

厚生労働科学研究費補助金

地域健康危機管理研究事業

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

平成18年度 総括・分担研究報告書

主任研究者	中村	文雄
分担研究者	杉山	俊幸
分担研究者	松井	佳彦
分担研究者	長岡	裕
分担研究者	伊藤	雅喜

平成19(2007)年3月

厚生労働科学研究費補助金
地域健康危機管理研究事業
給水末端における水質および給水装置・用具機能の異常監視と管理に関する研究
平成18年度 総括・分担研究報告書

目次

I. 総括研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究 1
中村 文雄

II. 分担研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究 11
中村 文雄 長岡 裕
杉山 俊幸 伊藤 雅喜
松井 佳彦

II-1 給水末端の水質監視手法に関する研究；

1. トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発 17
松井 佳彦 鎌田 素之
2. 水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討「II」 29
中村 文雄

II-2 給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究；

1. 振動・音等の異常現象の検出方法
ー振動・音等異常現象の検出システムの構築とその実用化ー 57
杉山 俊幸
2. 貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法
に関する基礎的研究 83
長岡 裕
3. 逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究 93
伊藤 雅喜 馬場 崇 酒井 一夫

II-3 給水末端システムの管理方法に関する研究；

1. 給水末端の異常情報に対する維持管理システム 117
中村 文雄 若松 亨二

I. 総括研究報告書

厚生労働科学研究費補助金(地域健康危機管理研究事業)
総括研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

主任研究者 中村 文雄 財団法人給水工事技術振興財団技術アドバイザー

研究要旨

水道水質基準は、給水末端の給水栓において満たされるべきものである。しかし、現在までに、給水装置・用具の経年劣化や工事ミス等による給水末端での水質劣化や漏水の発生が数多く報告されている。また、貯水槽水道とりわけ小規模貯水槽水道等においては、水質検査やその維持管理の実行率が必ずしも十分でない状況にある。一方、先に公表された水道ビジョンでは、「水道水源から給水栓に至るまで徹底した衛生管理が行えるような統合的な水質管理を実現する」としているが、この水道ビジョンの実現に向けては、上記のような状況を改善しなければならない。

このような観点に立って、本研究では、①給水末端（貯水槽式給水、直結直圧・直結増圧給水）における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理方法の研究を行っているが、これらの研究・開発により、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を計り得ると期待される。

本年度は、異常色度の検出方法の検討・異常判断の補完システムに関する検討や、給水システム内の振動・音・水量・逆流防止装置の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討を行った。また、給水末端システムの維持管理方法の検討を行った。

分担研究者

杉山 俊幸 山梨大学工学部土木環境工学科教授
松井 佳彦 北海道大学大学院工学研究科環境創生工学専攻教授
長岡 裕 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科教授
伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長

要がある。

このような観点から、本研究では、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を目的として、①給水末端における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理・リスク管理方法の研究を行う。

B. 研究方法

本研究は、別表1に示すように、学識者、水道事業者および民間企業の職員からなる「給水装置の異常監視及び管理に関する研究委員会」を設置し、研究計画その他に関して審議・検討を重ねた上で研究を実施している。3か年計画の2年目にあたる本年度は、異常色度の検出方法の検討・異常判断の補完システムに関する検討や、給水システム内の振動・音・水量・逆流防止装置の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討を行うと共に、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討を行った。

A. 研究目的

水道水質基準は、給水末端の給水栓において満たされるべきものであるが、現在までに、給水末端での水質劣化や漏水の発生が数多く報告されており、また、とりわけ小規模貯水槽水道等においては、水質検査やその維持管理の実行率が必ずしも十分でない状況にある。

このような状況を改善する為には、給水末端における水質や給水装置・用具等の異常監視方法を確立すると共に、維持管理システムを構築する必

(倫理面への配慮)

水質の監視方法の研究や給水装置・用具の機能不全監視方法の研究は、各研究分担者の実験室で実施する物理化学的実験であり、倫理的問題は発生しない。さらに、水道水質変動態様の調査・解析や、給水末端システムの管理方法の研究では、公表された文献・データ等を活用して調査・解析を実施するため、倫理面への配慮については、特に必要性はないと考えている。

C. 研究結果

本研究における各分担研究者の研究は、①給水末端での水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理方法の3研究に大別できるが、その研究成果の概要は下記の通りである。

1. 給水末端における水質監視手法に関する研究

1.1 トレンド出力型濁度モニターを用いた水質異常検出システムの開発

給水管と同一径の管型セルにより流水状態で水道水の水質異常を検出するシステムの開発を進めてきた。昨年度は水質異常として「濁り」に着目し、濁度変化率の4指標のうち何れか一つが1分間濁度変化率=0.683を超えた場合を水質異常と定義する時、意図的に発生させた全ての水質異常を検出することができることを明らかとした。

本年度は、紫色LEDによる「着色」の検出を意図して、装置の改良、検出特性の把握に関する基礎的検討を行った。また、管型セルを直列に連結し、「濁りと着色」の同時モニタリングについての検討を行った。

その結果、従来の装置の光源部、検出部を交換するだけで、透過光により試料の着色を検出することが示された。すなわち、色度標準液、フミン酸を試験物質とした際の色度と透過光電圧の関係は、吸光光度計を用いた場合と同程度の直線性が得られ、色度換算で1度程度の着色を検出することが示された。また、これまでの研究から、「濁り」に関しては散乱光、「着色」に関しては透過光を用いた場合に良好に水質異常を検出できている。そこで、新たに、「濁り」「着色」それぞれに1つの検出部を備えたセルを直列に連

