

小規模水供給システムの安定性及び安全性確保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	
	島崎 大	国立保健医療科学院	生活環境研究部	上席主任研究官
	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	
	増田 貴則	鳥取大学大学院工学研究科	社会基盤工学専攻	准教授

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。

小規模水供給施設の取組み、簡易水道が大規模水道事業体に繰り入れられた場合その他について聞き取り調査を実施し、制度上の課題等について整理を行った。その中で、飲料水供給施設や飲用井戸等の小規模水供給システムを指導する職員に向けた情報の提供が必要であることが確認されたため、小規模水供給システムに対して、相談・指導時に活用可能な相談記録や現地調査票等の資料の作成を行った。

静岡県静岡市、青森県新郷村および五戸町、京都府福知山市、北海道富良野市、奈良県十津川村において、地元管理されている水道施設の調査を行い、諸点を指摘した。また、地域自律管理型水道の成功事例が北海道に存在することが報告されており、この事例では、住民による持続的管理を可能とするための主要な3つの要件が整理されており、他地域で住民の参画を得る体制作りを試みる場合に参考にすべき点が多い。この結果では、地元住民とコミュニケーションする際の重要ポイントを提示しており、住民らが重要視している点に対して重点的に支援を行うことが有効と考えられた。

近年の人口減少や高齢化、過疎化等の影響により、小規模水道の需要量は減少傾向にあり、施設の更新が進まず、維持管理に苦慮している。このような現状から、経済的で維持管理が容易な小規模で簡易な浄水処理施設の開発、導入が望まれてことから、一部で導入されている上向流式緩速ろ過の濁度及び大腸菌の除去特性の検証を行った。今回の検証では、小型緩速ろ過実験装置を用いて、ろ過方向やろ過速度、原水濁度を変更して、ろ過水濁度及び微粒子の除去率を測定し、結果として、ろ過による濁質の除去プロセスと大腸菌の除去プロセスは異なることが示唆された。

クリプトスポリジウム等対策指針のろ過水濁度0.1度以下を満たすには、原水濁度やろ過速度、ろ過層の成熟度の制約を受けるが、ろ過層の洗浄後安定した処理条件では原虫の大きさの粒子では3～5logの除去、大腸菌についても洗浄後安定したろ過では2.7～2.9logの除去を行うことができた。例えば、上向流式緩速ろ過の後段に下向流式緩速ろ過を設けることで、原水濁度やろ過速度の制約を大きく緩和することができ、緩速ろ過の適用範囲を拡大できるのではないかと考える。

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2機種を選定し、山間の沢水を未処理で供給する給水栓にUV-LED装置を設置して約1年間の実証試験を行った。

未処理の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を超過

する場合があります。常時飲用には消毒が望まれた。一方、UV-LED処理水では細菌濃度、検出率とも低下し、試験期間を通じて大腸菌不検出を達成した機種もあった。装置による従属栄養細菌の不活化率に運転時間経過に伴う低下傾向は認められず、供用後の装置内部に顕著なスケール生成等も見られなかった。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。

錠剤型消毒剤を充填した浮遊式塩素供給器や更に安価な小型UV-LED消毒装置を用い、小規模水供給システムを想定した簡易消毒手法の適用性に関する実験的検討を行った。前者では、大腸菌の消毒効果は確保できたものの、残留塩素濃度を長時間にわたり均一的に保持することは困難であること、接触槽内の水を循環する等の濃度制御の手段が課題となることが明らかとなった。後者では、定格最大流量の条件下で98.73%ないし99.82%の大腸菌不活化性能を有することが確認でき、安価かつ導入が容易であるため、小規模水供給システムにおいて効果的であると考えられた。

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、水供給システムの維持管理や断水等のトラブル発生の現状を把握するとともに、集落役員が点検や清掃などの管理作業に対して感じている負担感や作業負担の重い項目、設備の点検管理記録や財政の将来見通しの有無、行政や他の集落との連携状況、研修会等の有無、水供給システムに対して感じている不安を整理することを目的とした質問紙調査を行った。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割弱にすぎず、水の安定供給や施設の維持管理に様々な困難を抱えていることが把握できた。

これらの知見から、今後更に衛生行政、水道部局、住民、関連団体の連携を図り、技術面、制度面、財政面の改善が図られるよう情報共有の方法を改善する必要がある。

A. 研究目的

高齢化及び人口減少等により、全国数千の地域において水道管路等で構成される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検討を実施すべく、水供給システムの最適化による給水の安定性・安全性確保に関する対策、既存の水供給システムの維持管理の改善、または、新たな水供給システムにおける安全性確保に関する方策について、住民との連携による維持を前提とした分散型の水供給システムの技術的及び運営面の研究を実施する。

具体的には、簡易水道や飲料水供給施設相当規模のシステムを対象に、

1. 小規模水供給システムにおける課題と持続可能方策に関する検討
2. 地元管理の小規模水道の実態と課題に関する調査
3. 上向式ろ過における濁度及び大腸菌除去特性に関する検証
4. 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の検証
5. 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検討
6. 小規模集落が管理する水供給システムの維持管理および集落外との連携状況に関する調査
7. 上記をとりまとめた統合的な検討を実施し、施設（ハード）を管理（ソフト）の仕

組みで支える水供給システムを構築することを目的とする。

B. 研究方法

1. 小規模水供給システムを有する地域の問題や水道法の改正内容等を調査することにより、小規模水供給システムの維持や改善のための方策の検討を実施した。また、小規模な施設に対する衛生対策の実施についても課題を検討し、管理や指導の実施の支援方策の一つとして、調査票や参考資料の作成についての検討を行った。

2. 静岡県静岡市、青森県新郷村および五戸町、京都府福知山市、北海道富良野市を対象として、担当行政部局でヒアリングするとともに、地元管理者と水道利用者に対する対面調査を実施した。

3. 砂のかきとり作業の不必要な上向流式緩速ろ過方式の小型実験装置を用いて、処理速度と原水濁度を変更させ、ろ過水濁度、微粒子数、大腸菌を測定することにより、上向流式緩速ろ過の特性を検証した。

4. 実用化に資する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2機種（日機装技研）を選定し、国内某所の個人宅敷地内にある私設の給水栓に当該装置を設置して約1年間の実証試験を行った。

5. 簡易型塩素供給器を用いて錠剤型塩素剤の残留塩素濃度の制御および大腸菌不活化性能に関する連続通水実験を行った。

また、小型紫外線LED（UV-LED）装置を用いて大腸

菌不活化性能に関する連続通水実験を行った。

6. 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を把握するためまた、維持管理の状況等について実態を把握するための質問紙調査を行った。

(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現状と課題

1.1 水道法の改正に伴う事業の休止・廃止許可

これまで、法令上詳細に規定されていなかった水道事業等の全部又は一部の休止及び廃止に係る申請手続き及び許可基準が改正水道法（平成30年法律第92号、令和元年10月1日施行）により明確に定められた。水道法に基づく事業の許認可等や、事業の休止又は廃止については、令和元年9月30日付けで改訂された「水道事業等の認可等の手引き」において、許認可等及び休廃止に際しての留意事項及び申請書審査上の基本事項が示され、この手引きに十分留意しつつ、地域の実情、歴史的な沿革等、それぞれの実態を踏まえて適切に取り組みを行うよう求められている。

また、近年では計画給水人口が100人以下に減少し、実態として水道法上の定義から外れることから、簡易水道事業を廃止し、その後飲料水供給施設として飲料水を供給継続していく施設の事例がいくつか出てきている。これらのケースでは、対象地域の給水人口の顕著な減少や地理的事情により、他の水道事業との統合や官民連携の実施が困難な状況にあり、単独で簡易水道事業としての要件を満たすことが難しくなったことから、実態に即して、水道法で明確に示された廃止許可の手続きを行うこととなる。しかしながら、この廃止に係る手続きにおいては、単に簡易水道事業の廃止を行うだけではなく、住民が居住している限りは、その後の安全な飲料水の給水確保が必要不可欠であり、水道部局だけではなく、地方自治体全体の問題として取り組みを行い、各自自治体の部局間での密接な連携が必要となる。

