

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
研究分担者	伊藤 禎彦	京都大学大学院工学研究科
	島崎 大	国立保健医療科学院 生活環境研究部
	小熊久美子	東京大学大学院工学系研究科都市工学専攻
	増田 貴則	鳥取大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻

研究要旨：

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

特に、簡易水道が大規模水道事業体に繰り入れられた場合やその他小規模水供給施設の取組み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、小規模水供給施設向けに情報共有が必要であることが再確認されたため、小規模水供給システムの手引きのたたき台を作成した。

小規模化が進む水道システムでは、配水管内での滞留時間が増大する傾向にあり、水道水質が劣化することが懸念される。このため配水管内環境の管理を高度化させ、これを制御する必要がある。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洗管があり実務上はこれら3つの段階を組み合わせる必要がある。今回、中部地方H市内、中部地方Y市内、東北地方A市内の飲料水供給施設などの小規模な水道施設を対象とし、それぞれの配水区域において、まずは配水管内に蓄積する重量(g/m^2)とその分布を推定した。ついで、上記の3段階の対策、すなわち、浄水シナリオ、縮径シナリオ、洗管シナリオによって、配水管内環境がいかに改善できるかを定量的に示した。同様に、対象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も示した。ここで得られた知見をもとに、今後当該水道事業体と議論しつつ、対象地域に適した浄水処理方法、及び配水システムの管理・制御方法を提示・策定することができる。

近年、維持管理の容易な緩速ろ過の一つの方法として、上向流式緩速ろ過が導入されている事例が多数あることから、上向流式緩速ろ過の濁度除去特性の検証を行った。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た結果、上向流式緩速ろ過は、原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下において、ろ過水濁度0.1度以下、クリプトスポリジウム等の病原性原虫の除去効果5log程度見込める結果が得られた。単にろ過砂に原水を通すだけで、上記の水質が得られるため、高度な運転技術を必要としない。また、同条件下での上向流式及び下向流式緩速ろ過実験において、上向流式緩速ろ過は高濁度原水に対しても、下向流式緩速ろ過に比べ、ろ層の閉塞がしにくいことも明らかとなり、維持管理面での有効性も確認できた。

小規模水供給システムに適した小型紫外線消毒装置の候補として、紫外発光ダイオード（UV-LED）を光源とする流水殺菌装置（試作機）2機種を選定し、国内某所に当該装置を設置して長期運転を念頭に実証試験を開始した。

これまで約10カ月にわたる運転の経過報告として、実証試験サイトの原水水質は総じて清澄で、大腸菌は不検出～0.5 CFU/mL、大腸菌群は不検出～2.5 CFU/mL、一般細菌は0.5～15 CFU/mL、従属栄養細菌は70～1500 CFU/mLであった。飲用適否の観点では、突発的に大腸菌を検出する場合があったことから、給水末端等において微生物に対する追加処理を行うことが有効と考えられた。UV-LED装置による処理後には、2機種ともに、大腸菌はすべて不検出、大腸菌群は突発的に1 CFU/mLを一度検出した以外は全て不検出、一般細菌は不検出～2 CFU/mL、従属栄養細菌は不検出～12 CFU/mLとなった。すなわち、適切な紫外線装置を選定し小規模施設や給水栓等に導入することで、水の微生物学的な安全性を向上できることが示された。

水供給システムにおいては、必須である消毒について、本邦で主流となっている次亜塩素酸ナトリウム溶液に対しての様々な課題が指摘されている。次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として錠剤型の塩素消毒剤（次亜塩素酸カルシウム）を実際に使用している本邦の小規模水道システムを対象に、資料収集ならびにヒアリング調査を通じて使用状況ならびに運用上の課題を抽出した。当該施設では、液状の塩素消毒剤の運搬や補充に伴う労力は生じておらず、有効塩素濃度の低下ならびに塩素酸濃度の上昇の問題は発生しないものの、①塩素剤の補充を頻繁に行う必要があり地元住民の負担が大きい、②塩素剤の溶解速度が制御できず、塩素の不適正注入となる恐れがある等の課題が見受けられた。適切な塩素供給器を併用することで以上の課題点は解消できる可能性があるものの、プール水の残塩保持を目的とした製品であるため、飲料水への適用に際しては、浄水中の適切かつ継続的な残塩濃度の保持が実際に可能であるか実証することが必要と考えられた。

簡易水道や飲料水供給施設の中には水道事業者が直営での管理を行うことができないため、地元の住民組織または人が管理している水道施設がある。ここでは奈良県十津川村内で、地元管理されている水道施設の調査を行うとともに、奈良県と十津川村役場による施策について情報収集した。この結果、奈良県は県として、また十津川村は村として、高く評価されるべき取り組みが実施されているものの、県単独、および村単独ではいずれも限界があることが明らかであった。今後水道事業の持続可能性を高めるためには、奈良県に対しては近畿地方の近隣事業者および国、十津川村に対しては奈良県内事業者および奈良県による支援体制の確立が不可欠であり、速やかな行動が必要である。水道施設の実態調査、および施設を管理している住民と水道利用者への聞き取り調査を総合すると、県と役場が計画している施策の推進を急がなければ、地元管理による水道施設の維持はすでに限界に達しつつあると指摘できる。さらに、浄水処理装置に関する技術的課題について考察し、浄水規模と装置寿命の観点から、今後の開発ニーズを指摘した。

