

# I . 総括研究報告



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

人口減少社会における情報技術を活用した水質確保を含む管路網管理向上策  
に関する研究

研究代表者 佐々木 史朗 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、人口減少に伴う水需要の減少による給水収益の悪化及び水道事業に携わる職員の減少等により、特に小規模水道事業者において事業の持続が困難になりつつある。また、水需要の減少により、水道管内での水の滞留に伴う水質悪化等が懸念される。

このような状況下でも送配水管においては、管路網の管理及び末端給水での水質管理の確保、向上を図ることが求められており、遠隔監視制御技術の活用による水質管理を含む効果的な管網管理手法が望まれる。しかし、遠隔監視制御を送配水管の水質管理等に積極的に実施している事例は国内に少なく、一般的に高価なシステムであるため、特に小規模水道事業者における普及が進んでいない状況である。

このような背景から、本研究は、将来にわたり適切な管路網管理を持続していくために、最近進展が著しい情報通信技術を活用し、少ない職員で広い地域の送配水管を効果的に管理するための遠隔監視制御手法及び安価な水質計の提案を目的としており、以下のような具体的な4つの課題に取り組んでいる。

- (1) 送配水管における水質管理等の課題の抽出
- (2) 送配水管における水質管理等の既存技術の調査
- (3) 送配水管における水質等の変化の予測及び実証
- (4) 水質計の開発及び実証

本研究の実施期間は、平成29年度～平成31年度を予定しており、平成29年度は3か年計画の1年目である。研究体制は、佐々木史朗（水道技術研究センター常務理事）を研究代表者とし、学識者及び水道技術研究センター職員を研究分担者とするとともに、水道事業者の技術者を研究協力者とした。

平成29年度の研究結果の概要は次のとおりである。

- (1) 送配水管における水質管理等の課題の抽出

送配水管における水質管理等の課題を抽出するため、市町村合併等により簡易水道事業等の小規模水道を含んでいる中核都市規模相当の水道事業者を対象にヒアリング調査及び現地調査を実施した。その結果、送配水管における水質等管理では、遠隔監視制御装置を活用した末端までの管理を実施している水道事業者は少ないことが確認された。導入が進まない要因として、「コスト」、「通信セキュリティ」、「維持管理の労力増の懸念」、「設置場所の確保」等といった課題が挙げた。

また、水道法施行規則に基づく毎日検査の測定方法としても、人手による測定が安価であるため、遠隔監視装置の導入が進まない傾向が伺えた。

- (2) 送配水管における水質管理等の既存技術の調査

送配水管における水質管理等の既存技術の調査では、平成30年度に行う企業等へのヒアリング調査に向けて、水道事業者ヒアリングの結果及び関連技術を有する企業のウェブサイト並びに機器展、計測展、水道展等の展示会から情報収集を行った。

また、海外の学術文献並びに製造業者のパンフレット等から情報を収集し、送配水過程を対象とした水質監視技術の動向を調査した結果、常時遠隔監視が可能な水質項目として、100

項目以上が実用化されているものの、各国の水道事業において広く用いられている監視項目は、pH、電気伝導度(EC)、酸化還元電位(ORP)、溶存酸素(DO)、濁度、アルカリ度、遊離塩素・総塩素等が主であることが分かった。また、トリハロメタン等の消毒副生成物、硝酸・亜硝酸等の無機化合物、大腸菌・大腸菌群などの微生物を対象とした常時監視システムが実用化されていた。

米国においては、有害化学物質や病原微生物の意図的な水道への混入といったテロ行為に対する警報システムとして水質監視システムが注目されていた。

遠隔監視システム導入による水質管理上の利点は、「測定速度・頻度の向上」、「工程管理への活用」、「水質に係る規制への対応」、「障害・汚染等の検知」、「利用者サービス」が挙げられた。一方で、「導入や維持管理に要する費用」、「機器校正に要する労力」、「膨大な測定データの解析と解釈」、「業務への活用」等について課題が見受けられた。