1.2 小規模水供給システムの位置づけ

「水道」や「水道事業」といったものの定義は水道法（昭和32年6月15日法律第177号）によ

り、定められているが、水道としての規模が小さい等といった理由で、この水道法の基準が適用されないものとして「飲料水供給施設」や「飲用井戸等」の小規模水供給システムを有する施設など様々ある。これらは、飲料水健康危機管理実施要領や飲用井戸等衛生対策要領（昭和62年1月29日付け厚生省生活衛生局長通知）、その他地方公共団体（都道府県等）がその地域の実情と必要に応じて条例等や要綱で規制しているものもあり、定義や衛生対策等が示されている。

1.3 小規模水供給システムに対する衛生対策

小規模水供給システムに対する衛生対策としての主なものは、「飲用井戸等衛生対策要領」であり、水道法の規制を受けない飲用井戸や小規模貯水槽に対する種々の衛生対策について述べられている。この要領では、実施主体として「都道府県、市又は特別区が管下町村の協力を得て実施するもの」となされており、各施設に対する指導は、都道府県等での職員確保や各職員の資質によるところが大きく、都道府県等により衛生対策の実施状況は様々である。また、職員への教育はもちろん、都道府県等の間での連携も大きな課題である。このような状況を少しでも改善するため、飲料水供給施設や飲用井戸等からの相談・指導時に参考となる資料を作成し提供することで、特に権限移譲等により衛生対策の実施主体に新たに加わった市の衛生部局の担当者の助けとなることを期待する。

1.4 衛生対策を行う職員の減少

衛生部局で飲用井戸等の衛生対策を行う職員は、水道事業者と同様に減少しており、水道部局よりも短期間に人事異動が行われる傾向にあるなど、水道等の衛生対策において経験が不足する場合も多い。権限移譲による業務範囲の拡大や、改正水道法施行に伴う水道の基盤強化に向けた取り組みの推進等、新たな課題を多く抱えることで、職員数がより不足し、かつ経験や専門知識を有する職員も不足している。また、水道事業の転換期を迎えている状況の中で、都道府県においては、改正水道法等に基づき、水道基盤強化計画等を策定し、広域連携の推進役を行う中にあっても容易な人員増加は見込まれにくく、これまで以上の課題が生じることとなる。専用水道や飲用井戸等の指導を行う市や特別区の職員においても課題は同様であり、多くの市では平成25年度の権限移譲により新たに衛生対策の実施を行うこととなったため、課題をより有している。

水道事業においても、衛生行政を所管する都道府県や市・特別区においても、水道関係の職員の育成については同様の課題を抱えており、特に初めて水道に携わる者が水道についての知識を得

るための第一歩として活用できるように、また、飲料水供給施設や飲用井戸等の小規模水供給システムに対して衛生対策を行う際に業務の補助となるように、前述のとおり相談票や現地調査票といった資料の作成を行った。

1.5 小規模水供給施設に対する取組み

鹿児島県長島町西部地区簡易水道事業における UVLED の導入事例についての現地調査や浜松市の小規模水道に係る業務の事務委任事例の調査、カナダの小規模水道に関する情報交換、規模水供給システムのあり方に関するシンポジウム等を開催した。

これまでにを行った現地調査や聞き取り調査、全国からの相談事例を踏まえて、水道事業者や小規模水供給システムにおける現状・改善事例を表 1 にとりまとめた。水道施設の規模や地理的条件により様々なケースが想定されるが、今後多くの事例を取りまとめ、改善のための情報提供を行うこととする。

1.6 小規模水供給システムに対する財政的問題

当初感染症予防の観点から制定された水道法であるが、公衆衛生の向上に寄与するための水道の普及や水道事業の拡張期を過ぎ、現在、国を中心とした水道行政の取り組みは、水道事業基盤強化のための施策が主となり、公共の福祉としての色が強い小規模水道に対する施策が乏しい状況にある。従来の水道法は、水道の管理の適正、合理化等を図ることで「清浄にして豊富低廉な水の供給を図り」、それにより「公衆衛生の向上と生活環境の改善とに寄与する」ことを目的として作られており、この趣旨からも、水道法の適用外となった小規模水供給システム等を有する水道の未普及地域に対する財政的な支援対策についても、並行して取り組んでいく必要があると考える。

複数の簡易水道や飲料水供給施設が存在する地域では、補助金等の活用により、簡易水道と一部の飲料水供給施設の統合など経営母体を大きくすることで、継続的な事業運営を行っている場合もあるが、簡易水道事業として運営していた地域であっても、対象地域の給水人口の減少が顕著となり、特に他の水道との統合が困難である事業において、水道事業としての要件を満たすことが難しい場合、認可手続き上、事業を廃止し、飲料水供給施設として飲料水の供給を続けるといった施設も出てきている。今後は、このように規模の縮小していく水道施設に対して、簡易水道事業に対する補助制度の活用や、より小規模向けの財政上の支援がないと、施設更新や維持管理が一層困難となると考えられる。人の生活に欠かせない水道の維持に対しては、厚生労働省だけでなく、総務省や各地方自治体が一体となって今後の在

り方を考えていく必要がある。

1.7 水質検査上の課題（水質検査の簡略化可能性）

水質検査については水道法第 20 条により定めがあるが、実際の現在給水人口が 100 人以下の規模となった事業者にとっては、水質検査の実施や費用負担が非常に大きな問題となっている。また、規模が数十人程度の飲料水供給施設や飲用井戸等の小規模水供給システムにあっては、今後の持続可能な水供給システムを考えると、水質が安定している場合は、水道法を準用するだけでなく、更なる省略や検査回数の減が出来るような仕組みづくり等、水質管理の観点からの助言や取り組みも必要と考えられる。

2. 静岡県静岡市、青森県新郷村および五戸町、京都府福知山市、北海道富良野市を対象とした、行政部局並びに地元管理者と水道利用者に対する調査の実施

2.1 静岡県静岡市保健所管内の状況

民営簡易水道と飲料水供給施設の所管は衛生部局（保健所）が行い、上下水道局は全く関与していない状況であるが、平成 28 年 8 月起きた渇水による断水事故の際には上下水道局による給水車対応（有償）を行った。また事故の発生を契機に飲料水供給施設等の実態把握調査を行い、一定規模の給水区域外の施設に対し、施設設置への補助を行っている。また、施設統合を重要施策として推進しており、統合に向けて地元住民への提案・調整を行っている。

2.2 静岡市内の飲料水供給施設への調査

管理を行う 2 組合に対し、施設の管理状況と課題についてのインタビューを行った。高齢化により水源地の管理（巡回・清掃）が困難となりつつあり、動物による配管の破壊等もあることから今後が不安である。また、渇水による断水や、濁りといった水量・水質面での問題も多く、水源の変更、取水位置や方法の変更、近隣の他水道との統合など検討はするが、現在、水道料金の徴収はしておらず、改善に伴う費用負担が課題となっている。保健所による整備計画では、近隣の 3 つの飲料水供給施設の統合が推奨されており、一般的な水道料金の負担と補助金の活用により、将来にわたりメンテナンスフリーで水量・水質を確保した水道の整備が可能となるため、前向きに検討をしている状況である。また、市内にある別の飲料水供給施設に対しても現地調査並びにインタビューを実施した。以前は天候によって沢水に濁りが出ていたが、補助を活用し、施設整備（ステンレス製沈砂池・配水池）したことで現在は問題ではなくなったが、取水口の閉塞が度々あるため、清掃が必要であり負担となっている。しかし、この飲料水供給施設では、供給水の塩素消毒を行

っており、これはこの地区で行われる製茶に係るもので、茶葉の蒸し工程でカルキを含んだ水を用いるとカルキ臭を含む蒸気により茶葉に臭いが付着するため、またこれまでに健康上の問題が生じていないことから塩素消毒を実施していない。保健所としては、補助金を使用して施設整備を行ったにも関わらず塩素注入をしていないことは問題であると認識しており、塩素消毒に代わる紫外線照射装置の設置か、年間数日の製茶期間を除いて塩素消毒を行うことを微生物リスク制御の観点から提案している。

