

令和2年度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）  
小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究（20LA0501）  
総括研究報告書

小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究

|       |        |                          |
|-------|--------|--------------------------|
| 研究代表者 | 浅見 真理  | 国立保健医療科学院生活環境研究部 上席主任研究官 |
| 研究分担者 | 伊藤 禎彦  | 京都大学大学院工学研究科 教授          |
|       | 増田 貴則  | 鳥取大学工学部社会システム土木系学科 准教授   |
|       | 牛島 健   | 北海道立総合研究機構建築研究本部 主査      |
|       | 小熊 久美子 | 東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻 准教授  |
|       | 中西 智宏  | 京都大学大学院工学研究科 助教          |
| 研究協力者 | 沢田 牧子  | 国立保健医療科学院 生活環境研究部        |
|       | 山口 兵夫  | 国際厚生事業団水道技術参与            |
|       | 木村 昌弘  | 元大阪府水道部理事                |

**研究要旨：**

全国数千の地域において、水道管路等で構成される水道（上水道、簡易水道）及び飲料水供給施設等（以下、水供給システム）を維持することが困難となりつつある。水供給維持困難地域を含む地域において衛生的な水を持続的に供給可能とするための具体的方策の検討を実施すべく、検討を行った。

特に、飲料水供給施設、簡易水道の制度上の課題等について整理を行った。水質のタイプや諸条件について類型化し、水質検査の影響や人口当たりの費用等を解析し、水質検査費用の影響が大きい場合があることが分かった。また、複数の簡易水道が点在する地域で、処理施設、管路更新等を行う際の条件についてシミュレーションを行った。簡易水道の1事業体当たりの給水人口は減少傾向にある。給水人口当たりの総配管延長（単位配管延長）が大きく給水原価に影響している。給水原価は、簡易水道の平均（297円/m<sup>3</sup>）に対して、過疎地にある人口5千人以下の簡易水道は333円/m<sup>3</sup>と1割以上高い。過疎地人口5千人未満の簡易水道のブロック別の給水原価は近畿ブロックにおいて最も高く、近畿圏ブロック内の簡易水道の経営状況には建設にかかる資本単価の影響が大きいことが分かった。

広島市安佐北区、および広島県山県郡安芸太田町において地元管理されている簡易水道組合への訪問調査を行った。地元管理されているような小規模水供給施設について、原水の種類、浄水処理の有無、消毒の有無によって分類したうえで、現実的な水質検査のあり方を考えるための枠組みを示した。京都市西京区における施設を調査対象とし、原水の微生物リスクを推定したうえで、必要な浄水処理レベルについて考察を行い、さらに、限定的な情報の下で、微生物的な安全性を確保するためのアプローチ方法を提示した。

飲料水供給施設相当規模の水供給システムを利用・管理している集落を対象に、集落外の団体との維持管理作業における連携・協力状況、および、集落外の団体からの支援に帯する利用意向を整理することを目的とした質問紙調査を行った。質問紙調査への回答結果より、集落外の団体と連携・協力をして維持管理作業を行っている集落は2割弱にすぎないことを把握できた。また、現時点では外部の団体からの支援に対する必要性は高くないが、支援を利用することへの抵抗感は低いことが明らかとなった。

民間組織や水道事業体等と連携・協働した小規模水供給システム維持管理手法についてケーススタディの蓄積を行うとともに、地域と需要者に根ざした自律的で持続性の高い水道の一つのモデル

を提示し、実践を通じてその有効性を検討した。

小規模水供給システムに適した小型紫外線消毒装置の候補として、紫外発光ダイオード (UV-LED) を光源とする流水殺菌装置を検討し、本年度は、集落規模での利用を念頭に、飲料水供給施設 (利用人口21 戸50 名程度) で実証試験を開始した。装置前後の試料を毎月概ね2回採水し、大腸菌、大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌の変化を調べた。UV-LED処理による不活化率は、一般細菌で最大2.8log、従属栄養細菌で最大2.2logであった。UV-LED処理水は、水道水質基準の定める大腸菌数 (100mL中に不検出)、一般細菌数 (1mL中に100CFU以下) および水質管理目標設定項目として示された従属栄養細菌数の暫定目標値 (1mL中に2000CFU以下) の全てを継続して満たした。本研究により、分散型水処理技術としてUV-LED装置を活用する可能性が示された。

小規模水供給システムにおいては、水需要のさらなる減少によって配水管内の流速が低下し、管内環境の悪化が懸念されることから、配水管内環境の管理という観点から効率的な維持管理方法について定量的に議論可能とすることを目的として調査および実験的検討を行った。実配水管網において管内蓄積物に関する実態調査を行った結果、マンガン(Mn)が蓄積物の重要な構成成分として挙げられた。室内実験によってMn蓄積過程を種々の管内流速条件で把握した結果、二酸化マンガン粒子の物理付着と2価マンガンイオンの化学酸化を介した蓄積の両方が管内流速によって促進されることを明らかにした。

## A. 研究目的

高齢化及び人口減少等により、給水人口が数万人以下の比較的小規模な上水道、計画給水人口5,000人以下の簡易水道及び同100人以下の飲料水供給施設等 (以下、小規模水供給システム) を維持することが困難となりつつある。そのような水供給維持困難地域を含む地域において衛生的な水を持続的に供給可能とするための具体的検討を実施すべく、その技術上及び支援体制等を含めた維持管理体制強化方策等について統合的方法を提案する。

今年度は、小規模水供給システムを対象に、水源や人口、地理状況等を踏まえた小規模水供給システムの維持管理手法に関する検討、取水・送水・給水における取水方法、管路の維持管理方法に関する検討、小型紫外線消毒装置の国内小規模水供給システムへの適用、効率的な水質管理・水質検査のあり方に関する研究、住民・民間等との連携による水供給システムの維持管理手法に関する検討、小規模水供給システムの持続的な管理・支援体制に関する検討、効果的な情報収集・共有のあり方に関する検討を実施し、維持管理体制強化方策等の統合的方法を提案する。

## B. 研究方法

1. 小規模水供給システムをめぐる課題と展望について下記の項目についての調査を実施し、事例の整理や問題点の抽出により、様々な課題に対する方策並びに情報提供のあり方について検討を行った。

- ・小規模水供給システムにおける事例の整理
- ・水質検査に関する課題

- ・海外事例の収集

- ・小規模水道をめぐる技術開発の可能性

- ・小規模水道システムの課題への対応に資する方策の検討

- ・地方自治体の取り組み事例

2. 広島市安佐北区および広島県山県郡安芸太田町、滋賀県長浜市寺院への訪問調査を行った。現地で施設を管理する方々等から管理状況や要望等を聞き取った。また、京都市内の地元管理水道を調査対象として予定していたが、新型コロナウイルス感染症が終息しない状況下にあつては、高齢者の多い地元管理水道を調査対象とすることは困難であることから、同様の原水を利用している施設を探索し、京都市西京区においてトロッコ保津峡駅 (嵯峨野観光鉄道株式会社) の駅舎と売店に水供給している施設を調査対象として原水調査を実施した。

3. 中部地方から九州地方 (岐阜県、京都府、島根県、岡山県、大分県、高知県、佐賀県) において飲料水供給施設等の小規模水供給施設を管理し使用している集落を対象に、集落外部の団体との連携状況、外部の団体からの支援の利用意向を把握するための質問紙調査を行った。質問紙は郵便にて送付し、集落の飲料水供給施設等を管理している組合や役員の代表者に回答をお願いした。

4. 北海道の中でも地域住民らが管理する「地域自律管理型水道」が数多く確認されている4市町村を対象に、役所または役場の水道部局担当者から、運営実態や行政との関係、情報共有の方法、課題および利点等についての聞き取り調査を行った。また、行政および水道利用組合以外の主体による管理事例について、経緯、行政との関係、

