

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 4 年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 清 塚 雅 彦

令和 5 (2023) 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)	17
	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)	27
	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	38
	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	42
	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	54
	三宅 亮 (東京大学)	
III.	研究成果の刊行に関する一覧表	58

添付資料

1.	研究体制	59
2.	事業者アンケート調査票	61
3.	事業者ヒアリング調査項目とヒアリング議事録	66
4.	WG 会議議事録	77
5.	研究班会議議事録	100

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

本研究の実施期間は、令和2年度から令和4年度の3ヵ年であり、令和4年度は3ヵ年計画の3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4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

①アンケートおよびヒアリング調査と課題抽出

給水人口10万人未満の水道事業体に対し、職員数、自動監視装置の導入、残留塩素濃度測定という3つの視点からアンケート調査を実施した。その結果、水道事業従事職員数は給水人口に依存しており、中小規模事業体では1人当たりの業務負荷が大きい状況が確認できた。また、AI等により自動監視装置による連続測定データを活用することでヒトに関する課題を解決しつつ、業務の効率化が図られることが期待されるが、中小規模事業体の中にはデータを有効に活用できていない事業体もあり、このような事業体においてはノウハウを有する民間企業等と連携しデータの活用を図っていくことが重要になると考えられた。残留塩素濃度測定に関しては、コスト・地理的制約から給水末端への自

動監視装置導入が進んでいない状況にあった。特にコスト面では住民へ安価に委託している状況にあり、多くの事業者で住民への委託料と同程度であれば自動監視装置の導入を考えると回答であった。仮に、より安価な自動監視装置が開発され導入が進めば、塩素注入量の適正化が図られるなど、より安全かつ経済的な配水運用が可能となり、ひいては水道事業の基盤強化へつながると考えられた。

②既存・将来技術の文献調査と課題抽出

学術文献データベースを用い、①水道水源 リモートセンシング、②水道管 リモートセンシング、③水道水 ドローンというキーワードにて文献検索を実施し 64 文献を選定し、課題点等の抽出を行った。人工衛星やドローン等のプラットフォームを用いたセンシングならびに画像解析技術の活用により、広域或いは到達が困難な箇所における水源水質の把握や漏水検出等が従来よりも短期間、省コストかつ省力的に実現できる可能性があり、水道の基盤強化を支える技術の一つとして活用することが望ましいと考えられた。一方、リモートセンシングに用いられるセンサーやプラットフォームは多種多様であるため、調査目的や対象規模に即した、適切な選択が重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

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、文献調査と実測調査を実施し、三次元蛍光分析の実用性と課題について検討を行った。結果、有機物の連続的なモニタリングだけでなく水分野の様々な研究に広く利用されていることが明らかとなり、実際に測定を行った結果でも、降雨時における有機物の変化や日変動や処理水への降雨等の影響を捉えることができ、三次元蛍光分析法の水道における連続的なモニタリング可能性を確認できた。

(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

給水末端における残留塩素濃度を予測するモデル構築に向けて、横浜市水道局より仏向配水池および桜台小学校の残留塩素濃度データを提供いただき、6 時間先の残留塩素を予測するモデルを構築した。相模原浄水場出口から桜台小学校までの残留塩素濃度低減量は、予測誤差 0.025mg/L 以下で予測できることが明らかとなった。

最後に、構築したモデルの実装に向けて、浄水場の監視制御システムに介入することなく、監視画面の動画から残留塩素濃度を読み取り、Excel に転送するシステムを構築した。これにより、比較的小規模な浄水場でも、安価かつ高精度に末端給水地点での残留塩素濃度を予測できるシステムが実現可能になった。

(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 令和 3 年度に提案・試作した簡素水質計に更なる改良を加え、耐水性能の向上を図る

とともに、配水拠点に設置し、性能検証を行った。性能検証の結果、若干のデータ遅延が発生するものの、耐水性に問題なく連続して動作し、概ね安定して測定できることが確認された。また、水質計の仕様について考察したところ、本水質計および通信系を用い、測定時間間隔を 60 分程度、データ仕様を水質推定値のみとすることで手分析の代替となるコスト競争力のある提案が可能となると考えられた。

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、本研究では水質変動や水質異常を早期発見するシステムの導入を目指して、監視すべき水質指標を特定し、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する。

B. 研究方法

令和 4 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

①アンケートおよびヒアリング調査と課題抽出

日本全国の水道事業者のうち、給水人口 10 万人未満の 60 事業者を対象にアンケート調査を実施し、30 事業者から回答を得た（回答率 50%）。アンケート調査項目は、職員数、自動監視装置の導入、残留塩素濃度測定という 3 つの視点から設定した。

また、アンケート調査にて回答のあった事業者のうち 7 事業者に対して、ヒアリング調査を実施した。ヒアリング内容は、アンケート調査項目を中心に、自動監視装置の導入状況や要望、水質管理に関して抱えている課題や残留塩素濃度管理方法等についてであり、中小規模事業者ならではの課題を抽出することを目的として実施した。

②既存・将来技術の文献調査と課題抽出

学術文献データベース（Web of Science Core Collection）を用い、下記キーワードにて文献検索を実施した。

1) 水道水源 リモートセンシング：

drinking AND water AND source AND remote AND sensing

2) 水道管 リモートセンシング：

water AND pipe and AND remote AND sensing

3) 水道水 ドローン

drinking AND water AND {UAV OR UAS}
NOT arsenic

ヒットした 307 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、64 文献を選定した。その内訳は以下の通りであった。

- ①水道水源・リモートセンシング：49 文献
- ②水道管・リモートセンシング：11 文献
- ③水道水・ドローン：4 件

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

連続測定が可能な新たな水質項目として三次元蛍光分析に着目し、学術文献データベース (Pubmed 等) を活用し文献調査を行った。

三次元蛍光分析の水道原水および浄水における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検討を行った。また、神奈川県内の浄水場にオートサンプラーを設置し、高温期 (8 月) と中温期 (9 月) に連続的に原水、浄水を採水し、得られた試料について三次元蛍光分析を実施し、解析を行った。分析結果をこれまでに連続的に測定を実施している水質項目等と比較、検討することで三次元蛍光分析の新たな水質指標としての適用可能性や課題について整理を行った。

(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

浄水場出口から末端配水地点までの残留塩素低減量の予測を目指し、相模原浄水場ー西谷給水地点を經由し、横浜市仏向配水池から桜台小学校迄配水される配水系の残留塩素低減量予測モデルの構築を試みた (図 1)。仏向配水池では次亜塩素酸ナトリウムが追加添加 (以下、追塩と表記。) され

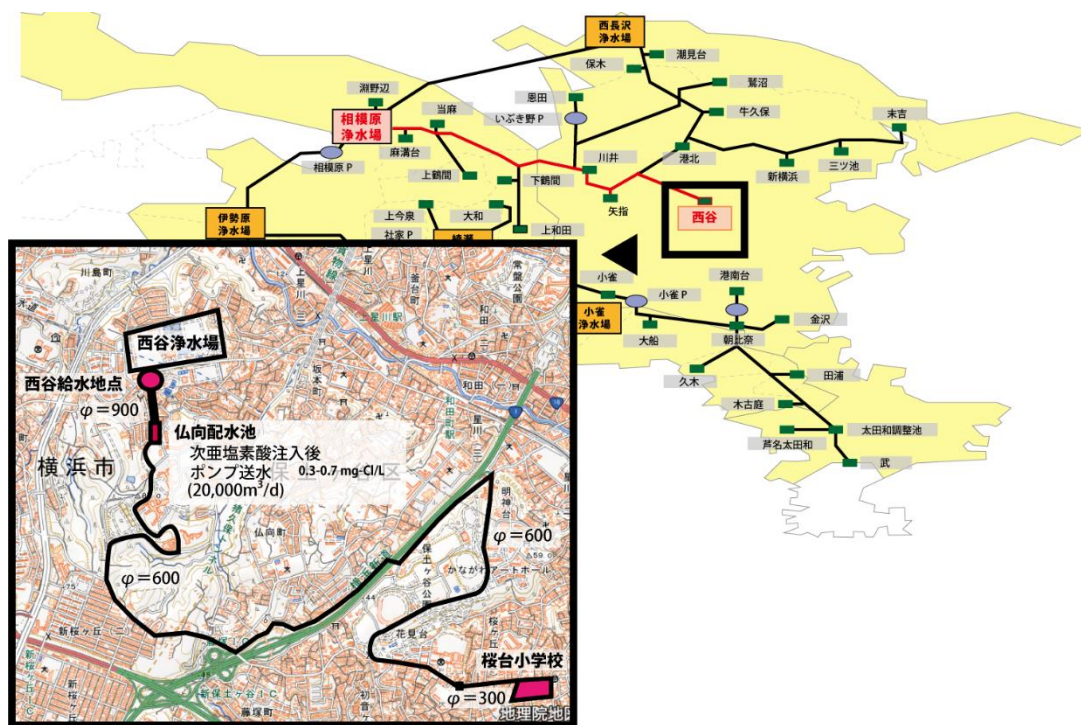


図 1 横浜市水道局の仏向配水池および桜台小学校

ており、配水池出口に設置したポンプ場から末端まで、樹枝状の配管網により給水されている。本研究では、追塩後の仏向配水池出口および桜台小学校に設置されている連続水質監視装置で記録した 10 年分の残留塩素濃度 (2010~2020 年) を異常値除去および平滑化処理後にモデル構築・検証に使用した。モデル構築にあたっては、相模原浄水場出口から西谷給水地点までの残留塩素濃度低減量を予測するモデル (浄水場-西谷モデル)、西谷給水地点から仏向配水池までの残留塩素低減量を予測するモデル (西谷-仏向モデル) と仏向配水池から桜台小学校までの残留塩素低減量を予測するモデル (仏向-桜台小学校モデル) をそれぞれ構築し、3 つの連立モデルを統合することで、12 時間前の相模原浄水場出口における残留塩素濃度の実測値を用いて、6 時間後の桜台小学校における残留塩素低減量を予測するモデルを構築した (図 2)。なお、仏向配水池での追塩量は、残留塩素濃度の監視に基づいて決定されており、西谷-仏向モデルは、実質的に追塩アルゴリズムをモデル化したものとなる。モデル構築にあたっては、相模原浄水場-西谷給水地点間のモデル構築時の条件で最適化されたブロック数 24 時間を適用した。

モデルの実装に向けて、浄水場の監視制御システムに介入することなく監視画面から残留塩素濃度を読み取り、Excel に転送システムを構築する (図 3)。神奈川県内広域水道企業団 相模原浄水場事務所内において、相模原浄水場出口と西谷給水地点の残留塩素濃度が表示された情報系システム管理画面を小型ビデオカメラ (GoPro HERO8 Black) で撮影し、モデルの構築と検証に使

用した。撮影にあたって、解像度は 2704×1520 pixel、フレームレートは 1/300 fps に設定した。動画は OpenCV により画像群に変換し、残留塩素濃度が表示された部位をトリミングした後に、Otsu アルゴリズムにより二値化したものを数値変換に供した。画像から数値への変換は、Tesseract OCR を使用し、目視で記録した正確値と変換値を比較することで、正答率を算出した。

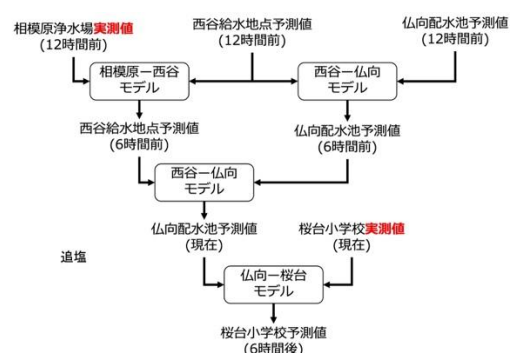


図 2 連立モデルのアルゴリズム

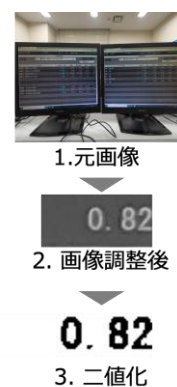


図 3 ディスプレイ数値の読み取りフロー

(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

令和3年度に提案・試作した簡素化水質計は、試料水の採取環境により、本体部周辺にも試料水が接触して流れていたことから、水質計の耐水性能をさらに向上させるための改良を行った。加えて、令和3年度に提案したブリリアントブルーFCF色素による塩素由来の信号値を補正する信号処理アルゴリズムの改良を進め、信号幅に応じた解析範囲の自動調整、流速変動の影響補正などの機能を追加した。また、クラウドへのデータのアップロード時間間隔等について調査した結果、時間間隔を10秒程度とすることで、実計測時とのずれが発生せず、再生された波形も歪まないことが確認できた。

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

①アンケートおよびヒアリング調査と課題抽出

1) 職員数

給水人口が増加するにつれて水道事業従事職員数が増える傾向が確認できたものの、水質に係る職員数と給水人口との間に一定の傾向は見られず、限られた職員数で安全な水の供給に努めていることが確認できた。

2) 自動監視装置による連続測定

自動監視装置を導入しているといずれかの事業体において回答のあった水質項目は表1に示すとおりであり、濁度や残留塩素濃度は多くの事業体で測定されていた。しかしながら、残留塩素の自動監視装置は、コ

スト的制約から濃度が低下する地点や維持またはリスク管理上必要と考えられる地点への導入に限られていた。給水末端への自動監視装置導入を希望する事業体は多かったものの、スペースの確保や導入・メンテナンスコストが妨げとなり導入に至っていないのであった。

表1 自動監視装置により連続測定されていた水質項目

	原水	処理水	給水	合計
水温	3	0	4	7
色度	1	0	8	9
濁度	20	4	23	47
pH	9	3	18	30
アルカリ度	4	1	0	5
電気伝導度	3	0	0	3
紫外線吸光度	0	0	2	2
油分	1	0	0	1
残留塩素	1	4	27	32
合計	42	12	82	136

自動監視装置導入の主目的は水質監視や管理であり、自動監視装置により測定した結果を薬品注入率の決定などに活用している事業体もあったが、多くの事業体では測定データを蓄積するのみにとどまり、有効に活用できていない状況であった。

3) 残留塩素濃度の測定および管理

給水末端における残留塩素濃度の測定形態は個人委託によるものが16事業体と約半数を占めており(図4)、1月当たりの委託料は1,600~4,000円であった。委託先は高齢の方が多く、将来の担い手不足を懸念していた。検査結果は月1回紙ベースでの報告を基本とし、異常時には電話等にて即時報告してもらおうとのことであった。なお、即時報告が必要となる異常としては、残留塩素濃度が0.1mg/L以下や0.15mg/L以下となった場合とのことであり、報告を受けた際には塩素注入量の調整や捨水を行うこと

で残留塩素濃度の調整をしているとのことであった。中には、使用水量が少ないため常時捨水を行っても残留塩素濃度が低下するという課題を抱えている事業者もあった。

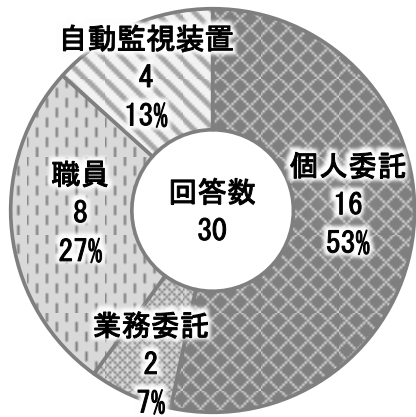


図 4 給水末端における残留塩素濃度の測定形態

残留塩素濃度の自動監視装置導入について、事業者が考える導入可能なスペースは2m³以内、コストは個人委託と同程度(例えば、5年償却として20万円程度)であれば導入可能ではないかと考える事業者が多く、導入コストが数十万円程度かつ2m³以内であれば導入できる可能性があることが示唆された。しかしながら、連続測定装置については維持管理費用や定期的なメンテナンスも必要となるため、導入にあたっては導入コストに加え、メンテナンス負荷や維持管理費用等についても考慮する必要があると考えられた。

②既存・将来技術の文献調査と課題抽出

1) 水道水源におけるリモートセンシング技術の活用

水道水源における藍藻類の増殖は、藍藻類によるかび臭原因物質等の放出により浄水中の異臭味を生じるだけでなく、藍藻毒による健康影響の面からも、諸外国で懸案

となっており、藍藻類を対象とした研究例が数多くみられた。リモートセンシングの手法として、クロロフィル a やフィコシアニンといった藍藻類の代替指標となる化学物質や、藍藻類の増殖に関わる因子の一つである、窒素やリンといった栄養塩類を対象とした適用事例が報告されていた。

Almuhtaram らは、水源水域の藍藻類監視および早期警戒手法に関するレビューを行うと共に、以下の3段階の手法ならびに早期警戒システムにおけるマルチバリア手法の導入を提案した。

段階①：水源水域における微生物活性監視

指標：透明度・色度・濁度・クロロフィル a・ATP 等

手法：目視・ドローン・濁度計・透明度計・色度計・蛍光分光計・ATP 測定装置等

段階②：藍藻類の直接的な確認

指標：藍藻類・フィコシアニン

手法：顕微鏡観察・フィコシアニン抽出分析・フィコシアニン蛍光分析・細胞自動イメージング・リモートセンシング・次世代シーケンシング・バイオセンサー

段階③：藍藻産生物の検出

指標：藍藻毒(シアノトキシン)

手法：酵素免疫測定法(ELISA)・定量 PCR・クロマトグラフィー

また、水質監視やモニタリングについては、湖沼水の閉鎖水域での一般的な水質項目を対象に、水質予測や水質モニタリングに適用した事例が多く報告されていた一方で、リモートセンシングにより有害化学物質や病原性微生物の指標の監視を試みる事例は限られていた。

2) 水道施設の健全性調査等におけるリモートセンシング技術の利活用

人工衛星、航空機、ドローン等を利用し、水道管路等の漏水調査を短期間・省力・省コストで実施する事例が多く見受けられた。例えば、Jean-Claude らは、分解能 0.5m を達成するため、航空機またはドローンをプラットフォームとして、3 バンド(可視光、近赤外、熱赤外)のリモートセンシングを使用して地中の漏水の検知を試みた。フランスとポルトガルの配水管網上にて、人為的な漏水を作ったうえで実証実験したところ、おおよそ 50% の確率で漏水を検出できるとの結果であった。また、Chen らは、Landsat8 衛星画像と深層学習を用いて開水路の漏水を自動検知する手法の検討を行った。深層学習に使用したパラメータは、いずれも衛星画像から得られる地表温度、植生被覆分布、温度植生乾燥指数とした。訓練データとして、2016～2019 年の点検時に収集したコンクリート表面検査記録を使用した。都市部と農村部の両方を流れる開水路について収集したデータセットを用い、再現率 86%、精度 86%、正確度 85% を達成できたとした。

3) ドローン技術の利活用

配水塔の健全性調査、衛星画像データと組み合わせた小規模貯水池の水質モニタリング、水源水域の土壌流出や化学物質流失の調査等、現地での調査が困難となる場所を中心に、ドローンを使用することで短期間かつ省力的にデータ収集が行われていた。

(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、“EEM”、“Drinking water”、“water”等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 60 件の文献が、“EEM” & “water”では 503 件の文献が該当し、水道に関連した知見は限定的であるものの、水分野において三次元蛍光分析を活用した研究事例が顕著に増加していることが確認できた。2022 年には 131 の文献が公表されており、うち 74 件が水処理に関するものであり、22 件はこれまで水処理分野で主な対象とされていた天然有機物 (NOM) 以外の物質を対象としていた。

