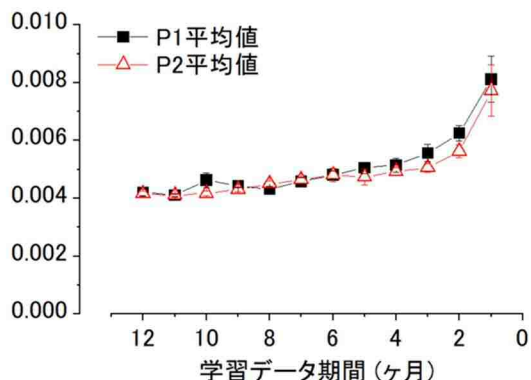


図-10 上和田給水地点における学習データ数が予測精度に及ぼす影響

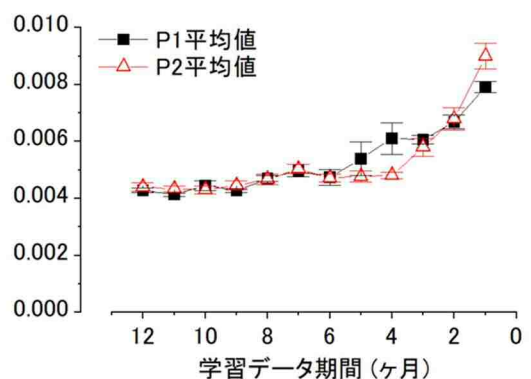


図-11 西谷給水地点における学習データ数が予測精度に及ぼす影響

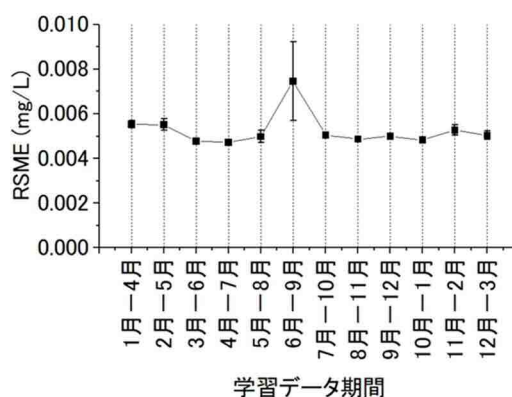


図-12 上和田給水地点における学習データの時期が予測精度に及ぼす影響

上和田給水地点の結果を図-12、西谷給水地点の結果を図-13に示す。4ヶ月間の学習データであっても、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ヶ月間のデータを学習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学習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。

精度に影響する学習データ特性を検討するため、特に精度が高いモデルおよび低いモデル構築に用いた学習データについて、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-14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、精度が低かった学習データは、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、モデルの適用にあたって、学習データとテストデータの中央値、四分位値を比較することで、モデルの適否を迅速に評価できる可能性が示唆された。