2.3 青森県新郷村における調査

村によると地元管理の小規模水道は17箇所あり、施設設置及び維持管理費用に対して補助を行っている。また、施設の一つを調査したところ、水量が不安定であり、しばしば断水も生じていたが、村へ要望し、集水タンクを設置したことで安定して水量を確保することが出来るようになった。管理組合によって料金徴収の状況は異なり、平成16年に村の公共水道への加入機会があったが、水道料金がかかることから、住民意思により加入を望まないこととなった。しかしながら、今後の高齢化や集落人口の減少から、村へ集水タンクの集約化と消火栓の設置といった広域的給水体制・管理体制への移行を要望している。

2.4 青森県五戸町における調査

町によると地元管理の小規模水道は8箇所あり、維持管理費用に対しての補助は行っていない。施設の一つを調査したところ、水源として深井戸（120～130m）を使用しており、水質面の問題は有しておらず、塩素もインライン注入される構造で、衛生的な管理をしている。しかし、従来25戸に配水をしていたが、上水道への加入を希望する者が組合を脱退し、現在は6戸まで減少、将来的には、八戸圏域水道企業団の上水道に加入する予定であるが、加入に際しての負担金は問題となる。

2.5 京都府福知山市における調査

平成18年の市町村合併を機に2地区の未給水区域について現況を調査し、調査報告書を作成した。この際、上水道からの水道水の供給の要望有無を尋ねており、2地区から要望が出されたため、水道事業としては赤字となるが、未普及地域解消へ向けた市長の決断を得て統合することとなった。

（国庫補助事業、京都府ふるさと水対策事業の活用）結果、残る水道未普及地域は1地区（2施設）のみとなったが、現時点では特に要望はなく、地元管理の飲料水供給施設として水の供給を行っている。しかし2施設にあっては、塩素消毒はしていないため、配水された水を生で飲むことはなく、水は生活用水として使用している。（飲み水

は別途購入、調理水等としての煮沸利用はあり。）もう1施設は、水質検査は行っていないが、良質な水であると考えられ飲み水にも使用している。塩素注入は行っていないが、市が導入を推奨した際の補助制度を活用し、個々で塩素注入設備を設置しているが、設置後しばらくするとメンテナンス会社が点検等に来なくなり、正常に作動しているかは不明である。

2.6 北海道富良野市における調査

市内に組合営の4専用水道、14飲料水供給施設があり、自律的管理が可能な施設もあるが、20年程度前から、高齢化に伴い維持管理の継続が困難であり、市の管理を求める声が多くなった。市は補助率の引き上げを行い、施設・設備の改修を進めている。しかし、すべての飲料水供給施設の状況を把握できておらず（1/3程度）、要望のない施設の実態は不明である。また、移住者からの見方・要求は厳しく、クレーム等が発生しやすい。

2.7 発言データ分析による住民の意識構造の可視化

調査で得た発言データを記録し、それらを言語データとして文字化した。これにより、回答者の関心事項、状況などを抽出した。自動処理によってデータ中から言葉を取り出して多変量解析を行うことで、分析者の予断を極力与えない形で、データ中にどのような話題が多く含まれたかを明らかにできる。

2.8 調査結果を踏まえた考察

これまでの調査結果を踏まえ、1)支援体制構築の重要性、2)住民による管理が可能となるための要件と展望、3)衛生部局の取り組みと水道部局との連携・協力、4)浄水処理装置に関する課題、5)可視化された住民の意識構造について指摘する。分析によって、住民の意識構造を可視化することができ、これらの結果は、地元住民とコミュニケーションすべき事項、およびその際に重要となるポイントを提示しているものといえる。また、彼らが重要視している点に対して重点的に支援を行うことでも有効と考えられる。一方、ある地域では、コンパクトシティ形成の可能性などを住民に提案し、役場周辺の村が管理する水道の利用を促す施策を展開していたが、愛着のある代々受け継ぐ土地を離れる人はおらず、現実的な提案とは言い難かった。集落の合併という手法もあるが、過疎集落の隣も過疎集落という状況からおそらく解決の決定打にはならない。過疎集落が合併した場合、一時期集落の人口が増えるが、根本的な問題解決に繋がらないことも指摘されている

3. 濁度及び大腸菌除去特性の検証実験結果

3.1 原水濁度およびろ過速度による比較

上向流式ろ過において、原水濁度及びろ過速度

の違いによるろ過水濁度の変化を比較した結果、原水濁度の変化については、原水濁度 50 度と 30 度において、ろ過水濁度の大きな変化がない一方、原水濁度 10 度においてはろ過水濁度の大きな低減が見られた。また、ろ過速度の変化については、ろ過速度 20m/日と 15m/日において、ろ過水濁度の大きな変化がない一方、ろ過速度 10m/日と 5m/日においてはろ過水濁度の大きな低減が見られた。このことから、上向流式ろ過方式により、クリプトスポリジウム等対策指針の要件であるろ過水濁度 0.1 度以下を維持するためには、原水濁度 50 度以下、ろ過速度 5m/日以下であることが望ましいと考えられた。一般的な緩速ろ過方式の最大許容濁度が 10 度、ろ過速度が 4~5m/日であることを考えると、十分な値と言える。

続いて、原水濁度及びろ過速度の違いによる微粒子数の変化を比較し、原水中の微粒子数は濁度により大きく異なるものの、粒径毎の微粒子の含有率は同程度であった。また、原水濁度を変化させた場合のろ過水中の微粒子数は、原水濁度 50 度と 10 度において約 100 万個と同程度である。さらに、原水濁度及びろ過速度の違いによる微粒子及びろ過水濁度の除去率を比較した結果、濁度の数値に大きな影響を与える $1\mu\text{m}$ 以上の微粒子の除去率については原水濁度またはろ過速度の低減によってろ過水濁度の除去率が上昇すると微粒子の除去率についても向上していることが分かった。

クリプトスポリジウムの大きさは $4\sim6\mu\text{m}$ 、ジアルジアの大きさは長径 $8\sim12\mu\text{m}$ 、短径 $5\sim8\mu\text{m}$ であるため、次に、 $3\mu\text{m}$ 以上の微粒子について着目し検討を行った。ろ過水濁度の平均値が 0.1 度となった原水濁度 50 度、ろ過速度 5m/日での $3\sim7\mu\text{m}$ 、 $7\sim12\mu\text{m}$ の除去率はそれぞれ 4.7log、4.9log と高い除去率となった。これは、Ottawa パイロットプラントでの最適な運転条件下におけるクリプトスポリジウムの除去率が 4.9~5.8log である¹⁾ことを考えると、同程度の除去効果を有していることとなる。これは上向流式ろ過システムを原水濁度 50 度以下、ろ過速度 5m/日以下にて運用した場合、ろ過水濁度が 0.1 度以下、クリプトスポリジウム等の除去効果が 5log 程度を期待できるため、緩速ろ過システムとして十分適用可能であると言える。

3.2 ろ過方式の違いによる比較

上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過および急速ろ過の濁度の推移を比較した。共に原水濁度は 50 度であり、緩速ろ過のろ過速度は 15m/日、急速ろ過のろ過速度は 120m/日である。濁度除去性能は、良い順番に急速ろ過、下向流式緩速ろ過、上向流式緩速ろ過であり、どのろ過方

式も水質基準をクリアしているが、クリプトスポリジウム等対策指針である濁度 0.1 度をクリアしているろ過方式は急速ろ過のみである。急速ろ過は、凝集沈殿およびろ過という 2 つのプロセスを経ての結果であるため、処理性の観点からは極めて有力であるが、ろ過閉塞やろ過池の洗浄の観点から考えると維持管理に多くの作業が必要となる。

3.3 上向流式と下向流式ろ過の深度別の砂の濁室捕捉量調査

濁度 50 度原水、ろ過速度 15m/日における上向流式緩速ろ過と下向流式緩速ろ過において、除去作用の違いを見るため、ろ過砂を 5 cm 毎に採取し、砂層 1 g あたりの濁質捕捉量を比較した。上向流式緩速ろ過では、下層から上層に向かって濁質捕捉量は落ちているが、ほぼ全層にわたって捕捉している。一方、下向流式緩速ろ過では、上層部でかなりの量の濁質を捕捉しており、これは、ろ過砂表面にカオリンが堆積していることが主因である。この堆積したカオリンとろ過砂による篩い分け作用によって濁質物質を捕捉しており、典型的な表層であることが分かった。

