

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 国立保健医療科学院 統括研究官
牛島 健 北海道立総合研究機構北方建築総合研究所 研究主幹
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

研究要旨：

高齢化及び人口減少等により、上水道や簡易水道では水道事業の維持が大きな課題の一つであるが、給水人口が減少しつつある簡易水道や給水人口が100人以下の飲料水供給施設等の小規模水供給システムにあっては、影響が特に大きく、飲料水を含む生活用水を供給する水道の施設・財政・維持管理・衛生確保の様々な面で多くの問題を抱え、水道の維持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地域においても、衛生的な水を持続的に供給可能とするための具体的な方策を提案すべく、様々な分野において検討を行った。

簡易水道におけるデータを基に、人口が減少しつつある簡易水道や小規模な水供給の今後のあり方を検討するため、将来シミュレーションモデルの構築を行った。また、全国の簡易水道のデータから費用削減策の効果を検討するとともに、モデル地区での今後の整備のあり方を検討した。

将来も通常給水を行う場合は、見直しにおける管路延長減の効果が大きく、運搬給水を行う場合では使用水量減の効果が大きいことが明らかとなった。小規模な水供給については使用水量や管路延長の削減、運搬給水等の導入に加え、地域の活性化による人口確保等多様で多角的な対応が必要であるが、今回の手法を用いたモデル地区での検討では、3地区を施設統合し運搬給水を導入することが費用負担的には有利となった。

小規模な水道においては、家庭により近い地点で浄水水質を確保する分散型の水道システムが、管路整備の負担軽減、水源における浄水施設管理の簡略化等に有効であると考えられた。

高知県が推進した「高知県版生活用水モデル開発事業」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おり、県が果たした役割はきわめて大きい。特に、2槽式緩速ろ過装置は、各地の小規模集落のニーズに対応できる新技術であることから、国内で広く普及していくのが望ましい。水質検査の負担が大きい場合が有り、公的補助や助言のしくみが必要と考えられた。

限定的な情報の下であるが、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。

病原細菌種の一斉検出における同定の正確性を高めるために、分析手法の改良を行った。小規模水供給施設の原水に適用した結果、13属24種の病原細菌の検出に成功し、土壌・水環境中の常在菌が主な病原細菌である可能性を示した。得られた知見をリスク評価に活用することで、微生物的な安全性を確保するために必要な浄水処理レベルを精緻に評価できることを示した。

管内の堆積物の分析から、地域特有の管路維持管理作業が配水管内環境の制御に寄与できることを示した。

小型浄水処理について、濁度除去に関する実験及び実地に設置した試行を実施した。実験室内ではろ層が安定した後は、濁度、微粒子残存率は安定し、濁度ではほぼ90%、3 μ m以上の粒子で95%以上の安定した除去率が得られた。一方で1~3 μ mの粒子については30%程度の除去率しか得られなかつ

た。実地の実証実験では原水濁度の上昇（～50度）により、処理水の濁度上昇が確認された。また、ろ過機に気泡が入ることで捕捉した濁質が流出する可能性が示唆された。紫外線照射によりろ過水の大腸菌を不活化できていることが確認されたが、ろ材支持部材に堆積物が確認された。静岡市の簡易水道、飲料水供給施設及びその水源の調査を行った。関係者らの尽力により、水源取水装置、処理装置の改善が行われ、濁度が低く、安全性が高い水が安定的に供給されるようになった。研究が生かされ、UV-LED装置が実際に導入された事例などで維持管理体制の検討を行うことができた。

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た。大腸菌の検出があったが、UV-LED装置による処理水では、調査したすべての微生物項目（大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌）で濃度が低下し、水道水質基準の定める大腸菌数、一般細菌数および水質管理目標として示された従属栄養細菌数の暫定目標値の全てを、大腸菌陽性となった1回を除いて2年間の試験期間を通じて継続的に満たした。本研究により、小規模施設で利用可能な消毒技術としてUV-LED装置の有効性と長期的な安定性が示された。

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、集落役員が点検や清掃などの管理作業に感じている負担感や作業負担の重い項目、外部団体からの支援についての集落側の意向、支援を利用する場合の価格帯について調査を行った。水供給システムに関する住民の金銭的負担として施設を敷設する際の財源や水道料金体系について整理・分析するとともに、集落規模別の維持管理状況の実態を分析した。

水供給システム敷設時は、集落や個人負担と回答した集落が最も多く、半数を超える集落が水道料金を定額制と回答し、メーター制を含む集落では定額制より高い料金負担であった。これらのことよりいずれの料金制においても住民自らが管理している小規模水供給システムの場合、同規模の簡易水道事業と比較すると安価な料金負担となっているケースが多いことがわかった。

また、少数ではあるが地方自治体の中には積極的な支援を行っているケースやNPO団体を活用しているケースがあることがわかった。国が最近創設した特定地域づくり事業協同組合制度は、人口急減地域の小規模水道の維持管理作業を支援する枠組みとなる可能性がある。

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。今回確認された「中間的」な地域自律管理型を含む広義の地域自律管理型モデルは、今後水道運営の再編が必要となる地域に対し、それぞれの状況に合わせた多様な選択肢を提供することにつながると思われる。

「自律的な水供給システム」のモデルとしては、北海道富良野市をフィールドとした6年間の試行錯誤の結果、水道利用組合等による地域自律管理を前提とした。地元高校生による運営支援体制として「富良野モデル」を構築し、必要なコスト、人口、普及の方策について整理することができた。さらに、令和4年度には、実際に北海道日高町にある富川高校の「総合的な探求の時間」の授業として富良野モデルを適用し、富良野市同様の成果を地域に提供できることを確認した。

これらの知見から、小規模水供給の地域では、地域の状況に合わせ、広域化、施設統合、維持管理の容易な装置の導入、分散型装置設置、運搬給水等を検討するとともに、住民や各種団体等と連携した維持管理、貸借や維持管理と組み合わせた民間との協力等を検討し、取り組むことが必要と考えられた。県や近隣の自治体等との情報共有、連携の必要性も多く指摘されており、今後とも多様な事例の共有、連携が重要と考えられた。

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。

具体的には、小規模水供給システムを対象に、

- 1) 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
- 2) 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
- 3) 簡便なる過設備及びその維持管理方法に関する検討
- 4) 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
- 5) 効率的な水質管理・水質検査のあり方に関する研究
- 6) 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
- 7) 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
- 8) 効果的な情報収集・共有のあり方に関する検討を実施し、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。

B. 研究方法

1. 小規模水道・水供給システムの維持管理に関する経営シミュレーション③

これまで特に経営環境が厳しい人口5千人未満の過疎町村にある簡易水道事業を選定し、施設統合や運搬給水など様々なシステムや多様な給水形態を導入した場合について、簡易な経営シミュレーション等を行い、給水システムについて施設統合や自立分散型、運搬給水や非飲用水給水の導入などの優位性を評価し、今後これらの地区で導入すべき最適なシステムについて検討してきた。

今年度は、こうした評価手法を一部の簡易水道や小規模水供給システムの今後の最適なシステムや給水形態についての検討に利用できるように、金利や人件費などの維持管理費を含むより現実に即した詳細なシミュレーション手法を構築し、実績値との比較によりその妥当性を検討した。

また、この手法を用いて地方公営企業法非適用

の簡易水道事業や水道法の適用を受けない飲料水供給施設等の小規模な水供給における今後の費用削減策とその効果について検討した。更に、これをモデル地区にも適用し、施設更新や維持管理の今後の課題を抽出し、これらを踏まえて、小規模な水供給の今後のあり方を検討した。

2. 持続可能な小規模水供給の課題と対策に関する研究

小規模水供給の課題の把握するため、飲料水供給施設のデータが多く入手可能な秋田県を例に、小規模な水道における今後の給水人口の見通しについて検討を行った。人口予測は以下の資料に基づき実施した。

- 1) 秋田県水道現況調査
- 2) 国土数値情報（国交省）
 - ・ 上水道関連施設データ；上水道及び簡易水道の給水区域と浄水場の位置情報
 - ・ 500m メッシュ別将来推計人口（H30 国政局推計）
- 3) 人口等予測（社人研）
 - ・ 日本の地域別将来推計人口（平成30（2018）年推計）
 - ・ 日本の世帯数の将来推計（都道府県別推計）（2019年推計）

また、既存研究成果等から小規模な水道事業における課題を把握するとともに、令和3年度厚生労働科学研究「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（20LA0501）」で実施したアンケート調査結果を基に、課題とその背景の関係を分析することとした。

これらの分析から得られた課題に対する対応策について、検討を行った。

3. 小規模水供給施設の実態と現実的な水質管理

3.1 高知県に対するヒアリング実施と訪問調査

高知県中山間振興・交通部鳥獣対策課に対して、主として「高知県版生活用水モデル開発事業」に関するヒアリングを行った。また、高知県吾川郡いの町、長岡郡大豊町、長岡郡本山町を訪問し、いの町吾北（ごほく）総合支所建設課、大豊町住民生活課、本山町政策企画課に対してヒアリングや関連施設への視察を行った。（訪問日：2022年5月16日～5月18日）また、「高知県版生活用水モデル開発事業」のもとで簡易緩速ろ過装置および表流水取水柵を新規に開発した企業にも現地立会や訪問に関して協力を得られた。さらに、各水供給施設においては、利用者からも直接ヒアリングすることができた。

3.2 福島県県南保健所と西郷村に対するヒアリング実施と訪問調査

県南保健所（県南保健福祉事務所）生活衛生部に対して、福島県水道の概要、小規模水供給シス

テムの実状、保健所の役割等についてのヒアリングを行った。また、西白河郡西郷(にしごう)村上下水道課に対しては、西郷村における上水道事業の状況や未普及地域等に対する施策についてヒアリングを行った。さらに、地元管理されている由井ヶ原水路会、報徳水路会への訪問調査を行い(訪問日:2022年8月10日)、管理者や利用者から直接ヒアリングすることができた。

3.3 島根県雲南(うんなん)市および飯南(いいなん)町に対するヒアリング実施と訪問調査

島根県雲南市に対して、市によって管理されている上水道事業についてのヒアリングと訪問調査を行った。

4. 小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保法

4.1 滋賀県長浜市寺院への訪問調査

滋賀県長浜市内の大吉寺(だいきちじ)(長浜市野瀬町)の水供給施設への訪問調査を行い、以前膜ろ過施設を設置していた企業の立会いのもと、住職からヒアリングを行った。また、企業側からも、これまでの経緯等についてのヒアリングを行った。加えて、原水(溪流)、および寺院への供給水を採水し水質測定を行った。

4.2 京都帝釋天水供給施設の調査

京都帝釋天(京都府南丹市)の寺務所である福寿寺の住職から、水利用状況および南丹市との関わりの有無についてのヒアリングを行った。

4.3 京都市内における原水調査

京都市西京区にあるトロッコ保津峡駅(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た原水調査を行った。採水場所は保津川を挟んで、北側の施設(売店へ水供給)と南側の施設(駅舎へ水供給)の2か所で、定期的に採水し、水質測定を行った。

4.4 病原細菌群の網羅的検出

トロッコ保津峡駅の北側施設で採取した水試料に対して、病原細菌の網羅的検出を行った。なお、今年度は次世代シーケンサーの解読エラーを補正するため、Karstらが開発したUnique Molecular Identifier(UMI)法を導入した。また、同様の操作を既知の細菌が混合された標準試料にも適用し、エラー補正の妥当性を別途検証した。

環境水から得られたコンセンサス配列をrrnオペロン配列のデータベースMIRORに対してBLAST検索し、各クエリ配列について、トップヒットのビットスコアの95%値を上回るスコアを持つ全ヒットを用いて最小共通祖先を推定した。これを1409種からなる病原種リストと照合し、病原種を含む属として推定された配列を抽出した。さらに16S rRNA配列データベースSILVAの基準株/培養株のエントリーに対してBLAST検索

し、病原種の参照配列に対して99%以上の配列類似性を示すトップヒットの分類群を割り振った。

5. 管路の維持管理方法に関する検討

5.1 中部地方Y市k浄水場配水区域

以前は簡易水道であったが、現在は上水道として統合されている配水区域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。ここでは、「排泥作業」と称する放水作業が行われており、「排泥作業」は毎年実施されているものの、その洗管効果は明らかではない。そこで、「排泥作業」を強化し、管内流速を0.4m/sec程度以上に確保して、管内に蓄積した懸濁物質等を積極的に排出するというシナリオを設定することとした。

5.2 東北地方A市n浄水場・t浄水場配水区域

両浄水場は、ともにクリプトスポリジウム等対策を理由の一つとして膜ろ過(UF)設備が導入されており、この配水地域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。n浄水場配水区域の末端には「排流装置」が設置され、稼働している。この「排流装置」によって水道水を常時放水している目的は、配水区域内の残留塩素とpHの管理を容易にすることにある。本配水区域における以上の特徴をふまえて、制御性の検討における設定予定条件を示し、検討を行った。すなわち、この区域では、膜ろ過の導入と排流装置が特徴的であることから、それぞれの導入効果を定量的に評価するためのケース設定とした

6. 小規模水供給システム向け浄水処理装置の試行と維持管理モデル

小規模水供給システム向けに維持管理の簡便な装置による除去性の実験と、南日本のある離島の2地区において、実際の設置に関する検討を行うこととした

6.1 実験プラントにおける実験及び現場実証試験

(1) 国立保健医療科学院浄水処理実験プラントにおける上向きろ過による実験

維持管理の簡便な浄水処理のため、上向きろ過装置(三菱ケミカルアクア・ソリューションズ社製)を依頼作成し、処理実験を行った。浄水処理実験プラント内に設置した同機について、2021~23年に断続的に通水試験を実施した。原水は浄水処理実験プラント内の水道水に、白とう土(カオリン)及び粉末活性炭を50:50で添加し、濁度約1度に調整、流速0.5L/minで通水した。

(2) 実地試験B

(1)と同型の装置を用い、南日本のある島の個別に井戸を利用しているB地区で、実地の試行を行った。実地試験において、支持体はステンレス網とベルイーター(PVA樹脂系スポンジ)を用いた。また、消毒性能の確認のため、後段にUVLED

装置を設置した。

当該の水源は、井戸下部に砂等が堆積しており、雨後に濁度が上昇する。水源は、ゴムシートのみでの養生であり、雨水、表流水、小動物混入の恐れがある。揚水管が複数設置されているが、実際に利用しているのは2世帯であった。

(3) 実地試験 E

同様の装置を用い、同じ島の個別に井戸を利用している E 地区で、実地の試行を行った。水源は一般道から 150m 程度離れた草地にあり、特段の管理の形跡がなかった。貯水槽内は晴天時でも目視で確認できる程度濁っており、蓋の劣化により落ち葉等が貯水槽内部に混入していた。

6.2 実地調査

小規模水供給の持続的な維持管理に関する取り組みを続ける地域について、実地の調査を行った。

7. 小型紫外線消毒装置の基礎的知見の収集と実際への適用に関する研究

7.1 実証試験の概要

実証試験の場として、国内の飲料水供給施設を選定した。当該施設は、昭和 25 年から民営簡易水道事業（水道組合）として住民主体で運営してきたが、人口減少を踏まえ簡易水道から飲料水供給施設に 2020 年に認可変更を受けた施設である（給水人口 18 戸 44 名；2022 年現地ヒアリング時点）。原水は山間の沢水（湧水が地表を流下したものをせき止めたものであり、例年冬の渇水期には原水流量が著しく低下する傾向がある。

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、実験装置に導水するフローとした。UV-LED 装置の単独での性能評価に特化するため、また、一般に小規模施設ではできるだけシンプルなプロセスが望ましいため、実証試験ではろ過等の前処理をせずに原水を直接 UV-LED 装置に導水するフローとした。

試験は 2020 年 8 月から開始し、2022 年 7 月までの 2 年間、概ね毎月 2 回（隔週）の頻度で採水した。試料は UV-LED 装置前（原水）、UV-LED 点灯で装置を通過した水（処理水）、UV-LED 消灯で装置を通過した水（対照試料）の 3 つの試料を採水し、微生物測定項目並びに物理化学的水質項目の分析を行った。ただし、2021 年 1 月から 5 月および 2022 年 2 月から 6 月まで、渇水に伴う原水流量の低下を受けて試験を中断した。試験中断の間に装置内に生物膜が発生することを懸念し、中断の間も UV-LED 装置は点灯状態を維持した。

7.2 装置の概要

集落規模で利用可能な UV-LED 装置の候補として、発光ピーク波長 280nm の表面実装型 UV-LED を搭載した流水殺菌装置（DWM1、日機装技研）を

選定した。試験地の原水流量の制約から、30L/min を設定流量として実証試験を実施した。

7.3 試験実施方法

(1) 2020 年 8 月末より実験を開始した。水消毒装置を定格電流 350mA（LED パッケージあたり）で点灯し、以降、消灯条件での採水時を除いて点灯状態を維持した。