モデル構築アルゴリズムの汎用性評価

LSTM モデル構築アルゴリズムの汎用性を検証するため、沖縄県企業局より取得したデータセットCを用いて、ブロックサイズを24時間、予測時間を6時間として同様

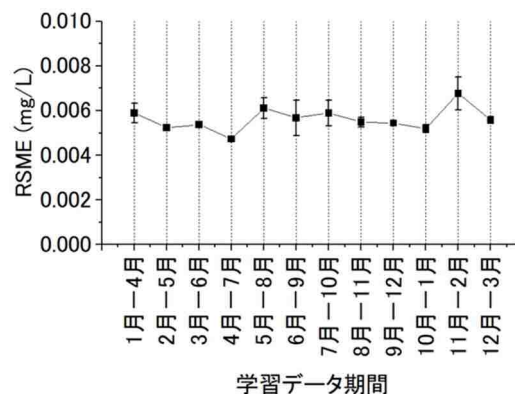


図-13 西谷給水地点における学習データの時期が予測精度に及ぼす影響

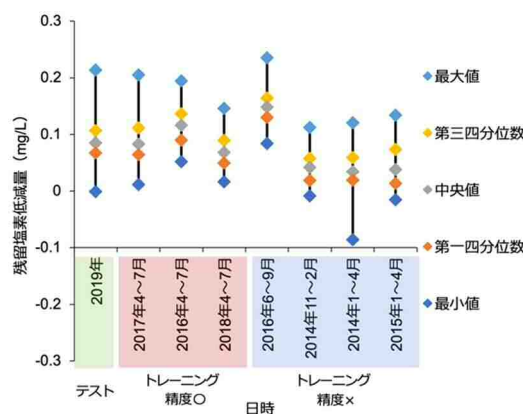


図-14 高精度および低精度モデルの学習データの特性

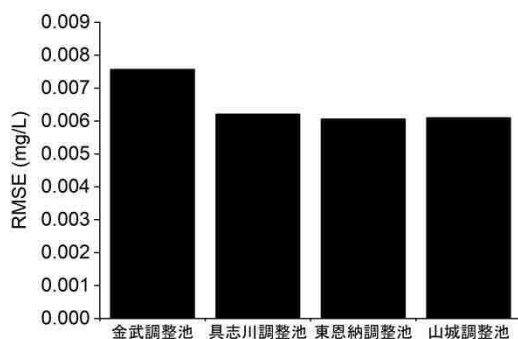


図-15 各調整池における予測誤差

に予測モデルを構築した。

図-15 にそれぞれの調整池地点における RMSE を示す。図-15 を見ると、すべての調整池において目標精度である実測値 ± 0.025 mg/L 以内に収まっていた。図-15 中、金武調整池地点は他の条件より低い予測精度を示した。金武調整池は石川浄水場と久志浄水場の間に位置しており、流量の変化が大きく、予測精度が低くなったものと推測する。

続いて、モデル構築に必要なとなるデータ量（データ蓄積期間）とデータの質が予測精度に与える影響について検討する。データセット C のうち、学習データとして 2019 年 4 月 1 日 00:00 から 2020 年 3 月 31 日 23:59 までのデータをモデル構築に、テストデータとして 2020 年 4 月 1 日 00:00 から 2021 年 3 月 31 日 23:59 までのデータを精度の評価に使用した。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。データの減量については、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。P1 の結果を図-16、P2 の結果を図-18 に示す。また、図-16 中、RMSE の最大値を 0.055 mg/L とした結果を図-17 に示す。

図-16、18 より、具志川調整池、および金武調整池において、1 ヶ月ずつ学習データを減少した際（P1、および P2）に、4 か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。また、山城調整池、および東恩納調整池は 1 ヶ月分になると急激に精度が悪化した。具志川

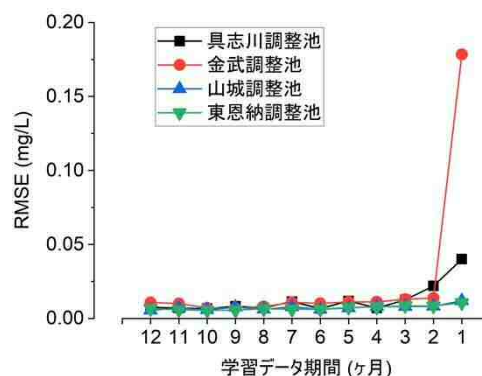


図-16 各調整池における学習データ数が予測精度に及ぼす影響 (P1)

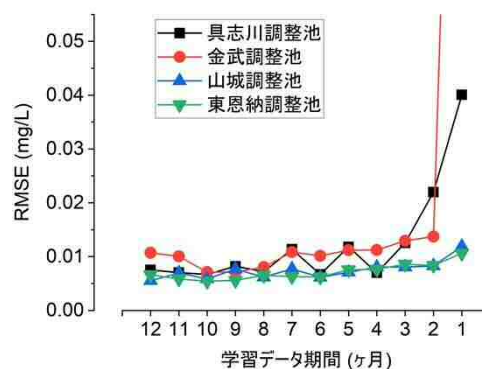


図-17 各調整池における学習データ数が予測精度に及ぼす影響 (P1・縦軸拡大)