飲料水供給施設相当規模の水供給システムを利用・管理している97の集落を対象に、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。

47の集落より回答があり、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、負担の重い作業項目、記録の有無状況、研修会のメリット等が確認できた。

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. 多様な手法による水供給システムの持続可能方策に関する検討
2. 取水・送水・給水における管路の維持管理方

法に関する検討

3. 上向式ろ過に関する検討
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
5. 錠剤型塩素消毒剤の運用状況に関する調査
6. 住民との連携による水供給システムの維持管理手法とそれらの知見共有方策に関する検討
7. 小規模水供給システムの維持管理に関する状況調査
8. 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、これらの管理や指導を行うための手引きの作成について検討を実施した。
2. 3箇所飲料水供給施設等の小規模な水道施設を対象として、各配水区域で配水管内に蓄積する懸濁物質等の重量(g/m^2)とその分布の推計を行った。また、配水管内での懸濁物質等の管理・制御のための3段階のシナリオを設定し、各シナリオにおける蓄積量の比較を行った。
3. 上向流式緩速ろ過の濁度除去特性の検証実験を行った。ろ過方向やろ過速度、人工原水濁度を組み合わせ、ろ過水濁度の推移の確認並びに微粒子の除去率確認のため、ろ過水中の懸濁物質粒径毎の粒子数の測定を行った。
4. 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）を光源とする装置（試作機）2機種を選定し、国内某所に当該装置を設置して長期運転を想定した実証試験を行った。
5. 次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として錠剤型塩素消毒剤（次亜塩素酸カルシウム）の使用状況に関する調査を行った。また、錠剤型塩素消毒剤の適切な運用方法に関する検討及び考察を行った。
6. 奈良県十津川村内の地元管理されている簡易水道や飲料水供給施設における実態調査と施策に関する情報収集を行った。
7. 岐阜県、京都府、島根県、岡山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・使用している集落を対象に、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。

C. 研究結果及びD. 考察

1. 小規模水システムの課題
- 1.1 水道法の改正

平成30年12月に水道法の一部を改正する法律が公布され、そのうち、中小規模の水道事業や簡易水道、小規模水供給システムとの関連性に関わる可能性のある部分がいくつか含まれている。

1.2 水道事業の広域化等の推進（総務省）

水道法改正に合わせて、総務省でも地方財政対策（平成31年度から）が講じられ、広域化事業に「普通交付税」が幅広く措置されるようになった。人口減少や施設の老朽化等に伴い、水道・下水道事業を取り巻く経営環境が厳しさを増す中、持続的な経営を確保する観点から、広域化等の推進及び着実な更新投資の促進を図るため、地方財政措置を講ずることが総務省から示された。また、広域化だけでなく耐震化でも普通交付税措置がされたため、財政面からも水道事業における広域化・耐震化の推進に弾みがつく可能性がある指摘される。

1.3 小規模水供給システムの位置づけ

小規模な集落水道や飲用井戸、10 m^3 以下の貯水槽を持つ施設等の規模の小さな水道は、水道法に規定するような画一的な規制措置を加えることが不相当であることから、直接的に水道法の規制はなされていない。ただし、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で規制することは禁止されてはならず、これらの小規模な水道等に適応する規制措置を条例等で定める場合がある。このように、法に規定する規模以下の小規模な水道等であっても、人の生活に供する水、特に飲用とする場合には、飲用水の衛生確保のため、有害物質等による水源の汚染や不適切な管理を防ぎ、飲用井戸等における飲料水の衛生確保対策を図る目的で、「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）や各都道府県等による条例や要綱等が策定されている。

1.4 衛生部局で衛生対策を行う職員の減少

水道事業に携わる職員数・地方公共団体の職員数が減少している。水道統計調査によると、水道事業に携わる職員数は、1980年頃をピークに現在では3割程減少しており、その中でも小規模で職員数が少ない水道事業者が非常に多い。同様の問題は、水道事業者や飲用井戸等の指導監督を行う衛生行政の現場でも同様に生じている。さらに、先に述べた水道法の改正により、都道府県では、水道事業者等の間の広域的な連携の推進に関して協議のための広域的連携等推進協議会の設置や、水道の基盤強化のため必要に応じて、関係市町村及び水道の事業者等の同意を得て水道基盤強化計画を定めることができる等、今まで以上に水道行政としてのリーダーシップが求められる時代となった。

