

2007 38010A

別添 1

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19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	鎌田	素之
分担研究者	長岡	裕
分担研究者	伊藤	雅喜

平成20(2008)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19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 13
中村 文雄 長岡 裕
杉山 俊幸 伊藤 雅喜
鎌田 素之

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
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「Ⅲ」 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
振動・音等異常現象の検出システムの構築とその実用化 55
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 71
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 79
伊藤 雅喜 林田 武志 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. 給水末端システムの管理方法の研究 99
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、異常濁度および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体制の検討を行った。

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
鎌田 素之 関東学院大学工学部社会環境システム学科准教授
長岡 裕 武蔵工業大学工学部都市工学科教授
伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長

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。

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要がある。

このような観点から、本研究では、給水末端の水

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カ年計画の最終年度にあたる本年度は、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。

（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。

17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。

18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上で、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、「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。

本年度はこのシステムを用いて、水質異常検出について検討を行った。その結果、被験物質によって、赤色-散乱光に高い応答を示す物質、紫色-透過光に高い応答を示す物質、双方に応答を示す物質と様々であったが、試験したすべての物質について赤色-散乱光、紫色-透過光により人為的な水質異常を検出することができた。また、被験物質を注入時に得られるデータは、水道水のみを通水した場合と比べ変動が大きいので、水質異常の指標として、一定期間に得られるデータの変動係数を透過光電圧および散乱高電圧と併用して用

いることが有効であることが示された。

また、1カ月半程度の連続運転を行った結果、濁りに関しては変動係数と変動幅を超えた場合を、着色に関してはベースライン低下の補正を行った上で、変動幅を超えた場合を水質異常とすることで、給水栓末端において、簡便な装置により常時濁度および色度換算で1度を超えるような水質異常を検出できることが示された。

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

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。

17年度は、原水水質変動に基づく給水水質の推定と閾値設定方法に関して検討した。

18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。

本年度は、給水システムにおける水質異常の代替指標としての濁度・色度変動と原水水質変動との関連性および飲料水水質基準超過確率の検討と、併せて、事業体における水質管理の状況を調査した。その結果、①水道水の濁度は原水濁度の変動と関連性を持っていること、②水道水の濁度は、総じて0.1度以下であるが、調査期間中に6都市で出現した濁度の最大値は0.44~2.2度であり、色度の場合は、総じて0.5度以下であるが、発生した色度の最大値は1.0~4.3度であったこと、③18都市において設定された閾値は都市により大きく差があるが、濁度や色度に関しては、水質基準値を上限として設定している都市が多いこと、④これらの結果を考慮すると、給水末端に設置する水質監視装置における異常判定の閾値は、飲料水質基準値近傍に設定するのが望ましいと考えられた。

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。

本年度は、水撃作用が発生しているか否かを、ファジィ演算による判定システムの構築に際して、給水管の材質を識別するルールを設定した後に、水撃作用発生の有無を判定するプログラムの開発を行った。その結果、①給水管の材質を識別するためのフローチャートの識別精度は、鉄管=100%、塩化ビニル管=100%、ポリエチレン管 1&2（流量 17L/min）=100%、ポリエチレン管 3（流量 17L/min）=88.9%であった。②ファジィ判定項目を、音では「継続時間」「位相差の割合」、振動では「減衰定数」「位相差の割合」として、音と振動ともに「位相差の割合」に重みをおいて判定を行うことにより、80%以上の判定精度が得られた。③鉄管、ポリエチレン管ともに音と振動の両者を対象とした水撃作用発生検出の精度が最も高いものとなった。

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。

平成 17 年度及び 18 年度においては、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、センサの上流側に孔を穿けネジを詰めること、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る方式で実験を行った。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、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。

本年度は、上記の結果を理論的に解析することを目的として、5 階建て建物内の配管モデルを考え、2 階～5 階でランダムに水道を使用している状況を考慮し、 α の値の変化のシミュレートを試みた。その結果、各階での水の使用により係数 α が変動することは再現され、漏水の有無によって α の値に差が生じることも再現された。ただし、漏水の有無による差がやや小さくなっており、実験結果を完全に再現することはできなかった。しかしながら、係数 α のばらつきと漏水の有無による変化が理論的に説明ができたことにより、本手法の漏水検知としての妥当性が示されたと考えられた。

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。

18 年度は、1) 単式バネ式逆止弁の種々の異常状態における挙動、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、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等に関して検討した。

