

わが国における小規模な水道システムの実態と技術ニーズ

Current Conditions of Small Water Supply System in Japan and Technical Needs

伊藤 禎彦

ITOH Sadahiko

京都大学大学院 工学研究科都市環境工学専攻 教授
博士(工学)

Professor,
Department of Environmental Engineering, Graduate School of Engineering,
Kyoto University
Doctor of Engineering



わが国各地で人口減少が進むなか、人口規模が小さいあるいは人口密度が低い地域に目を向ける重要性が高まっている。本稿は、その象徴として、小規模な集落において地元住民の手によって維持管理されているような水供給システムをとりあげ、水供給形態のあり方や浄水処理装置のニーズについて、その動向を紹介した。その上で、小規模水供給システムを支えるために必要な技術上のニーズについて論じた。

キーワード：水道, 飲料水, 浄水処理, 人口減少

Since the population has been decreasing in Japan, it is important to focus on the area with small population or low population density. In this article, small water supply systems managed mainly by residents in small residence area were described. Various water supply methodologies and the needs of water treatment facility installed were shown. Based on the reality of waterworks, technical needs for supporting small water supply systems were discussed.

Keywords : Water supply system, drinking water, water treatment, depopulation

はじめに

わが国の上水道は成熟した社会インフラであるが、現在、重要かつ喫緊な課題をいくつも抱えている。以下に主な事項をリストアップする^[1]。

①人口減少と水需要の減少

生活用水原単位の減少と人口減少により、水需要の減少が続いている。

②施設の更新需要の急増と投資額の減少

これまでに整備された水道資産の更新時期が到来している。にもかかわらず、近年投資額が減少しており、水道施設の老朽化が進行している。

③管路の老朽化の進行

水道資産の7割を占める管路の老朽化が進んでいるが、管路更新率は年率0.64% (2021年度末)にすぎず、これは全ての管路を更新するのに156年かかることを意味する。

④耐震化の遅れ

耐震化率は、基幹管路で42.3%、浄水施設で43.4%、配水池で63.5%(いずれも2022年度末)といまだに十分とはいえない。

⑤事業経営と水道料金の設定水準上の問題

水道事業は独立採算が原則であるが、赤字基調となっている事業体は数多い。料金設定は、アセットマネジメントに基づき将来の更新需要を組み込んで設定されるべきだが、実行されていない場合も多い。

⑥職員数減少と技術継承の困難さ

水道事業体の職員の減少と高齢化が進んでいる。この結果、技術継承が困難、事業経営自体が困難などの事態を招いている。こうした中、水道法が2019年に改正^[2]された。本改正のもっとも重要な点は、法律の目的を水道の「計画的な整備」から「基盤強化」に変更したことである。すなわち、上述した深刻な課題を抱え、特に中小規模の水道事業体にとっては、上記課題を克服するのが困難であるばかりか、将来にわたる事業継続自体が困難なケースも出つつあるのであ

る。法律の目的自体を変更したことから、この改正は大改正であるともいわれる。

本稿は、わが国の水道が抱える問題の象徴として、小規模な水供給システムをとりあげ、水供給形態のあり方や浄水処理装置のニーズについて、その動向を紹介する。その上で、小規模水供給システムを支えるために必要な技術上のニーズについて論じることとする。

小規模な水供給システムの存在

給水人口が5001人以上であるものを上水道、101人以上5000人以下であるものを簡易水道という。これらが、法律上、「水道」として扱われる主なものである。(その他、専用水道などいくつかの種類がある。)これらに属する「水道」の普及率は98.1%(2020年)に達している。しかし、これをもって国民皆水道が実現しつつあるとみるのは早計である。いまだに水道普及率が50%台、60%台という自治体も存在するのであって、それらでは今後普及率が速やかに高まっていく状況にはない。また、普及率が98%台であるといっても、残りの2%弱は未普及であることを意味し、その人口は200万人以上ということになる。