3.4 上向流式緩速ろ過連続ろ過実験

実際に小規模施設でみられる原水濁度 2 度、ろ過速度 5m/日で洗浄なしで連続的に上向流緩速ろ過を行う実験を約 2 箇月に渡り行った結果、濁度は変動しながらも 0.1 度以下で推移した。

3.5 上向流式緩速ろ過の毎回洗浄有り（未成熟）と洗浄無し（成熟）のろ過水濁度の比較

上向流式緩速ろ過層の砂層は洗浄後も多少膨張していると考えられ、実際には連続して使用されるので、ここでは毎回洗浄無し（初回のみ洗浄ろ過層）でのろ過と、毎回洗浄有りの結果と比較した。以後、原水濁度 2 度で連続通水したろ過層を成熟ろ過層（延べ 20 日間未洗浄でろ過したろ過層、または洗浄無し）と未成熟（毎回洗浄したろ過層、洗浄有り）について変化を観察した。毎回洗浄有りのろ過水濁度は、無しに比べて常に高く、ろ過速度 20m/日では約 3 倍高いこと示している。毎回洗浄無しについて、ろ過速度 5, 10, 15, 20m/日、原水濁度 2, 5, 10, 30, 50 度で 24 時間ろ過を行った。ろ過水濁度（24 時間平均値）を示すと、原水濁度 2, 5, 10 度までは濁度 0.1 度未満であり、原水濁度 30 度、50 度ではろ過速度 15m/日で若干上昇し、20m/日で急激に上昇した。毎回洗浄無しの場合、ろ過水濁度 0.1 度以下を維持するためには、原水濁度 50 度以下、ろ過速度 10m/日以下であることが望ましい。これは洗浄有りの場合ろ過速度 5m/日以下と比較すると若干向上している。

3.6 上向流式緩速ろ過における濁度及び大腸菌除去に関する研究

ろ過水濁度については、各実験フェーズ安定し、0.1 度未満であった。また、各実験フェーズにおける大腸菌数は、すべての検体で大腸菌を検出したため、除去率の計算を行った結果、原水の大腸菌数はほぼ想定どおりのオーダーとなった。次に、成熟ろ過層における大腸菌除去率は、上向流式緩速ろ過での大腸菌の除去率は 2.7log~2.9log、下向流緩速ろ過での大腸菌除去率は 0.15log~0.95log と、上向流式緩速ろ過に比べて低かった。また、上向流緩速ろ過ではろ過速度を上げても大腸菌の除去率は大きく変化しなかったが、下向流式緩速ろ過ではろ過速度を上げるに従って除去率が低下した。全体の除去率をろ過速度毎に比較すると、ろ過速度を上げるほど除去率は低下した。成熟ろ過層と未成熟ろ過層における工程毎の大腸菌除去の結果と、上向流式緩速ろ過におけるろ過速度毎の除去率から、成熟ろ過層では上向流式緩速ろ過で 2.7log~2.9log の大腸菌が除去できている。また、ろ過速度を変化させても除去率にそれほど変化はなかった。それに対して未成熟ろ過層では上向流式緩速ろ過では除去率が 1.2log~1.5log と低くなり、更に、ろ過速度を上げるほど除去率は悪くなった。

ここで、粒径別の微粒子除去率を成熟砂層と未成熟砂層で比較した。特に、大腸菌の大きさは 2~4 μm であるため、3~7 μm における除去率に注目した。成熟砂層での 3~7 μm の微粒子除去率は 2.7log~3.2log で、成熟砂層での大腸菌の除去率 (2.7log~2.9log) とほぼ一致した。一方で、未成熟砂層の 3~7 μm の微粒子除去率は 2.4log~2.5log で、未成熟砂層での大腸菌の除去率 (1.2log~1.5log) とは一致しなかった。このことから、ろ過による濁質の除去プロセスと大腸菌の除去プロセスは異なることが示唆された。

4. 小型紫外線消毒装置の実証実験結果

4.1 原水水質

当該試料は、試験期間を通じて、総じて極めて清澄な水質であり、また、実証試験原水の水質概要から、原水は試験期間を通じて概ね同等の高い紫外線透過率であったと推察された。

4.2 原水および処理水の微生物測定結果

原水および装置 A 処理水、装置 B 処理水中の大腸菌、大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌の濃度変動の結果としては、原水中の大腸菌、大腸菌群、一般細菌、従属栄養細菌は不検出または概ね低い濃度で推移した。住民からは、原水について野生動物由来の糞便汚染が気になるとの意見があったが、本研究で測定した範囲では大腸菌の濃度が総じて低く、糞便汚染の兆候は見られなかった。しかし、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設定値 (2000

CFU/mL) を超過する場合があったことから、常時飲用に供するには消毒処理が望ましいと判断された。

処理水では、装置 A, B いずれの場合も全ての微生物項目において濃度が低下し、さらに、検出率も低下した。特に、装置 B では 1 年間を通して大腸菌不検出を達成した。ただし、本研究での検水量は実務上の制約からすべて 1 mL であり、水道水質基準に定める「100 mL 中に大腸菌が検出されないこと」と比較するには検水量を増加した慎重な判断が必要である。装置 A, B による大腸菌の不活化については、実験室で事前に評価した結果から、装置 A は 2 L/min で 2.5log 以上、装置 B は 10 L/min で 5.0log 以上の不活化性能を確認していた。一方、実証試験では、原水中の大腸菌濃度が最大 1.5 CFU/mL にもかかわらず装置 A の処理水中に大腸菌を検出したケースがあった。この要因はさらなる検討を要するが、一つの可能性として、実験室で継代培養した純粋株と環境中の野生株で紫外線に対する感受性が異なることが挙げられる (Hijnen *et al.* 2006)。

一般細菌については、装置 A 処理水中の濃度でやや高く検出されたことがあるものの、試験期間全体を通じた装置 A による一般細菌の不活化率の変動幅の概ね範囲内であり、検出時の両日の原水水質も平均的であった。従属栄養細菌については、原水および処理水から検出されたコロニーは全て乳白色で、処理前後でコロニーの形態や色調に変化は見られなかった。装置 A, B による従属栄養細菌の不活化率を示す中で、特に従属栄養細菌の不活化率に注目した理由は、その他の微生物項目 (大腸菌、大腸菌群、一般細菌) では処理後に不検出となった試料が多く、処理による不活化率が初期濃度に支配されて装置性能を適切に評価しにくいためである。装置 A では、1 年間すべての処理水で低濃度ながら従属栄養細菌が検出され、従属栄養細菌の不活化率は最大 1.5log 程度、平均 0.77log 程度 (n=21) であった。平均で 1log (90%) に満たない不活化率は、従属栄養細菌の紫外線耐性が一般に高いこと (Oguma *et al.* 2018) と整合しており、原水水質や用途によっては通水する処理流量を低減させるなど運転操作上の対応が望ましいと考えられた。一方、装置 B では、処理水中に従属栄養細菌が検出された試料における不活化率は最大 3.0log 程度、平均 1.8log 程度 (n=17) であった。ただし、処理後に不検出となった試料が 4 試料あったため、この値は装置 B の不活化性能を過小評価している可能性がある。装置 B の潜在的な処理性能を適切に把握するには、今後、より微生物濃度の高い原水を用いた実証試験による長期的な装置性能評価

が望まれる。

従属栄養細菌の不活化効果を累積運転時間で整理した結果、時間経過に伴い不活化率が低下する明確な傾向は認められなかった。運転時間約 5500～6700 時間において、装置 A による不活化率が見かけ上、低下した原因は不明であるが、原水の水温やその他水質項目についてこの期間に特徴的な変化はなく、運転 6700 時間以降の不活化率は 5500 時間以前と同等にまで回復したことから、装置性能の不可逆的な経時劣化というよりは一時的な変動と推察された。