(2) 装置の処理流量は 30L/min で一定とした。ただし、原水量の低下や落ち葉等による閉塞が原因と推定される流量低下の傾向がみられたため、採水の都度 30L/min に調整し、流量の安定を確認してから採水した。

(3) UV-LED 装置前（原水）、UV-LED 点灯で装置を通過した水（処理水）、UV-LED 消灯で装置を通過した水（対照試料）の 3 つの試料を採水し、東京大学へ冷蔵輸送の後、採水後 24 時間以内に細菌数を培養法で測定した。検水量は、大腸菌と大腸菌群は 100mL、一般細菌は 50mL、従属栄養細菌は 1mL とした。

7.4 物理化学的水質項目

以下の項目を採水時または実験室で測定した。

濁度、色度、硬度、鉄、マンガン、水温、pH、電気伝導率、流量、紫外域吸光スペクトル（220-400nm）

8. 小規模集落が管理する水供給システムに関する住民の金銭的負担と給水規模別維持管理状況の実態、および、外部団体からの支援の可能性

西日本（岐阜県、京都府、奈良県、和歌山県、鳥取県、島根県、岡山県、山口県、徳島県、高知県、佐賀県、大分県）について、行政が WEB 開示している情報をもとに飲料水供給施設等の水供給システムを管理し使用している集落を特定し、水供給システムの維持管理や断水等トラブル発生の現状を把握するとともに、実際に管理している集落役員が水供給システムに対して感じている不満や、点検・清掃などに対して感じている負担感、行政や他集落との連携状況について実態を把握するための質問紙調査を行った。

質問紙は 2019 年 2 月～3 月および 2019 年 11 月～2020 年 3 月に郵便にて送付し、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。合計 564 の集落に発送し、253 の集落より回答を得た。白紙回答や戸別給水の集落からの回答を無効回答とし、有効回答数は 241、有効回収率は 42.7%であった。このうち上水道や簡易水道を併用している集落が 8 集落、数年前あるいはちょうど上水道や簡易水道に切り替えを行ったばかりという集落が 4 集落、上水道や簡易水道に切り替え予定という集落が 4 集落、集落やゴルフ場管理の簡易水道を使用している集落が 2 集落であった。以下、これらの集落を含

めた状態で集計を行い、分析を行った。なお、その集計結果については大部分を昨年度までの報告書において報告済みであるが、本年度は既報では報告をしていない水供給施設を敷設する際の金銭的負担・水道料金体系、住民の金銭的負担、および、集落規模別（給水戸数別）の維持管理実態について焦点をあて分析を行った。

また、外部団体からの支援の事例と可能性については、上記のアンケート調査および昨年度までのアンケート調査やヒアリング調査等の過程で得た情報をもとに、文献調査や現地調査を実施することで、事例の概要や詳細をとりまとめた。

9. 地域のプレイヤーが自律的に管理する小規模水供給システムのケーススタディおよび実践的取り組みを通じた支援体制の検討

9.1 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

これまでに実施した北海道の全 179 市町村を対象とした調査では、地域住民らが管理する「地域自律管理型水道」は少なくとも 64 市町村に計 237 か所存在することが確認されている。この中から、令和 2～3 年度は「地域自律管理型水道」が数多く確認されている 7 市町を対象に、役所または役場の水道部局担当者に聞き取り調査を行った。本年度はこれに加え、3 町において、同じく役場の担当者に聞き取り調査を行った。各町が確認している地域自律管理型水道の概要、市役所及び町役場の役割、運営状況および運営にかかる情報の入手方法、当該水道の抱える課題などを話題とし、半構造化インタビューによって適宜話題を掘り下げながら聞き取りを行った。

9.2 富良野市における自律型モデルの実践的とり組み

日本の農山村地域の水道の中には、行政ではなく地域住民が自律的に管理を行う地域自律管理型水道が数多く存在するが、各種統計調査の対象にもならないことから、その実態はよくわかっていない部分が多い。そのため、北海道においてこうした地域自律管理型水道の実態調査を行い、地域自律管理型の強みと課題を整理した結果、多くの事例では、良質な水源や農家の存在を背景に、低コストで無理のない運営が実現している反面、水質リスク管理体制やアセット情報管理に課題があることがわかった。

そうした地域自律管理型水道の特性を踏まえ、北海道富良野市と合同で、地元高校生との連携による地域自律管理型水道の支援体制づくりを行ってきた。富良野高校科学部のクラブ活動と連携し、地域自律管理型水道を対象に、水質リスク管理体制支援として簡易の水質調査、アセット情報管理支援として管路地図の GIS 化、そして一連の

成果の報告会を実施してきた。

本年度もこれまでと同様の方法で、4 つの地域自律管理型水道を対象に水質調査を、3 つの地域自律管理型水道を対象に管路地図の GIS 化をそれぞれ実施し、1 月には報告会を行った。さらに、昨年度に引き続き、地元高校生らのモチベーションを高めるとともに、外部支援者を巻き込む試みとして、札幌国際大学と連携し、地元高校生と札幌の大学生が地域の水について議論するワークショップを 1 回開催した。（本年度は札幌国際大学で開催）

9.3 他地域展開の可能性検討と適用検証

富良野市において試行錯誤の上に構築された現在の取組を一つのモデル（以降、富良野モデルと呼ぶ）と捉え、他地域への展開可能性を検討するため、取り組みに必要な機材、コスト、人員について整理を行った。また、コンタクトすることができた 1 つの小学校、3 つの高等学校の校長または教頭に対し、聞き取りによるニーズ調査を行うとともに、賛同が得られた学校において話題提供としての授業および富良野モデルの実際の適用を行い、適用可能性を検証した。

（倫理面への配慮）

本研究には、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、個人情報保護及び調査に係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. 小規模水道・水供給システムの維持管理に関する経営シミュレーション 3

1.1 簡便化シミュレーション手法の汎用一般化に向けた検討

(1) 支払い利息人件費等を加味した詳細一般化式について

1) 支払利息と維持費等の検討

水道事業の建設にかかる費用は、一般的に補助金等（国庫補助金、県補助金）と地方債で賄われている。ここでは、地方債の償還期間を各施設の耐用年数とし、地方公共団体金融機構の過去 10 年間の平均支払利息率を用いた。

維持管理費については、比較的相関が高い 1 / 給水人口（千人）と浄水場数 / 給水人口（千人）及び単位管延長（管路延長(m) / 給水人口（人））の 3 つの要因と維持費負担額との関係から重回帰により算定式を設定した。

2) 詳細一般化式によるケース別年度毎の費用負担額（評価 1）の算定

給水形態に関する各検討ケースの経過年度毎の維持費及び支払利息を考慮した詳細一般化式を示した。これらによればケース①cに対してケース②では、塩素消毒費や水質検査費が減少し、新たに宅配水費が加わる。ケース③では、浄水施設や水質検査が不要になる一方、各戸ろ過膜装置や宅配水費が追加される。また、運搬給水ケース④c1では、送水配水管路が不要となる一方で、運搬給水のための車両費や運転人件費が必要となる。ケース④c2は、2トンタンク車による運搬給水であり、車両費が安くなる一方、運搬頻度が増え人件費が増加する。ケース⑤は、配水池までの運搬給水であり、不要となる管路は送水管に限られるが、運搬時間は減少し人件費が減少することになる。

3) 詳細一般化式による計算値と実績値の比較

詳細一般化式における通常給水ケース①cの算定式から、施設数等についてはR2年度の実績値、建設改良費に対する地方債割 γ は過去10年間の平均値を用いて、R2年度における費用負担額を算定し、実績値と比較した。これによれば、負担額全体平均で見れば、実績値と計算値の差異は10%以内であり、個々に見ても最大で20%程度であり一定の実用性はあると考えられる。

4) 詳細一般化式によるケース別30年平均費用負担額(評価2)の算定

年度ごとの費用負担額(評価1)の算定式から、世代間の公平性を考慮した費用負担の評価指標とする今後30年間の一人一月平均費用負担額(評価2)の算定式を求めた。

5) 詳細一般化式3を用いたケース別優位性の比較

ケース別の費用負担額(評価2)の給水人口や管路延長による優位性は、各評価値の比較により求められ以下の通りとなった。

i) 通常給水ケース①cと非飲用水給水ケース②、③の場合

これらのケースでは、管路の建設費は同じであるため、それらを除く費用を給水人口との関係で比較すると、給水人口が50人を下回ると通常供給ケース①cより無処理の水を供給し各戸浄水器と宅配水で対応するケース③が優位となる。また、給水人口が30人を下回ると簡易処理した非飲用水を供給し飲用は宅配水で対応するケース②が優位となる結果となった。

ii) 通常給水ケース①と運搬給水ケース④c1、④c2、⑤cの場合

α_3 、 α_4 を1とした場合の管路延長と給水人口と関係を給水形態ケース別の優位性の境界線と同じグラフで示した。地理的地形的な条件等から各戸に運搬給水が可能な場合には、運搬給水と通

常給水ケース①との境界線は4トンタンク車で、一人当たりの送・配水管路延長が約30m、2トンタンク車では40mとなる。浄水施設から配水池まで運搬給水するケース⑤cの場合は送水管の延長が一人当たり20~30mがケース①cとの境界となった。

(2) 今後の簡易水道事業の推移

1) 検討ケース

今後の簡易水道事業の費用削減へ向け5種類の検討を行った。現状ベースは一人一日当たりの最大給水量(q_1)、管路延長(L)、各施設数(n_i, n_t, n_d)をR2年度の実績で固定し、人口の推移は国立社会保障・人口問題研究所(以下「社人研」)の「日本の地域別将来推計人口(平成30年推計)」(移動型)とし、P00は補助金等がない場合、P01は補助金がある場合である。P10は、 q_1 を300L/人/日に減じた場合、P20はLを給水人口に合わせて減じた場合、P30は、人口減少抑制策により域内の人口流入流出が均衡する場合(社人研推計人口参考(封鎖型))である。

2) 今後の費用削減に向けた方策とその効果

現状ベースで、R2年度とR27年度の費用負担額を比較した。現状ベースでは、今後25年間で給水人口の減少により4.6千円/人/月の費用増となる。補助金等を考慮した場合には、この増加額は2.6千円/人/月に止まるが、それでも現状の補助金を考慮しない場合と同程度となる。

25年後のR27年度に補助金等を考慮しない場合の対策別の効果を比較した。一人一日最大給水量を現状の683Lから簡易水道の補助基準である300Lまで減少させれば、運搬給水での負担額を4千円/人/月減じることができる。また、管路延長を給水人口に合わせて削減できれば、通常給水ケース①cでは、3.9千円/人/月の減と大きな効果が得られる。更に、地域活性化策等により人口減少を抑制することによっても、2.6千円/人/月の減の効果が得られることが明らかとなった。

これら3つの対策をすべて実施すれば、現状の11.4千円/人/月から7.1千円/人/月に4.3千円/人/月、減じることができる結果を得た。

1.2 詳細一般化式によるモデル地区での検討

(1) K1モデル地区での検討

R3年度に簡便式で検討したK₁村のモデル地区を対象に、3地区の施設統合効果等を検討した。3種類の給水システムを設定し、5種類の給水形態について、詳細一般化式を用いて一人一か月当たりの費用負担額で比較評価を行った。

1) 検討のフロー

詳細一般化式から示すフローによって、モデル3地区の給水人口と計画施設数、水源種別などから、将来の費用負担額が計算され、事業の統合効

果等が評価できる。ここでは、このフローから補助金等を考慮しない場合について、給水人口の推移、水道施設数を用いて分散型と統合型の優位性について検討した。

2) 現在の使用水量を用いた検討結果

i) 管路による給水ケース①②③の優位性の比較

R27年度の評価2による検討結果をまとめた。これによれば管路による3つの給水ケースを比較すると3地区統合型Ⅱと自立分散型Ⅲのe地区ではケース①cの費用負担が最も低いが、分散型Ⅲの3地区計、f地区、g地区ではケース③が最も低い結果となった。この結果、総合的には3地区統合型Ⅱが有利であるが、地区別の優位性を考慮し自立分散型Ⅲとする場合は、e地区ではケース①cが、f地区、g地区ではケース③が優位という結果となる。

ii) 運搬ケース④⑤を含む優位性の比較

水道法上の課題を除けば運搬給水は、地理的地形的状況から運搬車の進入路が確保できる場合に実施可能である。また、運搬給水を含む給水形態の検討フローを示した。

今回のモデル地区は、山地部に民家が張り付いているところも多く、4トンタンク車による各戸への運搬給水は困難であるので、2トンタンク車による各戸への給水ケース④c2と配水池まで運搬給水するケース⑤cについて検討した。

運搬給水を含む検討結果のまとめ(R32評価2)によれば、最も費用負担的に有利なケースは、3地区統合型Ⅱの運搬給水④c2となる。

2. 持続可能な小規模水供給の課題と対策に関する研究

2.1 小規模な水道の将来給水人口の見通し

公表データ(秋田県水道現況調査)に基づき、水道給水区域や給水区域外人口等の予測を行った結果、小規模な水道のエリアでは、上水道・簡易水道区域と比較して、人口減少の進行がより速いことが推測された。人口減少に伴い、小規模な水道一か所あたりの給水人口はさらに小さくなる。事業ごとの給水人口が減少することは、給水面積当たりの人口が減少することとなり、結果として、給水人口一人当たり管路延長が長くなることが予想される。

水道統計(令和2年版)より、給水人口規模が小さいほど給水原価が高くなる傾向がみられ、また、給水原価に対する減価償却費の構成比率は、それ以外の費用と比べて一人当たり管路延長が長くなった場合の影響が大きい(散布図の傾きが大きい)。

既設管路により供給ができていた間は問題ないが、老朽化が進行し、布設替えとなった場合における費用負担は非常に大きな問題となること

から、小規模水供給における管路整備については、そもそも布設替えが行われないこと(多少の漏水は許容するなど)、更新するにしても延長を短くすること(小規模分散)等、少なくとも既存施設と同様の管路整備は行われる可能性は低いことを前提する必要があると考えられる。

2.2 既存研究等による小規模水供給の課題の整理

小規模水供給をめぐる課題とそれによる問題点をヒト、モノ、カネの視点で整理した。課題としては、維持管理の負担大きいこと、飲用水としての安全性、供給の安定性、資金不足等があげられ、このうち、小規模水供給ならではの課題としては、主に、飲用水の安全性、料金徴収方法による資金不足が考えられる。この課題への対策としては、以下の方策が考えられる。

1) 人手不足に起因する問題

維持管理作業、集金等、従来人手をかけていた作業等について、デジタル化により労力の軽減を図る。

2) 資金不足に起因する問題

従来(水道料金、補助金等)とは異なる資金調達(異業種協業等)や、低コスト化。

3) 従来とは異なる方法(法的な問題は別として)での対応が必要な問題

水源での浄水処理(ろ過、消毒等)に頼らない安全性の確保、低コストかつ簡略化された機器(法定耐用年数を満たさなくてもよいなど)により計測、監視等を行うもの等。

2.3 維持管理負担の要因

これまでに示した課題のうち、特に、小規模水供給ならではの維持管理に関する負担の要因、解決に向けた有効策等について、令和3年度厚生労働科学研究「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(20LA0501)」において実施したアンケート調査結果を基に、次の6項目の質問についてクロス集計を行うことにより考察を行った。

1) 小規模な水道の状況(経営種別)

2) 小規模な水道の状況(原水種別)

3) 小規模な水道の状況(処理方法)

4) 小規模な水道を持続させるために他機関からの協力(相談、助言等も含む)を得たいと思いますか?

5) 小規模な水道に関する事項で困りごとを聞いたことはありますか?

6) 情報提供を受けるのであれば、どのような内容に関心がありますか?