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の幅広い水道知識の提供を検討していきたい。

1.5 飲用井戸等衛生対策要領に基づく指導

「飲用井戸等衛生対策要領」によると、要領に基づく対策は、都道府県等において飲用井戸等の衛生対策の徹底を図ることが期待されている。しかし、平成25年度施行の権限移譲後新たに指導を行うこととなった市の衛生部局等では、職員の減少や水の衛生行政に係る知識を有した職員の確保・育成が困難な状況や、小規模水供給システムを有する地域では、人口減少による新たな街づくりの検討の中で様々な職種の職員によってライフラインの見直しが検討される状況等がある。

このような背景から、小規模水供給システムを維持し続けるための対策の一環として、水道に関する知識を得て、様々な方面からの協力により衛生的な水供給システムを維持し続けるための人づくりが必要であると考えられた。その手助けとなるよう「小規模水道の手引き(案)」等の作成を検討した。

1.6 小規模水供給システムにおける財政的な問題

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、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、水道事業の基盤強化のための取り組みが主となり、公共の福祉としての色が強い小規模水道に対する施策には乏しい状況にある。従来の水道法の目的を鑑み、水道の未普及地域に対する対策についても、従来の未普及対策以外の給水手法も検討しながら、並行して取り組んでいく必要がある。

1.7 多様な給水方法の検討及び地域の実例

小規模な集落が散在する地域において、地域の実情を考慮した多様な給水手法の検討が必要であることから、厚生労働省水道課では「人口減少地域における多様な給水手法の検討に関する調査(平成30年3月)」がなされた。小規模集落であっても衛生的な水の供給を維持していく必要があるため、従来の小規模水供給システムの手法に限らず、多様な給水手法も含めて検討を行う必要があり、検討または導入を行った広島市、宮崎市、静岡市、浜松市、松江市、香川県の事例を紹介する。

1.8 水質検査上の課題

飲用や飲用井戸等の小規模水供給システムを有する場合、飲用井戸等衛生対策要領で定期及び臨時の水質検査項目が示されているが、水源や施設の状況を踏まえた上で、必要な水質検査項目の検討が出来ている施設は少ない。また、小規模水

供給システムを有する管理者にあっては水質試験の検査費用の負担がかなり大きく、この負担の軽減のため、検査費用の補助を行う自治体もあるが、全国的には、ほとんどの小規模水供給システムを有する管理者が、自己負担のみで水質試験の検査費用を捻出している。

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れば、その管理者に対して水質検査項目の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が必要であると考えられ、逆に、大腸菌やクリプトスポリジウム等の健康被害が生じるリスクを有する場合は、施設整備の相談を容易に行うことの出来る体制づくりが必要と考えられる。

1.9 その他制度上の課題

水道法上における事業の休止及び廃止や新たな小規模水供給システムについて、今後、制度の整理が必要である。更に、水道事業の認可において、給水区域の見直しや浄水処理方法の変更などを行い易いようにし、管理者の負担を減らすという課題もある。

2. 管路の維持管理方法に関する検討

3つの地域における飲供施設と簡水(旧簡水含む)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検討し、その方法と効果についてまとめた。各小規模水道施設は、大都市と比較すると規模が小さい分、浄水処理性能、残留塩素確保、管路維持管理作業など地域特有の問題が浮き彫りになりやすいことも分かった。

第一段階の浄水シナリオでは、浄水処理能が良好でない場合、この改善により、大きく蓄積物の低減に効果を発揮することを示した。これは当然の結果ともいえるが、対象地域において浄水処理能が低い場合には優先して改善することが望ましいことを定量的に指摘することができた。第二段階の縮径シナリオでは、すべての小規模水道施設において配水管内における蓄積量を大幅に減少させることが可能であった。今後、人口減少が見込まれる地域において、管路のダウンサイジングの推進は、配水管内環境の維持の面からも有効な方法であるといえる。第三段階の洗管シナリオでは、その管網の特徴や管網内の蓄積物の挙動などを把握し、対象地域に適したシナリオを設定することで、縮径シナリオに匹敵するほどの効果が認められた。浄水処理施設の導入や縮径の実施が容易でない場合、計画的な洗管の実施により、配水管内環境の制御が可能である。しかし、小規模水道では、有収率の低下やマンパワーの問題など多岐にわたり多くの課題に直面しており、現実的に小規模水道において洗管作業を実施するのは

難しいという声が多く聞かれた。今後は、今回得られた知見を参照しつつ、実行可能な配水管内環境の制御法を描く必要があるといえる。

また、地域特有の管路維持管理作業が、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。

3. 濁度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、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度以下を維持するためには、原水濁度50度以下、ろ過速度5m/日以下にて適用可能と考えられる。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。

また、クリプトスポリジウム等の対策としてのろ過性能について評価を行う。本実験では、ろ過水濁度の平均値が0.10度となった原水濁度50度、ろ過速度5m/日での3~7 μ m、7~12 μ mの除去率はそれぞれ4.7log、4.9logであり、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(4.9~5.8log)と同程度の除去効果を有していることとなる。よって、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、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わかった。

