

厚生労働科学研究費

健康安全・危機管理対策総合研究事業

小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究

(H29-健危-一般-004)



平成29年度 総括・分担研究報告書

研究代表者 浅見 真理

平成30(2018)年3月

研究報告書目次

I．総括研究報告

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-----	1
-------------------------------------	---

II．分担研究報告

1．小規模水供給システムの現状と課題に関する研究-----	9
浅見 真理・伊藤 禎彦・島崎 大・小熊 久美子・ 増田 貴則・阿部 功介・福岡 早紀	
資料1 事務委任・事業休止・現地調査等について-----	21
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-----	43
伊藤 禎彦・福岡 早紀	
3．大腸菌および耐塩素性従属栄養細菌に対する顆粒型消毒剤の消毒効果の検証-----	51
浅見 真理・島崎 大・前田 暢子・阿部 功介	
4．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-----	57
浅見 真理・島崎 大・越後 信哉・阿部 功介	
5．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-----	61
小熊 久美子	
6．小規模水道の維持管理方策に関する研究-----	67
増田 貴則	
研究成果の刊行に関する一覧-----	81

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	東京大学先端科学技術研究センター
	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。

小規模水供給システムの位置づけ、現況（法令等遵守状況、水源の状況、規模等）、施設上の課題、管理上の課題（高濁対策、残塩注入、残塩保持）、水質上の課題（高濁、大腸菌の検出等）、水質検査上の課題（水質検査の簡略化可能性）、配水上の課題、財政上の課題、統計収集上の課題、制度上の課題等について整理を行った。

静岡県浜松市内において川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の3箇所を調査・検討対象とした。原水・浄水・給水の水質調査を行うとともに、配水管路データ、各戸居住人数など解析に必要な情報を収集した。まず、3つの飲料水供給施設において、管網計算を行い配水管内流速分布を得た。ついで、別途実施している室内実験結果や、大阪地域・神戸地域での実地調査結果を活用して、配水管内に堆積する重量（ g/m^2 ）とその分布を推定した。この成果によって、第一段階 浄水処理、第二段階 配水管網の水理条件、第三段階 洗管の観点から、堆積量の重量分布の変化を検討することが可能となった。

塩素の注入、試薬の管理に課題があったことから、次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について、大腸菌および耐塩素性従属栄養細菌の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価したところ、消毒剤の残留濃度は、消毒対象となる細菌の種別により異なり、いずれも次亜と同程度以下の残塩保持濃度となる可能性が示された。各消毒剤のCT値および生残率に基づく不活化能力は次亜と同程度であるものの、対象とする細菌種やCT値に応じて前後することが明らかとなった。実際の水供給システムへの適用に際しては、このような各消毒剤の不活化能力ならびに残留特性の相違について留意する必要がある。

遊離残留塩素濃度の減少量が等しければトリハロメタンやハロ酢酸の生成量は各種消毒剤毎にほぼ同等であった。水電解次亜発生装置による次亜生成過程（電解中）において、トリハロメタンやハロ酢酸は生成していなかったが、塩素酸は増加するので、電解を繰り返す場合の塩素酸濃度の上昇には注意が必要である。現場の特性に応じて保存性、徐溶性、速溶性、使用性等の観点から消毒剤の検討を行うことが重要である。

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について、多種の微生物を対象に消毒性能を調べた。また、実施への紫外線装置の導入可能性を探るため、施設見学と実務者ヒアリングを実施した。実験では、複数の微生物種を対象とし、波長の異なる紫外線光源を用いて紫外線量

に対する不活化応答を調べた。その結果、菌種の違いによる紫外線の波長感受性の違いを定量的に示した。また、従属栄養細菌の紫外線感受性が低いこと（紫外線耐性が高いこと）、紫外線処理の結果として従属栄養細菌のうちでも特に紫外線耐性の高い種が選択的に残存しうることを示した。従属栄養細菌は、直接の健康リスクとの関連性は明確でないものの、水の衛生状態を示す目安として水質管理目標値が設定されており、小規模水供給システムへの紫外線消毒適用において従属栄養細菌の制御が課題であると考えられた。施設見学とヒアリングの結果から、現状では小規模施設に適した消毒方法は十分に検討されておらず、特に、消毒剤の補充や当番制での維持管理が住民の負担になっている実情が伺えた。消毒剤のにおいに対する抵抗感から消毒を実施しない小規模施設も多く、紫外線消毒であれば利用者の受容性が高まると期待された。総じて、水供給システムの施設規模に見合った消毒技術の開発やその持続可能な維持管理方式の検討が重要と考えられた。

飲料水供給施設相当規模および戸別井戸相当規模の水供給システムを利用している集落を対象に、ヒアリングおよびアンケート調査を実施したところ、表流水を水源としているある集落では、濁水やろ過施設閉塞断水への対応が必要であり、頻繁な点検清掃を行っていることがわかった。また、以前より戸別井戸を利用している集落においては、消毒無しで水を利用しており、機器故障による断水を経験している世帯があったが、今の状況で満足している住民が多く、共同井戸による水道導入プランを想定したアンケートへの賛成はほとんど見られなかった。一方、集落水道が残っている集落では、維持管理への負担感や水質・老朽化への不安感があり、半数の世帯が共同井戸による水道導入プランに賛成意見を表明した。地域の実情に応じた検討が重要である。

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 .多様な手法による水供給システムの最適化に関する検討
 - 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 .ろ過施設の簡便な維持管理方法に関する検討
 - 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 .錠剤型塩素消毒剤や電解型塩素発生装置の基礎的知見の収集と実際への適用
 - 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 .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)本研究では、まず、既存の資料から小規模水供給システムの位置付けを整理し、現状を把握する。更に現地調査及び聞き取り調査などを通し、施設上の課題や水質上の課題、財政上の課題など、技術上、制度上の課題を整理した。
- 2)静岡県、岐阜県、鳥取県等の簡易水道、飲料水供給施設、その他の小規模水供給システムについて、現地調査、管理状況に関する聞き取りを実施した。また、原水・浄水の試料の分析により、現状の把握を行った。
- 3)浜松市内3箇所飲料水供給施設について、管網計算を行った。
- 4)次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について、大腸菌および耐塩索性従属栄養細菌の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価した。
- 5)紫外線照射装置の消毒性能を実験室規模の不活化実験で定量化した。
- 6)鳥取県智頭町において飲料水供給施設相当規模および戸別井戸相当規模の水供給システムを利用している集落を対象に、ヒアリングおよびアンケート調査を実施した。

C．研究結果及びD．考察

- 1 .小規模水供給システムの課題
 - 1.1 小規模水供給システムの位置づけ
- 水道とは水道法（昭和32年6月15日法律第177号）により、「導管及びその他の工作物により、水を人の飲用に適する水として供給する施設

の総体をいう」と規定されている。また、一般の需要に応じて、給水人口が101人以上に水道により水を供給する事業を「水道事業」とし、「専用水道」も合わせて、法4条で水質基準を定め、水道により供給される水の備えるべき要件を定めている。水道法の水質基準が直接的には不適用なものには「飲料水供給施設」、「飲用井戸」、「業務用飲用井戸」、「小規模貯水槽水道」、「営農飲雑用水施設」などの施設がある。

1.2 水質上の管理

水道法上における水道水は法第4条に規定する水質基準が適用されるが、水道法の適用外である小規模水供給システムは、都道府県や市町村が定める小規模水道や飲料水供給施設の水質基準を定めた条例に従っているケースが多い。また、飲用に供する井戸等及び水道法等の規制対象とならない水道であって、人の飲用に用いられているものについては、厚生労働省からも、「飲用井戸等衛生対策要領」において、都道府県、特別区、保健所設置市（平成25年4月以降は全ての市）に対して、適正管理について通知をしている。

しかし、台帳により設置場所等が把握できていない井戸もあり、飲用井戸等の水質検査受検率は約1割で、その水質検査を受けた井戸についてだけでも、約2割の井戸で水質基準値を超過している。現地調査を行う中で、毎日検査を行っていない施設管理者も見られた。

1.3 施設上の課題

飲供はもちろん、給水人口が減少している簡水において、水道・飲料水供給施設を維持することは極めて難しい状況にある。また、今でも町村部は市部に比べて、水道の整備が行われず、取り残された地域が多く存在している。

1.4 管理上の課題（高濁対策、残塩注入、残塩保持）

人口が減少し使用水量が減少している地域では、豪雨時に濁度が急激に上昇し、ろ過池が詰まるなど施設の維持管理が困難であることや、薬剤の使用期限が超過してしまうことがある。多くの場合次亜塩素酸ナトリウムが使用されている。しかし、次亜塩素酸ナトリウムは初期有効塩素の高いものほど不安定で、貯蔵中に有効塩素が減少しやすい。特に小規模水道においては、薬剤の使用量が極めて少ない為、かなり長期間の保存となる。更に、水道施設が山奥等の人々が巡回しづらい場所にあり、水道施設がある場所で薬剤の保管を行っていると、夏場はかなりの高温になり、有効塩素が減少しやすい状況となっている。

その他にも、施設の維持管理を住民が行っている場合、緩速ろ過のろ過砂のかきとりや、浄水処理のための薬剤の運搬等は住民の高齢化が進む

中では、非常に困難である。

更に、小規模の施設を複数抱えているようなところは毎日の施設の巡回、検査等に追われて緊急時の対応が困難であるため、施設巡回や毎日検査が簡素化できるような工夫が必要である。

1.5 水質上の課題（高濁、大腸菌の検出等）

水道水源の選定をする場合、基本的には安定的に清浄な原水が取れる水源を選ぶことが原則であるが、様々な小規模水道の現地調査を行う中で、S県ヒアリングによると一度、降雨があると3日程度濁りが取れない、または濁度が高くなる水源や、イノシシのほか、野生生物に由来して大腸菌が検出される水源もあり、地域によっては水源の選択肢がほとんどない場合が見られた。

1.6 水質検査上の課題（水質検査の簡略化可能性）

特に小規模施設では、水質試験の検査費用の負担がかなり大きい。ある水道事業者では自前の水質試験所にて水質検査や、検査費用を補助する取り組みを行っている。しかし、全国的にはほとんどの事業者が、各管理者のみで水質試験の検査費用を捻出している。

1.7 配水上の課題

日常の維持管理や、災害時などにおける危機管理対応、そしてアセットマネジメントによる計画的な施設更新等、水道施設の適切な管理において水道施設の図面は必須項目である。中規模、大規模の水道事業者と異なり、小規模の水道事業者や小規模水道において、配水上の課題はまず施設の図面がないことである。台帳整備の補助等は本研究で対象としている小規模水供給システムは対象でないため、新たな国からの財政支援、又は都道府県や市町村からの技術支援が必要と考えられる。

1.8 財政上の課題

地理的条件が悪く、建設コストがかかる小規模水供給システムは給水原価が供給単価を上回っていること（原価割れ）が多く、料金収入も少ないため、水道料金収入だけでは経営が困難な状況にある。通常の給水手法にとって代わる、新たな給水手法については厚生労働省の調査でも検討が行われているが、運搬給水などは通常の給水手段と比較して特に優れているという結果ではなかった。一層の検討が必要である。

1.9 統計収集上の課題

簡易水道や小規模水供給システムは職員一人あたりの作業負担が大きく統計収集もかなりの負担となる。そのため水道統計と比較しても簡易水道の施設や水質状況に関するデータは少なく、小規模水供給システムに至ってはほとんどデータがないのが現状である。

1.10 制度上の課題

小規模水供給システムを所管する部局は市町村の衛生部局であることが多く(小さな自治体では水道法が適用される水道と共に所管されることも)水道における技術的なノウハウは水道部門が持っている事が多く、衛生部局が非常に苦勞するところである。そのため、衛生部局から、水道局へ事務委任している例もあった。

2. 管路管理に関する検討

静岡県浜松市内 3 箇所の飲料水供給施設について、管網計算を行い配水管内流速分布を得た。ついで、別途実施している室内実験結果や、大阪地域・神戸地域での実地調査結果を活用して、配水管内に堆積する重量(g/m^2)とその分布を推定した。この成果によって、第一段階 浄水処理、第二段階 配水管網の水理条件、第三段階 洗管の観点から、堆積量の重量分布の変化を検討することが可能となった。

3. 消毒剤の消毒効果に関する検討

次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤 2 種 (SDIC および TCCA) の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について、大腸菌 (*E. coli* K12) および耐塩素性従属栄養細菌 (*S. paucimobilis*) の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価した。消毒剤の残留濃度は、消毒対象となる細菌の種別により異なり、SDIC および TCCA いずれも次亜と同程度以下の残塩保持濃度となる可能性が示された。各消毒剤の CT 値および生残率に基づく不活化能力は次亜と同程度であるものの、対象とする細菌種や CT 値に応じて前後することが明らかとなった。実際の水供給システムへの適用に際しては、このような各消毒剤の不活化能力ならびに残留特性の相違について留意する必要がある。

4. 消毒剤、電解装置による消毒副生成物

次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について、大腸菌および耐塩素性従属栄養細菌の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価した。消毒剤の残留濃度は、消毒対象となる細菌の種別により異なり、SDIC および TCCA いずれも次亜と同程度以下の残塩保持濃度となる可能性が示された。各消毒剤の CT 値および生残率に基づく不活化能力は次亜と同程度であるものの、対象とする細菌種や CT 値に応じて前後することが明らかとなった。

5. 紫外線照射装置の消毒性能

紫外線照射装置の消毒性能を実験室規模の不活化実験で定量化した。対象微生物種として、大腸菌、大腸菌ファージ MS2 と Q β 、枯草菌芽胞、

緑膿菌、レジオネラ属菌、従属栄養細菌を調査し、それぞれについて紫外線量に対する不活化応答を明らかにし、菌種の違いによる紫外線感受性の違いがあることが示された。

6. 住民の管理に関する聞き取り調査

表流水を水源としている集落では、濁水やろ過施設閉塞断水への対応が必要であり、頻繁な点検清掃を行っていることがわかった。水源に係わらず、水量・水圧不足や濁水の発生などを契機として戸別井戸の導入が進んでいる集落があることが明らかとなった。また、以前より戸別井戸を利用している A 集落、B 集落においては、消毒無しで水を利用しており、機器故障による断水を経験している世帯が 3 割あったが、今の状況で満足している住民が多く、共同井戸による水道導入プランを想定したアンケートへの賛成はほとんど見られなかった。一方、集落水道が残っている C 集落では、維持管理への負担感や水質・老朽化への不安感があり、半数の世帯が共同井戸による水道導入プランに賛成意見を表明した。

また、水供給システムを新たに導入すると想定した場合に、集落住民が水供給システムに対して、安定性、安全性、維持管理性のうちのどのサービス要因を重視するかを把握し、各種水準のサービス要因への限界支払意思額を求めるために戸別井戸を利用している世帯が多い集落の住民を対象にコンジョイント分析を行った。その結果、調査した集落における世帯あたりの限界支払意思額は、断水が 10 年に 1 回となることに約 2,700 円/月、ろ過した水質に約 3,900 円/月、住民自身の管理労力が年に 1 回となることに約 2,000 円/月ということが示され、調査した集落においては水質要因が最も重視されていることが示された。ただし、集落や住民がおかれた水供給システムの状況やその認識によって新たな水道導入プランへの賛否意見が大きく分かれたことから、住民が求めるサービス要因や水準は集落によって異なるものと考えられる。さらなる調査を進め、集落住民が求める要因や水準を明らかにするとともに、集落住民が負担できる費用や労力の水準をさぐっていくことが重要と考えられる。本調査による結果を基礎資料とし、今後は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導入に対する関係者の負担意思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を検討することを試みたい。

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。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. 小規模水供給システムの位置づけ、現況（法令等遵守状況、水源の状況、規模等）、施設上の課題、管理上の課題（高濁対策、残塩注入、残塩保持）、水質上の課題（高濁、大腸菌の検出等）、水質検査上の課題（水質検査の簡略化可能性）、配水上の課題、財政上の課題、統計収集上の課題、制度上の課題等について整理を行った。

2. 飲料水供給施設を調査・検討対象とした。原水・浄水・給水の水質調査を行うとともに、配水管路データ、各戸居住人数など解析に必要な情報を収集した。まず、3つの飲料水供給施設において、管網計算を行い配水管内流速分布を得た。ついで、別途実施している室内実験結果や、大阪地域・神戸地域での実地調査結果を活用して、配水管内に堆積する重量（ g/m^2 ）とその分布を推定した。この成果によって、第一段階 浄水処理、第二段階 配水管網の水理条件、第三段階 洗管の観点から、堆積量の重量分布の変化を検討することが可能となった。

3. 塩素の注入、試薬の管理に課題があったことから、次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について、大腸菌および耐塩素性従属栄養細菌の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価したところ、消毒剤の残留濃度は、消毒対象となる細菌の種別により異なり、いずれも次亜と同程度以下の残塩保持濃度となる可能性が示された。各消毒剤のCT値および生残率に基づく不活化能力は次亜と同程度であるものの、対象とする細菌種やCT値に応じて前後することが明らかとなった。実際の水供給システムへの適用に際しては、このような各消毒剤の不活化能力ならびに残留特性の相違について留意する必要がある。

4. 遊離残留塩素濃度の減少量が等しければトリハロメタンやハロ酢酸の生成量は各種消毒剤毎にほぼ同等であった。水電解次亜発生装置による次亜生成過程（電解中）において、トリハロメタンやハロ酢酸は生成していなかったが、塩素酸は増加するので、電解を繰り返す場合の塩素酸濃度の上昇には注意が必要である。現場の特性に応じて保存性、徐溶性、速溶性、使用性等の観点から消毒剤の検討を行うことが重要である。

5. 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について、多種の微生物を対象に消毒性能を調べた。また、実施への紫外線装置の導入可能性を探るため、施設見学と実務者ヒア

リングを実施した。実験では、複数の微生物種を対象とし、波長の異なる紫外線光源を用いて紫外線量に対する不活化応答を調べた。その結果、菌種の違いによる紫外線の波長感受性の違いを定量的に示した。また、従属栄養細菌の紫外線感受性が低いこと（紫外線耐性が高いこと）、紫外線処理の結果として従属栄養細菌のうちでも特に紫外線耐性の高い種が選択的に残存しうることを示した。従属栄養細菌は、直接の健康リスクとの関連性は明確でないものの、水の衛生状態を示す目安として水質管理目標値が設定されており、小規模水供給システムへの紫外線消毒適用において従属栄養細菌の制御が課題であると考えられた。施設見学とヒアリングの結果から、現状では小規模施設に適した消毒方法は十分に検討されておらず、特に、消毒剤の補充や当番制での維持管理が住民の負担になっている実情が伺えた。消毒剤のにおいに対する抵抗感から消毒を実施しない小規模施設も多く、紫外線消毒であれば利用者の受容性が高まると期待された。総じて、水供給システムの施設規模に見合った消毒技術の開発やその持続可能な維持管理方式の検討が重要と考えられた。

6. 飲料水供給施設相当規模および戸別井戸相当規模の水供給システムを利用している集落を対象に、ヒアリングおよびアンケート調査を実施したところ、表流水を水源としているある集落では、濁水やろ過施設閉塞断水への対応が必要であり、頻繁な点検清掃を行っていることがわかった。水源に係わらず、水量・水圧不足や濁水の発生などを契機として戸別井戸の導入が進んでいる集落があることが明らかとなった。また、以前より戸別井戸を利用している集落においては、消毒無しで水を利用しており、機器故障による断水を経験している世帯があったが、今の状況で満足している住民が多く、共同井戸による水道導入プランを想定したアンケートへの賛成はほとんど見られなかった。一方、集落水道が残っている集落では、維持管理への負担感や水質・老朽化への不安感があり、半数の世帯が共同井戸による水道導入プランに賛成意見を表明した。地域の実情に応じた検討が重要である。

F. 研究発表

1. 研究成果の刊行に関する一覧表：刊行書籍又は雑誌名（雑誌の時は、雑誌名、巻数、論文名）、刊行年月日、刊行書店名、執筆者氏名

平山修久、伊藤禎彦：需要者へのコントロール感の付与からみた災害時の上水道システムにおける情報提供のあり方に関する検討，日本リスク研究学会誌，Vol.26，No.4，pp.199-208，

- 2017.
- 中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 藤井宏明, 鈴木剛史: 上水配水管内面に対する微粒子・マンガン・細菌の付着特性、土木学会論文集 G (環境) (環境工学研究論文集 第 54 巻), Vol.73, No.7, pp. _505- _514, 2017.
- 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, in press. The American Society of Photobiology, <https://doi.org/10.1111/php.12891>. 2018 .
- Surapong Rattanukul 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) , <https://doi.org/10.1016/j.watres>.
- 細井山豊、小熊久美子、滝沢智、大腸菌の不活化と光回復を考慮した紫外発光ダイオード (UV-LED) の評価、土木学会論文集 G(環境)、Vol.73, No.7, _337- _343 . 2017 .
- 小熊 久美子、紫外発光ダイオード (UV-LED) の水処理光源としての魅力、用水と廃水 vol.59、No.4、177-281、2017 .
- 2 . 学会発表
- 鳥居将士、朝野正平、栗田志広、島崎大、阿部功介、浅見真理 . 小型紫外線照射装置を用いた実験条件に関する一考察 . 全国水道研究発表会 ; 2017.10 ; 高松 . p.304-05.
- Asami M, Abe K, Simazaki D, Oguma K, and Ohno K. Trends in Operation and Management of Water Supplies with Size and Location Diversity, International Water Association World Water Congress & Exhibition, 16-21 Sep. 2018, Tokyo (poster accepted)
- Itoh, S., Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S. : Management of particles in water distribution networks - Water supply system in a depopulation society and research needs -, Proceeding of the 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.C-01_6p, July 6-7, 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea.
- Zhou, X., Nakanishi, T., Nishioka, H., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Behavior of suspended matters in drinking water distribution system, Proceeding of The 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, C-04_8p, July 6-7. 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea
- 岸本如水, 中西智宏, 周心怡, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 西岡寛哲: 上水配水管内の付着物実態調査と配水区域内堆積量分布の表示、環境衛生工学研究, Vol.31, No.3, pp.182-185, 2017.
- Kishimoto, J, Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Survey on micro-particles adhered inside water distribution pipes and a distribution of accumulated matters in a network, HUST & KU International Symposium on the Education & Research of the Global Environmental Studies in Asia in conjunction with the 10th Regional Conference on Environmental Engineering 2017, October 30-31, 2017, Hanoi, Vietnam.
- 三輪雅幸, 伊藤禎彦: 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究, 平成 29 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.148-149, 2017.
- 樽井滉生, 中西智宏, 西岡寛哲, 伊藤禎彦: 浄水中微粒子の配水管内付着に対する流速の影響, 第 52 回日本水環境学会年会講演集, 2018.
- 細井山豊, 小熊久美子, 滝沢智. 大腸菌の不活化と光回復を考慮した紫外発光ダイオード (UV-LED) の評価. 第 54 回環境工学研究フォーラム, 岐阜大学. 2017 年 11 月 18 日.
- 小熊久美子. 紫外線を利用した水処理技術の最前線. 第 20 回日本水環境学会シンポジウム, 和歌山大学, 2017 年 9 月 27 日.
- Kumiko Oguma and Rattanukul Surapong. Inactivation of *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila* and Common Indicator Microorganisms by UV-LEDs at Different Wavelengths. IUVA 2017 World Congress & Exhibition, Dubrovnik, Croatia, September 18, 2017.
- 3 . 総説・解説
- 伊藤禎彦: 高度水処理技術を中心とする水の浄化システムの開発, ケミカルエンジニアリング, Vol.62, No.10, pp.1-7, 2017.
- 伊藤禎彦: 巻頭言 人口減少・水需要減少社会への挑戦, 水道技術ジャーナル, No.85, p.1, 2017.
- 三輪雅幸, 伊藤禎彦: 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究, 水道, Vol.63, No.2, pp.8-17, 2018.

4. その他講演等

浅見真理：水道水質管理の現状と課題，千葉県水道局技術研修会，2017.11.24.

浅見真理：水道水質管理の現状と課題，第 153 回水道事業管理者協議会，東京，2017.11.30.

浅見真理：小規模水供給システムの水質管理について，第 50 回水道実務指導者研究集会，全国簡易水道協議会，東京，2018.2.28.

浅見真理：水道水質管理の現状と課題，平成 29 年度福井県簡易水道協会研修会，福井県，2018.3.19.

Sadahiko Itoh：Reestablishment of water supply system in a depopulation society and research needs，Kyoto University International Symposium, 5th Southeast Asia Network Forum / 23rd Southeast Asia Forum, February 4, 2017, Hotel Pullman Bangkok Grande Sukhumvit Asoke, Bangkok, Thailand.

伊藤禎彦：浄水処理-配水システムのトータルソリューション創出へ向けて，平成 28 年度日本ダクタイル鉄管協会関東支部講演会，千葉市生涯学習センター，2017.1.20.

伊藤禎彦：「濁度 0.1 度」から科学的根拠に基づく微生物的安全レベルの設定へ，日本紫外線水処理技術協会（JUVA）技術セミナー「濁度 0.1 度とは？～リスク管理と UV の役割～」，日本紫外線水処理技術協会技術委員会主催，お茶の水女子大学，2017.3.29.

伊藤禎彦：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へ向けて，第 27 回「水を語る会」，日本水道会館会議室，2017.5.13.

伊藤禎彦：水需要減少下における浄水処理・配水システム再構築の考え方と技術ニーズ，第 5 回水道技術工法研究会（滋賀）「水道事業の持続と強靱化に貢献する最新技術」，JA 滋賀中央会 2 階多目的ホール 2017.8.31.

伊藤禎彦：人口減少下における浄水処理-配水システム再構築の考え方と各種課題，平成 29 年度日本ダクタイル鉄管協会関東支部講演会新潟県会場，朱鷺メッセ，2017.10.11.

伊藤禎彦：水需要減少下における上水道システ

ム再構築の考え方と各種ニーズ，第 22 回 21 世紀水処理技術懇話会，北海道北見市，ホテル黒部，2017.11.9.

伊藤禎彦：水需要減少下における上水道システム再構築の考え方と技術ニーズ，一般公開シンポジウム 第 54 回環境工学研究フォーラム企画セッション「人口減少社会における環境工学の展開」，pp. 31-46, 岐阜大学講堂，2017.11.18.

中西智宏，周心怡，西岡寛哲，北田純悟，樽井滉生，橋本雄二，岸本如水，浅田安廣，越後信哉，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と高機能化に関する総合研究，配水管内環境に関する報告会，大阪広域水道企業団水質管理センター会議室，2017.3.23.

中西智宏，周心怡，西岡寛哲，北田純悟，樽井滉生，橋本雄二，岸本如水，浅田安廣，越後信哉，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と高機能化に関する総合研究，阪神水道企業団尼崎浄水場，2017.6.12.

小熊久美子：深紫外 LED を利用した水処理 -研究最前線と将来展望-。深紫外 LED で創生される産業連鎖フォーラム，三重大学，2018 年 3 月 2 日。（招待講演）

小熊久美子：紫外発光ダイオードの水処理への展開。第 46 回結晶成長国内会議（JCCG-46），浜松，2017 年 11 月 27 日。（招待講演）

Kumiko Oguma. Expansion of UV Light-Emitting diodes, UV-LEDs, to Water Treatment, IUVA Symposium: UV Technology Advancement for Water Environment. Singapore. November 6, 2017.（招待講演）

G. 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

3. その他

なし

平成 29 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究
（H29-健危-一般-004）分担研究報告書

小規模水供給システムの現状と課題に関する研究

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	東京大学先端科学技術研究センター
	増田 貴則	鳥取大学大学院工学研究科 社会基盤工学専攻
研究協力者	阿部 功介	国立保健医療科学院 生活環境研究部
	福岡 早紀	京都大学大学院工学研究科

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、小規模水供給システムの位置づけ、現況（法令等遵守状況、水源の状況、規模等）、施設上の課題、管理上の課題（高濁対策、残塩注入、残塩保持）、水質上の課題（高濁、大腸菌の検出等）、水質検査上の課題（水質検査の簡略化可能性）、配水上の課題、財政上の課題、統計収集上の課題、制度上の課題等について整理を行った。

A．研究目的

水道水の安全性の確保については、水道事業者、専用水道及び簡易専用水道の設置者に対しては、水道法による規制があり、制度の適切な運用・改善によって実現可能と考えられる。他方で、我が国には、水道事業者又は専用水道の設置者からの給水によらず、水道法の規制適用外の小規模水道、飲用井戸等において生活用水を確保している人口が 400 万人程度存在する¹⁾。

このような飲料水供給施設（以下、飲供）はもちろん、給水人口が減少している簡易水道（以下、簡水）において、水道・飲供を維持することは極めて難しい状況にあるので、小規模水供給システムのさらなる安全性向上に資することを目的として研究を行うこととした。

B．研究方法

本研究では、まず、既存の資料から小規模水供給システムの位置付けを整理し、現状を

把握する。更に現地調査及び聞き取り調査などを通し、施設上の課題や水質上の課題、財政上の課題など、技術上、制度上の課題を整理する。

C．研究結果及びD．考察

1．小規模水供給システムの位置づけ

水道とは水道法（昭和32年6月15日法律第177号）により、「導管及びその他の工作物により、水を人の飲用に適する水として供給する施設の総体をいう」と規定されている。また、一般の需要に応じて、給水人口が101人以上に水道により水を供給する事業を「水道事業」とし、「専用水道」も合わせて、法4条で水質基準を定め、水道により供給される水の備えるべき要件を定めている。水道法の水質基準が不適用なものには「小規模水道」や「飲料水供給施設」、「飲用井戸等」など様々ある。ここではそれらについて記述をし、今回の小規模水供給システムの研究における対象を整理する。

1.1 小規模水道

小規模水道とは、飲料水健康危機管理実施要領の中で、以下のように定義されている。

「(2)この要領において飲料水とは次の3種のものをいう。

- 1) 水道法に基づく種々の規制が適用される水道事業者、水道用水供給事業者及び専用水道設置者(以下、本要領において「水道事業者等」という)並びに簡易専用水道設置者により供給される水道水(以下、本要領において「水道水」という。)
- 2) 規模が小さいことなどから水道法による国の規制が適用されない1)以外の水道により供給される水(以下、本要領において「小規模水道水」という。)
- 3) 個人が井戸等から汲み上げて飲用する水(以下、本要領において「井戸水等」という。)

上記2)のように定義されているが、各都道府県等により、要領・条例等で定められている場合もある(表1)。

表1 都道府県ごとの要領・条例

都道府県	飲用井戸等に関する要領等	小規模水道に関する条例等	小規模水道の定義
北海道	北海道飲用井戸等衛生対策要領		
青森県	青森県飲用井戸等衛生対策要領	青森県小規模水道規制条例	30人～100人
岩手県	岩手県飲用井戸等衛生対策要領	-	
宮城県	-	簡易給水施設等の規制に関する条例	30人～100人
秋田県	秋田県飲用井戸等衛生対策要領	秋田県小規模水道条例	30人～100人
山形県	山形県飲用井戸等衛生対策要領	山形県小規模水道条例	50人～100人
福島県	福島県飲用井戸等衛生対策要領	福島県給水施設等条例	51人～100人
茨城県	飲用井戸等の安全確保のための指針	茨城県安全な飲料水の確保に関する条例	50人～100人
栃木県	栃木県飲用井戸等衛生対策要領	栃木県小規模水道条例	50人～100人
群馬県	-	群馬県小水道条例	30人～100人
埼玉県	-	埼玉県自家用水道条例	50人～100人
千葉県	-	千葉県小規模水道条例	50人～100人
東京都	・東京都小規模貯水槽水道等における安全で衛生的な飲料水の確保に関する条例 ・飲用に供する井戸等の衛生管理指導要綱	-	
神奈川県	神奈川県飲用井戸衛生管理要綱	小規模水道及び小規模受水槽水道における安全で衛生的な飲料水の確保に関する条例	100人以下
新潟県	-	新潟県小規模水道条例	30人～100人
富山県	富山県飲用井戸等衛生対策要領	-	
石川県	石川県飲用井戸等衛生対策要領	-	
福井県	-	-	
山梨県	山梨県飲用井戸等衛生対策指導要領	-	
長野県	飲用井戸等衛生対策要領	小規模水道維持管理指導要綱	50人～100人
岐阜県	岐阜県地下水の適正管理及び汚染対策に関する要綱	-	
静岡県	-	-	
愛知県	建築物における給水施設の維持管理要領	飲料水供給施設の維持管理要領	100人以下
三重県	-	三重県小規模水道条例	50人～100人
滋賀県	滋賀県飲用井戸等衛生対策要領	-	
京都府	・公共井戸取締条例	-	