アンケート調査結果より、調査対象において最も多かった処理方法は「消毒のみ」であったことから、「消毒のみ」の浄水方法としていると考え

られる地下水水源（浅井戸、深井戸、その他地下水（井戸の種類不明））に注目し、「原水種別」と「困りごと」に関するクロス集計を行った。結果、「水量が足りない」、「水質が悪い」、「市町村等の水道から水を引きたい」といった回答において、原水種別が地下水水源である比率が大きく、通常、維持管理手間が少ないと考えられる地下水水源についても、小規模な水道では維持管理労力が大きいことが示唆された。

また、地下水水源における維持管理手間の要因を考察するため、浄水処理方法と水源種別に関するクロス集計を行った。地下水を水源とする事業において最も多い浄水方法は「消毒のみ」であるが、地下水を対象に、ろ過処理を行っている事業も多くみられることが分かる。

さらに、「困りごと」と「浄水処理方法」のクロス集計結果として、ろ過処理を行っている事業では、降雨時の濁水発生、ろ層の閉塞、（ろ過）砂の補填が難しいとの回答が多く、維持管理に多くの労力を要していることが想定された。また、浄水処理が消毒のみである事業でも、施設の老朽化、維持管理する人が足りないとの回答が多く、維持管理手間が少ないわけではないことが示唆される。

これらのことから、現状の問題として、ろ過設備がある場合の維持管理手間は大きく、降雨時の濁度上昇、砂の補填が難しい、ろ過池が詰まりやすいとの問題から、適切なるろ過処理が行えているかといった懸念がある。一方で、消毒のみの場合でも、人は足りないし維持管理は大変であるとの現状が示唆される。今後、小規模な水道事業では、ますます給水人口の減少が予測されることから、水道施設の維持管理については、困難さを増していくことが予想される。

2.4 対策

小規模な水道事業において、施設の維持、浄水の安全性確保にどう対応するかについては、利用者自らがどこまで対応可能であるか（維持管理の容易さ）は大きな要素であるが、処理方法に関わらず維持管理手間が大きいことが考えられる。今後の水道施設の適切な維持は大きな問題であり、加えて、水道施設は浄水施設だけではなく、他の送・配水施設等が多い、管路が長い等の小規模水供給においては、さらに問題が大きいと言える。

以上を踏まえ、事業者からの支援に対する期待の大小、小規模水供給自らの施設の維持管理の手間の大小により、小規模水供給の課題に対する対応方針は異なると考えられ、それぞれの対応方針を考えた。今後の検討の方向性としては、維持管理に関する負担軽減、ヒトに代わる技術、従来の手法とは異なる手法の検討が必要と考えられる。

これらについて、すで実現している手法、検討が進められている手法等を整理した。

浄水処理に関しては、地理的条件や投資効果、事業数（箇所数）の多さ等により、行政の関与には限界があり、小規模水供給事業者自らが対応せざるを得ない状況が多く、さらに、ろ過処理等への適切な対応が困難な状況も見られる。よって、特に「従来の手法とは異なる水供給システム」については、より小規模な集落単位での飲用水供給システムや、場合によっては、水源における浄水処理に頼らない、戸別の浄水装置による対応（小規模分散型システム）等も有効と考えられる。小規模分散については、管路更新が困難であることを考慮しても有効な手段と考えられる。

また、料金徴収や資金調達に関しては、これらの浄水装置のメンテナンスと抱き合わせたサブスクリプション等による収入化の可能性も考えられ、資金調達方法の工夫や低コスト化等により、事業者の支援が期待できる状況にできる可能性も考えられる。

3. 小規模水供給施設の実態と現実的な水質管理

3.1 高知県に対するヒアリング実施と訪問調査

(1) 高知県中山間振興・交通部鳥獣対策課に対するヒアリング

高知県中山間地域対策課は、中山間地域への対策を重視する知事のイニシアティブを受け、「高知県版生活用水モデル開発事業」を推進した。令和4年度からは、担当課が鳥獣対策課に変更されている。なお、高知県における簡易水道事業の担当課は薬務衛生課である。

事業の背景として、高知県内の中山間地域では、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しており、この整備には高額な費用がかかるため、住民及び市町村にとって経費負担が大きな課題となる。今後さらに人口減少や高齢化が進み、住民一人一人への費用や労務の負担が高まる中、共同利用の施設整備や老朽施設の更新が求められており、早急な課題解決の対策が必要である。

一連の給水施設のうち、特に水源地からの取水方法や、浄化に必要なろ過施設について、県内企業からの技術提案（プロポーサル方式）により、安価で管理の簡易な施設の試作品の製作、検証を行う。こうして高知県オリジナルの小規模給水施設を提案することにより、中山間地域の住民が安心して暮らし続けるための仕組みづくりにつながることを「高知県版生活用水モデル開発事業」の目的としている。

これまでの直面する課題として、①取水装置（スクリーン）やろ過施設の多くは、県外メーカーによるもので高額、②少数世帯対象の製品がな

い、③操作方法が高齢者には難しく、また、清掃時の作業に危険が伴う恐れがある、④県外にお金が出流する、がある。

平成 26 年度に委託業務を実施（プロポーザル方式）し、四国水道工業株式会社の提案を採択した。委託内容は、取水施設とろ過施設の製作であり、試作品が製作され、その後、モデル地区に設置、検証が行われた。

事業効果として、県・市町村、住民等に対する①コスト削減：建設費を抑え、住民や市町村の財政負担を減らすことが可能、②労務の削減：定期的な洗浄や、見回りを要する住民の労務負担を減らすことが可能、が挙げられる。また、企業に対しては、県内企業による製品開発を促進する効果をもたらす。これらを高知県版モデルとして確立することを目指した。

(2)いの町・大豊町・本山町に対するヒアリング実施と水供給施設への訪問調査

高知県吾川郡いの町、長岡郡大豊町、長岡郡本山町を訪問し、各町の水道事業や小規模水供給施設の概況と現況についてヒアリングを実施した。併せて簡易水道事業や小規模水供給施設への視察も行った。また、県のモデル事業として整備された地区へも訪問し、県のプロポーザル方式に採択された企業からも聞き取りを行うことが出来た。この企業は従来から水道施設の施工を行ってきた実績を有するが、水処理装置の製作は行っておらず、浄水処理装置と表流水取水柵を新規に開発できたのは、既存の浄水処理装置がもつ技術的な課題を認識できていたこと、および県が本事業を推進したことによるところが大きいことが分かった。

3.2 福島県県南保健所と西郷村に対するヒアリング実施と訪問調査

(1)福島県水道の概要

福島県における水道事業の広域化推進は、食品生活衛生課と市町村財政課が担当している。県では地域の実情を加味した福島県広域化推進プラン策定に向けて検討を進めており、市はある程度独自に対応しているが、町・村は人材が少ないため技術的内容を事業体の中で解決するのが困難な状況である。郡山市ですら、他の市町村に対して技術支援を行うのは難しいのが実状で、一部の市は独自に対応しているが、町・村は、技術的内容を保健所に相談または支援を求めてくる。

水道普及率が低水準である市町村も存在し、70%以下である市町村が4つある（令和2年度末時点。東日本大震災の影響を受けた相双地方を除く）。これまでに整備が進まなかった地域が残されているため、今後も整備を進めるのは難しく、保健所としては、公営水道の普及を進めてきたが、

今以上の水道普及率の向上を進めることは困難になっている。

(2)小規模水供給システムの実状

水の量・質ともに良好である地域に人が住み着いてきた歴史があり、このため、水源条件が悪い地域はない。未普及地域は、以前は公営水道に接続し、これを解消することを目指していたが、10年程前からは、国として、公営企業としての経営原則が要請されるように変容してきたため、事業経営にとっての条件不利地域には必ずしも対応する必要はないと考えられるようになった。

県条例により、（計画給水人口ではなく）利用人口が50人を超えるものを「給水施設」と定義し、管理や水質検査等を義務付けている。また、利用人口50人以下で、市町村営のものは「飲料水供給施設」と呼んでいる。

保健所は、認可および整備に当たっての（コンサルタント業務を含む）助言・指導を行ってきたが、設置・整備のための保健所としての予算があるわけではない。なお、県南保健所が対応している専用水道は約20か所ある（専用水道は福島県全体で約160か所あり）。

一方、市町村営ではない地元施設は飲用井戸の扱いであり、保健所は福島県飲用井戸等衛生対策要領に基づき、相談があったものについて管理方法や水質検査の助言等を行っている。市町村は実態を積極的に把握していない。

(3)西郷村役場に対するヒアリング実施

西白河郡西郷（にしごう）村上下水道課にて、西郷村における上水道事業の状況や未普及地域等に対する施策についてヒアリングを行った。

西郷村は、近隣市町村である白河市と広域化・共同化に対して、何が可能かの協議、検証を行い、県に対して要望を提出した（「広域推進プラン個別案の検証要望について」（2022.6.16））。将来、単独での経営が困難になることも予想しており、経営統合も含めた検討が必要とあると認めていることが背景にある。項目は、経営統合、施設の共同化、共同委託からなる。経営統合には、白河広域圏と受水水道事業との垂直統合と、白河市と西郷村との水平統合の可能性が含まれる。これは、白河市からの呼びかけによるもので、現在のところ、白河市の事業内容や経営実態が不明という状況のため、今後情報交換の場が必要と考えている。

西郷村では、給水区域内で上水道が整備されていない戸数は現在約345戸あるが、上水道整備を進める方針はない。これに対して、「西郷村家庭用飲用井戸等給水施設整備事業補助金交付要綱」を定め、補助対象経費の1/2以内の額で100万円を限度として補助を行っている。井戸の新設ももちろん含まれるが、各戸はすでに井戸を所有して

いるので、更新時や故障の修繕時に要望が寄せられる。また、井戸の新設時には水質検査費用も補助の対象としており、この場合必要とされる検査項目は 15 項目である。実態としては、年間 1～2 件程度に補助している程度であり、複数戸で 1 井戸という例もある。なお、塩素消毒は行われていない。また、給水区域外の地域を担当するのは環境保全課であり、井戸設置に関する補助内容は給水区域内井戸と同一である。

(4) 由井ヶ原水路会、報徳水路会への訪問調査

由井ヶ原水路会は、戦前、人がほとんど住んでいなかった地域であり、昭和 21 年から食料増産を目的とした開拓が始まった。以前は湧水（湧水割合高い）を砂ろ過した水を使用し、竹樋で水輸送していた。やがて湧水を利用することに変更し、専用水道となった。また、平成 24 年の台風による破断事故が発生し、断水被害が生じたことから、保健所が、新設水源として深井戸設置の指導を行った。給水区域外であるため、環境保全課による補助を得て整備された。（全額が役場補助、地元負担なし。）しかしながら、以前は計画給水人口が 100 人超だったので「専用水道」であったが、居住人口が 100 人未満となり、専用水道に該当しないことから給水施設として確認を受けた。

報徳水路会は、現在利用者が 82 戸、約 120 人の専用水道であるが、配水は自然流下によることから技術管理者は不要の施設である。

旧水源がダム建設により水没することが明らかとなったため、村の上水道加入への問い合わせを行ったが、役場からは給水予定区域ではないとの回答があった。県のダム建設事務所は井戸の設置を提案したが、地元住民が現在の湧水地を見出し、提案、この湧水の取水施設がダム建設補償工事として平成 6 年に整備された。また、配水管の敷設などは業者への発注が高額となることから、住民自らが施工した。

管理運営状況は、水路会としての組織体があり、総会、役員会を開催するなどしっかりした運営がなされている。会長、管理部長、会計、書記、監事、班長といった役職があり、役員手当として 42 万円が支出されている。支出には、例えば水源地の清掃の実施で 1 万円／日など、後継者育成のための支出も含んでいる。

3.3 島根県雲南市に対するヒアリング実施と訪問調査

雲南市は、平成 29 年度に「雲南市水道事業」として、2 上水道事業+16 簡易水道事業+8 飲料水供給施設を統合した。現在の水道普及率は 95.3%。水道料金は、平成 19 年度から、上水道事業・簡易水道事業間で統一済みであり、令和 5 年度に料金改定を予定している。

また、同市内の旧飲料水供給施設としてはもっとも小さい 3 か所（給水戸数 1～7 戸）への訪問調査を行った。これらの旧飲料水供給施設は、事業統合の結果、上水道事業における 1 配水区域であることから、当然、通常の水質検査が要求される。すなわち、毎月+年 4 回+年 1 回検査が行われており、年間合計 40 万円を要する（島根県環境保健公社による検査費用）。このほか、委託業者によって毎日検査が行われている。この結果、竹之尾旧飲料水供給施設のランニングコストは 1,800 円/m³に達している。

3.4 新技術の創出と高知県の役割について

「高知県版生活用水モデル開発事業」のもと、プロポーザル方式によって県内企業に対して施設・装置の製作が委託された。県は、中山間地域におけるニーズを把握し、それに対応可能な施設・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。

これにより、企業としては、求められた施設・装置を開発すれば、少なくとも県内各所に納品できビジネスが展開できるという見通しを得ることができ、新規開発に着手することができる。実際、受託した企業は、この県事業がなければ、施設・装置を新規開発することはなかったと語っている。もちろん、県内の事情には精通しているので、社会的ニーズがあることは認識されていたものの、ビジネス化の見通しがなかったため新技術を開発しようとはされなかったのである。

このように、高知県が推進した事業は、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ことができる。高知県が果たした役割はきわめて大きいといえる。

なお、本装置は、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に対応できる新技術である。現在は高知県内のみにならされているようであるが、国内で広く普及していくのが望ましいといえる。

3.5 水供給システムの整備と塩素消毒について

上記水供給システムの整備にかかる費用は、高知県と役場が補助している。水供給システム整備の中心になるのは、浄水処理装置の新設であるが、このとき、塩素消毒の実施が要件とされていないことに注目する。従来から塩素消毒を行っていない地域も多いが、補助事業であるにもかかわらず、塩素消毒装置の設置を強制していないのである。

3.6 “最終消毒装置”としての極小規模浄水処理装置の性能について

上記のように、引き続き塩素消毒を行う予定がないことから、たとえば前出の 2 槽式緩速ろ過装置は、“最終消毒装置”とみなすこともできる。

欧州では、浄水処理の最終プロセスが緩速ろ過

であることがしばしばある。そして、オランダでは、塩素消毒が行われていないことから、この緩速ろ過処理は最終消毒処理プロセスであるとみなされている。このため緩速ろ過処理による微生物の除去・不活化能が丹念に調査研究されてきている。

新規に開発された2槽式緩速ろ過装置も、懸濁物質の除去だけではなく最終消毒装置としての役割も有することから、その微生物に対する除去性能を定量的に表示できることが望ましいといえる。

この観点からすると、ろ過マット使用についても評価の対象になりうる。つまり、微生物除去のためには、いうまでもなくろ過層が成熟している方が有利である。ろ過マットを使用した場合、ろ過層の成熟を遅らせてしまうが、一方、ろ過マットだけを洗浄しつつ、成熟したろ過層を長期間使用することもできるだろう。ろ過マットを使用することによるメンテナンスの容易さと、ろ過層の性能発現とのバランスという課題を見出すことができる。

3.7 福島県県南保健所が果たした役割

福島県県南保健所は、歴史的に専用水道や給水施設における衛生的な施設整備を推奨してきており、実際に整備が進んできた。この結果、「表流水—浄水処理施設なし—消毒なし」といった水供給施設は福島県内には存在しないという。保健所としても、このような小規模水供給システムの整備に貢献してきたという自負がある。設置・整備のための予算枠をもっているわけではないが、同保健所が果たしてきた役割はきわめて大きいとみることができる。

3.8 専用水道の管理運営について

福島県西郷村において、特に、報徳水路会の管理運営がしっかりしている点は特筆される。これは同会会長の力量によるところも大きいとみられるが、集落規模がある程度の大きさ（給水区域内人口516人、現在利用人口約120人）であることが組織体の形成を可能にしているといえよう。後継者育成のために必要な支出も行われている。また、配水管敷設等の工事の一部が住民によって実施可能である点も有利である。これらは、北海道においてみられる地域自律型水供給システムが持続可能な形で成立している事例との共通点が多い。

3.9 地元管理されている水供給システムにおける飲用水の安全保証について

専用水道における水質検査は、法が求める検査項目、頻度で行う必要がある。報徳水路会ではこれに年間74万円を要しており、現在は、基本料金1500円／月の収入の範囲内でまかなわれて

いるものの、高額な地元負担になっているといえる。一方、給水施設に格下げした由井ヶ原水路会ではこの水質検査費用を大幅に削減できている。実際、他県では、高額な水質検査費用の削減を主たる理由として、民営の簡易水道を飲料水供給施設に格下げした事例も存在する。専用水道に対する法的要件とされている事項であるにもかかわらず、地元住民の全額負担になっている点には課題が残されているともいえる。水質検査とは、いうまでもなく飲用水としての安全保証が目的であることから、公的補助のしくみがあってもよいのではないかと考える。

3.10 小規模水供給システムにおける現実的な水質管理へ向けて

島根県雲南市の旧飲料水供給施設を対象に行われている水質検査の頻度および検査項目は明らかに過剰で不必要である。その真の必要性を精査すれば、検査費用を何分の1にすることは簡単とみられる。このような施設は雲南市内にいくつも存在し、市で統一されている水道料金の給水原価を押し上げている。

現状を改善するための最初のアプローチは、現行の「水質検査の頻度減・省略の判断フロー」に従って、どこまで可能かを精査することである。これを実行するだけで検査頻度を大幅に減らすとともに、検査項目の削減も可能である。全国の事業・施設の多くで、本来可能であるはずの水質検査の頻度減・省略が実施されていない。まずは現行で可能な内容を精査することが望まれる。