わが国には、給水人口が100人以下であり水道法の適用を受けない小規模水供給システムが多数存在する。それらは、飲用井戸や飲料水供給施設、小規模な集落水道である。水道法の適用外であるということは、例えば、水道水質基準を遵守する義務もないし、水質検査を行う義務もないということである。「水道」ではないことから、本稿ではそれらを「小規模水供給システム」とよぶことにする。

それらの多くは地元住民に手によって管理されているものも小さな施設であるが、飲用水としての安全性確保、高齢化による維持管理負担の増大、震災等の災害に対する耐力などに関する課題を抱えている。

わが国の各地で人口減少が進みつつあり、ここでいう小規模水供給システムを含めて、小規模化が進む水道に焦点を当てる必要性が高まっている。著者らはこのような観点から2024年「小規模な水供給システム～安全な飲料水の持続可能な供給へ向けて～」^[3]を上梓した。本書は小規模水供給システムを包括的に取り上げたわが国初の成書である。その実態を直視しつつ、わが国の水道全体が向かうべき方向についても整理し、さまざまな観点からの提言を行っている。

小規模な水道システムの実態と動向

小規模水供給システムの中には、住民による管理が困難または限界に達している事例や、逆に持続可能な形で成立し

ている好例もある。また、社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功した事例などもみられる。ここでは、水供給形態と浄水処理施設の2つの側面をとりあげ、現在の動向と将来の方向性について述べることにする。

水供給形態の選択

浄水場と配水管網を有した、いわゆる集中型の水道システムを維持することが困難な地域が存在し、「管路維持困難地域」ともよばれる。また、未普及地域を既存の集中型上水道システムに接続する従来法では非効率または現実的でないという場合も少なくない。今後は、分散型システムや運搬送水など、地域の実情に合った水供給システムを選択することが求められる。

分散型システムとは、原水の取水—浄水処理—配水を当該地域内で完結させるものである。このとき導入する浄水処理施設としては、ユニット化された可搬型装置も選択肢となる。Photo 1は、浜松市川上飲料水供給施設(給水人口50人程度)における整備例である。写真左側にみえるのが浄水処理装置であり、凝集剤注入—沈殿—急速ろ過—消毒のフローを備えている。写真右側は配水池である。

分散型システムは、明らかにイニシャルコストは上水道接続よりも安価になるが、この場合、施設の管理責任、維持管理主体、必要となる水質検査、消防水利の確保方法などの懸念事項を整理する必要も生じる。



Photo 1 Water supply facility installed in Hamamatsu City, Shizuoka Prefecture

さらに現在、集中型浄水処理ではなく、水を利用する場近くで分散的に処理する方式の導入が現実的な選択肢となりつつある。小型浄水処理装置を利用し、建物の入口に設置して処理を行い宅内に浄水を給水するPoint-of-Entry (POE)型装置や、さらに小さな規模で給水栓ごとに処理を行うPoint-of-Use (POU)型装置があげられる。

埼玉県東秩父村では、既存の浄水場を廃止して、上述の浜松市のような小規模浄水処理装置を導入する選択肢に加えて、各世帯に小型浄水処理装置を設置する案も提示されている。そのイメージ図をFigure 1に示す。浄水場を全面更新するとその後の給水人口の減少に対応することが難しいが、本装置であれば、各世帯で浄水処理するため、人口減少に対応できるという利点がある。東秩父村としては、今後、この装置を試行的に導入し、水質検査等を行いつつ検証していく予定である。

また、長崎県佐世保市の離島である黒島では、島内の未普及地域に対してPOEを導入する提案がなされ実現しつつある。

このような水供給方法は、長大な管路網を必要とせず、比較的安価で、さらに大掛かりな設置工事を必要としないため、短期間のうちに導入が可能である。ただ、この場合も、上述の懸念事項への対応策について整理しておく必要がある。

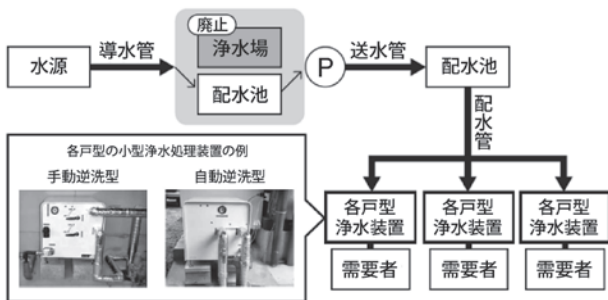


Figure 1 A scheme of installing point of entry type water treatment facility.