### (3) 送配水管における水質等の変化の予測及び実証

送配水管における水質等の変化の予測では、実証フィールドの対象である小規模水道の形体を有する配水系統内に設置した自動水質測定器のモニタリングデータを使用し、管網末端での残留塩素濃度を推定するモデルを、重回帰分析を用いて作成した。モデル作成に当たっては、時間遅れを考慮した残留塩素濃度消費幅に着目し、相関分析から影響要因を決定することで、高い精度のモデルを推定した。また、モデルを用いた残留塩素濃度の低下影響シミュレーションにより、夏期間は現在の管理水準を維持することが必要であるが、冬期間は現在より浄水場残留塩素濃度が0.1mg/L低下しても管網末端における安全性が保たれることが明らかとなった。

また、実証フィールドにおいて、原水、浄水、消火栓5か所、末端に位置する公園の給水栓の合計8か所から採水を行い、分析した結果、管路内において微細なたんぱく質を含む粒子が発生し、それが一つの原因となり、水中の残留塩素濃度が低減することが示された。

### (4) 水質計の開発及び実証

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に対して、現地での試薬交換を容易にする計測用試薬部の簡易交換機能、無線での遠隔計測をより簡便とするための制御・計測回路の通信系の統合、それらを盛り込んだプロトタイプの水質計器の試作、さらに実地検証のための採取部の製作を行った。その後、小型水質計器の既存計器の精度比較、維持管理に要する費用等の比較を行った。その結果、概ね安定的に動作することが確認された。一方で、既存計器の計測値の推移と比較して、取得データについては、特徴的なばらつきが確認された。これらについては要因を推察し、今後の対応策について提案した。

### 研究分担者氏名

安藤 茂	水道技術研究センター	専務理事
島崎 大	国立保健医療科学院	首席主任研究官
長岡 裕	東京都市大学	教授
荒井 康裕	首都大学東京	准教授
三宅 亮	東京大学	教授

## A. 研究目的

我が国では、人口減少に伴う水需要の減少による給水収益の悪化及び水道事業に携わる職員の減少等により、特に小規模水道事業者において事業の持続が困難になりつつある。また、水需要の減少により、水道管内での水の滞留に伴う水質悪化等が懸念される。

このような状況下でも送配水管においては、管路網の管理及び末端給水での水質管理の確保及び向上を図ることが求められており、遠隔監視制御技術の活用による水質管理を含む効果的な管網管理手法が望まれる。しかし、遠隔監視制御を送配水管の水質管理等に積極的に実施している事例は国内に少なく、一般的に高価なシステムであるため、特に小規模水道事業者における普及が進んでいない状況である。

このような背景から、本研究では、将来にわたり適切な管路網管理を持続していくために、最近進展が著しい情報通信技術を活用し、少ない職員で広い地域の送配水管を効果的に管理するための遠隔監視制御手法及び安価な水質計の提案を目的としている。

## B. 研究方法

平成 29 年度は、「1.送配水管における水質管理等の課題の抽出」、「2.送配水管における水質管理等の既存技術の調査」、「3.送配水管における水質等の変化の予測及び実証」、「4.水質計の開発及び実証」の 4 つ課題に取り組んだ。

送配水管における水質管理等の課題の抽出では、水道事業者における送配水管の管理の実態把握を行うため、ヒアリング調査及び現地調査を行った。

送配水管における水質管理等の既存技術の調査では、水道事業者へのヒアリング調査から導入技術を整理するとともに、関連技術を有する企業のウェブサイト等から情報収集を行った。また、海外学術論文等から海外における水質監視技術等の動向を調査した。

送配水管における水質等の変化の予測及び実証では、小規模水道の形体を有し、かつ、既に末端給水栓に自動水質測定装置が導入されているフィールド(以下、実証フィー

ルド)を対象として、水量、水質データを入手し基本統計量の分析を実施し、重回帰分析による予測モデルの構築を行った。また、実証フィールドから採水した試料水について、水質試験を実施し、実証フィールドにおける管路内の水質の実態把握を行った。

水質計の開発及び実証では、別途プロジェクトで開発された水質計について、水道分野へ適用するため、プロトタイプの水質計器(以下、プロト計器)を浄水場内に設置し、精度試験を行った。

次に、具体的な研究方法を示す。

### 1. 送配水管における水質管理等の課題の抽出

市町村合併等により簡易水道事業等の小規模水道を管理している中核都市規模相当の水道事業者を対象に全国 12 水道事業者へのヒアリング調査及び現地調査を行った。調査を実施した水道事業者の概要を表 1 に示す。