	・京都府小規模貯水槽水道衛生管理指導要領		
大阪府	大阪府飲用井戸等衛生管理指導要領	大阪府特設水道条例	50人～100人
兵庫県	-	特設水道条例	50人～100人
奈良県	-	-	
和歌山県	和歌山県飲用井戸等衛生対策要領	-	
鳥取県	-	-	
島根県	-	-	
岡山県	岡山県飲用井戸等衛生対策要領	-	
広島県	飲用井戸等衛生対策要領	-	
山口県	-	-	
徳島県	飲用井戸等衛生対策要領	-	
香川県	香川県飲用井戸等衛生対策要領	-	
愛媛県	愛媛県飲用井戸等衛生対策要領	愛媛県飲料水健康危機管理対応要領	100人以下
高知県	高知県飲用井戸等衛生対策要領	-	
福岡県	福岡県飲用井戸等衛生対策実施要領	-	
佐賀県	-	佐賀県小規模水道条例	50人～100人
長崎県	-	-	
熊本県	-	-	
大分県	-	大分県給水施設条例	50人～100人
宮崎県	-	-	
鹿児島県	-	-	
沖縄県	-	-	
計	29(うち2つは同一都府が制定)	20	

【出典】厚生労働省医薬・生活衛生局 生活衛生・食品安全部水道課

「人口減少地域における料金収入を踏まえた多様な給水方法の検討に関する調査」

1.2 飲料水供給施設

過疎地域など人口分布が希薄な地域では、簡水の布設条件が整わないこともあり、これらの地域における水道の普及を目的として、市町村が行う飲料水供給施設整備事業に対して国庫補助がなされている。飲供とは、国庫補助上の用語として用いられ、水道事業実務必携の中で、「50人以上（地下水汚染地域にあってはこの限りではない。）100人以下を給水人口として、人の飲用に供する水を供給する施設をいう。」としている。だが、あくまで、国庫補助を受ける際の基準なので、各都道府県の条例等で定める様々な基準がある(表1)。

1.3 飲用井戸等

飲用井戸等とは、飲用井戸等衛生対策要領の中で、以下の様に定義されている。

「この要領において対象とする施設は、次に掲げる施設のいずれかであつて、水道法（対象；水道事業の用に供する水道，専用水道及び簡易専用水道），建築物における衛生的環境

の確保に関する法律（対象；特定建築物）等の適用を受けないもの（以下「飲用井戸等」という。）とする。」

- 1) 個人住宅，寄宿舎，社宅，共同住宅等に居住する者に対して飲用水を供給する井戸等の給水施設（導管等を含む。以下「一般飲用井戸」という。）
- 2) 官公庁，学校，病院，店舗，工場その他の事業所等に対して飲用水を供給する井戸等の給水施設（導管等を含む。以下「業務用飲用井戸」という。）
- 3) 水道事業の用に供する水道又は専用水道から供給を受ける水のみを水源とする小規模貯水槽を有する施設（以下「小規模貯水槽水道」という。）

上記のように定義されているが，各都道府県等により，条例等で定められている場合もある（表1）。加えて、農業地域では、「営農飲雑用水施設」として、農業用として必要な水（家畜の飲み水・作物の病害虫を予防する水・機械を洗う水など）併せて、家庭で生活上必要な水（飲み水など）の確保を行った施設がある。

1.5 まとめ

これらより，小規模水供給システムとは，表2の飲料水供給施設や飲用井戸等のように衛生管理において水道法が不適用なものを指していると整理できる。

表2 小規模水供給システムの位置づけ

給水対象	給水人口	水源	施設規模等	名称	衛生管理状況	受検率	指摘率	
一般 (不特定)	100人超	-	計画給水人口5,000人超	上水道事業	水質基準			
			計画給水人口5,000人以下	簡易水道事業	水質基準			
	100人以下	-	-	飲料水供給施設	条例・要綱等			
自家用 (特定) ex)寄宿舎，社宅，療養所等	100人超または最大給水量20m ³ 超/日	他の水道からの供給を受ける水のみ	口径25mm以上の導管の全長が1,500m超又は受水槽の有効容量の合計が100m ³ 超	専用水道	水質基準			
			口径25mm以上の導管の全長が1,500m以下且つ受水槽の有効容量の合計が100m ³ 以下	受水槽の有効容量が10m ³ 超	簡易専用水道	水道法第34条の2で定められている簡易専用水道の管理の検査	78.4% 1	23.3% 1
				受水槽の有効容量が10m ³ 以下	小規模貯水槽水道	条例・要綱等	3.1% 2	25.4% 2
				自己水源のみ又は自己水源と他の水道の混合	-	専用水道	水質基準	
	100人以下且つ最大給水量20m ³ 以下/日	他の水道からの供給を受ける水のみ	受水槽の有効容量が10m ³ 超	簡易専用水道	水道法第34条の2で定められている簡易専用水道の管理の検査	1	1	
			受水槽の有効容量が10m ³ 以下	小規模貯水槽水道	条例・要綱等	2	2	
				自己水源のみ又は自己水源と他の水道の混合	-	飲用井戸等	条例・要綱等	8.1% 3

1 全ての簡易専用水道における受検率・指摘率

2 全ての小規模貯水槽水道における受検率・指摘率

3 飲用井戸等における一般項目に係る水質検査受検率・指摘率

2. 現況（法令等遵守状況，水源の状況，規模等）

現在の日本において，高齢化及び人口減少，過疎化の影響により，計画給水人口が 100

人以下の飲供は全国で 3,693 箇所、その給水人口は 169,510 人となっている²⁾。また、現在給水人口が 100 人未満の水道事業も多く、全国で 5,860 事業ある簡水の内、現在給水人口が 100 人未満の水道事業は 1,239 事業、更に、50 人未満は 377 事業となっている。³⁾

水道法上における水道水は法第 4 条に規定する水質基準が適用されるが、水道法の適用外である小規模水道は、都道府県や市町村が定める小規模水道や飲料水供給施設の水質基準を定めた条例に従っているケースが多い。また、飲用に供する井戸等及び水道法等の規制対象とならない水道であって、人の飲用に用いられているものについては、厚生労働省からも、「飲用井戸等衛生対策要領」において、都道府県、特別区、保健所設置市（平成 25 年 4 月以降は全ての市）に対して、適正管理について通知をしている。

よって、これに基づき、条例、要綱等を制定する都道府県、特別区、保健所設置市（平成 25 年 4 月以降は全ての市）については、それぞれの例規に基づく指導を行っている。

厚生労働省の調査「貯水槽水道及び飲用井戸等に係る衛生管理状況調査（平成 27 年度）」によると飲用井戸の管理状況は表 3、4 のようになる。

表 3 水質検査状況

	平成 23	平成 24	平成 25	平成 26	平成 27
検査井戸数 ^{※2}	41,825	34,997	38,979	34,552	32,253
基準超過井戸数 (超過率 ^{※3})	7,018 (16.8%)	7,437 (21.3%)	8,762 (22.5%)	7,143 (20.7%)	6,788 (21.0%)
一般細菌	5,135 (12.3%)	4,529 (12.9%)	5,344 (13.7%)	3,960 (11.5%)	4,017 (12.5%)
大腸菌(群)	2,105 (5.0%)	1,878 (5.4%)	1,775 (4.6%)	1,670 (4.8%)	1,608 (5.0%)
硝酸態窒素及び 亜硝酸態窒素	1,723 (4.1%)	1,300 (3.7%)	1,203 (3.1%)	941 (2.7%)	933 (2.9%)
その他項目 ^{※1}	4,488 (10.7%)	3,779 (10.8%)	3,933 (10.1%)	4,535 (13.1%)	4,366 (13.5%)

【出典】厚生労働省医薬・生活衛生局 生活衛生・食品安全部水道課

「貯水槽水道及び飲用井戸等に係る衛生管理状況調査（平成 27 年度）」

表 4 規制種別による飲用井戸等の水質検査状況（平成 27 年度）

規制種別	区分	設置数	検査井戸数		
			一般項目	TCE 等項目	その他項目
条例対象施設	公営	(556)	298	179	212
	その他	(4,550)	3,013	1,213	2,233
	小計	(5,106)	3,311	1,392	2,445
要綱・要領等 対象施設	一般飲用井戸	177,362 (37,065)	6,694	715	1,989
	業務用飲用井戸	18,124 (5,454)	3,972	265	1,854
	その他の井戸	53,884 (11,011)	1,096	150	306
	小計	249,370 (53,530)	11,762	1,130	4,149
規制対象外施設	一般飲用井戸	77,476 (33,300)	11,434	1,495	8,057
	業務用飲用井戸	2,667 (1,310)	2,092	165	823
	その他の井戸	35,879 (1,753)	1,435	151	932
	小計	116,022 (36,363)	14,961	1,811	9,812
合計		370,498 (94,999)	30,034	4,333	16,406

注)

一般飲用井戸とは、個人住宅、寄宿舎、社宅、共同住宅等に居住する者に対して飲用水を供給する井戸等の給水施設。
業務用飲用井戸とは、官公庁、学校、病院、店舗、工場その他の事業所等に対して飲用水を供給する井戸等の給水施設。
その他の井戸とは、一般用・業務用の区別ができない給水施設。
設置数のうち括弧内は、台帳等により実数が把握できている井戸数を示す。

【出典】厚生労働省医薬・生活衛生局 生活衛生・食品安全部水道課

「貯水槽水道及び飲用井戸等に係る衛生管理状況調査（平成 27 年度）」

これらを見ると、台帳により設置場所等が把握できていない井戸もあり、飲用井戸等の水質検査受検率は約 1 割で、その水質検査を受けた井戸についてだけでも、約 2 割の井戸で水質基準値を超過している。現地調査を行う中で、毎日検査を行っていない施設管理者も見られた。

また、本研究ではこれら小規模水供給システムの現地調査を行っているが、その詳細については別紙にて述べる。

3. 施設上の課題

飲供はもちろん、給水人口が減少している簡水において、水道・飲料水供給施設を維持

することは極めて難しい状況にある。また、今でも町村部は市部に比べて、水道の整備が行われず、取り残された地域が多く存在している。そのため簡易水道協議会は「簡易水道関係予算の確保等に関する要望書」毎年提出しており、その中で特に簡易水道等施設整備費の補助制度の拡充を要望している。

4. 管理上の課題（高濁対策，残塩注入，残塩保持）

人口が減少し使用水量が減少している地域では、豪雨時に濁度が急激に上昇し、ろ過池が詰まるなど施設の維持管理が困難であることや、薬剤の使用期限が超過してしまうことがある。特に水道水の消毒については、水道法第 22 条において「水道事業者は、厚生労働省令の定めるところにより、水道施設の管理及び運営に関し、消毒その他衛生上必要な措置を講じなければならない。」とあり、水道法施行規則第 17 条により、給水栓で保持すべき残留塩素濃度が規定されている。消毒のための塩素の使用は「水質基準に関する省令の制定及び水道法施行規則の一部改正等並びに水道水質管理における留意事項について（平成 29 年 3 月 28 日付け各都道府県・市・特別区水道行政担当部(局)長あて厚生労働省健康局水道課長通知）」において「水の消毒は塩素によることを基本とすること。」とされている。一般的な塩素系消毒剤としては次亜塩素酸ナトリウム、液化塩素及び次亜塩素酸カルシウムがあり、多くの場合次亜塩素酸ナトリウムが使用されている。しかし、次亜塩素酸ナトリウムは初期有効塩素の高いものほど不安定で、貯蔵中に有効塩素が減少しやすい。特に小規模水道においては、薬剤の使用量が極めて少ない為、かなり長期間の保存となる。更に、水道施設が山奥等の人が巡回しづらい場所にあり、水道施設がある場所で薬剤の保管を行っている時、夏場はかなりの高温になり、有効塩素が減少しやすい状況となっている。

これについては、淵上⁴⁾らが初期有効塩素濃度について、初期有効塩素濃度が半分になると分解速度が 1/4 まで低下することを報告しており、初期有効塩素濃度を調整することで有効塩素の減少を抑えることが考えられる。また、固形の消毒剤（タブレット型消毒剤）を使用することで、固形である間の有効塩素の低下がかなり抑えられると考えられる。このため、使用する時にタブレット型消毒剤を使用することも有効であると考えられる。

また、S 県のヒアリングによると、ろ過設備等についても簡易なものを用いているため、原水が大雨等で高濁度になった場合、対応しきれず、ろ過池はもちろん、沈砂池等がつまり断水や蛇口からの浄水中に濁水が発生してしまう事例も報告されている。このため、高濁度時にピークカットを行う遮断弁等の導入により改善が見られている例もある。

その他にも、施設の維持管理を住民が行っている場合、緩速ろ過のろ過砂のかきとりや、浄水処理のための薬剤の運搬等は住民の高齢化が進む中では、非常に困難である。

更に、小規模の施設を複数抱えているようなところは毎日の施設の巡回、検査等に追われて緊急時の対応が困難であるため、施設巡回や毎日検査が簡素化できるような工夫が必要である。

5. 水質上の課題（高濁，大腸菌の検出等）

水道水源の選定をする場合，基本的には安定的に清浄な原水が取れる水源を選ぶことが原則であるが，様々な小規模水道の現地調査を行う中で，S 県ヒアリングによると一度，降雨があると 3 日程度濁りが取れない，または濁度が高くなる水源や，イノシシのほか，野生生物に由来して大腸菌が検出される水源もあり，地域によっては水源の選択肢がほとんどない場合が見られた。

6. 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，「水道事業者は，厚生労働省令の定めるところにより，定期及び臨時の水質検査を行わなければならない。」とある。

厚生労働省令第 15 条において，それぞれの基準項目において省略が可能かについて規定されているが，省略不可な項目も多く，現在給水人口が 100 人以下の水道事業にとって大きな負担となっている。また，水質検査の省略項目を知らない水道事業者もあり，都道府県行政や検査の委託先である 20 条機関からの情報提供も必要であると考えられる。

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と考えられる。

飲供等においては，水道法の水道には該当するが，水質検査の実施等の実質上の規制はかからないため，厚生労働省では，飲用井戸等衛生対策要領の通知を発出し，都道府県等に指導している。都道府県等は独自に条例や要綱等を設けて指導していることが多い。これらの実態については，「2.2 現況」で述べている。

また，全ての管理者に言えることであるが，水質試験の検査費用の負担がかなり大きい。「人口減少地域における料金収入を踏まえた多様な給水方法の検討に関する調査報告書(厚生労働省)」によると，年間の水質検査費用として約 60 万円が計上されている。この負担を軽減させるために H 市では水道事業者が自前の水質試験所にて水質検査を行ったり，検査費用を補助する取り組みを行っている。しかし，全国的にはほとんどの事業者が，各管理者のみで水質試験の検査費用を捻出している。

7. 配水上の課題

日常の維持管理や，災害時などにおける危機管理対応，そしてアセットマネジメントによる計画的な施設更新等，水道施設の適切な管理において水道施設の図面は必須項目である。中規模，大規模の水道事業者と異なり，小規模の水道事業者や小規模水道において，配水上の課題はまず施設の図面がないことである。ましてや，実態も把握できていない管理者もいたことが，聞き取りを通して分かった。「水道法の一部を改正する法律案（平成 30 年 3 月 9 日 閣議決定）」では，水道事業者等は，水道施設を適切に管理するための水道施設台帳を作成し，保管しなければならないこととしている。この水道台帳の整備状況や施設の点検の実施状況について平成 28 年度に厚生労働省が 7,372 事業者（全ての水道事業者及び

水道用水供給事業者)を対象にアンケート調査を行った。台帳整備のアンケート結果によると、水道事業者全体の約61%は水道施設のデータを整理しており、台帳整備がされている状況といえる。上水道事業では、約74%がデータを整理しており、簡易水道事業では約56%が整理しているにとどまり、やや上水道事業に比べて遅れている状況である。⁵⁾しかし、マンパワーの不足している中小規模の事業者では水道施設の保有・管理状況に関する基礎データも十分整備されていないのが現状である。よって、厚生労働省では、中小規模の事業者に対して国から財政支援を行い、台帳整備を推進する必要があるとして、将来的に広域化に係る施設整備を実施するために、生活基盤施設耐震化等交付金(運営基盤強化推進等事業)を活用することを検討している水道事業者に対して、台帳整備に要する経費を同交付金の対象として位置づけ、財政支援を行っている。しかしこれは本研究で対象としている小規模水供給システムは対象でないため、新たな国からの財政支援、又は都道府県や市町村からの財政支援が必要と考えられる。

8. 財政上の課題

地理的条件が悪く、建設コストがかかる小規模水供給システムは給水原価が供給単価を上回っていること(原価割れ)が多く、料金収入も少ないため、水道料金収入だけでは経営が困難な状況にある。通常の給水手法にとって代わる、新たな給水手法については厚生労働省の調査でも検討を行ったが、⁶⁾新たな給水手法の一つである運搬給水などは通常の給水手段と比較して特に優れているという結果ではなかった。また、この報告書では運搬給水が常時給水として可能であるとの前提であるため、積雪時や道路事情によって給水車による運搬給水が困難な時期や場所がある場合は、運搬給水方法はさらに別のコスト(人手によるボトル水の配送費等)を要する可能性がある。

9. 統計収集上の課題

簡易水道や小規模水供給システムは職員一人あたりの作業負担が大きく統計収集もかなりの負担となる。そのため水道統計と比較しても簡易水道の施設や水質状況に関するデータは少なく、小規模水供給システムに至ってはほとんどデータがないのが現状である。

10. 制度上の課題

小規模水供給システムを所管する部局は市町村の衛生部局であることが多く(小さな自治体では水道法が適用される水道と共に所管されることも)、水道における技術的なノウハウは水道部門が持っている事が多く、衛生部局が非常に苦勞するところである。そのため、衛生部局から、水道局へ事務委任している例もある。例えば、浜松市において水道法によらない飲料水供給施設や水道未普及地域については浜松市上下水道局が市の衛生部局から事務委任されている(事務委任の整理については別紙)。また、事務委任を行っていた施設を含めて、簡水統合を行い、大きな水道事業者と一つになった松江市のような例もある。

その経緯を示す。

松江市は平成 17 年，松江八束 8 市町村による合併が行われ，全ての簡易水道，飲料水供給施設等について松江市長が水道事業管理者に事務委任し，市内の水道事業は一体的に松江市水道局（現：松江市上下水道局）で運営されることとなった。厚生労働省は，平成 19 年 6 月に簡易水道の統合を促進する目的で，国庫補助の制度を一部改正した。松江市においては，それに対応する形で，簡易水道の施設整備計画の見直しを行った。水道事業全体を考えた場合，上水道と簡易水道の統合は合理性があり，安定給水の確保をはじめ，スケールメリット活かした施設の統廃合や維持管理の効率化が期待されたため，松江市は統合を行うこととした。

このように統合を行う事でのメリットがある場合の統合は進んでいくが，一方にとっての不利な条件が大きく出てしまうような統合は進んでいない。たとえば，料金格差や，施設レベルの差である。こういった課題を解決していくためには事業者間の話し合いや，国，都道府県による，更なる統合の推進に向けた，施策誘導的な制度設計などが必要とされる。

好事例としては，H30.4.1 より給水開始が予定されている香川県一水道（仮称）8 市 8 町の統合であり，それぞれの市町に多くの簡易水道が存在している。これらの水道施設のレベルは様々であるが，10 年後の施設レベル統一に向け，それぞれの市町ごとに料金を設定することで市町間の不平等感を無くす取組を行っている。香川県については，広域連携に関する国庫補助金も利用する予定である。

また，水道法上における事業の休止及び廃止を行い，新たな小規模水供給システムの整理も必要であるため，制度を整理する必要もある（水道法上における事業の休止及び廃止の整理については別紙）。

更に，認可において，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。

E．結論

水道法，その他関係する条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）を整理出来た。また，既存の資料や調査により現状を把握した上で，新たに現地調査及び聞き取り調査することで，課題の整理を行うことが出来た。ある地域では問題となっているが，別の地域で既に解決されている問題，新たに課題となっている問題もあり，今後も情報共有が重要である。

F．研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

鳥居将士、朝野正平、栗田志広、島崎大、阿部功介、浅見真理．小型紫外線照射装置を用

いた実験条件に関する一考察．全国水道研究発表会；2017.10；高松．p.304-05.

Asami M, Abe K, Simazaki D, Oguma K, and Ohno K. Trends in Operation and Management of Water Supplies with Size and Location Diversity, International Water Association World Water Congress & Exhibition, 16-21 Sep. 2018, Tokyo (poster accepted)

G．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

3.その他

なし

<資料1>

その他以下について整理した事項を資料として添付する。

資料 1-1 事務委任に関する整理について

資料 1-2 水道法上における事業休止及び廃止の取り扱いについて

資料 1-3 小規模水供給システム現地調査

<参考文献>

- 1) 厚生労働省健康局，新水道ビジョン，平成 25 年 3 月
- 2) 社団法人 日本水道協会，平成 26 年度水道統計 施設・業務編，2016
- 3) 全国簡易水道協議会，平成 26 年度全国簡易水道統計，2016
- 4) 淵上和弘，貯蔵時における次亜塩素酸ナトリウムの品質管理，水道協会雑誌，第 864 号，10-24，2006．
- 5) 厚生労働省医薬・生活衛生局水道課，全国水道関係担当者会議資料，平成 30 年 3 月 8 日
- 6) 厚生労働省医薬・生活衛生局生活衛生・食品安全部水道課，人口減少地域における料金収入を踏まえた多様な給水方法の検討に関する調査，平成 29 年 3 月

資料 1-1

事務委任の整理

平成 29 年度末現在，浜松市において水道法によらない飲料水供給施設や水道未普及地域（以下，「小規模水道」）については浜松市上下水道局が市の衛生部局から事務委任されている。その内容について整理する。

【地方自治法上の浜松市の事務分掌】

地方公共団体の事務分掌は，地方自治法(昭和 22 年法律第 67 号)第 158 条第 1 項の規定により，設置する市長の直近下位の内部組織及びその分掌する事務を条例で定めるものとしている。浜松市は「浜松市事務分掌条例」によって事務分掌を定めており，小規模水道は「健康福祉部」の「保健衛生に関する事項」として定められている。

地方自治法

第一五八条 普通地方公共団体の長は、その権限に属する事務を分掌させるため、必要な内部組織を設けることができる。この場合において、当該普通地方公共団体の長の直近下位の内部組織の設置及びその分掌する事務については、条例で定めるものとする。

【地方公営企業法上の事務】

地方公営企業法(昭和 27 年法律第 292 号)第 4 条の規定により，地方公共団体は，地方公営企業の設置及びその経営の基本に関する事項は，条例で定めなければならないとなっている。浜松市は「浜松市水道事業及び下水道事業の設置等に関する条例」によって給水区域等を定めており，小規模水道は業務外である。

地方公営企業法

第四条 地方公共団体は、地方公営企業の設置及びその経営の基本に関する事項は、条例で定めなければならない。

【事務委任の整理】

市の衛生部局の事務である小規模水道であるが，水道における技術的なノウハウは上下水道局が持っている。そのため，浜松市は地方自治法(昭和 22 年法律第 67 号)第 153 条第 1 項の規定に基づき，市の衛生部局から浜松市上下水道局へ事務委任（詳しい委任の内容は「浜松市水道事業及び下水道事業管理者に対する事務の委任等に関する規則」参照）している。

地方公営企業法

第一五三条 普通地方公共団体の長は、その権限に属する事務の一部をその補助機関である職員に委任し、又はこれに臨時に代理させることができる。

参考

浜松市事務分掌条例

http://www1.g-reiki.net/hamamatsu/reiki_honbun/o700RG00000073.html#joubun-toc-span

浜松市水道事業及び下水道事業の設置等に関する条例

http://www1.g-reiki.net/hamamatsu/reiki_honbun/o700RG00000628.html

浜松市水道事業及び下水道事業管理者に対する事務の委任等に関する規則

http://www1.g-reiki.net/hamamatsu/reiki_honbun/o700RG00001103.html

水道法上における事業の休止及び廃止の整理

【事業の休止及び廃止現状】

水道法第 11 条によると、「水道事業者は、給水を開始した後においては、厚生労働大臣の許可を受けなければ、その水道事業の全部又は一部を休止し、又は廃止してはならない。ただし、その水道事業の全部を他の水道事業を行う水道業者に譲り渡すことにより、その水道事業の全部を廃止することとなるときは、この限りでない。」とある。

これは基本的に簡水統合や香川県のような一部事務組合による広域化のための廃止を想定したものと考えられており、これ以外はほぼないと考えられている。この為、簡易水道の現在給水人口が 100 人以下になり、今後も増加の見込みがない場合でも、都道府県行政側が事業廃止を認めにくい等の現状がある。水道行政側の考え方としては「簡易水道であれば水道法の枠組みの中で水質等の管理を指導できるものを、わざわざ飲供にして水道法の枠組みから外したくない。」との考えからきているものである。しかし、給水人口が 100 人以下の水道事業では、水道法の中で適切な事業経営をしていくことは現実的には難しい。このため、適切な事業廃止については許可を与える仕組みづくりが必要と考えられる。

【改正水道法における事業の休止及び廃止】

改正水道法（案）においては第 11 条において「水道事業者は、給水を開始した後においては、厚生労働省令で定めるところにより、厚生労働大臣の許可を受けなければ、その水道事業の全部又は一部を休止し、又は廃止してはならない。ただし、その水道事業の全部を他の水道事業を行う水道業者に譲り渡すことにより、その水道事業の全部を廃止することとなるときは、この限りでない。」とある。この変更点（下線部）は先に述べた、簡易水道事業の廃止と、人が住んでいない給水地域について給水区域の縮小を想定したものである。前者は住民の合意が取れていれば認めるべきであるとの考え方、後者は人が住んでいない、あるいは給水を行わなくても良いことが確認出来れば給水区域の縮小を認めるべきであるとの考え方を都道府県行政側にも理解していただくことが必要である。その為には適切な省令改正が必要である。

1. S市Y地区

1.1 旧Y町における小規模水道の状況と経緯

静岡県の中部に位置している、旧Y町を調査した。旧Y町は、静岡市に編入合併した。旧Y町の水道事業は静岡市上下水道局に統合されたが、民設民営である簡易水道と飲料水供給施設は統合せず、現状では静岡市上下水道局は関与していない状況である(指導については市の衛生部局が行っている)。

1.2 衛生部局の関与

1.2.1 背景と状況

飲料水供給施設での断水事故を契機に、簡易水道・飲料水供給施設の運営管理にも衛生部局(保健所)が関与し始めた。以前より、施設新設や更新時にインシャルコストの7割を補助しているが、運営経費(薬品、水質検査等)の補助はない。

1.2.2 水質検査

水質検査計画は保健所が提供しており、毎日検査は残塩だけは機器で測定、他は目視などにより「異常なし」を確認しているとのことだが、実態として毎日実施している所はわずかである様子。毎月9項目、3ヶ月に一回23項目、年一回51項目など指定しており、年間33万円以上かかり項目が増えると予算に大きく影響して困るとの要望。定期検査は業者委託しており、検査費用はすべて自己負担(補助の要望あり)である。また、省略項目も3年に1度再検査を要する点について緩和の要望もあった。

1.2.3 施設管理

保健所が各簡易水道・飲料水供給施設の資料や情報(運用上の困難等)を収集しているところである。現状、管路図については、各組合が当初から保有する情報の所在は不明であり、あったとしても精度は低い。補助金(7割)を用いた管路の補修の際の図面を10年間保管することで、当該箇所は参照できている。また、管径については、どの地域もおよそ45-50mmでほとんど違いはない様子。

1.3 各施設の状況

1.3.1 N・S簡易水道

1.3.1.1 諸元

- ・現地聞き取りにおける給水戸数:40戸(99名) 158人(10年前)
- ・計画給水人口:238人,給水区域内人口:118人,現在給水人口:118人(H27年度静岡県の水道の現況)
- ・浄水フロー:湧き水 沈砂池 消毒
- ・料金:接続時の加入金として13万5000円,月額2000円(水洗トイレがある場合+100円)を取っている



1.3.1.2 課題

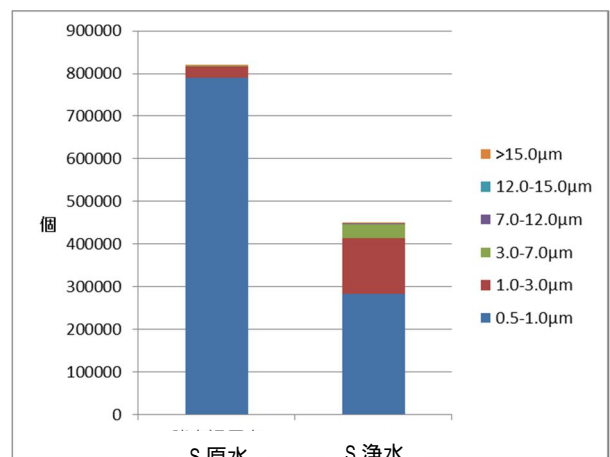
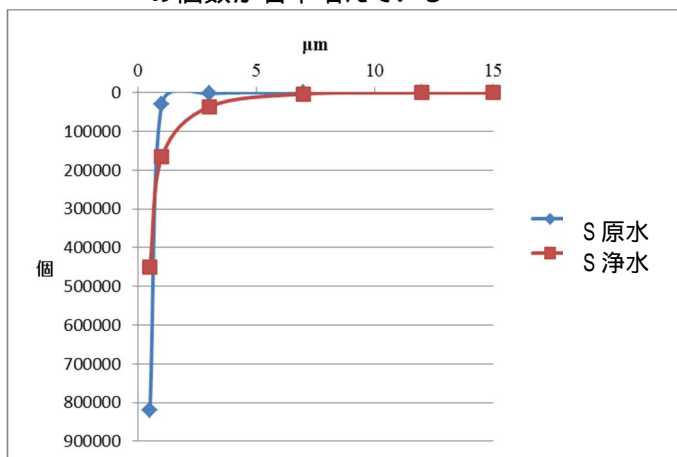
- ・大雨のあと沈砂池がつまり断水になることがある
- ・原水はイノシシほか野生生物に由来して大腸菌が検出される
- ・特に 8 月は例年大腸菌が問題になり、今年も 8 月に大腸菌が出ている

1.3.1.3 維持管理状況

- ・役員が施設を見回りしており、役員は組合長ほか 6 名、2 年年期で交代
- ・役員がタンクは年 1 回掃除、沈砂池は大雨の都度(浮遊物)
- ・定期検査は外注している(担当役員 1 名)
- ・毎日検査はしてない様子

1.3.1.4 測定結果

- ・残留塩素:0.29ppm (次亜塩素酸 Na は 2016.8 製造)
- ・TOC:原水(0.098mg/L), 浄水(0.107mg/L)
- ・濁度:原水, 浄水ともに 0.1 未満【検査機関報告値】原水(0.067 度), 浄水(0.015 度)【測定値】
- ・粒度分布:滅菌処理のみであるが, 浄水は原水より粒子の個数は減っている。しかし, 大きい粒子(1 μm 以上)の個数が若干増えている



1.3.2 F 簡易水道

1.3.2.1 諸元

- ・現地聞き取りにおける給水戸数:21 戸(50 名)
- ・計画給水人口:101 人, 給水区域内人口:65 人, 現在給水人口:65 人(H27 年度静岡県の水道の現況)
- ・浄水フロー:ろ過 消毒
- ・料金:月額 2500 円