ところで、法律上、「水道」とは管によって水を供給する施設と定義されており、水を運搬して配水することは想定されていない。しかしながら、これまでに造られてきた集中型の水道システムを維持することが困難(管路維持困難地域)である事例も増えていることから、運搬給水に関するニーズは各地にある。例えば、愛知県設楽町(したらちょう)では、かつて運搬給水案を提示したが、愛知県から、それは水道ではなくなってしまうとの指摘を受け断念した経緯がある。

こうした中、厚生労働省は2023年「運搬送水に係る留意事項」^[4]を発出し、運搬送水を水道事業の中で実施可能であることを打ち出してくれた。イメージをFigure 2に示す。水道システムの中の送水部分であることから、運搬給水ではなく「運搬送水」という言葉を用いている。送水部分で水を運搬するので、その部分はなお水道ではない。しかし、配水池以降は水道とみなせるとして、水道事業として実施可能とした。法改正など大掛かりな制度変更を伴うことなく、フレキシブルに対応してくれた事例といえる。これによって、これまで水を運搬して届ける方法を見送ってきた多くの水道事業体も、その導入を検討できるようになった。Photo 2は、宮崎市の実施例で、給水タンク車から配水池へ水を補給している様子である。



Photo 2 An example of water transmission by transportation in Miyazaki City.

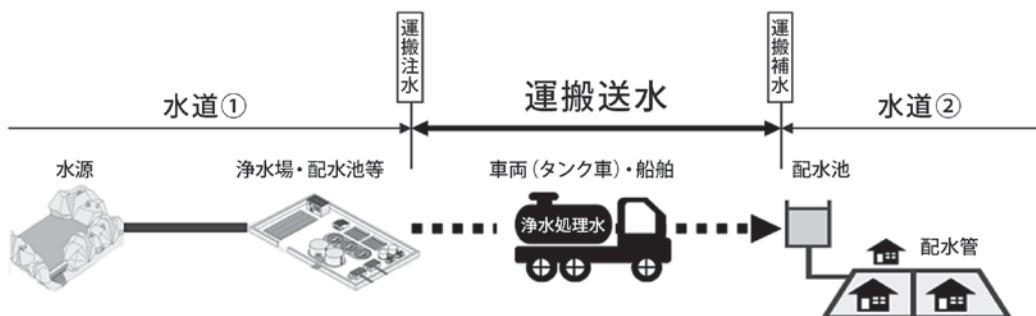


Figure 2 Illustration of water transmission by transportation.

Figure 3は、以上のような給水形態の優位性を評価した例⁶⁾である。対象地域は奈良県内の簡易水道エリアである。横軸：給水人口、縦軸：送配水管路延長という2次元平面において、通常給水を継続できる領域、運搬給水に移行する方が有利となる領域、さらには、非飲用水だけを給水し飲用水は別に届ける方式が望ましい領域を示している。重要な点は、現場条件から各戸への運搬が可能なお場合には、運搬手法の導入が有効となるケースがあることを明らかにしたことにある。今後、このような検討が活発に行われ、地域の実情に合った現実的あるいは賢い選択をしていくのが望ましい。

浄水処理装置に関するニーズ

京都府福知山市において、浄水処理装置をもたない地区では将来不安がないのに対して、浄水処理装置が導入されている地区では維持管理を継続することへの不安が表明されているという皮肉な事例がある。