国内における研究事例としては、表流水を水源とする浄水場において三次元蛍光分析の連続的なモニタリングにより、フミン質様物質、タンパク質様物質、フルボ様物質の 3 つの成分の季節的な評価と各浄水高低における除去性について評価を行ったものがあつた。

浄水場における実用性の検証では、通常時は 1 日 2 回の頻度で採水を実施し、降雨が予想される時期には頻度を上げて採水を実施し、降雨状況、ダムの放流状況などを考慮して試料を選定し、分析を実施した。分析の結果、高温期、中温期のいずれの時期においてもこれまで対象流域で実施した三次元蛍光分析で確認された 3 つのコンポーネントが確認された。今回の採水では高温期に 1 回、中温期に 2 回の台風の接近もあり、比較的強い降雨とそれに伴うダムの放流が実施された際の採水が実施できた。降雨時には原水中の腐食性物質に対応するコンポーネント (C1) の増加が顕著に認められ、降雨後にも高い値を示す事例が確認された。浄水では降雨に伴い原水中の C1 が上昇し

た場合には、浄水中の C1 にも同様の傾向が認められた。具体的には、通常時における C1 の浄水処理における除去率は 50%程度であったが、降雨時においては 80%程度と通常時と比べて高い値を示した。

(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

構築した相模原浄水場-西谷モデルの出力値を西谷-仏向モデルで活用した際の仏向配水池における現在時点の残留塩素低減量予測結果を図 5 に示す。西谷-仏向モデルは、フィードバック制御により管理され

ている追塩アルゴリズムを LSTM によりモデル化したものであり、ほとんどのプロットが $\pm 0.025 \text{ mg/L}$ 以内に収まった。これらの結果から、LSTM により追塩アルゴリズムを高精度に再現できたことがわかる。

さらに、西谷-仏向モデルの出力値を仏向-桜台小学校モデルで使用した際の、桜台小学校における 6 時間先での残留塩素低減量予測結果を図 6 に示す。ほとんどのプロットが 0.025 mg/L 以内に収まったことから、高精度で末端配水地点での残留塩素濃度を予測できたことが分かる。本研究では 3 区間のモデルを連立させることで、長区間で

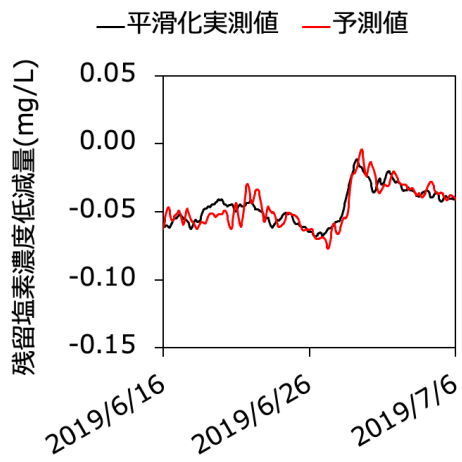
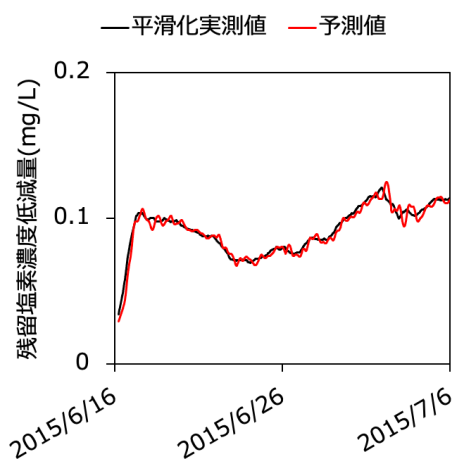
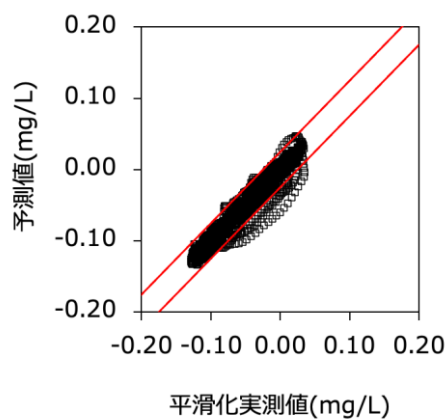
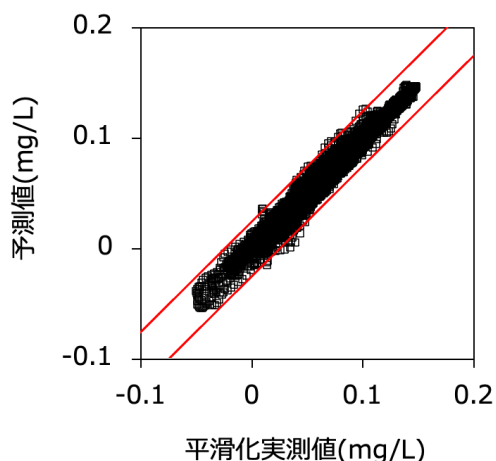


図 5 西谷-仏向モデルの精度：
（上）実測値と予測値の差、
（下）時系列変化

図 6 仏向-桜台小学校モデルの精度：
（上）実測値と予測値の差、
（下）時系列変化

残留塩素濃度が大きく変化する場合においても、高い精度で残留塩素濃度低減量を予測可能なモデル構築法の確立に成功した。

管理画面に表示された残留塩素濃度読取り結果の一例を図 7 に示す。目視による読み取りと比較した際の正答率は 97.5%であり、ビデオカメラによる撮影のみで、高精度に残留塩素濃度の数値を PC 入力することに成功した。2.5%の誤答を確認したところ、小数点を読み取れなかった場合と数値が検出できなかった場合に分別できた。これらの結果をもとに、誤答条件を補正するため

時刻	検出値	目視
2022/8/15 15:50	0.87	0.87
2022/8/15 15:55	0.87	0.87
2022/8/15 16:00	0.86	0.86
2022/8/15 16:05	88	0.88
2022/8/15 16:10	0.87	0.87
2022/8/15 16:15	0.87	0.87
2022/8/15 16:20	0.87	0.87
2022/8/15 16:25	0.87	0.87

図 7 文字認識の結果例

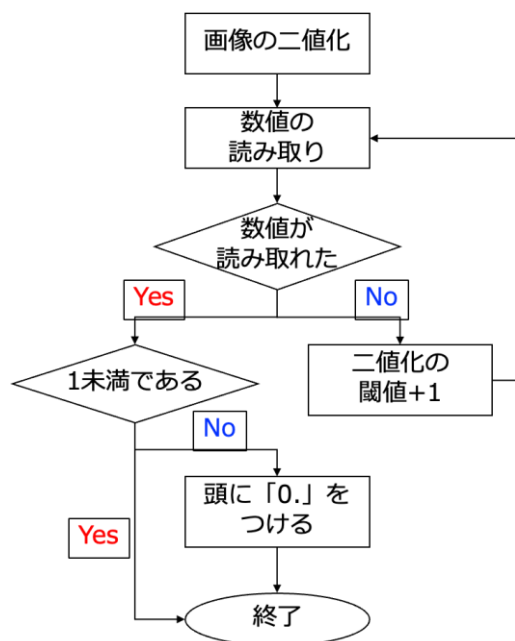


図 8 数値読取りアルゴリズム

のアルゴリズムを追加した結果 (図 8)、正答率 100%を達成した。これにより、浄水場の監視制御システムに介入することなく、各地点における残留塩素濃度の判別および PC (Excel) 入力が可能になった。

(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

改良した水質計を屋外の配水拠点に設置し (図 9)、性能検証を行った。水質計内への試料水の導入量は 1 計測当たり約 0.5 mL であり、余分の試料水はヘッドドレイン部から排水される。計測頻度は 15 分に 1 回とし、水質計からの元データは近距離無線にて同じボックス内に設置したゲートウェイに 0.1 秒間隔で送られ、波形データおよび信号処理アルゴリズムによって計算されたデータが、ゲートウェイから専用のクラウドに公衆ネットワーク回線経由でアップロードされるように設定した。なお、電力はボックス内に収まるサイズのバッテリーで賄った。

性能検証の結果、若干のデータ遅延が発生するものの、耐水性に問題なく連続して動作し、概ね安定して測定できることが確認された。試薬の消費量については、1 週間で全体の約 20%であった。

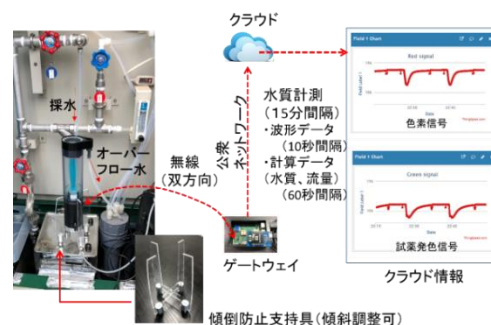


図 9 屋外計器ボックス内への実装の様子

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

① アンケートおよびヒアリング調査と課題抽出

1) 職員数

アンケート調査結果より水道事業従事職員数は給水人口が増加するにつれて多くなる傾向が確認できたことから、水道事業従事職員数と施設数や給水面積との関係を調べるため、アンケート調査を実施した事業体の給水面積等を令和2年度水道統計または簡易水道統計より抽出し、これらの関係性について確認した。その結果、水道事業従事職員数と施設数や給水面積との間に一定の関係性は確認できず、水道事業従事職員数は管理している施設数や給水面積によらず給水人口のみに依存していることが確認できた。施設数や給水面積に着目すると、中小規模事業体では大規模事業体と比べて少ない職員で広範かつ多数の施設を管理しなければならず、職員一人当たりの負担が大きくなっており、現状はどうか健全な水道事業運営を維持しているものの、水道事業従事職員数が今以上に減ることがあれば、水道事業運営に支障をきたす事業体も出てくる可能性もあるだろう。

2) 自動監視装置による連続測定

自動監視措置により濁度や残留塩素が連続測定されている理由の一つとして、濁度は「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」にて汚染のおそれがある水源を使用している浄水場については、「ろ過池等の濁度を0.1度以下に維持する」ことが、残留塩素は「水道法」により蛇口で検出される

残留塩素濃度を「0.1mg/L以上保持する」ことが義務付けられており、これらの基準を達成するためではないかと考えられた。また、これら項目は薬品注入率を調整することなどにより濃度管理を実施しているが、その対応は経験を有する職員に依存しており、知識を有する職員が退職した場合等には適切に対応できなくなる恐れがあった。

加えて、自動監視装置を導入していない事業体においては、異常時等において測定結果に基づいた迅速な判断が行えないなどの課題もあり、このような事業体において自動監視装置が導入された場合には、測定結果に基づいた迅速な判断が可能となり、より安全な水道水の供給が可能となると考えられた。

一方で、自動監視装置を導入している事業体においては、測定（蓄積）データを有効に活用できていない事業体も多く、蓄積データを有効に活用することで業務の効率化や最適な水運用による基盤強化を図ることができることを考慮すると、水道事業体にはノウハウを有する民間企業等と連携を図りながら、データを有効に活用していくことが期待されている。

3) 残留塩素濃度の測定および管理

多くの事業体で残留塩素濃度の測定は住民へ安価に委託していたが、中小規模事業体では地形的制約等から小規模な浄水場（給水区域）が点在している場合が多く、これら全ての箇所ですべて毎日検査を実施するとすると、1箇所当たりの委託料が安価であっても事業体当たりの委託料とすると多額の費用となり、負担が大きくなっていると考えられた。加えて、将来的な担い手不足を懸念

する事業体もあり、自動監視装置の導入はこの問題を解決する一手となると考えられるが、コスト的な制約から導入が進んでいないのが実情であり、このような事業体へ装置の導入を進めるためには、住民への委託料と同程度など非常に安価な装置の開発が求められていると考えられた。

また、残留塩素濃度については各事業体苦勞しながら管理しており、中には連続監視装置がないため塩素注入が適切にできているか即座に確認できない等の課題を抱えている事業体もあったが、このような事業体において自動監視装置の導入が進めば、これら課題も解決でき、更には塩素注入量の適正化も図られる、すなわち、装置を導入することでより安全かつ経済的な配水運用が可能となり、水道事業の基盤強化につながると考えられた。

②既存・将来技術の文献調査と課題抽出

水道水源を対象とした事例として、水源の水質監視、とりわけ、藍藻類および関連指標を対象とした検討が数多く報告されていた。Almuhtaram らが提案した水源水域における藍藻類監視手法のうち、段階③：藍藻毒の直接的な検出はできないものの、段階①：微生物活性指標のうち透明度・色度・濁度・クロロフィル a、段階②藍藻類のうちフィコシアニンリモートセンシングによる測定が可能であり、機械学習やモデリング等と組み合わせることで、藍藻類増殖の予知や早期検出を可能にすると考えられた。

人工衛星に限らず有人・無人航空機やドローン等の様々なプラットフォームを活用し、水道管路や開水路等の漏水調査、地下埋設物の存在調査、水源水域における監視

等が行われていた。各プラットフォームと対象物との距離が近いほど、得られる画像情報の解像度は高くなるものの、調査範囲は狭くなるため、調査目的や対象の規模に応じて、適切なプラットフォームならびに使用可能なセンサーを選択することが重要と考えられた。

なお、Arsenio らによる調査研究では、人工衛星に搭載された合成開口レーダ(SAR)画像を用いた干渉 SAR(InSAR)解析により、年間数ミリ程度の地表面の変位が検出可能であるとした。GPS 技術によっても、同程度の精度による調査が可能との報告もあり、広範囲にわたって高精度の調査を可能とする、リモートセンシング技術のさらなる進展が注目される。

(2) 連続測定が可能な水質指標の特定と測定手法の開発

実浄水場における腐食性物質に対応するコンポーネントの測定結果より、水道事業体では有機物の指標とし連続的に測定している E260 や TOC では捉えることのできない水質的な変化や浄水処理性を捉えることができ、降雨時の浄水処理が適切に実施されていることが示された。また、このコンポーネントは晴天時における pH の日周変動や降雨初期における電気伝導率とも連動しており、これまで水道原水の監視で連続モニタリングが行われている濁度、電気伝導率、pH、UV-Vis 等では把握できない有機物の評価が可能で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

構築した仏向-桜台小学校モデルは西谷-

仏向モデルよりもわずかに平均誤差値が高かった。これは、仏向-桜台小学校モデルが西谷-仏向モデルで算出された予測値を用いて将来の残留塩素低減量を予測しているため、西谷-仏向モデルの誤差が続く仏向-桜台小学校モデルに影響を与えたものと推測する。このことから、モデルを連立する際には、前段モデルの予測精度が後段モデルの結果に影響を及ぼすことを念頭に、前段モデルの予測精度に配慮する必要性が示された。

また、相模原浄水場から西谷給水地点および仏向配水池を經由し、桜台小学校まで配水される配水系の残留塩素低減量予測モデルが構築できたことから、大規模な給水管路に加えて、より複雑かつ小規模な樹状配管網であっても、高精度の予測モデルを構築できる可能性が示された。

構築したモデルは、Excelでも計算することが可能である。ビデオカメラによる撮影により、浄水場の監視制御システムに介入することなく、残留塩素濃度の数値をPC (Excel)に入力が可能になったことから、ビデオカメラとExcelがあれば、画面から数値を判別・入力し、残留塩素濃度低減量の予測値を表示するシステムが安価かつ簡単に構築できるようになったと言える。

(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

実用的かつ経済的なデータ活用方法およびそれに対応した水質計の仕様について考察・提案する。耐水性や堅牢性等を付与した水質計本体の製作コストは20~30千円であり、使用にはこれに加えてゲートウェイ

の約10千円が追加される。フィールドに設置した場合のランニングコストは水質測定時間間隔等により異なるが、測定間隔が短くなるほど試薬の交換頻度が高まるため、コストも上昇することとなる(表2)。

一例として、60分間隔で水質計測を行う場合、試薬バックの交換は4ヶ月に1回で年間600円程度、データ管理コストは年間6,000円程度となる。

研究(1)における調査結果より、現行の水道末端での手分析による水質監視の代替として、コストが見合えば自動計測のニーズがあることが明らかとなった。本水質計および通信系を用い、測定時間間隔を60分程度、データ仕様を水質推定値のみとすることで手分析の代替となるコスト競争力のある提案が可能となると考えられた。

表2 システム仕様とコスト算定

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

¹⁾ フィールド実験での試薬消費量から算定

^{*} 試薬コスト: 200円/バックと想定

[§] 商用IoTプラットフォーム: 0.003円/messageを想定

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

① アンケートおよびヒアリング調査と課題抽出

給水人口10万人未満の中小規模事業者を対象に実施したアンケートおよびヒアリング調査結果より、水道事業従事職員数は給水人口規模に依存しており、中小規模事

業体では少ない職員で多岐にわたる業務を実施しなければならず、1人当たりの業務負荷が大きい状況が確認できた。これらの事業体では、現状の職員数でどうにか健全な水道事業運営を維持している状況にあり、将来的に水道事業従事職員が減ることがあれば、水道事業運営に支障をきたすおそれがあると考えられた。

AI等により自動監視装置による連続測定データを活用することでヒトに関する課題を解決しつつ、業務の効率化や最適な水運用等による基盤強化が図られることが期待されるが、中小規模事業体の中にはデータを有効に活用できていない事業体もあり、このような事業体においてはノウハウを有する民間企業等と連携しデータの活用を図っていくことが重要となるだろう。

残留塩素濃度測定に関しては、各事業体で様々な課題を抱えているものの、コスト・地理的制約から給水末端への自動監視装置の導入が進んでいないのが実情であった。特に、コスト面では住民への委託料と同程度であれば自動監視装置の導入を考えると事業体も多く、非常に安価な装置の開発が求められていた。仮に、より安価な自動監視装置の開発が進み、これら事業体において自動監視装置の導入が進めば、塩素注入量の適正化が図られるなど、より安全かつ経済的な配水運用が可能となり、ひいては水道事業の基盤強化へつながると考えられた。

②既存・将来技術の文献調査と課題抽出

海外の文献調査に基づき、水道水源および水道施設等におけるリモートセンシング技術やドローン技術の利活用状況について

最新動向を把握し、課題点を抽出した。人工衛星やドローン等のプラットフォームを用いたセンシングならびに画像解析技術の活用により、広域或いは到達が困難な箇所における水源水質の把握や漏水検出等が従来よりも短期間、省コストかつ省力的に実現できる可能性があり、水道の基盤強化を支える技術郡の一つとして活用することが望ましいと考えられた。一方、リモートセンシングに用いられるセンサーやプラットフォームは多種多様であるため、調査目的や対象規模に即した、適切な選択が重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

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三次元蛍光分析に着目し、文献調査、実測調査を実施した。文献調査より水分野において三次元分析を利用した研究は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、汎用性の高い分析手法として利用されていることが示された。また、実測調査の結果、これまで多くの水道事業体が連続的に測定している水質項目では評価できない有機物や水質変化を評価できる可能性が示唆され、連続的なモニタリング項目として有用であると考えられた。一方で、装置が高価であること、解析に多くのデータが必要なことや解析が煩雑であるなどの課題もあり、特に国内の水分野では海外と比べて普及が進んでいないことからコスト低減や解析を簡便に実施できるツールの開発等が課題と考えられた。

(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

本研究では、時系列データ解析モデルである LSTM を用いて、末端配水地点における 6 時間後の残留塩素濃度を予測するモデル構築手法について紹介した。極めて高精度のモデルが構築出来ることから、予測結果をもとにした浄水場出口における自律塩素添加制御システムの構築も実現可能と考える。