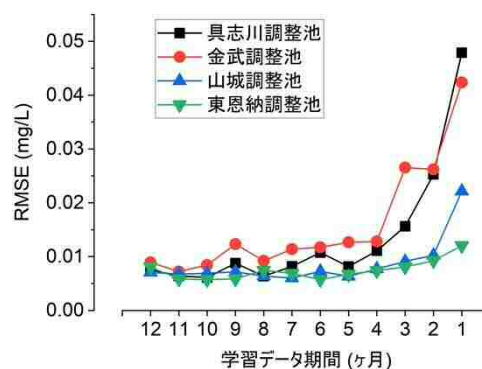


図-18 各調整池における学習データ数が予測精度に及ぼす影響 (P2)

調整池、および金武調整池と、山城調整池、および東恩納調整池は異なる傾向が得られた。これらの結果から、神奈川県内広域水道企業団と同様に、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。

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ブロックは 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 ヶ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学習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

山村 寛, 石井 崇晃, 小野 一樹, 市川 学, 清塚 雅彦, 長短期記憶ネットワークによる給配水系統における残留塩素濃度低減量の予測. 環境工学研究論文集, 77 巻 7 号 p. III_293-III_301, 11 月, 2021 年.

2. 学会発表

○山村 寛, 石井 崇晃, 小野 一樹, 市川 学, 清塚 雅彦. 長短期記憶ネットワークによる給配水系統における残留塩素濃度低減量の予測. 土木学会環境工学委員会 第 58 回環境工学研究フォーラム, A31, オンライン開催, 2021/11/16-18.

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). 公益財団法人水道技術研究センター: 管路内残留塩素濃度管理マニュアル, 1999.
- 2). He G., Zhang T., Zheng F., Li C., Zhang Q., Dong F., Huang Y.: Reaction of fleroxacin with chlorine dioxide in drinking water distribution systems: Kinetics, transformation mechanisms and toxicity evaluations, Chemical Engineering Journal, Vol.374, pp. 1191-1203, 2019.
- 3). Clark R. M., Goodrich J. A., Wymer L. J.: Effect of the distribution system on drinking-water quality, Journal of Water Supply: Research and Technology—AQUA, Vol.42, pp. 30-38, 1993.
- 4). Hrudey S. E.: Chlorination disinfection by-products, public health risk tradeoffs and me, Water Research, Vol.43, pp. 2057-2092, 2009.

- 5). 厚生労働省健康局：新水道 ビジョン ,https://www.mhlw.go.jp/seisakunitsuite/bunya/topics/bukyoku/kenkou/suido/newvision/1_0_suidou_newvision.htm. (2021年5月10日閲覧)
- 6). 稲員とよの,小泉明,荒井康裕,佐藤親房,尾崎勝,渡辺映一: 送水管路におけるフィールド調査に基づく残留塩素減少モデルに関する研究, 環境工学研究論文集, Vol.45, pp. 605-612, 2008.
- 7). 荒井康裕,稲員とよの,小泉明,赤池陽介,佐藤親房,尾崎勝: ANN を用いた排水管網における残留塩素濃度推定モデルと低減化シミュレーション, 環境工学研究論文集, Vol.45, pp. 595-603, 2008.
- 8). 張裕喆, 遠山忠, Randall A., 高見澤一裕, 菊池慎太郎: 水道管材料が微生物膜形成に及ぼす影響—特に米国における研究例—, 環境浄化技術, Vol.36, pp. 55-58, 2007.
- 9). 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, Vol.89, pp. 107-17, 2016.
- 10). 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, Mathematical and Computer Modelling, Vol.44, pp. 469-484, 2006.
- 11). Le X. H., Ho H. V., Lee G., Jung S.: Application of Long Short-Term Memory (LSTM) Neural Network for Flood Forecasting, Water, Vol.11, pp. 2019.
- 12). 井上正人,岡隆光,菅原通雅,塚田司郎,萩岡光治,前原俊信, 森田めぐみ, 守屋節男, 渡辺義信: 残留塩素濃度を予測するニューラルネットワークモデル, 社会情報学研究, Vol.6, pp. 149-168, 2000.
- 13). 松本隼, 山原裕之, 横川勝也, 毛受卓, 黒川太, 横山雄: 機械学習と化学反応モデルのハイブリッドによる残留塩素濃度予測, 環境システム計測制御学会, Vol.24 巻, pp. 111-151, 2019.