静岡市では、住民の代表的な困りごとにもとづいて、安定水源の確保、メンテナンスフリーの取水・浄水処理装置の設置、確実な消毒の実施などによって、将来にわたる持続可能な水道施設を目指す施策が進められている。

さらに、小規模浄水装置といっても浄水能力50 m³/日程度のもが多いが、さらに極小規模の装置が必要になっている。このように各地の小規模集落に求められる浄水処理装置と

は、極小規模、メンテナンスが容易、低コストの装置である。このニーズに応えられる装置や新技術が創出されることが望まれる。

一方、上水道施設に限らず、人口減少社会における社会インフラ整備の考え方が提示されてきている^{6), 7)}。従来、各種インフラは、長寿命化、恒久化といった固い(長期利用可能な)整備が推進されてきたといえる。水道施設・設備も、これまでは頑健で長持ちするものをつくることに尽力してきたと考えることができる。これに対して、縮小局面では、インフラをモジュール化することによって、寿命そのものを短命化(もしくは長寿命化と短命化の組み合わせ)するというコンセプトが必要となるだろう。“短命化”という言葉は、また、“計画使用年数”と言い換えることもできる。そうすることで、当該地域における将来の需要変化や、場合によっては撤退にも対応可能とするのである。今後は、とりあえず10年程度もてば良い施設・設備を設計したり導入しても良いというコンセプトも必要になるものと考ええる。一部の企業が始めているリース契約も選択肢になるだろう。

実は、以上のような社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功した事例が高知県に存在する。

高知県内の中山間地域には、生活用水を住民自らが確保し管理する給水施設が多く存在する。それらに対して、高知県は「高知県版生活用水モデル開発事業」を立ち上げ、2014年度に委託業務を実施した。

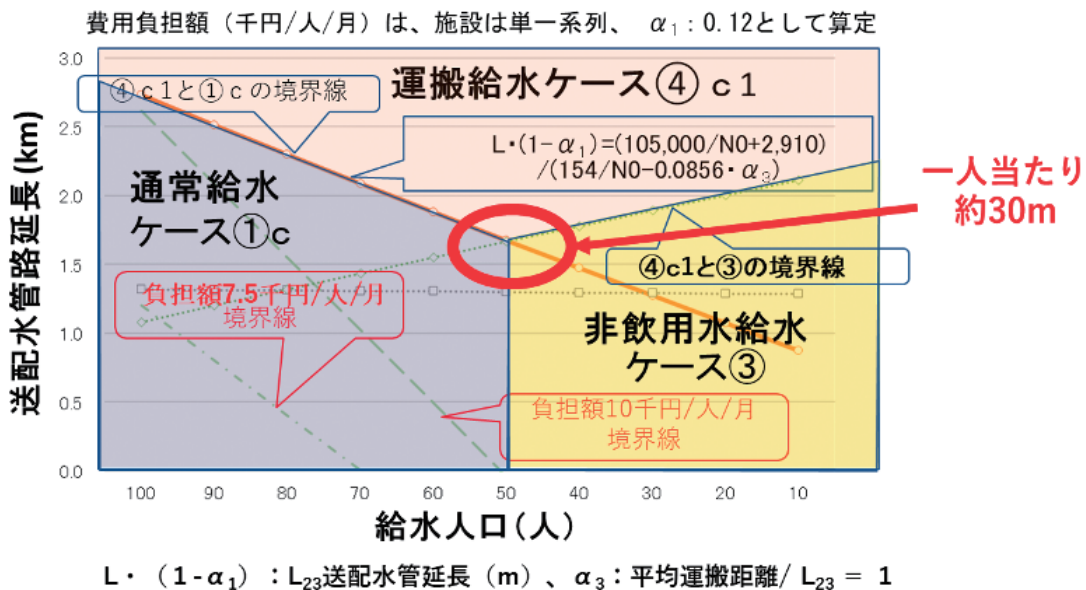
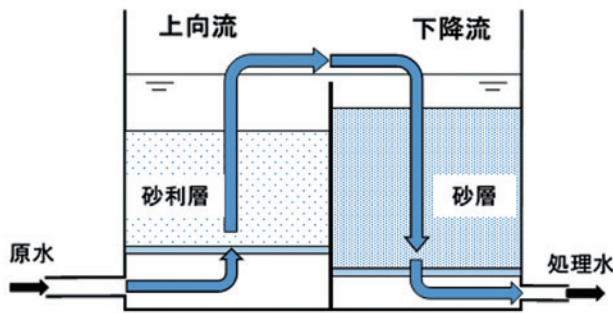