およそ 1 年にわたる実証試験の終了後、UV-LED 装置を回収・分解し、内部を調査した。装置躯体（紫外線照射槽）の内部（接液部）を観察すると、装置 A、B ともに未使用品と比較して内部表面への目立ったスケール付着や汚損はなかった。装置 A、B の紫外線照射槽は、主にポリテトラフルオロエチレン（Polytetrafluoroethylene, PTFE）が用いられ、紫外線を反射して不活化効率を高めるよう設計されている。よって、長期に渡る使用において照射槽内部にスケールや汚れが発生すると反射光量の減少による不活化性能低下が懸念されたが、本試験で検証した範囲では目立ったスケールや汚れがなく、約 1 年間の連続運転中に経時的な不活化率の低下傾向が認められなかったことと整合した。

5. 小規模水供給システム向けの簡易消毒手法の適用性に関する実験的検討

5.1 簡易型塩素供給器を用いた残留塩素濃度の制御および大腸菌不活化性能

残留塩素濃度の制御として、簡易型塩素供給器および錠剤型塩素消毒剤を用いてタンク内の残留塩素濃度の制御を試みたところ、供給器を最も閉塞した条件において、通水 60 分後までのタンク内の残留塩素濃度は上層・中層・下層ともに $0.19 \sim 0.29 \text{ mg/L}$ の範囲であったものの、通水 24 時間後はいずれも 50 mg/L 程度に達した。いずれの条件下でも、簡易型塩素供給器の内部では錠剤型塩素消毒剤が溶解して高濃度の次亜塩素酸カルシウム溶液が形成されており、装置外部に徐々に浸出している状況にあった。特に簡易型塩素供給器の開口部が大きい条件では、高濃度の塩素溶液が速やかにタンク下部に到達し、10 分以内に 2.0 mg/L （定量下限値）を超える高濃度の残留塩素が観察された。

また、大腸菌の不活化性能の実験として、タンク内に大腸菌原液を 1000 倍希釈となるよう添加し、簡易型塩素供給器および錠剤型塩素消毒剤を用いて塩素消毒実験を行った。経過時間における大腸菌の生残率は、塩素供給器の開口部が大きい条件の大腸菌生残率は 3.8×10^{-4} まで（残留塩素

濃度 $0.08 \sim 0.11 \text{ mg/L}$ の範囲）、開口部が小さい条件のものは 4.5×10^{-2} まで（残留塩素濃度 $0.05 \sim 0.10 \text{ mg/L}$ の範囲）低下した（大腸菌の初期濃度は $2.5 \times 10^4 \sim 6.0 \times 10^4 \text{ CFU/mL}$ ）。

5.2 小型紫外線 LED (UV-LED) 装置を用いた大腸菌不活化性能に関する実験

各装置に通水し、紫外線消毒に供した後の大腸菌の log 不活化数から、小型 UV-LED 装置を用いた紫外線消毒実験における通水流量と大腸菌生残率の関係を示した。定格最大流量における大腸菌の生残率は、PearlAqua Micro™ 6B (1.5 L/分) が 1.3×10^{-2} 、12C (4.5 L/分) が 1.8×10^{-3} であった。6B については、定格最大流量の倍となる流量 3.0 L/分 での生残率は 8.6×10^{-2} 、半分となる流量 0.75 L/分 での生残率は 1.7×10^{-3} となった。また、12C については、定格最大流量の $2/3$ となる流量 3.0 L/分 での生残率は 1.2×10^{-3} 、 $1/3$ となる流量 1.5 L/分 での生残率は 2.8×10^{-4} となった。なお、大腸菌の初期濃度は 6B の実験時が $3.2 \times 10^3 \text{ CFU/mL}$ 、12C は $1.2 \times 10^4 \text{ CFU/mL}$ であった。

5.3 簡易型塩素供給器を用いた残留塩素濃度の制御および大腸菌不活化性能に対する考察

簡易型塩素供給器は、60 分程度の短時間であれば、開口スリットの調整により $0.1 \sim 0.3 \text{ mg/L}$ 程度の残留塩素濃度の保持が可能であったが、これは供給器内部の高濃度次亜塩素酸カルシウム溶液の外部への初期浸出を遅らせるのみであり、長時間にわたって継続的に残留塩素を低濃度（ $0.5 \sim 1.0 \text{ mg/L}$ 程度）で制御することは困難であると考えられた。また、塩素剤のタンク内への溶出により、10 分以内に最大で 3 桁（99.9%）以上、大腸菌を不活化可能であることが確認されたものの、タンク内の水流が不定であること等により、残留塩素濃度ならびに大腸菌濃度の測定値にばらつきが生じ、再現性に欠ける面があった。このため、今回検討した塩素供給方法は、配水タンク内で低濃度の残留塩素を一定かつ均一に保持する点で課題があることが明らかとなり、1) 錠剤型塩素剤の溶解速度を制御し、所定濃度の塩素溶液を調整する手法、2) 塩素溶液を一定量（あるいは浄水の流量に応じてタンク内に注入する手段、3) 水流に循環や乱れを生じさせるなどタンク内部に滞留を生じない設計、といった点の改良などにより、適正な残留塩素濃度ならびに消毒性能を安定して保持することが可能になると考えられる。

5.4 小型紫外線 LED (UV-LED) 装置を用いた大腸菌不活化性能に関する実験に対する考察

今回用いた小型 UV-LED 装置は、メーカー公称値である 99.99% の不活化性能までは確認されなかったものの、定格最大流量での大腸菌不活化率

として 99.82% (12C) ないし 98.73% (6B) が確保されていた。流量を低下させるに従って、装置内での紫外線照射線量が増大するため大腸菌不活化率は向上し、12C では 99.97% (定格最大流量の 33.3%)、6B では 99.83% (定格最大流量の 50%) まで確認された。一方、6B にて流量 3.0L/分 (定格最大流量 200%) にて通水した場合には、紫外線照射線量の低下により、大腸菌不活化率は 91.42% まで低減した。以上のことから、大腸菌不活化率は小型 UV-LED 装置への流量に大きく依存するものの、定格流量の範囲であれば 99.9% 程度の大腸菌不活化が可能であることが示された。

また、各小型 UV-LED 装置を常時 (24 時間) 運用すると仮定した場合、12C の定格最大流量は 4.5L/分、6B は 1.5L/分であり、1 人あたり 1 日平均給水量を 300L/人/日と設定すると、装置 1 台につき、最大 21.6 人分 (12C) ないし 7.2 人分 (6B) の給水量に対して消毒が可能であること、各装置とも UV-LED ランプの寿命は公称値で 1 万時間とされているため、1 年強 (416 日) にわたって使用可能であると推定された。ただし、当該装置は UV-LED の照射時に常時通水されていることが必要であり、照射部に空気がある状態ではランプが焼き切れるなど影響を及ぼすとされているが、実験時には UV-LED が点灯しているのか外部からの判断が難しかった。通水時のみ UV ランプに通電されるスイッチを追加する、ランプが点灯しない (あるいは出力が低下している) 際に外部から判断できるセンサーを設けるなど、現場での UV-LED ランプ運用と管理が適切かつ容易に行えるような改良が必要と考える。

6. 維持管理の状況等実態についての調査

6.1 集落外部の団体との連携状況

103 集落へ調査紙を郵送し、76 集落からの回答が得られた (回収率 73.8%)。維持管理の作業を連携・協力し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%) であり、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ことが明らかとなった。

連携・協力したことがある 14 集落では、主に「専門性の高い技術が必要となった」、「自然災害を受けた」、「飲料・生活用水供給施設の老朽化」といった経緯から連携・協力することとなった。また、連携・協力を行ったことがない集落 (61 集落) では、主に、「自分達の水道は自分達で管理すべき」、「維持管理への負担は感じておらず、必要性を感じていない」、「連携・協力への興味はあるが、外部団体の情報を知らず行動できなかった」といった理由から外部団体との連携・協力を行っていないことが分かった。このことから集落

にとって飲料・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、会計に余裕がないといった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。