結する方式を採用し、水道水およびタンクに貯留し錆が混入した水道水を連続的に通水した結果、「濁り」「着色」共に安定した値を得ることが可能であることを確認した。

1.2 水道水質の変動と水質監視・管理への補

完的活用に関する検討・・・配水管網内の給水水質分布と異系統浄水の混合に伴う給水水質・・・

本研究では、多くの水道事業体における水道水質のバックグラウンド変動の態様を把握して、水質異常判定における閾値設定のあり方に関して検討する事を主たる目的としている。昨年度は、原水水質に基づく閾値設定方法に関して検討した。

本年度は、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき自動水質計測給水栓の選定方法に関する検討を意図して、①3都市の配水管網内での水質分布と、②異系統浄水の混合に伴う給水水質変動に関して検討を行った。検討結果の概要は以下の通りである。

配水管網内での水質分布は、当該都市の浄水場数と配水系統の複雑性の増大につれ、平面的な一様性を失う。したがって、比較対照とすべき自動水質計測給水栓の選定に当たっては、配水系統の検討に加えて、各配水区の水質に対するクラスター分析等により、配水管網内の水質分布の検討を行う必要があると考えられた。

なお、複数の浄水場由来の浄水の混合に伴う水質の変動は、配水比率に応じた各配水の混合により給水水質が形成されるものと仮定した式に基づいて計算したが、各水質項目の計算値は、巨視的に見れば、大凡の水質変動を反映しているとも考えられた。

これらの結果に基づいて、水質異常が検出された特定の給水栓と比較対照とすべき給水栓の選定方法に付き検討した。

2. 給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究

2.1 振動・音等の異常現象(給水装置・用具の機能不全検出方法・・・振動・音等異常現象の検出システムの構築とその実用化・・・)

本研究では、一般家屋内での水撃作用の発生を比較的簡単に検知できる方法(システム)を開発・確立することを目的としている。

平成 17 年度の研究では、鋼製給水管近傍の音の収録・解析を行い、ファジィ演算を用いて、水撃作用発生の有無を判定するシステムの構築を行った。

平成 18 年度の研究では、1) 鋼製給水管の振動と音の同時計測・解析による水撃作用判定システムの構築、および、2) 塩化ビニル製給水管の水撃現象発生時の振動および音の特性と、給水管材質の水撃作用検知システムに及ぼす影響について検討した結果、以下の結論が得られた。

- 1) 鋼製給水管と塩化ビニル管の速度振動波形の特性が大きく異なる。
- 2) 音・振動ともに「位相差の割合」に重みをおいて判定を行った結果、音と振動の両者を対象としたときの判定精度は、鋼製給水管については、水撃作用検出に対して 87.5%、水撃作用以外の衝撃の検出に対して 100%であり、塩化ビニル製給水管については、水撃作用検出に対して 87.5%、水撃作用以外の衝撃の検出に対して 91.7%であった。
- 3) 水撃作用の検出には、給水管材質を考慮してファジィ演算プログラムを構築する必要がある。
- 4) 水撃作用検出用のファジィ演算を構築する場合には、音と振動の両者を対象とするのが望ましいが、一方しか採用しない場合には、振動を対象とするのが適切である。

2・2 貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法に関する基礎的研究

本研究は、貯水槽水道における集合住宅内の給水管ネットワーク内における、漏水や逆流などの水量異常を検出する方法を開発することを目的としている。

実験は、5 階建て建物（受水槽式）の 1 階の蛇口付近に流量計・圧力計を設置し、センサーの上流側に孔を穿孔ネジを詰めること、あるいは管の接続部に意図的な漏れの状態をつくることによって、意図的に漏水を発生させた。水を流し続けた状態において、受水槽から蛇口までの管路における摩擦等の損失に関わる「損失水頭係数 λ 」と漏水との関係を検討した。また、層流域における摩擦損失を評価する目的で、係数 α を用いて漏水の検出の可能性を検討した。

実験の結果、小流量の条件において、漏水の有

無によって、蛇口からの流量と損失水頭係数の平均値および標準偏差が異なることが明らかとなり、本手法により漏水を検出する可能性が示唆された。

また、層流域におけるレイノルズ数と係数 α との関係を検討した結果、層流域における摩擦損失をモニターすることにより、漏水が検出可能であることが示唆された。すなわち、特に低流量の層流域における挙動を監視することにより、蛇口解放時において漏水割合が 0.1% 程度のケースにおいても漏水検出が可能であることが示唆された。

2・3 逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究

本研究では、逆流防止装置の異常検知を目的として、各種の逆流防止装置の異常検知方法の検討と、効果的な異常監視を実現するため装置開発を目的としている。

17 年度には、単式バネ式逆止弁の異常検知を目的として、その作動状況の可視化を可能とする装置開発し、これを用いて異常検知方法について検討した。また、弁体の変位検知センサー付の試作品も開発した。

本年度は、下記の 1)～3) の事項に関して検討したが、その結果の概要は以下のとおりである。

- 1) 単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動； 微小な異物噛みが発生しても、正常または正常に近い状態に戻る場合も、戻らない場合もあり、これらの差異を検出することができた。
- 2) 圧力、流量データ等に基づく二重式逆止弁、減圧式逆流防止器における異常検知方法； 最低限、一次側、二次側の二点の弁差圧を測定することにより、弁体での異常発生の可能性を検知できることを明らかにした。
- 3) 単式バネ式逆止弁における弁変位の検知も加味した解析； 弁体と弁体受けの間に異物噛みが発生した場合、弁変位はその異物噛みに対応した値を保持し、最低作動弁差圧以下となる停水時に負の弁変位が存在したとすれば、それは異物噛みの可能性があることが明らかとなった。