Figure 3 An example of evaluating water supply methodologies.



砂利層

砂層



Figure 4 Slow sand filtration facility newly developed for small residence area.

当該事業により、小規模集落対応型の簡易緩速ろ過装置(二槽式緩速ろ過装置)が新規に開発された。構造と装置表面の様子をFigure 4に示す。装置内は二槽からなり、砂利層と砂層を分離している点が大きな特徴である。砂利層は上向流であり粗ろ過が行われる。処理水は次の砂層に送られ、下降流によってろ過される。このように各ろ過層を単純化したことで、主なメンテナンス作業である洗浄操作を容易にすることに成功している。なお、電源は不要である。

当該装置は極小規模であることも特徴であり、浄水能は3~6 m³/日(ろ速4~8 m/日に対応)である。これは、数人~十数人の給水人口に適している。さらに、装置本体は1基130万円と安価である。

本事例の特筆すべき点は、高知県が中山間地域におけるニーズを把握したうえで、求められる施設・装置の姿を示し、開発されるべき技術を具体的に提示したことがあげられる。これにより、企業は装置開発のターゲットを明確に定め、県内各所でビジネス展開が可能という見通しを得ることができた。実際に、受託者(企業)は、このような県による事業がなければ、施設・装置を新規開発することはなかったという。

このように、高知県が推進した本事業は、社会ニーズにマッチした新技術を創出することに成功しているとみるができる。県が果たした役割はきわめて大きい。そして、生み出された二槽式緩速ろ過装置は、極小規模、メンテナンスが容易、低コストといった、各地の小規模集落のニーズ^[7]に対応できる新技術となった。県を超えて国内各所で広く普及することに期待したい。

小規模水供給システムを支える技術上のニーズ

以上、水供給形態と浄水処理施設の2つの側面をとりあげ、その動向などを紹介した。同時に、それらの水供給システムを支える技術を創出する大きな社会的ニーズが存在する。ここでは、開発が進む各種技術の概要を述べるとともに、小規模水供給システムが抱える課題を軽減するのに有効な技術とは何かについて論じてみたい。

データ管理・監視技術の導入意義と動向

小規模水供給システムでは、運転・維持管理ノウハウの継承やデータの管理を住民の自助努力に依存しており、多くの場合はアナログ形式、すなわち口頭伝承や手書きメモにより行われている。人口減少と高齢化が進む中、この体制はますます困難になってきている。

これに対しては、投資負担が軽く、操作等の容易な情報通信技術により劇的に緩和できる可能性がある。情報通信技術によれば、無人測定可能なデータは記録(ログ)を残すことができ、そのデータを送信し遠隔地で監視することが可能となる。通信環境が整えば、数値データだけでなく現場のリアルタイム画像データを送信することも可能であり、現場の様子を目視で確認することができる。ただし、そのような遠隔監視技術は一般に高額なため、従来は水道事業体が公共浄水場に整備する事例がほとんどで、小規模水供給システムに実装された事例は限られる。

これまでは、CPS(Cyber-Physical System)やIoT(Internet of Things)などの先端技術の活用により事業の効率化や付加価値の高い水道サービスの実現を図るため、国土交通省が「水道事業におけるIoT活用推進モデル事業」(生活基盤施設耐震化等交付金)を実施してきている^[8]。また、国土交通省、経済産業省、NEDO(国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構)が連携して水道情報活用システムの標準プラットフォームを構築し、サービス提供した事業^[9]などもある。