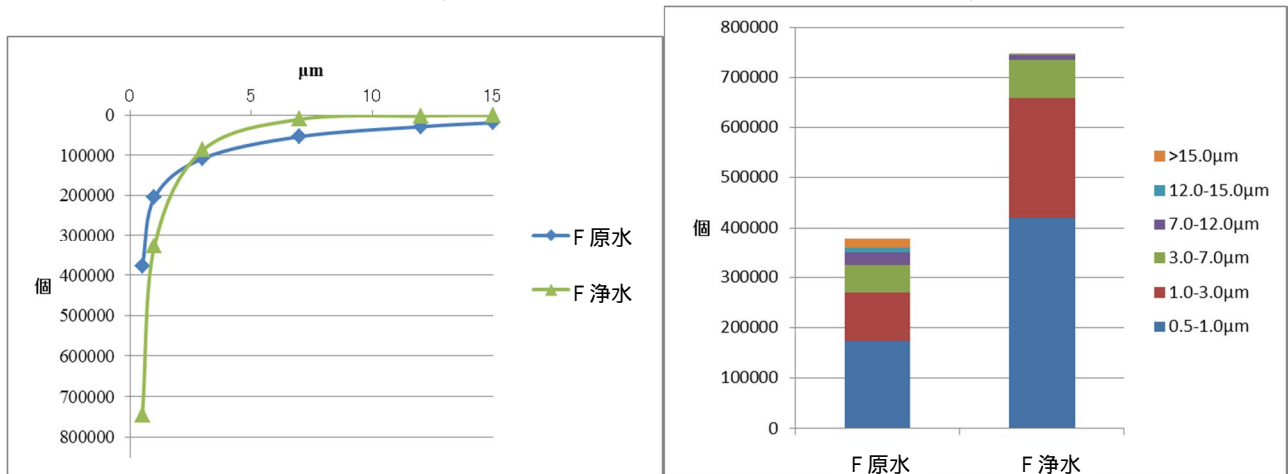


1.3.2.2 維持管理状況

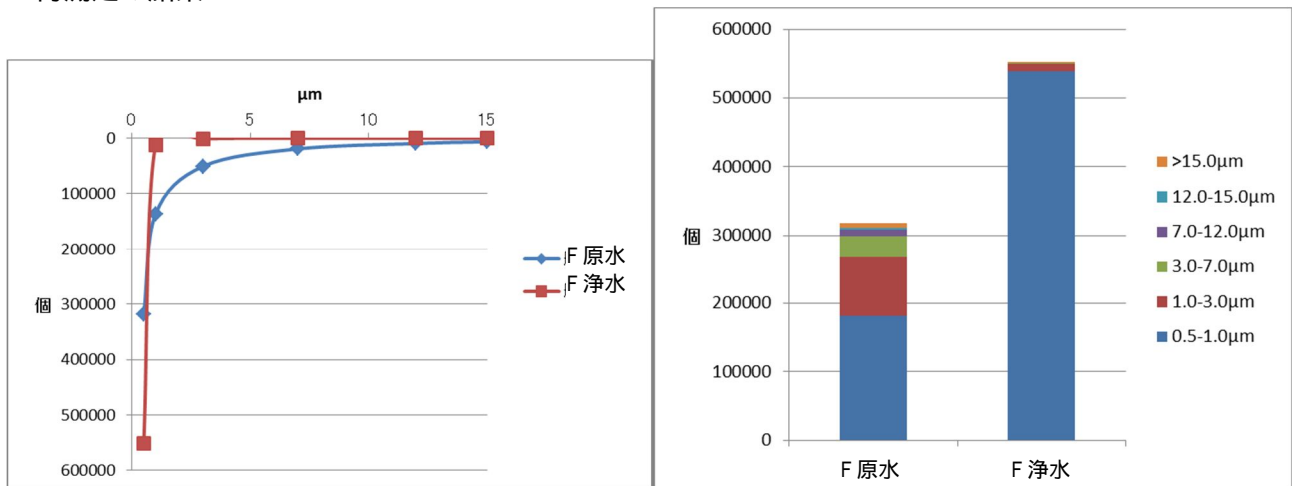
- ろ過池はエアポンプによる空気逆洗(月1回程度), 年一回レッカーで砂を出し洗浄し戻す(各戸から住民が出て作業でほぼ半日作業となる)
- ろ過池から 500m 上流に取水箇所があり, 年一回は取水堰にたまった土砂を取り出す作業を行っている
- 近年, 管路更新を実施(1,800 万円 7 割補助)したため, 管路更新の図面有り

1.3.2.3 測定結果

- 残留塩素: 0.25ppm
- TOC: 原水(0.324mg/L), 浄水(0.385mg/L)
- 濁度: 原水(2.1 度), 浄水(0.014 度)【測定値】
- 粒度分布: 7~15 μm では粒子数が原水より浄水が大幅に減少している。0.5~7 μm では, ろ過後, 浄水と原水で粒度分布が逆転している。見た目は明らかに浄水の方がきれいである。



再測定の結果



1.3.3 飲料水供給施設

1.3.3.1 諸元

- 現地聞き取りにおける給水戸数: 18 戸(66 名)
- 計画給水人口: 100 人, 現在給水人口: 76 人(H27 年度静岡県の水道の現況)
- 浄水フロー: 湧き水 消毒

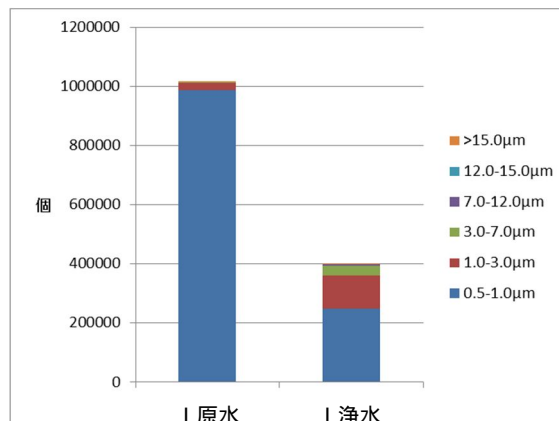
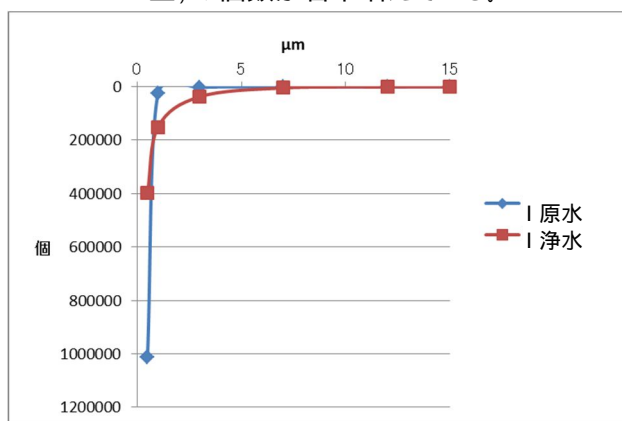


1.3.3.2 維持管理状況

- ・近所の住人 + 組合長の 2 名が担当している
- ・機器は 7 ~ 10 日おき, 次亜塩素酸 Na は 20 日おきに点検・補充している
- ・次亜塩素酸 Na は年に 5 箱程度購入
- ・降雨によって周囲の表流水濁度が上昇しても, 原水濁度は上昇しない状況

1.3.3.3 測定結果

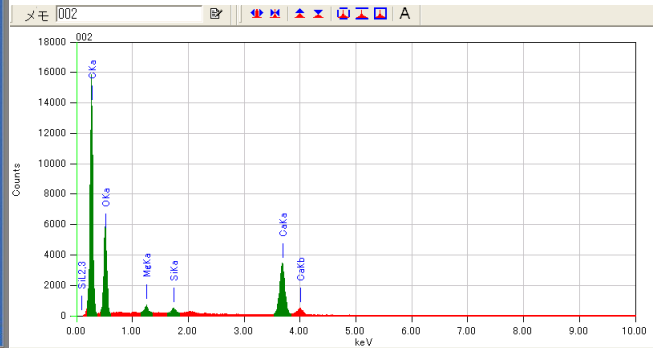
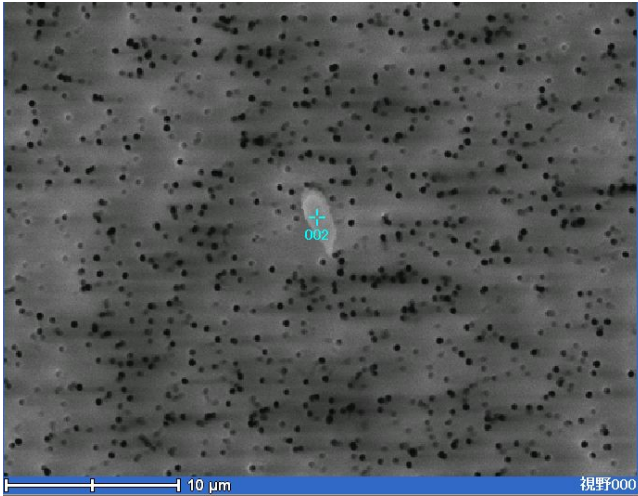
- ・残留塩素: 0.32ppm
- ・TOC: 原水 (0.217mg/L), 浄水 (0.238mg/L)
- ・濁度: 原水 (0.12 度), 浄水 (0.04 度) 【測定値】
- ・粒度分布: 滅菌処理のみであるが, 浄水は原水より粒子の個数は減っている。しかし, 大きい粒子 (1 μm 以上) の個数が若干増えている。



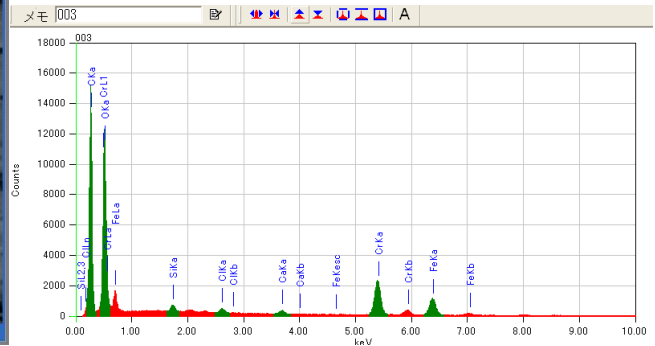
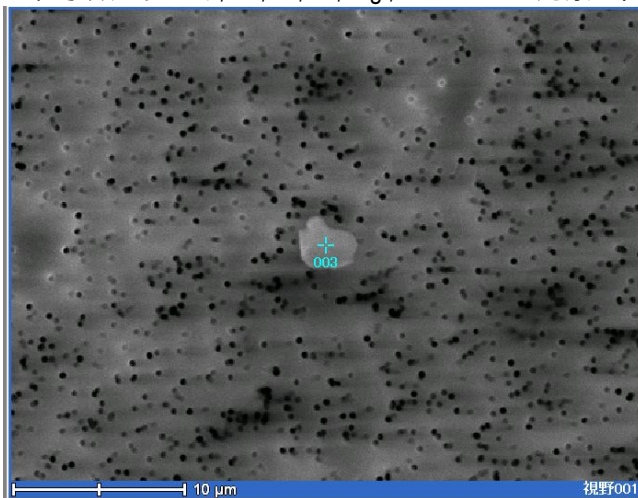
・走査型電子顕微鏡/エネルギー分散型X線分析装置 (以下, SEM/EDS):

なお, 元素として Pt (白金) が検出される場合があるが, 蒸着時に使用した成分とみられるため, 以後省略する。また, Pt と P (リン) のピーク位置が近いので, P はあったとしても検出が困難である。

I 原水 200mL

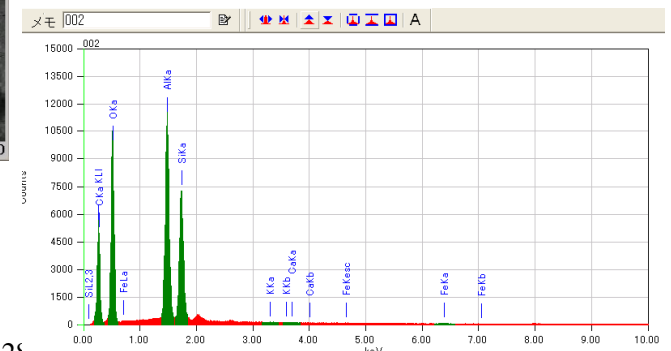
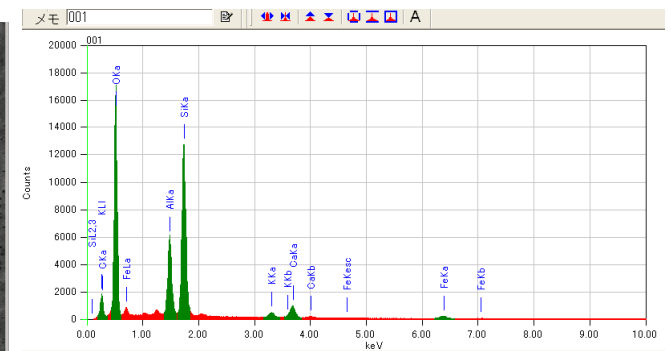
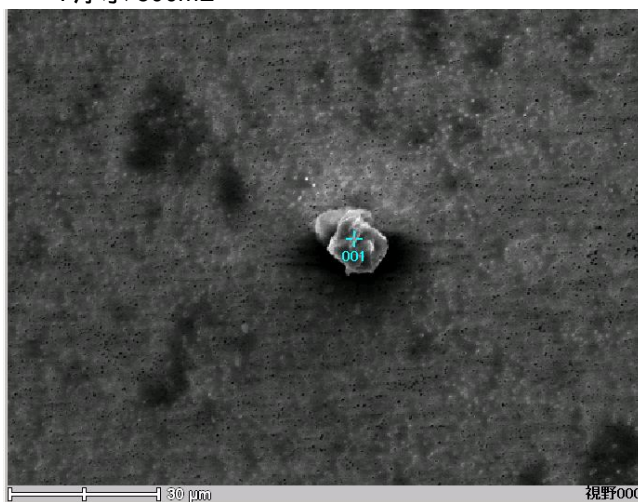


粒子数は少なく, Si, C, O, Mg, Ca といった元素が同一の粒子内で共存している。

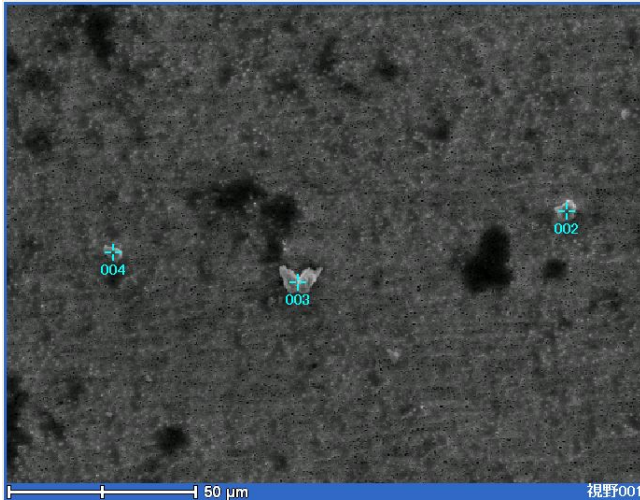


前述した元素以外にも, Cl, Cr, Fe も同一の粒子内で共存している。

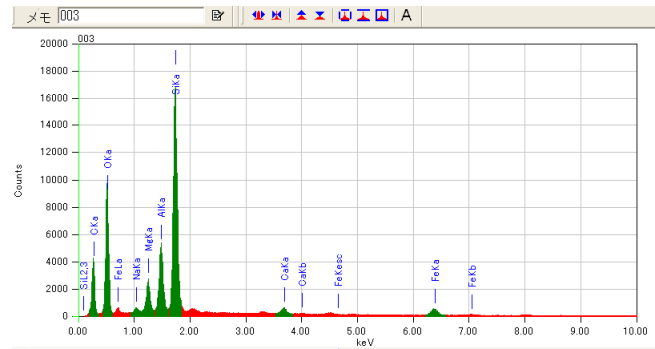
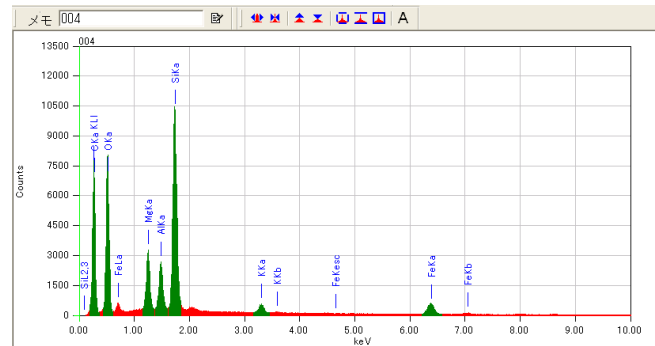
I 浄水 500mL



原水よりも少し大きめの粒子が多く, Si, C, O, Fe, Al, K といった元素が同一の粒子内で共存している。



原水よりも少し大きめの粒子が多く, Si, C, O, Fe, Al, K, Na, Mg といった様々な元素が同一の粒子内で共存している。これらはフロックとして存在している可能性が考えられる。



1.3.4 Y簡易水道

1.3.4.1 諸元

- ・現地聞き取りにおける給水戸数: 60 戸 (200 名)
- ・計画給水人口: 395 人, 給水区域内人口: 194 人, 現在給水人口: 194 人 (H27 年度静岡県の水道の現況)
- ・浄水フロー: 表流水 緩速ろ過 消毒
- ・料金: 月額 3000 円を取っている



1.3.4.2 課題

- ・河川の流量が減少傾向 (60 年前の半量以下)
- ・3 ~ 4 月は湯水となる (夜間に給水制限したこともあるよう)
- ・2017 年 3 月は配水池の貯留量が容量の 4 分の 1 まで低下し, 夜間の給水制限を実施

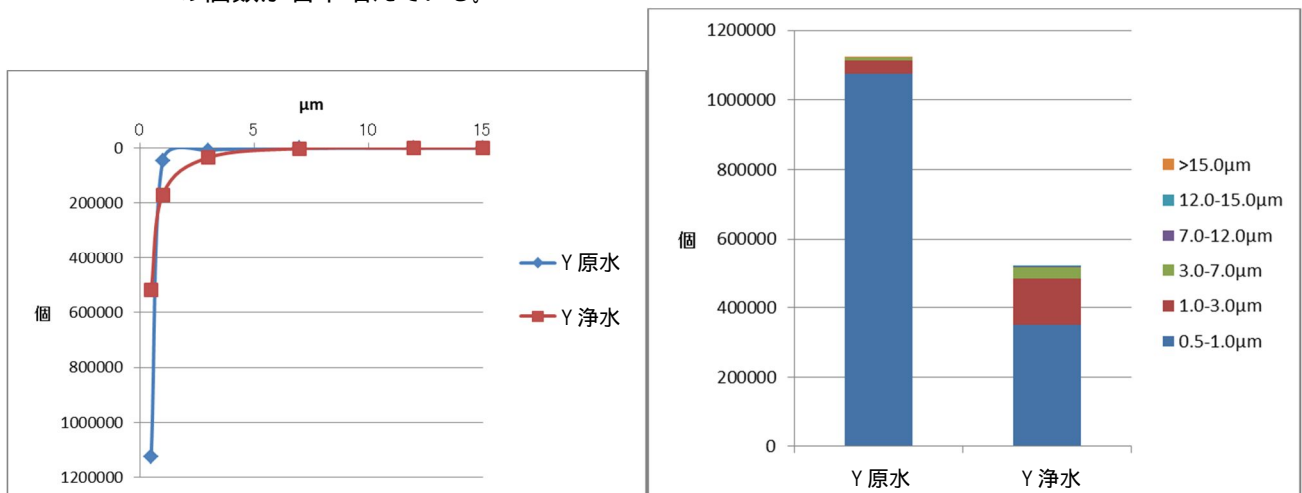
・メーターがないため詳細がわからないが、漏水もある可能性があり

1.3.4.3 維持管理状況

- ・取水池、緩速ろ過池には遮光シート
- ・ろ過池に生物膜はほとんど無い状況、掻き取りも年 1 回
- ・2～3年に1回砂を入れ替えている

1.3.4.4 測定結果

- ・残留塩素:0.04ppm
- ・TOC:原水(0.114mg/L), 浄水(0.172mg/L)
- ・濁度:原水(0.11 度), 浄水(0.066 度)【測定値】
- ・粒度分布:緩速ろ過であり、浄水は原水より粒子の個数は減っている。しかし、大きい粒子(1～12 μm など)の個数が若干増えている。



1.3.5 M簡易水道

1.3.5.1 諸元

- ・現地聞き取りにおける給水戸数:35戸(95名)
- ・計画給水人口:225人, 給水区域内人口:100人, 現在給水人口:100人(H27年度静岡県の水道の現況)
- ・浄水フロー:表流水 ろ過(川砂50cm) 消毒
- ・料金:月額3000円を取っている



1.3.5.2 課題

- ・高濁度時にすぐろ過砂が目詰まりしてしまう為、砂ろ過の砂がかなり粗いものを使用している。

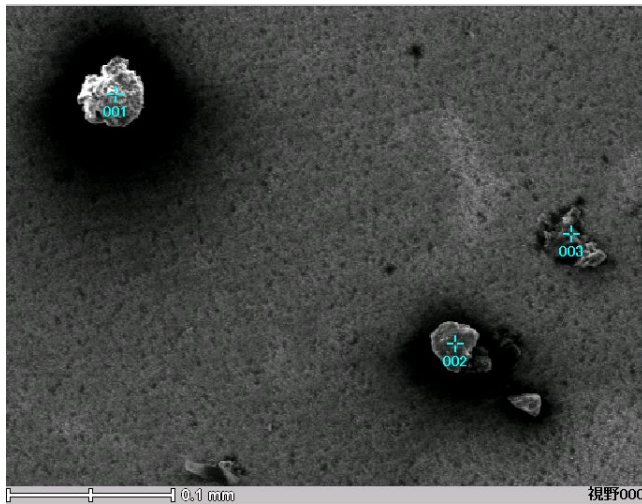
1.3.5.3 維持管理状況

- ・35戸が3班に分かれて交代して実施

- ・砂をろ過池からほぼ人力で取り出して手で洗うため1日かかる。年1,2回実施。砂の補充
- ・2~3年に1回砂を入れ替えている
- ・週一回水源管理(泥や葉っぱを除去)
- ・今年,補助金で水源遮断弁(240万)を設置してから,高濁水発生時の砂洗浄が不要となり,負担軽減
- ・結露により誤作動することがある

1.3.5.4 測定結果

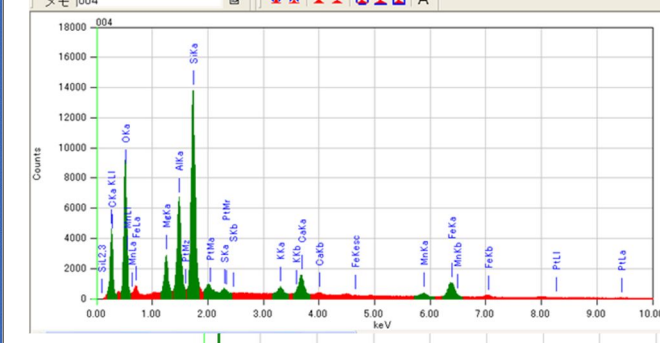
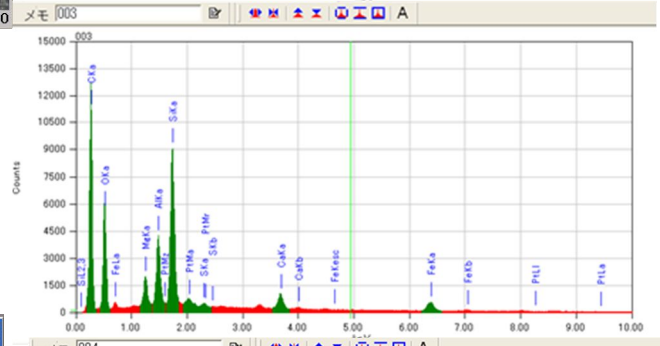
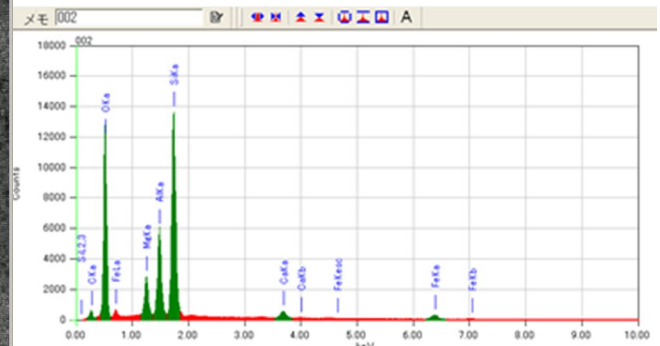
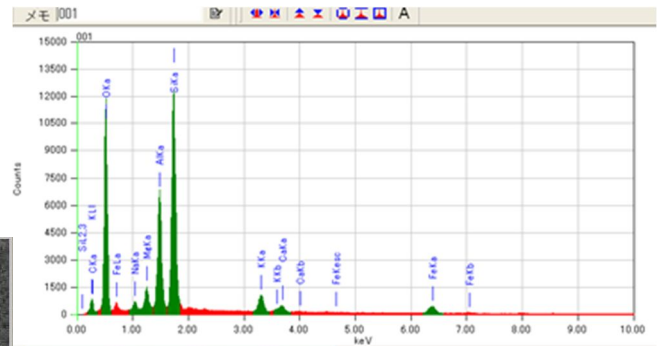
- ・残留塩素: 1.29ppm (次亜塩素酸 Na は 2017.7 製造)
- ・TOC: 原水(0.365mg/L), 浄水(0.435mg/L)
- ・濁度: 原水(0.35度), 浄水(0.36度) [測定値]
- ・SEM/EDS:
- M原水 100mL



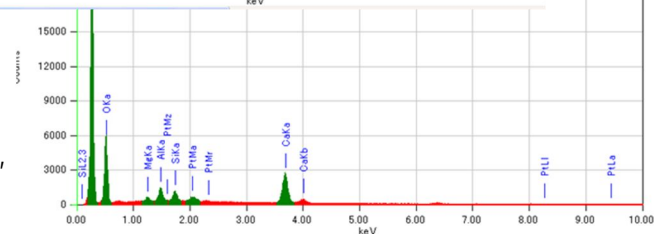
大きな粒子が多く, Si, C, O, Na, Mg, Al, Ca, Fe, K, S といった元素が同一の粒子内で共存している。



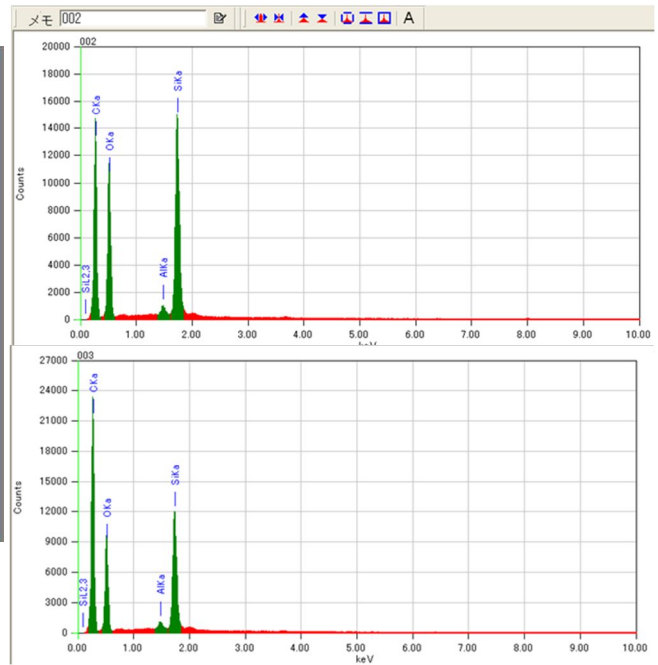
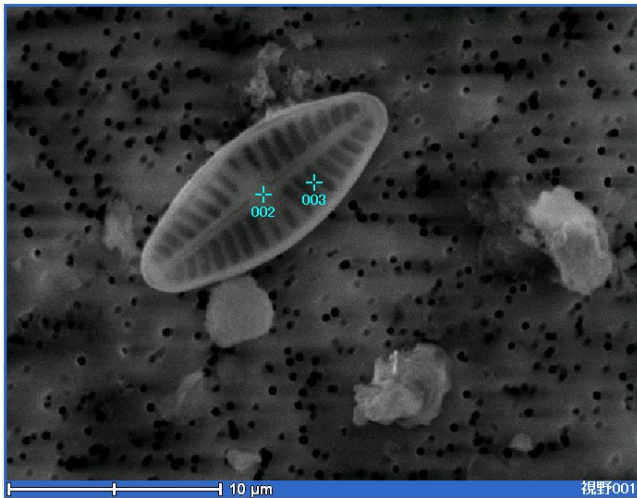
Si, C, O, Mg, Al, Ca, Fe, Mn, K, S といった元素が同一の粒子内で共存している。これらはフロックとして存在している可能性が考えられる。



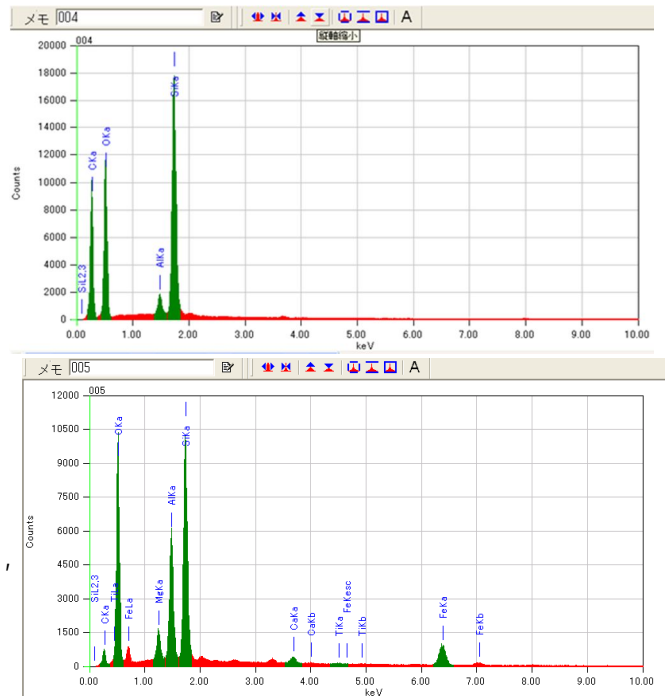
かなり大きな粒子も存在し,



M浄水 200mL



ろ過後であるが、ろ過砂の粒径が粗いためか、まだ大きな粒子が多い。原水よりは確認出来る元素は減っているが明らかに珪藻の様なものを確認出来る。Si, C, O, Al といった元素が同一の粒子内で共存している。



原水よりは確認出来る元素は減っているが Si, C, O, Ti, Mg, Al, Ca, Fe といった元素が同一の粒子内で共存している。

1.3.6 D飲料水供給施設

1.3.6.1 諸元

・計画給水人口: 100 人, 現在給水人口: 60 人 (H27 年度静岡県の水道の現況)

- ・浄水フロー：プレフィルタ(洗浄可能な黄色のスパイラル状のもの【サンホープ社の農業用ディスクフィルター AR-311】) 消毒



1.3.6.2 課題

- ・原水の確保に苦労している

1.3.6.3 維持管理状況

- ・フィルタは年1回交換
- ・次亜塩素酸 Na は年1回2本程度購入
- ・炭酸ガスによる pH 調整
- ・以前は砂ろ過(砂+炭, 逆洗あり)も行っていたが, 現在は未使用