3. 給水末端システムの管理方法・・・給水末端の異常情報に対する維持管理システム・・・本研究は、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討を行うことを目的としている。

17年度には、給水末端システムにおける給水末端で得られるデータとその活用方法に関する研究を行った。18年度には、下記1)～4)の事項の検討を行った。

- 1) 給水末端の管理の現状;給水末端管理の問題点として、①給水末端管理に関する認識が不足していること、②情報の共有などの連携が十分ではないことなどを明らかにした。
- 2) 異常情報に対する対応フロー;異常情報に対する対応フローを想定し問題点を抽出した。個別の問題点の他、①異常対応に必要な機能(判断、指示・指導、検討・実施、責任等)の不明確さ、②水道システム全体での対応困難性等を明らかにした。
- 3) 維持管理組織;これらの問題への対応に必要な維持管理組織は、日常点検・維持管理・異常情報への対応・事故対応の判断支援を行い、水道施設の維持管理組織と連携して維持管理を行う「給水末端システム管理組織」と考えた。また、維持管理の効率性と事故対応の迅速性を高めるため、維持管理の一体的組織とする方策について検討した。
- 4) 給水末端管理の組織構築に対する課題;給水末端管理の組織構築には、水道水の供給責任、給水装置の管理責任、管理に伴う費用負担、法制度面との整合性、需要者の役割等の課題が考えられ、それらに対する考え方の整理を行った。

D. 考察

本研究の研究成果の概要は、上記Cに記載の通りであるが、この研究は3年計画の2年目に当る。

したがって、以下においては、本年度の研究過程で気付いた課題などの概要を整理しておくことにする。

1. 給水末端における水質監視手法の検討

○トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発 ;給水末端において「濁り」と「着色」をモニタリングできる装置の概要が整ったが、着色した試料等の模擬的水質異

常の検出に関する検討が十分にできていない。「濁り」「着色」の両面から水質異常を検出するアルゴリズムの検討を行う。

○水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討「II」;水道水質の変動は、水源・原水や浄水方法その他の要因により変化する可能性が高いため、調査対象都市をより拡大して、普遍性の高い閾値設定のあり方の検討を行う必要がある。

2. 給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究

- 振動・音等異常現象の検出システムの構築とその実用化;今後の検討課題として、近年多用されているポリエチレン製給水管の水撃作用発生時の振動および音特性の把握と併せて、判定システムの改良、水圧変動に基づく水撃作用判定システムの検討、装置の小型化・低価格化の検討などが考えられる。
- 貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法に関する基礎的研究;今後、実験データをさらに積み重ねるとともに、小流量の条件(層流)における損失水頭係数の発生機構(粘性によるエネルギー損失の発生)を考慮し、これらの差が生じる機構について引き続き検討する。
- 逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究 ;今までに得られた研究結果に基づき、具体的に必要なセンサーを組み込んだ異常検知装置付き逆止弁を提案し、想定される逆流防止器の異常状態(ゴミ噛み等)や逆流状態の検知精度の検討、データの解析手法等の改良を行うとともに、装置の小型化等の検討も行う。

3. 給水末端システムの管理方法・・・給水末端の異常情報に対する維持管理システム・・・

H17～18年度の成果を踏まえ、実現可能性の検討を行うこと。すなわち、(1)モデル地域を設定し、給水末端システムの管理体制を構築する場合に必要な機能・役割、費用負担などについて検討を行う。(2)モデルケースの検討結果を踏まえて、技術面、費用面、制度面等の課題について検討を行う。

E. 結論

本研究では、①給水末端における水質監視手法の検討、②給水装置・用具の機能不全監視方法、③給水末端システムの管理方法の研究を実施しているが、本年度の研究から、以下の結論が導かれた。

「給水末端における水質監視手法の検討」では、(1)紫色LEDによる着色の検出を意図して、装置の改良、検出特性の把握に関する基礎的検討を行った結果、色度換算で1度程度の着色を検出できることが示された。また、(2)水質異常が検出された特定の給水栓と比較対象とするべき自動水質計測水質自動計測給水栓の選定には、配水系統の検討に加えて、配水管網内の水質分布の検討を行う必要性があると考えられた。

一方、「給水装置・用具の機能不全監視方法」に関する研究では、(3)鋼製給水管と塩化ビニル管の速度振動波形の特性が大きく異なることから、給水管材質を考慮したファジイ演算プログラムを構築する必要があること、音・振動の両者を対象としたときの判定精度は、水撃作用検出に対して87.5%、水撃作用以外の衝撃の検出に対して91.7~100%であることなどを明らかにした。

また、(4)意図的に漏水を発生させ、水を流し続けた状態において受水槽から蛇口までの管路における摩擦等の損失に関わる「損失水頭係数 λ 」や「係数 α 」を計算・解析した結果、特に低流量の層流域における挙動を監視することにより、蛇口解放時において漏水割合が0.1%程度のケースにおいても漏水検出が可能であることが示唆された。さらに、(5)単式バネ式逆止弁・二重式逆止弁の、最低限、一次側および二次側の二点の弁差圧を測定することにより、弁体に異常が発生している可能性を示すことができることなどを明らかにした。また、単式バネ式逆止弁において、最低作動弁差圧以下となる停水時に負の弁変位が存在したとすれば、それは異物噛みの可能性があることを明らかとした。