一方で、モデルの感度分析によって、未学習のトレンドデータが入力された際に、著しく予測精度が低下することも明らかになっている。また、管内滞留時間に周期性が存在しない場合にも、モデル構築が難しいことを確認している。これらの課題には、残留塩素濃度だけでなく、流量や管内圧力などのデータを入力値として利用することで、より複雑な事象に対しても対応可能なロバストなモデル構築が可能になると考える。

本研究において、PC 上の監視データを Excel に転送・入力し、6 時間後の残留塩素濃度を出力するシステムを構築した。安価な小型残留塩素濃度計と組み合わせることで、比較的小規模な浄水場でも自律塩素添加制御システムを構築できると考える (図 10)。

(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令和 4 年度は、令和 3 年度に試作した簡素な水質計の更なる改良を進めるとともに、配水拠点に設置し、性能検証を行った。また、それらの知見を基に、実用的かつ経済的なデータ活用方法およびそれに対応した水質センサーの仕様の提示を行った。

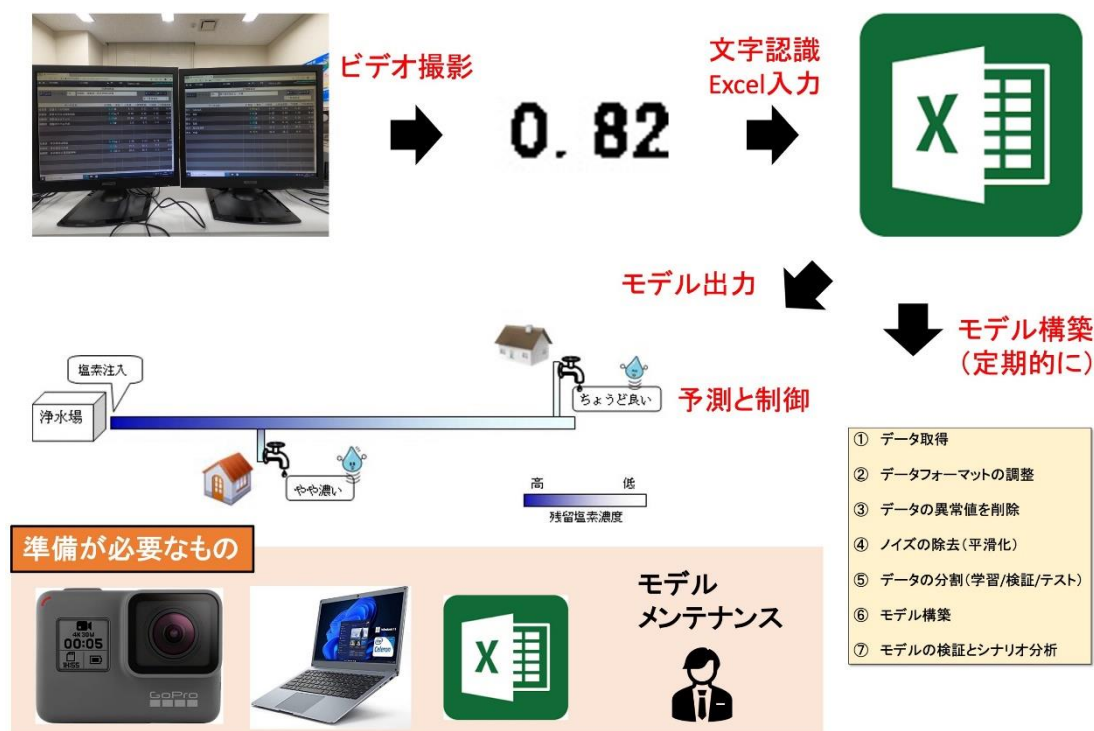


図 10 本研究の実用化イメージ

F. 健康危険情報

特になし

G. 研究発表

1. 論文発表

1) 山下 玲菜, 丸林 拓也, 横井 貴大, 市川 学, 島崎 大, 清塚 雅彦, 水質自動監視装置に関する課題と水質測定データ利活用の可能性, 日本水道協会令和四年度全国会議 (水道研究発表会), 2023/10/19-2023/10/21.

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

2. 学会発表

1) Masayuki Kawakami, Toshihiro Kasama, Tomomi Sato, Madoka Takai, Daisaku Yano, Hidekatsu Tazawa, Kaito Maehara, Hiroshi Murakami and Ryo Miyake, "SIMPLE AND SMART FLOW INJECTION TYPE WATER QUALITY METER DRIVEN BY BRILLIANT COLORED REA-GENT", Proc. Of Transducers 2023, Kyoto, June 2023(accepted)

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

給水人口 10 万人未満の中小規模事業体を対象に自動監視装置を用いた水質管理の実態把握と残留塩素の測定についての現状及び課題の把握を目的に、アンケート及びヒアリング調査を実施した。その結果、水道事業従事職員数は給水人口規模に依存しており、中小規模事業体では多岐にわたる業務を少ない職員で実施しなければならない状況にあることが確認できた。濁度や残留塩素といった水質項目については、中小規模事業体においても自動監視装置が導入されていたが、測定データを有効に活用できていない事業体が多く、民間企業等と連携しながら AI 等を用いてこれらのデータを活用することによりヒトに関する課題を解決しつつ、水道事業の基盤強化を図っていくことが期待されている。また、残留塩素濃度測定に関しては、各事業体で様々な課題を抱えていたものの、コスト・地理的制約から給水末端への自動監視装置導入は進んでおらず、半数以上の事業体で残留塩素濃度の測定は住民へ安価に委託することで実施していた。より安価な自動監視装置導入が開発され、多くの事業体で自動監視装置が導入されるようになれば、塩素注入量の適正化が図られるなど、これまで以上に安全かつ経済的な配水運用が可能となり、水道の基盤強化へつながるだろう。

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等の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。しかしながら、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 年度及び 3 年度には全国の大規模

事業体（給水人口 10 万人以上）を対象にアンケート及びヒアリング調査を、自動監視装置製造企業を対象にヒアリング調査を実施し、自動監視装置を用いた水質管理の実態把握と水質データの利活用についての現状及び課題を明らかにした。

その結果、濁度、pH や残留塩素は連続測定している事業体が多いこと、残留塩素については、水温変化や到達日数の違いにより管理に苦勞していること、自動監視装置導入にはコスト、維持管理性や精度が課題となっていることなどが確認できた。これらの結果は、大規模事業体を対象にしたも

のであり、中小規模事業体においては、さらに深刻な状況にあると考えられた。

そこで、令和4年度は給水人口10万人未満の中小規模事業体を対象に、自動監視装置を用いた水質管理の実態把握と残留塩素濃度測定についての現状及び課題の把握を目的として、アンケート及びヒアリング調査を実施した。

B. 研究方法

(1) アンケート調査

日本全国の水道事業体のうち、給水人口10万人未満の60事業体を対象にアンケート調査を実施した。アンケートは回答期間を令和4年8月30日(火)～9月22日(木)として電子データで作成し、メールにて送付することで実施し、30事業体から回答を得た(回収率50%)。

アンケート調査項目は、職員数、自動監視装置の導入、残留塩素濃度測定という3つの視点から、下記の質問を実施した。

- 1) 水道事業従事職員数について
 - ・水道事業従事職員数、水質に係る職員数
- 2) 連続測定している水質項目について
 - ・自動監視装置により連続測定を実施している水質項目とその課題
 - ・測定した結果の利活用事例
- 3) 残留塩素の測定について
 - ・給水末端における残留塩素濃度の測定頻度及びその方法(毎日検査・定期検査)
 - ・給水末端における残留塩素濃度の管理目標値
 - ・残留塩素濃度の測定地点及び測定地点の選定方法
 - ・測定した残留塩素濃度データの保存形態と保存期間(毎日検査)

- ・残留塩素濃度管理について苦勞している点や課題
- ・連続測定装置導入時のコストやスペースの希望

(2) ヒアリング調査

アンケート調査にて回答のあった30事業体のうち7事業体に対し、令和4年12月から令和5年1月にかけてヒアリング調査を対面式で実施した。この7事業体は、アンケート調査時点で対面にてヒアリング可能と回答のあった事業体の中から、事業体規模や浄水処理方式等を考慮して選択した。ヒアリングは、アンケート内容を中心に、自動監視装置の導入状況や要望、水質管理に関して抱えている課題や残留塩素濃度管理方法等について、中小規模独自の課題を抽出することを目的として実施した。

C. 調査結果

(1) 職員数について

水道事業従事職員数は給水人口が増加するにつれて多くなる傾向が確認できたものの、水質に係る職員数と給水人口や水道事業従事職員数との間に一定の傾向は確認できなかった(図1)。水質に係る職員数が1名という事業体も存在しており、限られた職員の中で安全な水を供給するために尽力している状況が確認できた。このような水道事業従事職員数が少ない中小規模事業体では、水質管理から工事や緊急時対応に至るまで多岐にわたる業務を若干名で行わなければならない傾向にあり、常時から人員に余裕はなく、緊急時等人員が不足する際には、他係・課に応援を要請するなどして対応しているとのことであった。

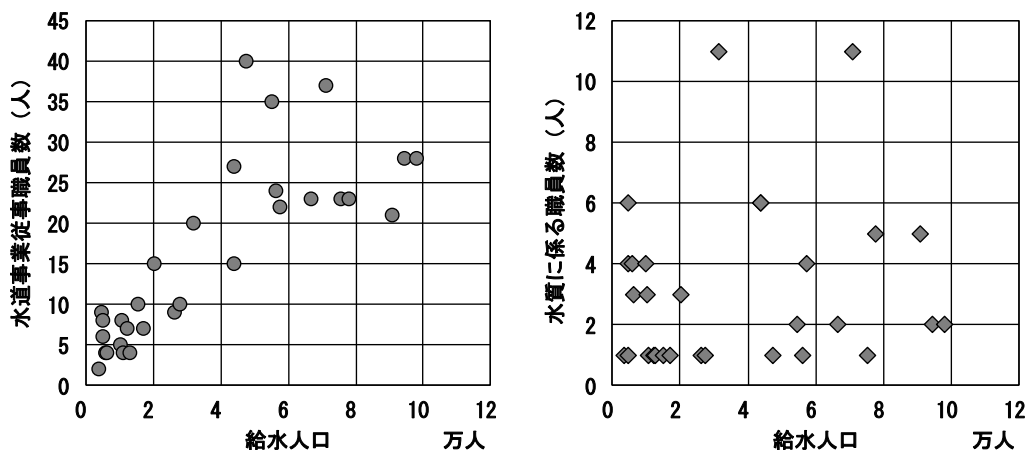


図 1 給水人口と水道事業従事職員数又は水質に係る職員数の関係

(2)連続測定している水質項目について

自動監視装置を導入しているといずれかの事業体において回答のあった水質項目は、水温、色度、濁度、pH、アルカリ度、電気伝導度、紫外線吸光度、油分及び残留塩素の9項目であり、特に原水では濁度が、浄水では濁度、残留塩素が多く測定されていた(表1)。残留塩素については、配水システムの末端に装置を導入している事業体もあったが、コスト的制約から複数地点に装置を導入することは難しく、多くの事業体では追塩している施設など残留塩素濃度が低下する地点や維持またはリスク管理上必要と考えられる地点への導入に限られていた。

表 1 自動監視装置により連続測定されていた水質項目

	原水	処理水	給水	合計
水温	3	0	4	7
色度	1	0	8	9
濁度	20	4	23	47
pH	9	3	18	30
アルカリ度	4	1	0	5
電気伝導度	3	0	0	3
紫外線吸光度	0	0	2	2
油分	1	0	0	1
残留塩素	1	4	27	32
合計	42	12	82	136

原水、処理工程水、給配水における測定項目平均値はそれぞれ、1.4、0.4、2.7であり給配水における測定項目数が最も多かった(図2)。ヒアリングより、自動監視装置は測定項目の種類や設置されている場所によらず、水質監視や管理のために導入されており、これらの装置は維持管理上または浄水場の運転管理のために重要な計器と考えられていることが確認できた。

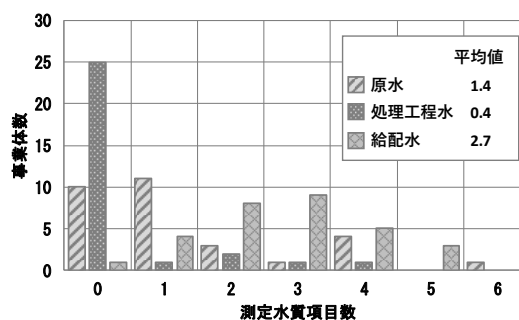


図 2 測定場所毎の自動監視装置による測定水質項目数

残留塩素、濁度、アルカリ度やpHなどの連続測定した水質測定結果は、次亜塩素酸ナトリウム注入量の決定や凝集剤等の薬品注入率の決定、浄水処理方法の変更等に活用されていた(図3)。ヒアリングより、濁

度については、「浄水場の処理可能範囲内（100度程度）であれば、薬品注入量を増加させることで対応しているが、処理可能範囲外となった場合には取水を停止しており、取水停止の判断には、濁度の他、pHやアルカリ度の測定結果を活用している」という回答や、「緩速ろ過施設においては、濁度が10度以上となると取水を停止する」との回答が得られており、取水停止の判断にも活用されていた。また、連続測定計器で測定したデータは自動でサーバー上に保存されるため、保存期間を定めずサーバー上に蓄積している事業者が多かったが、これら蓄積データを有効に活用している事業者は限られており、データを蓄積するのみにとどまっていた。

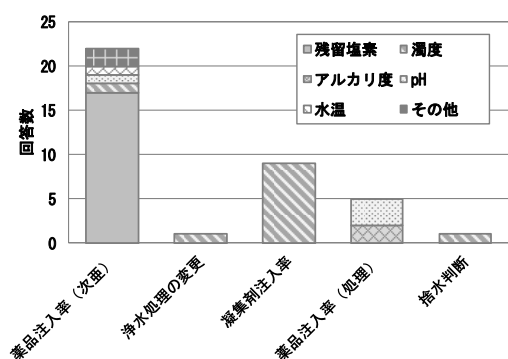


図3 連続測定した水質結果の活用方法

給水末端へ自動監視装置を導入したいと考えている事業者は多かったが、スペースの確保や導入コストが妨げとなり導入に至っていないとのことであった。加えて、装置導入後には、メンテナンス負荷（コスト）も増加するため導入に踏み切れないという回答もあり、中小規模事業者においては、装置の導入コストに加えメンテナンスコストも導入の妨げとなっていることが確認できた。自動監視装置の維持管理については、保守

点検を1～2年に1回メーカーに依頼しており、負担には感じていないと回答した事業者が多かった一方で、保守点検に係る費用を負担に感じている事業者がいることが確認できた。

(3) 残留塩素濃度の測定及び管理について

給水末端における残留塩素濃度の測定形態としては、住民等への個人委託を行っている事業者が16事業者（53%）と最も多く、自動監視装置により常時測定していると回答のあった事業者は4事業者（13%）に留まっていた（図4）。ヒアリング調査より、個人へは1,600円～4,000円/月で1日1回DPD試薬を用いた検査（比色法または機械による測定）を依頼していること、不在時には欠測が生じる場合もあること、委託先は高齢の方が多く、将来の担い手不足を懸念していることなどが確認できた。

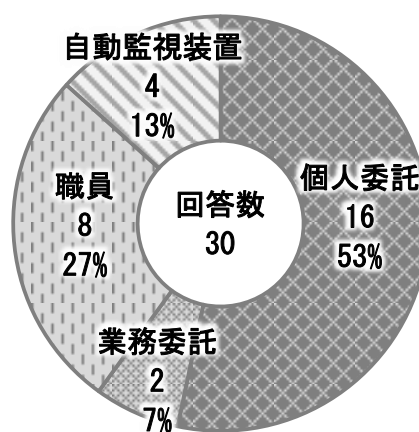


図4 給水末端における残留塩素濃度の測定形態

報告項目については、残留塩素濃度のほかに測定時間、水温や気温等の報告を依頼している事業者もあった一方で、委託先の負担軽減のために残留塩素の測定結果のみとしている事業者もあった。また、検査時

間については、明確には定めていないものの、炊事等により一定量の水を使用した後の測定を依頼していた。残留塩素濃度の測定を個人委託している事業体における測定結果の報告は、多くの事業体で異常時は即時報告、それ以外は月1回紙ベースでの報告としており、給水末端での残留塩素濃度管理目標値は水道法で定められている残留塩素濃度(0.1mg/L)以上としている事業体が約半数を占めていた(図5)。即時報告が必要となる異常としては、残留塩素濃度が0.1mg/L以下や0.15mg/L以下となった場合が挙げられ、このような場合には電話にて連絡をもらうようにしているとのことであり、連絡を受けた際には、塩素注入量の調整や捨水を行うことで残留塩素濃度を管理しているとのことであった。なお、毎日検査の測定(報告)結果は、多くの事業体で紙または電子データベースで5年または10年間保存されていた(図6)。

残留塩素濃度管理については、多くの事業体で気温上昇に伴う残留塩素濃度の低下・不足を課題と捉えており、浄水場等での

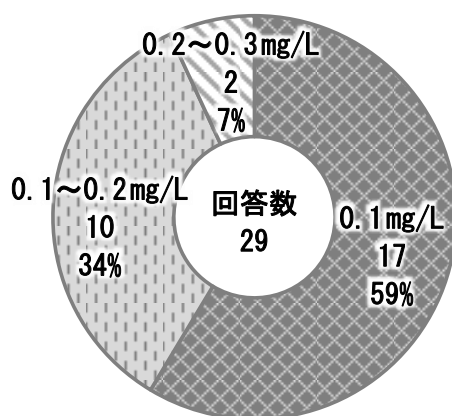


図5 給水末端での残留塩素濃度目標値

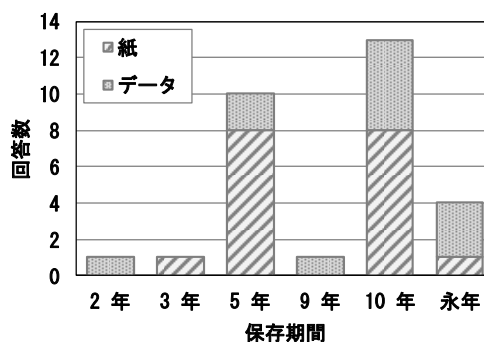


図6 給水末端における残留塩素測定結果の保存媒体と保存期間

塩素注入量を増加させたり、捨水を実施したりすることにより対応していた。このほか、使用水量減少に伴う残留塩素濃度の低下を課題としている事業体もあったが、ヒアリング調査にて使用水量に関し給水末端までの到達時間について把握しているか確認したところ、経験則や配水管の延長と口径により推定していると回答した事業体もあったが、多くの事業体では使用水量等の把握が難しく到達時間は把握していないとの回答であった。加えて、ヒアリングを行った事業体の中には、必要最低限0.5~1m³/h程度で常時捨水を行っているが、それでもなお残留塩素濃度が低下してしまうと回答した事業体もあり、中小規模事業体において残留塩素濃度を管理することの難しさが明らかとなった。

残留塩素濃度の自動監視装置導入については、装置の導入により採水に係る時間がカットできるや事故発生時の早期対応ができるようになる等の意見、残留塩素濃度の測定装置よりも追塩設備が欲しいや追塩設備と残留塩素濃度の測定装置を一体化してほしいとの要望が確認できた。残留塩素濃度の自動監視装置を導入するとした場合に事業体が考える導入可能なコスト及び設置スペースは、すべての事業体においてコス