1.3.6.4 測定結果

- ・残留塩素: 0.15ppm
- ・TOC: 原水(0.099mg/L), 浄水(0.146mg/L)
- ・濁度: 原水(0.14度), 浄水(0.095度)【測定値】

1.3.6 S 飲料水供給施設

1.3.6.1 諸元

- ・計画給水人口: 96人, 現在給水人口: 63人(H27年度静岡県の水道の現況)
- ・浄水フロー: 岩盤湧き水 中継タンク(安定用) フィルタ 消毒



1.3.6.3 維持管理状況

- ・フィルタは2本あり, 毎月1本を洗浄して再利用。洗浄の作業時間は1時間程度
- ・次亜塩素酸 Na は年2回購入

1.3.6.4 測定結果

- ・残留塩素:0.37ppm
- ・TOC:原水(0.094mg/L),浄水(0.115mg/L)
- ・濁度:原水(0.056度),浄水(0.14度)【測定値】
ただし採水時の値であり,しばらく流した後であれば低下するだろうとの指摘あり

2. 浜松市H地区

2.1 旧H町における小規模水道の状況と経緯

静岡県西部に位置している,旧H町(現浜松市内)を調査した。旧H町は2005年(平成17年)7月1日,浜松市に編入合併した。H29年度から市内にある全簡易水道を統合する認可を受けた。市内には156箇所の飲料水供給施設(飲供)とさらに多くの小規模未普及地域がある。飲供の管理は住民であり,浜松市上下水道部は施工主体であり技術支援もしている状況である。

2.2 衛生部局の関与

2.2.1 背景と状況

浜松市では住民福祉の観点から,安全で安心な生活用水を供給するため,水道の行き届かない家庭に対し,平成21年度に「生活用水応援事業」を創設した。飲供の施工主体は市であるが,小規模未普及地域における施工主体は住民である。「生活用水応援事業」はその住民たちが行った,水道施設整備工事や修繕工事や水質検査や施設点検等,維持管理に対し一定の助成をすることとしている。

2.2.2 水質検査

浜松市飲用井戸等衛生対策要領に基づき,水質検査を行う一部を助成することとしている。30人以上は全項目1回,半年程度省略不可項目検査を要請しているが,全部は行っていない。原水で大腸菌が出るのだが,クリプト関係は試験していない状況である。

2.3 各施設の状況

2.3.1 K飲料水供給施設

2.3.1.1 諸元

- ・50人程度+キャンプ場に給水している
- ・浄水フロー:浅井戸 アルマジロ(PAC・沈澱・ろ過) 消毒



2.3.1.2 課題

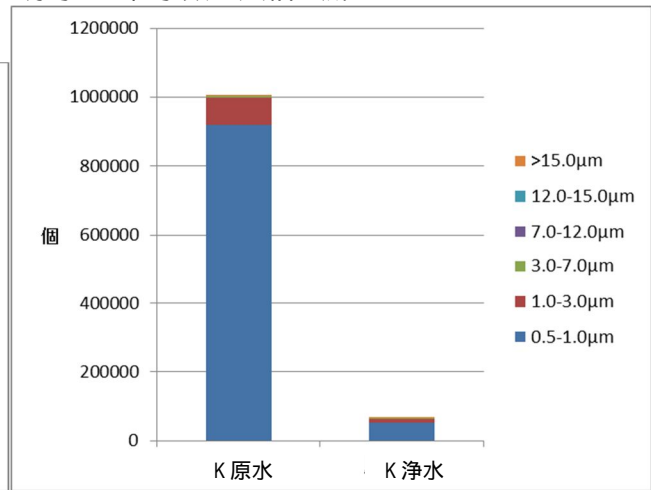
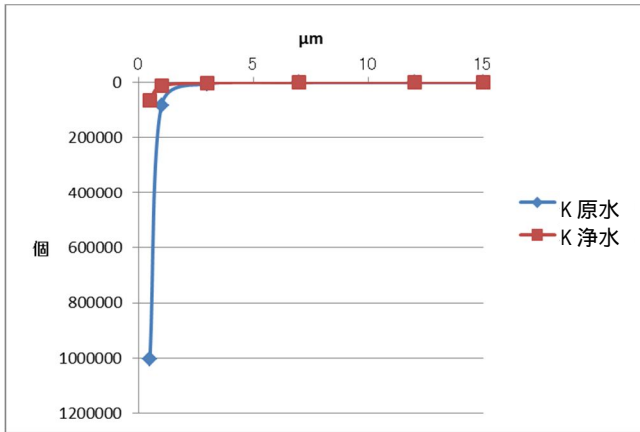
- ・原水は濁ることがあり,あまりよくない

2.3.1.3 維持管理状況

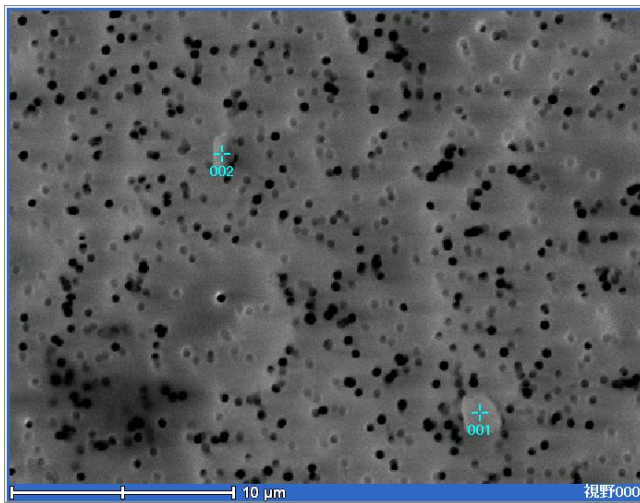
- ・外部委託せず地元組合が維持管理を行っている
- ・次亜塩素酸Naは山奥のため手数料がかかるのでまとめ買いをしている

2.3.1.4 測定結果

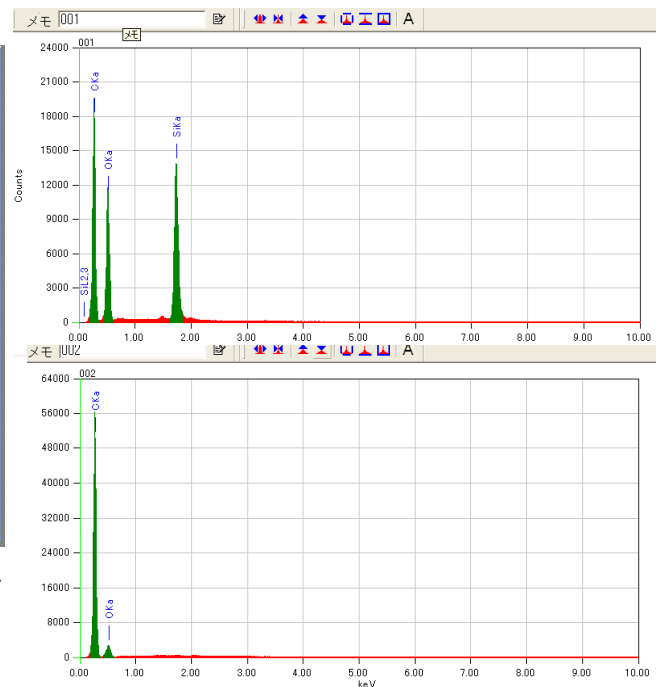
- ・残留塩素:0.02ppm 定期検査では 0.2ppm (次亜塩素酸 Na は 2015.10 製造)
- ・TOC:原水(0.156mg/L), 浄水(0.176mg/L)
- ・濁度:原水(5.6 度), 浄水(0.21 度)【測定値】
- ・粒度分布:凝集沈澱ろ過により, 全ての粒径で, 浄水は原水より粒子数が大幅に減っている

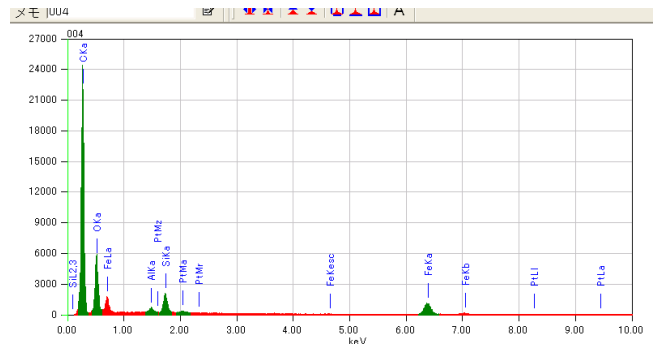
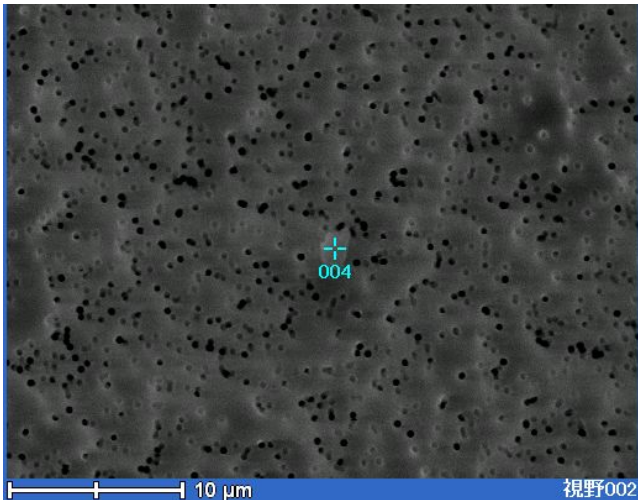


・SEM/EDS:
浄水 500mL



原水濁度が高いが凝集沈澱ろ過によりほとんど粒子が無い状態である。Si, C, Oといった元素が同一の粒子内で共存している。



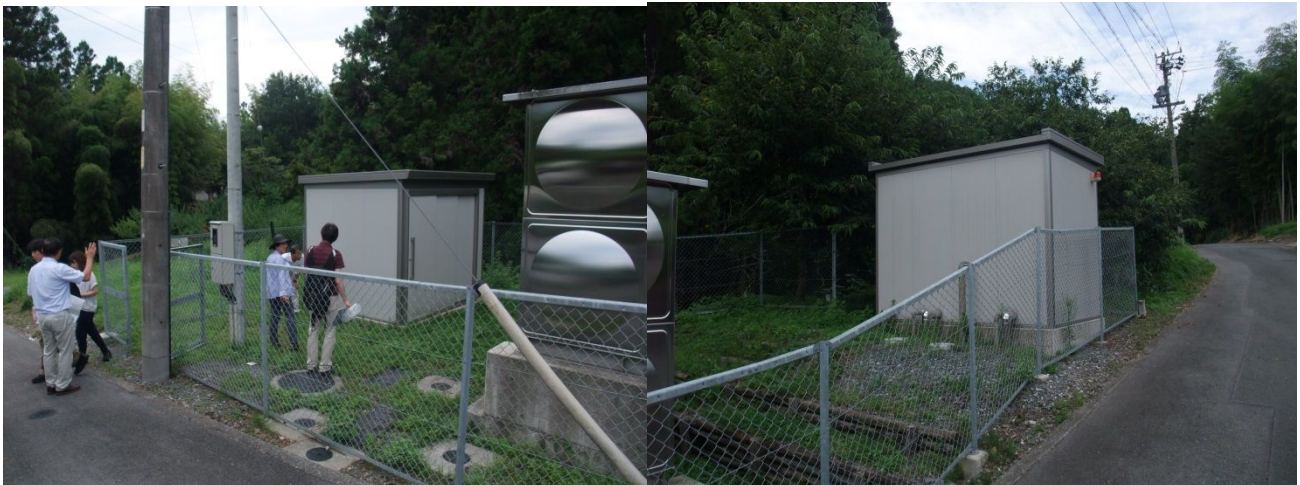


粒子はほとんどなかったが、粒子の中に Si, C, O, Al, Fe といった元素が同一の粒子内で共存しているものも少しあった。Al があることから、これは微量の Al フロックが除去されず、ろ過を通過したのではないかと考えられる。

2.3.2 A 飲料水供給施設

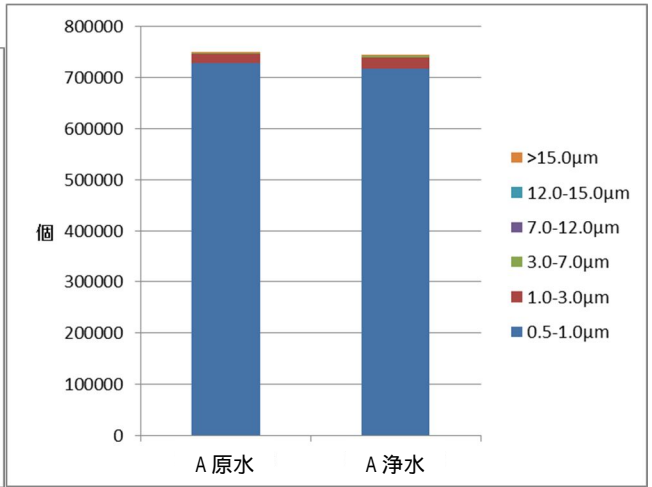
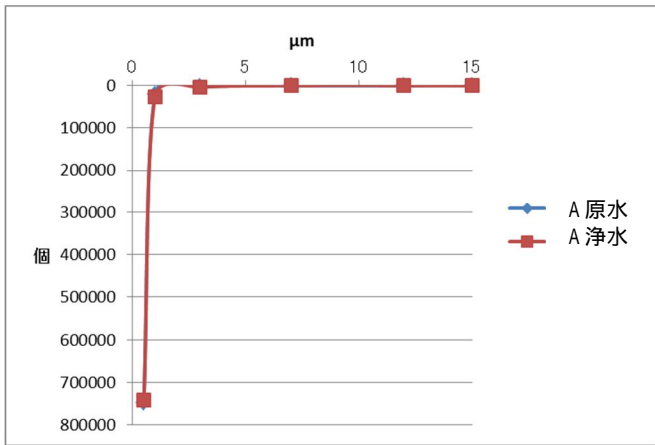
2.3.2.1 諸元

・浄水フロー：浅井戸 デバクター(押し込み圧吸引ろ過) 消毒(以前は緩速ろ過)

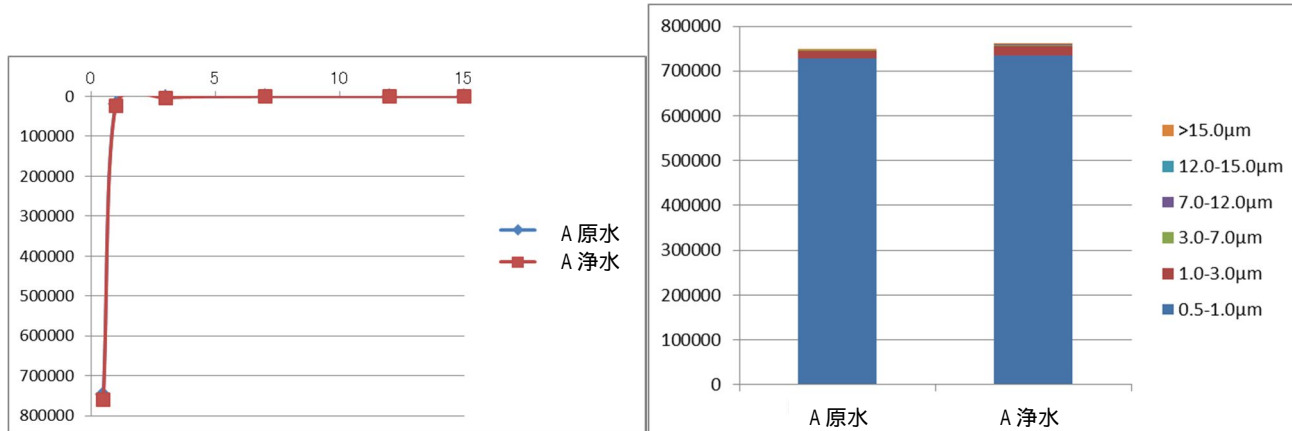


2.3.2.2 測定結果

- ・残留塩素: 0.13ppm
- ・TOC: 原水(0.120mg/L), 浄水(0.105mg/L)
- ・濁度: 原水(1.29 度), 浄水(1.44 度)【測定値】
- ・粒度分布: 浄水は原水より全ての粒径で粒子数があまり変わっていない。他の施設より浄水の効果が少ない可能性がある



・再測定の結果



2.3.3 N 飲料水供給施設

2.3.3.1 諸元

・浄水フロー:表流水 デバクター(PAC・ろ過) 消毒



2.3.3.2 課題

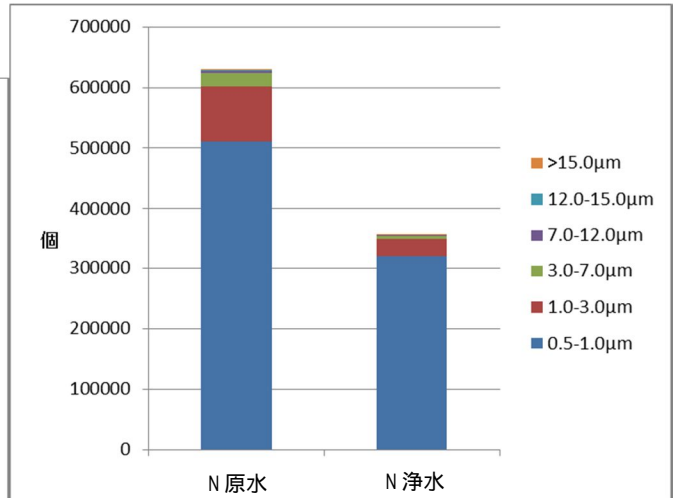
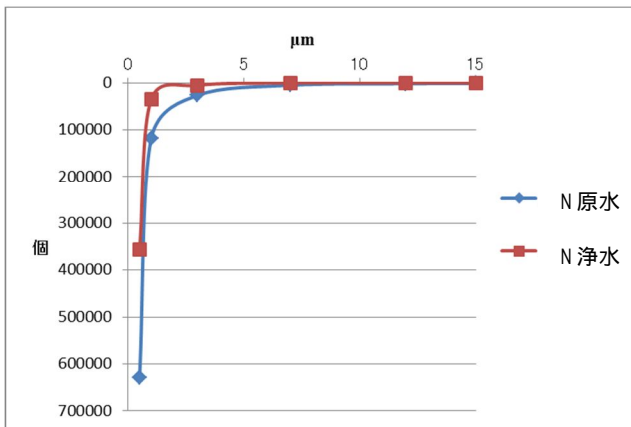
・原水である沢水はあまり良質とはいえない

2.3.3.3 維持管理状況

- ・サービス会社に飲供施設の点検や保守を委託
- ・次亜塩素酸の保管場所は物置内であるため、夏場の温度上昇と有効塩素低下が懸念される

2.3.3.4 測定結果

- ・残留塩素:0.07ppm (次亜塩素酸 Na は 2017.1 製造)
- ・TOC:原水(0.667mg/L), 浄水(0.589mg/L)
- ・濁度:原水(0.068 度), 浄水(0.054 度)【測定値】
- ・粒度分布:凝集剤添加・押し込み圧吸引ろ過であり、浄水は原水より全ての粒径で粒子数が半数程度に減っている。



2.3.4 A 宅個人水道

2.3.4.1 諸元

- 浄水フロー: 浅井戸 (以前は沢水を使用) 簡易ろ過池 配水池(ステンレス) 消毒



2.3.4.2 維持管理状況

- 当初は生物ろ過を予定したが、藻が生えて目詰まりするため遮光して砂ろ過のみとしている
- 次亜塩素酸の保管場所は塩素注入ポンプと同じ庫内で直射日射があたり、夏場の温度上昇と有効塩素低下が懸念される

2.3.4.3 測定結果

- 残留塩素: 0.00ppm (次亜塩素酸 Na は 2016.9 製造)
- TOC: 原水 (0.156mg/L), 浄水 (0.176mg/L)
- 濁度: 原水 (0.022 度), 浄水 (0.020 度) 【測定値】

2.3.5 I 共同水道

2.3.5.1 諸元

- 浄水フロー: 浅井戸 消毒 簡易ろ過池



2.3.5.2 維持管理状況

- ・住民の希望により山のうえにろ過池を配置
- ・取水口は川の脇の浅井戸だが、実際は上の山からの湧水が届いているようで、濁度はほぼない様子

2.3.5.3 測定結果

- ・残留塩素:0.62ppm
- ・TOC:原水(0.490mg/L), 浄水(0.256mg/L)
- ・濁度:原水(0.14 度), 浄水(0.011 度)【測定値】

3. 岐阜県山県市

3.1 山県市における水道の状況

岐阜県の西部に位置している、山県市を調査した。山県市は2003年(平成15年)4月1日、岐阜県山県郡の高富町、伊自良村、美山町が合併した。現在、山県市には高富地域上水道事業、美山地域上水道事業、中洞簡易水道事業、伊自良簡易水道事業の2上水道事業、2簡易水道事業がある。この中で、美山地域上水道事業については、上向式緩速ろ過という、無薬注でメンテナンスが比較的簡便な浄水システムを導入している。小規模水供給システムの浄水処理施設の参考になると考え、M地域上水道事業を調査した。

3.2 上向式緩速ろ過

3.2.1 背景と状況

山県市のM地域上水道事業は地元で上向式緩速ろ過システムを開発した会社があったこともあり、昭和38年(旧M町時代)に上向流緩速ろ過施設を導入し、現在もK浄水場において運用している。

3.2.2 特徴

- ・無薬注(凝集剤無し)
- ・ろ過池の覆蓋(外部からの汚染無し)
- ・主に外部操作(ろ過槽内への立入りによる維持管理はほぼ無し)
- ・基本的に電源不要(水頭差を活用,流量調整も無電源)

3.2.3 処理プロセス

3.2.3.1 予備ろ過(下降流)

- ・落ち葉など大きなゴミを除去
- ・電源を要さない曝気装置あり(着水井から水頭差で噴水して空気と接触)

3.2.3.2 沈殿槽(装置下部)

- ・土砂等の重いものを底部に堆積させる

3.2.3.3 ろ過槽【砂利層(A-D層), 砂層(E-F層)】(上向流)

上向式で水が流れ,粒径の大きいろ過材から順に細かいろ過材を通過することにより,ろ過層全体を用いて濁質の除去を行う。また,ろ過材内に棲息する微生物が,より細かい濁質や細菌を除去する。

- ・ろ過速度 4-8m/日 ろ過砂厚 ~700mm
- ・A層:60-50mm, B層:40-20mm, C層:20-10mm, D層:8-4mm
- ・E層:有効径0.5mm 300mm厚, F層:有効径0.3mm 400mm厚
- ・緩速ろ過のような生物膜でなく,ろ過層内の「微生物コロニー」による生物作用
- ・砂利層と砂層の境界面に微生物が多い

3.2.3.4 ろ過速度調整槽

- ・バルブで流量調整,三角ノッチにて流量と流速を簡易測定,表示

3.2.4 維持管理

- ・原水水質によるが,年1-2回のろ過床洗浄で済む
 - 各現場の事業者や住民による洗浄が基本,岐阜県内は製造メーカーが対応する場合もある
- ・緩速ろ過のような,表面の砂層(生物膜)掻き取りや砂の入れ替えは基本的に不要
- ・砂の補充は必要
- ・年0.5mm程度,砂層が減少(洗浄時の流出),5cm減少で砂歩補充を推奨(10年に1度)
- ・砂の有効径が特殊のため,製造メーカーから購入する
- ・ろ過池の覆蓋(外部からの汚染無し)
- ・主に外部操作(ろ過槽内への立入りによる維持管理はほぼ無し)

3.2.5 導入事例

- ・基本的には除濁(クリプト対策)施設であり,色度や鉄・マンガンの除去は不能
- ・必要に応じて前処理と組み合わせる場合もあり
- ・通常の緩速ろ過から上向式緩速ろ過に施設更新する事例
- ・構造体を耐震補強する必要がある場合は計画処理水量を減らし,緩速ろ過の内壁を補強して内部に組み込む事例あり
- ・自動洗浄,自動制御の事例(岩手県一関市)
- ・井戸水への適用事例や,水道分野以外での適用事例あり

3.2.6 導入費用

- ・国庫補助対象施設(厚労省および農水省)
- ・山県市施設は国および県の補助金により設置
- ・イニシャルコストは緩速ろ過よりも高い(構造上)
- ・クリプト対策として膜ろ過施設と比較すると圧倒的に安価
- ・急速ろ過と比較すると,広い用地面積を確保する必要も

3.3 施設の状況

3.3.1 K浄水場(M地域上水道事業)

3.3.1.1 諸元

- ・現地聞き取りにおける給水戸数:250戸
- ・浄水フロー:表流水 上向式緩速ろ過(1.2.3 参照) 消毒
- ・導水管 HPPE 製 150mm L=1,946m
- ・着水井 RC 製 1.5m×2.5m×H2.5m
- ・緩速ろ過池 RC 製 T0式 4.8m×5.0×4 池(常用3池, 予備1池)
- ・ろ過速度 4m/日 ろ過水量 Q=285 m³/日
- ・配水池 SUS 製 Ve=390 m³
- ・敷地自体に傾斜あり, 高低差によりポンプ無しで処理 配水池 自然流下で配水
- ・予備ろ過 上向流緩速ろ過 流量/流速測定まで電気設備なし
- ・各池の水位計のみ電気式
- ・ろ過水槽のみ二重蓋(汚染防止のため)
- ・ステンレス配水池は三重構造 洗浄用区画 + 配水池×2



3.3.1.2 課題

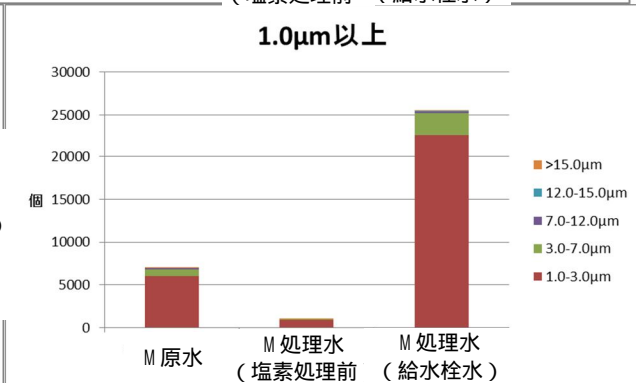
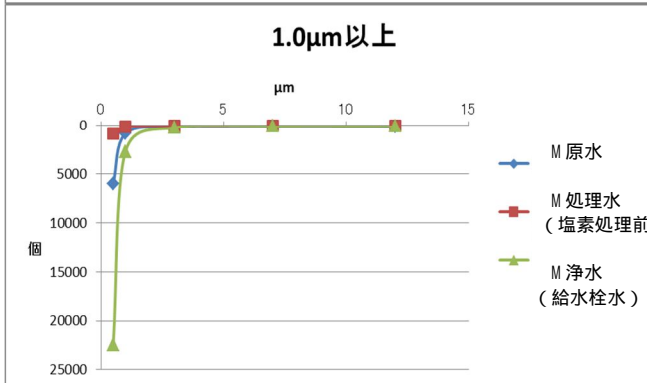
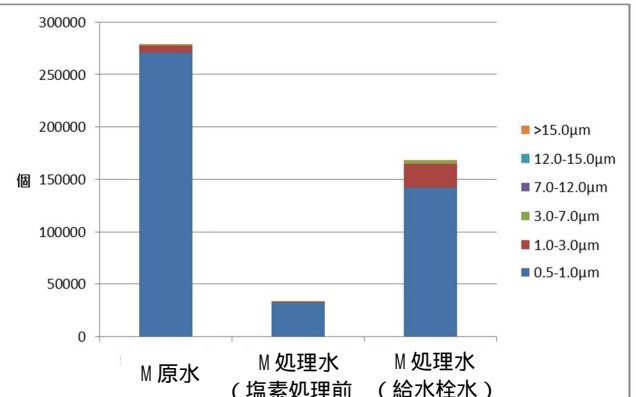
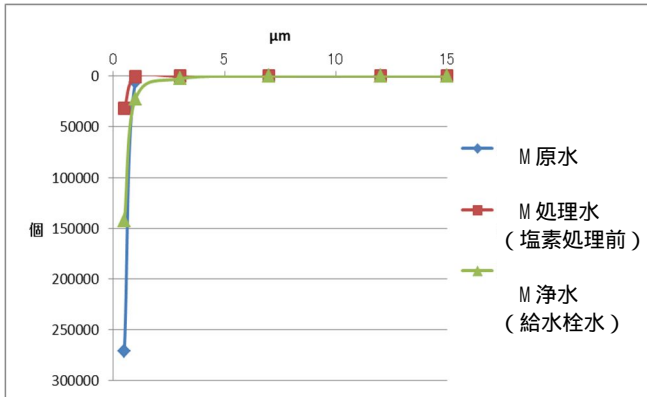
- ・以前は, 水道局職員がろ過速度調整槽のバルブで流量を微調整していたが, 人事異動により操作できる職員がいなくなった
- ・管路図面は一元化済みだが, 最低限の情報のみで管路長も把握出来ていない(過・不足の管路がある)
- ・浄水施設整備と配水管整備はリンクしておらず管網計算も行っていない

3.3.1.3 維持管理状況

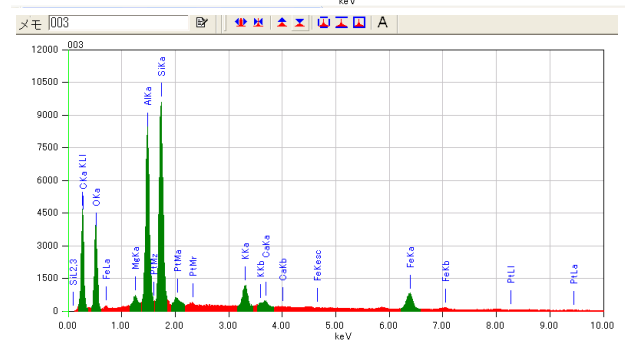
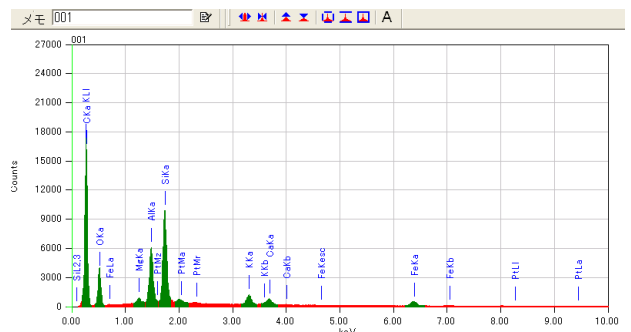
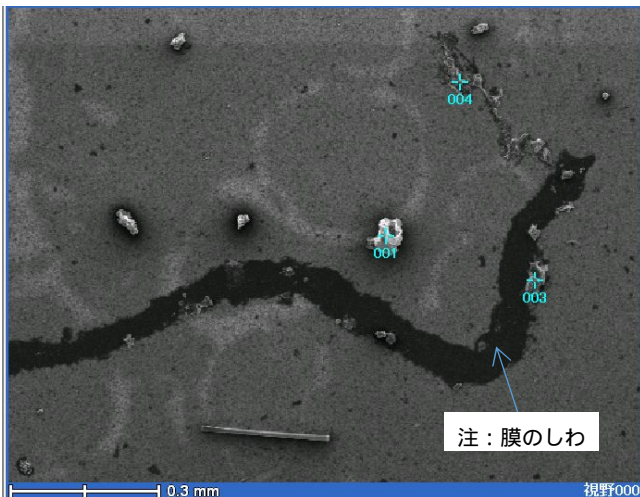
- ・原水濁度 > 30 度で自動取水停止, < 25 度で自動復旧(かつては > 40 度の設定, クリプト対応として 30 まで下げた様子)
- ・設計値としては原水濁度 10 度でろ過水濁度 0.1 度の見当
- ・基本的には施設の最大流量で運用, ろ過速度調整槽(「排水弁室」にて, 余剰となるろ過水を自動で排水して流量調整)
 - ・塩素注入してステンレス配水池へ
- ・年 1 回のろ過池洗浄時は, 製造メーカーに随契で委託(他にできる業者がないため)