さらに、今後の方向性としては、水質検査・管理に係る要件について、運用面での柔軟性を現行よりもさらに付与することが考えられる。そして「水質検査計画」策定時に、その内容をオーソライズする仕組みを導入するのである。これによって提案できる例を以下にリストアップする。

- ・毎日検査→1週間に1回で十分
- ・地質に由来する物質：3年に1度→5年に1度で十分
- ・消毒副生成物：ジクロロ酢酸、トリクロロ酢酸のみで十分
- ・混合検体を可能とする（米国での事例あり）

なお、国は上記のような具体的内容を示す必要はなく、「飲料水としての安全性を保証でき、かつ、その内容をオーソライズできるなら、柔軟に運用してよい」と言うだけで良いだろう。この措置によって、各地で続く水道料金の上昇傾向を緩和することができる。

4. 小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保法

4.1 滋賀県長浜市寺院及び京都帝釋天水供給施設への調査

小規模水供給施設における設置経緯、施設の現況、施設管理の状況、管理体制や利用状況、水質測定結果についての聞き取り、訪問調査を行った。また、長浜市の専用水道所管課である市民生活部環境保全課生活衛生係に対してヒアリングを実施した。専用水道の使用開始時に手続きを行うほかは、未普及地域に対する施策や改善方策等もっているわけではなく、市としての課題や県・国に対する要望事項も特でない。なお、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。ヒアリングの結果、未普及地域については関与していないことが分かった。

4.2 原水調査の結果

大吉寺、京都帝釋天、トロッコ保津峡駅施設（北側、南側）で採水した試料について、これまでの原水試験結果のとりまとめを行った。

4.3 病原細菌群の網羅的検出

トロッコ保津峡駅の北側施設で採取した水試料に対して、次世代シーケンサーによって病原細菌を一斉検出した結果、3つの検体から、合計13属24種の病原細菌が検出された。昨年度の分析手法とは、1)シーケンサーによる解読エラーをUMI法によって軽減した点、2)種レベルの分類群推定のための必要条件として「16S配列の類似性99%以上」を採用した点、3)照合先の配列データベースを種名の信頼性が高い基準株・単離株のみから構築した点が異なり、推定の信頼性を向上させることができた。検出結果から、特に、*Aeromonas* 属や *Mycobacterium* 属、*Bacillus* 属、*Pseudomonas* 属といった水環境や土壌中の常在菌が多数検出された。これらは免疫の低い人々に感染性を示す日和見感染菌として一般的なものである。また、*Clostridium* 属のような動物の糞便由来と思われる病原菌も散発的に検出されたが、上記のような環境常在菌よりは検出されにくい傾向にあった。以上の傾向は昨年度の検出結果とも大まかには整合していた。

4.4 微生物的安全確保へ向けたアプローチ方法

小規模水道では、まずは微生物的な安全確保が優先される。このため、ここでは、定量的微生物リスク管理（Quantitative Microbial Risk Assessment; QMRA）手法によって、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考察する。

ここでは、地元管理されている水供給施設を含めた小規模水道施設において、特定の病原微生物（カンピロバクター、ロタウイルス、クリプトスポリジウム、ジアルジアなど）の原水中の濃度が把握されていることは皆無であると想定され、浄水処理や消毒が不十分である場合も少なくない。

そのような施設において、微生物的な安全性を

確保しようとする場合、どのようなアプローチ方法をとればよいか検討を行い、そのための枠組みを示した。

飲用井戸等衛生対策要領は、給水開始前に、消毒副生成物11種類を除く40項目の検査を求めている。これにより、一般細菌と大腸菌については検査結果が存在するはずである。万一、存在しなければ、これら2項目の検査を行うものとする。すなわち、原水の一般細菌と大腸菌の検査結果が存在することを前提とする。

原水において一般細菌のみが検出（大腸菌は不検出）され、利用できる情報がこれしかない場合、既存の文献情報を参照しつつ日和見菌等の病原性細菌濃度を推定する。また、適用すべき用量—反応モデルも不明なので、適当と考えられる日和見菌の感染確率モデルを使用する。なお、最大感染確率モデルや逆に低確率モデルを使用することも考えられる。これより算出される、浄水処理において必要な除去・不活化能は大きな値となり、実際のリスクよりも極めて安全側の評価をすることになるだろう。

これに対して、原水に対する追加調査を実施できる場合を考える。網羅的検出（一斉検出）試験や病原種を特定する試験などを実施できる場合には、対象微生物を限定できる。また種によっては、特定の用量—反応モデルを使用できる場合がある。これによって、安全側に過ぎる評価が緩和され、必要な除去・不活化能も小さな値で済むことになるだろう。

次に、大腸菌が検出された場合を考える。追加調査を行わない場合、大腸菌「検出」という定性結果のみであるので、病原性微生物の濃度としては安全側の値に設定することになる。これは、対象となる病原微生物の原水中濃度に関するデータがない、または不足している場合にも、類似した原水に関する文献値から設定する方法としてしばしば採用される方法である。

これに対して、追加調査を行える場合を考える。まず、大腸菌や嫌気性芽胞菌といった指標細菌の濃度を測定できた場合には、これに既存文献に基づいた比率を乗じることによって、細菌、ウイルス、原虫の濃度を設定する。さらに、もっとも望ましい追加調査とは、各病原微生物の濃度を実測できることである。こうして推定または実測した病原微生物の濃度に基づいて、必要な除去・不活化能の導出を進める。

重要な点は、原水に対する既存データのみでは、安全側の評価とせざるを得ず、必要な除去・不活化能も大きくなるのに対して、追加調査を詳しく行えば行うほど、制御すべきリスクを限定することができるので、必要除去・不活化能の大きさも

適切に設定できるということである。

4.5 一般細菌数を用いた必要除去・不活化能の試算

測定数が多い京都帝釋天施設およびトロッコ保津峡駅施設の測定結果に基づいて試算する。今回の原水試験の結果から、ここではまず、一般細菌のみ検出され大腸菌が検出さなかった場合を考える。

文献に見られる比率等を取りまとめた結果、25文献をレビューしたが、それらは、浄水処理の有無、消毒の有無等を含む各種の報告である。このうち、原水が表流水（河川、貯水池、湖沼）である場合のデータを抽出した。文献を参照して設定した比率等は、一般細菌/全細菌=0.075%、一般細菌/全生菌=0.18%、病原性生菌/全病原性細菌=50.6%。また、全細菌の約3%は病原性細菌とした。以上より、病原性生菌数の算定式は、

病原性生菌数

$$= \text{一般細菌数} \div 0.075\% \times 3\% \times 50.6\%$$

と示す。なお、病原性生菌はすべて日和見菌等であるとみなす。用量-反応モデルとしては、日和見菌のうち指数モデルの γ が最小である *Staphylococcus aureus* のモデル ($\gamma = 7.64E-08$) を適用した。

必要除去・不活化能の試算結果を表6に示す。測定した一般細菌数をもとに、病原細菌による感染確率 10^{-4} /人/年以下を満たすのに必要な除去・不活化 \log 数を算定したものである。

4.6 大腸菌数を用いた必要除去・不活化能の試算

一般細菌に加えて大腸菌が検出された場合を想定する。大腸菌については、水質検査機関による検査結果の報告は、「不検出」または「検出」の定性的結果のみであり、検査結果が「検出」であった場合、濃度は独自に測定する必要がある。

各試料水の大腸菌濃度測定値に基づいて、各種病原微生物に対する必要除去・不活化能を試算した。このような、細菌、ウイルス、原虫を対象としてリスク評価を行った場合、カンピロバクターに対する必要除去・不活化能がもっとも大きい結果となる場合が多い。また、本例のように大腸菌や嫌気性芽胞菌が検出された場合、クリプトスポリジウムに対する除去・不活化能として、例えば $3 \log$ 程度以上の処理能が必要とされてしまう場合が多いが、不確実性分析の結果では $1.3 \log$ でよいと見積られている。このように、簡単なQMRAを行うだけで、過剰処理を回避し、必要十分な浄水処理プロセスを提示することができる。

4.7 不確実性分析

Staphylococcus aureus の用量-反応モデル ($\gamma = 7.64E-08$) を適用した場合をベースケースとし、トロッコ保津峡駅北側施設を対象として不確実

性分析を行った。ベースケースにおける $4.7 \log$ に対して必要除去・不活化能の差が $1 \log$ を超える項目を朱書している。これらはリスク評価において不確実性が高い項目であるということが出来る。このように、不確実性分析を行うことによって、今後、重点的な調査の実施や知見の集積を行うべき項目を抽出することができる。

今後は、調査データを集積しつつ、微生物的安全確保へ向けたアプローチ方法の枠組みを構築していくこととする。

4.8 病原細菌群の網羅的検出とそれに基づいたリスク評価

次世代シーケンサーによる病原細菌の網羅的検出にも取り組んだ結果、*Mycobacterium* や *Aeromonas*, *Bacillus* 属といった環境常在菌が頻繁に検出され、都市部の大河川で問題となるような糞便由来の病原細菌は散発的な検出にとどまった。今回対象としたような山間部の地表水に糞便汚染が発生することは稀であることは想像にも難しくなく、水道原水としては清浄な水質であると推察される。

一方で、これらの日和見感染菌が存在していることも事実であるため、高齢者など免疫の弱い人々が水利用の主体となる場合には、適切な浄水操作が必要となるであろう。この一斉検出結果をQMRA手法に入れ込むことで、病原体によって適切な濃度や用量-反応関係を設定することができ、より精緻な評価が可能となる。今後、今回の分析手法によってデータをさらに蓄積しQMRA手法に統合することが望ましい。

5. 管路の維持管理方法に関する検討

5.1 中部地方Y市k浄水場配水区域

(1) 管路の維持管理作業

k 浄水場では上向流緩速ろ過施設が導入されている（現在給水戸数は250戸）。この配水区域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。この配水区域の末端では、「排泥作業」と称する放水作業が行われている。1年に1回、主としてお盆の時期に人口が急激に増加し、配水区域の下流域で水量が不足する。この時期の必要水量は平時の 1.5 倍程度に達するようである。この不足水量を補うため、この時期に限り、隣接するe浄水場配水区域（東北方面に広がる地域）から配水を受ける。e浄水場配水区域からの水は末端から流入し、上流方向4分の1程度まで到達すると推定されている。このとき、水は平時とは逆方向に流れることになり、この流向の変化に伴って濁水が発生するのを未然に防止するために行われているのが、「排泥作業」と称する放水作業である。これまでに濁水発生によって苦情が発生するなどの例はないようである。

この「排泥作業」の目的は、配水管内で滞留傾向にある水を排出することである。作業は経験的に行われており、数時間内に終了する。放水時の流量や管内で確保される流速などは把握されておらず、その洗管効果は明らかではない。

この事例を参考にして、次節では洗管シナリオを設定し定量的な評価を試みた。

(2) 懸濁物質等の蓄積とその制御

管網解析を行い、配水区域内における懸濁物質等の蓄積量とその分布を推定した。測定した濁度から、配水される浄水のSSは $12\mu\text{g/L}$ と推定し、浄水場から20年間配水を継続した場合の平均蓄積量は 0.68g/m^2 と推定された。

ついで制御性に関する評価を行った。「排泥作業」は毎年実施されているものの、その洗管効果は明らかではない。そこで、ここではこの「排泥作業」を強化し、管内流速を 0.4m/sec 程度以上に確保して、管内に蓄積した懸濁物質等を積極的に排出するというシナリオを設定することとする。

放水による洗管作業はそれぞれの水道事業者で少しずつ異なる方法で行われるが、ここでは実際に行われている洗管時管路延長を考慮して $30\text{m}^3/\text{h}$ で排泥作業を行う場合を設定した。配水を10年間継続した後、排泥作業強化シナリオを適用した。すなわち、10年後から、毎年に $30\text{m}^3/\text{h}$ で排泥作業を実施することとし、管内流速 0.4m/s 以上が出現する管路に対し、除去率100%を与えた。蓄積期間（評価期間）は20年とし、排泥作業を行わない場合（ベースケース）とを比較した。

比較結果から、排泥作業強化シナリオでは、ベースケースと比較して総蓄積量に大きな低減効果が得られ、後者は62%減少し 0.26g/m^2 となった。この結果から、現在経験的に行われている排泥作業について、手法とその効果を定量的に示しつつこれを強化することによって、配水管内環境の大きな改善が期待できると指摘できる。また、実際の運用にあたっては、有収率低下への影響等にも配慮する必要がある。

5.2 東北地方 A 市 n 浄水場・t 浄水場配水区域

(1) 施設概要

計器表示値及び水質測定結果の確認、並びに2つの配水区域の管路図の作成を行った。n 浄水場配水区域の末端節点と t 浄水場配水区域の上流側節点とは管路で連結されている。

(2) 管路の維持管理作業

当該配水地域における管路の維持管理作業についてヒアリングを行った。n 浄水場配水区域の末端には「排流装置」が設置され、稼働している。この「排流装置」によって水道水を常時放水して

いる目的は、配水区域内の残留塩素・pH 管理を容易にすることにある。n 浄水場・t 浄水場の運転管理は、M 浄水場での遠隔監視、及び業者への外部委託により浄水場への定期巡回（月、水、金の週3回）が行われている。さらに、給水末端の毎日検査は私人への委託により実施されており、水質が最も劣化する可能性がある給水末端で残留塩素濃度等の測定が行われている。

水道事業者としては、浄水場での塩素注入率は低くしたいが、配水区域内での残留塩素は確保する必要がある。これを常にモニタリングしなくても確実に（自動的に）達成できているようにするために行われるのが「排流装置」を用いた放水である。

放水流量は、約 $20\text{L/min}=28.8\text{m}^3/\text{日}$ であり、これは n 浄水場における配水量 $50\text{m}^3/\text{日}$ の実に58%に達している。調査時（2018/8/27）の残留塩素濃度は 0.32mg/L であった。

洗管の考え方について、A 市に対してヒアリングを行った。計画的に順次行っていくという洗管作業は実施されておらず、配水区域の切り替え作業時などに濁水発生が予想される管を特定し、当該管路に対して普段とは異なる流向や、流速が発生する場合に、あらかじめ想定しうる流速で洗管しておくという目的で放水が実施されている。また、流速確保の考え方としては、出現しうる流量・流速を予測した上で放水を実施している。例えば、 $2\text{m}^3/\text{min}$ が予想されるなら、事前に $2.5\text{m}^3/\text{min}$ の流量を与えておく、などである。

なお、n 浄水場・t 浄水場配水区域のような旧簡易水道エリアでは、配水区域の変更や流速が大きく変化することがあまりないためこのような放水洗管を実施していない。

排流装置による放水が行われているのは n 浄水場配水区域であるが、t 浄水場配水区域においても排流装置は末端2か所に設置されており、そこで、t 浄水場配水区域においても、この2箇所から配水量のそれぞれ29%が放水される場合を想定した。

(3) 管内環境に対する効果の定量化

シナリオ比較結果から、膜ろ過の導入によって（CASE2）配水管内蓄積量が低く抑制されていることがわかった。一方、CASE2（膜ろ過有り、排流装置無し）とCASE3（膜ろ過有り、排流装置有り）を比較すると、排流装置を設置することによる効果は小さく、その削減率は0（n 旧簡水）～7%（t 旧簡水）であった。一方、総蓄積量は減少しており、たとえば n 旧簡水では 110g が 93g となった。総蓄積量の変化と単位面積あたり蓄積量の変化が必ずしも一致しないのは、蓄積量が定常に達するまでに要する期間が管内流速に依

存し、それが管網内で分布しているためである。総蓄積量でみると排流装置がその低減にも効果があるといえるが、その効果は大きいとはいえない。すなわち、排流装置による放水は、配水管内を清浄に保つのに寄与するというよりは、配水管網内の滞留時間が短縮されることによって管路末端での残留塩素・pH 濃度を安定して保つ役割を果たしているかと推察できる。

5.3 考察

今年度の研究では、2 地域における旧簡水施設を対象として、配水管内環境を評価するとともに、これを制御するための方法について論じた。

配水管内における懸濁物質等の管理・制御のための考え方としては、①浄水処理における懸濁物質等の除去、②配水管網における水理条件の管理・制御、③洗管の3つの段階がある。それぞれの効果と手法間の比較については、これまでに論じてきたが、これに対して今回は、地域特有で行われている管路維持管理作業を取り上げ、それが配水管内環境の大きな改善に寄与できることを定量的に示すことができた。