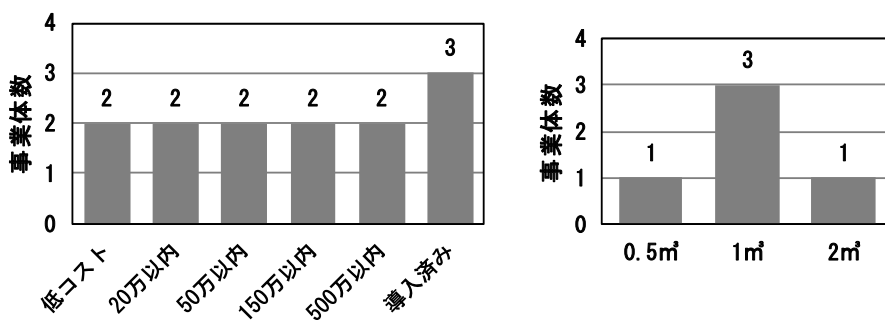


図 7 自動監視装置導入時のコスト及び設置スペースに関する要望

トは 500 万円以内、スペースは 2m³ 以内との回答であった (図 7)。また、コストについては、個人委託と同程度 (例えば、5 年償却として 20 万円程度) であれば導入可能との意見もあり、安価であるに越したことはないが、導入コストが数十万円程度かつ 2m³ 以内であれば導入できる可能性があることが示唆された。しかしながら、連続測定装置については維持管理費用や定期的なメンテナンスも必要となるため、導入にあたっては導入コストに加え、メンテナンス負荷や維持管理費用等についても考慮する必要があると考えられた。

D. 考察

(1) 職員数について

アンケート調査結果より水道事業従事職員数は給水人口が増加するにつれて多くなる傾向が確認できた。そこで、水道事業従事職員数と施設数や給水面積との関係を調べるため、アンケート調査を実施した事業体の令和 2 年度における水道事業従事職員数、給水人口、浄水場数及び配水池数 (以下、施設数と表記。) と給水面積を水道統計^[1]及び簡易水道統計^[2]より抽出し、これらの間の関係性について確認した。その結果、アンケート調査及び統計データの結果から、中小規模事業体における水道事業従事職員数は

給水人口の増加に伴って増加する傾向にあることが確認できた一方で、管理する施設数や給水面積と水道事業従事職員数との間に一定の関係性は確認できなかった (図 8)。

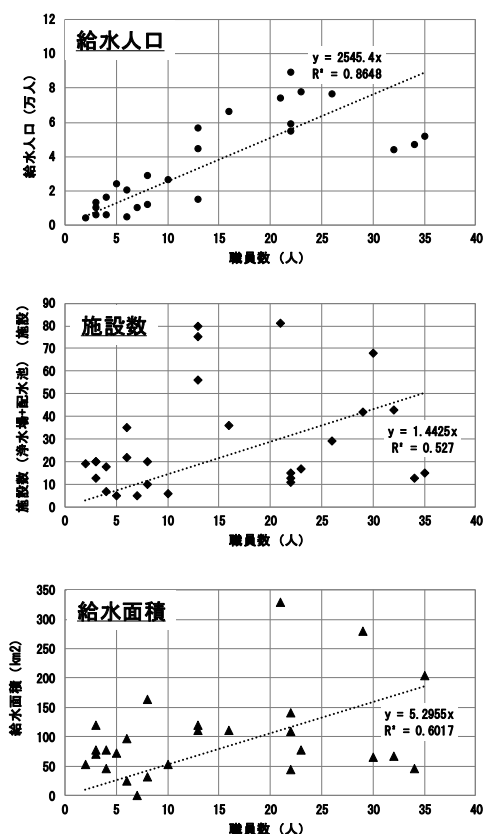


図 8 水道事業従事職員数との関係
(上：給水人口、中：施設数、下：給水面積)

これは、水道事業従事職員数が管理している施設数や給水面積によらず、給水人口のみに依存していることを示している。水

道事業従事職員は地方公共団体の定員数の内数として設定されている場合が多く、地方公共団体の定員数が人口や面積等の指標を用いた多重回帰分析等により管理されている^[3]ために施設数や給水面積ではなく給水人口に依存した職員数になっていると推察される。施設数や給水面積に着目すると、水道事業従事職員 1 人当たりの施設数は、既往研究^[4]にてアンケート調査を実施した大規模事業体では 0.5 施設/人であるのに対し、中小規模事業体では 2.9 施設/人と約 6 倍の差があること、水道事業従事職員 1 人当たりの給水面積については、大規模事業体では 1.3km²/人であるのに対し、中小規模事業体では 13.4km²/人と約 10 倍の差があることが確認でき(表 2)、中小規模の事業体では大規模の事業体と比べて少ない職員で広範かつ多数の施設を管理しなければならないことが示された。中小規模の事業体では日常的に水質管理や工事管理等多岐にわたる業務を少人数で実施しなければならない現状に加えて、1 人あたりの担当範囲(業務負担)が広く負荷が大きくなっており、現状はどうか健全な水道事業運営を維持しているものの、前述した考えに基づき水道事業従事職員数が今以上に減ることがあれば、水道事業運営に支障をきたす事業体も出てくることだろう。

表 2 職員一人当たりの施設数
または給水面積

	職員1人当たりの		平均値		
	施設数 (施設/人)	給水面積 (km ² /人)	職員数	施設数	給水面積
大規模事業体	0.5	1.3	447	102	369
中小規模事業体	2.9	13.4	15	28	100
差	5.8倍	10.3倍			

※職員一人当たりの数値は対象事業体算出値を平均しているため、表に示す平均値から算出した値とは一致しない。

(2)連続測定している水質項目について

自動監視装置により多くの中小規模事業体が連続測定していた水質項目は濁度、pH 及び残留塩素であり、測定結果が薬品(凝集剤や次亜塩素酸ナトリウム等)注入率の決定に活用されるなど、浄水場の運転管理上重要な項目であった。これらの項目が連続測定されている理由としては、上記に加え、濁度は「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」にて汚染のおそれがある水源を使用している浄水場については、「ろ過池等の濁度を 0.1 度以下に維持する」ことが、残留塩素は「水道法」により蛇口で検出される残留塩素濃度を「0.1mg/L 以上保持する」ことが義務付けられており、これらの基準を達成するためではないかと考えられた。これは、給配水における自動監視装置導入数が原水や処理水の導入数と比べて多く、そのほとんどが濁度や残留塩素で占められていることから推察できる。

濁度及び残留塩素に着目し、これらの課題について整理したところ、降雨による濁度上昇を課題と捉えている事業体が多く、降雨時にはこれまでの経験則に基づき測定結果を活用しながら薬品注入率の調整や取水停止の判断などの対応を行っていたが、これらの対応は経験を有する職員に依存しており、知識を有した職員が退職した場合等には適切に対応できなくなると考えられた。加えて、中小規模事業体の中には水源水質が良好なことを前提として施設を設計しており、既存の施設では突発的な水源水質の悪化に対応しきれない事業体も存在する。このような事業体においては、処理可能範囲外の高濁度原水が流入した際の浄水処理障害やその後の復旧等を考慮すると、早期

に取水停止の判断を下し原水の流入を防ぐことが望ましい⁵⁾と考えられるが、水源水質が良好なため原水に濁度の自動監視装置を導入していない事業体も多く、測定結果に基づいた迅速な判断が行えないことも課題となっていた。仮にこのような事業体に自動監視装置が導入された場合には、測定値が一定値を超えた場合に取水を停止するなど、測定結果に基づいた迅速な判断が可能となり、より安全な水道水の供給が可能となると考えられた。また、現状、自動監視装置を導入しているものの、測定（蓄積）データを有効に活用できていない事業体も多く存在するが、水道事業においては、これらデータを活用することによる業務の効率化や最適な水運用等により基盤強化を図ることが求められていることを考慮すると、ノウハウを有する民間企業等と連携を図りながら、データを有効に活用していくことが期待されている。

自動監視装置の維持管理については、「水道施設の点検を含む維持・修繕の実施に関するガイドライン」（令和元年9月、厚生労働省）では、「水質計器を含む計装設備は温度・湿度・ほこり等の環境条件に影響されやすいなどの特徴を有しており、水道施設の円滑な管理を維持するためには日常的または計画的な点検により機能を維持していくことが重要であり、点検頻度は、動作環境、機器の使用、使用条件等を考慮して決定する」とされている。また、水道維持管理指針2016（日本水道協会）では、計装設備における定期点検の実施頻度は「1年に1回程度」と例示されており、実際の点検頻度はこれと同程度であり、適切に管理されているものと考えられた。しかしながら、定期点検に

係る費用は、中小規模事業体では大きな負担となるため、今後も適切な資産管理を進める観点から、水源水質や機器の動作環境等に応じて適切な頻度で点検を実施していくことが重要である。

(3) 残留塩素濃度の測定及び管理について

多くの事業体で残留塩素濃度の自動監視装置が導入されていたにもかかわらず、自動監視装置にて給水末端における残留塩素濃度測定を実施している事業体が限られていたのは、給水末端への自動監視装置の導入がコスト・地理的制約から維持またはリスク管理上必要と考えられる地点などに限定されているためと考えられた。半数以上の事業体が住民へ安価に委託していたが、中小規模事業体では地形的制約等から小規模な浄水場（給水区域）が点在している場合が多く、これら全ての箇所毎日検査を実施する必要があるため、1箇所あたりの委託料が安価であっても事業体あたりの委託料とすると多額の費用となり、負担が大きくなっていると考えられた。加えて、将来的な担い手不足を懸念する事業体もあり、自動監視装置の導入はこの問題を解決する一手となると考えられるが、コスト等の制約から導入が進んでいないのが実情であった。ヒアリング結果からも確認できるように、このような事業体へ装置の導入を進めるためには、住民への委託料と同程度など非常に安価な装置の開発が求められていると考えられた。

残留塩素濃度については各事業体苦勞しながら管理していたが、中には使用水量が少ないため滞留時間を把握できないや、連続監視装置がないため塩素注入量を調整し

でも適切に注入できているか即座に確認できない等の課題を抱えている事業者もあり、このような事業者において自動監視装置の導入が進めば、これら課題も解決でき、更には塩素注入量の適正化も図られる、すなわち、装置を導入することでより安全かつ経済的な配水運用が可能となり、水道事業の基盤強化につながると考えられた。

E. 結論

給水人口 10 万人未満の中小規模事業者を対象に自動監視装置を用いた水質管理の実態把握と残留塩素の測定についての現状及び課題の把握を目的に、アンケート及びヒアリング調査を実施した。

その結果、水道事業従事職員数は給水人口規模に依存しており、中小規模事業者では少ない職員で多岐にわたる業務を実施しなければならず、1人当たりの業務負荷が大きくなっていることが確認できた。これらの事業者では、現状の職員数でどうにか健全な水道事業運営を維持している状況にあり、将来的に水道事業従事職員が減ることがあれば、水道事業運営に支障をきたすおそれがあると考えられた。AI等により自動監視装置による連続測定データを活用することでヒトに関する課題を解決しつつ、業務の効率化や最適な水運用等による基盤強化が図られることが期待されるが、中小規模事業者の中にはデータを有効に活用できていない事業者もあり、このような事業者においてはノウハウを有する民間企業等と連携しデータの活用を図っていくことが重要となるだろう。

自動監視装置を導入する際には、コストに加えメンテナンス負荷も重要な項目とな

る。装置を適切に使用するためには定期的な点検が必須となるが、中小規模事業者では定期点検に係る費用が大きな負担となっていることから、水源水質や機器の動作環境等を考慮しながら各事業者の実情に応じた点検を実施し、機能を維持していくことが重要である。

残留塩素濃度測定に関しては、各事業者で様々な課題を抱えているものの、コスト・地理的制約から給水末端への自動監視装置の導入が進んでいないのが実情である。より安価な自動監視装置の開発が進み、これら事業者において自動監視装置の導入が進めば、塩素注入量の適正化が図られるなど、より安全かつ経済的な配水運用が可能となり、ひいては水道事業の基盤強化へつながるだろう。

参考文献等

- [1]令和2年度 水道統計 [施設・業務編] (第103号)、公益財団法人 日本水道協会
- [2]全国簡易水道統計 (令和2年度) (令和2年4月1日～令和3年3月31日)、全国簡易水道協会、令和4年6月発行
- [3]地方公共団体における適正な定員管理の推進について(第10次定員モデル 一般市・町村分)、平成31年3月、地方公共団体定員管理研究会 報告書
- [4]市川学、厚生労働科学研究費補助金(健康安全・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)
- [5]高濁度原水への対応の手引き、平成26年6月、公益財団法人 水道技術研究センター

F. 研究発表

1. 論文発表

(該当なし)

2. 学会発表

1) 山下 玲菜, 丸林 拓也, 横井 貴大, 市川 学, 島崎 大, 清塚 雅彦, 水質自動監視装置に関する課題と水質測定データ利活用の可能性, 日本水道協会令和四年度全国会議 (水道研究発表会) , 2023/10/19-2023/10/21.

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)

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

水質管理等の強化に関する既存技術および将来技術の文献調査と課題抽出

研究分担者 国立保健医療科学院 島崎 大

研究要旨

海外の文献調査に基づき、水道水源および水道施設等におけるリモートセンシング技術やドローン技術の利活用状況について最新動向を把握し、課題点を抽出した。人工衛星やドローン等のプラットフォームを用いたセンシングならびに画像解析技術が、水源水域においては藍藻類の監視や増殖の予測、高濁水の発生につながる土壌流出の可能性が高い地域の抽出等に、水道施設においては水道管路等の漏水検知や地下埋設物の調査等に、それぞれ活用されていた。当技術により、広域あるいは到達困難な箇所における水源水質の把握や漏水検出等が、従来よりも短期間、省コストかつ省力的に実現できる可能性があり、今後の水道の基盤強化を支える技術群の一つとして活用することが望ましいと考えられた。

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、人工衛星やドローン等による撮影画像を活用した広域リモートセンシング技術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

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）を用い、下記キーワードにて文献検索を実施した。

- ①水道水源 リモートセンシング：
drinking AND water AND source AND remote AND sensing
- ②水道管 リモートセンシング：
water AND pipe and AND remote AND sensing
- ③水道水 ドローン
drinking AND water AND {UAV OR UAS}
NOT arsenic

ヒットした 307 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、64 文献を選定した。その内訳は以下の通りであった。

- ①水道水源・リモートセンシング：49 文献
- ②水道管・リモートセンシング：11 文献
- ③水道水・ドローン：4 件

C. 調査結果

(1)水道水源におけるリモートセンシング技術の利活用

i)藍藻類および関連指標の監視

水道水源における藍藻類の増殖は、藍藻類によるかび臭原因物質等の放出により浄水中の異臭味を生じるだけでなく、藍藻毒による健康影響の面からも、諸外国で懸案となっている。藍藻類を対象とした研究例が数多くみられた(1-21)。リモートセンシングの手法として、クロロフィル a (葉緑体) やフィコシアニン(色素タンパク)といった藍藻類の代替指標となる化学物質を対象としていた。

また、藍藻類の増殖に関わる因子の一つである、窒素やリンといった栄養塩類を対象とした適用事例が報告されていた(22-25)。そのうち、Song らの研究では、水道水源である米国モース貯水池の栄養塩濃度を現場測定データならびに航空機から観測した多波長スペクトルデータより推定、各測定データを、遺伝的アルゴリズム部分最小二乗法を用いたモデル式に適用し、全窒素及び全リン濃度と関連付けた。実測値との間に高い相関が確認され、これらの結果に基づいて、モース貯水池における栄養塩の分布と濃度を測定することができるとした。クロロフィル a 濃度、懸濁物質と、リモートセンサーで評価された各栄養塩との相関が認められたことより、栄養塩が藻類増殖のトリガーとなっている各貯水池において、当手法が適用できると結論づけた(25)。

Almuhtaram らは、水源水域の藍藻類監視および早期警戒手法に関するレビューを行うと共に、以下の3段階の手法ならびに早期警戒システムにおけるマルチバリア手法の導入を提案した(26)。

段階①：水源水域における微生物活性監視

指標：透明度・色度・濁度・クロロフィル a・ATP 等

手法：目視・ドローン・濁度計・透明度計・色度計・蛍光分光計・ATP測定装置 等

段階②：藍藻類の直接的な確認

指標：藍藻類・フィコシアニン

手法：顕微鏡観察・フィコシアニン抽出分析・フィコシアニン蛍光分析・細胞自動イメージング・リモートセンシング・次世代シーケンシング・バイオセンサー

段階③：藍藻産生物の検出

指標：藍藻毒(シアノトキシン)

手法：酵素免疫測定法(ELISA)・定量PCR・クロマトグラフィー

ii)水質監視・予測・モデリング

湖沼等の閉鎖水域での一般的な水質項目を対象に、水質予測や水質モデリングに適用した事例が多く報告されていた(27-34)。一方、リモートセンシングにより有害化学物質や病原微生物の指標の監視を試みる事例は限られており、塩素要求量および消毒副生成物生成能(35)、病原性細菌・真核生物(36)、下痢症発生の指標としての大腸菌(37)が挙げられた。

このうち、塩素要求量および消毒副生成物生成能について(35)、著者らは米国ミネソタ州内24箇所の地表水試料を採取し、ラボ実験により着色溶存有機物(CDOM・440nm

吸光度で評価)・溶存有機物(DOM)・SUVA と、塩素要求量・トリハロメタン (THMs) 生成能・ハロ酢酸 (HAAs) 生成能を比較し、CDOM との間に良好な相関性を確認した。Landsat8 衛星画像より算出される CDOM 濃度から判断すると、同州内水源の 21.8%のみが THMs・HAAs 双方の最大許容濃度を満たすと推定された。地表水の着色が大きい場合には、CDOM 濃度および消毒副生成物生成能は過小評価となった。

iii) 土壌流出・高濁水発生

集中豪雨などにより生じる土壌流出を予測し脆弱な水源地域を推定する、あるいは、水源での高濁水の発生を予測する事例が、複数報告されていた 38-41)。Zhou らは、土壌流出モデル式である Universal Soil Loss Equation (USLE)の改良により、中国・朝白川上流域の土壌流出性を評価した。既往の地形・降雨・土質データに加えて、衛星画像 (Landsat-7 ETM+) およびモデル式により植生分布データを算出、土地利用の状況も推定を行った。各結果から土壌流出の深刻度を 6 段階で評価し、流出が深刻な地域における推定流出量を算出した 40)。

iv) 地下水量・融雪量の推定

降雪地帯における融雪量 42,43)や、地下水の貯水量 44-47) を推定する事例がみられた。後者には、米国 NASA による重力観測衛星 Gravity Recovery and Climate Experiment (GRACE) の観測データが用いられていた。Huo らは、GRACE の陸域総貯水量と、その再解析データである Global Land Data Assimilation System (GLDAS) の陸水蒸発散モデルを用い、中国黄土平原における 2002-2014 年の地下水水源量の変動を推定した。GRACE による地下水層の厚みの推定