小規模水供給システムに適する技術という観点では、低廉性と操作性の良さが肝要である。そのため、標準設計・一括生産によるコストダウンを図ることが必要であり、水道以外の用途への展開も念頭に置きつつ「量産できるサービス」としての技術開発を図ることが重要である。

開発・導入状況と今後への期待

ここでは、これまで開発された技術について、小規模水供給システムへの導入の可能性について概観する。なお、ここに紹介する新技術の一部は小規模水供給に関する情報サイト^[10]に整理されている。

・水質管理およびモニタリング手法の開発

小規模水供給システムにあつては、多くの施設が水質検査を実施しておらず、検査している施設では水質試験コストが大きな負担になっている。わが国の水道水質基準で指定されている項目数は51である。これを環境省における登録検査機関に依頼して検査を行うと平均約21万円を要する。年1回行うこの全項目検査に加えて、水道法では定期的な検査を求めており、四半期検査3回、毎月検査8回を行う義務がある。これらを実施すると、検査費用は年間約57万円が必要になる。給水人口が少ない小規模な集落では、この水質検査費用は大きな負担となっている。実際、この高額な水質検査費用を軽減できることを主な理由として、簡易水道を飲料水供給施設に格下げする事例もみられるのである。飲料水供給施設であれば水道法が適用されないため、上記の水質検査実施義務を免れることができるというわけである。実際、福島県西郷(にしごう)村では、従来、年間74万円要していたものが、格下げによって年間5万9千円と大幅に軽減できたという事例がある。このような現況を背景として、著者は、その地域に真に必要な検査項目の選択、および検査頻度の設定という、いわば「カスタムメイド水質基準」のコンセプトを導入することを提唱している^[3]。

この水質の監視を含めて、水道施設の運転状況を「安価に」監視できるシステムがあれば維持管理上大きなメリットを生む。近年、通信技術や端末の高性能化と普及が進んでおり、それらの活用を考えたいところである。すでに、水道関連の民間企業において通信インフラを利用した様々なサービスが展開されている。

例えば、秋田県由利本荘市では、浄水場、配水池、送水場など計16施設について、テレメータやクラウド遠隔監視制御システムを活用し、水質や水位、配水量などのデータを一括管理している。

・維持管理負担の軽い処理および運転法の開発

小規模水供給システムでは、平時には問題ないものの、降雨後の高濁や流芥物の除去が大きな課題になる事例が多い。このような施設では、安価でメンテナンス容易な浄水処理システムを導入するのが好都合である。また、災害時等の利用を想定した浄水装置を含む可搬型浄水装置56種について、処理水量、装置構成、除去対象、積載可能車両、運転方式等が整理されている^[11]。

Photo 1には、浜松市で導入された沢水専用小型浄水装置を紹介した。このような施設におけるIoTの活用例としては、クラウド型遠隔監視システム等を導入した事業者がある^{[8]、[12]}。また、研究途上の技術であるが、安価なLPWA(Low Power Wide Area)通信を山間の集落水道に導入し、住民による配水池の水位監視に伴う負担を緩和した事例がある^[13]。

・可搬性があり補充不要な消毒法の開発事例

小規模水供給システムにおける維持管理上の負担の一つに、塩素消毒剤の補充がある。可搬性があり、薬剤補充が不要で頻繁な維持管理を要しない消毒方法が望まれ、そのような技術は複数の製品が開発・提案されている。

・漏水検知や仮設復旧の容易な管路技術

小規模水供給システムは管路も脆弱であり、災害時や管路破損事故時の負担が軽い管路システムの導入が求められる。IoTなどを用いた新技術の開発が進められており、石川県輪島市の事例^[8]などがある。