3.3.1.4 測定結果

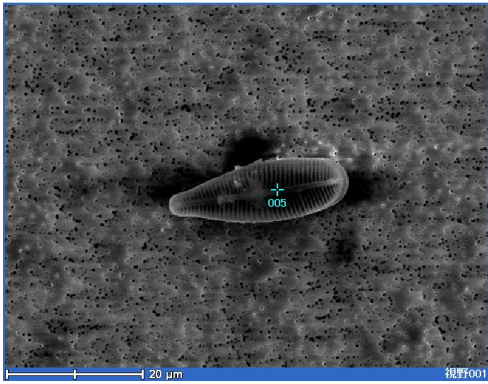
- ・残留塩素:0.31ppm
- ・TOC:原水(0.159mg/L), 浄水(0.229mg/L)
- ・濁度:原水(0.14 度), 浄水(0.015 度)【測定値】
- ・粒度分布:滅菌処理のみであるが, 浄水は原水より粒子の個数は減っている。しかし, 大きい粒子(1 μm 以上)の個数が若干増えている



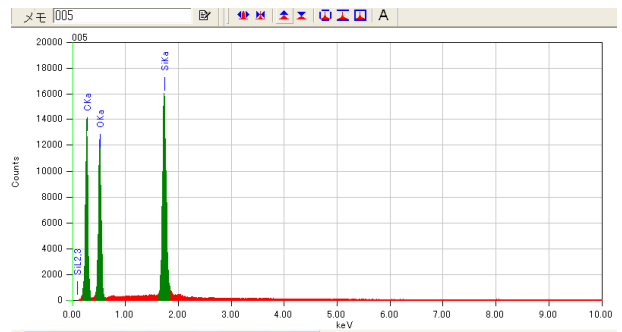
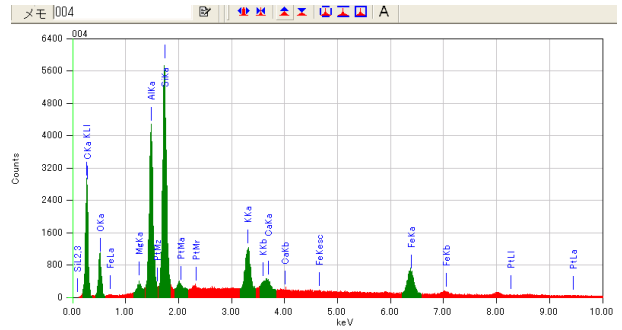
・SEM/EDS:
M 原水 500mL



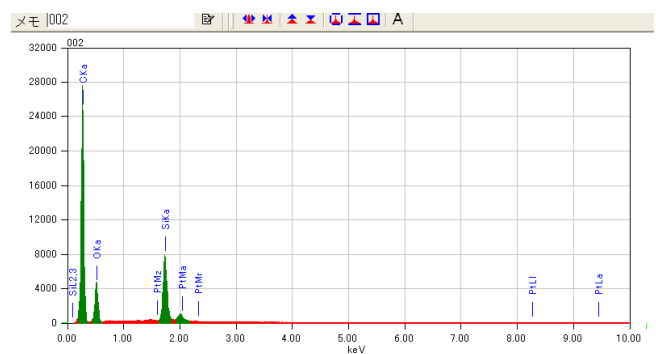
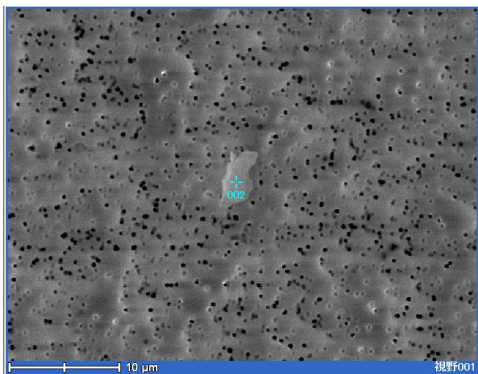
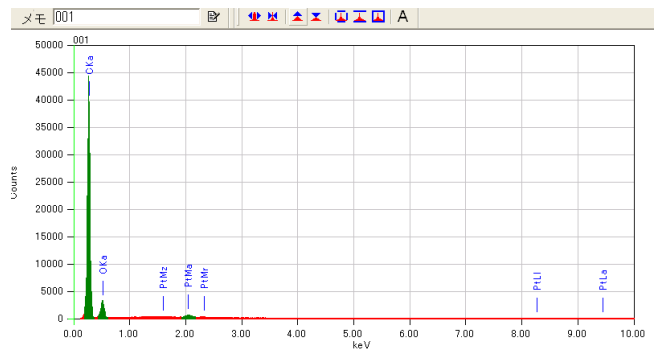
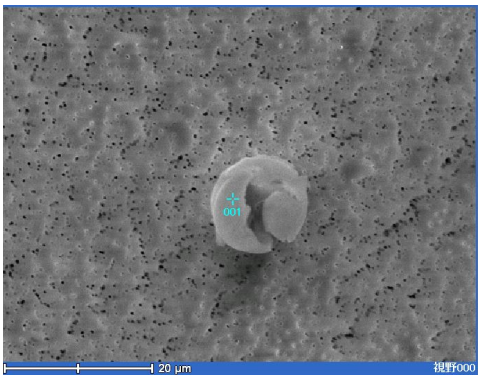
大きな粒子が多く, Si, C, O, Mg, Al, Ca, Fe, Kといった元素が同一の粒子内で共存している。



明らかに珪藻の様なものを確認出来る。Si, C, O, Alといった元素が同一の粒子内で共存している。

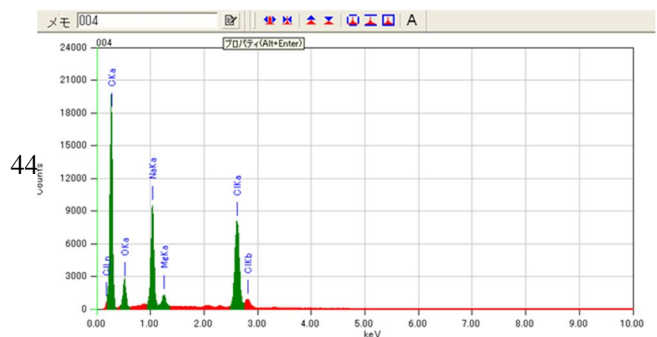
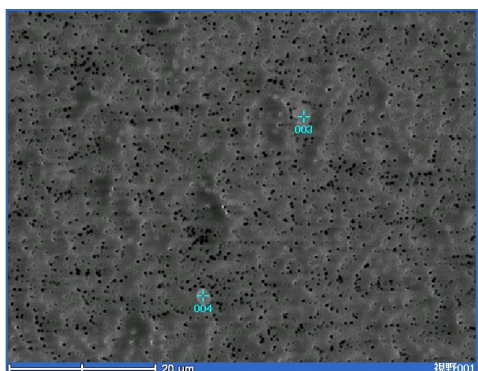


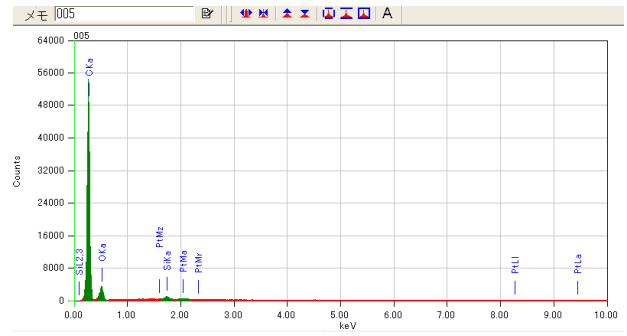
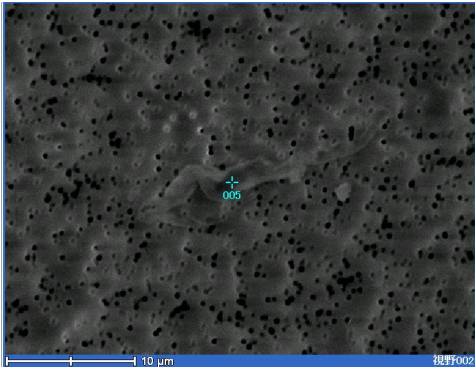
M 浄水 500mL



粒子少ないはほとんどなかった。C, O, Siといった元素が同一の粒子内で共存している。

M 給水栓水 100mL





処理水より大きな粒子が存在している。これは配管内、もしくは配水池内の影響の可能性が考えられる。Si, C, O, Na, Mg といった元素が同一の粒子内で共存している。

分担研究報告書

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

研究分担者 伊藤禎彦 京都大学大学院工学研究科教授
研究協力者 福岡早紀 京都大学大学院工学研究科修士課程

研究要旨：

静岡県浜松市内において川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の3箇所を調査・検討対象とした。原水・浄水・給水の水質調査を行うとともに、配水管路データ、各戸居住人数など解析に必要な情報を収集した。まず、3つの飲料水供給施設において、管網計算を行い配水管内流速分布を得た。ついで、別途実施している室内実験結果や、大阪地域・神戸地域での実地調査結果を活用して、配水管内に堆積する重量 (g/m^2) とその分布を推定した。この成果によって、第一段階 浄水処理、第二段階 配水管網の水理条件、第三段階 洗管の観点から、堆積量の重量分布の変化を検討することを可能とした。さらに本成果に基づいて、今後の展開方法と狙いについて整理した。

A．研究目的

水需要の減少は、配水管内での滞留時間増大をもたらし、水道水質が劣化することが懸念される。今後は、配水管内環境の管理を高度化させ、これを制御するニーズが高まっていく。

本研究では、静岡県浜松市内における小規模な飲料水供給施設をとりあげ、まずは配水管内に堆積する重量 (g/m^2) とその分布を推定することを目指す。これによって、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・段階の抽出を試みるとともに、検討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・制御方法を提示する。

B．研究方法

2017年11月14日に、浜松市の飲料水供給施設3箇所（川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設）を調査した。原水、浄水処理フローなどの各施設の状況は、別の総括・分担研究報告書を参照されたい。

表1（川上飲料水供給施設の場合を例示）に示す項目について、浜松市から情報を収集するとともに、現地での調査によって独自にデータを取得した。

配水管網については、提供された管路データから、配水区域までのルートを設定した。写真2、3は、川上飲料水供給施設の低区配水池（写真2）および高区配水池（写真3）である。



写真1 川上飲料水供給施設
浄水処理施設

表 1 川上飲料水供給施設に関する必要情報

	入手済み	要問合せ	独自で調査・入手	入手できず推定、または仮定する必要有
管路	管路総延長[m]	①各管路の口径[mm] ②節点数 ③各管路延長[m] ④管材質 ⑤敷設年度	①配水管 φ50~20 ②不明(右欄に推定) ③送水管 L=1,599m 配水管 L=4,818m ④送水管 PE 配水管 PE/VP ⑤H21~H26	②配水管 高区5点 低区21点
水質	濁度(原水、浄水)	浄水濁度 (給水区域内で数点)	原水、浄水、および配水区域内3箇所の給水栓水を採水して測定	浄水SS濃度(μg/L)
配水池	配水池の水位[m] (HWL)	①平均配水量[m ³ /日] ②配水量の時間変化、または時間係数・(配水池水位の変動)	全て不明 → 同じ地域にある配水池の時間変化の情報を取得	
その他		①標高[m] (配水池、および各節点) ②各戸位置・各戸居住人数	①配水方式の選定を参照(別紙) ②聞き取り調査にて取得	



写真 2 低区配水池



写真 3 高区配水池

3つの飲料水供給施設において、配水量に関する情報はない。そこで、例えば、川上飲料水供給施設配水区域における全戸(26戸)について、その各戸居住人数(合計50人)を聞き取った。これに計画原単位である240 L/人・日を乗じ、各節点からの取り出し水量とした。また、明野飲料水供給施設(8戸、25人)、長沢飲料水供給施設(4戸、10人)においても、同様に各戸の居住人数を聞き取った。

管網計算方法は岸本ら(2017)の方法にしたがった。使用ソフトは、EPANET2.0およびEPANET-MSXである。

C . 研究結果

水質測定結果を表2に示す。例えば、川上飲料水供給施設の浄水処理装置では、PACが注入され沈殿および急速砂ろ過が行われていることから、濁度除去性は高いといえる。一方、明野飲料水供給施設では、浄水を直接採水することはできなかったが、給水栓水の測定結果から、浄水処理施設の除去能は低いものと推察できた。

表2 水質測定結果(2017年11月14日採水)

事業主体	サンプル	濁度			残留塩素濃度[mg/L]	備考	
		(1回目)	(2回目)	平均			
浜松市	川上飲供	原水	0.81	0.73	0.77	-	PAC注入前の原水そのものを採水
		浄水	0.00	0.00	0.00	0.00	塩素は間欠的に注入されているので濃度としては安定せず、採水時たまたまゼロであったとみられる。実際、低区・高区配水池以降では残留塩素は安定して検出されている。
		高区配水池	0.00	0.01	0.01	0.16	
		A宅(高区配水区域)	0.03	0.02	0.02	0.19	
		低区配水池	0.02	0.03	0.02	0.21	
		B宅(低区配水区域、北方分岐)	0.01	0.02	0.02	0.21	
		茶工場(低区配水区域、西方分岐)	0.01	0.02	0.02	0.00	1年のうち5月の3~4日しか水を使用しない箇所
	明野飲供	原水	1.26	1.33	1.29	0.86	簡易ろ過装置内の砂層上の水を採水。ここに塩素が直接滴下される構造
		浄水	-	-	-	-	配水池の水は採水できない構造
		C宅(西方末端)	1.44	1.46	1.45	0.16	
		D宅(東方末端)	1.42	1.42	1.42	0.04	
		E宅(南方末端)	1.45	1.48	1.46	0.18	
	長沢飲供	原水	1.01	1.08	1.04	-	
		浄水	0.16	0.18	0.17	0.79	
		F宅(北方末端)	0.21	0.15	0.18	0.71	
F宅(南方途中)		0.13	0.11	0.12	0.70		

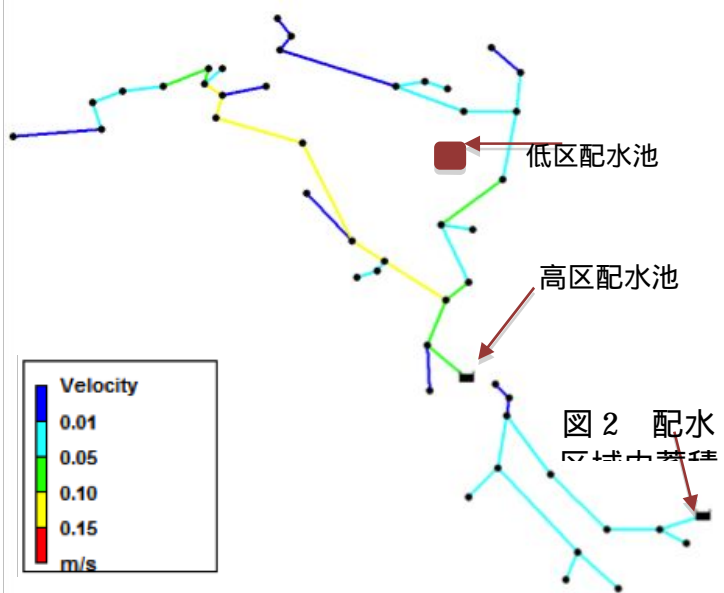
別に、大阪広域水道企業団および阪神水道企業団の浄水場において、浄水の濁度とSSとの関係を把握する調査を行ってきている。これより、濁度-SS換算式(中西、2018)として下記を使用した。

$$SS(\mu\text{g/L}) = 314 \times X(\text{度}) + 7.18$$

これより川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の各配水区域における水道水の平均的なSS濃度はそれぞれ12.7 $\mu\text{g/L}$ 、460 $\mu\text{g/L}$ 、54.3 $\mu\text{g/L}$ と推定した。また、これらから各配水区域に流出している重量を見積もることもできる。例えば、川上飲料水供給施設の場合、低区配水池および高区配水池から流出している重量は152mg/日と推算できる。

川上飲料水供給施設からの配水区域における配水管内平均流速の分布を図1に示す。浄水場から低区配水池、高区配水池までの送水管は対象としておらず、2つの配水池からの配水管の流速のみを図示している。また、平均流速、中央値、最頻値を表3に示す。参考のため、神戸市篠原低層における流速も併記した。このうち配水管の先端における取り出し水量がゼロであって、流速がゼロである配水管については、以下の蓄積量推定においては除外することとした。

配管内における蓄積量の重量分布を図2に示す。配水期間は10年であり、蓄積量の単位は mg/m^2 である。



浄水施設

表3 配水管内流速の代表値

	篠原低層	川上飲供	明野飲供	長沢飲供
平均流速(m/s)	0.084	0.042	0.059	0.022
中央値(m/s)	0.060	0.030	0.060	0.020
最頻値(m/s)	0.020	0.020	0.090	0.020

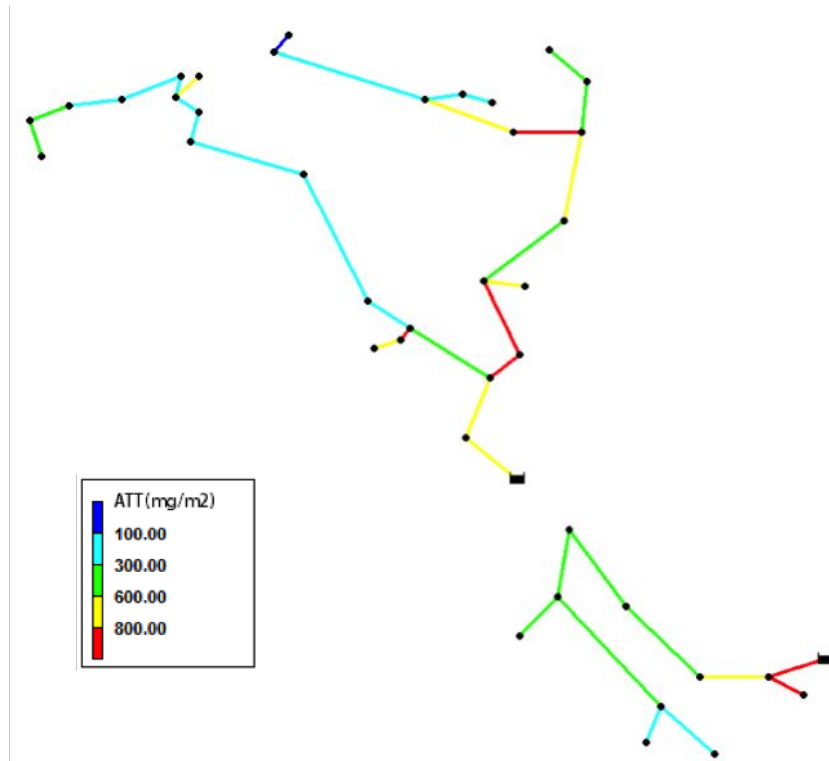


表 3 配水管内流速の代表値

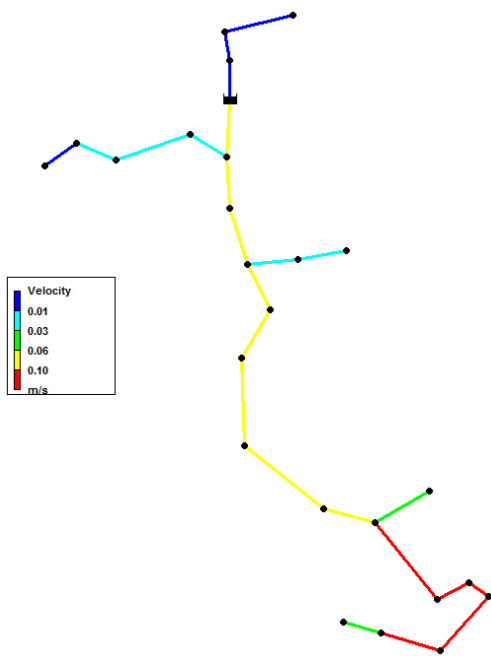


図 3 配水管内平均流速の分布（明野）

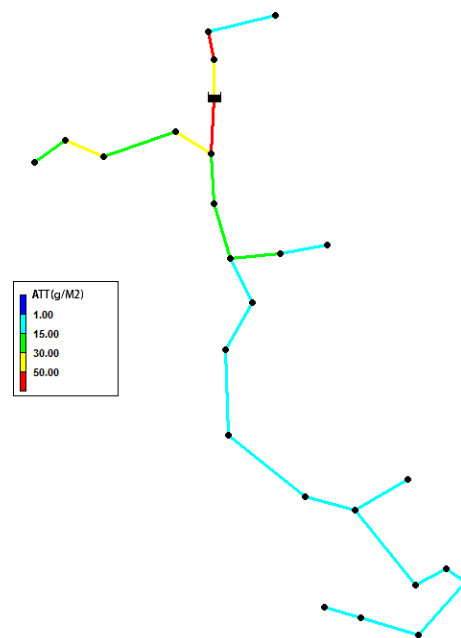


図 4 配水区域内蓄積量の分布（明野）

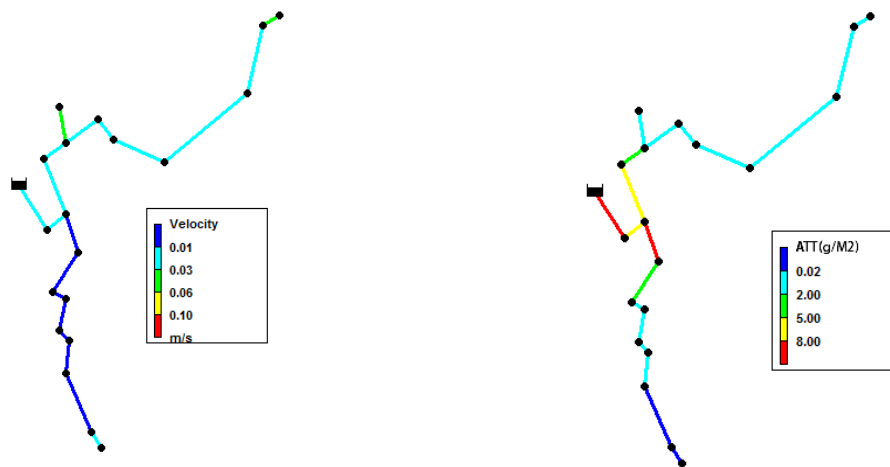


図5 配水管内平均流速の分布（長沢） 図6 配水区域内蓄積量の分布（長沢）

同様に、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の各配水区域における平均流速、中央値、最頻値を表3に示し、それぞれの平均流速の分布を図3、図5に示す。さらに、配管内における蓄積量の重量分布（単位：g/m²）を図4、図6に示す。

D. 考察

1. 蓄積量分布の表示について

明野飲料水供給施設配水区域における蓄積量が多いことがわかるが、これは表2に見られるように、配水区域内給水栓水の濁度値が比較的高いためである。ただし、管内流速は3つの配水区域の中では最も大きく、流速の観点からは蓄積は進みにくいともいえる。今後、浄水処理施設の除去能を改善することによって、配水管内の蓄積量を低減させることができると推察できる。

図2、図4、図6のように、配水区域内の蓄積量分布を表示できるようになったことが現段階での成果である。今後これを利用して、管網を再構成した場合の蓄積量の変化などを議論することができる。

ただ、使用したモデル式では、懸濁物質の付着速度は単純に管内流速に反比例している点、蓄積が進んでも脱着しない設定としている点など、いくつかの課題を有している。今後、別途行っている室内実験や現地調査の結果を活用して本推定方法を改良することが必要と考えている。

2. 今後の展開とねらいについて

(1) 実施予定内容

別に、配水管テストピースを用いた付着・堆積・脱離に関する室内実験（中西ら、2017）および神戸市において洗管排水の分析を行っている（Itoh *et al.*, 2017）。これらの結果を活用してモデル化を行い、上記重量分布の推定方法を改良する。

上記では、配水量については日平均値だけを用いている。今後は、日内変動（時間係数）を考慮した推定を行う。浜松市内の熊切簡易水道における配水量、配水池水位変動に関するデータを入手しており参考にする。

後述する観点から、(1)浄水処理水質、(2)配水管の水理条件、(3)洗管に関するシナリオを設

定し、蓄積量の重量分布の変化を検討する。得られた結果から、これら3段階のうち、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・段階の抽出を試みる。同時に、各段階の位置づけや役割について整理する。

(2)ねらい

各地で水需要の減少と配水管の老朽化が進んでいる。これらによって、配水管内での滞留時間が増大することなどにより、水道水質が劣化することが懸念される。配水管内環境の管理を高度化させ、これを制御するニーズが高まってきているといえる。

配水管内環境の管理・制御ための方法としては、浄水処理における懸濁物質等の除去、管網における水理条件の管理・制御、洗管があり(van der Kooij and van der Wielen, 2014)、実務上はこれらを組み合わせる必要がある。

一般に、1日に一度0.4 m/秒以上(実用的には0.2 m/秒以上)の流速が確保されれば、その管路は自己洗浄機能を有するとされる(Vreeburg, 2007)。流速を高めて管内環境を清浄に保とうという考え方だが、わが国ではこの観点から配水管網を構成する考え方はこれまでになかった。

以上の背景から、ここでは、配水管内環境の管理・制御法を探るため、以下の3段階の観点から検討を進める。

第一段階 浄水処理：配水管内環境を良好に保つのに寄与する浄水処理をあらかじめ行っておくという観点。関西地方の浄水場において、浄水処理プロセスを凝集沈殿-急速砂ろ過-オゾン・粒状活性炭から凝集沈殿-オゾン・粒状活性炭-急速砂ろ過に変更することによって、送配水系への流入重量が20 kg/日が14 kg/日に約30%低減できると評価している(中西, 2018)。この例のように浄水後濃度を変化させ、配水区域内蓄積量に与える影響を解析する。

第二段階 配水管網の水理条件：滞留域を最小化するとともに自己洗浄機能を確保し水の流れを保つという観点。枝状化や縮径を行い、自己洗浄機能を高めた管網において、微粒子の堆積がいかにか低減しうるかを評価する。実際、神戸市内のある配水区域を対象とした検討例では、現状管網の場合10年間での蓄積量は130 kgであるが、仮に区域内の配水管の管径を1段階ずつ縮小できたとすると76 kgに低減できると推定した。また、配水管内面の単位面積あたりの蓄積量も2.13 g/m²から1.63 g/m²に減少した(岸本ら, 2017)。

第三段階 洗管：別に行っている通水試験管路を用いた試験では、放水洗管作業(洗管時流速0.45 m/秒)による管内付着物の除去率が得られる。これを用いて、洗管作業を行いつつ配水を継続した場合の効果を表示する。洗管間隔としては、洗管作業を10年あるいは20年サイクルで行うシナリオが考えられる。

上記の3つの段階の中から、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・段階の抽出を試みる。同時に、各段階の位置づけや役割について整理する。これにより、検討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・制御方法を提示する。

E . 結論

静岡県浜松市内において川上飲料水供給施設、明野飲料水供給施設、長沢飲料水供給施設の3箇所を調査・検討対象とした。原水・浄水・給水の水質調査を行うとともに、配水管路データ、各戸居住人数など解析に必要な情報を収集した。まず、3つの飲料水供給施設において、管網計算を行い配水管内流速分布を得た。ついで、別途実施している室内実験結果や、大阪地域・神戸地域での実地調査結果を活用して、配水管内に堆積する重量(g/m²)とその分布を推定した。この成果によって、第一段階 浄水処理、第二段階 配水管網の水理条件、第三段階 洗管の観点から、堆積量の重量分布の変化を検討することが可能となった。

参考文献

Itoh, S., Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada,

- Y., Echigo, S. : Management of particles in water distribution networks - Water supply system in a depopulation society and research needs -, Proceeding of the 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.C-01_6p, July 6-7, 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea.
- van der Kooij, D., van der Wielen, P. eds. : Microbial Growth in Drinking-Water Supplies, 453p., IWA Publishing, London, UK, 2014.
- Vreeburg J. : Discolouration in drinking water systems: a particular approach, Delft University of Technology, Delft, the Netherlands, Chapter 5, 89-112, 2007.
- 岸本如水, 中西智宏, 周心怡, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 西岡寛哲 : 上水配水管内の付着物実態調査と配水区域内堆積量分布の表示、環境衛生工学研究, Vol.31, No.3, pp.182-185, 2017.
- 中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 藤井宏明, 鈴木剛史 : 上水配水管内面に対する微粒子・マンガン・細菌の付着特性、土木学会論文集 G(環境)(環境工学研究論文集 第54巻), Vol.73, No.7, pp. _505- _514, 2017.
- 中西智宏 : 送配水システムに流入する浄水中懸濁物質による配水管内環境の形成とその実態に関する研究、京都大学博士学位論文、2018.

F . 研究発表

1 . 論文発表

- 平山修久, 伊藤禎彦 : 需要者へのコントロール感の付与からみた災害時の上水道システムにおける情報提供のあり方に関する検討, 日本リスク研究学会誌, Vol.26, No.4, pp.199-208, 2017.
- 中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 藤井宏明, 鈴木剛史 : 上水配水管内面に対する微粒子・マンガン・細菌の付着特性、土木学会論文集 G(環境)(環境工学研究論文集 第54巻), Vol.73, No.7, pp. _505- _514, 2017.

2 . 学会発表

- Itoh, S., Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S. : Management of particles in water distribution networks - Water supply system in a depopulation society and research needs -, Proceeding of the 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.C-01_6p, July 6-7, 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea.
- Zhou, X., Nakanishi, T., Nishioka, H., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Behavior of suspended matters in drinking water distribution system, Proceeding of The 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, C-04_8p, July 6-7. 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea
- 岸本如水, 中西智宏, 周心怡, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 西岡寛哲 : 上水配水管内の付着物実態調査と配水区域内堆積量分布の表示、環境衛生工学研究, Vol.31, No.3, pp.182-185, 2017.
- Kishimoto, J, Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Survey on micro-particles adhered inside water distribution pipes and a distribution of accumulated matters in a network, HUST & KU International Symposium on the Education & Research of the Global Environmental Studies in Asia in conjunction with the 10th Regional Conference on Environmental Engineering 2017, October 30-31, 2017, Hanoi, Vietnam.
- 三輪雅幸, 伊藤禎彦 : 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究, 平成 29 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.148-149, 2017.
- 樽井滉生, 中西智宏, 西岡寛哲, 伊藤禎彦 : 浄水中微粒子の配水管内付着に対する流速の影響,

3 . 総説・解説

伊藤禎彦: 高度水処理技術を中心とする水の浄化システムの開発, ケミカルエンジニアリング, Vol.62, No.10, pp.1-7, 2017.

伊藤禎彦: 巻頭言 人口減少・水需要減少社会への挑戦, 水道技術ジャーナル, No.85, p.1, 2017.

三輪雅幸, 伊藤禎彦: 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究, 水道, Vol.63, No.2, pp.8-17, 2018.

4 . 講演

Sadahiko Itoh: Reestablishment of water supply system in a depopulation society and research needs, Kyoto University International Symposium, 5th Southeast Asia Network Forum / 23rd Southeast Asia Forum, February 4, 2017, Hotel Pullman Bangkok Grande Sukhumvit Asoke, Bangkok, Thailand.

伊藤禎彦: 浄水処理-配水システムのトータルソリューション創出へ向けて, 平成 28 年度日本ダクタイトイル鉄管協会関東支部講演会, 千葉市生涯学習センター, 2017.1.20.

伊藤禎彦: 「濁度 0.1 度」から科学的根拠に基づく微生物的安全レベルの設定へ, 日本紫外線水処理技術協会 (JUVA) 技術セミナー 濁度 0.1 度とは? ~リスク管理と UV の役割~, 日本紫外線水処理技術協会技術委員会主催, お茶の水女子大学, 2017.3.29.