さらに、「給水末端システムの管理方法」に関する研究では、①給水末端の管理の現状、②異常情報に対する対応フロー、③維持管理組織、④給水末端管理の組織構築に対する課題などに関して検討し、現状の問題点の抽出、対応のあり方などに関して考察を行った。

以上のように、各研究者は、着実な成果を得つつあるが、今後、更に、これら研究を更に発展させることにより、より安全性の高い給水システムの構築と、より確実な給水システムの維持管理・リスク管理が可能となるものと考えられる。

F. 健康危険情報

特に記載する事項なし。

G. 研究発表

各分担研究報告書にも個別に記載してあるが、それらを研究(者)テーマごと、既発表・発表予定ごとにまとめて、以下に示す。

1. 論文発表

Sobu, M., Nagaoka, H: Development of a simple defect-detector of water distribution system in buildings Water Science and Technology: Water Supply, 2006, Vol. 6, No. 2, 261-266

2. 学会発表

(1) 既発表

(主任研究者)

1) 中村文雄、林武治、服部伍朗; 6都市における給水系事故発生の周期変動性・気温依存性、第57回全国水道研究発表会講演集、2006・5、6-14、488~489

2) 中村文雄; 水道水質の変動と給水水質監視・管理への補完的活用に関する検討、給水末端にける水質および給水装置・用具機能の異常監視と管理に関する研究、17年度総括・分担報告書、2006・3、25~49

(分担研究者)

3) 杉山俊幸、川村真彦、中村文雄、松本正文: 音を対象としたファジイ理論に基づく水撃作用検出システムの開発、土木学会第61回年次学術講演会講演概要集VII-019、2006.9、CD-ROM proceedings.

4) 杉山俊幸、林栄次、中村文雄、松本正文: ファジイ理論を用いた水撃作用検出システムの構築、土木学会第60回年次学術講演会講演概要集VII-004、2005.9、CD-ROM proceedings.

5) 杉山俊幸、中村文雄、松本正文: 給水管の止水時

の振動特性の把握、土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集 VII-004、2004.9、CD-ROM proceedings.

- 6) 蘇武 政文, 大谷 謙太, 長岡 裕: 受水槽給水方式における漏水検出方法の検討, 第 40 回日本水環境学会年会講演集, 2006, 268-268
- 7) 長岡 裕: 管内エネルギー損失による建物内漏水検出方法の検討, 第 57 回全国水道研究発表会講演集, 2006・5, 6-13, pp486~487
- 8) 大谷 謙太, 蘇武 政文, 長岡 裕: 建物内の給水システムにおける異常検知方式の検討 第 32 回関東支部技術研究発表会講演概要集, 2006, VII-15
- 9) 蘇武政文, 石原健太, 長岡 裕: 建物内の給水システムの異常検出方法の開発, 土木学会第 60 回年次学術講演会講演概要集, 2005, 4, 7-002
- 10) M. Sobu, H. Nagaoka: Development of a simple defect-detector of water distribution system in buildings, 1st IWA-Aspire Conference and Exhibition, Singapore, 10-15 July, 2005, 14B-2
- 11) 蘇武政文, 石原健太, 長岡 裕: 受水槽給水システムにおける漏水及び水質異常検出のための基礎的検討, 第 56 回全国水道研究発表会講演集, 2005, 506-507
- 12) 石原健太, 蘇武政文, 長岡 裕: 給水システムにおける水質および水量の異常検出方法の検討, 第 32 回関東支部技術研究発表会講演概要集, 2005, II-16
- 13) 蘇武政文, 長岡 裕: 給水装置における異常現象検出システムの開発, 土木学会第 59 回年次学術講演会講演概要集, 2004, 7-003
- 14) 蘇武政文, 長岡 裕: 給水システムにおける異常現象の検出に関する基礎的研究, 第 55 回全国水道研究発表会講演集, 2004, 494-495
- 15) 馬場崇, 伊藤雅喜, 帆刈洋, 鈴木宏幸: 「単式バネ式逆止弁の作動状況の可視化と異常検知に関する研究」、第 57 回全国水道研究発表会講演集, 2006, 464~465、
- 16) 中澤祐貴, 伊藤雅喜, 国包章一: 「逆流防止器の性能評価と直結給水におけるリスク軽減方策の検討」、第 56 回全国水道研究発表会講演集, 2005, 490~491

(2) 発表予定

- 1) 中村文雄, 林武治, 若松亨二: 給水システムの維持管理に関する一考察, 第 58 回全国水道研究発表会, 2007 年 5 月
- 2) 杉山俊幸, 原田要, 中村文雄, 松本正文: 給水管の振動と音を対象としたファジィ理論に基づく水撃作用検出システムの開発, 土木学会第 61 回年次学術講演会, 2007 年 9 月
- 3) 長岡 裕: 管内エネルギー損失の測定による給水管内漏水検出方法の検討, 第 58 回全国水道研究発表会, 2007 年 5 月
- 4) 馬場 崇・伊藤 雅喜 : バネ式逆止弁における異常検知手法の開発, 第 58 回全国水道研究発表会, 2007 年 5 月
- 5) 鎌田素之: 給水末端における水質異常監視に関する基礎的検討, 第 58 回水道協会研究発表会, 2007 年 5 月

H. 知的財産権の出願・登録情報

- 1) 馬場崇, 伊藤雅喜: バネ式逆流防止弁の異常検知システム: 出願番号 2006-287500
- 2) 酒井一夫: 弁体変位検出機能付き弁および同機能付き逆止弁: 出願番号 特願 2006-260769

給水装置の異常監視及び管理に関する研究委員会

委員名簿

(任期 平成 18 年 4 月 1 日～平成 19 年 3 月 31 日)