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て、令和3年は、提案に基づき試作した簡素な水質計を民間施設における給水地点に設置、原理評価を実施、課題の抽出、それに基づく改良を実施した。

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3年は、提案に基づき試作した簡素な水質計を民間施設における給水地点に設置、原理評価を実施、及び課題の抽出とそれに基づく改良を実施した。

す等の課題が発生した。そこで耐水構造の見直しや、ユニット内へ繋がる配線を最小とするために電子回路基板の極小化・内蔵化を進めることとした。



図1. 簡素化水質計による評価実験

B. 研究方法

図1に示すように、試作した簡素化水質計を神奈川県相模原市の民間施設における給水地点に設置、原理評価を実施した。その結果、水質計の耐水対策が不十分、かつ外部への微小な配線孔等の隙間から徐々に分析ユニット内部へ水が浸透し電気系へ影響を及ぼ

また、本倒立型の水質計は水頭圧にて試料液を導入しているため、外乱や外部からの気泡の侵入により導入流量や試薬添加量変動することが懸念された。そこでDPD試薬の発色波長域（赤色）と異なる波長域の色素（ブリリアントブルーFCF）を試薬パック添

加、本色素由来の透過光量変化の信号から、試料水の流量変動や、試薬の添加プロファイルを求め、塩素由来の信号値を補正する方式を新たに提案し、これらのアルゴリズム及び伝送データ量の低減のための計算アルゴリズムを備えたプログラムコードを開発した。

C. 研究成果

防水・耐水構造を施し、また電子回路基板の分析ユニット内蔵化を図った第二次の改良水質計の外観写真を図2に示す。本水質計の試薬パックには補正用の青色色素が混入されている。直径で60 mm、高さ約350 mmまで小型・簡素化した。これらの改良により外部からの水侵入は無くなった。

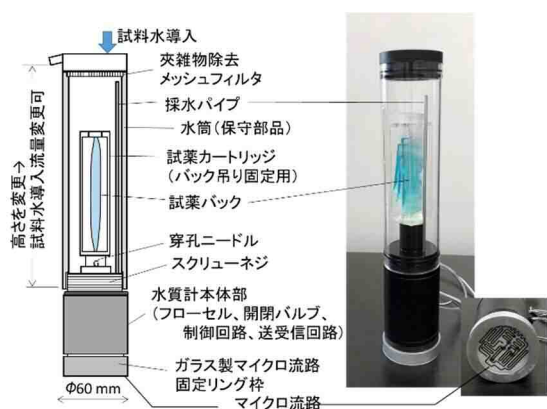


図2. 二次改良機の構成と外観

次に、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方式の評価を実施した。補正した分析結果の一例を図3に示す。

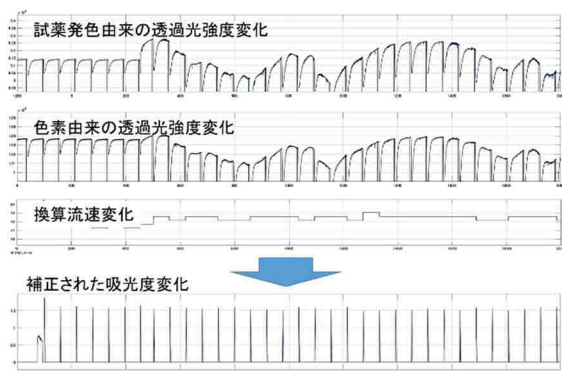


図3. 色素を用いた補正結果例

大きく変動している元来の信号値(最上段)に、色素からの吸光度信号を用いた信号強度補正や流速変化を加味した補正を加えることで安定した吸光度信号値(最下段)を得ることに成功した。