値は、特に年間変動において、地下水位の実測値と良好な相関が見られるとした。また、推定期間において地下水水源量は一貫して減少し、その減少速度は加速していると推定され、要因として人口増加や農業・工業活動の発展が示唆された 44)。

v) 開発途上国におけるモニタリング

入手可能なデータが限られている開発途上国の農村域等を対象に、リモートセンシングのデータを活用し、水・衛生に関する普及状況を調査する例があった 48-49)。

(2) 水道施設の健全性調査等におけるリモートセンシング技術の利活用

i) 漏水調査

人工衛星、航空機、ドローン等を利用し、水道管路等の漏水調査を短期間・省力・省コストで実施する事例が多く見受けられた 50-55)。

Jean-Claude らは、3 バンド(可視光、近赤外、熱赤外)のリモートセンシングを使用して地中の漏水の検知を試みた。ここで、可視光: 土壌の黒ずみ、近赤外光: 土壌に含まれる水分の比誘電率の反射特性、熱赤外光: 土壌の表面温度の低下の検知を目的とした。分解能 0.5m を達成するため、プラットフォームには航空機またはドローンを用いた。フランスとポルトガルの配水管網上にて、人為的な漏水を作ったうえで実証実験したところ、おおよそ 50%の確率で漏水イベントを検出できた 50)。

Chen らは、Landsat8 衛星画像と深層学習を用いて開水路の漏水を自動検知する手法の検討を行った。深層学習に使用したパラメータは、いずれも衛星画像から得られる地表温度、植生被覆分布、温度植生乾燥指数

とした。訓練データとして、2016～2019年の点検時に収集したコンクリート表面検査記録を使用した。都市部と農村部の両方を流れる開水路について収集したデータセットを用い、再現率 86%、精度 86%、正確度 85%を達成できたとした 51)。

Arsenio らは、地表面で生じる歪みにより水道管にストレスが加わり漏水件数が増加すると仮定し、2009,2012年の各衛星画像により、オランダ国内の地表面の歪みを2種類の方法で評価した。また、水道事業者より40ヶ月間の漏水事例、水道管の種類、敷設期間を入手し比較した。管種によらず、地表面の歪みに従って漏水率は増大した。特に、50年以上経過する老朽アスベスト管の漏水率が高かった 52)。

ii) 地下埋設物調査

漏水調査と同様、地下に埋設された経年管等の所在を確認するための調査研究が数多くみられた 56-60)。その際に主に用いられるセンシング技術は地中レーダ (GPR: Ground-Penetrating Radar) であったものの 57,59,60)、伝導率および磁化率 58)、赤外線および RGB 画像データ 56)を用いる例もあった。

(3) ドローン技術の利活用

配水塔の健全性調査 61)、衛星画像データと組み合わせた小規模貯水池の水質モニタリング 62)、水源水域の土壌流出 63)や化学物質流出の調査 64)等、現地での調査が困難となる場所を中心に、短期間かつ省力的にデータ収集が行われていた。

D. 考察

(1) 水道水源におけるリモートセンシング技

術の利活用

水道水源を対象とした事例として、水源の水質監視、とりわけ、藍藻類および関連指標を対象とした検討が数多く報告されていた。Almuhtaram らが提案した水源水域における藍藻類監視手法のうち、段階③: 藍藻毒の直接的な検出はできないものの、段階①: 微生物活性指標のうち透明度・色度・濁度・クロロフィル a、段階②藍藻類のうちフィコシアニンはリモートセンシングによる測定が可能であり、機械学習やモデリング等と組み合わせることで、藍藻類増殖の予知や早期検出を可能にすると考えられた。

また、適用事例は限られるものの、豪雨時に土壌の流出が生じやすい水源水域を事前に特定することで、将来的な豪雨災害への予防対策を講じることができると考えられた。

(2) 水道施設の健全性調査等におけるリモートセンシングやドローン技術の利活用

人工衛星に限らず有人・無人航空機やドローン等の様々なプラットフォームを活用し、水道管路や開水路等の漏水調査、地下埋設物の存在調査、水源水域における監視等が行われていた。各プラットフォームと対象物との距離が近いほど、得られる画像情報の解像度は高くなるものの、調査範囲は狭くなるため、調査目的や対象の規模に応じて、適切なプラットフォームならびに使用可能なセンサーを選択することが重要と考えられた。

なお、Arsenio らによる調査研究では、人工衛星に搭載された合成開口レーダ(SAR)画像を用いた干渉 SAR(InSAR)解析により、年間数ミリ程度の地表面の変位が検出可能であったとした 52)。GPS 技術によっても、同

程度の精度による調査が可能との報告もあり(65)、広範囲にわたって高精度の調査を可能とする、リモートセンシング技術のさらなる進展が注目される。

E. 結論

海外の文献調査に基づき、水道水源および水道施設等におけるリモートセンシング技術やドローン技術の利活用状況について最新動向を把握し、課題点を抽出した。人工衛星やドローン等のプラットフォームを用いたセンシングならびに画像解析技術の活用により、広域あるいは到達が困難な箇所における水源水質の把握や漏水検出等が、従来よりも短期間、省コストかつ省力的に実現できる可能性があり、水道の基盤強化を支える技術群の一つとして活用することが望ましいと考えられた。一方、リモートセンシングに用いられるセンサーやプラットフォームは多種多様であるため、調査目的や対象規模に即した、適切な選択が重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) Coffey, MM; Schaeffer, BA; Foreman, K; Porteous, A; Loftin, KA; Stumpf, RP; Werdell, PJ; Urquhart, E; Albert, RJ; Darling, JA. Assessing cyanobacterial frequency and abundance at surface waters near drinking water intakes across the United States, WATER RESEARCH, 2021, 201, 117377.
- 2) Song, KS; Li, L; Tedesco, LP; Li, S; Hall, BE; Du, J. Remote quantification of phycocyanin in potable water sources through an adaptive model. ISPRS JOURNAL OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING. 2014, 95, 68-80.
- 3) Wu, JY; Hilborn, ED; Schaeffer, BA; Urquhart, E; Coffey, MM; Lin, CJ; Egorov, AI. Acute health effects associated with satellite-determined cyanobacterial blooms in a drinking water source in Massachusetts. ENVIRONMENTAL HEALTH, 2021, 20(1), 83.
- 4) Gorham, T; Root, ED; Jia, YY; Shum, CK; Lee, J. Relationship between cyanobacterial bloom impacted drinking water sources and hepatocellular carcinoma incidence rates. HARMFUL ALGAE, 2020, 95, 101801.
- 5) Zhang, F; Hu, CL; Shum, CK; Liang, S; Lee, J. Satellite Remote Sensing of Drinking Water Intakes in Lake Erie for Cyanobacteria Population Using Two MODIS-Based Indicators as a Potential Tool for Toxin Tracking. FRONTIERS IN MARINE SCIENCE, 2017, 4, 124.
- 6) Song, KS; Lu, DM; Li, L; Li, SA; Wang, ZM;

- Du, J. Remote sensing of chlorophyll-a concentration for drinking water source using genetic algorithms (GA)-partial least square (PLS) modeling. *ECOLOGICAL INFORMATICS*, 2012, 10, 25-36.
- 7) Duan, HT; Tao, M; Loisel, SA; Zhao, W; Cao, ZG; Ma, RH; Tang, XX. MODIS observations of cyanobacterial risks in a eutrophic lake: Implications for long-term safety evaluation in drinking-water source. *WATER RESEARCH*, 2017, 122, 455-470.
- 8) Song, KS; Li, L; Tedesco, L; Clercin, N; Hall, B; Li, S; Shi, K; Liu, DW; Sun, Y. Remote estimation of phycocyanin (PC) for inland waters coupled with YSI PC fluorescence probe. *ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH*, 2013, 20(8), 5330-5340.
- 9) Ali, KA; Ortiz, J; Bonini, N; Shuman, M; Sydow, C. Application of Aqua MODIS sensor data for estimating chlorophyll a in the turbid Case 2 waters of Lake Erie using bio-optical models. *GISCIENCE & REMOTE SENSING*, 2016, 53(4), 483-505.
- 10) Keith, D; Rover, J; Green, J; Zalewsky, B; Charpentier, M; Thursby, G; Bishop, J. Monitoring algal blooms in drinking water reservoirs using the Landsat-8 Operational Land Imager. *INTERNATIONAL JOURNAL OF REMOTE SENSING*, 2018, 39(9), 2818-2846.
- 11) Agha, R; Cires, S; Wormer, L; Dominguez, JA; Quesada, A. Multi-scale strategies for the monitoring of freshwater cyanobacteria: Reducing the sources of uncertainty. *WATER RESEARCH*, 2012, 46(9), 3043-3053.
- 12) Xue, K; Zhang, YC; Ma, RH; Duan, HT. An approach to correct the effects of phytoplankton vertical nonuniform distribution on remote sensing reflectance of cyanobacterial bloom waters. *LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY-METHODS*, 2017, 15(3), 302-319.
- 13) Almuhtaram, H; Kibuye, FA; Ajjampur, S; Glover, CM; Hofmann, R; Gaget, V; Owen, C; Wert, EC; Zamyadi, A. State of knowledge on early warning tools for cyanobacteria detection. *ECOLOGICAL INDICATORS*, 2021, 133, 108442.
- 14) Mishra, S; Stumpf, RP; Schaeffer, BA; Werdell, PJ; Loftin, KA; Meredith, A. Measurement of Cyanobacterial Bloom Magnitude using Satellite Remote Sensing. *SCIENTIFIC REPORTS*, 2019, 9, 18310.
- 15) Huang, CC; Li, YM; Sun, DY; Le, CF. Retrieval of Microcystis aetginosa Percentage From High Turbid and Eutrophia Inland Water: A Case Study in Taihu Lake. *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, 2011, 49(10), 4090-4100.
- 16) Nas, B; Karabork, H; Ekercin, S; Berktaş, A. Mapping chlorophyll-a through in-situ measurements and Terra ASTER satellite data. *ENVIRONMENTAL MONITORING AND ASSESSMENT*, 2009, 157(1-4), 375-382.
- 17) Song, KS; Li, L; Li, S; Tedesco, L; Hall, B; Li, ZC. Hyperspectral retrieval of phycocyanin in potable water sources using genetic algorithm-partial least squares (GA-PLS) modeling. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED EARTH OBSERVATION AND*

- GEOINFORMATION, 2012, 18, 368-385.
- 18) Song, KS; Li, L; Li, S; Tedesco L; Duan HT; Li, ZC; Shi, K; Du, J; Zhao, Y; Shao TT. Using Partial Least Squares-Artificial Neural Network for Inversion of Inland Water Chlorophyll-a. IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING, 2014, 52(2), 1502-1517.
- 19) Mishra, S; Stumpf, RP; Schaeffer, B; Werdell, PJ; Loftin, KA; Meredith, A. Evaluation of a satellite-based cyanobacteria bloom detection algorithm using field-measured microcystin data. SCIENCE OF THE TOTAL ENVIRONMENT, 2021, 774, 145462.
- 20) Tao, M; Duan, HT; Cao, ZG; Loiselle, SA; Ma, RH A. Hybrid EOF Algorithm to Improve MODIS Cyanobacteria Phycocyanin Data Quality in a Highly Turbid Lake: Bloom and Nonbloom Condition. IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING, 2017, 10(10), 4430-4444.
- 21) Matson, PG; Boyer, GL; Bridgeman, TB; Bullerjahn, GS; Kane, DD; McKay, RML; McKindles, KM; Raymond, HA; Snyder, BK; Stumpf, RP; Davis, TW. Physical drivers facilitating a toxigenic cyanobacterial bloom in a major Great Lakes tributary. LIMNOLOGY AND OCEANOGRAPHY, 2020, 65(12), 2866-2882.
- 22) Wang, GQ; Li, JW; Sun, WC; Xue, BL; Yinglan, A; Liu, TX. Non-point source pollution risks in a drinking water protection zone based on remote sensing data embedded within a nutrient budget model. WATER RESEARCH, 2019, 157, 238-246.
- 23) Zheng, YX; Wang, QY; Zhang, X; Yu, JS; Li, C; Chen, LW; Liu, Y. Nitrogen and Phosphorus Retention Risk Assessment in a Drinking Water Source Area under Anthropogenic Activities. REMOTE SENSING, 2022, 14(9), 2070.
- 24) Chang, NB; Imen, S; Vannah, B. Remote Sensing for Monitoring Surface Water Quality Status and Ecosystem State in Relation to the Nutrient Cycle: A 40-Year Perspective. CRITICAL REVIEWS IN ENVIRONMENTAL SCIENCE AND TECHNOLOGY, 2015, 45(2), 101-166.
- 25) Song, K; Li, L.; Tedesco, L., Li, S.; Shi, K.; Hall, B; Remote Estimation of Nutrients for a Drinking Water Source Through Adaptive Modeling, WATER RESOURCES MANAGEMENT, 2014, 28, 2563–2581.
- 26) Almuhtaram, H; Kibuye, FA; Ajjampur, S; Glover, CM; Hofmann, R; Gaget, V; Owen, C; Wert, EC; Zamyadi, A. State of knowledge on early warning tools for cyanobacteria detection. ECOLOGICAL INDICATORS, 2021, 133, 108442.
- 27) Coskun, HG; Yalcin, G. Water quality determination of Buyukcekmece lake, turkey by using remote sensing and GIS techniques, FRESINIUS ENVIRONMENTAL BULLETIN. 2014, 23(3), 746-750.
- 28) Gu, Q; Deng, JS; Wang, K; Lin, Y; Li, J; Gan, MY; Ma, LG; Hong, Y. Identification and Assessment of Potential Water Quality Impact Factors for Drinking-Water Reservoirs. INTERNATIONAL JOURNAL OF ENVIRONMENTAL RESEARCH AND

- PUBLIC HEALTH, 2014, 11(6), 6069-6084.
- 29) Chang, NB; Yang, YJ; Goodrich, JA; Daranpob, A. Development of the Metropolitan Water Availability Index (MWAI) and short-term assessment with multi-scale remote sensing technologies. JOURNAL OF ENVIRONMENTAL MANAGEMENT, 2010, 91(6), 1397-1413.
- 30) Miao, S; Liu, C; Qian, BJ; Miao, Q. Remote sensing-based water quality assessment for urban rivers: a study in linyi development area, ENVIRONMENTAL SCIENCE AND POLLUTION RESEARCH, 2020, 27(28), 34586-34595.
- 31) Soomets, T; Uudeberg, K; Jakovels, D; Zagars, M; Reinart, A; Brauns, A; Kutser, T. Comparison of Lake Optical Water Types Derived from Sentinel-2 and Sentinel-3. REMOTE SENSING, 2019, 11(23), 2883.
- 32) Giri, S. Water quality prospective in Twenty First Century: Status of water quality in major river basins, contemporary strategies and impediments: A review. ENVIRONMENTAL POLLUTION, 2021, 271, 116332.
- 33) Al-Shaibah, B; Liu, XP; Zhang, JQ; Tong, ZJ; Zhang, MX; El-Zeiny, A; Faichia, C; Hussain, M; Tayyab, M. Modeling Water Quality Parameters Using Landsat Multispectral Images: A Case Study of Erlong Lake, Northeast China. REMOTE SENSING, 2021, 13(9), 1603.
- 34) Wang, SL; Li, JS; Zhang, B; Lee, Z; Spyrakos, E; Feng, L; Liu, C; Zhao, HL; Wu, YH; Zhu, LP; Jia, LM; Wan, W; Zhang, FF; Shen, Q; Tyler, AN; Zhang, XF. Changes of water clarity in large lakes and reservoirs across China observed from long-term MODIS. REMOTE SENSING OF ENVIRONMENT, 2020, 247, 111949.
- 35) Chen, YL; Arnold, WA; Griffin, CG; Olmanson, LG; Brezonik, PL; Hozalski, RM. Assessment of the chlorine demand and disinfection byproduct formation potential of surface waters via satellite remote sensing. WATER RESEARCH, 2019, 165, 115001.
- 36) Oliva, A; Garner, RE; Walsh, D; Huot, Y. The occurrence of potentially pathogenic fungi and protists in Canadian lakes predicted using geomatics, in situ and satellite-derived variables: Towards a tele-epidemiological approach. WATER RESEARCH, 2022, 209, 117935.
- 37) Robert, E; Grippa, M; Nikiema, DE; Kergoat, L; Koudougou, H; Auda, Y; Rochelle-Newall, E. Environmental determinants of E. coli, link with the diarrheal diseases, and indication of vulnerability criteria in tropical West Africa (Kapore, Burkina Faso). PLOS NEGLECTED TROPICAL DISEASES, 2021, 15(8), e0009634.
- 38) Fraser, RH; Warren, MV; Barten, PK. Comparative-evaluation of land-cover data sources for erosion prediction. WATER RESOURCES BULLETIN. 1995, 31(6), 991-1000.
- 39) Gong, WF; Liu, TD; Duan, XY; Sun, YX; Zhang, YY; Tong, XY; Qiu, ZX. Estimating the Soil Erosion Response to Land-Use Land-Cover Change Using GIS-Based RUSLE and Remote Sensing: A Case Study of Miyun Reservoir, North China. WATER, 2022, 14(5), 742.

- 40) Zhou, WF; Wu, BF. Assessment of soil erosion and sediment delivery ratio using remote sensing and GIS: a case study of upstream Chaobaihe River catchment, north China. *INTERNATIONAL JOURNAL OF SEDIMENT RESEARCH*, 2008, 23(2), 167-173.
- 41) Cao, ZG; Duan, HT; Shen, M; Ma, RH; Xue, K; Liu, D; Xiao, QT. Using VIIRS/NPP and MODIS/Aqua data to provide a continuous record of suspended particulate matter in a highly turbid inland lake. *INTERNATIONAL JOURNAL OF APPLIED EARTH OBSERVATION AND GEOINFORMATION*, 2018, 64, 256-265.
- 42) Woodruff, CD; Qualls, RJ. Recurrent Snowmelt Pattern Synthesis Using Principal Component Analysis of Multiyear Remotely Sensed Snow Cover. *WATER RESOURCES RESEARCH*, 2019, 55(8), 6869-6885.
- 43) Smith, T; Bookhagen, B; Rheinwalt, A. Spatiotemporal patterns of High Mountain Asia's snowmelt season identified with an automated snowmelt detection algorithm, 1987-2016. *CRYOSPHERE*, 2017, 11(5), 2329-2343.
- 44) Huo, AD; Peng, JB; Chen, XH; Deng, L; Wang, GL; Cheng, YX. Groundwater storage and depletion trends in the Loess areas of China. *ENVIRONMENTAL EARTH SCIENCES*, 2016, 75(16), 1167.
- 45) Nigussie, W; Hailu, BT; Azagegn, T. Mapping of groundwater potential zones using sentinel satellites (-1 SAR and-2A MSI) images and analytical hierarchy process in Ketar watershed, Main Ethiopian Rift. *JOURNAL OF AFRICAN EARTH SCIENCES*, 2019, 160, 103632.
- 46) Feng, W; Shum, CK; Zhong, M; Pan, Y. Groundwater Storage Changes in China from Satellite Gravity: An Overview. *REMOTE SENSING*, 2018, 10(5), 674.
- 47) Horvat, B; Rubinic, J. Evaluating the Applicability of Thermal Infrared Remote Sensing in Estimating Water Potential of the Karst Aquifer: A Case Study in North Adriatic, Croatia. *REMOTE SENSING*, 2021, 13(18), 3737.
- 48) Andres, L; Boateng, K; Borja-Vega, C; Thomas, E. A Review of In-Situ and Remote Sensing Technologies to Monitor Water and Sanitation Interventions. *WATER*, 2018, 10(6), 756.
- 49) van den Homberg, M; Crince, A; Wilbrink, J; Kersbergen, D; Gumbi, G; Tembo, S; Lemmens, R. Combining UAV Imagery, Volunteered Geographic Information, and Field Survey Data to Improve Characterization of Rural Water Points in Malawi. *ISPRS INTERNATIONAL JOURNAL OF GEO-INFORMATION*, 2020, 9(10), 592.
- 50) Jean-Claude, K. et al; Multispectral Optical Remote Sensing for Water-Leak Detection, *SENSORS*, 2022, 22(3), 1057.
- 51) Chen, J., et al; Augmenting a deep-learning algorithm with canal inspection knowledge for reliable water leak detection from