情報共有の方法、作業内容、課題等の聞き取り調査を行った。

北海道富良野市における自律型モデルの実践的とりくみの一環として、2017 年からは、研究分担者らも参画し、地域ぐるみの水道維持管理支援体制づくりの実践を通じたアクションリサーチ的研究に取り組んでおり、一つの特徴として、地元高校（北海道富良野高等学校）と連携し、そこをハブとした支援体制づくりを進めている点がある。2020 年度も、これまでと同様に、2つの地域自律管理型水道を対象に水質調査、管路地図の GIS 化および水道利用組合向け報告会を実施した。その中で、本年度は特に、活動を通じて東京大学北海道演習林との連携体制を構築することを目指した。また、2017 年度から作成が続けてきた管路 GIS について、水道利用組合での活用促進を図るため、報告会でのデモンストレーション、1つの水道利用組合でのGISシステム試験導入を行った。

5. 山間の表流水を原水とする国内某所の飲料水供給施設において UV-LED 装置の実証試験を行った。実証試験では、実際に住民に供給される浄水プロセスの原水を分岐して実験装置に導水するフローとし、原水はろ過等の処理をせずに直接 UV-LED 装置に導水した。試験は 2020 年 8 月末から開始し、概ね毎月 2 回（隔週）の頻度で採水した。試料は UV-LED 装置の前後で採水し、また、UV-LED を消灯した状態で UV-LED 装置を通過した試料についても採水し分析に供した。ただし、2021 年 1 月に水源水量が低下傾向となつて以降、住民への供給水量確保を優先して試験を中断している（2021 年 3 月末現在）。

6. 滋賀県 T 市における配水管内環境に関する実態調査として、市内 2 つの配水区域、合計 3 地点でピグ洗管の現場に赴き、洗浄排水を採取した。試料は大学に持ち帰り無機元素（Al, Ca, Fe, Mn, Si）と SS/VSS を測定し、蓄積物の存在量と組成を調査するとともに、配水管内におけるマンガンの蓄積特性の把握のため実験も行った。また、実管網におけるマンガン蓄積量の予測と制御性に関するシナリオ分析を実施した。

（倫理面への配慮）

本研究は医学研究関連の倫理指針に関する研究は含まれていない。実地調査等においては、各機関の規定を順守し、個人情報の保護及び調査に関係する対象者を含む安全性に配慮し実施した。実験作業における安全性については各機関の規定に従い実施した。

## C. 研究結果及びD. 考察

### 1. 小規模水供給システムの課題

小規模水供給システムをめぐる課題と展望について下記の項目についての調査を実施し、事例の整理や問題点の抽出により、様々な課題に対する方策並びに情報提供のあり方について検討を行った。小規模水供給システムの類型化を行ったところ、以下の 6 群に分類された。

1 群：安全性が高く濁りもない水源を使用。消毒はなし。

2 群：表流水の交換があるため濁度対策を考慮。疫学的には安全で消毒はなし。

3 群：おおむね安全な水源だが、疫学的安全のために消毒を行う。

4 群：簡易ながら水道としての浄水処理としてろ過を行うもの。消毒は必須。

5 群：濁度の制御が必要な表流水水源を利用するもの。急速ろ過が多い。消毒は必須。

6 群：やや特殊な処理を行うもの。

一部データ補完を行い、189 例について解析を行ったところ、事業収入との関係性が以下のように導かれた。

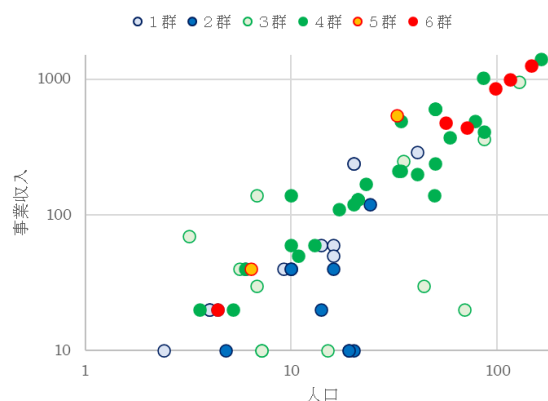


図2 類型別分類による事業の分布特性

解決策は大きく 3 種類に分けることができる。

1) 個別事情を勘案して技術的な解決策を検討し、施設の再整備を行う。（管理の容易な水源への切り替え、水道事業への統合などの対策）

2) ノウハウをマニュアル化して公開・浸透することにより管理レベルを引き上げる。（水源アセス手法の体系化、小規模水供給システムアセット管理手法の体系化、行政情報の共有手段の提供、組織化等）

3) 技術開発によって従来よりも効果的に運営するシステムを導入する。（水質センサー・モニタリング手法の開発、維持管理負担の軽い処理・運転法の開発、補充不要な消毒法の開発、漏水検知や仮設復旧の容易な管路技術、自動点検や薬品補充など）

今回の事例の水質検査費用について、検討を行

ったところ、事業収入に占める割合は小規模水道の類型によって異なり、特に事業収入の少ない類型では、状況悪化時の水質検査費用は事業収入を大きく超えるものとなること、表流水を水源とする類型では、検査費用の占める割合が通常状態でも高くなる傾向があることが示された。

2. 広島市安佐北区および広島県山県郡安芸太田町、滋賀県長浜市寺院への訪問調査並びに京都市内における原水調査の実施

2.1 広島市安佐北区および広島県山県郡安芸太田町の状況

地元管理されている簡易水道組合への訪問し、管理者からヒアリング調査を行った。安佐北区安佐町宇津簡易水道組合では、施設の老朽化により沈殿池の水漏れや降雨時の濁度等の不具合が生じていた。また、塩素消毒を行ってはいるが、薬剤補充は貯留槽へ1回/月程度の頻度での継ぎ足しであり、塩素酸濃度増大の可能性が否定できない。水質検査は、以前は全項目試験を行っていたが、費用がかかること、水質に異常はないことから、住民話し合いの結果、基本項目だけを検査機関に依頼している。高齢化が進み、管理作業を継続することが難しくなりつつある状況から、組合を解散し市へ移管することを考え始めているが、移譲に際して老朽化が進んでいるため、管の破損等のトラブルが発生しないか心配がある。安芸太田町澄合簡易水道組合は平成7年に出来た比較的新しい施設であり、現在大きな問題や要望等は生じておらず、維持管理はトラブル等が発生する都度に業者に業務依頼し解決している。

2.2 塩素酸濃度増大の可能性について

宇津簡易水道組合では、1カ月に1回程度の頻度で塩素貯留槽へ塩素の継ぎ足しをおこなっており、古い塩素が貯留槽内に長く滞留する可能性がある。また、手持ちの塩素剤がどの程度新しいのか古いのかも不明である。このため、塩素酸イオン（ $\text{ClO}_3^-$ ）濃度が増大する可能性を否定できない。過去に調査した奈良県十津川村田戸地区の飲料水供給施設の塩素注入設備では、普段は塩素注入を行っておらず、1カ月に1度、試料水を水質試験センターへ送付するときだけ塩素を注入するといった運用事例もあり、この場合、塩素が注入装置内に長く滞留している可能性があり、1カ月に1日だけであるが塩素酸濃度が高い水道水が配水されている可能性がある。委託業者が貯留槽へ塩素を継ぎ足す作業を行っている旧簡易水道地域において、塩素酸濃度が基準値（0.6 mg/L）を超過した事例も報告されている。

わが国における塩素酸イオンの検出実態は2016年度から2017年度にかけて調査地点数が急激に増大しているが、これは簡易水道事業の上水

道事業への統合が進んだことにより調査地点数も増えたためである。「対50%値」超過地点数に着目すると、調査地点数が6,627から8,354に1,727地点増えているのに対して、対50%値を超過した地点数は194から307へと113地点も増えていることがわかる。その割合は、 $113/1,727=6.5\%$ に達しており、すなわち、旧簡易水道のような小規模施設において高濃度が出現しやすい傾向があると考えられる。わが国における塩素酸イオン（ $\text{ClO}_3^-$ ）の基準値（0.6 mg/L以下）に対して、WHOは、2016年、毒性評価を変更し、TDI（耐容1日摂取量）を従来の30  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{day})$ から11  $\mu\text{g}/(\text{kg}\cdot\text{day})$ へ修正し、これをわが国の評価値算定式にあてはめると、評価値の試算値として0.2 mg/Lが得られる。0.6 mg/Lは、0.2 mg/Lの方が望ましい可能性があるということを意味する。

