

## 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。

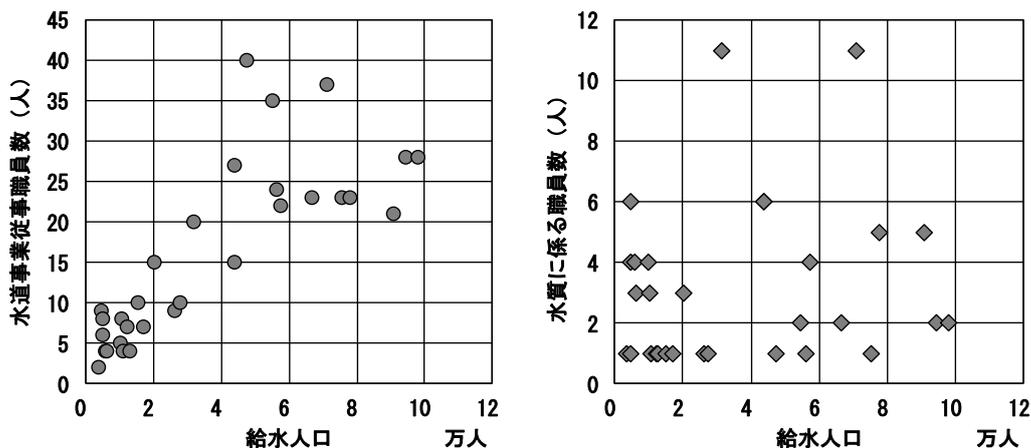


図 1 給水人口と水道事業従事職員数又は水質に係る職員数の関係

(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
<b>濁度</b>	<b>20</b>	<b>4</b>	<b>23</b>	<b>47</b>
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
<b>残留塩素</b>	<b>1</b>	<b>4</b>	<b>27</b>	<b>32</b>
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。