ヒアリング調査を実施するに当たり、送配水管における遠隔監視及び遠隔制御の導入状況に関するアンケート調査票に事前に回答いただき、ヒアリング調査を実施した。

表 1 ヒアリング調査事業者

No.	調査事業者		給水人口 (千人)
1	関東	A県企業局	2,800
2	東海	B市上下水道局	680
3	東海	C市上下水道局	760
4	北陸	D市水道局	800
5	北陸	E市水道局	250
6	九州	F市水道局	470
7	九州	G市上下水道局	400
8	東北	H市上下水道局	310
9	東北	I市上下水道局	290
10	中国	J市上下水道局	260
11	中国	K市水道局	720
12	中国	L市上下水道局	170

### 2. 送配水管における水質管理等の既存技術の調査

平成 30 年度に実施予定の企業等へのヒアリング調査に向け、水道事業者ヒアリング結果及び関連技術を有する企業のウェブサ

イト並びに機器展、計測展、水道展等の展示会にて情報収集を行った。

また、遠隔水質監視に活用されている海外の要素技術や適用事例の情報を、海外の学術文献等から収集した。

### 3. 送配水管における水質等の変化の予測及び実証

実証フィールドは図 1 に示す送配水ネットワークとする。送配水管における水質等の変化の予測では、実証フィールド内の 2 地点の残留塩素濃度 (K 浄水場及び給水栓となる個人宅)、個人宅の水温、4 地点 (K 浄水場送水流量、S1 配水池からの配水流量、M 配水池からの 2 系統の配水流量) における流量の時間単位データを使用し、水温の変化に伴う残留塩素濃度の差異や滞留時間の変動を考慮した夏と冬の 2 つの期間におけるモデルの作成を試みた。モデル作成には、重回帰分析を使用した。

また、実証では、図 1 に示す原水、浄水 (K 浄水場にて採水)、K 浄水場から S1 配水池、M 配水池を經由して末端までの間の消火栓 5 か所、末端に位置する公園の給水栓の合計 8 か所から採水し、残留塩素濃度等の測定・分析を行った。

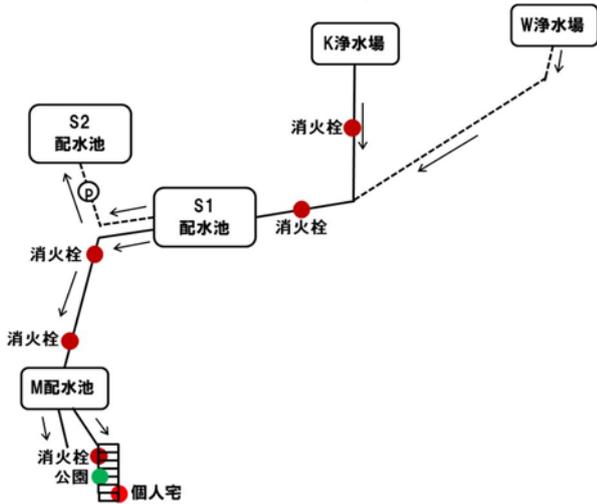


図 1 実証フィールド

### 4. 水質計の開発及び実証

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について、現地での試薬交換を容易とする計測用試薬部の簡易交換機能、無線での遠隔計測をより簡便とするための制御・計測回路の

通信系の統合、それを盛り込んだプロト計器の試作した (図 2)。さらに実地検証のため採取部の製作 (図 3) を行い、プロト計器の既存計器との精度比較等を行った。