地元管理されている施設の場合、塩素の継ぎ足し作業は広く行われている。このような施設が行う水質検査は、飲用井戸等衛生対策要領に示される基本項目11項目だけという場合も数多いが、これに加えて塩素酸を検査項目に加えることが望ましいといえる。基本項目11項目の検査費用は7,000円程度～11,000円程度（残留塩素検査を含む場合あり）であるが、塩素酸の検査費用は6,000円程度である。

2.3 滋賀県長浜市寺院への訪問調査

長浜市内には10の寺院があり、当該寺院以外には水道の給水区域内にあるが、当該寺院は給水区域外で給水区域から距離があり、配水管を敷設することはできないため、寺独自の施設を有している。当該寺院では、以前は砂ろ過施設が設置されていたが、観光地でもあることから、旧浅井町から対策の必要性を指摘され、2005年に膜ろ過装置を設置したが取水設備の不具合から水量が減少し3～4年前に膜ろ過装置は撤去、防火水槽兼原水槽からのポンプアップで寺内に供給されている（塩素消毒なし）。特段のメンテナンスは実施していないため、原水槽には砂が堆積しており、数年に一度程度の頻度で除去・清掃を行う必要があるとみられる。また、定期的な水質検査も実施しておらず、過去に自費（8000円）負担し、保健所で水質検査（11項目検査）を行った程度で、結果は大腸菌も不検出と特に問題はなかった。飲用しているが、体調不良等の問題はない。上流域に住居など、汚染源はないが、周辺でシカが死んでいたこともあるが、問題とは思っていない。今回実施した水質測定では、原水濁度は高くないが、浄水メカニズムがないため、濁度は低減しておらず、細菌の測定結果からも低減しているとはいえない。一方、防火水槽内の滞留時間が長いとみら

れるので、コンクリートのアルカリ分が溶出し、高 pH、高硬度になる可能性がある。今後、長浜市市民生活部環境保全課へのヒアリング並びに 40 項目の原水水質検査を実施する予定である。

（当該地域の上水道事業、簡易水道事業は長浜水道企業団が行っている。）

## 2.4 京都市内における原水調査

トロッコ保津峡駅(京都市西京区)の北側施設、南側施設の原水について、厚生労働大臣登録検査機関に依頼して水質検査を行った。測定項目は、水質基準 51 項目のうち、消毒副生成物等 11 項目を除く 40 項目である。水質試験結果は、南側施設の方が、濁度、一般細菌、従属栄養細菌の値は小さいが、電気伝導度、大腸菌の値は大きく、南側施設の方が何らかの汚染を受けている可能性が考えられた。

## 2.5 小規模水道における現実的な水質管理へ向けた枠組み

地元管理されているような小規模水道における現実的な水質検査のあり方を考えるための枠組みを検討した。まず、原水を地下水と表流水に大別している。これに対して、浄化処理が行われている場合と行われていない場合がある。浄水処理装置といいつつ、ほぼ処理機能がないケースもみられる。ついで消毒であるが、本来消毒は浄水処理の一部であるが、この図では分けて描いている点が重要である。塩素消毒が行われている場合もちろんあるが、行われていない場合も多い。著者はこれまでに、検討した枠組みの組み合わせのすべてを確認し、このうち、もっとも懸念されるのは、「表流水—浄水処理なし—消毒なし」のケースである。紫外線消毒はクリプトスポリジウム対策として導入が認められており、たとえば、塩素消毒が忌避される場合に、微生物的安全性を現実的に確保する方法として有用であると考えられる。このような組み合わせの中であって、原水および浄水の水質試験における検査項目と検査頻度を整理することが望まれる。それぞれの施設の実態に応じて、検査項目を選択するとともに、検査頻度を設定していけばよいものとする。ただし、検査項目数を減らす方向ばかりではなく、微生物に関する項目はむしろ拡充し、定量的微生物リスク管理（Quantitative Microbial Risk Assessment; QMRA）手法をコンセプトとするのが望ましい。

## 2.6 調査対象原水の微生物リスクと浄水処理における必要除去・不活化能

過去 30 年間(1983~2012 年)に飲料水を介した健康危機の発生事例調査結果によれば、化学物質等を含む健康被害数の合計は 140 件であり、うち微生物によるものが 131 件であった。また、その

ような健康被害が発生しているのは、多くが小規模水道であった。このように、小規模水道においては、まずは微生物的な安全確保が優先される。

小規模水道を有する地区では帰省した子供がおなかをこわす事例もあり、原因は多く考えられ、水が原因ではない可能性もあるが、水の可能性もある。また、日本語には“水あたり”という言葉がある。この“水あたり”を起こす原因としては 3 種類、①病原微生物による汚染、②硬度の高い水、③年少者による冷水の多量摂取が考えられ、ここでは QMRA 手法、

- 1) 微生物的安全確保へ向けたアプローチ方法
- 2) 細菌数を用いた必要除去・不活化能の試算
- 3) 大腸菌数を用いた必要除去・不活化能の試算
- 4) 不確実性分析

によって、原水の微生物リスクを定量したうえで、必要な浄水処理レベルについての考察を行った。

## 3. 集落外部の団体との連携状況に関する質問紙調査

### 3.1 集落外部の団体との連携・協力の現状

103 の集落に発送し、76 集落より回答を得られた（回収率 73.8%）。簡易水道事業に移行した、行政より管理業務を委託されていると回答した集落もあったが集落の現状を把握するためにこれらも含めた状態で集計、分析を行った。平成 27 年以降に飲料・生活用水供給施設の維持管理の作業を外部団体と連携・協力して行ったことがある集落は 14 集落（19%）、したことがない集落は 61 集落（80%）であった。このことから 8 割の集落は平成 27 年以降に飲料・生活用水供給施設の維持管理の作業を外部団体と連携・協力して行ったことがないと明らかになった。

連携・協力したことがある 14 集落での導入経緯として最も回答が多かったのは「自分たちの手ではできない専門性の高い技術の必要性があったため」であった。次いで「自然災害を受けたため」と「飲料・生活用水供給施設の老朽化のため」であった。（複数回答あり）また、外部団体と連携・協力して行った維持管理の作業内容は多岐にわたっており、最も回答数が多かったのは「水質検査」、「機器の修理・部品交換」次いで、「断水時の原因究明」であった。外部団体との関係として、「水質検査」は行政や NPO 法人と平時、および、緊急時に連携・協力しており、「機器の修理・部品交換」は行政や民間企業と一時的、もしくは、緊急時に連携・協力をしていることが明らかとなった。

連携・協力を行ったことがない集落（61 集落）に対しては、外部団体と連携・協力を行っていない理由を質問したところ、回答結果としての最も多い回答は「自分たちが使っている水道は自分た

ちで管理するべきだと考えているから」であった。次いで、「維持管理に負担を感じておらず、その必要性を感じていないから」、「してみたいと思ったが外部団体についての情報を知らず、行動できなかったから」であった。このことから集落にとっては飲料・生活用水供給施設を維持管理することは自分たちで行うべきだと考えが強いこと、維持管理の作業を外部団体と連携・協力して行う必要性を感じていない集落が多いことが明らかとなった。他方、連携・協力してみたいけれど外部団体についての情報を知らないこと、会計に余裕がないことを理由としている集落があることも明らかとなった。

### 3.2 外部団体からの支援の利用可能性

水供給施設の維持管理に関して、外部団体からの架空の支援策として、

- 1) 支援 A (消毒剤の点検・補充 代行支援)
- 2) 支援 B (ろ過槽の点検・清掃 代行支援+協働)
- 3) 支援 C (水源の点検・清掃 (水源が地下水以外の集落対象) 代行支援+協働)
- 4) 支援 D (維持管理に関する講習会や研修会 追加支援)
- 5) 支援 E (管路の漏水点検・診断 追加支援)
- 6) 支援 F (断水、水圧低下トラブル対応 現行支援+協働)
- 7) 支援 G (応急給水 追加支援)
- 8) 支援 H (施設の改修・更新に向けての料金コンサルタント 追加的協働)