また図4に示すように、気泡等の影響で信号値が著しく低下した場合に、遠隔にて自動的に気泡除去動作を行う系を開発した。また伝送データ量の低減を目的に計算処理回路を組み込んだゲートウェイの製作及びIoT向けのクラウド公衆サービスへの自動でのデータ転送系を構築し、動作を確認した。

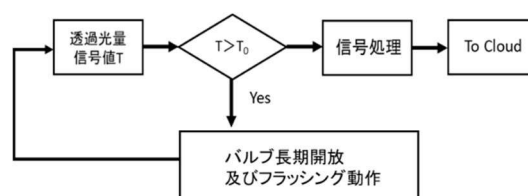


図4. 気泡除去制御及び信号処理・伝送系

以上に加えて、水質センサーの代替案である電極センサーを試作した。電極や配線は、樹脂ポリアミドフィルム上にパターンに沿ってレーザー溶解することによって簡易に形成可能とした。

D. 考察

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、これらの変化については、継続的に検証、また、それらの変動を想定したアルゴリズムの修正を適宜実施している。また高温環境や屋外環境など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、図2に示す二次改良機の水質計本体部に実装し、試薬による湿式分析との相関性の確認、相補的活用法について検証予定である。

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、令和3年は、提案に基づき試作した簡素な水質計を民間施設における給水地点に設置、原理評価を実施及び課題の抽出、それに基づく改良を実施した。

F. 研究発表

1. 論文発表

該当なし

2. 学会発表

Yuta Kozuka, Zhou Lu, Tsukuru Masuda, Shintaro Hara, Toshihiro Kasama, Ryo Miyake, Norifumi Isu, and Madoka Takai, “EVALUATION OF BACTERIAL ADHESION STRENGTH ON ANTIFOULING COPOLYMER FILMS BY USING MICROFLUIDIC SHEAR DEVICES”, Proceedings of MicroTAS 2021, DOI: 978-1-7334190-3-1/μTAS2021

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

書籍

該当なし

雑誌

発表者氏名	論文タイトル名	発表誌名	巻号	ページ	出版年
Dai Simazaki, Takuya Marubayashi, Takahiro Yokoi, Akie Watanabe, Shigeyuki Nomoto, Manabu Ichikawa, Masahiko Kiyozuka	Questionnaire Survey on Installation of Online Water Quality Monitors and Data Utilization for Water Supply Systems in Japan	Journal of Water and Environment Technology	Vol.20	No.1:21-27	2022
山村 寛, 石井 崇晃, 小野 一樹, 市川 学, 清塚 雅彦	長短期記憶ネットワークによる給配水系統における残留塩素濃度低減量の予測	環境工学研究 論文集	77 巻 7 号	p. III_293-I II_301	2021

令和 4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3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 (所属部署・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)
人を対象とする生命科学・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"/>
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"/>
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」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系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 4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3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 (所属部署・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)
人を対象とする生命科学・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"/>
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"/>
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」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系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 国立保健医療科学院

所属研究機関長 職名 院長

氏名 曽根 智史

次の職員の令和3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 (所属部署・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)
人を対象とする生命科学・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"/>
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"/>
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」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系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3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 (所属部署・職名) 理工学部・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)
人を対象とする生命科学・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"/>
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"/>
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」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系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 河合 久

次の職員の令和3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 (所属部署・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)
人を対象とする生命科学・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"/>
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"/>
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」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系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 国立大学法人東京大学

所属研究機関長 職 名 学長

氏 名 藤井 輝夫

次の職員の令和3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 (所属部署・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)
人を対象とする生命科学・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"/>
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"/>
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」、「臨床研究に関する倫理指針」、「ヒトゲノム・遺伝子解析研究に関する倫理指針」、「人を対象とする医学系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 type="checkbox"/> 無 <input checked="" type="checkbox"/> (無の場合はその理由: 今年度のCOI委員会に置いて未審査のため、次年度の委員会で審査を受ける。7月頃に審査終了予定。)
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。