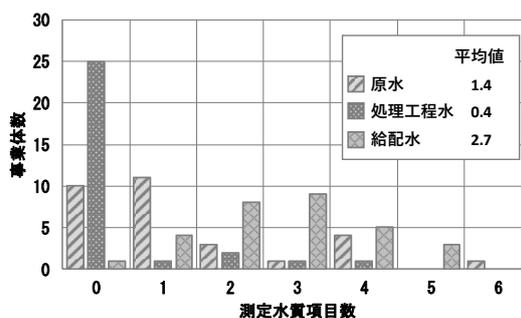


図 2 測定場所毎の自動監視装置による測定水質項目数

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。

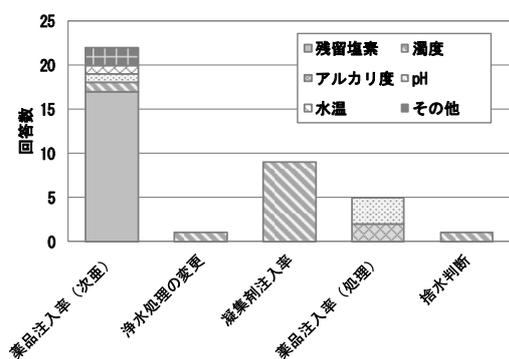


図3 連続測定した水質結果の活用方法

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。

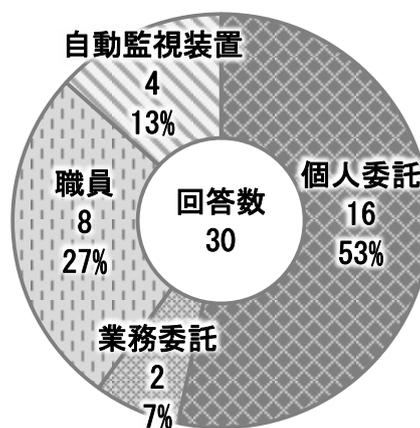


図4 給水末端における残留塩素濃度の測定形態

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

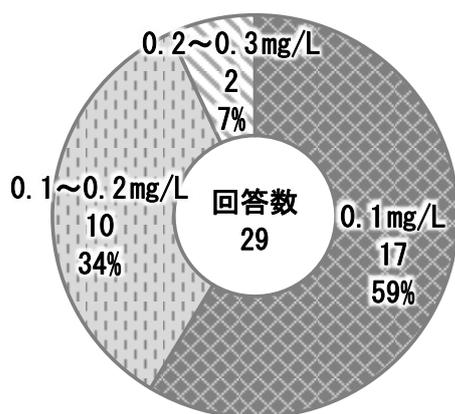


図5 給水末端での残留塩素濃度目標値

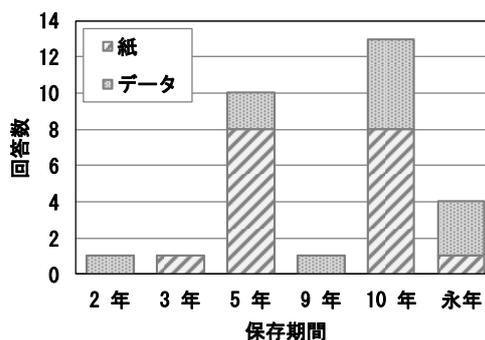


図6 給水末端における残留塩素測定結果の保存媒体と保存期間

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0.5~1m<sup>3</sup>/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

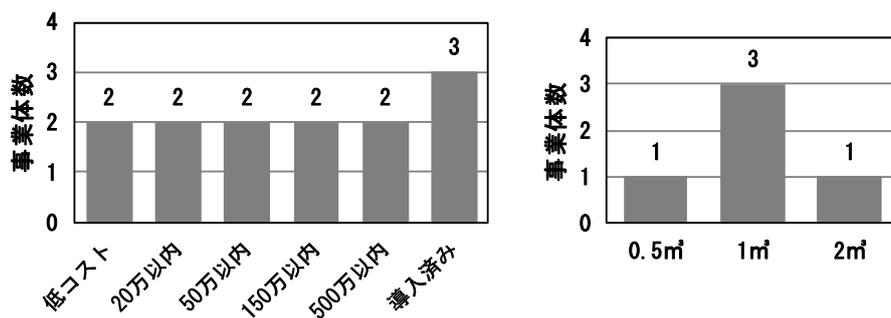


図 7 自動監視装置導入時のコスト及び設置スペースに関する要望

トは 500 万円以内、スペースは 2m<sup>3</sup> 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 2m<sup>3</sup> 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<sup>[1]</sup>及び簡易水道統計<sup>[2]</sup>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)。

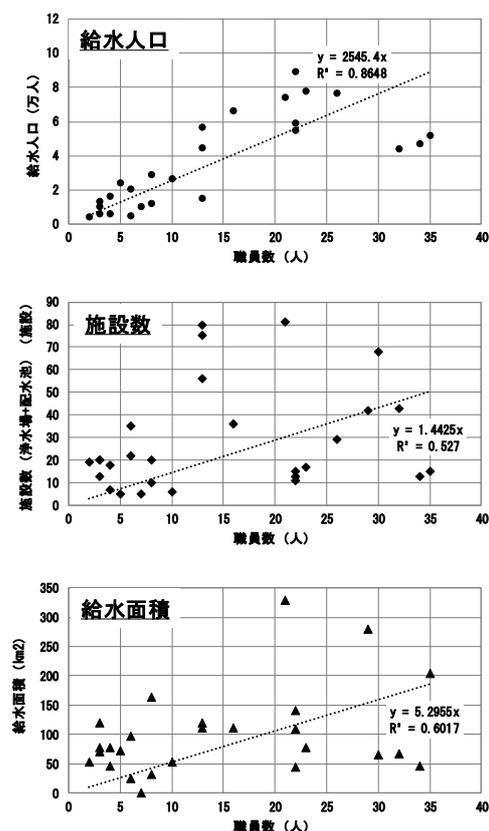


図 8 水道事業従事職員数との関係  
(上：給水人口、中：施設数、下：給水面積)

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<sup>[3]</sup>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<sup>[4]</sup>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 1.3km<sup>2</sup>/人であるのに対し、中小規模事業体では 13.4km<sup>2</sup>/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 <sup>2</sup> /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<sup>5)</sup>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)