といった8パターン(支援A~H)の支援策を紹介し、支援や協働について回答者自身の意見を尋ねた。

施設の状況を尋ねるとともに、これらの支援が有償である場合と無償である場合の支援の利用希望について調査を行った。各支援への意向調査を行い、有償、無償の場合で利用希望する集落数に差はあるものの、多くの場合で支援の必要性を感じ、支援に対する抵抗感がないことが明らかとなった。

### 3.3 調査結果のまとめと考察

集落外との連携については、平成29年度の検討のなかでヒアリング調査を行ったS市Y地区、T県T町においては、水供給システムの管理は地元集落にまかされており、上水道事業や簡易水道事業と連携した維持管理や、集落同士が連携して維持管理を行っていることは確認できなかった。本質問紙調査でも8割近くの集落が外部との連携・協力は行っていないとの回答であり、連携・協力を実施していた集落はわずかであった。その大きな要因として自分たちが使っている水道は自分たちで管理するべきだと考えているからだ

ということが今回の調査で把握できた。また、してみたいと思ったが外部団体についての情報を知らず、行動できなかったという連携・協力に対する意欲があることも把握できた。他方、外部団体と連携・協力して維持管理作業を行っている集落について、連携・協力している維持管理の作業内容として最も回答数が多かったのは「水質検査」、「機器の修理・部品交換」。次いで「断水時の原因究明」であった。「水質検査」は行政やNPO法人と平時、緊急時に連携・協力、「機器の修理・部品交換」は行政や民間企業と一時的、緊急時に連携・協力をしていることが把握できた。

外部団体からの支援の利用可能性についての調査では、どの支援についても有償、または、無償にて「利用すると思う」「おそらく利用すると思う」と回答した集落があり、外部団体からの支援のニーズがあることが明らかとなった。また、外部団体からの支援に対して現時点では必要性はないが、支援を利用することへの抵抗感がないことも明らかとなった。

4. 小規模水供給施設の運営に関与している民間組織等へのヒアリング調査と富良野市における自律型モデルの実践的とりくみ

#### 4.1 小規模水供給施設の運営に関与している民間組織等へのヒアリング調査

##### 1) 市町村の担当者へのヒアリング調査

美深町(9か所)、下川町(7か所)では、いずれの小規模水供給システムも、施設は町の資産であり、形式としては、維持管理を地元の利用組合に委託する形をとっているが、委託費は発生せず、覚書に基づき維持管理を地域に任せている状況であった。日常の維持管理運営は集金も含め地元任せ、大規模更新のみ町によって行われていた。役場は、水道利用組合の総会に出席することで現状を把握するとともに、総会資料を保管しておくことで、役員の連絡先、会計情報などの把握が可能となっていた。一方、深川市(15か所)および富良野市(18か所)では、施設も地元水道利用組合の資産となっているが、大規模改修や水質分析に対する補助金制度を設けており、その補助金への申請書類が、市町村にとって水道利用組合の実態を把握する上でのほぼ唯一の情報源となっていることがわかった。深川市では、この申請情報の蓄積を特段していないため、直近で申請のあった水道利用組合以外については、現状の把握が困難になっていた。一方、富良野市では、上下水道課が、補助金申請内容から管理組合の情報を整理して蓄積しており、その情報に基づいて次年度の補助金申請意向調査をかけるなど、支援のためのコミュニケーションを積極的に取っていた。

今回調査を行った市町村の中では、美深町、富良野市において特に水道利用組合とのコミュニケーションがしっかりとられており、相談があれば水道担当職員からアドバイス提供や直接的な作業手伝い等の支援が行われていた。ただし、担当者からは、「技術的なアドバイス等を行うことが水道担当部局以外では難しいのは明らかなが、市町村管理以外の小規模水供給システムは、原則、水道担当部局の管轄外であるため、現状ではイレギュラーな形での対応を取らざるを得ない」との指摘も聞かれた。

なお、2016 年に研究分担者らが北海道で実施した市町村アンケート結果によれば、地域自律管理型の小規模水供給システムに対して市町村が何らかの補助金給付または施設更新などの支援を行っている例は、上記の他に、少なくとも石狩市、黒松内町、厚沢部町、平取町、北見市で確認されている。

## 2) 行政および水道利用組合以外の主体による管理事例（NPO が管理しているケース）

北海道下川町一の橋地区において、地域維持活動を行う NPO（特定非営利活動法人地域おこし協力隊）が、簡易水道の管理を行っている事例について、運営状況等を把握した。同地区は、下川町本市街地から約 13km（車で 15 分程度）離れた集落であり、市街地とは別の簡易水道が布設されている。かつては地元住民を町の非常勤職員として雇用して、この簡易水道の管理にあたっており、その当時から実質的には地域自律管理であったと言える。当該担当者が高齢となり（2015 年時点で 70 歳以上）継続が困難になったことと、同 NPO の地域維持活動展開のタイミングが重なり、2015 年からは同 NPO への業務委託に変更された。委託内容は、毎朝の水質および配水量のチェックと、定期的な塩素注入量調整、緩速ろ過の砂削り等を含めたメンテナンスなどであり、毎日の作業ではあるものの拘束時間そのものは比較的短い。同 NPO としては、この業務単体（委託費約 140 万円）では、1 人分の収入にはならないが、拘束時間が限定的であるため、他事業との組み合わせにより、上手にやりくりして 1 人分の雇用を生み出していた。同 NPO は、もともとこうした小さな仕事を集めて経営されている部分が大きく、その中では、簡易水道の委託管理は少額ながら安定した収入源の一つとしてみなされていた。一方、委託側の町役場からは、これまでのように高齢の個人に任せるよりは、体力のある若い人材がいて、いざという時には代わりの人材を供給することもでき、かつ多様なスキルや道具を持っている NPO に委託することで安心感は増した、とのコメントが得られた。

## 3) 行政および水道利用組合以外の主体による管理事例（地域で会社を設立して管理しているケース）

北海道むかわ町穂別地区は、旧穂別町が合併によってむかわ町の一部となった地域で、同地区内にはもともと簡易水道が 4 か所あり、現在はそれら全て経営統合済み、ハードも順次統合を進めており、調査時点で 3 系統に整理されていた。有限会社 HSK は、役場の水道担当者 OB が地元の水道工事業者、土木工事業者、電気工事業者など 4 社の社長に相談を持ちかけ、4 社の出資によって 2003 年に有限会社として設立した。会社設立の一番の動機は、役場の水道担当者が町全体で 1 名しかいない状況で、技術継承ができず、役場以外の場所で若い技術者を育てていかなければ水道が維持できないとの危機感であった。調査時点で、専任の社員は 3 名で、年齢はそれぞれ 40 代後半、50 代、63 歳であった。町からの水道管理委託以外の仕事は原則として行っていない。同社が管理しているむかわ町穂別地区の水道施設の特徴としては、比較的起伏のある地形を少ない系統の水道で賄っていることから、ポンプの数も多く、毎日回らなければならない施設数は全部で 13~14 か所と多い。そして、各々の距離も離れているため、大まかに言って業務時間の約半分が移動時間に費やされている。3 人の職員は、現状では、いずれも時間的余裕は無く、下川町の NPO のように副業化する予定はない。