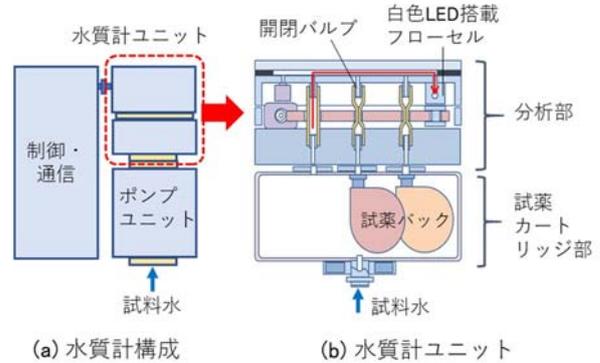


図 2 水質計の構成図

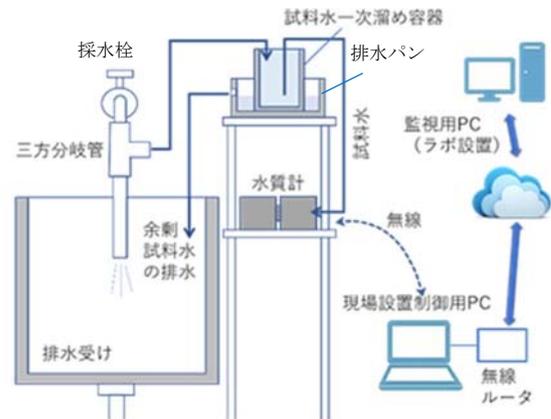


図 3 採取部の構成図

## C. 研究成果

### 1. 送配水管における水質管理等の課題の抽出

ヒアリングを実施した中核都市規模相当の水道事業体では、表 2、3 のとおり、浄水場出口、増圧ポンプ所、配水池等の水道施設内での水質、水圧・水量ともに遠隔監視システムの導入が進んでおり、中央監視室での一括した監視体制が構築されていた。遠隔制御についても、配水池での追加塩素や流量調整等の導入が一部の水道事業体では進んでいた。

しかし、管路網内及び末端給水栓の常時での遠隔監視となると導入が少なく、また、遠隔制御となると、管路網内では、導入されていない傾向が伺えた。

送配水管における遠隔監視制御装置の導入背景として、「毎日検査の代替」、「水質監視の強化」、「省力化」、「維持管理の効率化・異常時対応の迅速化」が、導入効果として、「移動時間の省力化」、「異常時の早期対応」、「水質改善」等が挙げられている。

一方で、このような導入背景や効果があるものの、なかなか導入が進まない要因として、「コスト」、「通信セキュリティ」、「維持管理の労力増の懸念」、「設置場所の確保」といった課題が挙げられた。

各水道事業体における自動水質測定装置の測定項目及び設置場所は表4、5のとおりであり、水道法施行規則に基づく毎日検査項目に関連する「残留塩素」、「濁度」、「色度」については、自動水質測定装置にて測定している水道事業体が多かったが、末端給水栓まで設置している水道事業体は少なく、毎日検査の測定方法については、「人手による検査が安価」であるため、末端給水栓まで遠隔監視装置の導入が進んでいない傾向が伺えた。また、人手による毎日検査のデータは、送配水管における「リアルタイムの水質管理にはほとんど活用されていない」ことが確認された。

表2 遠隔監視装置の設置状況

○：設置あり ×：設置なし —：未確認

事業体	監視			
	水質		水圧・流量	
	水道施設内※	管路網内	水道施設内※	管路網内
A県企業局	○	○	—	—
B市上下水道局	○	○	○	×
C市上下水道部	○	×	○	×
D市水道局	○	○	○	×
E市水道局	○	×	○	×
F市水道局	○	○	○	○
G市上下水道局	○	×	○	×
H市上下水道局	○	×	○	×
I市上下水道局	○	×	○	○
J市上下水道局	○	×	○	○
K市水道局	○	○	○	○
L市上下水道局	○	×	○	○

※水道施設内は、浄水場出口、増水ポンプ所、配水池を指す。

表3 遠隔制御装置の設置状況

○：設置あり ×：設置なし —：未確認

事業体	制御			
	水質		水圧・流量	
	水道施設内※	管路網内	水道施設内※	管路網内
A県企業局	—	—	—	—
B市上下水道局	×	×	×	×
C市上下水道部	×	×	○	×
D市水道局	○	×	×	×
E市水道局	×	×	×	×
F市水道局	○	×	○	×
G市上下水道局	○	×	×	×
H市上下水道局	×	×	×	×
I市上下水道局	×	×	×	×
J市上下水道局	×	×	×	×
K市水道局	×	×	○	×
L市上下水道局	○	×	○	×