6.2 維持管理および記録保存に関する調査

448 集落へ調査紙を郵送し、185 集落からの回答が得られた (回収率 41.3%)。回答を得た集落の大半は、給水戸数 25 戸、給水人口 50 人以下の小規模な集落であり、給水戸数 10 戸の集落が回答数の約 37%、給水人口 30 人以下の集落が回答数の約 52% を占めていた。これらの集落の水供給施設の水源は、表流水を使っている集落が最も多く 67 集落 (約 36%)、次いで多いのが地下水の 63 集落 (約 34%)、湧水は 51 集落 (約 27%) であった。また、水源から各家庭 (供給先) までの送水方法としては、配水池から各家庭までは自然流下を行っているところがほとんどであるが、原水から浄水施設あるいは浄水施設から配水池への行程でポンプを使っているとの回答が合計で 96 件あり、大半の集落がポンプ設備を有している状況であった。塩素消毒の有無について、塩素消毒ありと回答した集落は 76 集落 (約 40%) で、塩素消毒なしと回答した集落は 97 集落 (約 52%) であった。集落の水供給施設の主な使用用途として、ほぼ全ての集落が飲料水として使用していることが分かった。

これまでに断水や水質汚濁、機器の故障などの影響により集落の大半で水が使用できなくなったことがあるかとの問いに、119 集落 (約 64%) では使用できなくなったことがあるとの回答があった。その際、トラブルの記録をとっているかとの問いには、毎回またはある程度は記録をとっている集落は 65 集落 (約 35%) であり、全くとっていないと回答した集落は 77 集落 (約 42%) であった。断水等のトラブルが生じたことのある集落に対し、その事象の発生頻度や主な原因、復旧までの日数、その間の水の調達方法を尋ねた結果、集落の大半で水が使用できなくなったことがあると回答した 119 集落より 132 件の回答を得た。この回答によると、多くの集落では大半で水供給が停止するという事態に見舞われることが頻繁にありながらも、復旧までの日数が長い事象はまれであったことから、その多くは復旧まで我慢するか近場の水源から水を自己手配することで、断水事象に対応していることを把握することができた。

6.3 水供給施設の維持管理に関する記録、管路に

関する記録の状況

水供給施設の設備点検、水質検査に関する記録の有無についての回答結果として、水源・取水設備、浄水設備、送水・ポンプ設備、消毒設備について点検の記録をとっている集落は24～30集落であった。一方、これらの設備について点検記録をとっていない、あるいはわからないと回答した集落は155～161集落であり、回答のあった集落の半数以上が点検の記録を残していないことがわかった。また、水質検査の記録については、記録をとっている集落が53集落であり、記録をとっていない集落も86集落であった。設備の点検記録よりは記録をとっていると回答した集落が多かった。

管路に関する記録の状況について、配管図（管路敷設図）を有している集落は71集落（約38%）、配管図がないと回答した集落は73集落（約39%）であった。漏水箇所・管路の更新状況についてはそれぞれ107集落（約58%）、101集落（約55%）が記録をとっていないと回答した。

6.4 水供給施設の運営（財政、維持管理マニュアル）

収支の記録については、半数以上の101集落（約55%）から記録ありとの回答があった。他方、将来の財政の見込み・予測については、あると回答したのは32集落（約17%）のみであり、その他の集落はなし（83集落）あるいはわからない（35集落）との回答であった。

水供給施設の管理方法などを記載した維持管理用のマニュアルや引き継ぎ書等の所有状況を確認したところ、ありと回答した集落は38集落、ないと回答した集落は約半数の100集落であった。水供給施設に関する役員や維持管理担当を持ち回りで行っている集落が多いのが現状であるが、その方法については文書化されていない状況が示された。

6.5 管理の負担感、管理の一部支援

水供給施設の管理を組合や役員等で行うことに対する負担感について、「とても負担に感じている」、「少し負担に感じている」との回答が、合わせて86集落からあった。他方で、「あまり負担に感じている」「全く負担に感じている」との回答が、52集落からあった。前者の負担と感じるとの回答に対し、作業項目が重いと感じる項目を集計した結果、取水設備の管理（点検、清掃、増水後の堆積物除去）、ろ過池作業（砂の入れ替え、堆積物の除去）、タンク清掃（堆積泥・砂の除去）、薬液補充（塩素補充）、草刈り（施設周りの草刈り）、検針、集金、断水時や水圧低下時の対応、管路破損事故時の対応が挙げられた。

水供給施設の管理にあたり、その一部を支援し

てくれる団体（NPO 団体やボランティア団体等）があれば、手伝ってほしいかを尋ねた結果、手伝ってほしいと回答した集落が45集落、手伝ってほしくないと回答した集落が32集落、分からないと回答した集落が70集落であった。「手伝ってほしい」集落に対し、どのような作業を手伝ってもらいたいかを質問したところ、こちらが挙げた作業項目のほぼすべての項目について手伝ってもらいたいという回答があり、支援がほしいと感じている、また、作業項目が多岐にわたることが分かった。

6.6 連携や研修会の状況

水供給施設の管理を行政や他の集落と連携、協力して行っているかとの問いに対して、行っていないという回答が多く104集落（約56%）からあり、行っているという回答が72集落（約34%）からあった。また、水供給施設の管理に関する講習会や研修会があるかを尋ねたところ、講習会や研修会があると回答した集落は52集落で、全体の約28%に過ぎなかった。しかし、あると回答した集落のうち48集落が、講習会や研修会は施設の管理に役立っていると回答しており、役に立っていない、役に立っているか分からないという回答は1集落のみであった。

6.7 調査結果のまとめと考察

集落外との連携については、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。実施していない理由として、自分たちの水道は自分たちで管理するべき、と考えていることが大きな要因であることが今回の調査で把握できた。また、連携等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。また、複数の集落、市町において講習会や研修会実施に水道事業者が係わっていることが確認でき、これらを含めた場合、3割強の集落が外部との連携・協力を行っている状況にあるものと推察された。講習会や研修会については回答を得た集落のうち9割以上の集落が水供給施設の管理に役立っていると回答しており、効果的な方策となり得ることが確認できた。

維持管理において負担が重い作業項目については、取水設備の管理（点検、清掃、増水後の堆積物除去）、ろ過池作業（砂の入れ替え、堆積物の除去）、タンク清掃（堆積泥・砂の除去）、薬液補充（塩素補充）、草刈り（施設周りの草刈り）、検針、集金、断水時や水圧低下時の対応、管路破損事故時の対応があげられた。平成29年度に実施したヒアリング調査においても、人口が少ない小規模の飲料水供給施設では、高濁時の対応、ろ

過池の管理、消毒剤の補充等に手間がかかり、困難であることを聞き取っていたが、それらを裏付ける結果となった。また、調査の結果から、水源の点検・清掃やろ過槽の清掃などについて集落外部の支援団体からの協力が欲しいと回答した集落を確認できたことから、集落と水道事業体の連携のみならず、集落と支援団体とが連携した維持管理方策の実現可能性と利点を検討する価値があるものと思われる。

設備の点検管理の記録や管路の漏水箇所・更新状況の記録については、記録を有していないという集落が全体の約半数を占めており、設備の点検管理の記録を残している集落は約 15%、管路の漏水箇所・更新状況の記録を残している集落は約 10%にすぎなかった。維持管理用のマニュアルや引継書についても半数強の集落が文書化していないという回答であり、今後の維持管理作業にこれまでの記録や文書を活用できる可能性は低いことが明らかとなった。一方で集落の大半で水が使用できなくなるようなトラブル事象については何らかの記録を残している集落が多く、水質検査の記録や収支の記録についても多くの集落が記録を残していた。小規模集落では管理作業にあたる構成員が限られるため管理自体の作業負担を減らす必要があることと、日常的な作業については口頭での伝達で用が足り、必ずしも記録や手引きを文書で残す必要があるわけではないことを反映しているものと思われる。一方で、トラブルや収支についてはその重要性から記録が残されているものと思われる。点検や管理作業の質の向上や負担低減のためには、管理の状況や方法をなんらかの形で文書化しておき、それを活用することが重要と思われるが、文書化するという行為の負担とメリットとのバランスをよく考えたうえで、その方法を提案する必要があるものと思われる。