## 4.2 富良野市における自律型モデルの実践的とりくみ

北海道富良野高校科学部と連携した地域自律管理型水道の支援策として、採水分析（8/2, 8/4, 8/11 の全 3 回）と管路地図の GIS 化（9/28~部活動の中で継続的に実施）に取り組んだ。本年度は、東京大学北海道演習林内に水源を持つ 2 つの水供給システムの水質分析と 4 か所の管路図作成を行った。同演習林は、富良野市の土地の約 1/3 を占めており、市内の地域自律管理型水道の多く（確認できている範囲で 7 箇所）が、同演習林内の敷地に水源を得ている。良質な水源によって維持管理の手間とコストが抑えられている地域自律管理型水道にとって、東京大学演習林内による水源林管理は極めて重要であり、地域ぐるみの水道支援体制を構築する上で、同演習林との連携体制は欠かせないと思われる。これまでコンタクトはなかったが、高校生による演習林内水源地の調査協力依頼という形で、関係構築を図った結果、東京大学北海道演習林から調査協力について快諾が得られた。また、担当者も地域自律管理型水道について関心を示してくれたことから、演習林内での調査への協力、演習林担当者の報告会参

加がそれぞれ実現した。活動の報告会は、例年 11 月に富良野高校で開催していたが、農繁期の関係から、本年度は時期を変更して 1 月 30 日に実施した。報告会では、高校生からの結果報告、専門家からの講演および話題提供を行った。その中で、本課題で取り組んでいる「紫外発光ダイオード (UV - LED) を利用した水の消毒」についての技術紹介と、2017 年度から作成を続けてきた管路 GIS データの水道利用組合での活用促進を図るため、GIS ソフトのデモンストレーションと基本操作方法についての簡単な講習を合わせて実施した。

なお、GIS については、これまで使用していた有料の GIS ソフトウェアからフリーの GIS ソフトウェアに移行し、水道利用組合がほとんど追加投資なしに GIS を導入できるようにした。報告会后、GIS 活用に関心を示した市内の 1 つの水道利用組合と連携し、R3 年 2 月よりフリーソフトを用いた GIS 管路図の試験利用を開始した。

#### 4.3 小規模水供給施設の運営に関与している民間組織等へのヒアリング調査における考察

本年度は、行政の資産となっている簡易水道または飲料水供給施設を、地域自律型で管理する際のパターンとして、少なくとも 3 種類 (①地域へ無償で委託するケース、②地域住民を臨時職員として雇用するケース、③地域運営を担う NPO が管理を受託するケース) が確認された。各々個別の課題はあるにせよ、いずれも、現行の制度を変えずとも適用できる点が大きなメリットと考えられる。今後これらのモデルを水道運営再編の一つの選択肢として示していくことを考えた場合、①地域へ無償で委託する方法は、水道利用組合を新規に立ち上げる必要があるためややハードルが高いものの、②臨時職員としての採用、③地域運営 NPO への委託については、適任の個人または組織が地域にありさえすれば、実行可能な対策といえる。特に、地域運営 NPO については、近年、全国的に地域の課題解決を目指す NPO が立ち上がっている。それら NPO が「よろづ屋」的な事業に取り組む形態をとる場合には、極小規模の事業が多く経営が不安定になりがちなことから、水道管理事業を受託することで 1 つの安定財源を得られることにつながる。今後は、こうした地域「よろづ屋」的な NPO が、小規模水供給施設維持管理の担い手の有望な候補になりうると考えられる。なお、これらのパターンは、いずれも水道統計等では地域自律管理型であるということが見えない。それゆえ、さらに他のパターンが存在する可能性もある。今後、さらにケーススタディの蓄積を継続する必要がある。

一方、役場 OB が地元工事業者と共に会社を立

ち上げたケースについては、地域自律管理型と呼ぶべきか微妙な位置づけとなるが、行政以外の地元のプレイヤーが維持管理しているという意味では、今後の小規模水供給施設維持管理の一つの選択肢として考えられる。

ただし、むかわ町穂別地区のように施設数が多く、そもそも職員が常時フル稼働しているような地区では、上述のような「よろづ屋」的な NPO が一括で仕事を受けることは難しいと考えられる。ただその場合においても、例えば有限会社 HSK が管理する水道の中でも、特に地理的に離れた施設のみ、そこに在住する個人または NPO に毎日の点検を依頼することで、両者がメリットを得られるような形式は考えられる。

#### 4.4 富良野市における自律型モデルの実践的とりくみにおける考察

本年度は、例年通りの活動を継続する中で、重要な水源地域の管理者である東京大学演習林との連携強化を図った。同演習林は、水道の維持管理のためであったとしても、手続き上、事前の入林申請が必要であり、その手続きにおいて、水道利用組合と演習林の間で行き違い等が発生した例もある。本年度はまだ関係構築の途中であるが、今後、互いの顔が見えるようになり、また、両者とも富良野高校に協力するという同じ立場を共有することができれば、今後、齟齬が起りにくい関係になっていくことが期待できる。今後は、高校生の東大演習林調査を定期的な活動に位置づけるなどして、持続性のある関係の構築を目指し、引き続き取り組みを検討していく。

なお、2020 年 11 月には、富良野高校科学部による 2017 年度からの一連の水道支援活動に対し、北海道科学文化協会理事長から「科学教育活動実践表彰」が送られた。このことは、北海道新聞にも掲載され、地域住民への情報提供、意識啓発に貢献したものと思われる。

#### 5. 小型紫外線消毒装置の実証試験結果

##### 5.1 原水水質

一般的な水質項目 (濁度、色度、硬度、鉄、マンガン、水温、pH、電気伝導率) の測定を行った (2020 年 8 月～2021 年 1 月、n=10)。また、その間、原水の紫外線 (280nm) 透過率の平均値は 98.9%であった。濁度・色度の最高値 (順に 3.1 度、3.0 度) を示したのは 10 月 20 日の採水試料であるが、当該試料の紫外線透過率 (280nm) は 98.6%であり、紫外線処理の効率に影響を及ぼすほどの透過率低下は発生しなかった。

##### 5.2 UV-LED 処理による微生物濃度の変化

原水、UV-LED 点灯で装置を通過した水 (UV-LED 処理水)、UV-LED 消灯で装置を通過した水 (対照試料) の微生物濃度を測定した。原水について、

採水 10 回のうち 6 回で大腸菌を検出した。12 月から 1 月に原水中の大腸菌不検出が連続し、また大腸菌群数も同時期にごく低濃度で推移したことから、季節的な影響（気温・水温の低下による微生物活性の低下、野生動物の活動低下など）が示唆された。原水中の一般細菌も同様の傾向を示した一方、従属栄養細菌の濃度変化に季節性は見られなかった。原水について、水道水質基準の定める大腸菌の基準（100mL 中に不検出であること）および水道水質管理目標設定項目の示す従属栄養細菌の暫定目標値（2000CFU/mL 以下）をそれぞれ散発的に超過した。すなわち、未処理の原水は微生物学的安全性の観点から常時飲用には不適であり、消毒処理が必要と判断された。また、いずれの微生物項目でも、UV-LED 消灯で装置内を通水した対照試料は原水とほぼ同等の微生物濃度を示した。よって、UV-LED 点灯試料（処理水）で見られた濃度低下は、装置内への吸着等によるものではなく、紫外線による不活化の効果であることが裏付けられた。

測定結果から、UV-LED 処理水ではいずれの微生物項目も濃度が有意に低下した。大腸菌は UV-LED 処理水の全てで 100mL 中に不検出となった。原水と UV-LED 処理水の微生物濃度から処理による不活化率を算出すると、これまでに観察された最大値として、大腸菌は 1.5log 以上（処理後不検出のため特定できず）、大腸菌群は 3.2log 以上（処理後不検出のため特定できず）、一般細菌は 2.8log、従属栄養細菌は 2.2log となった。

昨年度に報告した UV-LED 装置（処理流量 2L/min および 10L/min の二機種）の実証試験において、従属栄養細菌の不活化率は流量 2L/min の装置で最大 1.5log 程度（平均 0.77log, n=21）、流量 10L/min の装置で最大 3.0log 程度（平均 1.8log, n=17）であった。今年度に試験した装置（処理流量 30L/min）による従属栄養細菌の不活化率 2.2log は昨年度の知見と概ね整合しており、今後の試験継続とデータ数の増加を待って、統計的な性能比較を試みる計画である。