伊藤禎彦: 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へ向けて, 第 27 回「水を語る会」, 日本水道会館会議室, 2017.5.13.

伊藤禎彦: 水需要減少下における浄水処理・配水システム再構築の考え方と技術ニーズ, 第 5 回水道技術工法研究会 (滋賀)「水道事業の持続と強靱化に貢献する最新技術」, JA 滋賀中央会 2 階多目的ホール, 2017.8.31.

伊藤禎彦: 人口減少下における浄水処理-配水システム再構築の考え方と各種課題, 平成 29 年度日本ダクタイトイル鉄管協会関東支部講演会新潟県会場, 朱鷺メッセ, 2017.10.11.

伊藤禎彦: 水需要減少下における上水道システム再構築の考え方と各種ニーズ, 第 22 回 21 世紀水処理技術懇話会, 北海道北見市, ホテル黒部, 2017.11.9.

伊藤禎彦: 水需要減少下における上水道システム再構築の考え方と技術ニーズ, 一般公開シンポジウム 第 54 回環境工学研究フォーラム企画セッション「人口減少社会における環境工学の展開」, pp. 31-46, 岐阜大学講堂, 2017.11.18.

中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 岸本如水, 浅田安廣, 越後信哉, 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と高機能化に関する総合研究, 配水管内環境に関する報告会, 大阪広域水道企業団水質管理センター会議室, 2017.3.23.

中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 岸本如水, 浅田安廣, 越後信哉, 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と高機能化に関する総合研究, 阪神水道企業団尼崎浄水場, 2017.6.12.

平成 29 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
「小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究」
平成 29 年度分担研究報告書

大腸菌および耐塩素性従属栄養細菌に対する顆粒型消毒剤の消毒効果の検証

研究代表者 国立保健医療科学院 浅見 真理
研究分担者 国立保健医療科学院 島崎 大
研究協力者 国立保健医療科学院 前田 暢子
研究協力者 国立保健医療科学院 阿部 功介

研究要旨：

次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤2種（SDIC およびTCCA）の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について、大腸菌（*E. coli* K12）および耐塩素性従属栄養細菌（*S. paucimobilis*）の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価した。消毒剤の残留濃度は、消毒対象となる細菌の種別により異なり、SDICおよびTCCAいずれも次亜と同程度以下の残塩保持濃度となる可能性が示された。各消毒剤のCT値および生残率に基づく不活化能力は次亜と同程度であるものの、対象とする細菌種やCT値に応じて前後することが明らかとなった。実際の水供給システムへの適用に際しては、このような各消毒剤の不活化能力ならびに残留特性の相違について留意する必要がある。

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。水供給システムにおいて必須である消毒については、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、地元住民による運搬や補充が重労働となること、周囲への腐食を生じる場合があること、不適切な保管や長期間の使用による有効塩素濃度の低下ならびに塩素酸濃度の上昇が懸念されることなどの課題が指摘されている。

ここでは、次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について、微生物の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価することを目的とした。

B．研究方法

(1)消毒剤原液の調整

実験に使用する塩素化シアヌル酸系消毒剤として、ジイソシアヌル酸ナトリウム（SDIC）およびトリイソシアヌル酸（TCCA）を、また、比較対象として次亜塩素酸ナトリウム溶液（次亜）を用いた。SDIC および TCCA はいずれも研究用試薬（和光純薬株式会社製）を 300mg-Cl₂/L となるよう Milli-Q 水に溶解して各消毒剤の原液を調整し、有効塩素濃度を DPD-FAS 滴定法により確認した。長期の冷蔵保管において有効塩素濃度の低下が観察されたため、消毒実験の際には、調整直後から 1 週間以内の消毒剤減益を使用した。次亜として有効塩素濃度 12%の次亜塩素酸ナトリウム溶液（和光純薬株式会社製）を 300mg-Cl₂/L となるよう Milli-Q 水に溶解し、有効塩素濃度を DPD-FAS 滴定法により確認した。

(2)細菌原液の調整および培養方法

消毒実験に用いる大腸菌として *E. coli* K12、塩素耐性のある従属栄養細菌として *Sphingomonas paucimobilis* を選定した（いずれも東京大学大学院工学系研究科 片山 浩之 准

教授より分与)。大腸菌原液は、超低温冷蔵庫に保存された *E. coli* K12 冷凍菌株を LB 液体培地 50mL × 2 本に懸濁し、インキュベータ内にて 37、72 時間以上振盪培養、卓上遠心機にて菌体から培地を遠心分離して高圧蒸気滅菌済み PBS(-) 溶液に再懸濁する操作を 2 回繰り返した後、PBS(-) 2mL × 2 本に再懸濁して調整した。従属栄養細菌原液は、同様に冷凍保存された *S. paucimobilis* 冷凍菌株をニュートリエント液体培地 50mL × 2 本に懸濁し、湿潤条件のインキュベータ内にて 30、72 時間以上振盪培養した後、卓上遠心機にて菌体から培地を遠心分離して PBS(-) 溶液に再懸濁する操作を 2 回繰り返す、PBS(-) 2mL × 2 本に再懸濁して調整した。

各細菌の計数は混釈培養法により行った。*E. coli* K12 の培養には TSA 寒天培地を、*S. paucimobilis* の培養にはニュートリエント寒天培地を用い、前者は 37、18~22 時間、後者は湿潤条件下で 30、42~46 時間、それぞれインキュベータ内で培養した。

(3) 消毒実験

500mL 三角フラスコにそれぞれ 10 倍 PBS(-) 50mL、Milli-Q 水 450mL、マグネットスターラーを入れてアルミホイルをかぶせ、高圧蒸気滅菌 (121、20 分間) した。予備実験により決定した所定量の高圧蒸気滅菌済み 0.1N HCl を添加し、細菌原液および消毒剤原液を添加した後の pH が 7.0 付近となるようにした。攪拌しながら細菌原液 1.0mL (初期濃度 10^6 CFU/mL オーダー)、消毒剤原液 0.833mL (初期濃度 0.5mg-Cl₂/L) を添加し、所定時間ごとに 10mL を採水、0.1% チオ硫酸ナトリウム溶液 100μL 入りの試験管に採取して、細菌の計数に供した。また、所定時間ごとに 10mL を採水、ハンディ型残留塩素計 (HACH 社 Pocket Chlorimeter II) および専用試薬を用いて直ちに遊離残留塩素濃度を測定した。実験終了後に三角フラスコ内溶液の pH を測定し、pH が 7.0 付近であることを確認した。各条件の実験は 3 回繰り返して行った。

C. 研究結果

(1) 各塩素消毒剤の残留塩素濃度の経時変化

次亜、SDIC、TCCA の各消毒剤を *E. coli* K12 または *S. paucimobilis* と接触させた際の残留塩素濃度の経時変化を図 1 に示す。*E. coli* K12 を用いた場合、残留塩素濃度は接触直後より次亜 > SDIC > TCCA となり、接触 6 分後の濃度はそれぞれ 0.24 ± 0.02 、 0.17 ± 0.004 、 0.12 ± 0.004 mg-Cl₂/L であった。一方、*S. paucimobilis* を用いた場合、接触直後および 12 分後の残留塩素濃度は次亜 > TCCA > SDIC となったものの、60 分後の残留塩素濃度は 0.064 ± 0.013 (次亜) ~ 0.073 ± 0.009 mg-Cl₂/L (SDIC) の範囲となり、ウェルシュの t 検定による統計学的な有意差は認められなかった ($p < 0.05$)。

(2) 各細菌の生残率の経時変化

次亜、SDIC、TCCA の各消毒剤との接触による *E. coli* K12 または *S. paucimobilis* の生残率の経時変化を図 2 に示す。*E. coli* K12 の生残率は、接触直後から次亜 < TCCA < SDIC の順のまま推移し、接触 6 分後の生残率はそれぞれ $3.4 \pm 2.0 \times 10^{-7}$ 、 $4.8 \pm 5.5 \times 10^{-7}$ 、 $9.7 \pm 5.6 \times 10^{-7}$ であった。一方、*S. paucimobilis* の生残率は、接触直後は次亜 < TCCA < SDIC であったものの、1 分後以降は SDIC < 次亜 < TCCA の順となり、60 分後の生残率はそれぞれ $1.6 \pm 0.5 \times 10^{-6}$ 、 $3.5 \pm 4.4 \times 10^{-6}$ 、 $1.3 \pm 0.6 \times 10^{-5}$ となった。

D. 考察

(1) 各塩素消毒剤の残留塩素濃度の経時変化

E. coli K12 を用いた場合に各消毒剤の残留塩素濃度に有意差が見られた要因として、大腸菌の初期濃度による影響の可能性が考えられた (次亜: $1.4 \pm 0.5 \times 10^6$ CFU/mL、SDIC: $2.7 \pm 0.2 \times 10^6$ CFU/mL、TCCA: $3.6 \pm 0.4 \times 10^6$ CFU/mL)。しかしながら、*S. paucimobilis* にも同様に初期菌体濃度の差があったものの (次亜: $9.1 \pm 0.4 \times 10^5$ CFU/mL、SDIC: $8.8 \pm 0.7 \times 10^5$ CFU/mL、TCCA: $2.3 \pm 0.2 \times 10^6$ CFU/mL) 残留塩素濃度への影響は特段見られなかった。このため、消毒剤の残

留濃度は、消毒の対象となる細菌の種別により異なることが示された。塩素化イソシアヌル酸系消毒剤である SDIC および TCCA は、いずれも次亜と同程度以下の残塩保持濃度となる可能性があり、日常的な残留塩素濃度の管理において留意すべきと考えられた。

(2)各細菌の生残率の経時変化

各消毒剤とも、接触直後に *E. coli* K12 の大部分を不活化したものの、その生残率は次亜 < TCCA < SDIC の順となり、接触 6 分後も同じ順であった。前項に記したように大腸菌の初期濃度は次亜 < SDIC < TCCA であることを考慮すれば、TCCA の不活化速度は SDIC よりも速いと推定された。*S. paucimobilis* の不活化においては、接触直後の生残率は *E. coli* K12 と同じ順であったものの、1 分後以降は SDIC < 次亜 < TCCA となり、SDIC の不活化速度は次亜および TCCA よりも速いと推定された。このことから、各消毒剤の不活化能力は、細菌の種別により異なることが示された。

(3)CT 値に基づく各消毒剤の不活化能力の比較

前項について定量的に考察するため、各消毒実験の残留塩素濃度が測定間で直線的に減衰すると仮定し、接触時間から CT 値を算出、生残率と比較した(表 1)。すなわち、同程度の CT 値で生残率が小さい消毒剤ほど、より不活化能力が高いとした。この結果、*E. coli* K12 については、接触直後となる CT 値 0.058 ~ 0.068 mg-Cl₂/L・sec の範囲での不活化能力は次亜 > TCCA > SDIC、接触後 30 秒 ~ 1 分となる CT 値 0.42 ~ 0.55 mg-Cl₂/L・sec の範囲では TCCA > 次亜 > SDIC、接触後 3 ~ 6 分となる CT 値 1.05 ~ 1.80 mg-Cl₂/L・sec の範囲では TCCA > 次亜 > SDIC の順となった。また、*S. paucimobilis* については、接触直後となる CT 値 0.058 ~ 0.068 mg-Cl₂/L・sec の範囲での不活化能力は次亜 > TCCA > SDIC、接触後 30 ~ 60 分となる CT 値 6.19 ~ 8.36 mg-Cl₂/L・sec の範囲では SDIC > 次亜 > TCCA の順となった。

以上のことから、各塩素化イソシアヌル酸系消毒剤の不活化能力は次亜と同程度であるものの、対象とする細菌種や CT 値に応じて前後することが明らかとなった。

E . 結論

次亜塩素酸ナトリウム溶液の代替として、顆粒状の塩素化シアヌル酸系消毒剤 2 種 (SDIC および TCCA) の適用を想定し、水供給システムへの適用可能性について大腸菌 (*E. coli* K12) および耐塩素性従属栄養細菌 (*S. paucimobilis*) の不活化能力ならびに残留特性等の面から評価したところ、各消毒剤ともに次亜と同程度以下の残塩保持濃度となる可能性があること、不活化能力は次亜と同程度であるものの、対象とする細菌種や CT 値に応じて前後することが明らかとなった。実際の水供給システムへの適用に際しては、このような各消毒剤の不活化能力ならびに残留特性の相違について留意する必要がある。

F . 研究発表

1. 論文発表 なし
2. 学会発表 なし

G . 知的所有権の取得状況

なし

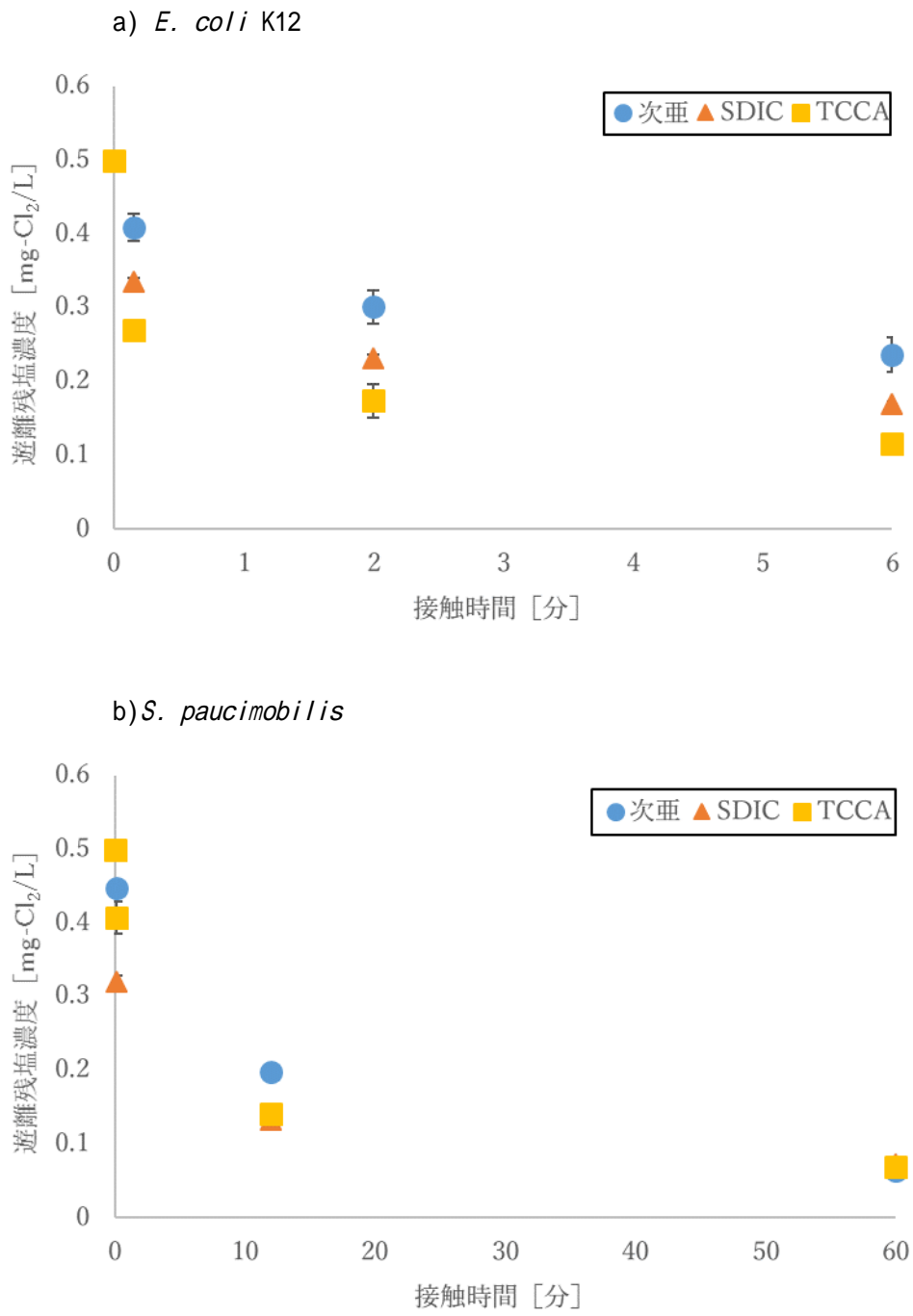


図1 各塩素消毒剤の残留塩素濃度の経時変化

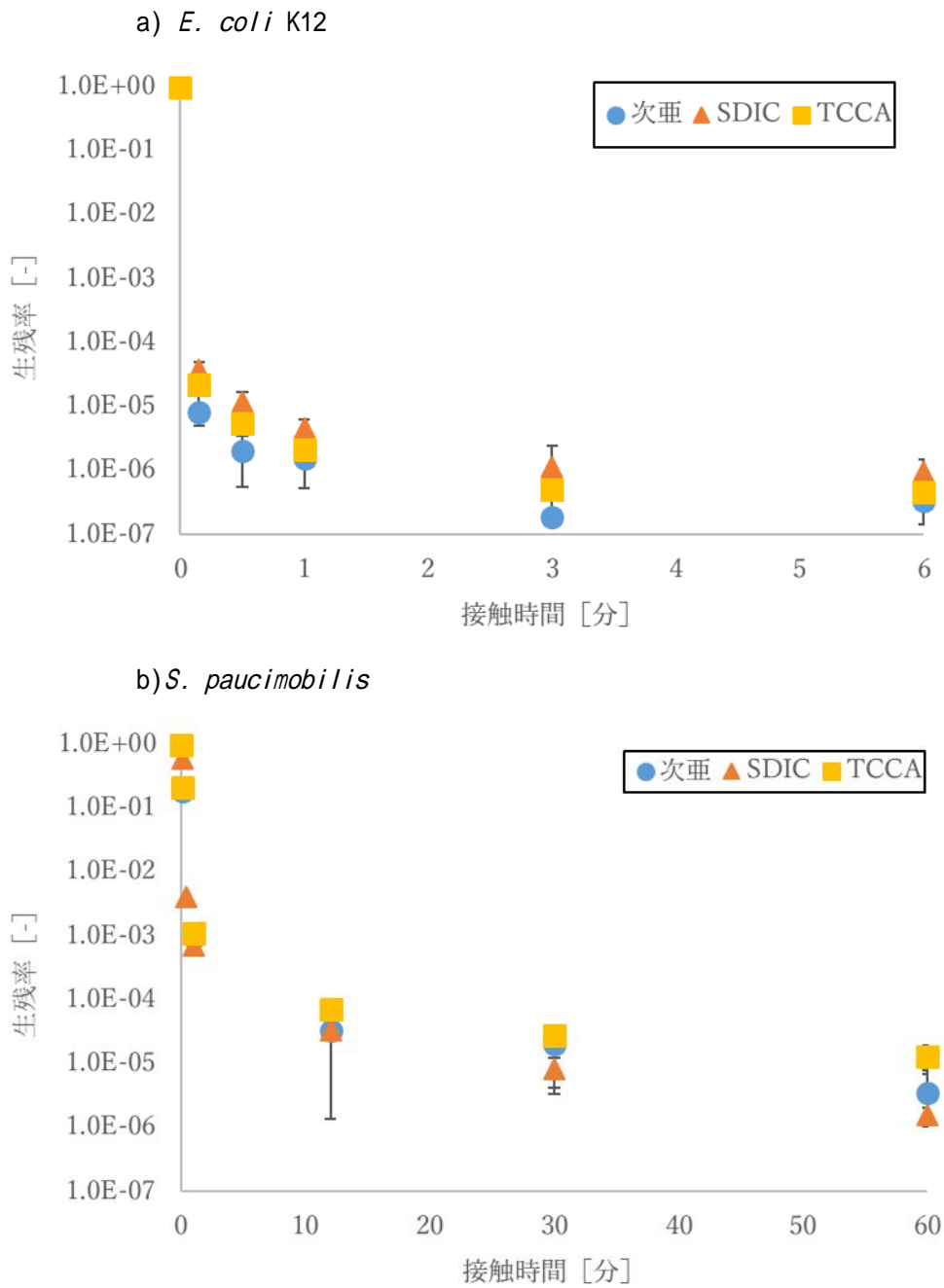


図2 各細菌の生残率の経時変化

表 1 各細菌における CT 値および生残率の比較

a) *E. coli* K12

接触時間	次亜		SDIC		TCCA	
	CT	生残率	CT	生残率	CT	生残率
0.15	0.068	8.25E-06	0.063	3.81E-05	0.058	2.27E-05
0.5	0.546	2.09E-06	0.454	1.19E-05	0.372	5.68E-06
1	0.630	1.6E-06	0.521	4.65E-06	0.424	2.2E-06
2	0.725		0.588		0.469	
3	1.597	1.9E-07	1.254	1.17E-06	0.963	5.24E-07
6	1.801	3.45E-07	1.391	9.71E-07	1.050	4.77E-07

b) *S. paucimobilis*

接触時間	次亜		SDIC		TCCA	
	CT	生残率	CT	生残率	CT	生残率
0.15	0.07	1.9E-01	0.06	6.2E-01	0.07	2.2E-01
0.42			0.42	4.1E-03		
1	0.70	9.6E-04	0.51	7.2E-04	0.64	1.1E-03
12	3.90	3.39E-05	2.75	3.35E-05	3.32	7.35E-05
30	7.66	2.08E-05	5.53	8.39E-06	6.19	2.74E-05
60	10.22	3.54E-06	7.68	1.57E-06	8.35	1.33E-05

平成 29 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究
（H29-健危-一般-004）
分担研究報告書

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

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	島崎 大	国立保健医療科学院	生活環境研究部
研究協力者	越後 信哉	国立保健医療科学院	生活環境研究部
	阿部 功介	国立保健医療科学院	生活環境研究部

研究要旨：

現在日本では、高齢化及び人口減少、過疎化の影響により、飲料水供給施設や給水人口が減少している簡易水道等において、施設を適切に維持管理することが難しい状況にある。例えば、人口が減少し使用水量が減少している地域では薬剤の使用量が減り、使用期限を超過することがある。一般的な塩素系消毒剤としては次亜塩素酸ナトリウム溶液（以下、次亜）、液化塩素及び次亜塩素酸カルシウムがあり、多くの場合、次亜が使用されている。定期的な補充及び短期間での使用が要求される次亜に代わり、水道以外の分野においても使用実績のある塩素系消毒剤等に注目し、それぞれの消毒剤の消毒副生成物、消毒持続性を明らかにすることで、小規模水供給システムの安全性向上に資することを目的として研究を行った。

遊離残留塩素濃度の減少量が等しければトリハロメタンやハロ酢酸の生成量は各種消毒剤毎にほぼ同等であった。水電解次亜発生装置による次亜生成過程（電解中）において、トリハロメタンやハロ酢酸は生成していなかったが、塩素酸は増加するので、電解を繰り返す場合の塩素酸濃度の上昇には注意が必要である。現場の特性に応じて保存性、徐溶性、速溶性、使用性等の観点から消毒剤の検討を行うことが重要である。

A．研究目的

現在日本では、高齢化及び人口減少、過疎化の影響により、飲料水供給施設や給水人口が減少している簡易水道等において、施設を適切に維持管理することが難しい状況にある。例えば、人口が減少し使用水量が減少している地域では薬剤の使用量が減り、使用期限を超過することがある。一般的な塩素系消毒剤としては次亜塩素酸ナトリウム溶液（以下、次亜）、液化塩素及び次亜塩素酸カルシウムがあり、多くの場合、次亜が使用されている。しかし、次亜は有効塩素の高いものほど不安定で、貯蔵中に有効塩素が減少し、塩素酸が生成しやすい。また、消毒のために塩素を注入すると、水中で有機物と反応し、トリハロメタン（以下、THM）や、ハロ酢酸（以下、HAA）などの有機ハロゲン化合物が生成する。これらを踏まえ、定期的な補充及び短期間での使用が要求される次亜に代わり、水道以外の分野においても使用実績のある塩素系消毒剤等に注目し、それぞれの消毒剤の消毒副生成物（DBP）、消毒持続性を明らかにすることで、小規模水供給システムの安全性向上に資することを目的として研究を行った。

B. 研究方法

次亜塩素酸ナトリウム溶液、粉や固形の消毒剤、水電解次亜発生装置について検討を行った。

(1) 塩素処理

消毒剤として表1に示す塩素系消毒剤を用い、このほかに水に含まれる塩化物イオンを電気分解することによって得られる次亜(以下、電解次亜)(表2)を用いて、遊離残留塩素の測定を行った。実験は超純水にフミン酸ナトリウム(Aldrich製)、リン酸緩衝液を添加し、模擬原水(TOC, 1 mg/L; pH, 7.0)を調製、これらに各消毒剤を初期の目標値が遊離残留塩素 1.5 mg/Lとなるように注入し、測定時間(t=0, 24, 48, 72, 168 h)ごとに採水し、遊離残留塩素, THM, HAA, 塩素酸の測定を行った。

表1 本研究で使用した消毒剤

主成分	有効塩素
次亜塩素酸ナトリウム溶液	有効塩素12%
トリクロロイソシアヌル酸(TCCA)	純度97%
ジクロロイソシアヌル酸ナトリウム(SDIC)	-
次亜塩素酸カルシウム(さらし粉)	有効塩素60%

表2 水電解次亜発生装置仕様(電解次亜)

電極	チタン製(特殊コーティング)
電源	AC 100V 50/60Hz
DC 出力	約20W

(2) 分析方法

遊離残留塩素についてはDPD滴定法, THMについてはP&T-GC/MS法, HAAと塩素酸については, LC-MS/MS法を用いて測定を行った。

C. 研究結果及びD. 考察

(1) 遊離残留塩素の消費速度

遊離残留塩素について、各消毒剤ともほぼ同様の濃度変化を示した(図1)。初期消費量についてもほぼ同量であり、t=24 hから緩やかになる点も同様であった。一次速度式^{1), 2)}を用いて、各消毒剤の回帰直線を求め、各回帰直線に差があるかt検定を行ったところ、有意水準5%で差があるとはいえなかった。

(2) 消毒副生成物の生成特性

クロロホルム濃度の測定を行った結果を図2に示す。本研究では、模擬原水中に臭素がほぼ含まれていないことや、THMの中でも検出されることが多い等の理由でクロロホルムのみを議論する。ThomasのSlope法の各回帰直線に差があるかt検定を行ったところ、有意水準5%で差があるとはいえなかった。よって、各消毒剤におけるクロロホルム生成量も差があるとは言えないと考えられた。また、遊離残留塩素濃度減少量に対するクロロホルム生成量はどの消毒剤についてもほぼ同一の直線関係にあった。HAAについても同様に消毒剤間の差は見られなかった。

次亜と電解次亜では、塩素酸が検出されたが、その他の消毒剤ではほとんど検出されなかった。また、各消毒剤とも、添加直後の濃度から変化は認められなかった。さらに、水電解次亜発生装置による、電解中の遊離残留塩素濃度や塩素酸濃度の経時変化を追跡した。電解中の遊離残留塩素濃度は、ある程度の濃度からはほぼ一定となる傾向を示すが、塩素酸濃度は電解中では上昇する傾向がみられた。遊離残留塩素濃度と塩素酸濃度が線形に変化すると仮定すると、遊離残留塩素濃度を0.1 mg/L上昇させるまでに塩素酸濃度が約50 µg/L上昇することが分かった。

以上、(1), (2)を踏まえて考察する。本研究ではフミン酸を有機物として用い比較的高いTOC濃度及び塩素濃度条件で長い接触時間の実験を行ったが、いずれの消毒剤もほぼ同様のDBPの生成量であり、7日で水質基準値と同等程度となる場合があった。これは流量が当初の設定よりも低下した施設において水が長時間滞留する場合等には、水質基準値を超過する可能性を

示している。よって、実際には水の需要量を精査し、適切な管理方法を設定することが重要となる。また、水電解次亜発生装置は現地で次亜を生成することができるが、利用にあたっては塩素酸の発生には注意が必要である。本研究結果と既存の研究等³⁾から、次亜の使用量が少なく、長期間の保存が必要とされ、消毒剤の品質の低下が懸念される場合は低濃度の次亜や固形の塩素剤、電解次亜を使用し、消毒剤の品質の低下を抑えることなども対策の選択肢として考えられる。

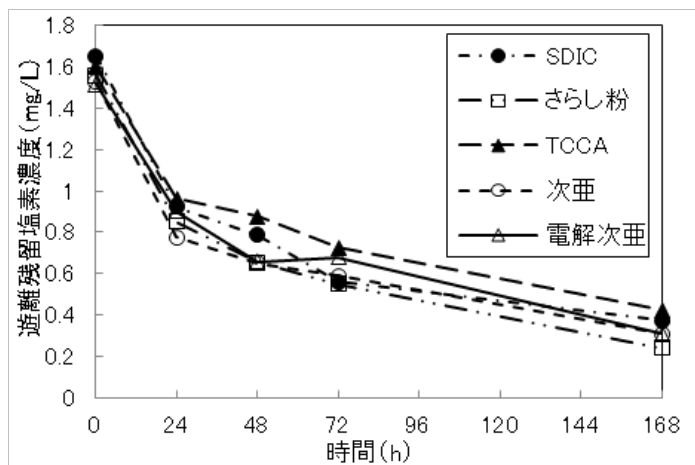


図1 各消毒剤の遊離残留塩素濃度の経時変化

E. 結論

THM, HAA 濃度の測定の結果、遊離残留塩素濃度の減少量が等しければ DBP (THM, HAA) の生成量は各種消毒剤毎に極端に異なるわけではない。水電解次亜発生装置による次亜生成過程(電解中)において、THM, HAA は生成していない。ただし、塩素酸は増加するので、電解を繰り返す場合の塩素酸濃度の上昇には注意が必要である。遊離残留塩素濃度の減少量が等しく、DBP の生成量が変わらないのであれば、現場の特性に応じて保存性、徐溶性、速溶性、使用性等の観点から消毒剤の検討を行うことが重要である。

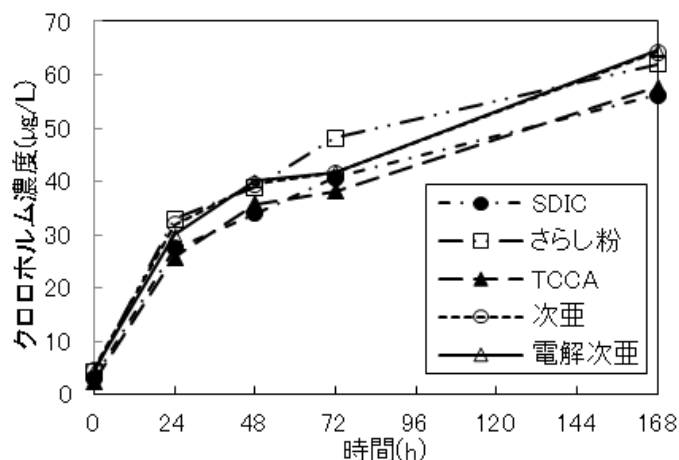


図2 各消毒剤のクロロホルム濃度の経時変化

【参考文献】

- 1) 中西弘, 水道施設の塩素処理に関する研究, 水道協会雑誌, 第 386 号, pp.47-60 (1966)
- 2) 後藤圭司, 配水管網における水質変化(), 水道協会雑誌, 第 571 号, pp.51-65 (1982)
- 3) 淵上和弘, 貯蔵時における次亜塩素酸ナトリウムの品質管理, 水道協会雑誌, 第 864 号, pp.10-24 (2006)

F. 研究発表

1. 論文発表

なし

2. 学会発表

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．（発表予定）

G. 知的所有権の取得状況

なし

平成 29 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究
（H29-健危-一般-004）
分担研究報告書

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

研究分担者 小熊 久美子 東京大学先端科学技術研究センター

研究要旨：

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について、多種の微生物を対象に消毒性能を調べた。また、実施設への紫外線装置の導入可能性を探るため、施設見学と実務者ヒアリングを実施した。