6. 小規模水供給システム向け浄水処理装置の試行と維持管理モデル

6.1 実験プラント及び実地実証実験について

(1) 実験プラントにおける実験結果

維持管理の簡便な浄水処理のため、上向式のろ過装置（三菱ケミカルアクア・ソリューションズ社製）を依頼作成し、処理実験を行った。処理装置は、本体：塩ビ製、直径：30cm、支持体：ステンレス網、2mm メッシュネット、砂利（5mm～1cm）、ろ過層：平均粒径 0.30～0.45mm、厚さ：30cm（均等係数：2.0 以下、最大径：2.0mm 以下、最小径：0.18mm 以上）を用いて実験を行った。また、実験時の原水の代表的な平均濁度、微粒子カウンタによる粒子数を測定した。0.5～1 μ m のカウントは水中の気泡等の影響を受けやすく、誤差が大きいため、解析から除外することとした。

実験プラントにおける実験において、上向式ろ過装置では処理前の砂ろ過の砂が安定するまで濁度及び微粒子の除去率が安定しなかった。一方、ろ層が安定した後は、濁度、微粒子残存率は安定し、濁度でほぼ 90%、3 μ m 以上の粒子で 95%以上の安定した除去率が得られた。また、1～3 μ m の粒子については 30%程度の除去率しか得られなかった。

クリプトスポリジウムなど 5 μ m 程度の粒子についてはある程度十分な除去ができると考えられるが、大腸菌、一般細菌の除去については十分な除去が難しい可能性があるため、消毒装置との組み合わせについても検討の必要性があることが分かった。

(2) 実地実証実験の原水水質

実地の実証実験における原水水質は、いずれの地区においても、一般細菌が 300 個以上、大腸菌が検出され、原水としては厳しい状況であった。

(3) 実地実証実験（B 地区）の実験結果

現地では降雨などにより時折濁度が上昇し、10 度を超えることもあった。ポンプで送水しているため、流量は一定であったが、原水濁度の上昇と共に処理水濁度も上昇し、高濁度時の除去率は 50%程度であった

当初アンスラサイトで実験を実施したため漏出が多く、気泡の影響も受けやすかったため、ろ材を緩速ろ過用の砂に変更したが、その後も原水濁度上昇により処理水濁度が上昇した。

(4) 実地実証実験（E 地区）の実験結果

E 地区においても、現地では降雨などにより時折濁度が上昇し、10 度を超えることもあった。一般的に除去率が低く、濁度除去率で 20%となることがあった。また、渇水により流量が不足し、捕捉した成分が流出し、原水より処理水の濁度が高くなる現象もみられた。E 地区においても、ろ材を緩速ろ過用の砂に変更後も、原水濁度上昇により処理水濁度が上昇する現象が見られた

(5) 実地実証実験の処理水水質結果

B、E 地区ともに、ろ過後の一般細菌が残留のみならず増加する場合もあり、捕捉物の流出が懸念された。また、大腸菌についてもろ過水において陽性とされる場合があり、十分な微生物除去が難しいことが示された。

一方で、紫外線（UV）処理水では、一般細菌は概ね水質基準以内であった。一時的に UV 処理水でも水質基準の 100 個/ml 以上の 150 個/ml が検出された場合があったが、この際は原水より処理水の一般細菌濃度が上昇しており、捕捉物が流出するような状況下であり、通常の処理の状況でなかったことが推測された。

そのような状況下にあった場合も含め、UV 処理水では、大腸菌は全て陰性であり、実験期間を通じて原水の水質若しくは装置内の気泡等により捕捉物が流出した際にも十分な不活化が行われていることが示された。

使用日数に換算して一般細菌と大腸菌の濃度を算出したところ、平均的には 400 日相当の使用においてもろ過水でも基準値以内の値を確保することができ、UV 処理水では十分な不活化が行われることが分かった。

(6) 支持体の閉塞について

実験終了時にろ材支持部材の下側（流入側）を確認したところ、アルミ、シリカ、有機物から構成される堆積物が蓄積して、閉塞が起りやすい状況になっていることが確認された。

(7) 実験まとめ

実験室内のプラントにおいて濁度 1 程度程度の原水を用いて、濁度及び微粒子除去率の実験を実施したところ、ろ層が安定した後は、濁度、微粒子残存率は安定し、濁度でほぼ 90%、3 μ m 以上の粒子で 95%以上の安定した除去率が得られた。一方で 1~3 μ m の粒子については 30%程度の除去率しか得られなかった。

実地の実証実験では原水濁度の上昇(~50 度)により、処理水の濁度上昇が確認された。また、ろ過機に気泡が入ることで捕捉した濁質が流出する可能性が示唆された。紫外線照射によりろ過水の大腸菌を不活化できていることが確認されたが、ろ材支持部材に堆積物が確認された。

6.2 実地聞き取り調査

(1) 簡易水道から飲用水供給施設に変更し、給水を実施する事例

2022 年現在 18 戸 44 名に給水するため、簡易水道から飲用水供給施設に変更した。冬から春にかけて 1-5 月は取水する水源貯水堰の水位が下がることがあり、集落内の組合長が節水呼び掛け、バルブを閉めるため毎日水源および配水池の水位を確認に来ていた。2020 年 2 月に自動凝集ろ過装置と UV を設置し、処理を開始した。イノシシ除け鉄条網の枠の中の市販物置の中に設置した。濁度は完全には下がらないが、10 度以下を保っている。自動凝集ろ過装置の濁度除去が十分でないことを踏まえて、後段に MF 膜を入れたが、設置 3 日で膜閉塞を生じたため、MF 膜は撤去して代わりに微生物リスク対策として UV-LED 装置を導入した。更に濁度管理の補完として原水貯水池にプレフィルターとして浸漬型平膜を導入した。原水では大腸菌が検出されるが、紫外線消毒で大腸菌、一般細菌がほぼ検出されなくなり、十分な水質を保っている。本格的な UVLED が稼働した施設である。

配水池水位については研究班の東大小熊先生の研究室が、組合長の自宅でモニターできるように簡単なセンサーと通信機器を取り付けた。電波が届きにくいいため、途中でソーラーパネル給電式の中継機器を柱に取り付けたところ、安定して見られるようになった。

(2) 簡易型フィルターと小規模向け凝集ろ過装置
ディスクフィルター (イスラエル製) → 塩素注入 → 小規模向け凝集ろ過装置 → 紫外線照射装置 → 配水池出口に塩素注入を行う装置を設置した。住民がフロート式の水位計を作り、通りから竿の印で水位が把握できるように改良がなされた。

平成 29 (2021) 年には土石流による被害が発生し、幸い施設には損傷がなかったが、激甚災害に指定され、砂防堤を 2 つ建設することとなった。

砂防堤建設時に、水脈が切れたため、農林事務所の管理経費で防水シートとモルタルで取水場所を作り、沈砂池に送るようにした。上流の受水槽で勢いよくオーバーフローするほど水量が取れるようになった。

なお、近くに市の浄水場があるが、水位が低く水道としては上流に送水できず、給水区域に入っていない。

(3) 水源を統合し水質検査を効率化し、処理装置を導入した事例

水源 3ヶ所の水を一つの水槽に入れ、水質検査を 1 つにしている。小規模水供給システム向けの凝集ろ過装置 3 台、UV 2 台、塩素消毒 1 台で処理を実施しているが、全てを一つの建物に入れると建築認可が必要で時間がかかるため、3 つの物置を並べて設置した。

タイマーで塩素を注入しているが、塩素はほぼ 0.1 で維持されている。夏冬、昼夜同量注入にすると塩素臭がすることがあるため、冬場は注入時間を昼のみ、夏場は少し塩素注入の時間を長くして、注入量を維持している。毎年当番を交代し毎月数回チェックを実施する。今のところ当番は 5~10 年に 1 回位回ってくる。毎年集会を開いて当番を決めるが、住民の連携、意識が高く、先達が維持してくれていたため、住民としては維持することが当然と思っている。

この地域は、若者も積極的に関与しており、以前より水に苦勞することがなくなったので、住民が戻る可能性もある。水源量が少なく、苦勞していたが、UVLED の実装が認可を受けて設置された貴重な事例であった。

(4) 簡易な施設改良を行った事例

住民がホームセンターで材料を調達し、整流壁 2 枚を手作りし、沈砂池の改良を行った結果、水質が安定するようになった。上澄みだけ迂流して流れるしくみとした。

本施設では、UF 膜ろ過機が実証試験として導入され、試験完了を経て、現在は住民管理のもと運用されている。1 年に一回薬品洗浄をすることとし、薬品洗浄時は住民が膜モジュールを外して交換することができる。その後に濁度を感知すると遮断弁が動く装置がある。センサーが外に出ていると結露すると誤動作するため、水の中にセンサーをつけている。濁度が高い時は三方コックが閉じて水が止まる。流量が下がると膜の装置も停止する。オーバーフローの水量が多いので小水力発電を導入する可能性がある。雨がずっと落ち葉のようなものが入るため、UF 膜ユニット前にディスクフィルターが付いていても濁度 30 度位になることがある。塩素は配水池でも注入している。

(5) 取水口のスクリーン設置事例

上流の取水堰、取水口において、小型ウォータースクリーンを導入した事例が複数あった。特注の比較的安価な 25cm 幅の小型ウォータースクリーンコンクリートで堰を作りその下に防水下地を入れて少量の水でも取水できるように改良されたため、取水が安定した。補助金が 7 割あり、管理もしやすくなり、確実に取水を行うことができるようになった。

(6) その他の事例

宿泊施設を伴う小規模水供給施設で MF 膜を備えた装置 + PAC 注入機が設置された事例などがあった。聞き取りにおいては、小規模水供給施設のうち、恒常的に塩素を入れていない施設が多くあり、UVLED 装置が安くなれば検討対象に入る可能性があるとの指摘もあった。

また、中国地区において、市による補助金も活用して各戸または数軒に給水する小型浄水器(手動または自動による逆洗機能付き膜処理装置)を設置し、別事業で巡回する担当者がメンテナンスを行う事業が行われているほか、現在複数の民間会社で、膜を用いた装置のリース契約による設置、メンテナンスを実施する検討が行われている。今後も引き続き、このような事例の推進や好事例の共有が有効であると考えられた。

7. 小型紫外線消毒装置の基礎的知見の収集と実際への適用に関する研究

小型紫外線消毒装置の実証試験結果は、以下のとおりとなった。

7.1 原水の物理化学的水質

実証試験原水の物理化学的水質項目(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~2022年7月、うち2021年1月~5月および2022年2月~3月に中断、n=33)。その間、原水の紫外線(280nm)透過率の幾何平均値は96.1%、中央値は95.7%であった。

紫外線処理に適した処理対象水として、紫外線の水中への透過を過度に阻害しないことの見目は、濁度2度以下、色度5度以下、紫外線透過率75%以上、紫外線装置内に着色やスケールを生じないことの見目は全鉄0.1mg/L以下、全マンガン0.05mg/L以下、硬度140mg/L以下、が推奨されている。これらの見目値に対して今回の測定結果は、濁度の最大値を除いていずれも適合しており、すなわち紫外線処理の対象水として概ね適した水質と判定された。

濁度の最大値(3.1度)は2020年10月20日の試料、色度の最大値(4.1度)は2022年7月5日の試料でそれぞれ計測されたが、これら試料の紫外線透過率(280nm)は順に98.6%、92.7%であり、他の採水日の試料に比べて突出して低い透

過率とは言えなかった。一方、紫外線透過率の最小値(91.3%)を記録したのは2021年9月28日であるが、当該試料の濁度と色度は順に1.1度、1.5度であった。紫外線消毒の性能は、紫外線がどれだけ水中の微生物に到達するか、すなわち紫外線透過率に大きく依存するが、濁度など電氣的に常時監視が容易な水質指標だけでは紫外線透過率を推定しがたいことが示された。なお、紫外線透過率最小値91.3%を記録した2021年9月28日のUV-LED装置による微生物不活化率(大腸菌で1.4log以上、大腸菌群で2.6log、一般細菌で1.8log、従属栄養細菌で0.9log)は、他の採水日の試料に比べて遜色なく、紫外線処理の効果を損なうほどの透過率低下ではなかった。

7.2 UV-LED 処理による微生物濃度の変化

原水、UV-LED 処理水(UV-LED 点灯)、対照試料(UV-LED 消灯)における微生物測定項目(大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌)の微生物濃度測定を行った。原水について、採水33回のうち24回で大腸菌を検出した(陽性率73%)。また、一般細菌と従属栄養細菌は全ての原水中に検出され、原水の一般細菌は常に水道水質基準値(100cfu/mL)を下回ったものの、従属栄養細菌は暫定水質管理目標値(2000CFU/mL以下)を8回超過した(超過率24%)。

当該施設は地表水を原水とし、大腸菌が高頻度で陽性であることから、公共水道を対象に厚生労働省の定める「水道におけるクリプトスポリジウム等対策指針」に照らすと、クリプトスポリジウム汚染リスクが高いとされる「レベル4」に該当する。厚生労働省指針では、「レベル4」に該当する施設での有効なクリプトスポリジウム対策として、ろ過設備による厳密な濁度管理、または、ろ過と紫外線照射による消毒を挙げており、当該施設において実際に住民に供給される浄水の処理プロセス(塩素+砂ろ過+紫外線)はこれを満たしている。測定結果から、総じて、原水の微生物濃度は変動が大きく、特に2022年7月5日に大腸菌で観察された突発的な濃度上昇は顕著であった。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。

大腸菌の挙動と一般細菌の挙動は必ずしも類似せず、この差異は、大腸菌が野生動物の糞便汚染由来である一方で一般細菌は土壌細菌等も含む多様な細菌類を含むものであり、すなわち汚染起源が異なることが原因と考えられた。試験期間を通じて、12月から1月に原水中の大腸菌不検出が連続したことから、季節的な影響(冬期の水温・気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。一方、原水中

の一般細菌や従属栄養細菌の濃度変化に明確な季節性は見られなかった。なお、大腸菌濃度と水温・気温の関係を調べた結果、概して、水温が17℃を超えると、あるいは気温が23℃を超えると、高濃度の大腸菌を検出する頻度が高いことが示された。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。

UV-LED 処理水では、いずれの微生物項目も濃度が低下し、大腸菌はUV-LED 処理水の1回を除く試料で100mL中に不検出となった。処理水中に大腸菌を検出した1試料も0.5CFU/100mLと定量下限値であり、総じて紫外線処理が大腸菌の不活化に継続して効果を発揮したことが確認された。また、処理水では一般細菌の水道水質基準値(100cfu/mL)および従属栄養細菌の暫定水質管理目標値(2000cfu/mL)を全ての試料で継続的に下回った。

対数不活化率は、大腸菌は最大値2.41log以上(処理後不検出試料多数のため定量不能)、一般細菌は最大値2.81log(中央値1.51log)、従属栄養細菌は最大値2.21log(中央値1.11log)であった。本研究の範囲では、不活化性能に経時的な低下は見られず、また、渇水による運転停止(2021年1月~5月、2022年2月~3月)からの復帰直後から、停止前と遜色ない性能を発揮した。

本実証試験では、ろ過等の前処理を経ずに原水を直接UV-LED装置に通水した。これは、UV-LED装置単独での性能を評価するため、また、人的資源や資金に制約がある小規模施設ではできるだけシンプルなプロセスが望ましいと判断したため、設定した処理フローである。本研究の結果から、仮にろ過設備なくUV-LED装置を単独で導入した場合でも、水の微生物学的な安全性を有意に向上できることが示された。一方、実装に向けては、紫外線消毒には残留効果がないことを十分に考慮した給水システムの構築と、利用者への周知が必須である。一案として、できるだけ給水末端に近い位置に紫外線装置を設置すること、給水栓から得た水は長期保管せずできるだけ速やかに消費するよう周知すること、などが挙げられる。あるいは、塩素消毒を併用することで、給水システム内の再増殖・再汚染リスクを抑制することも有効である。本研究と同じUV-LED装置による紫外線消毒をすでに導入した小規模水供給施設では、紫外線消毒と塩素消毒を併用しており、浄水の微生物学的安全性を担保する観点から極めて効果的である。

集落規模で運営する水供給施設で新しい技術を導入する場合、各地域の実情、特に、運営と維持管理に要する費用と労力に応じて、住民自らが技術を選択する必要がある。行政や学識者は、技術の選択に際し必要十分な情報を提供することで住民を支援し、さらに、技術導入後も長期的に技術的アドバイスを提供することが求められる。

8. 小規模集落が管理する水供給システムに関する住民の金銭的負担と給水規模別維持管理状況の実態、および、外部団体からの支援の可能性

8.1 水供給システムに関する住民の金銭的負担

(1) 水供給システムを敷設する際の財源について

水供給システム敷設当初の財源について尋ねた結果、個人・集落のみで負担と回答した集落が52集落(総集落の約22%)、個人・集落と行政等で負担と回答した集落が49集落(約20%)、個人・集落の負担はないと回答した集落が55集落(約23%)、無回答の集落が63集落(約26%)確認できた。個人・集落の負担があった集落は101集落となり全体の約4割に及んだ。