委員長

中村文雄 (財)給水工事技術振興財団技術アドバイザー

委員

伊藤雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長

杉山俊幸 山梨大学工学部土木環境工学科教授

松井佳彦 北海道大学大学院工学研究科教授

長岡裕 武蔵工業大学工学部都市基盤工学科教授

藤村和彦 東京都水道局給水部副参事

石井則行 横浜市水道局施設部技術監理課長

戸村文男 千葉県水道局技術部副技監兼給水装置室長

山川泰二 全国管工事業協同組合連合会技術参与

酒井一夫 給水システム協会技術委員

Ⅱ. 分担研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

主任・分担研究者	中村	文雄
分担研究者	杉山	俊幸
分担研究者	松井	佳彦
分担研究者	長岡	裕
分担研究者	伊藤	雅喜

厚生労働科学研究費補助金(地域健康危機管理研究事業)
分担研究報告書

給水末端における水質および給水装置・用具機能の
異常監視と管理に関する研究

主任・分担研究者 中村文雄 財団法人給水工事技術振興財団 技術アドバイザー
分担研究者 杉山俊幸 山梨大学工学部教授
分担研究者 松井佳彦 北海道大学大学院工学研究科教授
分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学工学部教授
分担研究者 伊藤雅喜 国立保健医療科学院水道計画室長

研究要旨

本研究は、大別して、①給水末端(貯水槽式給水、直結直圧・直結増圧給水)における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持管理方法の研究を行って、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を図る事を目的としている。

本年度は、異常着色の検出方法の検討・比較対照とするべき給水栓の選定方法の検討や、給水システム内の振動・音・水量・逆流防止装置等の異常現象検出装置の検出感度・解析方法の検討を行うと共に、給水末端システムの維持管理・リスク管理に関する体制整備等の検討を行った。その結果、「水質監視手法の検討」では、(1)水道水の色度異常検出感度として、色度換算で1度程度の着色を検出できることを明らかにした。また、(2)比較対照とするべき自動水質計測給水栓の選定に当たっては、配水系統や配水管網内の水質分布の検討を行う必要がある事を明らかにした。

一方、「給水装置・用具の機能不全監視方法」に関する研究では、(3)水撃作用検知システムにおいては給水管材質を考慮したファジィ演算プログラムを構築する必要があること、音・振動の両者を対象としたときの判定精度は、水撃作用検出に対して87.5%、水撃作用以外の衝撃の検出に対して91.7~100%であること等を明らかにした。また、(4)管路における摩擦等の損失に関わる「損失水頭係数 λ 」や「係数 α 」を監視することにより、蛇口解放時における漏水割合が0.1%程度のケースにおいても漏水検出が可能であることが示唆された。さらに、(5)単式バネ式逆止弁・二重式逆止弁の、最低限、一次・二次側二点の弁差圧測定により、弁体での異常発生検知の可能性を明らかにした。

一方、「給水末端システムの管理方法」に関する研究では、①給水末端の管理の現状、②異常情報に対する対応フロー、③維持管理組織、④給水末端管理の組織構築に対する課題などに関して検討し、現状の問題点の抽出、対応のあり方などに関して考察を行った。

研究目的

水道水質基準は、給水末端の給水栓において満たされるべきものであるが、現在までに、給水末端での水質劣化や漏水の発生が数多く報告されており、また、とりわけ小規模貯水槽水道等においては、水質検査やその維持管理の実行率が必ずしも十分に

ない状況にある。このような状況を改善する為には、給水末端における水質や給水装置・用具等の異常監視方法および管理システムを構築する必要がある。

このような観点から、本研究では、給水末端の水質・衛生管理および施設管理徹底の実現を目的として、①給水末端における水質監視方法、②給水装置・用具の機能不全検知方法、および、③給水末端システムの維持・リスク管理方法の研究を行って、より安全性の高い給水システムの構築方法を研究する。

研究方法

本研究は、学識者、水道事業者および民間企業の職員からなる「給水装置の異常監視及び管理に関する研究委員会」を設置し、研究計画その他に関して審議・検討を重ねた上で研究を実施している（総括報告の別表-1 参照）。

本年度は3回の委員会を開催して、各研究分担者の研究計画、研究成果中間報告、最終報告に対して、委員会委員による審議・検討を重ねてきた。

(倫理面への配慮)

水質の監視方法の研究や給水装置・用具の機能不全監視方法の研究は、各研究分担者の実験室で実施する物理化学的実験であり、倫理的問題は発生しない。さらに、水道水質変動態様の調査・解析や、給水末端システムの管理方法の研究では、公表された文献・データ等を活用して調査・解析を実施するため、倫理面への配慮については、特に必要性はないと考えている。

研究結果

本研究では、表記の主要テーマについて各分担研究者がそれぞれ分担して研究を行っているが、本年度においては、給水末端の水質監視方法に関する研究として、「トレンド出力型濁度モニタを用いた水質異常検出システムの開発」、「水道水質の変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討(Ⅱ)；配水管網内の給水水質分布と異系統浄水の混合に伴う給水水質」の2テーマの研究を、給水装置・用具の機能不全監視方法に関する研究として、「振動・音等異常現象の検出システムの構築とその実用化」、「貯水槽水道における給水管ネットワークの水量異常の検出方法に関する基礎的研究」「逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究」の3テーマ研究を、給水末端システムの管理方法に関する研究では「給水末端の異常情報に対する維持管理システム」の1テーマの研究、合計6つのテーマで研究を行った。