※水道施設内は、浄水場出口、増水ポンプ所、配水池を指す。

表4 自動水質測定装置の測定項目

事業体	測定項目						
	残留塩素濃度	濁度	色度	pH	電気伝導率	水温	水圧
A県企業局	○	○	○	○	○	○	○
B市上下水道局	○	○	○				
C市上下水道部	○	○					
D市水道局	○			○		○	
E市水道局	○						
F市水道局	○	○	○	○	○	○	
G市上下水道局	○						
H市上下水道局	○	○					
I市上下水道局	○						
J市上下水道局	○	○	○				
K市水道局	○	○	○	○	○	○	
L市上下水道局	○	○					
計	12	8	5	4	3	4	1

表 5 自動水質測定装置の設置場所

事業体	設置場所				
	配水池	増圧ポンプ所	送配水管	末端給水栓	管理事務所
A県企業局	○	○		○	
B市 上下水道局	○			○	
C市 上下水道部	○				○
D市 水道局				○	
E市 水道局	○				
F市 水道局	○	○	○	○	
G市 上下水道局	○				
H市 上下水道局	○	○			
I市 上下水道局		○			
J市 上下水道局	○	○	○		
K市 水道局	○	○		○	
L市 上下水道局	○	○	○		
計	10	7	3	5	1

## 2. 送配水管における水質管理等の既存技術の調査

Water Environment Research Foundation が 2014 年に報告した "Compendium of sensors and monitors and their use in the global water industry" によれば、世界各国の水道や下水道事業に導入されているオンラインセンサーや監視装置の製造会社は 250 社以上、測定可能な水質項目は 100 項目以上とされており、水道事業者にて用いられる監視項目は、pH、電気伝導度 (EC)、酸化還元電位 (ORP)、溶存酸素 (DO)、濁度、アルカリ度、遊離塩素・総塩素等が主であった。また、米国および欧州の民間企業により、トリハロメタン、アデノシン三リン酸、大腸菌・大腸菌群の水質項目を対象とした遠隔監視装置が製品化されていた。さらに、米国環境保護庁 (USEPA) は、2008 年に米国内の 4 都市を対象として、水道の送配水過程を対象とした「汚染警報システム」の開発を行っており、その際に重視された水質項目は、TOC、残留塩素、電気伝導率、pH、および濁度の 5 項目であることが分かった。

また、送配水過程におけるセンサー設置箇所の最適化に関する検討も進められていることが分かった。

## 3. 送配水管における水質等の変化の予測及び実証

送配水管における水質等の変化の予測では、残留塩素濃度の消費量に焦点を当て、モデルの目的変数には滞留時間分の時間遅れを考慮した K 浄水場残留塩素濃度と個人宅残留塩素濃度との差分である消費幅を設定し、説明変数には時間遅れを考慮した K 浄水場及び末端給水栓となる個人宅残留塩素濃度、個人宅水温、4 地点の流量として、夏と冬の 2 つの期間について重回帰分析を行った (図 4)。また、K 浄水場残留塩素濃度の値が低下した場合の個人宅残留塩素濃度への影響を把握するため、感度分析を行った。その結果、表 4 のとおり、夏モデルでは現在の管理水準を維持することが必要であり、冬モデルでは現状から 0.1mg/L 減少させても個人宅での残留塩素濃度を安全に保つことができると分かった。

また、実証では、送水管・配水本管の流下距離と残留塩素濃度との関係を調べた結果、測定ごとのばらつきはあるものの、図 5 のとおり概ね一定速度で残留塩素濃度が消費されていることが分かった。また、水中の微粒子には鉄が多く含まれることが分かった。流下距離と膜ろ過抵抗の関係では、流下に伴い、0.5 $\mu$ m より大きい微粒子の濃度が増えていることが示された (図 6)。さらに、FT-IR 分析では、浄水場出口では表れていない 1650 cm<sup>-1</sup> および 3300 cm<sup>-1</sup> 付近のピークが管路末端において表れていることが示されており、微細なたんぱく質が水道管路において発生していることが推定された (図 7、8)。