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。

3.3 上向流式及び下向流式の除去作用の比較

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5cm毎に採取し、砂層1g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、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、典型的な表層ろ過を裏付けるデータとなった。また、砂ろ過表面が閉塞し損失水頭が増加したため、ろ過前原水の水位が上昇していることが確認された。砂ろ過表面の閉塞が16時間のろ過時間でこれだけ進行する事も確認でき、下向流式緩速ろ過が上向流式緩速ろ過に比べ高濁度原水に弱い事の証明と言える。

上向流と下向流以外の条件が同一に関わらず、濁質物質の捕捉量合計が大きく異なることが判った。検証した結果、上向流式緩速ろ過では、砂ろ過に入る前の空間(ウレタン層下の整流用空間)において、濁質物質の沈殿が認められた。装置の都合上、これらの濁質物質を採取し、収支計算を行うことができなかったが、大きな粒子はこの空間において沈殿したものと考えられる。このことから、上向流式緩速ろ過は目詰まりを起こしにくくなっていると推測できる。

4. 小型紫外線消毒装置の実証実験結果

約10カ月にわたる運転の経過報告として、実証試験サイトの原水水質は試験期間を通じて、総じて清澄で、大腸菌は不検出~0.5 CFU/mL、大腸菌群は不検出~2.5 CFU/mL、一般細菌は0.5~15 CFU/mL、従属栄養細菌は70~1500 CFU/mLであった。紫外線透過率は、2018年7月試料の結果として、当該試料は濁度0.1度、色度0.9度であり、期間中に採水した試料として概ね平均的な水質であったことから、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。

原水水質については、微生物濃度は総じて低く、大腸菌は多くは不検出であったものの、突発的に検出される場合があり、水道水質基準では大腸菌は「検出されないこと」と規定していることから、本試験サイトの未処理原水は恒常的な飲用には不適であり、突発的な微生物混入へのバリアとして給水栓等での追加処理の必要性が明らかとなった。一般細菌は低濃度ながら概ね常時検出されたものの、水道水質基準が規定する一般細菌の基準(検水量1mL中に100コロニー以下)以下で推移した。従属栄養細菌は常時検出され、最高値で1500CFU/mLであったが、水質管理目標設定項目として「検水量1mL中に2,000コロニー以下(暫定)」と定められており、これまでの試験期間中に当該目標値を超えることはなかった。従属栄養細菌が1500CFU/mLとなった試料の大腸菌・大腸菌群・一般細菌は不検出または低濃度であり、従属栄養細菌はその他の微生物水質項目とは異なる挙動を持つことが示唆された。

処理水について、大腸菌は2装置いずれの処理水でも常時不検出となり、即ち上述の「給水栓等

での追加処理」として有効であることがデータをもって示された。また、一般に環境水中の従属栄養細菌の紫外線耐性は高く、過去、流水(地下水)の紫外線消毒を試みた試行では、ほとんど不活化できなかったが、本研究で用いた2装置による従属栄養細菌の不活化率は、適切に装置を選定すれば従属栄養細菌でも十分な不活化性能を期待できることが示された。

これまでの約10カ月の運転期間中、装置性能の低下はなく、安定的に処理を継続した。2018年10月の台風被害による運転中断時に装置内を分解して紫外線照射槽内部の汚れ等を確認したところ、汚れやスケールの付着は見られず、装置性能を維持している要因の一つと考えられた。装置性能の経時変化については今後の試験で注視したい。

5. 錠剤型塩素消毒剤の使用に関する調査・検討

5.1 錠剤型塩素消毒剤の使用状況

対象の飲料水供給施設は、原水は地表水、緩速ろ過により浄水処理を行う施設で、塩素滅菌は、緩速ろ過池のろ過水の越流部に筒状の器具を設置し、中に錠剤型の塩素剤を充填して流水と接触させ、塩素剤を溶解して行うものである。

当該施設の運用状況に関してヒアリング調査を行ったところ、給水人口、使用塩素消毒剤の種類、塩素剤の補充頻度、残留塩素濃度等が分かった。しかしながら、水量の把握は出来ておらず、また、当施設に電気が供給されていないことから、今後、施設を改造し塩素剤を電動で注入するなどの検討は行っていない。

以上のことから、当該の飲用水供給施設では、液状の塩素消毒剤の運搬や補充に伴う労力は生じておらず、次亜塩素酸ナトリウム溶液に特有である有効塩素濃度の低下ならびに塩素酸濃度の上昇の問題は発生しないものの、錠剤型塩素剤の補充頻度(2日に1回)、塩素剤の溶解速度や残留塩素濃度、給水末端での毎日検査等について運用上の課題があると考えられた。

5.2 錠剤型塩素消毒剤の適切な運用方法

当該飲料水供給施設で用いられている錠剤型の塩素消毒剤(スタークロンT: 南海化学株式会社)は、次亜塩素酸カルシウム(有効塩素70~77.5%)を主成分とする一錠20gの錠剤である。現状から給水人口並びに使用水量、浄水中の残留塩素濃度等を仮定し、当塩素消毒剤の運用状況を推定した結果、一日あたり1錠(20g)の錠剤型塩素剤が、均一的に浄水中に溶出すればよい計算となった。