(2) 水道料金体系について

水道利用に関する料金体系について尋ねた結果、定額制と回答した集落は無料と回答した集落40集落を含め138集落(総集落の約57%)、メーター制を含むと回答した集落は74集落(約31%)、その他と回答した集落は12集落(約5%)、不明・無回答であった集落は17集落(約7%)確認できた。このうち定額制のみを採用している集落について、1か月分の水道料金を尋ねたところ、1世帯当たり500円以下との回答が最も多く73集落(対象集落の約57%)、500~1000円以下との回答が27集落(約31%)であった。他方、メーターを活用している集落では20円/m³以下との回答が14集落(メーター制および定額制とメーター制を併用している集落の約19%)、20~50円/m³以下との回答が25件あり、50円/m³以下が約53%を占めた。同規模(現在給水人口100人以下)の簡易水道事業の料金体系と比較したところ、飲料水供給施設は安価な料金設定がなされていることがわかった。

(3) 水供給システム敷設当初の財源と水道料金体系の関係

水供給システム敷設当初の財源と水道料金体系の関係について分析を行った。水供給システム敷設当初の財源については、「個人・集落のみで負担」「個人・集落と行政等で負担」「個人・集落の負担なし」の3区分、水道料金体系については、「定額制のみと回答」「メーター制を含む」の2区分について両者の関係を整理した。

水道料金体系について定額制のみと回答した138集落の水供給システム敷設当初の財源につ

いて整理した結果、個人・集落のみで負担が 28 集落（対象集落の約 20%）、個人・集落と行政等で負担が 25 集落（約 18%）、個人・集落の負担なしが 36 集落（約 26%）、無回答が 38 集落（約 28%）であった。少しでも個人・集落の負担があった集落は合わせて 53 件（約 38%）確認できた。

水道料金体系についてメーター制を含むと回答した 74 集落の水供給システム敷設当初の財源について整理した結果、個人・集落のみで負担が 15 集落（対象集落の約 20%）、個人・集落と行政等で負担が 21 集落（約 28%）、個人・集落の負担なしが 18 集落（約 24%）、無回答が 12 集落（約 16%）であった。少しでも個人・集落の負担があった集落は合わせて 36 件（約 49%）となり、メーター制を含む集落の約半数が個人・集落負担があることがわかった。

水道敷設当初の財源は個人・集落のみで負担と回答した集落の水道料金体系について整理した結果、定額制との回答が最も多く 28 集落（対象集落の 54%）、次いで多いのがメーター制を含む集落で 15 集落（約 29%）であった。個人・集落と行政等で負担と回答した集落の水道料金体系について整理した結果、定額制との回答が 25 集落（対象集落の約 51%）、メーター制を含む集落が 21 集落（約 43%）であった。また、個人・集落の負担なしと回答した集落についての結果は、定額制と回答した集落が 36 集落（対象集落の約 65%）、メーター制を含む集落が 18 集落（約 33%）であった。

(4) 世帯ごとの水道料金負担の特徴

集落ごとに 1 ヶ月に 20m³を使用した場合を基準とし水道料金を計算し水源種別に整理した結果、表流水（渓流水）を使用している集落の中央値は 296 円、湧水を使用している集落の中央値は 550 円、地下水・井戸水を使用している集落の中央値は 1271 円、伏流水を使用している集落の中央値は 1000 円であった。総集落のうち水道料金を計算することのできた 198 集落の水道料金の分布をみると、167 円～1819 円の集落が約半数となり、中央値は 905 円、平均値と中央値の差は 512 円であった。

8.2 集落規模別（給水戸数区分別）の維持管理等の実態の分析

(1) 現在給水戸数について

現在給水戸数についての回答結果は、6 戸～10 戸の集落が最も多く 67 集落（総集落の約 28%）、次いで多いのが 11 戸～15 戸の集落 59 集落（約 24%）であった。10 戸以下の集落が 101 集落となり総集落の約 4 割となることがわかった。

給水戸数による違いを分析するため、給水戸数別に集落が 3 分割となるよう分割し、戸数で分け

た結果どのような違いがあるかを調べた。分割した結果、違いの顕著であった項目について報告する。

(2) 現在給水戸数別の塩素消毒施設有無

塩素消毒施設の有無について整理した結果、塩素消毒施設があるとの回答では、16 戸以上の集落が最も多く 43 集落、次いで 9 戸～15 戸の集落が 31 集落、1 戸～8 戸の集落が 23 集落であった。集落が増すごとに塩素消毒施設があると回答した集落が増える結果となった。塩素消毒施設がないと回答した集落について、水源別（表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水）に集計した結果、表流水（渓流水）を使用している集落は、1 戸～8 戸の集落で 17 集落、9 戸～15 戸の集落で 12 集落、16 戸以上の集落で 9 集落となり、1 戸～8 戸の集落で他の戸数に比べ多いことがわかった。

(3) 現在給水戸数別の水質検査実施状況

水質検査を行っているかどうかの回答を整理した結果、水質検査を行っているとの回答は、1 戸～8 戸の集落で 18 集落（対象集落の約 32%）、9 戸～15 戸の集落で 35 集落（約 47%）、16 戸以上の集落で 37 集落（約 60%）であった。

(4) 現在給水戸数別の停断水トラブルの発生と記録状況

過去に起きたトラブルの記録をとっているかを整理した結果、毎回必ずとっている集落とある程度記録をとっている集落を合わせると、1 戸～8 戸の集落で 12 集落（約 16%）、9 戸～15 戸の集落で 33 集落（約 38%）、16 戸以上の集落で 35 集落（対象集落の約 45%）が記録をとっていることがわかった。また、全く記録をとっていないとの回答が、1 戸～8 戸の集落では 38 集落（約 51%）となり他の戸数に比べて多いことがわかった。

(5) 現在給水戸数別の維持管理の連携状況

管理を行政や他の集落と連携・協力して行っているかを整理した結果、行っているとの回答は、1 戸～8 戸の集落で 17 集落（対象集落の約 23%）、9 戸～15 戸の集落で 28 集落（約 33%）、16 戸以上の集落で 45 集落（約 58%）であり、戸数が増すごとに行っていると回答する集落も増えることがわかった。

管理に関する講習会や研修会の実施については、全くないとの回答が 1 戸～8 戸の集落で 63 集落（対象集落の約 85%）、9 戸～15 戸の集落で 65 集落（約 76%）、16 戸以上の集落で 49 集落（約 64%）であった。1 戸～8 戸の集落では、講習会や研修会がない集落の割合が高いことがわかった。

(6) 現在給水戸数別の管路に関する記録、維持管

理マニュアルの有無状況

管路敷設図（配管図）の記録の有無について整理した結果、1戸～8戸の集落で記録があると回答した集落は20集落、9戸～15戸の集落では31集落、16戸以上の集落では38集落であった。

また、維持管理マニュアルの有無について整理した結果、1戸～8戸の集落でマニュアルがあると回答した集落は6集落、9戸～15戸の集落では23集落、16戸以上の集落では16集落であった。1戸～8戸の集落では、他の戸数に比べてマニュアルがある集落が少ないことがわかった。

(7) 現在給水戸数別の水供給システム敷設財源と水道料金体系

水供給システム敷設当初の財源について整理した結果、3区分した結果を比較したところ、1戸～8戸の集落では、補助金と回答した集落が多く10集落、行政設置・行政補償と回答した集落は少なく6集落であった。9戸～15戸の集落では、個人負担と回答した集落が他の集落よりも多く23集落であった。

水道料金体系について3区分した結果を比較したところ、1戸～8戸の集落で無料と回答した集落が24集落、9戸～15戸の集落で12集落、16戸以上の集落で4集落であった。メーター制と回答した集落は、1戸～8戸の集落で7集落、9戸～15戸の集落で15集落、16戸以上の集落で19集落であった。1戸～8戸の集落では他の戸数に比べて無料の集落が多く、メーター製の集落が少ないことがわかった。

(8) 現在給水戸数別・水源種別の水道料金の分布

給水戸数別に区分したうえで、水道料金体系について水源別（表流水（渓流水）・湧水・地下水井戸水・伏流水）に水道料金を計算した。

給水戸数1～8戸の集落の水道料金は、0円～1000円の集落が約半数となり、中央値は250円、平均値と中央値の差は517円であった。

給水戸数9戸～15戸の集落の水道料金は、277円～2000円の集落が約半数、中央値は1000円、平均値と中央値の差は831円となり、1戸～8戸の集落の水道料金より高い結果となった。

給水戸数16戸以上の集落の水道料金は、413円～2000円の集落が約半数、中央値は1000円、平均値と中央値の差は579円となり、1戸～8戸の集落の水道料金より高い結果となった。また、地下水・井戸水を使用している集落の中央値は1850円で平均値は2338円となり、他の給水戸数規模の集落と比較して高い結果となった。

8.3 外部組織による支援の可能性

(1) 外部組織からの支援や人的支援が求められる事例

E 県K町において簡易水道と飲料水供給施設の

維持管理について、町職員に対してヒアリングを行った。平成16年に1町3村が合併して構成、現在人口8000人余りで高齢化率は48%、2030年の人口は5000人余りと予測されている。K町の水源は表流水であり、地下水を利用した事例はない。簡易水道は15の事業があり、そのうち6事業は直営、9事業は委託である。飲料水供給施設も町営であり、私営・組合営はない。旧K町部分の簡易水道・飲料水供給施設はすべて直営、旧3村部分は2施設を除き57の水道管理組合に管理運営を委託している。直営に関する業務は町職員2名で担当しており、簡易水道の水質検査は月に1～2回行い、飲料水供給施設は各月で水質検査を行う。また、地元からの相談等の連絡があった場合は、点検等に行く。水量等を監視する遠隔システムの設置にも努めており、15の施設に採用し設置している。

林業や農業の補助金を活用し、管理組合での運営が費用面で成り立つように整備された施設ではあるが、昭和40年～50年代に整備された施設が多く、ほとんどが緩速ろ過方式である。町は各集落に要望を聞き、取りまとめて緩速濾過の砂などを一括で購入している。この頃に作られた施設は特に老朽化が進んでいるが、更新については、国や県の補助金が得られず、過疎債・企業債に頼らざるを得ないため、町としては更新に注力しているが、年に2～3施設しか更新できていない。なお、平成27年度以降の更新では膜濾過を導入しており、膜ろ過施設は維持管理が比較的簡単であり、慣れると高齢者でも可能である。

戸数の少ない組合では、修繕費や外部委託費が不足し、住民に水道利用料以外の経済的負担や労務負担が発生している。水道管理組合の構成員の減少や高齢化により、これまでのように構成員で作業を行うことが困難となってきた。比較的新しく施設を更新したところでは、膜ろ過方式や取水スクリーンを採用しており、メンテナンスが楽になっているものの、施設更新がされていないところでは施設のほとんどが緩速ろ過方式であるため、砂のかき取りや洗浄、入れ替え作業などが重労働で大変との声が多い。これ以上、組合で管理を継続するのは、経済面、作業面で困難であるとの相談が徐々に増加しており、高齢者の多い管理組合では継続困難と想定している。そのため、令和4年度より、管理委託料等を見直し、修繕費と電気代は町が全額負担している。施設規模に応じた必要な労務費を積算し、管理委託料としている。これにより水道使用料以外の経済的負担をなくし、外部に再委託する経費を確保できる見込みとなっている。しかし、現状ではK町内でこのような作業を請け負う会社は1社（従業員2名の個

人事業主)のみである。他に水道業者や工事組合加盟業者は6社あるものの、いずれも小規模で、通常業務で多忙であることから、新たに作業を請け負うのは困難な状況である。再委託に係る経費は確保できると見込まれているが、実際に作業を担う人員の確保が課題であり、人的な支援や外部組織からの支援が必要な状況にあると考えられる。

(2) 市町村からの支援について

過年度の一連のアンケート調査の結果、行政を含む外部団体から維持管理作業における支援や連携協力を受けている事例は、こういった集落全体の20%程度に過ぎず、また、その内容も研修や水質検査といったものであり、取水設備やろ過設備の点検・清掃、あるいは、漏水や断水トラブル発生時などの非常時対応といった集落では負担が重いと考えられている作業についての支援を行政や水道事業体から受けているケースはほとんど見られなかった。集落自らが運営している水道であり、水道法の規制対象外でもあるため、自己責任が原則であるかもしれないが、都市部等における一般の水道利用者が市町村等の水道事業者へ維持管理等の作業など一切を任せておける状況と比べると、大きな作業負担を抱えている状況である。

一方で、こういった小規模な水道を運営している集落や個別井戸を有している個人等に対して、積極的な支援を行っている地方自治体も存在している。簡易水道事業など一部の公営の水道事業には税金を原資とした一般会計等別会計からの繰入金が入っていることを考慮に入れると、同程度の財政支援・人的支援を行うことが妥当であるといった考え方によると思われる。ここでは、行政からの積極的な支援の事例いくつかについて提示する。

1) 静岡県A市、B市の事例

A市では、年に1回、水道未普及地域の水道管理者を集めて研修会を実施している。また、水道未普及地域支援事業、あるいは、生活用水応援事業制度等により、施設整備や修繕工事に対して80%の助成や、水質検査や施設維持管理に対し50%の助成を行うとともに、小規模水道に特化した簡易ろ過池を考案し紹介することなどを通して管理面・技術面の支援を行っている。加えて、集落の水道が断水した際には要請により給水車によって水道水を宅配するサービスを行っており、水量従量料金+定額の運搬費にて応急給水を行うといった支援を行っている。

同じ静岡県のB市では市内に100カ所以上の飲料水供給施設が存在していることから、飲料水供給施設等整備事業補助金を設け、3戸以上または

10人以上の団体について整備費の7/10を補助するといった財政支援を行っている。この補助金制度を利用し、取水口閉塞対策のスクリーンを設置すること等で維持管理負担の軽減に対して大きな効果を上げている。

2) 鳥取県C町の事例

C町では、町内の複数の公営簡易水道事業の消毒剤の点検・補充を町外の民間業者に委託している。町からの声掛けにより、集落営の飲料水供給施設についても同時に消毒剤の点検・補充ができるよう協力している。

3) 宮崎県椎葉村の事例

宮崎県椎葉村では、飲料水供給施設管理サービス支援事業を実施している。これは、未普及地域の高齢世帯・障がい者世帯の飲料目的施設が断水したときを対象に、支援対象者からの依頼を受け付けた村が、村に登録された支援隊に支援を依頼するといった仕組みである。依頼を受け付けた日から3日以内に支援サービスを開始し飲料水を確保することとしている。支援完了後に支援者は、村からの作業料金(日当や経費)および依頼者の負担金(1000円/日)を受領するといった有償での支援の仕組みである。

(3) 民間企業・民間団体からの支援

アンケート調査において、外部団体と連携協力を行ったことがあると回答した23集落のなかには、少数ではあるが民間企業の協力を得て維持管理作業を行ったことがある集落があった。そのほとんどは地元の工務店など水道に関連する技術をもったところとの協力であり、協力内容は機器の修理や部品交換に関するものであった。他方、ボランティアやNPO団体からの支援・協力を受けた事例はわずかに3件に過ぎず、農山村地域の農作業を支援しているNPO団体やボランティア団体は多数存在している状況であるが、生活基盤でもある飲料水供給施設の維持に関連する作業には民間支援団体が入り込んでいない状況にあることが想定される。

これは、一般の水道事業は市町村による経営を原則としているため、集落営の小規模水道があることが広く認知されていないことが要因の一つだろうと考えられる。アンケート調査の結果から、集落側には外部から民間団体が支援に入ることに心理的な抵抗感はないと考えられるため、民間団体側の認識や理解が深まりさえすれば、農作業の場合と同様に支援の輪が広がっていくことが期待できる。ここでは、NPO団体が支援や関わっている事例として、北海道D町および大分県の事例をとりまとめる。

1) 北海道D町の事例

北海道のD町の場合は、水道未普及地域の水道

ではなく、簡易水道事業に対する事例で、町内 NPO 団体を活用することで、住民の高齢化により維持管理作業の継続が困難となった水道に対応した。以前は地元集落の住民を臨時雇用し維持管理作業の一部を行っていたが、高齢となり作業の継続が難しくなっていた。地域活性化や地域運営を目指す NPO 団体の地元での設立にあわせて、簡易水道の一部管理を当該 NPO 団体への委託に切り替えることで、地元住民、行政ともに作業負担が軽減される事例となった。NPO にとって委託額は一人分の工賃に足りないが、拘束時間は短く隙間の時間にて対応が可能で、NPO の経営を支える安定的な収入源だとみなしている。また町役場にとっては、高齢者の個人に任せていたときよりも、複数人で対応できる NPO の方が安心感を得られるといったメリットがある。