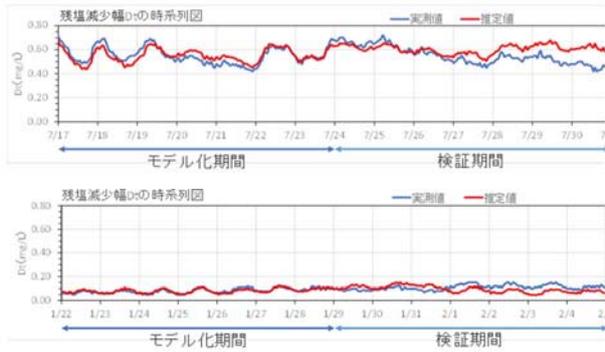


図4 モデル化期間及び検証期間における時系列図（上：夏期間、下：冬期間）

表4 感度分析の結果（上：夏期間、下：冬期間）

B濃度低下 (mg/L)	$C_T > 0.28 \text{ mg/L}$	
	$B_T$ (mg/L)	$C_T$ 最低値 (mg/L)
(現状)	0.85	0.26
-0.05	0.80	0.25
-0.10	0.75	0.24
-0.15	0.70	0.23
-0.20	0.65	0.22

B濃度低下 (mg/L)	$C_T > 0.22 \text{ mg/L}$	
	$B_T$ (mg/L)	$C_T$ 最低値 (mg/L)
(現状)	0.60	0.49
-0.05	0.55	0.38
-0.10	0.50	0.31
-0.15	0.45	0.21
-0.20	0.40	0.11