## 6. マンガンの配水管内環境の実態調査及び蓄積特性の把握、実管網における蓄積量予測と制御方策

### 6.1 滋賀県 T 市における配水管内環境に関する実態調査

採取サンプルは、どの地点からも懸濁物質の非常に多い排水が採取され、概して黒色を呈していた。各サンプルの懸濁物質（SS/VSS）濃度、懸濁態元素（Al, Ca, Fe, Mn, Si）濃度の分析を行った結果、洗管時の排水中 SS は約 30～6000 mg/L であった。各回の採水試料（No. 1～）の懸濁物質濃度を足し合わせ、洗浄対象の管路の情報から配水管単

位内面積あたりの懸濁物質の蓄積量を推定したところ、配水区域 A の地点 1 で 56 g/m<sup>2</sup>、地点 2 で 1 g/m<sup>2</sup>、配水区域 B で 12.6 g/m<sup>2</sup> と推算された。蓄積量に占める各懸濁態元素の割合をみると、2 つの地点では Mn が蓄積物の主要な構成元素であり、黒い排水は Mn に起因するものと推察された。対象区域は地下水を水道原水としており、配水管の使用期間のうち除 Mn 処理がなされていない期間が数年間あったとのことである。国内の小規模な水供給システムにも地下水を原水とする地域があるが、塩素消毒を行う場合には配水過程で Mn の酸化が進み管内での蓄積が進行するため、適切な除 Mn 処理を行うことが必要と考えられる。

### 6.2 配水管内におけるマンガンの蓄積特性の把握

室内実験における Mn 蓄積量の時間変化と蓄積モデルの適合結果から、各流速条件で Mn 蓄積量は時間的に増加し、特に高流速（0.08, 0.2 m/s）の条件では加速度的な増加が見られた。Mn<sup>2+</sup>の酸化反応は自触媒反応であり、蓄積が進むほど Mn<sup>2+</sup>の吸着できる MnO<sub>2</sub> が増加することで酸化反応が加速されたことがその原因と考えられる。また、蓄積量は高流速ほど大きい傾向にあった。一般に管内流速が大きいほど管壁面での水流によるせん断力によって蓄積物は脱離しやすいため、高流速の条件ほど蓄積量が小さくなると予想されたが、本実験では逆の傾向が見られたことになる。これは流速が大きいほど管内の流れの乱れが増し、試験片表面に対する MnO<sub>2</sub> 粒子や Mn<sup>2+</sup>の時間当たりの供給量が増加したことに起因すると考えられる。さらにモデル式とのフィッティングによって MnO<sub>2</sub> 粒子の付着速度定数  $K_{att}$  と酸化反応速度に関するパラメータ  $c$  を推定した結果、どちらの定数も管内流速と正の相関があり、検討した流速域においては線形関係とみなせた。このことから、この経験式を一連の蓄積モデル式に組み込み、前節で調査した T 市の配水管網に適用した。

### 6.3 実管網におけるマンガン蓄積量の予測と制御性に関するシナリオ分析

対象管網における Mn 蓄積量を推算した結果、全管路の Mn 蓄積量の平均値は 518 mg/m<sup>2</sup> となった。また、室内実験の結果を踏まえた蓄積モデルを用いているため、管内流速の大きい上流の管路（配水池に近い管路）ほど蓄積量が大きい傾向にあった。上流の管路ほど Mn の蓄積量が大きい傾向にあることは既往研究でも確認されており、その傾向を数理モデルで再現し、蓄積量分布を可視化することができた。続いて、シナリオ分析結果から、対策なしのベースケースに対する平均蓄積量の割合は、WQ1～4 と RF1～4 のシナリオで 100%

を下回り、蓄積量を削減する効果があることがわかった。まず、WQ1, 2の結果から、現状の全 Mn 濃度を維持したまま  $Mn^{2+}$  の割合を現状の 90% から 10%、50% に低減することによってそれぞれ 22%、18% の削減効果が推算された。これは  $Mn^{2+}$  の割合が大きいほど化学酸化による加速度的な Mn 蓄積が進むためであると考えられ、なるべく Mn を酸化させてから配水することが重要と考えられる。一方、シナリオ WQ3, 4 より、Mn の形態組成を保ったまま全 Mn 濃度を 50%、30% に低減した場合の削減効果はそれぞれ 48%、29% となり、WQ1, 2 よりも大きな効果が見込まれた。以上より、浄水処理の段階でなるべく全 Mn 濃度を低減し、 $Mn^{2+}$  を酸化させることが Mn 蓄積量の低減には重要であることが示された。次に、管路の縮径を行うシナリオ PD1~3 ではいずれもベースケースよりも高い平均蓄積量が得られた。これは縮径に伴って管内流速が向上したことにより、 $MnO_2$  粒子の物理付着と  $Mn^{2+}$  の化学酸化を介した蓄積の両方が促進されたことに起因する。一般的に懸濁物質の蓄積を制御するためには管内流速を向上させることが有効な手段と考えられているが、Mn は特有の蓄積機構を持つために縮径は有効な制御方策とならない可能性が示された。さらに、定期的な洗管を想定したシナリオ RF1~4 は 6~40% の蓄積量の削減効果が見込まれた。洗管頻度を年 2 回とする RF1, 3 は、それぞれ年 1 回の洗管を行う RF2, 4 よりも蓄積量を低減できており、高頻度の洗管が有効であることが示された。また、毎回の洗管で蓄積量の大きい小区画を優先的に洗管するシナリオ RF1, 2 の方が、単純に小区画を順番に洗管していくシナリオ RF3, 4 よりも高い削減効果を示しており、洗管対象とする区画の適切な選定が重要であることがわかる。浄水処理(WQ1~4)と洗管(RF1~4)のシナリオを比較すると、例えば WQ2 と RF3 のシナリオや、WQ3 と RF1 のシナリオが同等の制御性を示すことがわかる。特に小規模水供給システムにおいて洗管は実施可能ではないことも多いが、それに相当する効果が浄水処理の改善によって達成できる可能性が本分析によって示された。このように異なる制御方策による効果を定量的に比較できたことが本研究の主要な成果といえる。

## E. 結論

高齢化及び人口減少等により、全国において水道及び飲料水供給施設等(以下、水供給システム)を維持することが困難となりつつある。このような水供給維持困難地域を含む小規模水供給システムにおける衛生的な水の持続的供給を目的として、技術的な検討、住民・民間等との連携、行

政への支援体制等の検討を実施し、施設・技術(ハード)を維持管理・支援(ソフト)の仕組みで支える水供給システムを強化する維持管理体制強化方策等の統合的方法を提案するため、様々な実験や調査、検討を行った。

### 1. 飲料水供給施設、簡易水道の課題と方策

飲料水供給施設、簡易水道の制度上の課題等について整理を行った。水質のタイプや諸条件について類型化し、水質検査の影響や人口当たりの費用等を解析し、水質検査費用の影響が大きい場合があることが分かった。また、複数の簡易水道が点在する地域で、処理施設、管路更新等を行う際の条件についてシミュレーションを行った。簡易水道の1事業体当たりの給水人口は減少傾向にある。給水人口当たりの総配管延長(単位配管延長)が大きく給水原価に影響している。給水原価は、簡易水道の平均(297円/ $m^3$ )に対して、過疎地にある人口5千人以下の簡易水道は333円/ $m^3$ と1割以上高い。過疎地人口5千人未満の簡易水道のブロック別の給水原価は近畿ブロックにおいて最も高く、近畿圏ブロック内の簡易水道の経営状況には建設にかかる資本単価の影響が大きいことが分かった。

2. 広島市安佐北区、および広島県山県郡安芸太田町への訪問調査を行った結果、地元管理されている施設の場合、塩素貯留槽への塩素の継ぎ足し作業が広く行われていることから、水質検査項目として、基本項目に加えて塩素酸の検査の実施が望ましいことを指摘した。また、地元管理されているような小規模水供給施設においては、原水の種類、浄水処理の有無、消毒の有無によって分類したうえで、現実的な水質検査のあり方を考えるための枠組みを示した。