- multispectral satellite images, *ADVANCED ENGINEERING INFORMATICS*, 2020, 46, 101161.
- 52) Arsenio, AM; Dheenathayalan, P; Hanssen, R; Vreeburg, J; Rietveld, L. Pipe failure predictions in drinking water systems using satellite observations. *STRUCTURE AND INFRASTRUCTURE ENGINEERING*, 2015, 11(8), 1102-1111.
- 53) Wols, BA; Vogelaar, A; Moerman, A; Raterman, B. Effects of weather conditions on drinking water distribution pipe failures in the Netherlands. *WATER SUPPLY*, 2019, 19(2), 404-416.
- 54) Bach, PM; Kodikara, JK. Reliability of Infrared Thermography in Detecting Leaks in Buried Water Reticulation Pipes. *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, 2017, 10(9), 4210-4224.
- 55) Aljurbua, A; Sarabandi, K. Detection and Localization of Pipeline Leaks Using 3-D Bistatic Subsurface Imaging Radars, *IEEE TRANSACTIONS ON GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING*, 2022, 60, 5220211.
- 56) Kratt, CB; Woo, DK; Johnson, KN; Haagsma, M; Kumar, P; Selker, J; Tyler, S. Field trials to detect drainage pipe networks using thermal and RGB data from unmanned aircraft. *AGRICULTURAL WATER MANAGEMENT*, 2020, 229, 105895.
- 57) Ghozzi, R; Lahouar, S; Souani, C. GPR Data Analysis for Accurate Estimation of Underground Utilities Diameter. *RUSSIAN JOURNAL OF NONDESTRUCTIVE TESTING*, 2022, 58(3), 195-204.
- 58) Santos, VRN; Bortolozzo, CA; Porsani, JL. Joint Inversion of Apparent Conductivity and Magnetic Susceptibility to Characterize Buried Targets. *IEEE GEOSCIENCE AND REMOTE SENSING LETTERS*, 2017, 14(6), 846-850.
- 59) Luo, TXH; Lai, WWL. Subsurface Diagnosis With Time-Lapse GPR Slices and Change Detection Algorithms. *IEEE JOURNAL OF SELECTED TOPICS IN APPLIED EARTH OBSERVATIONS AND REMOTE SENSING*, 2020, 13, 935-940.
- 60) Park, B., et al; Underground Object Classification for Urban Roads Using Instantaneous Phase Analysis of Ground-Penetrating Radar (GPR) Data, *REMOTE SENSING*, 2018, 10(9), 1417.
- 61) Loyer, J; Lepreux, JL; Genain, F. Inspection and diagnosis of water towers with images taken from drones (UAV). *HOUILLE BLANCHE-REVUE INTERNATIONALE DE L'EAU*, 2016, 2, 30-37.
- 62) Castro, CC; Gomez, JAD; Martin, JD; Sanchez, BAH; Arango, JLC; Tuya, FAC; Diaz-Varela, R. An UAV and Satellite Multispectral Data Approach to Monitor Water Quality in Small Reservoirs. *REMOTE SENSING*, 2020, 12(9), 1514.
- 63) Hout, R; Maleval, V; Mahe, G; Rouvellac, E; Crouzevialle, R; Cerbelaud, F. UAV and LiDAR Data in the Service of Bank Gully Erosion Measurement in Rambla de Algeciras Lakeshore. *WATER*, 2020, 12(10), 2748.
- 64) Messinger, M; Silman, M. Unmanned aerial vehicles for the assessment and monitoring of environmental contamination: An example

from coal ash spills. ENVIRONMENTAL POLLUTION, 2016, 218, 889-894.

65) 福島洋. StaMPS パッケージを用いた PS 干渉 SAR 解析. 測地学会誌, 2011, 57(2), 41-48.

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：

水道使用量の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、それらに対応できる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、文献調査と実測調査を実施し、三次元蛍光分析の実用性と課題について検討を行った。結果、有機物の連続的なモニタリングだけでなく水分野の様々な研究に広く利用されていることが明らかとなり、実際に測定を行った結果でも、降雨時における有機物の変化や日変動や処理水への降雨等の影響を捉えることができ、三次元蛍光分析法の水道における連続的なモニタリング可能性を確認できた。

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の減少は、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いる。これまでの研究により三次元蛍光分析は連続測定が可能な水質指標として有用であることが明らかになってきたことから、関連する研究事例について文献調査を行うとともに浄水場において連続的に試料を採集し、分析を行うことで、実用の可能性と導入における課題について検討した。

B. 研究方法

1) 三次元蛍光分析に関する文献調査

連続測定が可能な新た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。具体的には海外の文献に関してはPubMedを利用し、国内の文献に関してはJ-Dream3を利用し、水分野において三次元蛍光分析を利用した研究に関する文献を収集し、内容を精査

し、水道事業における適用の可能性や課題について整理した。

2) 三次元蛍光分析に関する実測調査

三次元蛍光分析の水道原水および浄水における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検討を行った。また、神奈川県内の浄水場にオートサンプラーを設置し、高温期（8月）と中温期（9月）に連続的に原水、浄水の採水を実施し、得られた試料について三次元蛍光分析を実施し、解析を行った。得られた結果をこれまでに連続的な測定を実施している水質項目等と比較、検討することで三次元蛍光分析の新たな水質指標としての適用可能性や課題について整理を行った。

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”、“water”等のキーワードで検索を実施した。2018年以降、“EEM”&“Drinking water”では60件の文献が該当し、年間10件程度の文献が公表されており、それ以前と比べると研究事例が増えてはいるが、水道に関連した知見は限

定的であった。また、“EEM“&”water”では 503 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、特に 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顕著に増加していることが確認できた。2022 年に公表された 131 件の文献のうち 74 件が水処理に関する文献であり、水処理以外にも畜産、食品など様々な分野で三次元蛍光分析の手法が活用されていた。また、74 件のうち 22 件はこれまで水処理分野で主な対象とされていた天然有機物 (NOM) 以外の物質を対象とした文献であり、水処理の分野でも三次元蛍光分析が広く活用されていることが確認できた。水道分野において特に関係が深い研究事例としては *Water Research* に 8 件、*Chemosphere* に 7 件、*Science of the Total Environment* に 8 件、その他に *Environmental Pollution*、*Spectrochimica Acta Part A* 等に複数の論文が掲載されていた。*Water Research* では NOM に関する研究に加え、新たに浄水処理に関連する知見が報告されていた。例えば、Wei Sun (2022)¹⁾ では、パイロットプラントを用いたフェントン-粒状活性炭(GAC)処理において除去される DOM の種類について三次元蛍光分析を用いて論じており、遺伝子解析的な手法も用いて GAC 中のバイオフィームや細菌叢の関係について評価を行っている。Qingyun Song (2022)²⁾ では、NF の前処理として MF、UF を組み合わせた際の DBPFP および NF 処理水中の DBP に対する様々な分子量の NOM の影響を、三次元蛍光分析を用いて評価しており、中分子量 NOM は NF 膜のファウリングを低減し、NF 表面の保護層形成に関与し、低分子量 NOM を NF 濾液から低減することで NF 処理水の DBPFP を減少できたことを報告している。*Chemosphere* では新たに高度な酸化処理における NOM の評価に三次元蛍光分析が活用された例が報告されている。Mengqiao Luo (2022)³⁾ では、電気化学的酸化処理後の NOM 由来の蛍光ピークの解明に三次元蛍光分析と高分解能質量分析計を組み合わせることで、表流水中の NOM 分子特性および NOM 分子への電気化学酸化の影響を明らかにしている。*Science of the Total Environment* では、新たに藻類由来の有機物の

評価に三次元蛍光分析を活用した事例が報告されている。Parul Baranwal (2022)⁴⁾ では、MC-LR の生分解に対する NOM の影響を評価するために、MC-LR の生分解に伴う NOM 組成の変化を蛍光スペクトルと PARAFAC により特徴づけ、藻類由来有機物、フミン様物質の存在下では MC-LR の生分解性が低下することや微生物の低分子量のタンパク質様成分の利用過程について明らかにしている。これら以外でも、Kanika Sarkar (2022)⁵⁾ では、大腸菌を指標菌として塩素濃度の異なる条件下で溶存有機炭素の特性を三次元蛍光分析により評価しており、塩素濃度によって大腸菌から放出される有機物の質が変化することを報告している。Tuantuan Fan(2022)⁶⁾ では、三次元蛍光分析とフーリエ変換赤外分光法を組み合わせることにより、湖沼の DOM の特徴と金属結合について評価を行っている。銅と鉛を添加した DOM の特性や銅と鉛イオンとの親和性を評価することで特定のフミン酸様成分が銅イオンと強い結合力を有していることやこれらの成分の湖における空間的な分布についても明らかにしている。Xiaoli Du(2022)⁷⁾ では、道路流出水中の溶存有機物の特性を、三次元蛍光分析を用いて評価しており、疎水性の画分が交通量の増加に伴って増加することやフルボ酸様紫外線蛍光物質およびタンパク質様物質は交通量によって変化しないが、トリプトファン様物質は交通量の増加に伴い増加することなどを報告している。このように本年度の文献調査では水道水質の連続モニタリングに関連する新たな有用な文献は見つけれなかったが、三次元蛍光分析が汎用性の高い分析手法として、水処理以外の様々な分野で活用されていることが分かった。

国内における研究事例は川口 (2021)⁸⁾ において、表流水を原水とする浄水場において三次元蛍光分析の連続的なモニタリングによりフミン質様物質、タンパク質様物質、フルボ酸様物質の 3 つの成分の季節的な変化と各浄水工程における除去性について評価を行っている。昨年度の調査以降、新たな知見は上記の 1 件であった。海外では三次元蛍光分析が汎用性の高い分析ツールとして広く研究に活用されているが、国内での活用事例は限定的で

あることを示す結果となった。

2) 三次元蛍光分析に関する実測調査

蛇口水を連続的に採水し、測定を実施したが、採水期間において大きな水質事故等はなく、事故による水質変化の検証は行えなかった。浄水場における実用性の検証では、通常時は1日2回の頻度で採水を実施し、降雨が予想される時期には頻度を上げて採水を実施した。採水後、降雨状況、ダムの放流状況などを考慮して試料を選定し、分析を実施した。分析の結果、高温期、中温期のいずれの時期においてもこれまで対象流域で実施した三次元蛍光分析で確認された3つのコンポーネントが確認された。今回の採水では高温期に1回、中温期に2回の台風の接近もあり、比較的強い降雨とそれに伴うダムの放流が実施された際の採水が実施できた。降雨時には原水中の腐食性物質に対応するコンポーネント

(C1)の増加が顕著に認められ、降雨後も高い値を示す事例が確認された。浄水では降雨に伴い原水中のC1が上昇した場合には、浄水中のC1にも同様の傾向が認められた。具体的には、通常時におけるC1の浄水処理における除去率は50%程度であったが、降雨時においては80%程度と通常時と比べて高い値を示した。水道事業体では有機物の指標として260 nmにおける吸光度(E260)やTOCを連続的に測定している例が多いが、今回の検討ではE260やTOCでは捉えることのできない水質的な変化や浄水処理性を捉えることができ、降雨時の浄水処理が適切に実施されていることが示された。また、C1は晴天時におけるpHの日周変動や降雨初期における電気伝導率とも連動しており、これまで水道原水の監視で連続モニタリングが行われている濁度、電気伝導率、pH、UV-Vis等では把握できない有機物の質の評価が可能であることが示された。

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三次元蛍光分析に着目し、文献調査、実測調査を実施した。文献調査より水分野において三次元蛍光分析を利用した研究は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、汎用性の高い分析手法として利用されていることが示された。また、実測調査の結果、これまで多くの水道事業体が連続的に測定している水質項目では評価できない有機物の質や水質変化を評価できる可能性が示唆され、連続的なモニタリング項目として有用であると考えられた。一方で、装置が高価であること、解析に多くのデータが必要なことや解析が煩雑であるなどの課題もあり、特に国内の水道分野では海外と比べて普及が進んでいないことからコスト低減や解析を簡便に実施することができるツールの開発等が課題と考えられた。

参考文献

- 1) Wei Sun, Zhili Lu, Zeyu Zhang, Yao Zhang, Baoyou Shi, Haibo Wang, Ozone and Fenton oxidation affected the bacterial community and opportunistic pathogens in biofilms and effluents from GAC, *Water Research*, Volume 218, 2022, 118495
- 2) Qingyun Song, Nigel Graham, Youneng Tang, Muhammad Saboor Siddique, Katsuki Kimura, Wenzheng Yu, The role of medium molecular weight organics on reducing disinfection by-products and fouling prevention in nanofiltration, *Water Research*, Volume 215, 2022, 118263
- 3) Mengqiao Luo, Zhaoyang Wang, Can Zhang, Bo Song, Demin Li, Pengwei Cao, Xiaoqing Peng, Shenglin Liu, Advanced oxidation processes and selection of industrial water source: A new sight from natural organic matter, *Chemosphere*, Volume 303, Part 2, 2022, 135183
- 4) Parul Baranwal, Dae-Wook Kang, Youngwoo Seo, Impacts of algal organic matter and humic substances on microcystin-LR removal and their biotransformation during the biodegradation process, *Science of The Total Environment*, Volume 852, 2022, 157993

- 5) M. Barchiesi, A. Chiavola, C. Di Marcantonio and M. R. Boni, Presence and fate of microplastics in the water sources: focus on the role of wastewater and drinking water treatment plants, Journal of Water Process Engineering 2021 Vol. 40 Pages 101787
- 6) Tuantuan Fan, Xin Yao, Haoyu Ren, Li Liu, Huanguang Deng, Keqiang Shao, Regional-scale investigation of the molecular weight distribution and metal-binding behavior of dissolved organic matter from a shallow macrophytic lake using multispectral techniques, Journal of Hazardous Materials, Volume 439, 2022, 129532
- 7) Du, X., Chi, Z., Chen, M. et al. Characteristics of dissolved organic matter in urban road runoff under different traffic densities in Beijing, China. Environ Sci Pollut Res 29, 2022, 90520–90529
- 8) 川口 佳彦, 小島 礼慈, 小坂 浩司, 連続 EEM 測定装置を用いた浄水処理工程内の水質モニタリング, 全国会議 (水道研究発表会) 講演集, 2021, 2021 巻, 令和 3 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集

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

浄水場出口での塩素注入量は、蛇口での残留塩素濃度が適切な範囲になるように職員の経験に基づいて注入量が決定される場合が多いが、経験豊かな技術職員の退職や職員数減少に伴う技術継承不足などから、職員の経験値に依存しない新たな塩素注入量管理手法が求められている。我々は残留塩素濃度の時系列変化を機械学習によりモデル化することで、技術職員の経験知を高度に再現し、数時間先の蛇口での残留塩素濃度を予測しながら自律的に塩素注入量を管理しうるシステムを開発した。

2022年度は、モデル構築アルゴリズムの汎用性を検証するため、沖縄県企業局から提供いただいた名護浄水場および石川浄水場を起点とする給水系での残留塩素濃度データを使用して、同様にモデル構築を試みた。受給水量に一定の周期がある給水系統では高い精度が得られた一方で、自己水源や給水池への夜間配水などが実施されている給水系統では、予測精度が低いことが明らかになり、本研究の適用しうる給水系統の特徴が明らかになった。

末端給水における残留塩素濃度を予測するモデル構築に向けて、横浜市水道局より、仏向配水池および桜台小学校の残留塩素濃度データを提供いただき、6時間先の残留塩素を予測するモデルを構築した。相模原浄水場出口から桜台小学校までの残留塩素濃度低減量は、予測誤差 0.025mg/L 以下で予測できることが明らかになった。

最後に、構築したモデルの実装に向けて、浄水場の監視制御システムに介入することなく、監視画面の動画から残留塩素濃度を読み取り、Excel に転送するシステムを構築した。これにより、比較的小規模な浄水場でも、安価かつ高精度に末端給水地点での残留塩素濃度を予測できるシステムが実現可能になった。

A. はじめに

1. 上水道×AIのニーズと可能性

人口減少に伴って、浄水場で働く職員数も大幅に減少傾向にある。総務省の資料によると、昭和55年をピークに平成28年に

は約4割にまで職員が減少しており、今後もさらに減少することが予想されている。

一方で、老朽化を迎えた水道施設は増加傾向にあり、施設や管路の更新に向けて、今後、多くの技術職員が必要となる¹⁾。

浄水場を定常運転するための人材も欠くことが出来ない。これまで浄水場の現場では、経験と実績に基づく高度な技術を有するベテラン職員により維持管理されてきたが、団塊世代の大量退職に伴って、若手職員への技術継承が途絶えることが危惧されている。人材育成およびノウハウの蓄積は多大な時間がかかることから、今後、これまでのような水道サービスを維持していくためには、早急に対策を講じる必要があると言えよう。

これらの背景から、水道界において、人口知能アルゴリズム（以下 AI と表記する）が注目を集めている。既に、無人運転者、顔認識、病気診断などに実用化されており、将来的に、我々人間の相棒として活躍することが期待されている。職員数が減少し、ベテラン職員が退職する中、AI による浄水場運営支援や無人運転化も将来的には十分にあり得ると考える。水道分野における AI の使い道として、①膨大なデータの可視化により、現場の工夫を引き出す、②監視・検索により、異常状態を検知する、③モデルによる推定・予測により、将来に備える、④最適化により、あるべき判断を導出する、などが想定される。後述するように、基本的に、AI は膨大な数の入力データと出力データを入力さえすれば、暗黙知をモデルとして知識化できるが、その背景となる物理化学的な知見がない限り、入力→出力の正当性や妥当性を説明することは不可能に近い。特に、水道分野においては人の命を預かる以上、5%の誤答でさえも許容されないことも多いため、モデルの説明責任はモデルの良否を決定する非常に重要な要素なりう

る。信頼されるシステムを構築するためには、やはり、上水道分野のエンジニアが物理化学的な基礎知識と共に、現場の経験を反映することで AI モデルを構築していくことが望ましいと考える。

2. 残留塩素予測に向けた予測モデルの課題と挑戦

我々の研究グループでは、浄水支援システムの構築に続く、浄水場運転の自動化を見据え、上水道システムの要となる残留塩素管理に着目して研究を進めている。特に残留塩素濃度は、水道法では給水末端において 0.1 mg/L 以上となるよう定められている一方で、過剰な塩素添加に伴って発生する塩素臭や消毒副生成物の生成抑制が重要となる。多くの事業体では 0.1~1.0 mg/L の範囲に数値目標を定めており²⁾、浄水水質や季節等に応じて、現場の職員が浄水場出口における塩素注入量を調整している。前述したように、ベテラン職員が減少し、技術継承が困難となる中で、経験に依存した塩素注入操作を継続することは将来的に困難になると予想する。

塩素注入量を予測する物理化学モデルは、これまでも様々に検討されており、pH、色度、水温、溶存酸素量、送水流量、管路材質、管路長、管路内滞留時間などが、主な残留塩素低減に寄与する支配因子として報告されている^{3,4)}。この中でも、特に送水流量と管路内滞留時間は、日々の水使用量などに応じて変化することから、物理化学モデルの構築において予測誤差を拡大する主要な原因となっていた。一方で、ある程度の給水人口を有する事業体では、生活や産業