以下に、それらの研究成果をまとめて示す。

Ⅱ－１ 給水末端の水質監視手法に関する研究；

1. トレンド出力型モニタを用いた水質異常検出システムの開発

分担研究者 松井 佳彦 北海道大学大学院工学研究科

研究協力者 鎌田 素之 関東学院大学工学部

1. 背景と目的

現在、高度な浄水技術により水道原水中に含まれる懸濁質や着色成分などの水質異常を引き起こす物質のほとんどが除去され、浄水場から送水されている。しかし、腐食した配水管や給水管を通過することにより濁りや着色が発生し、水質劣化が発生するケースやクロスコネクション等による給水末端における事故も報告されている。このような問題によって生じる水質異常を検出するため、給水栓末端に簡易な装置を設置し、水質の変化を常時監視することで、水質異常を検出する技術の可能性について検討を行った。

具体的な装置として、内径13φフローセルにおいて、LEDを光源として、光ファイバーにより光を管内に照射する。照射された光に対する90度散乱光と透過光を光ファイバーによりSi-フォトダイオードユニットに入射し、光電変換によりアナログ電気信号とし、アンプにより増幅した後、データを記録する仕組みとなっている。(図1)

これまでに得られた知見として、濁りに関して、赤色LEDの散乱光を用いて、濁度換算で1度程度の濁りの検出が可能となった。また、種類、粒径の異なる物質を模擬的に添加し、得られる濁りについて検討を行った結果、濁質の粒径については、濁りに大きな差が生じるだけでなく、得られる値の安定性も大きく影響し、濁質の種類についても濁りに差が生じ、本機を用いて評価する際には考慮する必要があることが示された。

貯水タンク内に生成した錆濁質を利用した連続通水による水質異常模擬実験では、水質異常の指標として、1分間の濁り変化率の絶対値(指標1)、2分間の濁り変化量の絶対値(指標2)、5分間濁り変化量(指標3)、10分間濁り変化量(指標4)の4つの指標を用い、これらの指標の水質異常の基準として濁度1度の珪藻土を連続的に添加した際の1分間の濁り変化率の平均0.683を用いて評価を行った。その結果、水利用を想定したバルブの開閉のないケースでは、濁りの上昇が極めて小さい人為的な水質異常を除き、水質異常として検知できた。

一方、水利用を想定したバルブの開閉があるケースでは、人為的な水質異常はすべて検知できたものの短時間での指標が機能しないケースも認められた。

このように濁りに関しては、水質異常の検出に関して一定の成果が得られたことから、本年度は、濁り以外の指標として着色に注目し、検出器とシステムの改良を行い、着色検出についての検討を試みた。

2. 着色を検出するにあたっての検討事項

これまで検出部には、ピーク波長が680nmを示す赤色LEDを光源として利用してきたが、着色を検出するためにはより短波長の光源が必要となる。そこで、新たに紫色LEDを光源として用いることを検討した。対象としたLEDはピーク波長が375nmを示す紫色LEDで、本装置に大きな改良を加えることなく導入が可能なもののうち最も短いピーク波長を有すもの

である。図2に赤色LEDと紫色LEDの投光部を示す。紫色LEDを導入するにあたっては、以下の点について検討を行う必要があると考える。

- 1) ファイバーの材質を含めた装置構成
- 2) セル内における投光部，受光部の位置
- 3) アンプ，感度調整による最適条件
- 4) 投光部と受光部の接続組み合わせの検討

具体的には、

1) に関して、短波長のLEDを使用する場合、光源からセルとセルから光電変換部における光の減衰が問題となる。従来の赤色LEDの場合、光の減衰は問題とならなかったため、価格が安いプラスチック製ファイバーを使用していた。しかし、紫色LEDを使用する場合、光の減衰が予想され、ファイバーの素材、長さについて検討し、十分の感度が得られる装置構成を検討する必要がある。

2) に関して、現行の装置では赤色LEDの透過光と散乱光の検出に最適な条件でセル内における投光部，受光部の位置を決定していた。そのため、紫色LEDを使用する場合、光の減衰も考慮し、投光部，受光部の位置を検討する必要がある。（図3）

3) に関して、光電変換された電気信号はアンプにより増幅され、記録されている。このアンプは赤色LEDでの検出を念頭において設計されており、紫色LEDを使用する場合、アンプの増幅率を変更する必要がある。装置の大幅な改良を避けるため、現行のアンプにおける最適条件の検討を行う必要がある。（図4）

4) に関して、現行の装置では投光，受光に2つのユニットを利用し、投光と同じユニットの受光部をMaster，投光を行わないユニットの受光部をSlaveと定義している。これら2つのユニットは同期線によって結ばれ、互いに同期しながら信号の送受信を行っている。そのため、接続の組み合わせにより、得られる電圧に違いが生じることから、これら組み合わせについて検討する必要がある。（図5，6）

3. 着色の検出に最適なシステム

1) に関して検討を行った結果、従来使用していた2mのプラスチック製ファイバーを0.5mのガラス製ファイバーに変更することで、紫色LEDを使用した場合でも、十分な透過光電圧が得られ、測定が可能な事が確認できた。

2) に関して、セル内に蒸留水を満たし、受光部をセル壁面に固定し、投光部の位置を変更した際に得られる透過光電圧について検討を行った。結果を図7に示す。光路長13mmはセルの壁面の投光部がある状態を示している。この状態だと14V以上の高い透過光電圧が得られ、これまでの結果と比較しても測定が十分に可能である。更に光路長を短くすることで、高い透過光電圧が得られるが、受光部および投光部がセルから飛び出すことにより、セル内の流れに乱れが生じることが予想されるため、従来通りセル壁面に受光部および投光部を合わせて使用することとした。