京都市西京区の施設では原水調査を実施し、原水の微生物リスクを推定したうえで、必要な浄水処理レベルについて考察を行った。加えて、限定的な情報の下で、微生物的な安全性を確保するためのアプローチ方法を提示した。

3. 岐阜県、京都府、島根県、岡山県、大分県、高知県、佐賀県において飲料水供給施設等の小規模水供給施設を管理し使用している集落を対象に、集落外部の団体との連携・協力状況、外部の団体からの支援の利用意向を把握することを目的とした質問紙調査を行った。本質問紙調査の結果、中部地方から九州地方の小規模な水供給施設を管理・利用している集落における、外部団体との連携・協力の実態、および、架空の支援策ではあるが各支援に対する利用意向を把握でき、外部団体からの支援に対して有償、無償の場合においても「利用すると思う」「おそらく利用すると思う」と回答した集落があり、外部団体からの支援に対するニーズがあることが明らかとなった。また、外部団体からの支援に対して現時点では必要性はないが、支援を利用することへの抵抗感がないことも明らかとなった。今後は、外部団体から

の支援や連携協力を既に行っている集落について実態調査を行うとともに、支援の可能性をもつ民間団体に対して本研究で把握された実態や価格帯の情報を提示した質問調査を行うなどし、実現可能性や課題についての検討を進めていきたい。

4. 民間組織や水道事業体等と連携・協働した小規模水供給システム維持管理手法についてケーススタディの蓄積を行うとともに、地域と需要者に根ざした自律的で持続性の高い水道の一つのモデルを提示し、実践を通じてその有効性を検討した。

ケーススタディについては、自治体の資産となっている飲料水供給施設の管理を地域住民に委託（無償）する形で、地域が自律的に管理しているケース（2町・計16例）、地域で水道管理のための有限会社を設立して自治体からの委託により簡易水道を管理しているケース（1例）、地域運営を担うNPOが自治体からの委託を受けて簡易水道を管理しているケース（1例）の運営実態を把握した。いずれも、現行の制度を変えずとも適用できる点が大きなメリットと考えられた。また、今後これらのモデルを水道運営再編の一つの選択肢として示していく場合、近年、全国的に地域の課題解決を目指すNPOが立ち上がっていることから、地域「よろず屋」的な活動を行うNPOが、小規模水供給施設維持管理の担い手の有望な候補になりうると思われた。

自律的な水供給システムのモデルについては、北海道富良野市をフィールドとし、水道利用組合等による地域自律管理を前提に、地元高校生による運営支援体制の検証を継続した。R2年度は、高校生による東京大学演習林内水源地の調査協力依頼をきっかけに、演習林内での調査協力、演習林担当者の報告会参加が実現し、今後の連携強化につなげることができた。また、高校生が2017年より作り続けてきた管路GISの活用策については、定例の富良野高校報告会においてGISのデモンストラーションと操作講習会を行うとともに、1つの水道利用組合において実管理体制の中にGISソフトウェアを試験導入することができた。なお、試験導入のフィードバックは今後1年間かけて追っていく予定である。

5. 山間の集落規模の飲料水供給施設を対象に実証試験を実施し、本研究により得られた主な結論を以下に示す。

1) 原水では、散発的ながら大腸菌陽性の場合や従属栄養細菌が水道水質管理目標値（暫定値として2000CFU/mL）を超過する場合があったことから、常時飲用には消毒を要することが示された。

2) 処理流量30L/minのUV-LED装置による処理水では、原水に比べて微生物項目（大腸菌、大腸菌群、

一般細菌、従属栄養細菌）の濃度および検出率が低下し、特に大腸菌については試験期間を通じて不検出を達成した。

3) 本研究で採用したUV-LED装置による不活化率は、これまでの最大値として、大腸菌は1.5log以上、大腸菌群は3.2log以上、一般細菌は2.8log、従属栄養細菌は2.2logであった。

4) UV-LED処理水は、水道水質基準の定める大腸菌数（100mL中に不検出）、一般細菌数（1mL中に100CFU以下）および水質管理目標設定項目として示された従属栄養細菌数の暫定目標値（1mL中に200CFU以下）の全てを継続的に満たした。

本研究により、小規模分散型水システムのひとつとして、集落規模でUV-LEDを光源とする消毒装置を活用する可能性が示された。今後は、引き続き実証試験を継続し、特に季節変動を調べる観点から1年間にわたるデータの蓄積を目指す。また、使用後の装置内の汚損等を精査し、実装による処理性能劣化の可能性を検証する計画である。

6. 実際の配水管網において配水管内環境に関する実態調査を行ったところ、配水管の単位内面積あたりの懸濁物質の蓄積量は1~56 g/m<sup>2</sup>と推定され、マンガンが蓄積物の重要な構成成分として挙げられた。また、配水管内におけるマンガンの蓄積特性の把握するため室内実験を行いMnの蓄積過程を異なる管内流速条件で比べた結果、管内流速が大きい条件ほどMnの蓄積が大きく、MnO<sub>2</sub>粒子の物理付着とMn<sup>2+</sup>の化学酸化を介した蓄積の両方が管内流速によって促進されることを明らかにした。さらに、これを定式化した蓄積モデル式を構築できた。

構築したモデル式を実態調査区域に適用することで、Mnの蓄積量分布を可視化することができた。さらに、蓄積物制御のための3つの方策（浄水処理によるMnの形態・濃度の制御、縮径による管内水理条件の制御、洗管）による制御性をシナリオ分析によって定量的に推定し、通常は実施不可能な洗管と同等の効果を浄水処理の改善によって見込まれることなどを示した。

今後も様々な小規模水供給システムの施設についての情報収集及び調査を行い、現状の把握や経済的な視点を含めた維持管理体制に関する情報収集及び調査・研究を行う。また、これまでに得られた知見については、ホームページを試作中であり、手引きやインターネット等を用いた情報共有方法の準備を進める。