活動の日間変動、週間変動に応じて水使用量が一定周期で変化することが予想される。そこで、我々の研究グループでは、管路内滞留時間の周期的な変動トレンドを AI で学習することで、精度の高い残留塩素低減量予測モデルを構築できると考えた。具体的には 2022 年度は、時系列 AI モデルである LSTM により、3~12 時間先の配水末端における残留塩素濃度を予測しうるモデルを以下の手順により構築した。

- ① 予測モデル構築フローの汎用性検討
- ② 給水地点から末端配水地点間の残留塩素低減量予測モデルの構築
- ③ 残留塩素濃度を PC に入力するデバイスの開発

3. 時系列データの AI モデル構築に関する技術展開

代表的な AI モデルとして、FFANN (Feed Forward Artificial Neural Network) ⁵⁾ や SVM (Support Vector Machine) ⁶⁾ などがある。しかし FFANN や SVM は時系列変化の履歴を学習する機構を持たないことから、変動トレンドの予測には不向きである。時系列データに対しては、これまでに自己相似性を算出することで将来の変化を予測する FBANN (Feed Back Artificial Neural Network) を適用した研究例が散見される。齋ら ⁷⁾ は、FBANN を鳥取県湖山池の溶存酸素濃度の予測に応用したが、予測時間 3 時間以上において、実測値と予測値に位相差が発生したことを報告している。この結果をはじめとして、長期的な変化に富んだデータの場合、自己相似性を利用した長期トレンドの予測には限界があることが多数報告されて

いる。

近年では、FFANN の隠れ層を時系列の前後で接続した RNN (Recurrent Neural Network) が開発され、より長期間の複雑な時系列変化を高い精度で学習できるようになってきた。図-1 に示す通り、RNN は現時刻を t としたとき、時刻 $t-L$ から時刻 t までの隠れ層を時系列の前後で接続し、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。RNN はこれまでの時系列情報のトレンドを保持することが可能であり、そのトレンドから将来の値を予測できる。

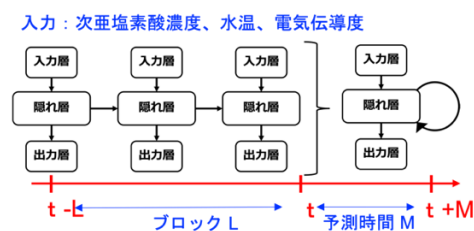


図-1. Recurrent Neural Networkのモデル構造

Kumar ら ⁸⁾ は、RNN を用いて 1 ヶ月後の河川流量を予測し、 R^2 値 0.892 の精度で予測することに成功した。また、1 日以上先の長期予測には、RNN の隠れ層に CEC (constant error carousel) を設置し、入力ゲート、出力ゲートおよび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 LSTM (Long Short-term Memory) が有効とされている。それぞれのゲートはシグモイド関数により制御され、0.0~1.0 の間の実数に変換したものが次時刻の入力値として出力される。一方で、CEC の重みを 1 とすることで、長期間のトレンドを消失させずに、次時刻の入力値に引き継ぐことが可能であ

り、長期間にわたる予測モデル構築が可能となる。Zhang ら⁹⁾は中国北西部へタオ地区を対象として、降雨量、温度、灌漑用水量および蒸発量を使用して LSTM による地下水面の高さを予測した結果、 $R^2=0.952$ の精度で予測することに成功している。

B. 方法

4. 予測モデル構築フローの汎用性検討

昨年度に構築した 6 時間先の残留塩素低減量予測モデル構築フローの汎用性を検証するために、沖縄県企業局の名護浄水場(図-2 中 A) および石川浄水場(図-2 中 B) の給水系について、同様に予測モデルを構築した。

名護浄水場の給水系は、名護浄水場から名護給水池に配水された後に、本部調整池もしくは喜瀬調整池に分配される。本部調整池ならびに喜瀬調整池は共にリゾート地

に位置し、水需要の季節変化が大きい。本部調整池は、美ら海水族館付近への給水の他に、海底送水管により 5km 先の伊江島まで送水されている。なお、水族館は海水を使用しているため、企業局の水はほとんど使用していない。

石川浄水場の給水系は、石川浄水場から東恩納調整池ならびに山城調整池に夜間に配水された後に、山城調整池から金武調整池および具志川調整池に水位差により分配されている。金武調整池は、主に金武町住民と米軍基地へと給水されており、特に軍隊員が増える時期に使用量が増える傾向がある。東恩納調整池ならびに具志川調整池ともに、他浄水場からの給水や市内の需給量が複雑に変化するため、これまで検討してきた給水系統よりも残留塩素濃度の変化に影響を及ぼす因子が多いことが推測される。

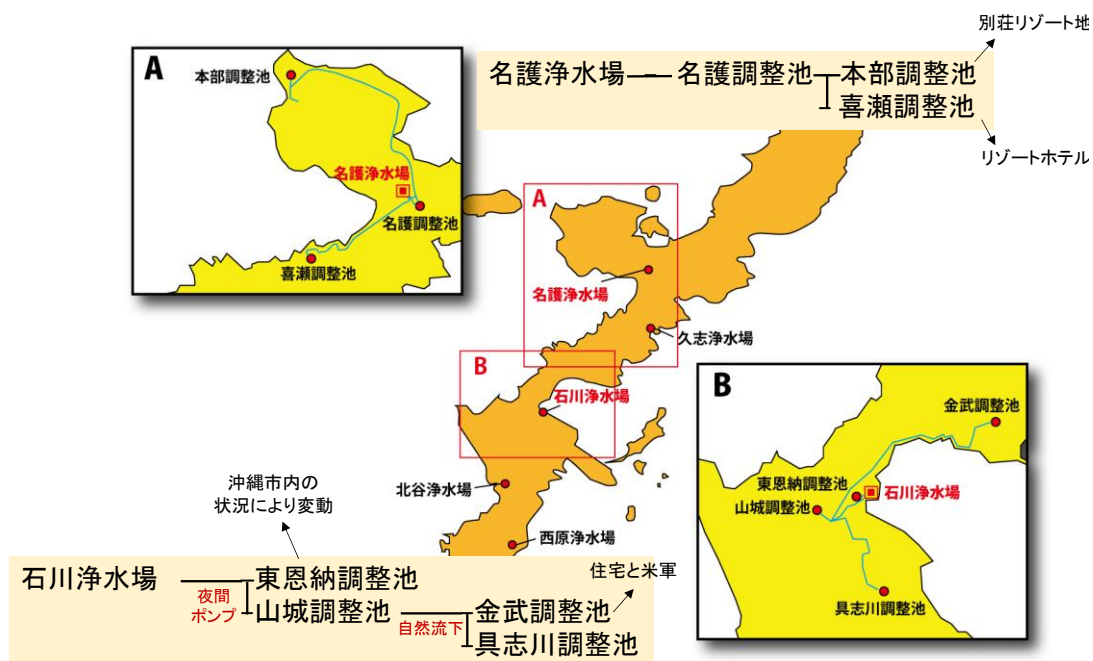


図-2. 沖縄県内の浄水場および調整池

名護浄水場の給水系については2017年1月から2021年3月まで約4年間の残留塩素濃度データを提供いただき、異常値除去および平滑化処理後にモデル構築・検証に使用した。石川浄水場の給水系については2018年4月から2021年3月の約3年間の残留塩素濃度データを提供いただき、異常値除去および平滑化処理後にモデル構築・検証に使用した。

名護浄水場の給水系では、(1) 名護調整池出口から喜瀬調整池までの残留塩素濃度低減量を予測するモデル(名護調整池-喜瀬調整池モデル)、(2) 名護調整池出口から本部調整池までの残留塩素低減量を予測するモデル(名護調整池-本部調整池モデル)をそれぞれ構築した。

石川浄水場の給水系では、(3) 石川浄水場から山城調整池までの残留塩素濃度低減

量を予測するモデル(石川浄水場-山城調整池モデル)、(4) 石川浄水場から東恩納調整池までの残留塩素低減量を予測するモデル(石川浄水場-東恩納調整池モデル)、および(5) 山城調整池から具志川調整池までの残留塩素低減量を予測するモデル(山城調整池-金武調整池モデル)ならびに(6) 山城調整池から具志川調整池までの残留塩素低減量を予測するモデル(山城調整池-具志川調整池モデル)をそれぞれ構築した。

モデル構築にあたっては、相模原浄水場-西谷給水地点間のモデル構築時の条件で最適化されたブロック数24時間を適用した。

5. 給水地点から末端配水地点までの残留塩素低減量予測モデルの構築

浄水場出口から末端配水地点までの残留塩素低減量の予測を目指し、相模原浄水場-

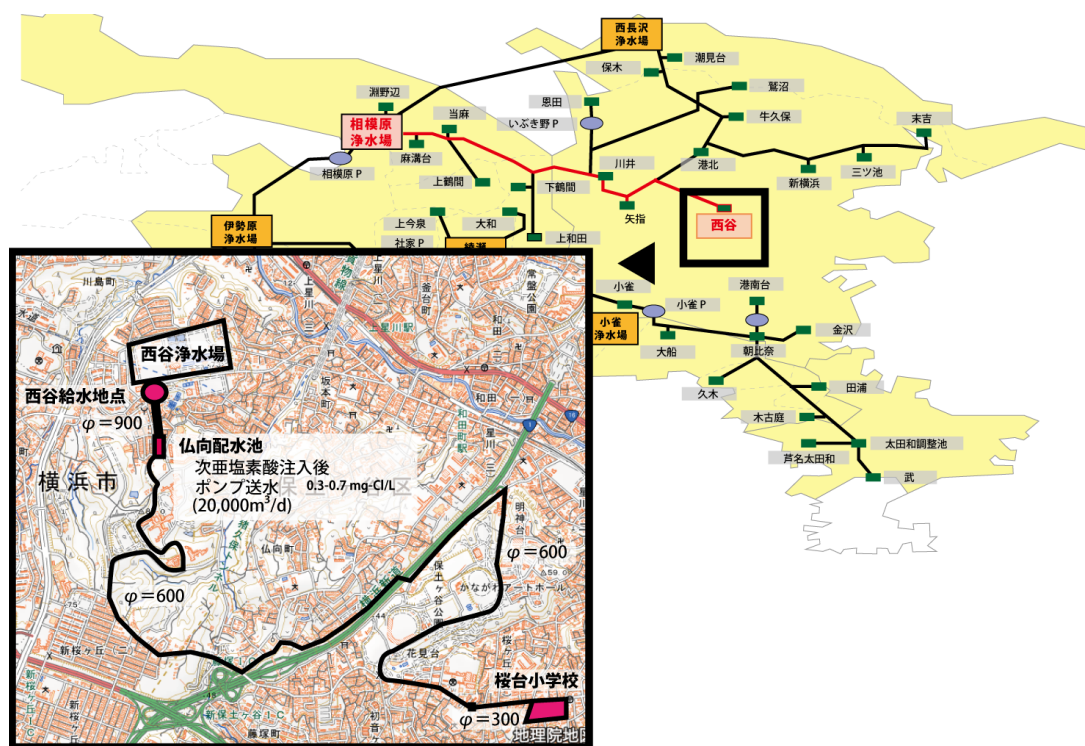


図-3. 横浜市水道局の仏向配水池および桜台小学校

西谷給水地点を經由し、横浜市仏向配水池から桜台小学校まで配水される配水系の残留塩素低減量予測モデルの構築を試みた(図-3)。仏向配水池において、配水末端での残留塩素濃度が0.3~0.7mg/Lの範囲になるように次亜塩素酸ナトリウムが追加添加(以後、追塩と表記)されている。配水池出口に設置したポンプ場から末端まで、樹枝状の配管網により給水されている。本研究では、横浜市水道局が保管する、追塩後の仏向配水池出口および桜台小学校に設置されている連続水質監視装置で記録した10年分の残留塩素濃度(2010~2020年)を提供いただき、異常値除去および平滑化処理後にモデル構築・検証に使用した。

モデル構築にあたっては、相模原浄水場出口から西谷給水地点までの残留塩素濃度低減量を予測するモデル(浄水場-西谷モデル)、西谷給水地点から仏向配水池までの残留塩素低減量を予測するモデル(西谷-仏向モデル)と仏向配水池から桜台小学校までの残留塩素低減量を予測するモデル(仏向-桜台小学校モデル)をそれぞれ構築し、3つの連立モデルを統合することで、12時間前の相模原浄水場出口における残留塩素濃度の実測値を用いて、6時間後の桜台小学校における残留塩素低減量を予測するモデルを構築した(図-4)。なお、仏向配水池での追塩量は、残留塩素濃度の監視に基づいて決定されており、西谷-仏向モデルは、実質的に追塩アルゴリズムをモデル化したものとなる。モデル構築にあたっては、相模原浄水場-西谷給水地点間のモデル構築時の条件で最適化されたブロック数24時間を適用した。

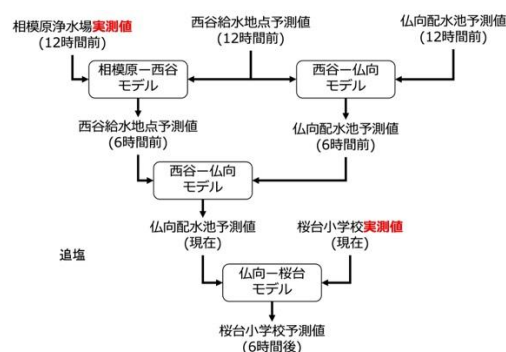


図-4. 連立モデルのアルゴリズム

6. 残留塩素濃度を PC に入力するデバイスの開発

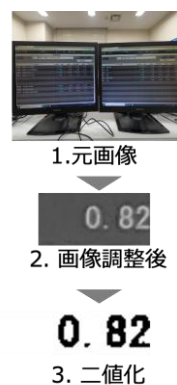


図-5. ディスプレイ数値の読み取りフロー

モデルの実装に向けて、浄水場の監視制御システムに介入することなく監視画面から残留塩素濃度を読み取り、Excel に転送システムを構築する(図-5)。神奈川県内広域水道企業団 相模原浄水場事務所内において、相模原浄水場出口と西谷給水地点の残留塩素濃度が表示された情報系システム管理画面を小型ビデオカメラ (GoPro HERO8 Black) で撮影し、モデルの構築と検証に使用した。撮影にあたって、解像度は2704×1520 pixel、フレームレートは1/300 fps に設定した。動画は OpenCV により画像群に変換し、残留塩素濃度が表示された部位をト

リミングした後に、Otsu アルゴリズムにより二値化したものを数値変換に供した。画像から数値への変換は、Tesseract OCR を使用し、目視で記録した正解値と変換値を比較することで、正答率を算出した。

C. 結果と考察

7. 予測モデル構築フローの汎用性検討

7.1 名護浄水場の給水系

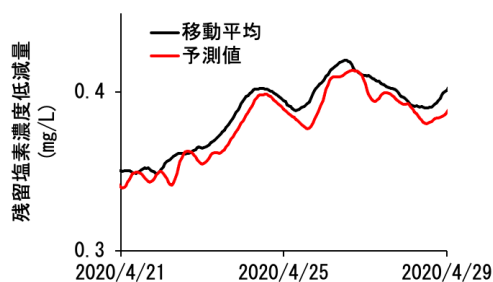
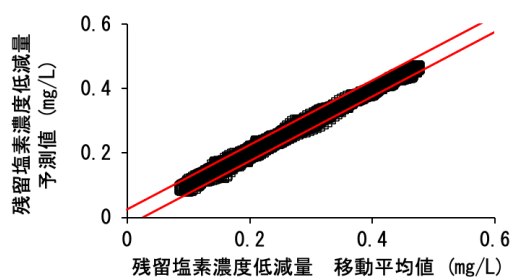


図-6. 名護-喜瀬モデルの精度：(上) 実測値と予測値の差、(下) 時系列変化

6 時間先の喜瀬調整池における残留塩素濃度低減量予測モデルの精度および経時変化を図-6 に、本部調整池における残留塩素低減量予測モデルの精度および経時変化を図-7 に示す。図-6 中、ほとんどのプロットが ± 0.025 mg/L 以内に収まったことから、喜瀬調整池では高い精度で残留塩素低減量の予測に成功した。図-7 から、本部調整池も同様にほとんどのプロットが ± 0.025 mg/L 以内に収まった一方で、経時変化において、予測値が実測値（移動平均値）の 6 時

間後を追う「予測の後追い現象」が散見された。後追いの発生は、実質的に、予測が出来ていないことを示すものである。

沖縄県企業局の協力のもと、本部調整池を現地視察した結果、本部調整池の給水域は自己水源を有する自治体が多く、2019 年以降に新型コロナの蔓延に伴って水使用量が減少した際に自己水源に切り替えたことにより、企業局からの水供給量が急減した可能性が判明した。本部調整池からの供給量が急減したため、滞留時間の周期トレンドが変化し、予測精度が低下したものと推測する。LSTM の適用にあたっては、滞留時間の周期トレンドを学習していることから、水源の切り替えなどの人的な変化があるような水系では、予測モデルの構築が難しいことが明らかになった。

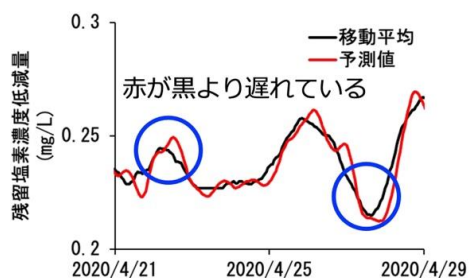
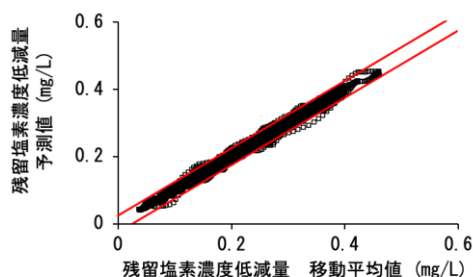


図-7. 名護-本部モデルの精度：(上) 実測値と予測値の差、(下) 時系列変化

7.2 石川浄水場の給水系

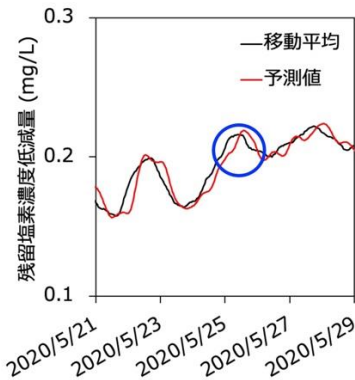


図-8. 石川-山城モデルの精度

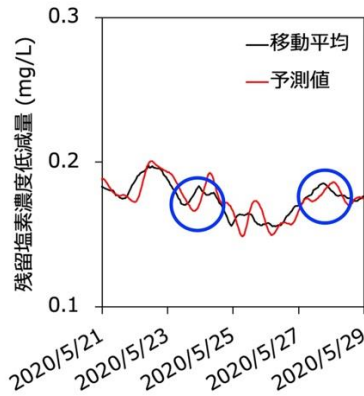


図-9. 石川-東恩納モデルの精度

6時間先の石川-山城モデルの経時変化を図-8に、石川-東恩納モデルの経時変化を図-9に示す。両モデル共に、予測値が実測値（移動平均値）の6時間後追う後追い現象が発生しており、特に石川-東恩納モデルでは、実測値ではピークが存在しない場所に予測値のピークが観察される箇所が複数観察された。ただし、二箇所の配水池では本部調整池のように自己水源を使用しておらず、人為的な給水量変化が影響したとは考にくい。山城調整池および東恩納調整池は、石川浄水場からポンプ輸送で配水されており、通常は夜間電力を使用して給水し、日中はポンプが稼働していない。この場合、石川浄水場から供給された水は浄水場の配