2) 大分県の事例

大分市新町にある NPO 法人おおいの水と生活を考える会を対象にヒアリングを行った。NPO 法人「おおいの水と生活を考える会」は、現在までに大分県内で 80 地区以上の活動実績があり、このうち、52 地区は浄水施設の整備、30 地区は水源調査（ボーリングの協力）を行っている。NPO 法人は、小規模集落における生活環境の整備に取り組むため、水源確保施設の整備や維持管理に力を入れている。

H19（2007）年から H20（2008）年にかけて、大分県で小規模集落対策の調査が行われ、その結果、「水」に関する課題が第 4 位に位置づけられた。その後、小規模集落の生活環境の整備を目的として、「生活用水確保のための代替水源開発や維持管理が容易な施設の整備」に取り組むことが決定された（H24.3 小規模集落対策推進指針）。

また、H21～H22 に大分県（環境保全課）が「水と生活の調査隊」「水と生活の調査団」を組織し、技術士などの技術者に現地を見てもらい、対策案等についてアドバイスをもらうなどの調査検討を行った。その後、この取り組みに賛同した技術者の有志グループが誕生し、後に NPO 法人「おおいの水と生活を考える会」として設立された。

NPO では、調査、測量、計画、設計を受託する以外に、地元のみで維持管理できるような緩速濾過式の浄水施設や配水施設の開発と設計も実施している。また、年間 3～10 件程度の案件を手掛け、これまでは、入札ではなく随意契約で受けている。非営利団体であり収益をあげることは目的としてはないが、案件が多い時は年間受注総額が 1000 万円を超えることもある。NPO の収入は、設計調査費用のほか、会費 1 人あたり年 5000 円、協賛企業による協賛費などである。

NPO が抱える課題は以下のとおりである。NPO

は設計を行なっているが、施工管理には携わっていない。事業主体は市町村であり、施工管理も市町村が担当している。そのため、うまく機能せずに集落から苦情がくるといったこともある。施工並びにメンテナンスも任せてくれた方がうまく進むと考えている。

(4) 国による支援制度の活用可能性

令和 2 年 6 月に施行された「地域人口の急減に対処するための特定地域づくり事業の推進に関する法律」を根拠とし、令和 2 年度より特定地域づくり事業協同組合制度が運用されている。総務省によると、令和 4 年 6 月 1 日の時点で 36 道府県の 126 市町村が制度の活用意向を示し、うち 25 道府県の 55 市町村の組合がすでに認定済みとなっている。

この制度は、単に人手不足の解消を目的とした人材派遣の制度ではなく、「本制度を活用することで、安定的な雇用環境と一定の給与水準を確保した職場を作り出し、地域内外の若者等を呼び込むことができるようになる」とともに、地域事業者の事業の維持・拡大を推進することができる。」ことを目的とした制度であることに注意が必要である。実際この制度を活用した町村では地域外からの若者の移住定住につながっており、令和 4 年 12 月時点における総務省の調査（特定地域づくり事業活用意向調査）によると、派遣職員の約 7 割が地域外からの移住者であり、全体の約 6 割が 20 代・30 代の職員である。

これまでの調査からは、本制度を活用して集落の水供給システムの維持管理に従事したという事例は把握できていない。また、本制度の事業協同組合として認定されるには、人口急減地域であるかどうかや市町村から補助金などの支援が得られるかなど地方自治体の協力が重要となることから、制度活用のためのハードルは高いものの、前年度までに整理したアンケート調査の結果からは有償であっても外部団体の支援を利用したいという集落が一定数あったことから、こういった制度を活用して水供給システムを維持していく方策を展開していくは可能と考えられる。

8.4 考察

これまでの調査結果から、調査対象とした集落では、収支記録について、点検や事故・修繕結果の記録に比べるとより多くの集落で記録を保管しており、比較的長年の収支記録を有していることが確認できている。今後は、これらの収支記録の情報をもとに、同規模の簡易水道事業と比較し安価な料金設定となっている理由や今後の経営の安定性について分析をしていく必要があるものと思われる。

また、昨年度までの報告書において示してきた

ように、質問紙調査にて回答を得た集落の約半数は水供給システムの管理作業に負担を感じていること、架空の支援策ではあるが集落側における支援の利用意向は低くないことが確認できている。本年度までの調査により、現状では行政も含め外部の団体から支援や協力を受けている集落や事例は少数ではあるが、外部との協力連携や支援により効果をあげている事例が確認できたことと、さらには人口急減地域の後押しともいえる国による新たな制度ができ、広まりつつあることなどを考えると、集落の水供給システムを外部団体との協力によって維持管理していくことを実現していくことは実現不可能なものではないと思われる。今後は、支援に関する需給がうまくマッチングするかどうかを把握することが課題だと思われる。これまでの研究で把握してきた集落水道の実態や支援ニーズなどを支援の可能性をもつ団体に対して提示することなどにより支援意向や支援の供給可能性を調査すること、ならびに活用できそうな国や地方自治体の支援制度等を併せて検討していくことなどにより、小規模な水供給施設を外部団体との協力により維持する仕組みの実現可能性を調査検討していく必要があると考えられる。

9. 地域のプレイヤーが自律的に管理する小規模水供給システムのケーススタディおよび実践的取り組みを通じた支援体制の検討

9.1 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結果

市町村の担当者へのヒアリング調査の結果を、令和2～3年度の調査結果と合わせて整理した。

(1) アセットの帰属

B町、D町、E町の一部、F町、G市の一部、H町、I町、J町では、地域自律管理型水道のアセットは市町村に帰属しており、維持管理を地元の水道利用組合に委託する形式をとっていた。いずれのケースも無償での委託であり、一部のケースでは市町と水道利用組合の間で覚書等を交わして実施していた。一方、A市、C市、E町の一部、G市の一部では、アセットも水道利用組合に属しており、修繕、施設更新もすべて水道利用組合によって行われていた。ただし、A市、C市、E町ともに、大規模改修および水質分析に対する助成制度（50～75%補助）を設けていた。

(2) 行政の担当部署と情報収集体制

A市、B町、D町、E町、I町、J町では、水道担当部署が地域自律管理型水道の担当となっていたのに対し、F町、G市では営農飲雑用水であるという理由で産業担当部署が地域自律管理型水道の担当となっていた。H町では、住民生活課が担当となっていたが、技術的な支援は水道部署

が担っていた。自治体がアセットを所有し、水道利用組合への管理委託の形をとっているA市、C市、E町の一部、G市の一部では、年に1回の報告を水道利用組合に求めており、運営実績や役員との連絡先などの運営情報が蓄積されていた。中でも、B町およびD町では水道利用組合の総会に役場職員が可能な限り参加し、会計情報等を含めた運営状況が記載された総会資料が蓄積されていた。

(3) その他

D町では、1つの簡易水道の管理が地域運営NPOに委託されていた。当該簡易水道の地区は、本市街地から約13km（車で15分程度）の場所にあるため、役場にとって維持管理の負担が大きく、以前は当該地区の一般住民を臨時採用職員として雇用し、この簡易水道の管理に当てていた。この形式は、広い意味でとらえれば地域自律管理型に近いものであったと言える。ただ、その住民が高齢となり、作業の継続が難しくなったため、ちょうど当該地区において地域維持にかかる「よろず屋」的な活動を行うNPOが設立されたのに合わせて、同NPOへの委託に切り替えられた。

簡易水道管理の委託額は、同NPOにとって1人工（にんく、必要人員・作業量）分の収入には届かないが、主な作業内容は毎朝の水質および配水量チェックであり、拘束される時間はかなり短い。もともと地域の細かい仕事を組み合わせて実施している同NPOにとっては、他事業の隙間時間での対応が可能であり、むしろ、細かい事業を集めているために不安定になりがちなNPOの経営を、下支えする安定収入源と見なされていた。

9.2 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

令和2～4年度にわたって行った調査の対象は、10市町と数的には限られたものではあったが、それだけでも、市町村と地域自律管理型水道の関係に多様なパターンが存在することが分かった。今回確認できた事例の中には、ほぼ100%地域住民らが自力で管理している地域自律管理型水道もあれば、行政がアセットを保有したり、修繕まですべて行政が行うなど行政の関与が濃いものもあった。これは、それぞれの地域の事情や条件に合わせて、行政と住民の間の作業と責任のバランスをとった結果であり、裏を返せば、ほかの市町村にとっては、この中間的な運営体制のバリエーションの中から、自らの市町村や地域の状況に近いものを参考にすることができるといことになる。また、それぞれの市町では水道利用組合との覚書や、役割分担の根拠となる条例の整備などが行われていた。状況の似た市町村においてこうしたノウハウが活用できるようにすることが、

今後の小規模給水施設の持続性を高める上で重要であるが、一方で、個々の資料は、完全オープン形で提供することが難しいものもある。そのため、現実的には、担当者が自分の市町村に適したノウハウを持つ市町村に、個別にアクセスできるようなネットワークづくりが重要と思われる。

また、B町で確認された地域運営NPOへの管理委託は、新たな地域インフラ維持のモデルになると考えられる。人口減少の進む地域では、店舗や生活サービス等が単独では成り立たなくなっており、それを補完する「よろず屋」的な事業に取り組む「地域運営組織」が各地ででき始めている。こうした組織はB町のNPO同様、地域の極小規模の事業を組み合わせるため、1人工に満たない仕事も引き受けられる一方で、経営はどうしても不安定になりがちである。そうした中で、水道管理を市町村から受託することは、1つの安定財源を得られることになる。

9.3 富良野市における自律型モデルの実践的とりくみの実施結果

(1) 富良野高校のフィールドでの活動

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(7/18, 8/8の全2回)と管路地図のGIS化(8/10～部活動の中で継続的に実施)を行った。

(2) 富良野高校の報告会

本年度は、活動報告の機会として、高大連携イベントと水道利用組合向けの報告会を設けた。

1) 高大連携イベント「ふらのの水と観光プロジェクト・ワークショップ」

札幌国際大学において、令和4年11月12日に高大連携のワークショップを開催した。富良野高校科学部員は、話題提供として令和4年度の成果(速報)を報告し、その後、3つのグループに分かれて、昨年度のワークショップで出されたアイデアをビジネスとして成立させるための方策について、大学生らと共に検討を行い、最後にその結果を発表した。

2) 水道利用組合向け報告会「富良野のおいしい水を守る活動結果報告会」

富良野高校視聴覚室において、令和5年1月28日に報告会を開催した。富良野高校科学部からの報告に続き、小規模水道向け技術の紹介が行われた。

(3) 富良野モデルの他地域への展開可能性検討

平成29年度から富良野市において試行錯誤を重ねた上で構築された取り組みを富良野モデルと呼ぶこととし、この富良野モデルの他所での展開を考え、これまでの試行錯誤に要した時間やコストをいったん取り除き、新規で同様の取り組みを始める際に何が必要となるかという視点で、必

要機材、コスト、人員について整理した。

1) 水質分析に係る機材

2) アセット情報管理支援(GIS化)に係る機材

3) 活動に係るその他のコストおよび人員

(4) 富良野モデルの他地域展開の実践

研究分担者がコンタクトすることができた1つの小学校、3つの高等学校の校長または教頭に対し、聞き取りによるニーズ調査を行った。結果、小学校では第4学年社会科の小単元「水はどこから」において、市町村独自教材によって上水道や簡易水道の紹介はされているものの、地域自律管理型水道の情報は無く、それらを含めた出前授業に関して一定のニーズが見込めることがわかった。一方、高校では、令和4年度から必修化された「総合的な探求の時間」において、富良野モデル適用の可能性があることが確認された。また、「総合的な探求の時間」では、生徒たちが探究課題を見つけ、自主的に取り組むこととなっているが、実際には、課題の自主的な設定は難しい場合が多いため、あらかじめ生徒たちにいくつか話題を提供し、そこから選んだテーマを掘り下げるといった形がとられていた。よって、「総合的な探求の時間」において生徒たちに話題を提供する場で、富良野モデルの話題を提供することができれば、適用拡大の可能性があることがわかった。

こうしたニーズ調査の結果を受け、実際に富良野モデルに関心を示し、かつ授業の枠を提供いただけた1つの小学校、2つの高等学校において、富良野モデルをベースとした地域自律管理型水道の授業を実施した。さらに、このうちの1つの高校(北海道富川高等学校)については、実際に令和4年度の「総合的な探求の時間」の授業の1つのテーマとして実施することが決まり、富良野市モデルを適用して、日高町役場の協力の下、日高町内3カ所の地域自律管理型水道について水質分析と管路地図のGIS化を実施した。結果は、報告会を通じて日高町役場に提供されるとともに、日高町役場を通じて水道利用組合にも提供された。

9.4 富良野市における自律型モデルの実践的とりくみ

本年度は、例年通りの活動を継続しつつ、これまでの試行錯誤によって構築された富良野市における取り組みを一つのモデルとして捉え、他地域展開を模索した。

ニーズ調査を通じて、①小学校では第4学年の社会科の単元において地域水道に関する授業のニーズがあること、②高校では生徒が自らテーマを決めて取り組む「総合的な探究の時間」において連携ニーズがあり、③生徒が各自の探究テーマを検討する際の話題提供においてに富良野モデ

ルを紹介することで、それを契機に住民・民間等との連携・協働による体制づくりが促進されることが明らかとなった。また、富川高校における適用実践においては、結果として、富良野高校での実践方法をほぼそのまま適用することができた。

今後、状況の異なる別の地域への適用も試みていく必要はあるが、少なくとも富良野モデルは他地域においても適用の可能性があること、さらに、富良野高校では部活動での実施であったが、「総合的な探求の時間」の授業としても適用可能であることが確認された。

E. 結論

高齢化及び人口減少等により、小規模な上水道や簡易水道では水道事業の維持が大きな課題の一つであるが、給水人口が減少しつつある簡易水道や給水人口が100人以下の飲料水供給施設等の小規模水供給システムにあっては、影響が特に大きく、飲料水を含む生活用水を供給する水道の施設・財政・維持管理・衛生確保の様々な面で多くの問題を抱え、水道の維持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地域においても、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を提案すべく、様々な分野において検討を行った。

1. 特に経営環境が厳しい人口5千人未満の過疎町村にある簡易水道におけるデータを基に、一部の簡易水道や小規模な水供給の今後のあり方を検討するため、将来シミュレーションモデルの構築を行った。また、全国の簡易水道のデータから費用削減策の効果を検討するとともに、モデル地区での今後の整備のあり方を検討した。

通常の水供給を行う場合は、見直しにおける管路延長減の効果が大きく、運搬給水を行う場合では使用水量減の効果が大きいこと、給水人口の抑制策も一定の効果をもつことが明らかとなった。小規模な水供給については使用水量や管路延長の削減、運搬給水等の導入に加え、地域の活性化による人口確保等多様で多角的な対応が必要であるが、今回の詳細一般化式による個別事業に対する給水システム・形態の選定手法を用いたモデル地区での検討では、3地区を施設統合し運搬給水を導入することが費用負担的には有利となった。

2. 小規模な水道においては、給水人口の減少率が上水道等の地区と比較するとより大きく、管路はじめとした既存施設の維持は非常に困難になること、浄水処理に係る維持管理手間の軽減と飲用水としての水質の安全性の確保、投資に対するコストの低減化、人手をかけないメンテナンス等が非常に重要となること等を把握した。これらについては、家庭により近い地点で浄水水質を確保

する分散型の水道システムが、管路整備の負担軽減、水源における浄水施設管理の簡略化等に有効であると考えられた。

3. 高知県が推進した「高知県版生活用水モデル開発事業」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おり、県が果たした役割はきわめて大きい。特に、2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に対応できる新技術であることから、国内で広く普及していくのが望ましいと指摘した。水質検査の負担が大きい場合が有り、飲用水としての安全保証が目的であることから、公的補助や助言のしくみがあってもよいのではないかと考えられた。

4. 限定的な情報の下であるが、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。

病原細菌種の一斉検出における同定の正確性を高めるために、分析手法の改良を行った。小規模水供給施設の原水に適用した結果、13属24種の病原細菌の検出に成功し、土壌・水環境中の常在菌が主な病原細菌である可能性を示した。得られた知見をリスク評価に活用することで、微生物的な安全性を確保するために必要な浄水処理レベルを精緻に評価できることを示した。

5. 管内の堆積物の分析から、地域特有の管路維持管理作業が配水管内環境の制御に寄与できることを示した。

6. 小型浄水処理について、濁度除去に関する実験及び実地に設置した試行を実施した。実験室内ではろ層が安定した後は、濁度、微粒子残存率は安定し、濁度ではほぼ90%、3 μ m以上の粒子で95%以上の安定した除去率が得られた。一方で1~3 μ mの粒子については30%程度の除去率しか得られなかった。実地の実証実験では原水濁度の上昇(~50度)により、処理水の濁度上昇が確認された。また、ろ過機に気泡が入ることで捕捉した濁質が流出する可能性が示唆された。紫外線照射によりろ過水の大腸菌を不活化できていることが確認されたが、ろ材支持部材に堆積物が確認された。静岡市の簡易水道、飲料水供給施設及びその水源の調査を行った。関係者らの尽力により、水源取水装置、処理装置の改善が行われ、濁度が低く、安全性が高い水が安定的に供給されるようになった。研究が生かされ、UV-LED装置が実際に導入された事例などで維持管理体制の検討を行うことができた。