実験では、複数の微生物種を対象とし、波長の異なる紫外線光源を用いて紫外線量に対する不活化応答を調べた。その結果、菌種の違いによる紫外線の波長感受性の違いを定量的に示した。また、従属栄養細菌の紫外線感受性が低いこと（紫外線耐性が高いこと）、紫外線処理の結果として従属栄養細菌のうちでも特に紫外線耐性の高い種が選択的に残存しうることを示した。従属栄養細菌は、直接の健康リスクとの関連性は明確でないものの、水の衛生状態を示す目安として水質管理目標値が設定されており、小規模水供給システムへの紫外線消毒適用において従属栄養細菌の制御が課題であると考えられた。

一方、施設見学とヒアリングの結果から、現状では小規模施設に適した消毒方法は十分に検討されておらず、特に、消毒剤の補充や当番制での維持管理が住民の負担になっている実情が伺えた。消毒剤のにおいに対する抵抗感から消毒を実施しない小規模施設も多く、紫外線消毒であれば利用者の受容性が高まると期待された。総じて、水供給システムの施設規模に見合った消毒技術の開発やその持続可能な維持管理方式の検討が重要と考えられた。

A．研究目的

国連が示す持続可能な開発目標（Sustainable Development Goals, SDGs）の目標6では、「だれひとり取り残さない」をスローガンに、すべての人が安全な水と衛生施設を利用可能な世界の実現を目指している。とかく SDGs は発展途上国の文脈で語られることが多いが、日本を含む先進諸国の遠隔地において公共の上下水道施設から取り残されている、あるいは将来的に取り残されうる人々についても、同じ理念と目標が掲げられてしかるべきである。国際社会の先陣を切って人口減少と高齢社会に突入した日本が、国内の遠隔地等における水の安全性をいかに担保するかは、世界各国の道標となりうる。

過去 30 年間に国内の水道施設で生じた水質事故は施設規模が小さいほど多い傾向があり、その多くは微生物関連の水質事故である（岸田ら 2015）。この事実は、現在一般的な塩素消毒剤注入による消毒方法が、技術面と維持管理面の双方で必ずしも小規模施設に適合していないことを示唆している。

そこで本研究では、海外の小規模水供給施設での利用実績が多い紫外線消毒技術に注目し、国内の小規模水供給施設に紫外線消毒を適用する可能性と課題を明らかにすることを目指す。海外で実績があるのは従来型の水銀紫外線ランプであるが、無水銀光源である紫外発光ダイオード（UV-LED）が小規模施設での利用に一層適しているとの研究仮説にもとづき、光源に UV-LED を備えた水消毒装置の小規模施設への適用性検討を主たる研究目的とする。

B．研究方法

1．実験による検討

UV-LED を備えた水消毒装置を用いて、多種の微生物について紫外線量に対する不活化応答を調べた。回分実験では、UV-LED として発光ピーク波長 265nm, 280nm, 300nm (日機装技研) の素子を用い、波長の違いによる消毒性能の違いを調べた。対象微生物として、大腸菌、大腸菌ファージ Q、枯草菌芽胞、緑膿菌、レジオネラ属菌を用い、種による違いを検討した。比較対象として、従来型の水銀紫外線ランプ(発光ピーク波長 254nm、東芝)を光源とする不活化実験も実施した。一方、流水実験では、発光ピーク波長 285nm の素子を備えた流水殺菌装置を用いてその効果を調べた。対象微生物は、大腸菌、大腸菌ファージ MS 2、従属栄養細菌とした。従属栄養細菌については、紫外線照射後前後の菌叢変化を把握する目的で、次世代シーケンサーを用いて 16S rRNA 遺伝子配列にもとづく相同検索も行った。

2．施設見学とヒアリング

小規模水供給システムの見学とその管理体制調査のため、国内の水道組合とその管理施設、水道未普及地区に整備された飲料水供給施設を訪問しヒアリングを実施した。

C．研究結果及びD．考察

1．実験による検討

(1) 回分式試験による微生物種ごとの波長感受性の調査

表 1 に、回分試験の結果として得られた不活化速度定数(紫外線照射量あたりの Log_{10} 不活化率)を不活化光源別、微生物種別に示す。不活加速度定数が大きいほど不活化されやすいことを示すため、本研究で調べた条件下では、不活化効果は概して 265nm の UV-LED が最も高く、次いで 254nm (低圧水銀ランプ)、280nm、300nm の順に効果が低下する傾向が見られた。これは、遺伝子塩基の光子吸収効率順と一致しており、紫外線不活化の主因が微生物遺伝子損傷であることと整合的であった。ただし、種によって 265nm 以下の順列に違いを生じる場合があり、緑膿菌では $265 > 280 > 254 > 300 \text{ nm}$ 、大腸菌では $265 = 254 > 280 > 300 \text{ nm}$ 、枯草菌芽胞では $265 > 280 = 254 > 300 \text{ nm}$ の順に不活加速度定数が大きかった。なお、等号と不等号は共分散分析により有意水準 5% で判定した統計的有意差を示す。この結果、紫外線照射量あたりの不活化効率の観点では 265nm の UV-LED が有効と考えられた。

表 1．各微生物の不活化速度定数 (cm^2/mJ) (Rattanakul and Oguma 2018 より抜粋)

	緑膿菌	レジオネラ菌	大腸菌	ファージ Q	枯草菌芽胞
低圧水銀紫外線ランプ					
254 nm	0.45	0.66	0.81	0.09	0.10
UV-LED					
265 nm	0.77	0.86	0.81	0.10	0.17
280 nm	0.51	0.45	0.56	0.06	0.10
300 nm	0.06	0.05	0.06	0.006	0.005

一方、実用化の観点からは消費電力あたりの不活化効率も重要な要素である。UV-LED は発光効率(投入電力に対する発光エネルギーの比率)が素子によって異なり、概して発光波長の短い素子ほど発光効率が低い。そこで、各微生物の $3\log$ 不活化に要する投入電力量を微生物種ごとに整理した(表 2)。同一の不活化を達成するために必要とされる消費電力は小さいほど望ましい(効率が良い)と考えられるため、本研究で調査した実験条件では、低圧水銀ランプが突出して省エネルギーで、UV-LED の中では 280nm が最も望ましく、265nm、300nm の順

にエネルギー要求量が増加した。これは、上述の発光効率が低圧水銀ランプで約 30%なのに対し UV-LED では 265, 280, 300nm の順に 0.65、1.91、2.60%と低いことが主な原因である。現在、UV-LED の素子開発の進行に伴い素子の発光効率が改善傾向にあり、今後の素子性能向上に期待する。

表 2 . 各微生物の 3 Log₁₀ 不活化に要する消費電力 (kWh/m³)
(Rattanukul and Oguma 2018 より抜粋)

	緑膿菌	レジオネラ菌	大腸菌	ファージ Qβ	枯草菌芽胞
低圧水銀紫外線ランプ					
254 nm	1.08 × 10 ⁻²	0.65 × 10 ⁻²	0.99 × 10 ⁻²	4.86 × 10 ⁻²	6.45 × 10 ⁻²
UV-LED					
265 nm	0.39	0.24	0.41	2.02	1.63
280 nm	0.17	0.15	0.17	1.11	0.83
300 nm	1.22	0.96	1.22	7.44	17.4

(2) 流水試験による従属栄養細菌の不活化

回分式試験よりも実装に近い条件での性能を調べるため、流水式 UV-LED 装置を用いた不活化実験結果の一例を図 1 に示す。図 1 より、水を循環させずに単回照射 (ワンパス) する条件で大腸菌不活化率 2.2log (不活化率 99.4%) を達成可能な装置でも、従属栄養細菌はほとんど不活化できず、試験した範囲では最も不活化されにくい微生物群であった。

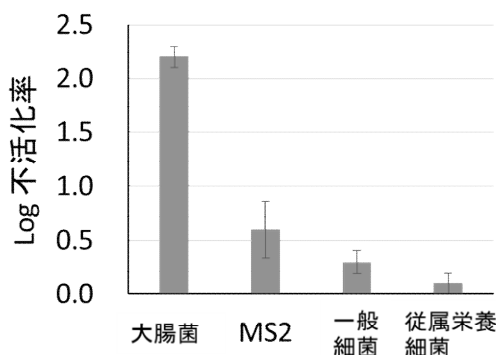


図 1 . 流水式 UV-LED 装置による不活化性能 (流量 2L/min、循環なしの単回照射)
(エラーバーは標準偏差、n=3)

また、「従属栄養細菌」は操作定義 (貧栄養、20 - 25 °C、7 日間の培養でコロニーを作る細菌) として規定されるため多様な菌種を含むが、水道水中の従属栄養細菌から形態学的特徴の異なる白色、黄色、ピンク色のコロニー形成が確認され、UV-LED を照射すると白・ピンクのコロニーの比率が高くなる (菌叢が変化すること) が観察された (図 2)。そこで、UV-LED 照射前後のコロニーを形態別に釣菌し、16sRNA の遺伝子配列にもとづく相同検索を行った結果を表 3 に示す。表 3 の通り、UV - LED 点灯の有無によらず、また、コロニーの形状 (円型または米粒型) によらず、白色およびピンク色のコロニーはいずれもメチロバクテリウム属の細菌であると推定された。すなわち、図 2 の UV-LED 照射試料で優占したのはメチロバクテリウムと推認された。メチロバクテリウム属は塩素耐性が高いために水道水や給配水施設中での検出率が高いことが知られているが、紫外線耐性も高いとの既往報告もあり、UV-LED を照射したことでメチロバクテリウム属が優占した本研究の結果と整合的であった。このように消毒

処理がある種の選択圧となって一部の微生物種が優占する現象は UV-LED に限らずあらゆる消毒剤・消毒方法で生じうるが、Point-of-Use や Point-of-Entry など水利用の直前で UV-LED を適用し後段のバリアなくそのまま消費する利用形態を想定する場合にどのような影響が生じうるかは、今後慎重に検討する必要がある。

従属栄養細菌は細菌群の総称でありその存在自体が必ずしも健康リスクを意味しないが、水の衛生状態を示す目安として水質管理目標設定項目 2000 個/mL が示されている。また、従属栄養細菌として検出される細菌群に院内感染や日和見感染の原因菌が含まれる場合もある。UV-LED 照射による従属栄養細菌の制御については、特定種の優占を生むことの公衆衛生上の意味も含めて、今後の研究において丁寧な検討・検証を行う。

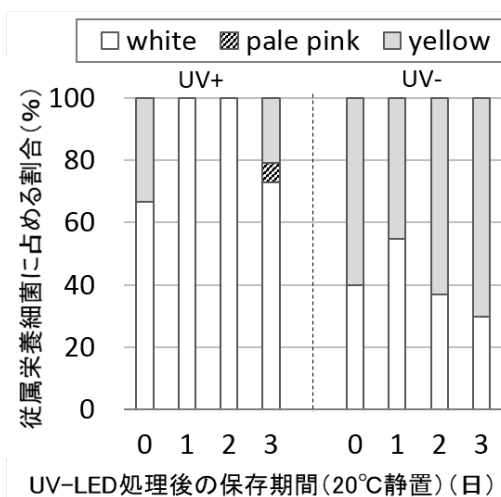


図2 . UV-LED 処理後の従属栄養細菌叢の変化
(UV+ : UV-LED 点灯して装置通水、UV- : UV-LED 点灯せずに装置通水)
(Oguma *et al.* 2018 より一部改編)

表3 . 従属栄養細菌の相同検索結果 (Oguma *et al.* 2018 より一部改編)

Sample	Color	Shape	Species	Identity (%)
UV+	white	rice	<i>Methylobacterium</i> sp.	100
			<i>Methylobacterium populi</i> strain	99
	white	round	<i>Methylobacterium</i> sp.	100
	pale pink	round	<i>Methylobacterium</i> sp.	99
	yellow	rice	<i>Novosphingobium</i> sp.	99
UV-	yellow	round	<i>Novosphingobium</i> sp.	99
	white	rice	<i>Methylobacterium populi</i> strain	100
		round	<i>Methylobacterium</i> sp.	100
	yellow	rice	<i>Novosphingobium</i> sp.	99
yellow	round	<i>Novosphingobium</i> sp.	99	

2. 施設見学とヒアリング

国内の水道組合とその管理施設、水道未普及地区に整備された飲料水供給施設を訪問し、施設を見学したほか、実務者にヒアリングを実施した。その結果、現状では小規模施設に適した消毒方法は十分に検討されておらず、特に、消毒剤の補充や当番制での維持管理が住民の負担になっている実情が伺えた。また、塩素消毒剤のにおいに対する抵抗感から消毒を実施していない小規模施設も多く、味やにおいに一切影響を及ぼさない紫外線消毒であれば利用者の受容性が高まると期待された。一方、仮に紫外線消毒を導入する場合、紫外線には消毒の残留効果がないため処理水は保存に適さないことを利用者に十分に周知するなど、技術導入と情報提供を並行して実施する必要性を認識した。総じて、水供給システムの施設規模に見合った消毒技術の開発やその持続可能な維持管理方式の検討が重要と考えられた。

E. 結論

紫外線消毒装置について基礎検討を行い、波長の違いや菌種の違いにより効果が異なることを確認した。導入可能性について現地ヒアリングを行い、導入に対するニーズと期待が高いことを改めて認識した。実験室規模の基礎検討として、波長の異なるUV-LEDを用いて数種の微生物の不活化特性を解明し、その知見に関する学術論文を国際学術誌（Water Research）に発表した。また、流水殺菌用のUV-LED装置試作機を用いて水道水中の従属栄養細菌不活化実験を実施し、一定の不活化効果がある一方で、紫外線照射により紫外線耐性が相対的に高い種が選択される現象を確認し、国際学術誌（Photochemistry and Photobiology）に発表した。なお、紫外線耐性が高い種が選択されて残存する現象の再現性や公衆衛生上の意味、健康リスクとの関連付け等については、今後の研究における重要課題として取り組む計画である。さらに、施設見学とヒアリングを通じて小規模施設での消毒技術へのニーズを再認識するとともに、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を把握し、今後の研究に資する知見を得た。

F. 研究発表

1. 論文発表

Surapong Rattanukul 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 on Nov 23, 2017)

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*, in press (Early view published online in February 2018). DOI · 10.1111/php.12891

細井山豊、小熊久美子、滝沢智. 大腸菌の不活化と光回復を考慮した紫外発光ダイオード (UV-LED) の評価. 土木学会論文集 G(環境)、Vol.73, No.7, 337-343. 2017年11月.

小熊久美子. 紫外発光ダイオード (UV-LED) の水処理光源としての魅力. 用水と廃水、vol.59、No.4、177-281、2017年4月.

2. 学会発表

小熊久美子. 深紫外 LED を利用した水処理 -研究最前線と将来展望-. 深紫外 LED で創生される産業連鎖フォーラム、三重大学、2018年3月2日. (招待講演)

Kumiko Oguma. Expansion of UV Light-Emitting diodes, UV-LEDs, to Water Treatment, IUVA Symposium: UV Technology Advancement for Water Environment. Singapore. November 6, 2017. (招待講演)

小熊久美子. 紫外発光ダイオードの水処理への展開. 第46回結晶成長国内会議 (JCCG-46)、浜松、2017年11月27日. (招待講演)

細井山豊, 小熊久美子, 滝沢智. 大腸菌の不活化と光回復を考慮した紫外発光ダイオード (UV-LED) の評価. 第 54 回環境工学研究フォーラム, 岐阜大学. 2017 年 11 月 18 日.

小熊久美子. 紫外線を利用した水処理技術の最前線. 第 20 回日本水環境学会シンポジウム, 和歌山大学, 2017 年 9 月 27 日.

Kumiko Oguma and Rattanakul Surapong. Inactivation of *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila* and Common Indicator Microorganisms by UV-LEDs at Different Wavelengths. IUVA 2017 World Congress & Exhibition, Dubrovnik, Croatia, September 18, 2017.

G . 知的所有権の取得状況

なし

平成 29 年度厚生労働科学研究費補助金（健康安全・危機管理対策総合研究事業）
小規模水供給システムの安定性及び安全性確保に関する統合的研究
分担研究報告書

小規模水道の維持管理方策に関する研究

研究分担者 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：

飲料水供給施設相当規模および戸別井戸相当規模の水供給システムを利用している集落や住民を対象に、水供給システム及びその維持管理の現状を把握するとともに、集落住民が実際に水供給システムに対して感じている不安や不満、点検や清掃などに対して感じている負担感を整理することを目的としたアンケート調査を行った。

また、集落に水供給システムを新たに導入すると想定した場合に、集落住民が水供給システムに対して、安定性、安全性、維持管理性のうちのサービス要因を重視するかを把握するために、各種水準のサービス要因への限界支払意思額を求めることを目的とした調査を行った。

A．研究目的

高齢化と人口減少、施設の老朽化等により、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今後も持続的に供給可能とするためには、当該地域のみで問題解決を図るだけでなく、外部の団体や集落同士の連携による維持を前提とした管理システムを検討していくことも重要と思われる。

本研究では、飲料水供給施設相当規模および戸別井戸相当規模の水供給システムを利用している集落や住民を対象に、水供給システム及びその維持管理の現状を把握するとともに、集落住民が実際に水供給システムに対して感じている不安や不満、点検や清掃などに対して感じている負担感を整理することを目的とした調査を行った。

また、集落に水供給システムを新たに導入すると想定した場合に、集落住民が水供給システムに対して、安定性、安全性、維持管理性のうちのサービス要因を重視するかを把握するために、各種水準のサービス要因への限界支払意思額を求めることを目的とした検討を行った。

これらによって外部団体と集落住民との連携による維持管理を前提とした水供給システム導入が実現可能かを検討するための前段階の検討とし、今後の研究のための基礎資料とすることを目的としている。

B．研究方法

鳥取県の南東部に位置している智頭町（行政区域人口 7,475 人）を調査対象とした。智頭町は、飲料水供給施設等の小規模水供給施設の設置数が鳥取県内最多である（図 1）。行政区域の総人口に対し小規模水供給施設の給水人口が占める割合が高い地域であり、智頭町上水道事業の 1 上水道事業と、15 の簡易水道事業が水道事業として運営されている一方で、現時点で飲料水供給施設（現在給水人口 50 人以上 100 人未満）は、県内最多の 10 施設（給水人口計 613 人）、飲用井戸等のさらに小規模な施設（現在給水人口 49 人以下）は 25 カ所（給水人口計 819 人）が存在しており、維持管理主体は地元集落となっている。

2017 年の 10 月から 2018 年 1 月にかけて、飲料水供給施設 4 カ所（坂原、下山根、石田、土師駅前）の各集落）および、さらに小規模な施設・集落 4 カ所（早野、河津原、中山根、真鹿野

の各集落)を対象にヒアリング調査を実施した。

ヒアリング調査の結果、既に既存の水供給システムでは十分な水が得られないなどの問題が発生しており、戸別の井戸を設置し水を得ているという世帯が多く見られた。そこで、水供給システムを新たに導入すると想定した場合に、集落住民が水供給システムに対して、安定性、安全性、維持管理性のうちどのサービス要因を重視するかを把握する検討を行うために、集落全体が戸別井戸を使用しているか、集落のなかで戸別井戸を用いている割合の高い集落(A集落、B集落、C集落の各集落)の世帯を対象にアンケート調査を行った。アンケートは1世帯に1つ配布し、各世帯の代表者に回答を依頼した。対象者に直接アンケートを配布し、回答記入後にアンケートを回収してまわる留置調査法とし、合計35世帯にアンケートを配布した。

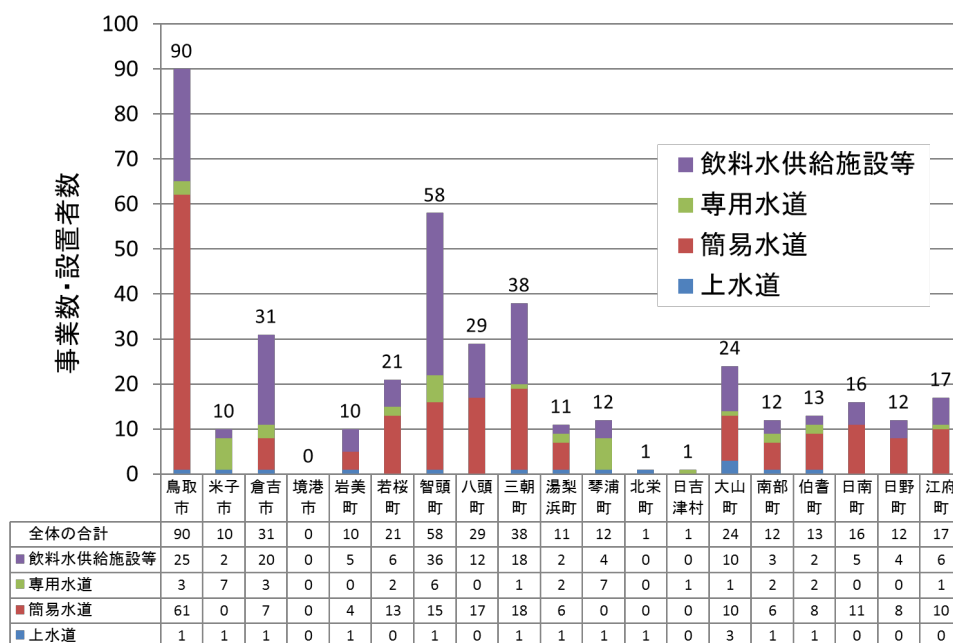


図1 鳥取県の水道事業数、施設数の現況
(鳥取県の水道の現況 平成26年3月末現在 より作図)

1. アンケート調査の内容

集落の住民が戸別の井戸水の利用でどう考えているか、またどう利用しているか知るために浄水器の有無、生活で何に使われているか、どれだけ電気代がかかっているか、貯水タンクの有無、飲料水として抵抗を感じるか、実際に故障による断水が起こるか、また断水の頻度、貯水タンクの清掃頻度、また清掃は大変だと感じるか、ポンプの点検頻度、また点検は大変だと感じるか、井戸に対する不安・不満についての質問を世帯ごとに聞いた。また、集落の水道に対してもどう考えているのか知るためにひと月の水道料金、水道に対する不満、飲料水として抵抗を感じるか、実際に故障による断水が起こるか、また断水の頻度、水道の維持管理の頻度、管理は大変だと感じるか質問を行った。

2. コンジョイント分析のための設問内容

集落住民が水供給システムに対して、安定性、安全性、維持管理性のうちどのサービス要因を重視するかを定量的に把握するために、コンジョイント分析を行うための質問調査をアンケート調査にて実施した。コンジョイント分析とは複数の評価対象に対する選好を回答者に繰り

返したずねることで、評価対象を構成する要因別に価値を評価することが可能となる分析方法である。本研究では、集落で新たに共同井戸による水供給システムを導入し、水質の向上、断水の予防、管理負担の減少を図るという水道プランを提示することとした。ただし、公共設置公共管理ではなく、集落設置、集落管理型ではあるが、外部団体に一部の維持管理を委託できる水供給システムであるとした（設計や施工時には県または市町村からの技術支援があるものとした）。要因および水準としては、以下のとおり4要因3水準を設定し、世帯代表の住民の選好を尋ねた。

1) 水質

井戸水には砂が入ったり、多少の細菌が存在することがある。処理をしない場合、家庭の水道にも砂や多少の細菌が入ってくる場合がある。ろ過を行うことで細かい砂を取り除き、濁りを取り除くことができる。さらに塩素による消毒を行うことで大腸菌や一般腸菌などを防ぐことができる。共同の井戸にすることで一括で水質の管理が行えるようになるので、個別に水処理や管理をする必要がなくなる。水道プランの水準としては「処理なしの水供給」または、「ろ過のみ水供給」または、「消毒・ろ過をした水供給」の選択肢があるとした。

2) 故障による断水頻度

設備更新をしなければ故障する確率も高くなり、故障が起これば漏水、断水、水の出が悪くなるなどのことが挙げられる。修理のために一時的に断水しなければならない場合もある。故障の主な原因として井戸ポンプの故障、砂詰まり、配管の故障、井戸ポンプの誤作動などがあり、共同の設備にして更新、管理を行うことで故障頻度を減らすことができるとした。さらに良い設備を導入することで故障による断水の頻度を減らすことができる。水道プランの水準としては、「年に1回程度断水が起こる」または、「3年に1回程度断水が起こる」または、「10年に1回程度断水が起こる」の選択肢があるとした。

3) 集落の管理労力

共同井戸に関する施設・設備は月に1回点検や清掃などの維持管理作業を行うものとする。ただし、地域を支援する民間組織や団体に管理を外部委託することで集落の方々の管理する回数を減らすことができるとした。外部委託しない場合には集落の方々に月に1回点検または維持管理を行う必要がある。一方、外部委託する場合には集落の方々の管理は半年に1回または年に1回になる。水道プランの水準としては集落の方々の管理労力は「月に1回」または、「半年に1回」または、「年に1回」の選択肢があるとした。

4) 水道料金

世帯ごとに水道料金を払って、設備費・工事費・管理費を負担する。水道料金の中には維持管理を外部委託する場合の費用など、水質、断水頻度、管理労力を達成するための費用も含まれている。どれだけ水を使っても水道料金は変わらないが、ひと月の水道料金として、ひと世帯あたり「1,000円」または、「2,000円」または、「3,000円」という料金体系があるとした。事前のヒアリング調査により共同井戸を利用している集落の月の水道料金は0円～1,000円であったが、水供給システムの更新と各種の水準を達成するための費用として、水準1を既存集落の最高額の1,000円とし、均一な値上げ幅で水準2を2,000円、水準3を3,000円とした。

上記の各要因の水準を表にまとめたものを表1に示す。これを3水準系L9(3⁴)直交表を用いて9とおりのプロファイルとし、回答者には二者択一型で選好を尋ねる選択型コンジョイントの質問形式とした。

表1 水道プランの要因と水準

要因	水準1	水準2	水準3
月の水道料金	1,000円	2,000円	3,000円
集落の管理労力	月に1回	半年に1回	年に1回
水質	処理なしの水	ろ過した水	消毒・ろ過した水
断水頻度	年に1回	3年に1回	10年に1回

また、選好を尋ねる質問を行う前に、抵抗回答や理解度が低い回答を分析から外すために、水道プランに賛成か反対か調べるための質問、また反対の理由について質問を行った。

3. 分析方法

アンケートは、選択肢ごとの回答数、割合を求める単純集計と、属性ごとの回答の特徴をつかむためのクロス集計を行った。コンジョイント分析については、条件付きロジットモデルを用い、最尤法によりパラメータの推定を行ったうえで、各要因に対する限界支払意思額 (MWTP) を求めた。

C. 研究結果及びD. 考察

1. ヒアリング調査の結果

各集落の住民にヒアリングを行った結果を水源種類別に順不同で整理したものを示す。

1-1. 表流水を水源としている水供給施設の維持管理状況

- ・降雨による濁水の影響を受ける。濁りが取れるまで放水してから使用している。
- ・二日に一回の点検と週一回の掃除を四名の持ち回りでやっている。その他にも、大がかりな清掃を年二回行っている。
- ・落ち葉などがろ過施設などに詰まって断水する場合があります、そのときにも清掃を行っている。ろ過のみで消毒は行っていない。
- ・降雨により濁ったり、ミミズが出たりするため飲用には使っていない。一部の管の老朽化により断水が起きている。
- ・水圧不足で標高の高い家では水が出なくなることがある。
- ・ほとんどの世帯が20年ほど前から個人で戸別井戸を設置し、井戸水を使用している。

1-2. 湧水を水源としている水供給施設の維持管理状況

- ・ろ過のみで消毒は行っていない。ろ過槽の維持管理はほとんどしていない。
- ・標高の高い家で水圧不足。個人で戸別井戸を設置している。
- ・年に二回(4月、10月)の水源、浄水設備の清掃を行っている。
- ・水源が涸れたことがあり、不安を感じて井戸水を使い始めた。ろ過、消毒は行っていない。年に一回清掃を行うが、最近3、4年は行っていない。

1-3. 共同井戸を水源としている水供給施設の維持管理状況

- ・谷水に濁りがあったため共同井戸に水源を変更した。ポンプが10年程度でだめになり最新鋭のポンプを購入した。水道料金を集めて積み立てを行っている。
- ・自然流下のため標高が低い家庭は水圧がきつい。
- ・ろ過、消毒は行っていない。

1-4. 戸別井戸を水源としている世帯の維持管理状況

- ・山水(表流水)を使っていたが濁りがでるため、20~30年前に戸別井戸を設置した。

- ・表流水は濁りがでるため庭用に利用
- ・山水を使っていたが枯れたため現在は戸別井戸を利用。
- ・夏期や渇水時期にポンプ故障が発生し、メンテナンスが必要になることがある。

1-5．ヒアリング結果のまとめ

鳥取県智頭町の小規模水供給システムの管理は地元集落にまかされており、町の上水道事業や簡易水道事業と連携した維持管理や、集落同士が連携して維持管理を行っているところはみられなかった。施設やポンプの故障、設備の更新などへの対応は地元の民間業者が対応している。消毒は実施されておらず、また、故障の際に対応できる民間業者が限られていることから、今後の管理に不安を感じているとの意見もあった。

また、集落の水供給システムでは水量不足や濁水などに対応できず、個人負担で戸別井戸の導入が進んでいる集落が多かった。集落の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から、戸別井戸の導入が進む地域が出てくるものと考えられた。

2．アンケート調査の結果

2-1．回収状況

35世帯のうち、A集落12世帯、B集落10世帯、C集落9世帯の合計31世帯の回答が得られた。回収率は89%であった。

2-2．戸別井戸に関する調査集計結果

図2で示すように家庭用浄水器はほとんどの世帯で使用しておらず、井戸水を浄水器を介さずそのまま利用している。浄水器ありと答えた世帯はA集落で1世帯、C集落で2世帯あった。

図3で示すようにほとんどの世帯が戸別井戸を持っている。C集落で1世帯戸別井戸を持っていない世帯があった。

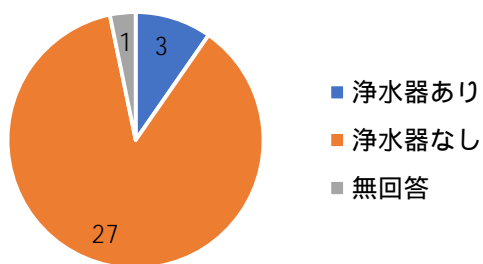


図2 浄水器の使用状況

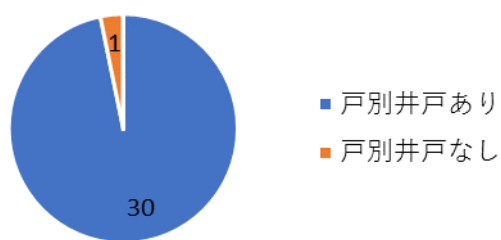


図3 戸別井戸の使用状況

図4で示すようにほとんどの世帯において生活で使う水のすべてに戸別井戸の水を利用している。A集落では飲料用のみで利用している世帯もあった。また洗車、水やりはA集落では利用している世帯が見られなかった。

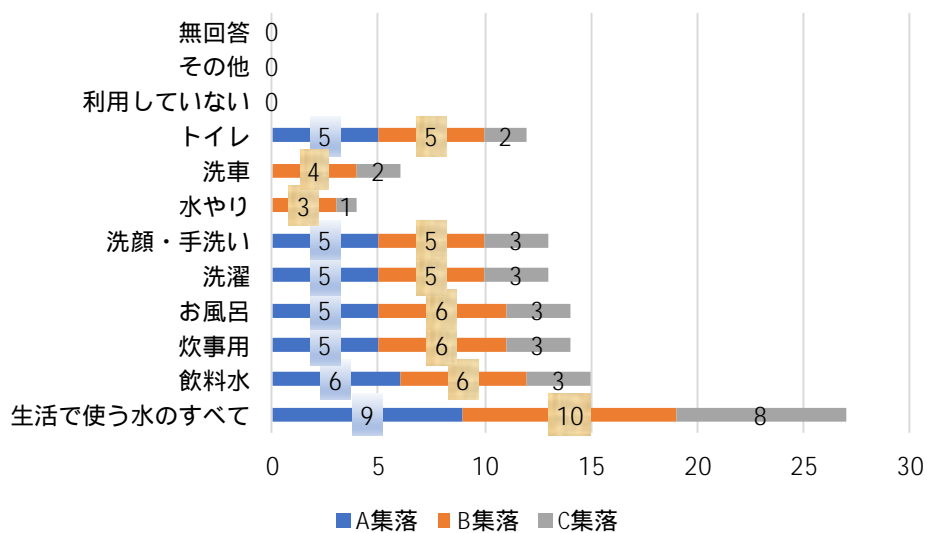


図4 戸別井戸の水の利用状況 (複数回答あり)