E. 結論

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。特に、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、様々な実験や調査、検討を行った。

1. 小規模水供給システムを有する地域においては、人口減少や住民の高齢化、施設の老朽化など多くの課題を有しており、その解決に向けての取り組みを早急に行うことが求められてきている。今後、実態に基づいた事例の検討を進め、現場で活用しやすい情報の提供や現場での活用を行い、

広く情報提供を行っていく必要があると考える。今回、小規模水供給システムを直接指導する立場の都道府県等の衛生部局担当者（特に、市の衛生部局担当者）に向けて、相談時や指導時などに活用出来る相談票等を作成し提供することとし、今後はこれらの職員に対しての相談体制や情報提供体制の確立も重要であると考ええる。

全国的な課題として、小規模水供給システムを有する施設の実態や衛生対策を行う体制の把握が十分でない状況もあるため、今後ますます関係機関と連携を図り、引き続き小規模水供給システムを有する地域に対して、衛生的な水の供給を継続し続けるための支援を行っていききたいと考える。

2. 静岡県静岡市、青森県新郷村および五戸町、京都府福知山市、北海道富良野市において、地元管理されている水道施設の調査を行い、昨年度対象とした奈良県十津川村での調査結果と併せて、1) 支援体制構築の重要性、2) 住民による管理が可能となるための要件と展望、3) 衛生部局の取り組みと水道部局との連携・協力、4) 浄水処理装置に関する課題、5) 住民の意識構造の可視化、といった諸点を指摘した。

3. 小型緩速ろ過実験装置を用いて、ろ過方向やろ過速度、原水濁度を変更して、ろ過水濁度及び微粒子の除去率を測定し、上向流式緩速ろ過の濁度除去特性の検証を行った。この結果、上向流式緩速ろ過方式において、クリプトスポリジウム等対策指針の要件であるろ過水濁度0.1度以下を維持し、クリプトスポリジウム等と同等の大きさの微粒子を除去するためには、上向流式緩速ろ過システムを原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下にて運用した場合に、ろ過水濁度が0.1度以下、クリプトスポリジウム等の除去効果が5log程度を期待できることが分かった。砂層の濁質調査から下向流緩速ろ過は濁質が圧倒的に表層に多いのに対し、上向流緩速ろ過は底層から中層にかけて捕捉していたことから、小規模水道の懸濁物質の除去施設として上向流緩速ろ過装置は十分適用可能であると言える。

また、小型緩速ろ過実験装置を用いて、原水濁度2度でろ過槽の成熟、未成熟度別に、ろ過速度を変更させ、ろ過水濁度と大腸菌を測定した結果、成熟・未成熟ろ過層ともろ過水の濁度は常に0.1度以下で、安定したろ過ができ、流速を20m/日まで段階的に上げて濁度の大きな上昇は見られなかった。成熟砂層での3~7 μ mの微粒子除去率は2.7log~3.2logで、成熟砂層での大腸菌の除去率（2.7log~2.9log）とほぼ一致したが、未成熟砂層の3~7 μ mの微粒子除去率は2.4log~2.5logで、未成熟砂層での大腸菌の除去率（1.2log~1.5log）とは一致しなかった。このことから、ろ

過による濁質の除去プロセスと大腸菌の除去プロセスは異なることが示唆された。

4. 本研究により得られた主な結論として、1) 未処理水では、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2000 CFU/mLを超過する場合があったことから、常時飲用には消毒が望ましいと考えられた。2) UV-LED処理水では、未処理水に比べて細菌の濃度、検出率とも総じて低下し、処理水中の最大検出濃度は大腸菌0.5 CFU/mL、大腸菌群1.0 CFU/mL、一般細菌6 CFU/mL、従属栄養細菌485 CFU/mLで推移し、試験期間を通じて大腸菌不検出を達成した機種もあった。3) UV-LED装置による従属栄養細菌の不活化率を装置の累積運転時間で整理した結果、時間経過に伴う不活化率の低下傾向は認められなかった。4) 実証試験供用後の装置内部に目立ったスケールや汚損等は観察されず、従属栄養細菌の不活化率に経時的な低下傾向が認められなかったことと整合した。といったことが挙げられる。本研究により、給水末端などで処理を行う分散型水処理技術の一つとしてUV-LEDを光源とする消毒装置を活用する可能性が示され、実証規模での約1年間に及ぶ試験結果は、世界的にも極めて貴重な知見であり、今後の装置開発や社会実装に資することを期待する。

今後の研究展開として、家庭ごとの給水栓だけでなく、集落規模で管理する小規模水供給施設などでの活用も実証規模での検証が求められるほか、本研究に比べて水質の悪い原水（微生物濃度が高い、紫外線透過率が低い、スケールを生じる無機成分が多い、など）を対象とした長期的な性能評価が望まれる。また、実務的には、処理流量や原水水質、設置場所、用途に応じて適切なUV-LED装置を選定する判断基準を示すことも重要である。本研究の知見を端緒として、UV-LED装置を活用した分散型水処理を検討し、山間の遠隔地などでも安全な飲み水を容易に得られるシステムの構築に貢献したい。

5. 小規模水供給システムを想定した簡易消毒手法の適用性に関する実験的検討を行い、錠剤型消毒剤を充填した浮遊式塩素供給器は、大腸菌の消毒効果は確保できたものの、残留塩素濃度を長時間にわたり均一的に保持することは困難であり、手法の根本的な改良が必要であることが示された。また、小型紫外線LED消毒装置は、定格最大流量の条件下で98.73%ないし99.82%の大腸菌不活化性能を有することが確認でき、安価かつ導入が容易であるため、小規模水供給システムにおいて効果的であると考えられた。

6. 岐阜県、京都府、島根県、岡山県、佐賀県、大分県、高知県において飲料水供給施設等の小規

模水供給システムを管理し使用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、集落役員が感じている負担感や作業負担の重い項目、水供給システムに対して感じている不安や意見を拾い上げるとともに、水供給システムの維持管理や断水等のトラブル発生の状況、設備の点検管理記録や財政の将来見通しの有無、行政や他の集落との連携状況、研修会等の有無、管理作業の一部を支援団体に協力してもらいたいかなどについて整理することを目的とした質問紙調査を行った。

結果として、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割弱にすぎなかったが、水質検査や断水時の対応、機器の修理・部品交換、研修会の実施など、市町の水道事業体や民間組織など集落外部の団体が関与して実施しているケースがあることが確認できた。また、老朽化施設や表流水を水源とする集落では、水供給システムの点検や清掃等の維持管理を頻繁に行わなければならないが、人口減少・高齢化により、維持管理活動の負担が大きなものとなっていることが自由回答から確認することができた。質問紙調査の結果から、集落にとって負担が重いと感じられている維持管理作業は設備の点検・清掃、薬液補充、検針・集金などの作業であった。また、作業負担自体は重いと感じられてはいないが、維持管理や修繕の記録が十分に取られていない実態が明らかになった。

今後は、本調査による結果を基礎資料とし、集落外の団体と集落住民との連携による維持を前提とした水供給システムの運用に対する関係者の意向を明らかにするとともに、技術面及び運営面の課題や実現可能性の検討を行う。

これらの知見から、今後更に衛生行政、水道部局、住民、関連団体の連携を図り、技術面、制度面、財政面の改善が図られるよう情報共有の方法を改善する必要がある。

F. 健康危険情報

なし

G. 研究発表

1. 論文発表

中西智宏、岸本如水、小坂浩司、伊藤禎彦：浄水中微粒子による配水管内環境の形成過程のモデル化とその制御性、土木学会論文集G(環境)(環境工学研究論文集 第56巻), Vol.175, No.7, pp. III_53-III_63, 2019

Tomohiro Nakanishi, Josui Kishimoto, Kouki Tarui, Jungo Kitada, Yasuhiro Asada, Koji Kosaka and Sadahiko Itoh: Accumulation of