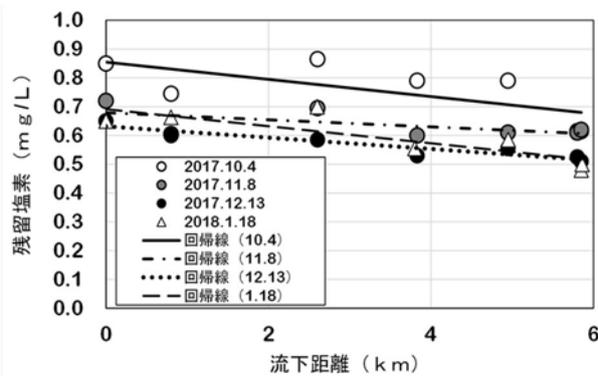


図5 流下距離と残留塩素濃度との関係

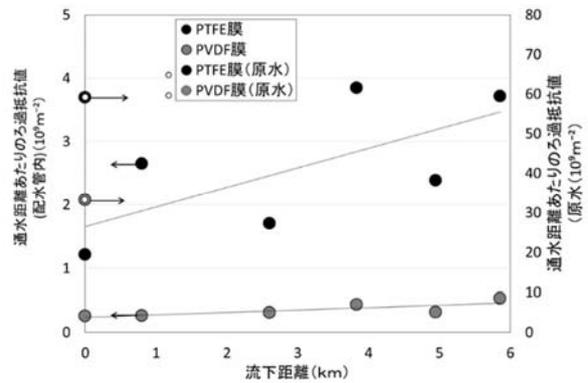


図6 流下距離と膜ろ過提供の関係

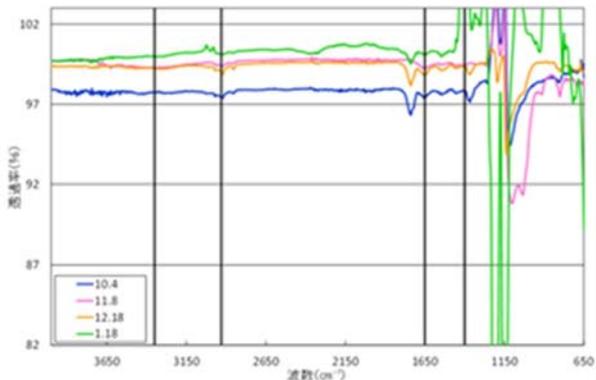


図7 浄水場出口（浄水）のFT-IR分析結果（IRスペクトル）

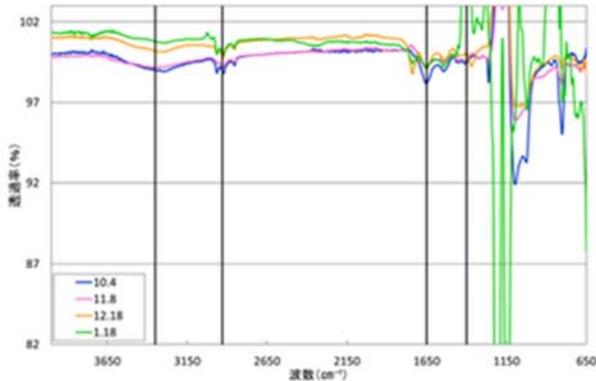


図8 消火栓（管路末端近く）のFT-IR分析の結果（IRスペクトル）

#### 4. 水質計の開発及び実証

浄水場内に、新しく開発した試薬カートリッジ及び通信制御系を備えた水質計を設置し、実地検証を行った結果、概ね安定的には動作することが確認された。一方で、既存計器の推移と比較して、取得データについては、図9の①、②、③の特徴的な変動・ばらつきが確認された。

度に加え、ラボ試験の代替によるコスト縮減、工程管理への活用、水質に係る規制への対応、障害・汚染等の検知、利用者サービスが挙げている。一方、導入の障害となる点として、遠隔監視の経験をもつ職員の不足、大規模水道事業体や遠隔地への適用不能、企業文化上の問題、品質保証・品質管理、測定データの質・量・管理、水質規制上の問題（ラボ試験による測定が必須で

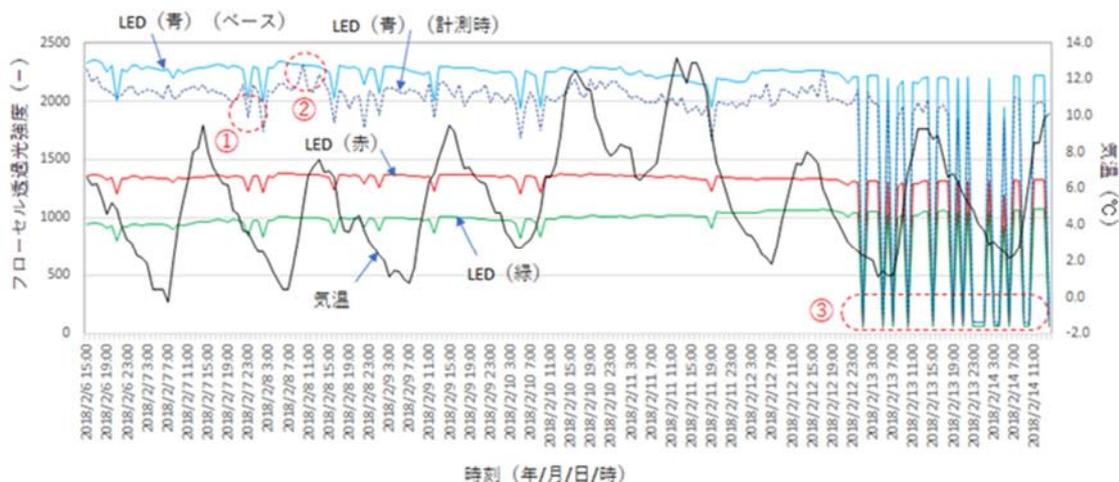


図9 実地での計測データ（透過光量及び気温履歴）

#### D. 考察

##### 1. 送配水管における水質管理等の課題の抽出

管路網等の送配水施設への導入が進まない要因の中で、「コスト」については、ヒアリングを実施した全ての水道事業体で、課題として挙げられていた。また、人手による毎日検査のデータは、送配水管における水質管理には、ほとんど活用されていないことが確認された。末端の水質を常時監視することで、残留塩素濃度低下のトレンドに応じて速やかに塩素注入強化や排水等の対策を施し、その効果を速やかに確認するといった予防的・即時的な水質管理を行うことが可能になると考えられる。

##### 2. 送配水管における水質管理等の既存技術の調査

Water Environment Research Foundationが2014年に報告した"Compendium of sensors and monitors and their use in the global water industry"の概要では、水質遠隔監視システム導入の利点として、測定速度および測定頻