また、図5で示すように戸別井戸をひと月運転するためにかかる電気代はほとんどの世帯で把握されていなかった。表2で示すように電気代を知っていると回答した世帯はA集落で2世帯(900円/月と1,000円/月)、C集落で1世帯(3,000円/月)であった。9世帯からはおそらくこれぐらいかかっているであろうという予想金額の回答を得た。予想金額においては、最高金額はB集落の5,000円/月、最低金額はA集落の650円/月で料金予想は大きく差が開いた。A集落の電気代の平均が約1,300円/月で一番安く、世帯人数ごとの電気代の平均を比べてみると、世帯人数が増えると電気代も高くなっている。集落また世帯人数が電気代に影響していると考えられる。

表2 戸別井戸利用のひと月の電気代

集落名	認知	電気代	世帯人数
A集落	知っている	900円/月	3人
A集落	知らない	650円/月	3人
A集落	知っている	1000円/月	3人
A集落	知らない	2000~3000円/月	6人
B集落	知らない	5000円/月	7人
B集落	知らない	1000円/月	3人
B集落	知らない	1500円/月	1人
C集落	知らない	2500円/月	3人
C集落	知らない	1200円/月	7人
C集落	知らない	2000円/月	6人
C集落	知らない	1000円/月	4人
C集落	知っている	3000円/月	4人

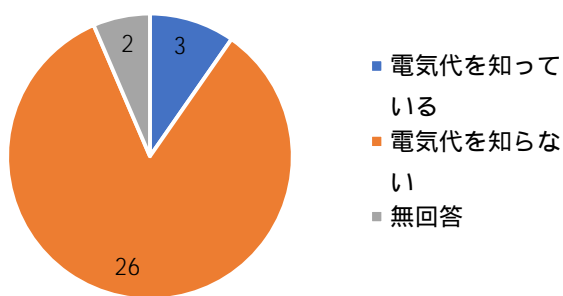


図5 戸別井戸利用のひと月の電気代の認知

図6で示すようにほとんどの世帯が貯水・受水のためのタンクは持っていない。また、A集落で1世帯が200Lの貯水タンクを持っており、C集落で1世帯が100Lの貯水タンク、2

世帯が 200L の貯水タンクを持っていた。 C 集落の貯水タンクを持っている世帯は簡易水洗便所を使うようになり水量、 水圧が足りなくなりタンクを使い始めたとの回答があった。また、貯水タンクを持っていると回答した 4 つの世帯では、貯水タンクの清掃を行っていないと回答があった。

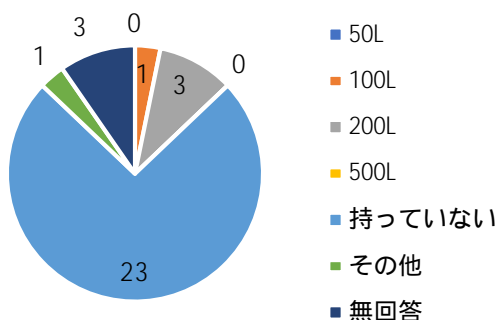


図 6 貯水タンクや受水槽の所持状況

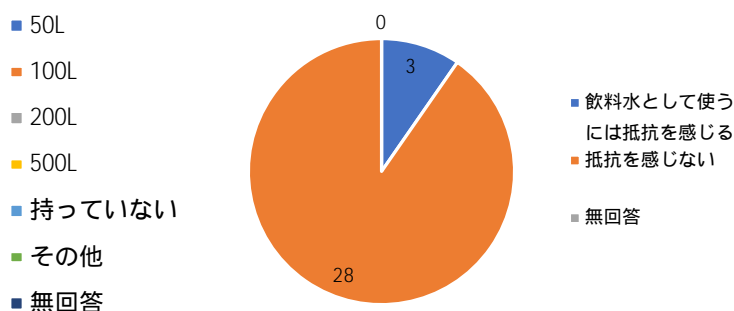


図 7 戸別井戸水を飲料することへの抵抗感

図 7 で示すようにほとんどの世帯で井戸の水は飲料水として利用することに抵抗を感じていなかった。抵抗を感じると答えた世帯は A 集落で 2 世帯、 C 集落で 1 世帯あった。そのうち A 集落の 1 世帯は家庭用浄水器を使っていると回答があった。井戸水を飲料水として使うことに抵抗を感じている世帯は少数であると言える。

表 3 故障による断水の有無とポンプの点検頻度

	週に1回	月に1回	半年に1回	1年に1回	点検してない	その他	無回答	合計
故障による断水が起こる			1	2	6	1		10
故障による断水は起こらない			1	1	13	3	1	19
無回答				1	1			2
合計	0	0	2	4	20	4	1	31

表 3 で示すように戸別井戸で故障による断水が起こると答えた世帯は 10 世帯あり、約 3 割の世帯で故障による断水を経験していることがわかった。そのうちでポンプを定期的に点検している世帯は 3 世帯あり、週に 1 回や月に 1 回の点検は無かったが、半年に 1 回あるいは 1 年に 1 回という回答がみられた。点検頻度にその他と答えた世帯では、数年に 1 回点検する、調子が悪くなった時に点検する、調子が悪くなったときに業者に見てもらおうなどの回答が挙げられた。

表 4 井戸のポンプの点検を大変だと感じるかの集落ごとの集計

	ポンプの点検を大変だと感じる	ポンプの点検を大変だと感じない	無回答	合計
A集落	1	5	6	12
B集落	1	4	5	10
C集落	4	5		9
合計	6	14	11	31

表 4 で示すように戸別井戸のポンプの点検が大変だと 6 世帯が感じている。そのうち C 集

落では9世帯中4世帯が点検を大変だと感じている。A集落、B集落では1世帯ずつが大変だと感じているが、ほとんどの世帯は大変だと感じていない。

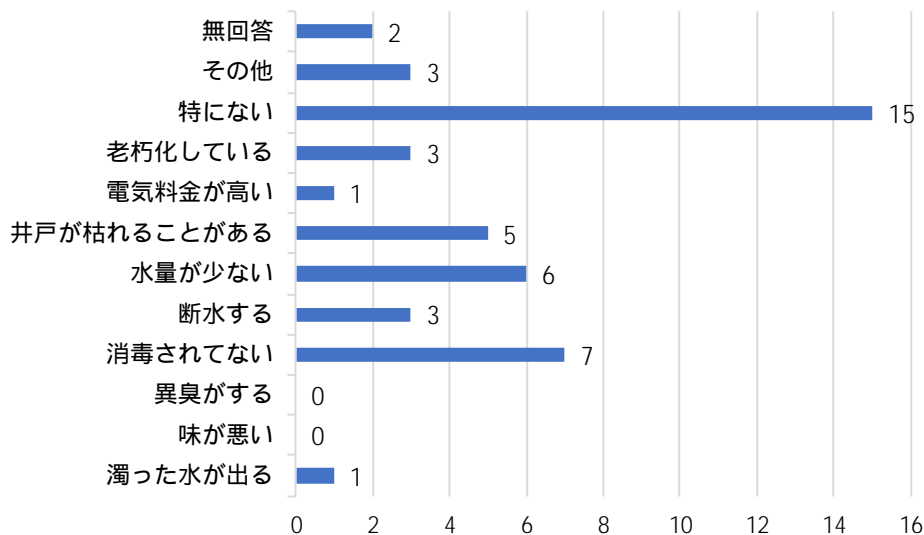


図8 戸別井戸に対する不安や不満（複数回答あり）

戸別井戸に対する不安や不満を尋ねたところ、図8で示すように消毒されていないことや水量が少ない、井戸が枯れることがあることなどに不安・不満を感じているとの回答があった。その他の意見として水質や突然の故障などが挙げられた。また、A集落の浄水器を持っている世帯から、少々砂が混ざるのが浄水器のフィルターで見れるとのコメントがあった。

2-3. 集落水道に関する調査集計結果

集落水道に関する質問については、A集落、および、B集落は集落水道を使っていないため、C集落のみの意見となる。

ひと月の水道料金を尋ねたところ、5世帯が100円/月、4世帯が0円/月と回答した。またC集落では、年に1,000円の水道料金を集め設備を更新しようとしているとの回答もあった。

図9で示すように水道の老朽化による不満が大きい。水道が老朽化していて断水したりするためほとんどの世帯で戸別井戸が使われている。その他の回答で集落の水道も使いたいという意見があった。

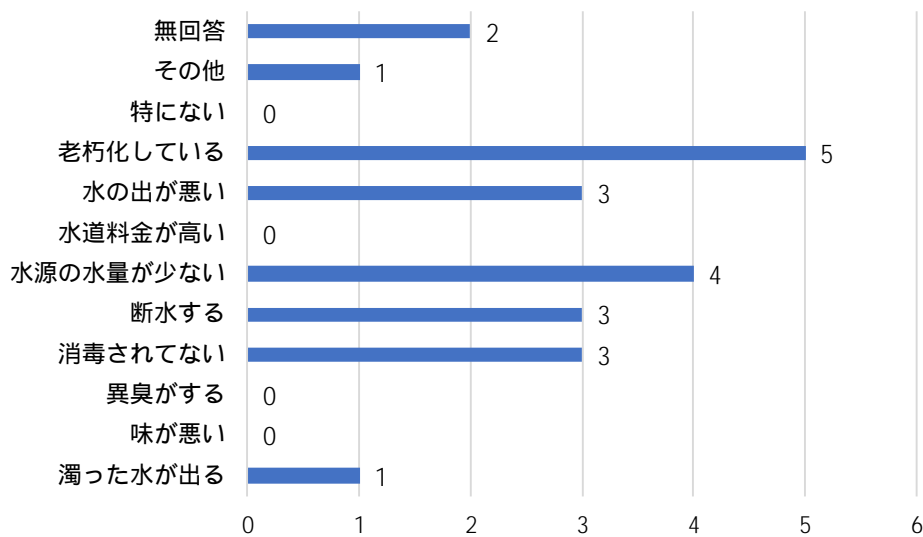


図9 集落水道に対する不安・不満

図10で示すように集落水道の水を飲料水として利用するには抵抗を感じる世帯が3世帯あった。そのうち1世帯からは浄水器を使っているとの回答があった。

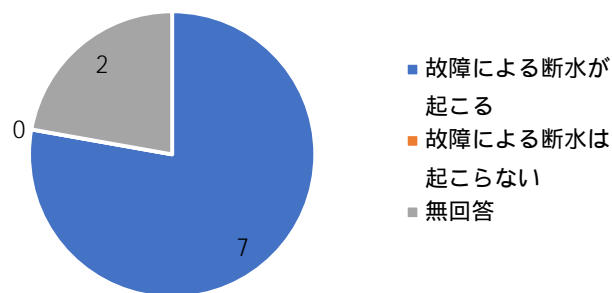
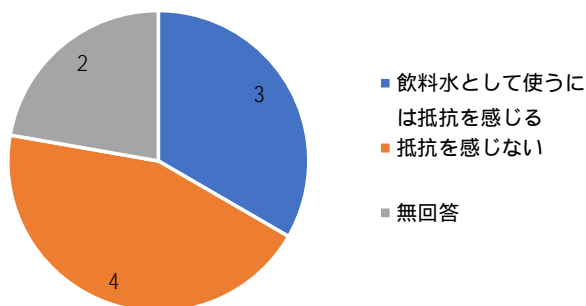


図10 集落水道水を飲料することへの抵抗感

図11 故障による断水の有無

図11に示すように故障による断水が起こらないとの回答は無く、7世帯が故障による断水が起こると答えた。老朽化による故障断水が起きていることが想定される。また、故障による断水の頻度は7世帯中1世帯が半年に1回、2世帯が1年に1回と回答した。3世帯がずっと断水している（現在未使用）と回答していた。

集落水道の維持管理の頻度は、図12に示すように1世帯が月に1回、もう1世帯が半年に1回、2世帯が1年に1回と答えた。ている。集落の水道を利用されていない方は管理を行っていない。

また、図13に示すように7世帯が集落水道の管理を大変だと感じていた。

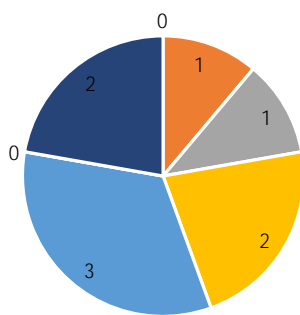


図 12 集落水道の維持管理頻度

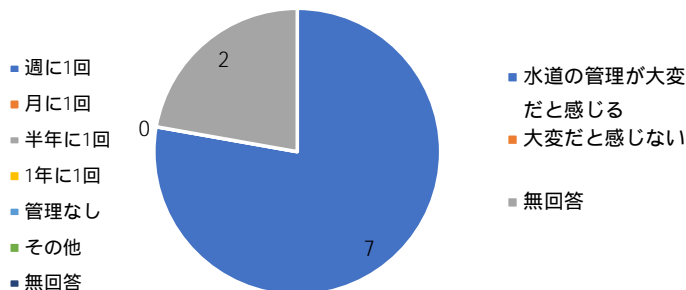


図 13 集落水道の管理を大変と感じるか

3. コンジョイント分析の結果

3-1. 水道導入プランへの賛否、反対意見

集落に新たに共同井戸による水供給システムを導入するという水道プランの賛否を世帯人数ごと、集落ごとに分けて表に示す。表 5 で示すように世帯人数が少ないと反対の意見が多くなっている。図 14 に示すように A 集落、B 集落はすべての世帯が戸別井戸のみで生活している現状からか賛成意見がほとんどなかった。一方、もともと集落水道が存在している C 集落は約半数の 5 世帯が賛成と回答した。また、水道導入プランに反対の理由を図 15 に示す。反対と回答した 11 世帯のうち 10 世帯が今の状況で満足しているからと回答している。またその他の意見として、集落の人が高齢になり、人も減りそうだからとの回答もあった。

表 5 世帯人数ごとの水道導入プランへの賛否

	1人	2人	3人	4人	5人	6人	7人	8人	無回答	合計
賛成			3	1		1	1			6
反対	2	2	5	1	1					11
どちらともいえない			2	2		3	2	1	1	11
無回答						2			1	3
合計	2	2	10	4	1	6	3	1	2	31

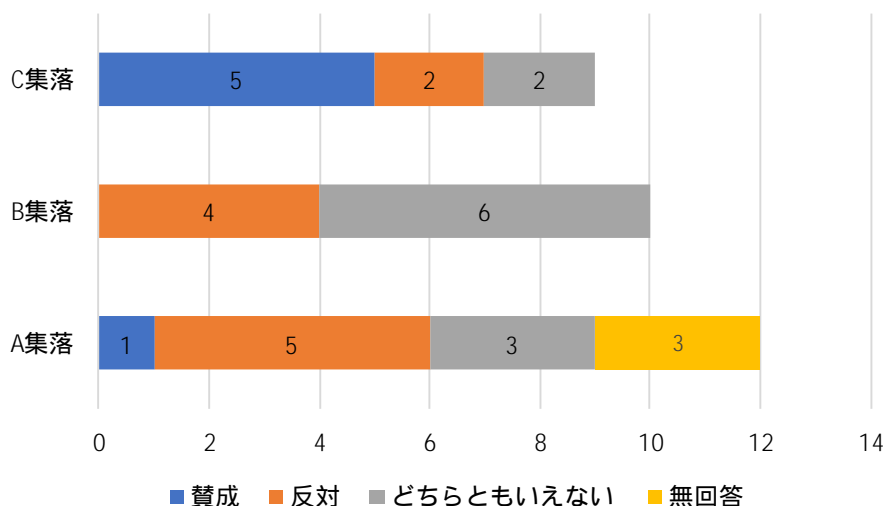


図 14 集落ごとの水道導入プランへの賛否

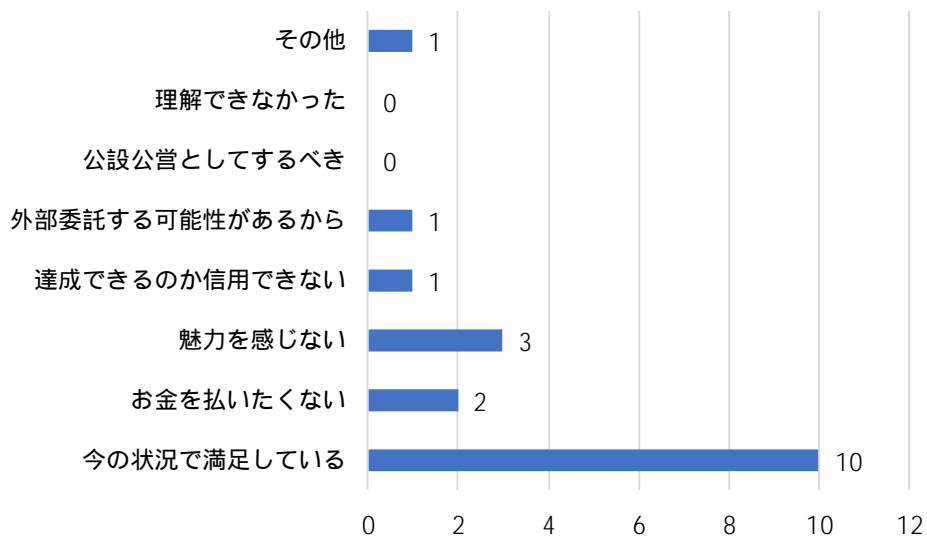


図 15 水道導入プラン反対への理由（複数回答あり）

3-2．限界支払意思額推定結果

水道導入プランに「賛成」または「どちらともいえない」と回答した 17 世帯中 14 世帯から選好に関する回答が得られた。回答結果から限界支払意思額を求めた結果を表 6 に示す。要因ごとに限界支払意思額が高い水準を見ると、集落の管理労力は水準 3 の年に 1 回の管理で約 1,974 円、水質は水準 2 のろ過した水で約 3,942 円、断水頻度は水準 3 の 10 年に 1 回で約 2,668 円となった。水準 1 の「水質」、処理なしの水が一番マイナスの値が大きく、求められていない。逆に、水準 2 の「水質」、ろ過のみの水が一番プラスの値が大きく、特に要因として水質が重要であることが見て取れた。

表 6 限界支払意思額（円／月・世帯）

	集落の管理労力	水質	断水頻度
水準1	60	-4386	-313
水準2	378	3942	57
水準3	1974	2856	2668

3-3．考察

水道導入プランへの賛否は、同じ集落内であっても世帯によって賛否が分かるとともに、集落や世帯人数によって賛否に特徴が現れるということが示されたため、ここではその要因を考察する。

戸別井戸水を飲料することへの抵抗感は低く（図 7）、定期的な点検を行っている世帯やポンプの点検を大変だと感じている世帯は少なかった（表 3、表 4）。また、戸別井戸利用の電気代としてどれだけかかっているかを把握している世帯は少なく（図 5）、故障による断水は 3 割の世帯が経験しているが（表 3）、戸別井戸の利用に対して不安や不満は特にないといった意見が多かった（図 8）。戸別に井戸をひく場合、初期投資に平均 40～50 万円程度の費用が掛かるの

で負担は大きいですが、一度井戸をひいてしまえば月々にかかる費用はポンプの電気代のみのため、設備が故障しない限りかかる費用や労力は少ない。これらのことから、現状に特に不安や不満がなく費用や労力も少ないと感じているため、水道料金が発生する共同井戸水道導入プランは反対意見が多くなった(図14)と考えられる。

一方で、戸別井戸および集落水道の水量や水質、老朽化に不安や不満を感じている世帯もあり(図8、図9)、共同井戸による水道導入プランへの賛成意見も見られた(図14)。世帯人数が多くなるほど水道導入プランへの反対意見が減っており(表5)、世帯人数が多くなるほど使用水量が増え電気代が高くなることの認知(表2)や戸別井戸用のポンプでは水量が足りなくなることも一因と思われる。また、既存の集落水道に関して、維持管理が大変だと感じていることや故障断水が発生していること、水の出が悪いこと(図13、図11、図9)を回答している世帯もあり、これらが水道導入プランへの賛成意見につながっていた。また、集落ごとに比較したときに、昔から戸別井戸のみを利用しているA集落、B集落においては共同井戸による水道を導入するプランは反対の意見が多く、集落水道が残っているC集落では半数の世帯がプランに賛成と意見が分かれた。

このように各集落・各世帯がこれまでに利用してきた水供給システムの特徴と、既存の水供給システムに感じている不安や不満などの現状認識によって、新たな水道導入プランへの賛否意見が構成されると思われる。また、これら状況や認識の違いは、水供給システムの導入費用や水供給システムがもつサービス要因への支払意思額の多寡にも影響を与えるものと考えられる。

このことは、人口減少および水供給システムの老朽化が進んでいる集落が一律のサービスレベルの水供給システムを求めているわけではないことを意味する。水質検査や断水時の応急運搬給水、設備の点検・清掃など、集落外部の団体と住民が連携した維持管理方策として様々なことが実施可能と思われるが、こうした様々なオプションのなかから、集落住民が求め、かつ、負担できるレベルをさぐり、その実現可能性を検討することが重要と考えられる。

E. 結論

鳥取県智頭町において飲料水供給施設相当規模および戸別井戸相当規模の水供給システムを利用している集落を対象に、ヒアリングおよびアンケート調査を実施した。その結果、表流水を水源としている集落では、濁水やろ過施設閉塞断水への対応が必要であり、頻繁な点検清掃を行っていることがわかった。水源に係わらず、水量・水圧不足や濁水の発生などを契機として戸別井戸の導入が進んでいる集落があることが明らかとなった。また、以前より戸別井戸を利用しているA集落、B集落においては、消毒無しで水を利用しており、機器故障による断水を経験している世帯が3割あったが、今の状況で満足している住民が多く、共同井戸による水道導入プランを想定したアンケートへの賛成はほとんど見られなかった。一方、集落水道が残っているC集落では、維持管理への負担感や水質・老朽化への不安感があり、半数の世帯が共同井戸による水道導入プランに賛成意見を表明した。

また、水供給システムを新たに導入すると想定した場合に、集落住民が水供給システムに対して、安定性、安全性、維持管理性のうちどのサービス要因を重視するかを把握し、各種水準のサービス要因への限界支払意思額を求めるために戸別井戸を利用している世帯が多い集落の住民を対象にコンジョイント分析を行った。その結果、調査した集落における世帯あたりの限界支払意思額は、断水が10年に1回となることに約2,700円/月、ろ過した水質に約3,900円/月、住民自身の管理労力が年に1回となることに約2,000円/月ということが示され、調査した集落においては水質要因が最も重視されていることが示された。

ただし、集落や住民がおかれた水供給システムの状況やその認識によって新たな水道導入プランへの賛否意見が大きく分かれたことから、住民が求めるサービス要因や水準は集落によっ

て異なるものと考えられる。さらなる調査を進め、集落住民が求める要因や水準を明らかにするとともに、集落住民が負担できる費用や労力の水準をさぐっていくことが重要と考えられる。本調査による結果を基礎資料とし、今後は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導入に対する関係者の負担意思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を検討することを試みたい。

F．研究発表

なし

G．知的所有権の取得状況

なし

研究成果の刊行に関する一覧

1. 論文発表

- 平山修久, 伊藤禎彦: 需要者へのコントロール感の付与からみた災害時の上水道システムにおける情報提供のあり方に関する検討, 日本リスク研究学会誌, Vol.26, No.4, pp.199-208, 2017.
- 中西智宏, 周心怡, 西岡寛哲, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 藤井宏明, 鈴木剛史: 上水配水管内面に対する微粒子・マンガン・細菌の付着特性、土木学会論文集 G(環境)(環境工学研究論文集 第54巻), Vol.73, No.7, pp. _505- _514, 2017.
- 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, in press. The American Society of Photobiology, <https://doi.org/10.1111/php.12891>. 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), <https://doi.org/10.1016/j.watres>.
- 細井山豊、小熊久美子、滝沢智、大腸菌の不活化と光回復を考慮した紫外発光ダイオード(UV-LED)の評価、土木学会論文集 G(環境)、Vol.73, No.7, _337- _343 . 2017 .
- 小熊久美子、紫外発光ダイオード (UV-LED) の水処理光源としての魅力、用水と廃水 vol.59、No.4、177-281、2017 .

2. 学会発表

- 鳥居将士、朝野正平、栗田志広、島崎大、阿部功介、浅見真理 . 小型紫外線照射装置を用いた実験条件に関する一考察 . 全国水道研究発表会 ; 2017.10 ; 高松 . p.304-05.
- Asami M, Abe K, Simazaki D, Oguma K, and Ohno K. Trends in Operation and Management of Water Supplies with Size and Location Diversity, International Water Association World Water Congress & Exhibition, 16-21 Sep. 2018, Tokyo (poster accepted)
- Itoh, S., Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S.: Management of particles in water distribution networks - Water supply system in a depopulation society and research needs -, Proceeding of the 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, pp.C-01_6p, July 6-7, 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea.
- Zhou, X., Nakanishi, T., Nishioka, H., Tarui, K., Hashimoto, Y., Kishimoto, J., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S. : Behavior of suspended matters in drinking water distribution system, Proceeding of The 26th Joint KAIST-KU-NTU-NUS Symposium on Environmental Engineering, C-04_8p, July 6-7. 2017, Ramada Seoul Dongdaemun, Seoul, South Korea
- 岸本如水, 中西智宏, 周心怡, 北田純悟, 樽井滉生, 橋本雄二, 浅田安廣, 越後信哉, 伊藤禎彦, 西岡寛哲: 上水配水管内の付着物実態調査と配水区域内堆積量分布の表示、環境衛生工学研究, Vol.31, No.3, pp.182-185, 2017.
- Kishimoto, J, Nakanishi, T., Zhou, X., Nishioka, H., Kitada, J., Tarui, K., Hashimoto, Y., Asada, Y., Echigo, S., Itoh, S.: Survey on micro-particles adhered inside water distribution pipes and a distribution of accumulated matters in a network, HUST & KU International Symposium on the Education & Research of the Global Environmental Studies in Asia in conjunction with the 10th Regional Conference on Environmental Engineering 2017, October 30-31, 2017, Hanoi, Vietnam.
- 三輪雅幸, 伊藤禎彦: 急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究, 平成 29 年度全国会議 (水道研究発表会) 講演集, pp.148-149, 2017.
- 樽井滉生, 中西智宏, 西岡寛哲, 伊藤禎彦: 浄水中微粒子の配水管内付着に対する流速の影響, 第 52 回日本水環境学会年会講演集, 2018.
- 細井山豊, 小熊久美子, 滝沢智. 大腸菌の不活化と光回復を考慮した紫外発光ダイオード (UV-LED) の評価. 第 54 回環境工学研究フォーラム, 岐阜大学. 2017 年 11 月 18 日.
- 小熊久美子. 紫外線を利用した水処理技術の最前線. 第 20 回日本水環境学会シンポジウム, 和歌山大学, 2017 年 9 月 27 日.
- Kumiko Oguma and Rattanakul Surapong. Inactivation of *Pseudomonas aeruginosa*, *Legionella pneumophila* and Common Indicator Microorganisms by UV-LEDs at Different Wavelengths. IUVA 2017 World Congress & Exhibition, Dubrovnik, Croatia, September 18, 2017.

3. 総説・解説

- 伊藤禎彦: 高度水処理技術を中心とする水の浄化システムの開発, ケミカルエンジニアリング, Vol.62, No.10, pp.1-7, 2017.

伊藤禎彦：巻頭言 人口減少・水需要減少社会への挑戦，水道技術ジャーナル，No.85，p.1，2017。
三輪雅幸，伊藤禎彦：急激な人口減少と水需要の減少に直面したドイツ東部の水道事業に関する事例研究，水道，Vol.63，No.2，pp.8-17，2018。

4. その他講演等

浅見真理：水道水質管理の現状と課題，千葉県水道局技術研修会，2017.11.24。
浅見真理：水道水質管理の現状と課題，第153回水道事業管理者協議会，東京，2017.11.30。
浅見真理：小規模水供給システムの水質管理について。第50回水道実務指導者研究集会，全国簡易水道協議会，東京。2018.2.28。
浅見真理：水道水質管理の現状と課題，平成29年度福井県簡易水道協会研修会，福井県。2018.3.19。
Sadahiko Itoh：Reestablishment of water supply system in a depopulation society and research needs，Kyoto University International Symposium, 5th Southeast Asia Network Forum / 23rd Southeast Asia Forum, February 4, 2017, Hotel Pullman Bangkok Grande Sukhumvit Asoke, Bangkok, Thailand。
伊藤禎彦：浄水処理-配水システムのトータルソリューション創出へ向けて，平成28年度日本ダクタイトイル鉄管協会関東支部講演会，千葉市生涯学習センター，2017.1.20。
伊藤禎彦：「濁度0.1度」から科学的根拠に基づく微生物的安全レベルの設定へ，日本紫外線水処理技術協会（JUVA）技術セミナー「濁度0.1度とは？～リスク管理とUVの役割～」，日本紫外線水処理技術協会技術委員会主催，お茶の水女子大学，2017.3.29。
伊藤禎彦：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へ向けて，第27回「水を語る会」，日本水道会館会議室，2017.5.13。
伊藤禎彦：水需要減少下における浄水処理・配水システム再構築の考え方と技術ニーズ，第5回水道技術工法研究会（滋賀）「水道事業の持続と強靱化に貢献する最新技術」，JA 滋賀中央会2階多目的ホール 2017.8.31。
伊藤禎彦：人口減少下における浄水処理-配水システム再構築の考え方と各種課題，平成29年度日本ダクタイトイル鉄管協会関東支部講演会新潟県会場，朱鷺メッセ，2017.10.11。
伊藤禎彦：水需要減少下における上水道システム再構築の考え方と各種ニーズ，第22回21世紀水処理技術懇話会，北海道北見市，ホテル黒部，2017.11.9。
伊藤禎彦：水需要減少下における上水道システム再構築の考え方と技術ニーズ，一般公開シンポジウム「第54回環境工学研究フォーラム企画セッション「人口減少社会における環境工学の展開」」，pp. 31-46，岐阜大学講堂，2017.11.18。
中西智宏，周心怡，西岡寛哲，北田純悟，樽井滉生，橋本雄二，岸本如水，浅田安廣，越後信哉，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と高機能化に関する総合研究，配水管内環境に関する報告会，大阪広域水道企業団水質管理センター会議室，2017.3.23。
中西智宏，周心怡，西岡寛哲，北田純悟，樽井滉生，橋本雄二，岸本如水，浅田安廣，越後信哉，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と高機能化に関する総合研究，阪神水道企業団尼崎浄水場，2017.6.12。
小熊久美子。深紫外LEDを利用した水処理-研究最前線と将来展望-。深紫外LEDで創生される産業連鎖フォーラム，三重大学，2018年3月2日。（招待講演）
小熊久美子。紫外発光ダイオードの水処理への展開。第46回結晶成長国内会議（JCCG-46），浜松，2017年11月27日。（招待講演）
Kumiko Oguma. Expansion of UV Light-Emitting diodes, UV-LEDs, to Water Treatment, IUVA Symposium: UV Technology Advancement for Water Environment. Singapore. November 6, 2017.（招待講演）

5. 研究成果による特許権等の知的財産権の出願・登録状況

該当なし。

6. 健康危険情報

該当なし。

以上