また、インライン型固定式塩素供給器及び浮遊式塩素供給器の2種の簡易型塩素供給装置を導入し、錠剤型塩素剤の補充の頻度を低減する方策

を検討した。錠剤が均一的に溶出することが可能であれば、約2ヶ月~2ヶ月半持つ計算となるが、固定式では当施設への電源供給や、重力落差による水圧でも正常に動作が可能であるかの検証が、浮遊式では、飲料水に適した塩素濃度が継続的に確保できるかの実証が必要である。

6. 奈良県および十津川村における施策と課題

6.1 奈良県の取組と現況

奈良県では県域を「県営水道エリア」、「五條・吉野エリア」、「簡易水道エリア」に分類し、県政における「奈良モデル」方針のもとで、広域連携を推進している。県としては簡易水道エリアの課題とニーズを把握しており、今後受け皿組織を設立し必要な取り組みを進める考えである。

しかし、奈良県内の水道事業もマンパワーが不足している問題があり、村直営の水道施設でも人材、費用ともに既に極限状態で運営している状態で、地元管理の飲料水供給施設等までは、手が回らないのが現状である。だが、地元管理を行う担当者の平均年齢は70~80歳となっており、後継者確保が絶望的な地域が多く、今後の維持が困難な状況である。

一般に、市町村長は、水道施設の更新に消極的なことが多く、県単独で水道行政に変化を起こすのは厳しく、抜本的な解決を図るのは非常に難しい。また、国の補助から簡易水道が見放されると、地方財政を圧迫し、持続可能な施設管理の未来を描くことが難しいため、県は国へ地元の現状を訴えている。

6.2 十津川村の施策と課題

十津川村内は10箇所の簡易水道施設を有し、うち4箇所が村直営、6箇所は地元管理、また、飲料水供給施設は4箇所あり、すべて地元管理されている。これらの簡易水道施設と飲料水供給施設をあわせた水道普及率は60%程度である。

簡易水道施設のうち地元管理の6箇所では、台帳整備や料金徴収、塩素消毒の実施などの問題を有している。村としては、居住地域のコンパクト化や給水人口の減少に伴う水道事業の種別変更(簡易水道から飲料水供給施設等の位置づけに変更)も検討しているが、心情的、財政的な面から容易に進められない。

また、未普及地域に位置づけられる残り約40%には、共同飲料水施設73箇所と個人飲料水施設103箇所が存在しており、これらの飲料水施設の実態把握に、村が採用した「集落支援員」が極めて大きな役割を果たしている。

6.3 浄水処理装置に関する技術的課題

飲料水供給施設等で頻用されるろ過装置は50m³/日程度、100万円程度であり、給水人口からみて明らかに過大設備というケースが見られる。

膜ろ過装置にしても、1モジュールで浄水能力50 m³/日程度のもが多く、小さくても20~25 m³/日程度である。今後を考えると、10 m³/日程度、さらには数~1 m³/日程度のもが多数必要と考えられ、水処理装置メーカーと水道事業体が共同検討し、小規模施設にも導入可能な価格帯の浄水処理装置の整備が望まれる。

また、これまで各種インフラは、長寿命化、恒久化といった長期利用可能な整備が推進されており、水道施設、同様の整備を行ってきたが、今後の縮小局面では、インフラをモジュール化することによって、寿命そのものを短命化（もしくは長寿命化と短命化の組み合わせ）するというコンセプトが必要となると考える。これにより、将来の需要変化や、場合によっては撤退にも対応可能となる。

6.4 今後の取り組み

県と村が計画している施策の推進を急がなければ、地元管理による水道施設の維持はすでに限界に達しつつあると指摘できる。今後、全国各地で調査を行い、複数の地域における調査結果を踏まえて、住民と十分なコミュニケーションを取りつつ、需要者が小規模水供給システムを支える仕組みを提案する。また、県や市町村が実施可能な連携や支援方策についてとりまとめるとともに、現行制度の課題を整理し、必要な支援制度や仕組みについて提言を行う予定である。

7. 維持管理の状況等実態についての調査

97集落へ調査紙を郵送し、47集落からの回答を得た結果、回答のあった全ての集落で集落管理している施設の水を飲料水として用いているが、うち約40%の集落で塩素消毒が未実施であり、また過去に集落の大半で水が使用できなくなるトラブル事象の経験の有する集落が約74%あるなど、多くの集落において衛生的な水供給、あるいは安定的な水供給が行われていないことが確認できた。

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。昨年度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、困難であることが聞き取れていたが、それらを裏付ける結果となった。本年度の質問紙調査では、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も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。このような集落外との連携については、昨年度調査した集落では、水供給システムの管理は地元集落が行っており、水道事業と連携した維持管理や、他集落と連携した維持管理の実施は確認できなかったが、本質問紙調査では、少数だがいくつかの集落、市町において水質検査や研修会実施など水道事業体が関わっていることが確認できた。水供給施設の管理に関する研修会の実施も回答を得た全ての集落で施設管理に役立っているとの回答があり、水供給施設維持のために効果的な方策となり得ることが確認できた。