- Suspended Particles in Water Distribution System and Its Control Strategies, The 11th International Symposium on Water Supply Technology in Yokohama Proceedings, pp.208-215, 2019.7.
- Xinyi Zhou, Théo Welfringe, Koji Kosaka, Tomohiro Nakanishi and Sadahiko Itoh, Characteristics of Manganese Accumulation in Drinking Water Distribution Pipelines, The 11th International Symposium on Water Supply Technology in Yokohama Proceedings, pp.216-223, 2019.7.
- 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, 2020. 掲載決定 (印刷中).
- 政池美映, 小熊久美子, 橋本崇史, 滝沢智. 凝集状態にある大腸菌の紫外線不活化特性. 土木学会論文集 G(環境), 56, III_85, 2019.
- 佐渡 友康, 小熊 久美子, 橋本 崇史, 風間 しのぶ, 滝沢智, 深紫外 LED を用いた紫外線のパルス照射による大腸菌の不活化, 土木学会論文集 G(環境), 56, III_91, 2019.
- Bernice Yu Jeco, Aris Larroder and Kumiko Oguma. Techno-social feasibility analysis of solar-powered UV-LED water treatment system in a remote island of Guimaras, Philippines. Journal of Photonics for Energy, 9(4), 043105, 2019. doi: 10.1117/1.JPE.9.043105.
- Kumiko Oguma, Surapong Rattanakul and Mie Masaike. Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light-emitting diodes. Water Science and Technology: Water Supply 19(5): 1507-1514, 2019. doi: 10.2166/ws.2019.022
2. 学会発表
- Sayaka Hori, Sadahiko Itoh: Small water supplies and local ordinance with population decline, The 11th International Symposium on Water Supply Technology in Yokohama Proceedings, p.78, 2019.7.
- Xinyi Zhou, Koji Kosaka, Tomohiro Nakanishi, Sadahiko Itoh: Influence of Mn Species on its Accumulation in Drinking Water Distribution System, Proceeding of Water and Environment Technology Conference 2019, p.106, Osaka University Suita Campus, 2019.7
- 堀さやか, 伊藤禎彦 : 人口減少下における水道料金値上げに対する支払い意思に係る要因分析, 環境衛生工学研究, Vol.33, No.3, pp.94-96, 2019.7
- 堀さやか, 伊藤禎彦 : 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, 令和元年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.28-29, 2019.11
- 堀さやか : 中山間地域における小規模水道設備の実態, 国際公共経済学会第 8 回春季大会, 2020.3
- 中谷英嗣, 萩原 健太, 梶木慶太, 井上史臣, 安達吉夫, 浅見真理. 上向流式緩速ろ過の濁度除去特性に関する研究. 令和元年度 水道研究発表会講演要旨集. 2019.11
- Kumiko Oguma, UV Disinfection of Water: Current Status and Future Perspectives, July 10, 2019, International Symposium on Water Supply Technology, Yokohama
- 小熊久美子, 小規模水供給システムに適した 紫外線処理の検討, 2019 年 9 月 3 日, 東京, 小規模水供給システムのあり方に関するシンポジウム
- Kumiko Oguma, Toward Sustainable Water Use in Asia, October 24, 2019, Special Lecture, University of Toronto. Toronto, Canada. (招待講演)
- Kumiko Oguma, Toward Safe, Stable and Sustainable Water Supply in Asia. November 11-12, 2019, 1st Symposium of JSPS Core-to-Core Program "Center of Excellence in Health Risk Assessment for Adaptation to Climate Change", Manila, Philippines. (基調講演)
- Kumiko Oguma, UV Disinfection: It's Achievements and Frontiers, Nov 18, 2019, International UV Association (IUVA) Asia Symposium. Bangkok, Thailand. (基調講演)
- 宇田川 洋一, 高塚 威, 小熊 久美子, UV-LED (波長 280nm) を用いた空調機ドレン水処理に関する検討, 2019 年 12 月 6 日, 那覇, 室内環境学会学術大会
- 小熊久美子, 紫外線を利用した水処理技術の最前線. 2020 年 1 月 29 日, 東京, InterAqua 2020
- 岩田千加良, 増田貴則, 小規模集落における水供給システムの維持管理に関する実態および記録保存等の状況調査, 令和元年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集. p.214-215, 2019.
3. 総説・解説
- 伊藤禎彦: 浄水処理装置・施設のニーズ - 人口減少下における上水道システムを支える技術 -, ベース設計資料 建築編 (前), No.181, pp.60-64, 2019.6
- 伊藤禎彦: 人口減少下における浄水処理装置・施設に関する課題とニーズ, 環境衛生工学研究, pp.3-10, Vol.33, No.2, 2019.
- 浅見真理: 小規模水供給システムの現状と課題, 空気調和・衛生工学 (印刷予定)
4. その他講演等

伊藤禎彦：人口減少下における水道システム～浄水処理施設から水道料金まで～，北奥羽地区水道事業協議会第12回総会・講演会，八戸圏域水道企業団本庁舎，2019.4.22.

伊藤禎彦：水道事業の基盤強化と浄水処理装置・施設，一般社団法人 日本水中ロボット調査清掃協会 令和元年度第4回定時会員総会特別講演，チサンホテル神戸，2019.6.4

伊藤禎彦（発表者：中西智宏）：防災機能とセルフクリーニング機能を有する上水道配水システムの構築，近畿建設協会研究助成発表会，エル・おおさか（大阪府立労働センター）南館6F南ホール，2019.9.12

浅見真理，島崎大，伊藤禎彦，小熊久美子，増田貴則：厚生労働科学研究費補助金 小規模水供給システムの安全性及び安全性確保に関する統合的研究，小規模水供給システムのあり方に関するシンポジウム，東京大学工学部，2019.9.3

伊藤禎彦，堀さやか，福岡早紀：配水管内環境の評価・制御と地元管理水道のゆくえ，小規模水供給システムのあり方に関するシンポジウム，東京大学工学部，2019.9.3

伊藤禎彦，堀さやか：地元管理されている小規模水道の実態と課題，第3回地域ぐるみの小規模水道管理システム実証報告会，北海道富良野高等学校，2019.11.4

伊藤禎彦：人口減少下における水道システムを考える～浄水処理施設から水道料金問題まで～，日本ダクタイル鉄管協会セミナー，サンポートホール高松，2019.11.26

伊藤禎彦：水需要減少下における配水管内環境の評価と制御，千葉県水道局水道技術研修「水質管理研修」，千葉県文書館多目的ホール，2019.12.20

伊藤禎彦：人口減少下における浄水処理装置・施設に関する課題とニーズ，人口減少社会へむけた上水道システムの再構築に関する総合研究共同研究セミナー，阪神水道企業団尼崎浄水場，2019.7.5

堀さやか，伊藤禎彦：水道料金に対する支払意

思額を増大させるためのコミュニケーション手法に関する研究，人口減少社会へむけた上水道システムの再構築に関する総合研究共同研究セミナー，阪神水道企業団尼崎浄水場，2019.7.5

中西智宏，周心怡，岸本如水，福岡早紀，亀子雄大，森智志，小坂浩司，伊藤禎彦：人口減少社会へむけた上水道システムの再構築に関する総合研究共同研究セミナー，阪神水道企業団尼崎浄水場，2019.7.5

伊藤禎彦：小規模水道における浄水処理装置・プロセスと水質管理のゆくえ，全国簡易水道協議会第52回水道実務指導者研究集会「転換期の水道」，全国町村会館，2020.2.27

島崎大，浅見真理：上向きろ過や消毒剤に関する検討.小規模水供給システムのあり方に関するシンポジウム，東京大学工学部，2019.9.3
https://www.niph.go.jp/soshiki/suido/r01small_water_supply.html

増田貴則，岩田千加良，小規模水供給システムの維持管理と住民協力，小規模水供給システムのあり方に関するシンポジウム，東京，2019.9.3
https://www.niph.go.jp/soshiki/suido/r01small_water_supply.html

増田貴則，市民の受け入れ意思と管路更新について，2019年度ダクタイル鉄管協会セミナー，日本ダクタイル鉄管協会九州支部主催，福岡，2019.9.26

増田貴則，市民の受け入れ意思と管路更新について，2019年度ダクタイル鉄管協会セミナー，日本ダクタイル鉄管協会九州支部主催，那覇，2019.10.24

H. 知的財産権の取得状況

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