3)に関して、既に2)で十分な透過光電圧が得られることが確認できたが、アンプのレンジを調整することで、装置に大きな改良を加えることなく測定できることが確認できた。

4)に関して、透過光、散乱光の受光部接続の組み合わせとして、Master受光部に散乱光をSlave受光部に透過光を接続した場合をCase1、Master受光部に透過光をSlave受光部に散乱光を接続した場合をCase2と定義した。それぞれのケースで、上水試験法に示された色度標準液（ヘキサクロロ白金酸カリウム+塩化コバルト）の色度を変化させ測定を行った。結果を図8、9に示す。色度換算で0.8~25度の標準溶液から得られた透過光電圧は、Case1では7.3~6.3Vで約1.0Vの変化量があり、Case2では12.4~10.6Vで約1.8Vの変化量であった。どちらのケースも色度と透過光電圧の間には良好な直線関係が得られたが、Case2においてレンジが広く測定に適していることが示された。尚、散乱光についても1)~4)の検討を行ったが良好な結果を得ることができなかった。

以上の結果を踏まえ、紫色LEDを使用するにあたっては、従来の赤色LEDの光源ユニットを交換し、ファーバを0.5mのガラス製に交換、ユニットのMaster受光部を透過光、Slave受光部を散乱光とすることで、従来に装置に大きな変更を加えることなく連続的に試料の着色を測定できることが確認できた。

4. 紫色LEDの検出特性

紫色LEDの検出特性を把握するため、濃度と透過光電圧の関係について検討を行った。色度標準液は、450nm付近で高い吸光度を示し、400nm付近から急激に吸光度が低下する。一方、フミン酸は300nm以下の波長において高い吸光度を示す。紫色LEDのピーク波長を考慮し、タイプの異なる2つの物質を対象として検討を行った。尚、フミン酸は色度換算ではなく、所定の濃度の原液を段階希釈し、測定した。結果を図9、10に示し、併せてこれらの375nmにおける吸光度を図11、12に示す。紫色LEDでは、色度標準液、フミン酸双方で、濃度と透過光電圧の間に吸光度計を用いた場合と同程度の直線性が得られ、色度換算でも1度程度の着色を検出できることが示された。これらの試料は、従来の赤色LEDを用いた散乱光では全く検出できなかったことから、着色という新たな指標で水質異常を検知できる可能性が示された。

5. 濁りと着色の同時モニタリングのための改良

これまでの装置では、1つの光源に対して散乱光と透過光をモニタリングできるよう2つのユニットを同期させ、散乱光と透過光の検出を行っていた。しかし、これまでの結果から、濁りに関しては赤色LEDの散乱光、着色に関しては紫色LEDの透過光のみが有効な事を確認している。そのため、濁り、着色に対してそれぞれ1つのユニットを割当て、これらを接続したセルを直列に連結することで、濁りと着色の同時測定を検討した。ユニットの構成と装置の概要を図13、14に示す。この構成において、濁りおよび着色をこれまでと同様のレベルで測定できることが確認できた。

6. 連続測定における安定性について

これまでの検討を踏まえ、従来の装置に紫色LEDを組み込んだ紫色LED単独の場合と前述

5. において検討した赤色LEDと紫色LEDを直列につないだ場合の2つの条件下で、連続運転における測定値の安定性について検討した。一例として、図15に示すような流量変動を意図的に与え約1日間連続運転した結果を図16, 17に示す。現段階ではまだ数日程度の連続通水の結果しか得られていないが、紫色LED単独の場合、赤色LEDと紫色LEDを直列につないだ場合、共に、これまでの結果と同程度の安定した測定値を得ることができ、装置の連続運転における安定性が示された。

7. まとめと今後の課題

新たに紫色LEDを用い、着色の検出を検討した結果、装置に大幅な改良を加えることなく、色度換算で1度程度の着色を検出できることが示された。また、これまでのように一つの光源に対して透過光、散乱光の2つ受光部を設けるのではなく、濁りの測定には赤色LEDの散乱光、着色の測定には紫色LEDの透過光に限定することで、ユニットの半減により装置を簡略にすることが可能となり、これらを備えたセルを直列につなぐことで濁りと着色を同時にモニタリングできことが示された。

今後、着色に関して模擬的な水質異常の検出に関する検討を行い、データの蓄積を行うと共に、連続運転の時間を数週間オーダーまで延ばすことで、長期連続運転における問題点の洗い出しと解決が必要となる。また、濁り、着色の両面から水質異常を検出するアルゴリズムを確立し、水質異常を的確に検知できるかを検証していく予定である。