また、管理記録については、設備点検や管路の漏水箇所・更新状況の記録を有していない集落が全体の半数前後を占め、記録を残している集落は四分の一程度に過ぎず、維持管理用のマニュアルや引継書もほぼ半数の集落が文書化していないという回答であった。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（平常時の）作業については口頭伝達で用が足り、必ずしも記録や手引きを文書で残す必要性を感じていないものと思われる。しかしながら、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。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、活用していくことが重要と考えられる、文書化の負担とメリットとのバランスをよく考えたうえで、文書化の方法を提案する必要があるものと思われた。

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、検討を行った。

1. 簡易水道や小規模水供給施設における事例等を整理することで、小規模水供給システムの位置づけ（衛生管理状況）及びその課題を整理することが出来た。また、特に小規模水供給システムを直接指導する立場の地方の市町村の衛生部局担当者向けの手引き等の必要性が高いことから、そ

の素案を作成することとして項目等の見当を行った。地域ごとでも課題や解決方法が異なるため、今後も情報共有が極めて重要である。

2. 3箇所の飲料水供給施設等の小規模な水道施設を対象として、配水管内環境を制御するための三段階の考え方に基づくシナリオを設定した上で、その効果を比較し評価した。得られた結果から、配水管内の環境管理からみて重点的に管理・制御すべき事項・段階について考察を行った。浄水シナリオ、縮径シナリオ、洗管シナリオによって、配水管内環境の改善状況を定量的に示し、同様に、対象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も示した。それぞれの配水管網の特徴や課題を踏まえつつ複数のシナリオを設定することによって、小規模水道における配水管内環境を制御する手法とその効果を提示できた。今後、当該水道事業体と議論しつつ、対象地域に適した浄水処理方法、及び配水システムの管理・制御方法を提示・策定することが可能となった。

3. 上向流式緩速ろ過の濁度除去特性について、様々な条件で検証を行った結果、すべてにおいて濁度の水質基準を下回る結果となった。しかしながら、今回の実験結果から、上向流式緩速ろ過装置単独では、クリプトスポリジウム等対策指針のろ過水濁度0.1度以下を満たすためには、原水濁度やろ過速度の制約を受けるが、例えば、下向流式緩速ろ過の前段に上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ることから、維持管理の容易な緩速ろ過の適用範囲拡大の可能性が考えられた。

4. 小規模水供給システムに適した特徴を持つ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(試作機)2機種を選定し、国内某所に当該装置を設置して実証試験を開始した結果、実証試験サイトの原水水質は総じて清澄かつ変動が小さかったものの、突発的に大腸菌を検出する場合があります、給水末端等での微生物に対する追加処理の必要性が示された。UV-LED装置による処理水では、2機種いずれの場合でも、大腸菌はすべて不検出、大腸菌群は突発的に1 CFU/mLを一度検出した以外は全て不検出、一般細菌は不検出～2 CFU/mL、従属栄養細菌は不検出～12 CFU/mLとなり、処理後の微生物学的安全性は著しく向上すること、すなわち、適切な紫外線装置を選定し小規模施設や給水栓等に導入することで、水の微生物学的な安全性を向上できることが示された。今後は実証試験を継続し、長期運転に伴う性能低下の有無やその特徴に特に注目して分析を行う。さらに、施設調査並びに住民へのヒアリングを継続し、消毒技術に対するニーズの集約、今後の技術的課題や住民参加型の維持管理手法に求められる要件の把握を行う。

5. 小規模水供給システムにおける錠剤型の塩素消毒剤ならびに適切な塩素供給器を用いることで、液状の塩素消毒剤の運搬や補充に伴う労力を大幅に軽減し、さらに、有効塩素濃度の低下ならびに塩素酸濃度の上昇といった問題を回避できる可能性がある。しかしながら、当該の供給器はプール水の残塩保持を目的としたものであるため、飲料水への適用に際しては、浄水中の適切かつ継続的な残塩濃度の保持が実際に可能であるか、実証が必要であると考えられた。

6. 地元管理されている水道施設の調査並びに、奈良県と十津川村役場による施策について情報収集を行った結果、奈良県は県として、また十津川村は村として、高く評価されるべき取り組みが実施されているものの、県単独、および村単独ではいずれも限界があることが明らかであった。今後、水道事業の持続可能性を高めていくためには、奈良県に対しては近畿地方の近隣事業体および国、十津川村に対しては奈良県内事業体および奈良県による支援体制の確立が不可欠であり、速やかな行動が必要である。今回の水道施設の実態調査、および施設を管理している住民と水道利用者への聞き取り調査を総合すると、県と村が計画している施策の推進を急がなければ、地元管理による水道施設の維持はすでに限界に達しつつあると指摘できる。さらに、浄水処理装置に関する技術的課題について考察し、浄水規模と装置寿命の観点から、今後の開発ニーズを指摘した。