ある等）が挙げられており、遠隔水質監視システムの導入の可否は、各水道事業体が抱える様々な事情に大きく依存すると思われる。また、実際の送配水過程への適用においては、センサー設置箇所の最適化に関する検討がいくつか見られた。その中には、限られたセンサー数で最も効率よく水質監視を行うため、配水管網内で外部からの汚染リスクが高い箇所（例えば、水圧が下がりやすい箇所等）を同定し、センサー設置の候補地点とする手法があり、注目すべきである。

##### 3. 送配水管における水質等の変化の予測及び実証

予測では、選択した説明変数（要因）を用いて、重回帰分析によりK浄水場と個人宅の残留塩素濃度消費幅を推定し、個人宅残留塩素濃度の値を算出した。その結果、夏・冬モデル共に、対象期間内の残留塩素濃度消費幅と個人宅残留塩素濃度の全体的な変動傾向を捉え、値を推定することができた。また、K浄水場残留塩素濃度が低下した場合の個人

宅残留塩素濃度の値の変動に着目した結果、夏モデルでは、現在の管理水準を維持することが必要であるが、冬モデルでは、K 浄水場残留塩素濃度が現状から 0.1mg/L 減少しても、個人宅での残留塩素濃度を安全に保つことができ、冬は残留塩素濃度管理に余裕があるということが分かった。

また、実証では、水中の微粒子には鉄が多く含まれており、鉄起因の水中微粒子濃度は流下とともに増加することが分かった。さらに、管内において微細なたんぱく質が発生していることが推定され、これは管内壁で増殖する微生物に起因するものと推定される。

#### 4. 水質計の開発及び実証

特徴的な変化の要因として、試料水中に混入した微小気泡や夾雑物、流路一部に気相が入り、試料水の流動を阻害していること、試料水中のミネラル分、気泡などが付着したこと等が想定された。この対応策としては、汚れや気泡の付きにくい窓材質あるいは表面処理技術の開発が求められる。

### E. 結論

#### 1. 送配水管における水質管理等の課題の抽出

ヒアリング調査等の結果、送配水管における水質等管理では、遠隔監視制御装置を活用した末端までの管理を実施している水道事業者が少ないことが確認され、導入が進まない背景として、コスト面、維持管理面、設置場所の確保等といった課題が挙げられた。

また、水道法施行規則に基づく毎日検査の測定方法においては、安価な人手による検査により、遠隔監視装置の導入が進んでいない傾向が見受けられた。

#### 2. 送配水管における水質管理等の既存技術の調査

海外の文献調査等を通じて、世界各国において 100 項目以上の水理・水質項目を対象とした遠隔監視技術や装置が実用化されていることが明らかとなった。

遠隔監視システムの導入による水質管理上の利点は、「測定速度・測定頻度の向上」、「工程管理への活用」、「水質に係る規制へ

の対応」、「障害・汚染等の検知」、「利用者サービス」など広範にわたるものの、一方で、「導入や維持管理に要する費用」、「機器校正に要する労力」、「膨大な測定データの解析と解釈」、「業務への活用」等について課題が見受けられた。

#### 3. 送配水管における水質等の変化の予測及び実証

予測では、時間遅れを考慮した残留塩素濃度消費幅に着目し、相関分析から影響要因とそれらの時間遅れを決定することで、重回帰分析により高い精度のモデルを推定することが出来た。さらに、モデルを用いた残留塩素濃度の低下影響シミュレーションにより、冬期間は現在より K 浄水場残留塩素濃度が 0.1mg/L 低下しても、管網末端における安全性が保たれることが明らかとなった。

また、実証では、管路内に微細なたんぱく質を含む粒子が発生し、それらも一つの原因となって、管路内の水道水中の残留塩素濃度が低減することが示された。

#### 4. 水質計の開発及び実証

簡易交換機能を備えた試薬カートリッジや、ポンプユニットと水質計ユニットを同じ無線系で通信制御可能な水質計を開発し、これを用いて K 浄水場内において実地評価を行った結果、概ね安定的に動作することが確認された。一方、取得データについては、既存計器の計測値の推移と比較して、特徴的な変動・ばらつきが確認され、これらの要因を推察し、今後の対応策について提案した。

### F. 健康危険情報

特になし

### G. 研究発表

#### 1. 論文発表

該当なし

#### 2. 学会発表

該当なし

H.知的財産権の出願・登録状況（予定を含む）

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