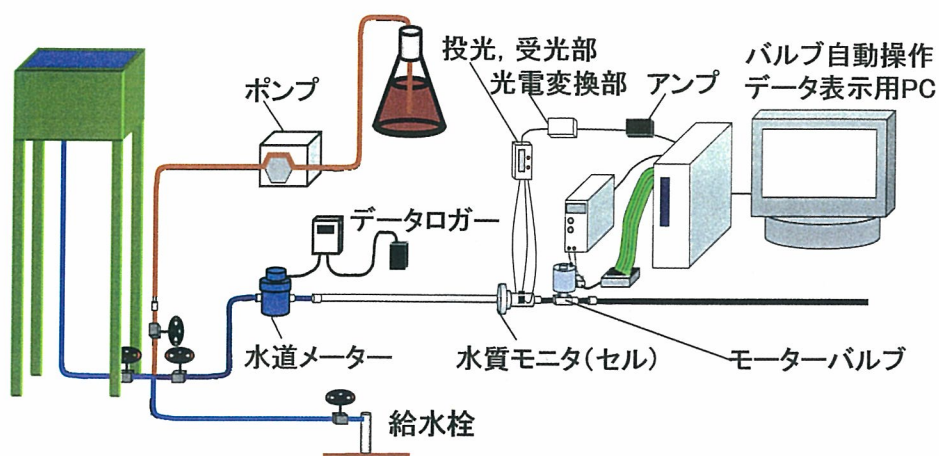


図 1 装置の概要

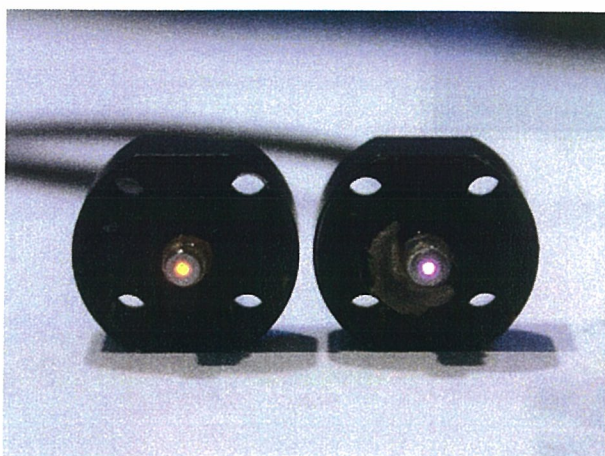


図 2 実験に用いた赤色 LED と紫色 LED

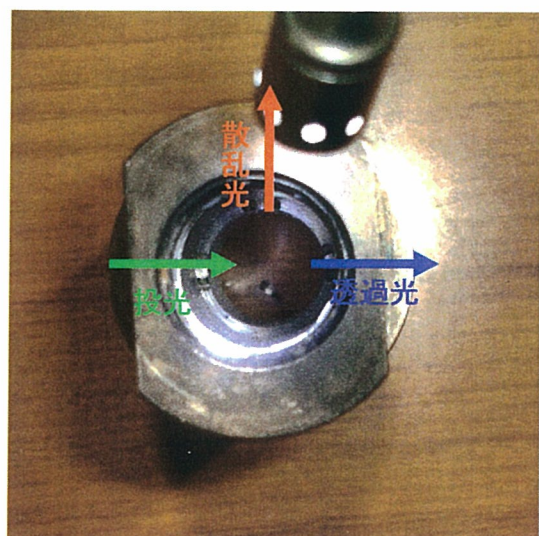


図 3 セル部の構成

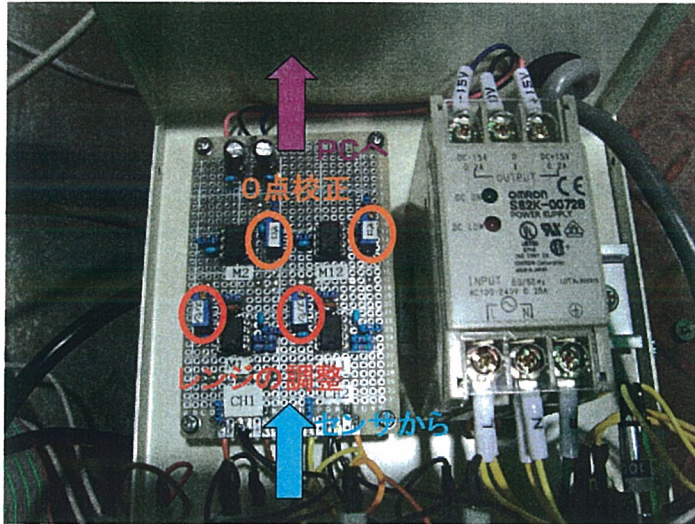


図4 アンプの構成

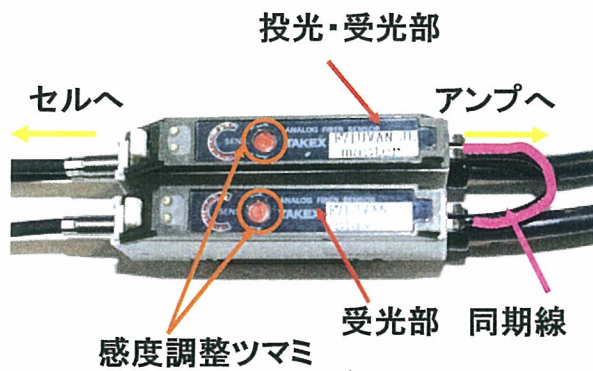


図5 投光, 受光ユニットの構成 その1

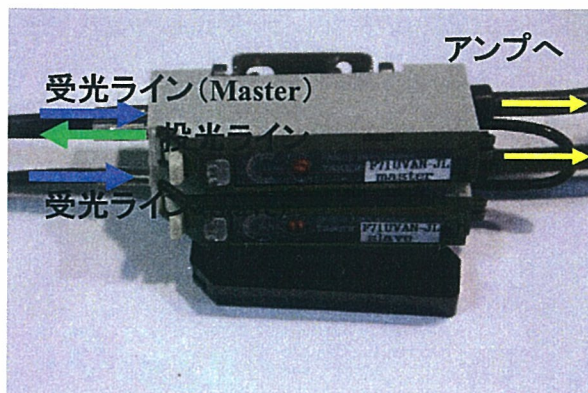


図6 投光, 受光ユニットの構成 その2