・ロボットによる点検や薬品補充

自動運転やドローン等の技術導入が実現すれば、維持管理の負担軽減や技術職員数減少に起因する課題の解決につながるかと期待できる。現在、水道分野のロボット技術の導入は、人が入り込めない管内やタンク内の観察などに限定されている。今後は、ロボットによる水道施設全般の維持管理や薬品補充の自動運転化など、より幅広い用途での利用が期待される。

おわりに

わが国の水道は今後、格差が拡大していく趨勢にある。それは、大・中・小規模水道間だけでなく、簡易水道、さらには飲料水供給施設等の小規模水供給システム等も含めてである。水道料金にしても、従来、約8倍の差があるとされてきたが、将来は20倍程度に拡大していくとも推算されている^[14]。この状況下にあつて将来を展望すると、多様な水道システム、あるいは多様な水道社会が形成されていく必要があると強く感じる。

冒頭に記した困難な課題をいくつも抱えるわが国の水道に対して、現在、水道事業の基盤強化、あるいはそれ以前の持続可能性を高めるために、創意工夫、アイデア、および提案が数多くなされている最中である。それらの価値あるアイデアや提案は社会実装されていく必要があるが、まずは、それを支える技術が創出されていく必要がある。本稿を参考にしていただき、各方面で多様な技術が生み出されていくことを期待したい。

一方、水道界としては、多様な水道システム・多様な水道社会が形成されていくのを妨げない制度、しくみの整備、あるいはそれらの柔軟な運用も是非必要とされる場所である。

参考文献

- [1] 水道事業基盤強化方策検討会：水道事業の基盤強化方策に盛り込むべき事項（2016）。
- [2] 水道法制研究会監修：水道法ガイドブック-令和元年度-, 水道産業新聞社, 197p. (2020).
- [3] 伊藤禎彦, 浅見真理, 牛島健, 小熊久美子, 木村昌弘, 増田貴則, 山口岳夫：小規模な水供給システム～安全な飲料水の持続可能な供給へ向けて～, 水道産業新聞社, 236p. (2024).
- [4] 厚生労働省医薬・生活衛生局水道課：運搬送水に係る留意事項, 令和5年7月(2023).
- [5] 木村昌弘, 浅見真理, 伊藤禎彦：小規模水道における給水形態に関する系統的評価と簡便汎用モデルの適用, 水道協会雑誌, 93(9), 22-32 (2024).
- [6] 宇都正哲, 植村哲士, 北詰恵一, 浅見泰司：人口減少下のインフラ整備, 東京大学出版社 (2013).
- [7] 伊藤禎彦：人口減少下における浄水処理装置・施設に関する課題とニーズ, 環境衛生工学研究, 33(2), 3-10 (2019).
- [8] 国土交通省：水道事業におけるIoT・新技術活用推進モデル事業
- [9] 国土交通省：令和3年度全国水道関係担当者会議資料 (2022).
- [10] 水道技術経営パートナーズ株式会社：小規模水供給に関する情報サイト https://www.waterpartners.jp/smallscalewatersupply/0_format/newpage3-4.html (最終閲覧2024年12月)
- [11] 水道技術研究センター：緊急用浄水器・可搬型浄水装置. <https://www.jwrc-net.or.jp/info/emergency/equipment.html> (最終閲覧2024年12月)
- [12] 西原健志, 福田健吾, 一番ヶ瀬宏之, 須崎岐嗣, 矢野正人, 平尾嘉一, 沼島夏彦, 花本一将：小規模事業体におけるクラウド型遠隔監視システムの導入事例, 平成30年度全国会議(全国水道研究発表会)講演集, 704-705 (2018).
- [13] 渡邊真也, 小熊久美子：省電力長距離通信を利用した簡易無線モジュールによる小規模水供給施設の遠隔監視, 水環境学会誌, 46(1), 11-19 (2023).
- [14] EY Japan水の安全保障戦略機構事務局：人口減少時代の水道料金はどうなるのか? (2024年版) (2024).