## F. 健康危険情報

なし

## G. 研究発表

### 1. 論文発表

○浅見真理. 小規模水供給システムー人口減少と

- 水道－. 空気調和・衛生工学. 2020;94(9): 723-729.
- 浅見真理. 小規模水供給システムの課題と今後の展開. 水道. 2020;65(5):1-5.
- 木村昌弘, 伊藤禎彦; 人口減少を踏まえた小規模水道のあり方についての一考察, 環境衛生工学研究, Vol. 34, No. 3, pp. 64-66, 2020. 7.
- 中山信希, 伊藤禎彦, 堀さやか; 情報提供による水道料金評価の改善効果に関する分析, 環境衛生工学研究, Vol. 34, No. 3, pp. 67-69, 2020. 7.
- 増田貴則, 堤晴彩, 岩田千加良, 浅見真理, 小規模集落が管理する水供給システムの維持管理・記録保存に関する実態調査, 土木学会論文集 G(環境), Vol. 76, No. 7, pp. III\_33-III\_42, 2020.
- 小熊久美子, 渡邊真也. 分散型水処理技術としての活用を想定した紫外発光ダイオード (UV-LED) 装置の実証. 水環境学会誌, Vol. 43, No. 4, 119-126, 2020.  
<https://doi.org/10.2965/jswe.43.119>  
 Majid Keshavarzfathy, Yamato Hosoi, Kumiko Oguma, Fariborz Taghipour. Experimental and computational evaluation of a flow-through UV-LED reactor for MS2 and adenovirus inactivation. Chemical Engineering Journal, 127058, 2020.  
<https://doi.org/10.1016/j.cej.2020.127058>
- ## 2. 学会発表
- 木村昌弘, 伊藤禎彦; 人口減少を踏まえた小規模水道のあり方についての一考察, 環境衛生工学研究会, 2020. 7.
- 中山信希, 伊藤禎彦, 堀さやか; 情報提供による水道料金評価の改善効果に関する分析, 環境衛生工学研究会, 2020. 7.
- 中山信希, 伊藤禎彦, 堀さやか; 水道料金に対する評価を改善するための提供情報, 令和 2 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp. 48-49, 2020. 11.
- ・齋藤真太朗, 須田康司, 惣名史一, 伊藤禎彦, 伊藤雅喜, 清塚雅彦; スマートな浄水システム / 技術レベルの維持・向上を目指してー A-Dreams プロジェクトの取組からー, 令和 2 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp. 214-215, 2020. 11.
- 増田貴則, 堤晴彩, 岩田千加良, 浅見真理, 小規模集落が管理する水供給システムの維持管理に関する作業負担の実態, 令和 2 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. pp. 110-111, 2020.
- 堤晴彩, 増田貴則, 住友萌名, 浅見真理, 小規模集落が維持管理する水供給システムの実態及び民間団体からの支援に関する意向調査, 令和 2 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. pp. 112-113, 2020.
- 島崎 大, 安達吉夫, 浅見真理, 末吉 智, 前川啓子, 中里文江. 小規模水供給施設向け簡易消毒技術の適用可能性に関する実験的検討. 令和 2 年度全国会議 (水道研究発表会) 2020. 11 誌上開催.
- 児玉知子, 大澤絵里, 浅見真理, 戸次加奈江, 松岡佐織, 嶋根卓也, 松本俊彦, 三浦宏子, 樺田尚樹, 横山徹爾. 日本における Universal Health Coverage の達成状況と課題. 国際保健医療学会グローバルヘルス合同大会 2020. P7-1. 2020. 11. 2. オンライン
- 浅見真理, 児玉知子, 大澤絵里, 戸次加奈江, 樺田尚樹. SDG 3 における水・衛生に関連した保健指標の経緯について. 国際保健医療学会グローバルヘルス合同大会 2020. P7-4. 2020. 11. 2. オンライン
- Asami, M., Simazaki, D., Adachi, Y., Lab-scale Application of Upflow Filtration and UV-LED Treatment for Small Water Supply Systems. 1A-06, Water and Environment Technology Conference Online2020. 2020. 11. 7. On line.
- 牛島健, 北海道内農村地域における生活系水インフラの課題と対策の糸口, 農村計画学会 2020 年度西日本ブロック地区セミナー, 2020. 4. 12, ZOOM による Web 開催
- 小熊久美子, 渡邊真也. 山間地における紫外発光ダイオード (UV-LED) 水消毒装置の実証. 第 23 回日本水環境学会シンポジウム、オンライン、2020. 9. 10.
- ・小熊久美子. 深紫外 LED による水の消毒. GaN コンソーシアム 2020 年度光デバイス WG 講演会、オンライン、2020. 12. 17 (招待講演)
  - ・小熊久美子. 深紫外 LED による殺菌応用の最新動向. 三重大学北勢サテライト研究会セミナー、オンライン、2020. 12. 17 (招待講演)
  - ・小熊久美子. 紫外線を利用した水処理技術の世界動向と将来展望. 第 9 回機能性バイオニシンポジウム、オンライン、2020. 9. 3 (招待講演)
  - ・Kumiko Oguma, UV disinfection the achievements and prospects for the future, International UV Association Workshop, オンライン、2021. 2. 18. (招待講演)
  - ・佐渡友康, 小熊久美子, 風間しのぶ, 滝沢智. 紫外 LED を用いた太陽電池駆動型水処理装置の

実証試験と電力に関するシナリオ分析、第 55 回日本水環境学会年会、オンライン、2021. 3. 12  
・小熊久美子、佐渡友康. 紫外線と塩素の併用による水中の 2-メチルイソボルネオール分解に関する基礎的検討、第 55 回日本水環境学会年会、オンライン、2021. 3. 12

### 3. その他

#### (1) 総説・解説

- 伊藤禎彦; 小規模水道をめぐって、水団連、第 146 号 (新年号)、p. 5, 2021. 1.
- 伊藤禎彦; 緊急用浄水装置に求められるコンセプトづくり、水道人エッセイ集「それぞれの 3. 11、あの日から私は」、名古屋大学 NUSS 教育研究ファイルサービス共有 (PDF) 2021. 3. 11.
- ・浅見真理. 新型コロナウイルスと消毒に関する話題。水団連。2020;144:2-6.
- ・浅見真理. それぞれの 3. 11ー放射能、避難所、緊急時. 水道人エッセイ集「それぞれの 3. 11、あの日から私は」、名古屋大学 NUSS 教育研究ファイルサービス共有 (PDF) 2021. 3. 11.

#### (2) 講演等

- 浅見真理. 小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究. 小規模水供給システム研究会、国立保健医療科学院生活環境研究部、東京大学大学院工学系研究科附属水環境工学研究センター主催、Zoom 開催、2020. 6. 24.
- 伊藤禎彦, 堀さやか; 住民との連携に関する検討、小規模水供給システム研究会、国立保健医療科学院生活環境研究部、東京大学大学院工学系研究科附属水環境工学研究センター主催、Zoom 開催、2020. 6. 24.
- 伊藤禎彦; 小規模化が進む水道システムを考えるー地元管理水道から水道料金問題までー、2020 年度「ダクタイル鉄管協会セミナー」、一般社団法人日本ダクタイル鉄管協会主催、合人社ウェンディひと・まちプラザ北棟 6 階マルチメディアスタジオ (広島市)、2020. 10. 28.
- 伊藤禎彦; 地元管理水道の実態と水質管理上の課題、土木学会環境工学委員会臨床環境技術小委員会・環境技術思想小委員会、小規模水道の衛生問題に関するシンポジウム、Zoom 開催、2020. 11. 26.
- Sadahiko Itoh; Water Supply System and its Perspectives, The 4th Workshop on Kyoto University - Mahidol University On-site Laboratory, Zoom 開催、2020. 11. 27.
- Sadahiko Itoh; Water Supply System Facing a Depopulation Society of Japan, 京都大学 -

清華大学 2020 年日中環境技術共同研究・教育シンポジウム、Zoom 開催、2020. 12. 5.

- 増田貴則, 堤晴彩, 小規模水供給システムの維持管理と住民協働, シンポジウム「小規模水供給システム研究会」, 2020. 6. 24.
- ・増田貴則, 表明選好法を用いた水道管路システムの更新及び管理策向上便益の評価, 人口減少社会における水道管路システムの再構築及び管理向上策に関する研究成果報告会 (水道技術研究センター主催), 東京, 飯田橋レインボービル, 2020. 7. 13.
- 増田貴則, 堤晴彩, 小規模集落が管理する水供給システムについて, 琴浦町野田集落意見交換会 (鳥取県中部総合事務所地域振興局主催), 2020. 9. 7.
- 増田貴則, 表明選好法を用いた水道管路システムの更新及び管理策向上便益の評価, 人口減少社会における水道管路システムの再構築及び管理向上策に関する研究成果報告会 (水道技術研究センター主催), 大阪市, 大阪駅前第 3 ビル, 2020. 9. 14.
- 増田貴則, 表明選好法を用いた水道管路システムの更新及び管理策向上便益の評価, 人口減少社会における水道管路システムの再構築及び管理向上策に関する研究成果報告会 (水道技術研究センター主催), 札幌市, TKP 札幌カンファレンスセンター, 2020. 9. 29
- 増田貴則, 表明選好法を用いた水道管路システムの更新及び管理策向上便益の評価, 人口減少社会における水道管路システムの再構築及び管理向上策に関する研究成果報告会 (水道技術研究センター主催), 福岡市, ACU-H 紙与博多中央ビル, 2020. 10. 13
- 牛島健, 小規模のしくみは小規模の理屈で考えるーこれまで見逃されてきた小規模インフラの成功事例に学ぶー, (連載: 環境技術思想ー持続可能な社会に向かって 第 7 講), 月間下水道, 2021 年 1 月号, pp. 93-, 2020.
- 牛島健, 地元高校生との小規模水道支援体制づくりの裏側, 地球研 OpenTS ウェビナー, 2020. 10. 28, ZOOM による Web 開催
- 牛島健, 北海道における住民との連携事例, 小規模水供給システム研究会 (厚生労働科学研究「小規模水供給システムの持続可能な維持管理に関する統合的研究」, 2020. 06. 24, ZOOM による Web 開催

## H. 知的財産権の出願・登録状況

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