7. 岐阜県、京都府、島根県、岡山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97の集落を対象に、維持管理の状況等の質問紙調査を行ったところ、約48%の47の集落より回答や意見が得られ、一部の施設では、水質検査や断水時の応急運搬給水、研修会の実施など、市町の水道事業体が関与して実施されているケースがあり、効果をあげていることが確認できた。しかしながら、設備の点検・清掃、薬液補充、検針・集金などの作業は、集落にとって大きな負担となっていること、また、管理記録が十分に取られていない実態等が明らかとなった。特に、老朽化している施設や水源として表流水を用いている集落では、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、これらの集落では、人口減少・高齢化により、今後、維持管理活動の負担がますます大きくなることは明白であった。今後は、本調査による結果を基礎資料とし、外部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。

F. 健康危険情報
なし

G. 研究発表

1. 論文発表

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*, in press, 2019. doi: 10.2166/ws.2019.022

Fariborz Taghipour and Kumiko Oguma. UV LED System Design, Operation and Application for Water Treatment. *UV Solutions 2019 Quarter 1*, 22-26, 2019.

<https://uvsolutionsmag.com/articles/2019/>

Kumiko Oguma. Inactivation of feline calicivirus using ultraviolet light-emitting diodes, *FEMS Microbiology Letters* 365(18): 1-4, 2018.

政池美映, 小熊久美子, 橋本崇史, 滝沢 智. 紫外発光ダイオードによる腸炎ビブリオ(*Vibrio parahaemolyticus*)の不活化. *土木学会論文集 G(環境)* 74(7), III_225-230. 2018.

Kumiko Oguma, Kaori Kanazawa, Ikuro Kasuga and Satoshi Takizawa. Effects of UV Irradiation by Light Emitting Diodes on Heterotrophic Bacteria in Tap Water. *Photochemistry and Photobiology* 94(3): 570-576, 2018. (Early view published online in February 2018).

Surapong Rattanakul and Kumiko Oguma. Inactivation kinetics and efficiencies of UV - LEDs against *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila*, and surrogate microorganisms. *Water Research* 130: 31 - 37, 2018. (published online in Nov, 2017)

2. 学会発表

Mari Asami, Kosuke Abe, Dai Simazaki, Koichi Ohno, Trends In Operation And Management Of Water Supplies With Size And Location Diversity, 2018年9月; 東京. IWA World Water Congress & Exhibition 2018. 639.

Itoh, S., Nakanishi, T., Zhou, X., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kitada, J., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo S. : Reestablishment of water supply system in a depopulation society and research needs, IWA World Water Congress & Exhibition, 3890712, 16-21 September 2018, 東京ビッグサイト, Tokyo, Japan.

Nakanishi, T., Nishioka, H., Tarui, K., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Characteristics of suspended particles and their loads into drinking water distribution system under different treatment processes, IWA World Water Congress & Exhibition, 3904824, 16-21 September 2018, 東京ビッグサイト, Tokyo, Japan.

阿部功介, 坂倉潤哉, 皆田明子, 越後信哉, 浅

見真理, 島崎大, 秋葉道宏. 小規模水供給システムへの導入を考慮した塩素系消毒剤の反応特性の比較; 2018年10月, 福岡. 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集. p.736-737.

浅見真理, 阿部功介, 越後信哉, 伊藤禎彦, 島崎大, 小熊久美子, 増田貴則, 中西智宏. 小規模水供給システムの維持管理の実態に関する調査. 2018年10月, 福岡. 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集. p.174-175.

中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 樽井滉生, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 藤井宏明, 鈴木剛史: 浄水中懸濁物質の蓄積による配水管内環境の形成とその実態, *環境衛生工学研究*, Vol.32, No.3, pp.103-105, 2018.7

亀子雄大, 橋本雄二, 中西智宏, 浅田安廣, 小坂浩司, 藤井宏明, 伊藤禎彦: 配水管網における着色ポテンシャルからみた浄水中微粒子及びマンガンの制御目標に関する考察, *環境衛生工学研究*, Vol.32, No.3, pp.106-108, 2018.7

岸本如水, 樽井滉生, 北田純悟, 中西智宏, 浅田安廣, 小坂浩司, 伊藤禎彦: 配水管網における管内環境の形成過程とその制御性, 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.410-411, 2018.10

福岡早紀, 伊藤禎彦, 岸本如水: 飲料水供給施設における配水管内環境の制御方法, 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.412-413, 2018.10

周心怡, 小坂浩司, 中西智宏, 浅田安廣, 伊藤禎彦: Study on Characteristics of Mn Accumulation on Epoxy-Lining Pipelines in Distribution System, 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.948-949, 2018.10

浅見真理, 阿部功介, 越後信哉, 伊藤禎彦, 島崎大, 小熊久美子, 増田貴則, 中西智宏: 小規模水供給システムの維持管理の実態に関する調査, 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp. 174-175, 2018. 10.