水池に貯水されることになるため、浄水場出口の残留塩素よりも、配水池に配水される際の残留塩素濃度の方が低くなると予想される。正確な予測モデルを構築するには、残留塩素濃度低減量を予測する始点と終点の2点間において、正確な残留塩素濃度の計測が必要であることを示すものであり、配水池などを経由して残留塩素濃度が低下する場合などでは、予測モデルの適用が難しいことが明らかになった。

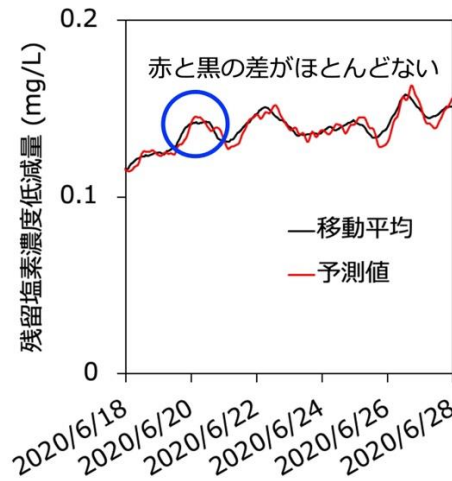


図-10. 山城-具志川モデルの精度

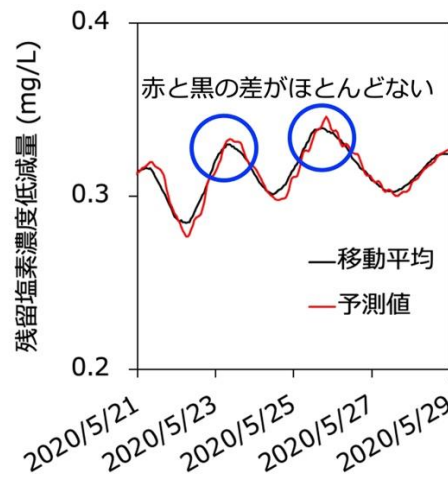


図-11. 山城-金武モデルの精度

山城-具志川モデルの経時変化を図-10に、山城-金武モデルの経時変化を図-11に

示す。石川-山城モデルとは異なり、両モデルとも後追いが発生せず、高い精度で予測できることが明らかになった。山城調整池から具志川および金武調整池へは、主に水位差により給水されているため、定期的な水の滞留が少なかったことで、精度の高いモデルが構築できたものと推測する。ただし、金武調整池については米軍基地へも水供給されており、基地の利用状況によっては給水量が大きく変化する可能性がある。LSTMで記録したことのない変動を経験した際には、モデル精度が大きく低下する恐れもあることから、注意が必要となる。

7.3 予測モデル構築フローの汎用性検討結果のまとめ

本研究では、神奈川県内広域水道企業団のデータを用いて構築した、予測モデル構築フローの汎用性を検証するために、沖縄県企業局から名護浄水場の給水系および石川浄水場の給水系のデータを提供いただき、モデルの構築および精度の検証を実施した。

モデル精度を大きく低下させる原因として、(1) 水源切り替えのように人為的に給水量の大きな変化があるような水系、および(2) 夜間配水などにより残留塩素濃度が計測時点からずれる場合が確認された。

モデル精度に影響を与える因子を把握した上で、モデルの活用先を選定する他、運用方法を整える必要があることが本研究により示された。

8. 給水地点から末端配水地点間の残留塩素低減量予測モデルの構築

相模原浄水場-西谷モデルの出力値を西

谷-仏向モデルで活用した際の仏向配水池における現時点の残留塩素低減量予測結果を図-12に示す。西谷-仏向モデルは、フィードバック制御により管理されている追塩アルゴリズムをLSTMによりモデル化したものであり、ほとんどのプロットが±0.025 mg/L以内に収まった。これらの結果から、LSTMにより追塩アルゴリズムを高精度に再現できたことがわかる。

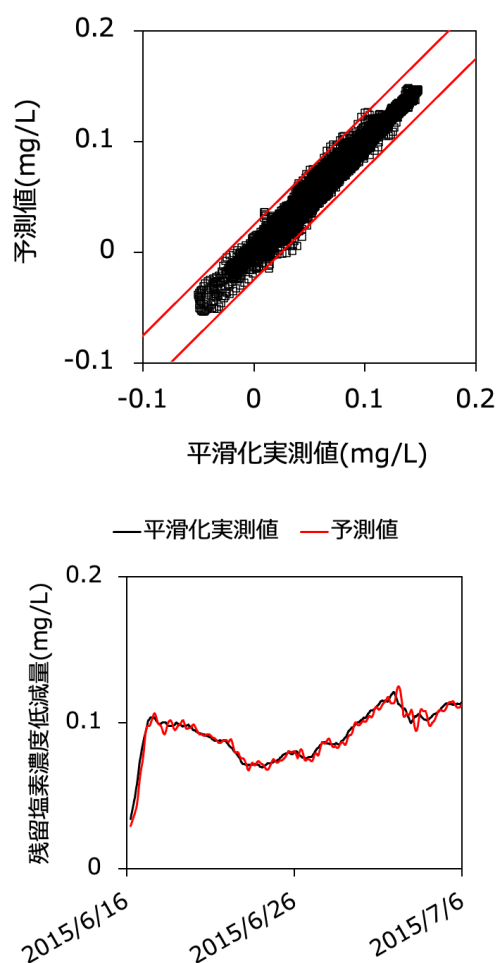


図-12. 西谷-仏向モデルの精度：(上) 実測値と予測値の差、(下) 時系列変化

さらに、西谷-仏向モデルの出力値を仏向-桜台小学校モデルで使用した際の、桜台小学校における6時間先での残留塩素低減量

予測結果を図-13 に示す。ほとんどのプロットが0.025mg/L以内に収まったことから、高精度で末端配水地点での残留塩素濃度を予測できたことが分かる。これらの結果から、大規模な給水管路に加えて、より複雑かつ小規模な樹状配管網であっても、高精度の予測モデルを構築できる可能性が示された。また、本研究では3区間のモデルを連立させることで、長区間で残留塩素濃度が大きく変化する場合においても、高い精度で残留塩素濃度低減量を予測可能なモデル構築法の確立に成功した。

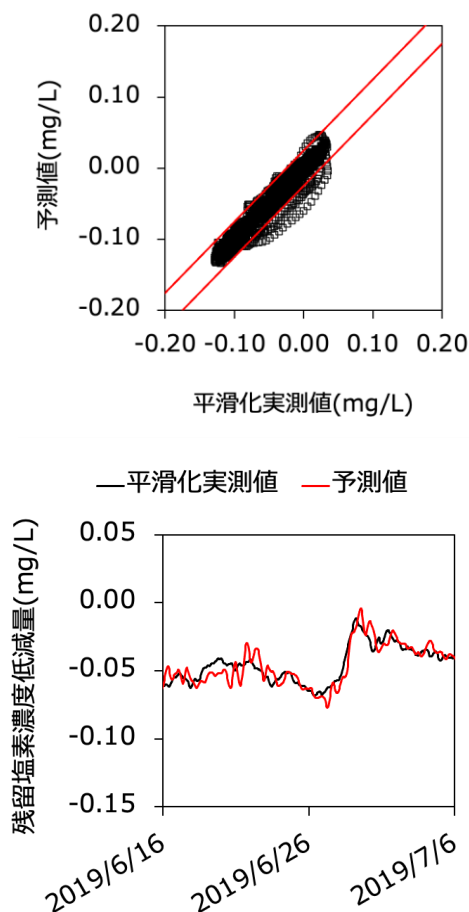


図-13. 仏向-桜台小学校モデルの精度：(上) 実測値と予測値の差、(下) 時系列変化

仏向-桜台小学校モデルは西谷-仏向モデルよりもわずかに平均誤差値が高かったことから、西谷-仏向モデルの誤差が続く仏向-桜台小学校モデルに影響を与えたものと推測する。モデルを連立する際には、前段モデルの予測精度に配慮する必要性が示された。

9. 残留塩素濃度を PC に入力するデバイスの開発

管理画面に表示された残留塩素濃度読取り結果の一例を図-14 に示す。目視による読み取りと比較した際の正答率は 97.5%であり、ビデオカメラによる撮影のみで、高精度に残留塩素濃度の数値を PC 入力することに成功した。2.5%の誤答を確認したところ、小数点が読み取れなかった場合と数値が検出できなかった場合に分別できた。これらの結果をもとに、誤答条件を補正するためのアルゴリズムを追加した結果(図-15)、正答率 100%を達成した。これにより、浄水場の監視制御システムに介入することなく、各地点における残留塩素濃度の判別および PC (Excel) 入力が可能になった。

時刻	検出値	目視
2022/8/15 15:50	0.87	0.87
2022/8/15 15:55	0.87	0.87
2022/8/15 16:00	0.86	0.86
2022/8/15 16:05	88	0.88
2022/8/15 16:10	0.87	0.87
2022/8/15 16:15	0.87	0.87
2022/8/15 16:20	0.87	0.87
2022/8/15 16:25	0.87	0.87

図-14. 文字認識の結果例

構築したモデルは、Excel でも計算できることから、ビデオカメラと Excel があれば、画面から数値を判別・入力し、残留塩素濃度低減量の予測値を表示するシステムが安価かつ簡単に構築できるようになった。

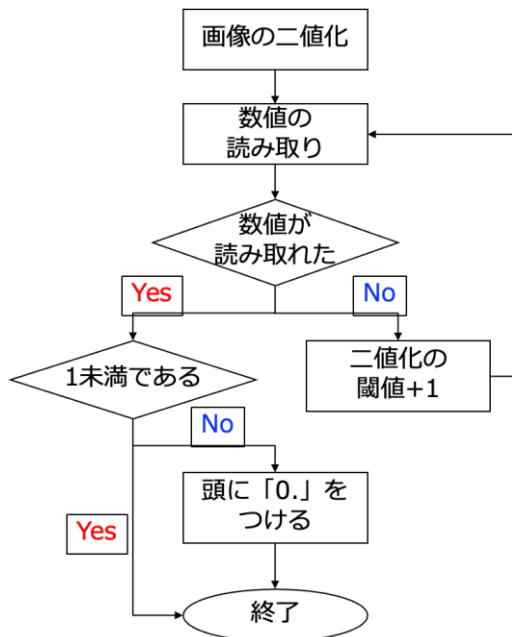


図-15. 数値読み取りアルゴリズム

D. 結論

本研究では、時系列データ解析モデルである LSTM を用いて、末端配水地点における 6 時間後の残留塩素濃度を予測するモデル構築手法について紹介した。極めて高精度のモデルが構築出来ることから、予測結果をもとにした浄水場出口における自律塩素添加制御システムの構築も実現可能と考える。

一方で、モデルの感度分析によって、未学習のトレンドデータが入力された際に、著しく予測精度が低下することも明らかになっている。また、管内滞留時間に周期性が存在しない場合にも、モデル構築が難しいことを確認している。これらの課題には、残留塩素濃度だけでなく、流量や管内圧力などのデータを入力値として利用することで、より複雑な事象に対しても対応可能なロバストなモデル構築が可能になると考え

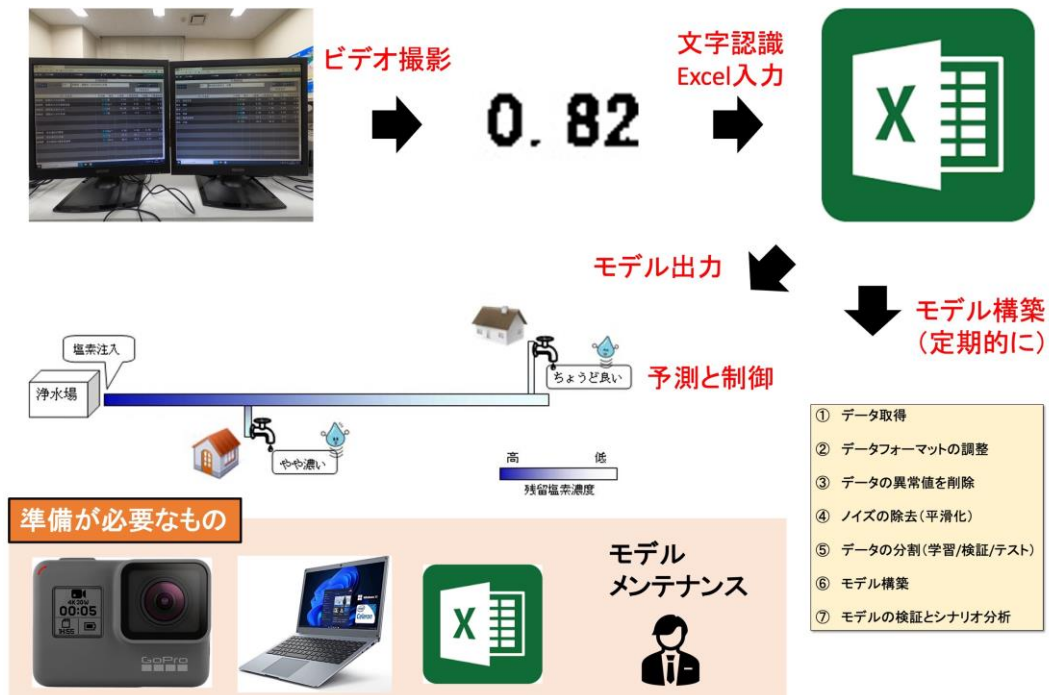


図-16. 本研究の実用化イメージ

る。

本研究において、PC上の監視データをExcelに転送・入力し、6時間後の残留塩素濃度を出力するシステムを構築した。安価な小型残留塩素濃度計と組み合わせることで、比較的小規模な浄水場でも自律塩素添加制御システムを構築できると考える（図-16）。

E. 研究発表

1. 論文発表

山村寛、石井崇晃、長短期記憶ネットワーク(LSTM)による末端配水地点の残留塩素濃度予測、水環境学会誌 46 (3), 81-84, 2023年.

2. 学会発表

1. Takaaki Ishii, Hiroshi Yamamura, Kazuki Ono, Manabu Ichikawa, Masahiko Kiyozuka, PREDICTIVE MODELS OF RESIDUAL CHLORINE CONCENTRATION IN WATER DISTRIBUTION SYSTEMS BY LONG-SHORT TERM MEMORY NETWORKS, 3rd International Conference on Disinfection and DBPs, Milan, Italia, 27 June - 1 July 2022

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

1. 特別講演会：山村寛、第29回 神奈川県内広域水道企業団研究発表会、2023年2月15日.

参考文献

- 1) 公益財団法人水道技術研究センター, 1999. 管路内残留塩素濃度管理マニュアル.
- 2) 横浜市水道局, 令和5年度水質検査計画, 横浜市水道局, Editor. 2023, 横浜市.
- 3) 山口貴士, et al., 2012. 配水システムにおける残留塩素減少に関する統合シミュレーションモデルの研究. 土木学会論文集 G (環境), 68(7), 165-173.
- 4) 稲員とよの, et al., 2008. 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, 45, 605-612.
- 5) 井上正人, et al., 2000. 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, 6, 149-168.
- 6) 松本隼, et al., 2019. 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, 24巻 (2), 111-151.
- 7) 齋幸治, et al., 2007. 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, (248), 47-54.
- 8) Kumar, D.N., K.S. Raju, T. Sathish, 2004. River flow forecasting using recurrent neural networks. Water Resources Management, 18(2), 143-161.
- 9) Zhang, J.F., et al., 2018. Developing a Long Short-Term Memory (LSTM) based model for predicting water table depth in agricultural areas. Journal of Hydrology, 561, 918-929.

Ⅱ. 厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「水道の基盤強化に資する技術の水道システムへの実装に向けた研究」
分担研究報告書

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

研究分担者 三宅 亮 東京大学工学系研究科 教授

研究要旨

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

A. 研究目的

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

B. 研究方法

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

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

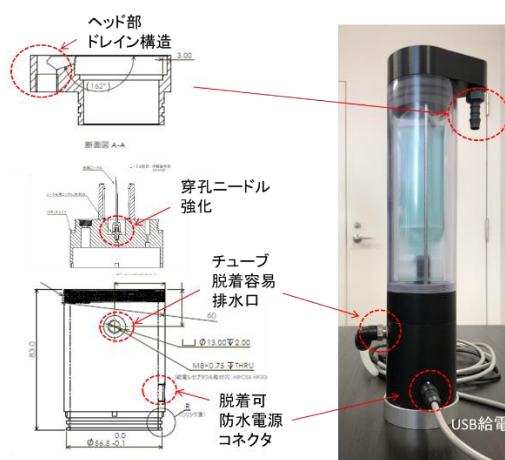


図1. 耐水性を強化した改良水質計

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

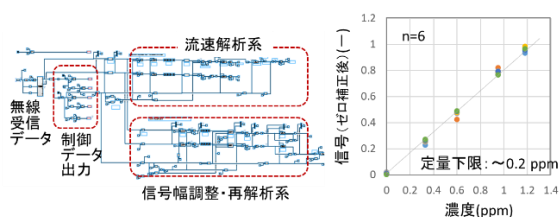


図2. 信号処理アルゴリズムの改良

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

表1. クラウドへの伝送頻度と計測遅延

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

C. 研究成果

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

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

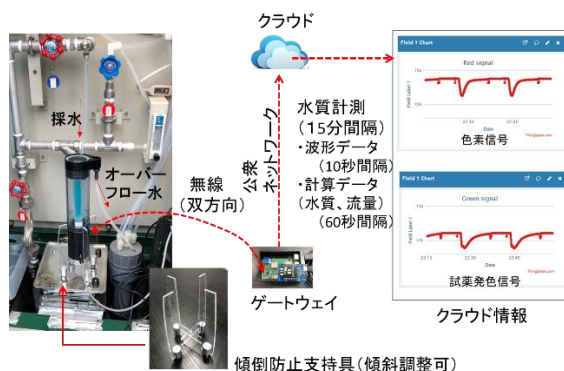


図3. 屋外計器ボックス内への実装の様子

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

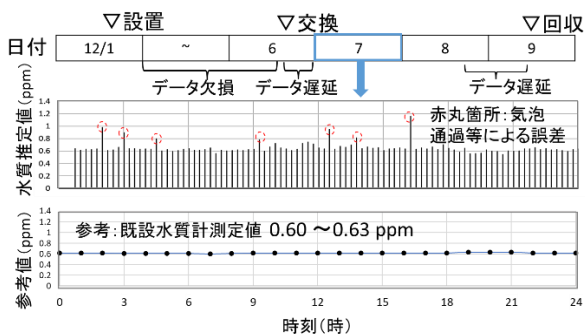


図4. 改良水質計による計測例

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

D. 考察

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

表2. システム仕様とコスト算定

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

¹⁾フィールド実験での試薬消費量から算定

* 試薬コスト: 200円/バックと想定

[§] 商用IoTプラットフォーム: 0.003円/messageを想定

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

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

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

E. 結論

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

F. 研究発表

1. 論文発表

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

2. 学会発表(予定)

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

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

G.知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

1. 特許取得
該当なし
2. 実用新案登録
該当なし
3. その他
該当なし

別添5

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
Hidekatsu Tazawa, Tomomi Sato, Yu Sakuta, Ryo Miyake	” Development of microfluidic devices for on-site water quality testing using glass molding”	Analytical Sciences			2023
山村寛、石井崇晃	長短期記憶ネットワーク(LSTM)による末端配水地点の残留塩素濃度予測	水環境学会誌	46 (3)	81-84	2023

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4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 (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4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 曾根 智史

次の職員の令和4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)
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 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4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4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

次の職員の令和4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 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。