7. 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た。大腸菌の検出があったが、UV-LED装置による処理水では、調査したすべての微生物項目(大腸菌、一般細菌、従属栄養細菌)で濃度が低下し、水道水質基準の定める大腸菌数、

一般細菌数および水質管理目標として示された従属栄養細菌数の暫定目標値の全てを、大腸菌陽性となった1回を除いて2年間の試験期間を通じて継続的に満たした。本研究により、小規模施設で利用可能な消毒技術としてUV-LED装置の有効性と長期的な安定性が示された。

8. 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、集落役員が点検や清掃などの管理作業に感じている負担感や作業負担の重い項目、外部団体からの支援についての集落側の意向、支援を利用する場合の価格帯について調査を行った。水供給システムに関する住民の金銭的負担として施設を敷設する際の財源や水道料金体系について整理・分析するとともに、集落規模別の維持管理状況の実態を分析した。

水供給システム敷設時は、集落や個人負担と回答した集落が最も多く、半数を超える集落が水道料金を定額制と回答し、メーター制を含む集落では定額制より高い料金負担であった。これらのことよりいずれの料金制においても住民自らが管理している小規模水供給システムの場合、同規模の簡易水道事業と比較すると安価な料金負担となっているケースが多いことがわかった。

また、少数ではあるが地方自治体の中には積極的な支援を行っているケースやNPO団体を活用しているケースがあることがわかった。国が最近創設した特定地域づくり事業協同組合制度は、人口急減地域の小規模水道の維持管理作業を支援する枠組みとなる可能性がある。

9. 民間組織や水道事業者等と連携・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。今回確認された「中間的」な地域自律管理型を含む広義の地域自律管理型モデルは、今後水道運営の再編が必要となる地域に対し、それぞれの状況に合わせた多様な選択肢を提供することにつながると思われる。

「自律的な水供給システム」のモデルとしては、北海道富良野市をフィールドとした6年間の試行錯誤の結果、水道利用組合等による地域自律管理を前提とした。地元高校生による運営支援体制として「富良野モデル」を構築し、必要なコスト、人工（にんく、必要人員・作業量）、普及の方策について整理することができた。さらに、令和4年度には、実際に北海道日高町にある富川高校の「総合的な探求の時間」の授業として富良野モデルを適用し、富良野市同様の成果を地域に提供できることを確認した。

これらの知見から、小規模水供給の地域では、

地域の状況に合わせ、広域化、施設統合、維持管理の容易な装置の導入、分散型装置設置、運搬給水等を検討するとともに、住民や各種団体等と連携した維持管理、貸借や維持管理と組み合わせた民間との協力等を検討し、取り組むことが必要と考えられた。県や近隣の自治体等との情報共有、連携の必要性も多く指摘されており、今後とも多様な事例の共有、連携が重要と考えられた。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

・伊藤禎彦, 中山信希: 情報提供による水道料金評価の改善効果に関する分析, 水道協会雑誌, 91(10), 2-15, 2022.

・小熊久美子, UV-LEDを利用した消毒技術, 応用電子物性分科会誌, 29(1), 31-36, 2023

・Jack Jia Xin Song, Kumiko Oguma, Satoshi Takizawa, Inactivation kinetics of 280 nm UV-LEDs against *Mycobacterium abscessus* in water, Scientific Reports 13, 2186, 2023. <https://www.nature.com/articles/s41598-023-29338-w>

・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, Vol. 46, No. 1, pp. 11-19, 2023.

・小熊久美子, 海外における小規模水供給施設の実態と課題, 保健医療科学, 71(3), 234-240, 2022.

・Shinya Watanabe, Kumiko Oguma, A Simple and Practical Method for Fluence Determination in Bench-Scale UV-LED setups. Photochemistry and Photobiology, 99(1), 19-28, 2022. <https://doi.org/10.1111/php.13668>

・増田貴則, 堤晴彩. 小規模集落が経営する水供給システムの維持管理作業の支援ニーズと展望. 保健医療科学. 71(3):241-253, 2022.

・牛島健, 増田貴則. 自律的に管理する小規模水供給システムと実践的取り組み. 保健医療科学. 71(3):254-263, 2022.

2. 学会発表

・浅見真理, 人口減少社会における持続可能な水供給システムとまちづくりの動向, 水道実務技術指導者研究集会, 2023/2/20.

・木村昌弘, 浅見真理, 伊藤禎彦; 小規模水道・水供給システムの維持管理に関する経営シミュ

レーション2：令和4年度全国水道研究発表会。2022.10.19-21；名古屋。同講演集。p.84-85。

- ・原彩斗、曾潔、中西智宏、伊藤禎彦：小規模水供給施設における病原細菌のスクリーニング調査を踏まえた定量的微生物リスク評価，環境衛生工学研究，Vol.36，No.3，pp.21-23，2022.7
- ・Jie Zheng, Ayato Hara, Takuya Kubo, Tomohiro Nakanishi, Sadahiko Itoh：Potential of Nanopore Sequencing of Full-length 16S rRNA for Identification of Pathogenic Bacteria in Small-scale Water Supply Systems, Water and Environment Technology Conference, WET2022-online PROGRAM and ABSTRACT, p.57, 2022.7
- ・伊藤禎彦，曾潔，中西智宏：小規模水道供給システムの実態と微生物学的安全確保法，2022年度第35回日本リスク学会年次大会講演論文集，p.90，2022.11.
- ・S. Itoh, S. Fukuoka, J. Kishimoto, T. Nakanishi: Controlling the Quality inside Distribution Pipes of Small Water Supply Facility, IWA World Water Congress and Exhibition, 11-15 September 2022, Copenhagen, Denmark.
- ・木村昌弘，浅見真理，伊藤禎彦：小規模水道・水供給システムの維持管理に関する経営シミュレーション，令和3年度全国会議（水道研究発表会）講演集，pp.100-101，2022.2.
- ・寫田泰彦，須田康司，下岡隆，三宮豊，市川学，川瀬優治，大瀧雅寛，伊藤禎彦：将来を見据えたスマートな浄水システムに向けた浄水場の課題解決技術・手法の調査-A-Dreamsプロジェクトの取組-，令和3年度全国会議（水道研究発表会）講演集，pp.132-133，2022.2.
- ・伊藤禎彦，中山信希：料金値上げに対する市民の容認度増大に係る要因分析，令和3年度全国会議（水道研究発表会）講演集，pp.26-27，2022.2.
- ・久保章，市川学，清塚雅彦，伊藤禎彦：水道が抱える課題と解決技術に関するアンケート調査結果と考察，環境衛生工学研究，Vol.36，No.3，pp.33-34，2022.7
- ・松本幸太郎，伊藤禎彦：ミャンマー・バゴー地域における将来の人口減少を見据えた水供給計画の立案，環境衛生工学研究，Vol.36，No.3，pp.38-40，2022.7
- ・久保章，山西陽介，田中広樹，山村寛，大滝雅寛，伊藤雅喜，伊藤禎彦，清塚雅彦：水道の基盤強化に資する浄水システムの更新・再構築に関する研究-A-MODELSプロジェクト-，令和4年度全国会議（水道研究発表会）講演会，pp.288-289，2022.10.

- ・小熊久美子，小規模水供給施設に適した消毒技術の検討，厚生労働科学研究シンポジウム「小規模水供給システム研究の進展」，2023/2/22.
- ・小熊久美子，小規模水供給施設の実態と消毒技術の検討，水道実務技術指導者研究集会，2023.2.21.
- ・LIU Xinyue and Kumiko Oguma, Disinfection by-products formation and dissolved organic matter alteration by UV/chlorine treatment of a river water sample, 日本水環境学会紫外線を利用した水処理技術研究委員会ワークショップ，2023/2/16.
- ・Jack Jia Xin Song and Kumiko Oguma, Inactivation kinetics of 280 nm UV-LEDs against Mycobacterium abscessus in water, 日本水環境学会紫外線を利用した水処理技術研究委員会ワークショップ，2023.2.16.
- ・鶴野葉月，小熊久美子，水道水への紫外線照射が塩素消毒副生成物に及ぼす影響，日本水環境学会紫外線を利用した水処理技術研究委員会ワークショップ，2023/2/16.
- ・小熊久美子，UV-LEDを利用した消毒技術，応用電子物性分科会研究例会，公衆衛生と安全・安心を守る材料デバイス技術，2023.1.27.（招待講演）
- ・Surapong Rattanakul, Kumiko Oguma, Data analysis of virus sensitivity to ultraviolet (UV) radiation, 第13回 東南アジア水環境国際シンポジウム，2022.12.14.
- ・Jack Jia Xin Song, Kumiko Oguma, Satoshi Takizawa, Fluence rate modeling using ray tracing simulation for water disinfection reactors with ultraviolet light-emitting diodes, 第13回 東南アジア水環境国際シンポジウム，2022.12.14.
- ・Shunsuke Oka, Shinobu Kazama, Kumiko Oguma, Satoshi Takizawa, Identification of fecal contamination source and enteric viruses in groundwater in the special region of Yogyakarta province, Indonesia, 第13回 東南アジア水環境国際シンポジウム，2022.12.13.
- ・Kumiko Oguma. Innovative UV-LED applications to drinking water and wastewater treatment systems for sustainable water management in future communities. JST-CONCERT UV Workshop. 2022.11.17.
- ・渡邊真也，小熊久美子，山間集落における水供給施設の管理負担軽減に関する検討-LPWA 通信モジュール活用による施設の遠隔監視-，第101回水道研究発表会，2022.10.20.
- ・増田貴則. 条件不利地域等におかれた小規模水

供給システムの維持管理・経営のこれから。土木学会第 33 回環境技術思想小委員会・臨床環境技術小委員会合同講演会。2022. 4. 12. オンライン。

・増田貴則, 堤晴彩, 桐林有花, 高部祐剛, 浅見真理. 小規模集落が管理する飲料水供給システムの敷設財源と料金体系の実態. 令和 4 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. 2022. 10. 19-21. 名古屋. p. 86-87.

・Ushijima, K., Sintawardani, N. (2022) Challenge to involve young generation into local water and sanitation management: A stimulating event SaniCamp 2021, International Society for Sanitation Studies, Annual Conference 2022, 19th December 2022, Online.

・Ken Ushijima (2022) A participatory approach for community-based water system management with high school students in Hokkaido, Japan, SRI 2022, 20th June 2022, Online.

・Sintawardani, N., Ushijima, K. (2022) SANICAMP: an event to stimulate young people's interest and curiosity about water and sanitation, The 6th International Symposium on Green Technology for Value Chains 2022, 22-23 November 2022, Online.

3. その他

(1) 著書

・伊藤禎彦: 公益財団法人水道技術研究センター, 多様な社会・技術に適応した浄水システムに関する研究 (A-Dreams), 将来を見据えたスマートな浄水システムの構築～要素技術・システムによる課題解決事例集～, 197p., 2022. 3

(2) 総説・解説

・浅見真理. 連載: 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. 人口減少社会における持続可能な水供給システムとまちづくりの動向. 水道. 2023:68(3):1-10.

・浅見真理, 沢田牧子, 西田継. 人口減少社会における持続可能な水供給システムとまちづくりの動向. 保健医療科学. 71(3):194-207. 2022.

・木村昌弘, 浅見真理. 将来の費用負担予測を元にした小規模な水道への対応. 保健医療科学. 71(3):216-224. 2022.

・伊藤禎彦, 中西智宏, 曾潔: 小規模な水供給でどう安全な水を確保するか, 特集: 人口減少社会における持続可能な水供給システムとまちづくり, 保健医療科学, 71(3):225-233. 2022.

・伊藤禎彦: 脱炭素と上水道, 環境衛生工学研究, 36(3):9-13. 2022.

(3) 講演等

・浅見真理, 人口減少社会における持続可能な水供給システムとまちづくりの動向, 水道実務技術指導者研究集会, 2023. 2. 20.

・浅見真理, 木村昌弘. 将来人口を踏まえた今後の水供給. シンポジウム「小規模水供給システム研究の進展」. 国立保健医療科学院生活環境研究部・東大水フォーラム・土木学会・臨床環境技術小委員会共催. 東京. 2023. 2. 22.

・伊藤禎彦: 地元管理されている小規模水道の実態と課題, 島根大学生物資源科学部, 2022. 10. 25.

・伊藤禎彦: 小規模水供給施設における衛生問題と微生物的安全確保, 令和 4 年度市町村等水道担当者連絡会 (第 21 回), 公益財団法人島根県環境保健公社主催, ホテル白鳥, 2022. 10. 26

・伊藤禎彦: 小規模水供給施設の実態と微生物的安全確保, シンポジウム「小規模水供給システム研究の進展」, 東京大学 HASEKO-KUMA HALL, 2023. 2. 22.

・伊藤禎彦: 水道料金値上げに対する容認度を高めるためのコミュニケーション手法, 名古屋市上下水道局経営に関する研修会, 名古屋市役所西庁舎, 2022. 1. 11

・伊藤禎彦: 多様な社会・技術に適応した浄水システムに関する研究 (A-Dreams) 第 1 研究委員会 将来を見据えたスマートな浄水システムに関する研究最終報告会, 飯田橋レインボービル, 東京, 2022. 3. 9.

・伊藤禎彦: 第 1 研究委員会 将来を見据えたスマートな浄水システムに関する研究, 多様な社会・技術に適応した浄水システムに関する研究 (A-Dream) 成果報告会, (公財) 水道技術研究センター主催, える大阪 6F 大会議室 (大阪市), 2022. 5. 27.

・伊藤禎彦: 第 1 研究委員会 将来を見据えたスマートな浄水システムに関する研究, 多様な社会・技術に適応した浄水システムに関する研究 (A-Dream) 成果報告会, (公財) 水道技術研究センター主催, JMR アステールプラザ (広島市), 2022. 6. 2.

・伊藤禎彦: 第 1 研究委員会 将来を見据えたスマートな浄水システムに関する研究, 多様な社会・技術に適応した浄水システムに関する研究 (A-Dream) 成果報告会, (公財) 水道技術研究センター主催, ウィンク愛知 (名古屋市), 2022. 6. 24.

・伊藤禎彦: 脱炭素化と上水道, 企画セッション「脱炭素化と都市代謝系社会インフラ」, 京都大学環境衛生工学研究会第 44 回シンポジウム, 京都大学時計台記念館, 2022. 7. 29.

・伊藤禎彦: 第 1 研究委員会 将来を見据えたスマートな浄水システムに関する研究, 多様な社

会・技術に適応した浄水システムに関する研究 (A-Dream) 成果報告会, (公財) 水道技術研究センター主催, さいたま市民文化センター (さいたま市), 2022. 9. 29.

・伊藤禎彦: 水道料金値上げに対する容認度を高めるためのコミュニケーション技術, ダクマイル鉄管協会セミナー, キャンパスプラザ京都, 2022. 11. 15.

・伊藤禎彦: 浄水施設の更新・再構築, 第 34 回水道技術セミナー, (公財) 水道技術研究センター主催, 京都市勧業館みやこめっせ特別展示場, 2022. 12. 1.

・増田貴則. 条件不利地域におかれた簡易水道事業の経営とサービス水準のこれからを案じて月刊下水道. 45(11): 44-49, 2022

・増田貴則. 小規模水道の現状 ~条件不利地域等におかれた小規模飲料水供給システムの現状~. 令和 4 年度水道事業担当者研修. 兵庫県まちづくり技術センター. 2022. 11. 15. 神戸.

・増田貴則. 小規模水供給システムの維持管理と住民協力. シンポジウム「小規模水供給システム研究の展望」. 2023. 2. 22. 東京.

・「住民管理の水道 おいしく 富良野高生水質調査のデータ報告」, 北海道新聞 (富良野版),

2023. 2. 1. (記事掲載)

・「富良野の水 価値再認識」, 北海道新聞 (道北版), 2022. 4. 1. (記事掲載)

4. 受賞

・富良野高校、富川高校、北海道立総合研究機構、白石航希. 「地域の水は自分たちで守る 地域ぐるみの水道維持管理支援」 第 25 回日本水大賞厚生労働大臣賞受賞. 2023. 3. 31.

https://www.japanriver.or.jp/taisyo/no25/jyusyou_itiran.htm

H. 知的財産権の出願・登録状況 (予定も含む。)

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし

3. その他

なし