中西智宏, 亀子雄大, 森智志, 藤井宏明, 小坂浩司, 伊藤禎彦: 配水管網における水道水の着色ポテンシャル分布の表示と浄水中微粒子・マンガン濃度の制御目標, 第53回日本水環境学会年会講演集, 2019.3.

福岡早紀, 伊藤禎彦: 小規模水道システムにおける配水管内環境の評価と制御, 第53回日本水環境学会年会講演集, 2019.3.

Mari Asami, Kosuke Abe, Dai Simazaki, Koichi Ohno, Trends In Operation And Management Of Water Supplies With Size And Location Diversity, 2018年9月; 東京. IWA World Water Congress & Exhibition 2018. 639.

阿部功介, 坂倉潤哉, 皆田明子, 越後信哉, 浅見真理, 島崎大, 秋葉道宏. 小規模水供給システムへの導入を考慮した塩素系消毒剤の反応特性の比較; 2018年10月, 福岡. 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集. p.736-737.

浅見真理, 阿部功介, 越後信哉, 伊藤禎彦, 島崎大, 小熊久美子, 増田貴則, 中西智宏. 小規模水供給システムの維持管理の実態に関する調査. 2018年10月, 福岡. 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集. p.174-175.

Kumiko Oguma. Responses of health-related microorganisms in water to UV-LED exposures. International UV Association (IUVA) World Congress. 2019年2月, シドニー.

小熊久美子, 紫外線消毒の動向と展望, 第11回 JWRC 水道講座. 公益財団法人 水道技術研究センター. 2019年2月, 東京.

小熊久美子, 水処理における UV 殺菌技術の最新情報, 造水技術シンポジウム 2018. 造水促進センター. 2019年2月, 東京.

小熊久美子. 紫外線を利用した水処理技術の最前線. サイエンスアゴラ, 安全な「水」の科学技術を考えるワークショップ. 2018年11月, 東京.

浅見真理, 阿部功介, 越後信哉, 伊藤禎彦, 島崎大, 小熊久美子, 増田貴則, 中西智宏. 小規模水供給システムの維持管理の実態に関する調査. 平成30年度全国会議(水道研究発表会). 2018年10月, 福岡.

Kumiko Oguma and Surapong Rattanakul. Inactivation of health-related microorganisms in water using UV light emitting diodes (UV-LEDs). International Water Association (IWA) World Congress. 2018年9月, 東京.

Kumiko Oguma. Water supply systems in Japan: Current status and future perspectives. Special Seminar by International Experts. DVGW/TZW. 2018年4月, カールスルーエ.

野坂幸寿, 増田貴則, 高部祐剛, 星川淑子, 鳥取県智頭町の小規模集落における水供給システムの現状と住民意識調査, 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.176-177, 2018.

浅見真理, 阿部功介, 越後信哉, 伊藤禎彦, 島崎大, 小熊久美子, 増田貴則, 中西智宏. 小規模水供給システムの維持管理の実態に関する調査, 平成30年度全国会議(水道研究発表会)講演集, pp.174-175, 2018.

3. 総説・解説

伊藤禎彦: 第27回会員集会公演②「人口減少時代における浄水処理-配水システムのトータルソリューション創出に向けて」、水を語る会

講演集(第5号), pp.88-99, 2018.7

Sadahiko Itoh: Importance of the Concept of Self Cleaning Networks in a Depopulation Society, Watershare Newsletter, KWR Watercycle Research Institute, the Netherlands, 2018.12.

4. その他講演等

中西智宏, 周心怡, 岸本如水, 福岡早紀, 亀子雄大, 浅田安廣, 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「人口減少社会へ向けた上水道システムの再構築と高機能化に関する総合研究」報告会、大阪広域水道企業団村野浄水場, 2018.7.23

伊藤禎彦: 小規模化が進む上水道システムと研究ニーズ、土木学会環境工学委員会 臨床環境技術小委員会・環境技術思想小委員会合同セミナー、京都大学地球環境学堂・大会議室, 2018.8.10

伊藤禎彦: 小規模化が進む上水道システムの再構築に関する考え方と課題、平成30年度日本ダクタイル鉄管協会九州支部セミナー、天神クリスタルビル, 福岡市, 2018.9.27

伊藤禎彦: 浄水処理装置・施設に関する課題とニーズ、「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」、(公財)水道技術研究センター, 2018.12.14

伊藤禎彦: 水道システムの再構築について、平成30年度第1回阪神水道企業団経営懇談会、阪神水道企業団本庁, 2018.6.4

伊藤禎彦, 堀さやか: 水道料金に対する支払意志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、関西水未来研究会研究提案会、京都大学桂キャンパスCクラスターC1棟グローバルホール人融、2018.5.19

増田貴則, 人口減少を考慮した管路更新, 将来の不確実性に対応した水道管路システムの再構築に関する研究成果報告会, 水道技術研究センター主催, 那覇, 2018.5.11.

増田貴則, 水道管路の更新と水道料金値上げについて、平成30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中国四国支部主催, 広島, 2018.8.30

H. 知的所有権の取得状況

1. 特許取得

なし

2. 実用新案登録

なし