本年度は、これまでの研究結果を基に異常状態の解析及び補足実験、異常検知に必要な条件の整理を行うとともに、減圧式逆流防止器における様々な条件下での正常・異常状態時の圧力、流量データ収集及び挙動解析、実使用条件を想定した圧力、流量データ収集及び挙動解析、弁変位センサー付き単式バネ式逆止弁の異常検知有効性の検討及び異常検知装置作成のためのフェージビリティスタディを行った。その結果、以下の結論を得た。①単式逆止弁については弁差圧と一次側または二次側流量の関係をモニタすることにより、弁体に発生している異常状態を検知できる。②二重式逆止弁についても、単式バネ式逆止弁の弁差圧と流量の関係を応用することで異常検知が可能である。③減圧式逆流防止器では、これまでの単式バネ式、二重式逆止弁と異なり、各種条件によって中間室からの排水が発生するため、厳密な異常検知のためには流量計測が少なくとも2点必要となる。④弁変位と流量の組合せによる異常検知はその構造上、単式バネ式逆止弁において有効な手法である。

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、1)給水末端管理の現状における問題点の検討、2)異常情報に対する対応フローにおける問題点の検討、また、3)維持管理組織として、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。さらに、4)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。

本年度は、平成18年度に想定した維持管理システムの内、実現性が高いと考えられる体制と管

理対象となる給水末端のモデルを設定し、経済性の面から検討を行い実現可能性について考察した。すなわち、想定する維持管理体制と水道事業者とが「情報の共有などの連携を図るシステム」をモデルケースとして、利用者や水道事業者の費用負担の想定、維持管理システムの構築により回避されるリスクの設定等により、費用便益比の試算を試みた。その結果、費用便益比は1.46となり、費用対効果はある程度期待できる結果となった。すなわち、確保すべき都市の規模や、末端のモニター設備に対する利用者の支払可能額の想定等ができた。

D. 考察

本研究の本年度の研究成果の概要は、上記Cに記載の通りであるが、その結果・成果を要約すると以下の通りとなる。

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；装置の応答パターンは物質によって様々であったが、試験したすべての物質について人為的な水質異常を濁度および色度で1度以下のレベルまで十分に検出できることが示された。また、人為的に試験物質を注入している際には、水道水を通水した場合と比べ得られる値の変動が大きく、データの変動係数も併せて評価することにより効率的に水質異常を検出できることが示された。また、濁り、着色を同時モニタリング可能な装置では、清澄な水道水であれば1カ月程度以上はメンテナンスを行うことができ、実用への可能性も示された。

○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「Ⅲ」；平常状態における水道水質は水質基準値よりはるかに低いレベルで変動しているが、その最大値は水質基準近傍に達することがある。また、水道事業者の閾値は水道基準レベルとしていることが多い。したがって、給水末端に設置する水質監視装置の濁度・色度の閾値の設定に際しては、これらを考慮する必要がある。また、給水水質の変動は原水水質変動との関連性が高いので、原水の高濁度時の水道水質変動には注意する必要があると考えられた。

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；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システムを開発するためには、給水管の材質が何かを考慮しながらファジイ判定プログラムを構築する必要がある。また、計測するものとして、水撃作用の発生に伴って生じる音と振動の両者が考えられるが、音のみを対象とする場合には、振動のみを対象とするよりも発生の有無を判定する精度が低い。従って、振動の計測が可能となることを最優先させることが望ましいといえる。

○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；

シミュレーションにより、各階での水の使用により係数 α が変動することは再現され、漏水の有無によって α の値に差が生じることも再現された。しかし、漏水の有無による差がやや小さくなっており、実験結果を完全に再現することはできなかった。これは各階における水道使用や高置水槽における水位変動などをシミュレーションにおいては完全に再現できなかったことによると考えられる。しかしながら、係数 α のばらつきと漏水の有無による変化が理論的に説明ができたことにより、本手法の漏水検知としての妥当性が示されたと考えられる。

○逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究

；単式逆止弁については弁差圧と一次側または二次側流量の関係をモニタすることにより、弁体に発生している異常状態を検知できる。二重式逆止弁についても、単式バネ式逆止弁の弁差圧と流量の関係を応用することで異常検知が可能である。減圧式逆流防止器では、これまでの単式バネ式、二重式逆止弁と異なり、各種条件によって中間室からの排水が発生するため、厳密な異常検知のためには流量計測が少なくとも2点必要となる。弁変位と流量の組合せによる異常検知はその構造上、単式バネ式逆止弁において有効な手法である。

3・給水末端システムの管理方法

給水末端の維持管理については、経済性、サービスとしての有効性や価値、必要性についての水道利用者の認識等が重要な視点であり、その大前提となるのは、「必要性の認識」である。これらの視点は、相互に関連しており、利用者も含めた

関係者間の連携が重要である。

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) 紫色および赤色 LED を光源とした給水管と同一径の管型セルを用いることで、濁度、色度換算で1度レベルでの連続モニタリングが可能となり、給水末端における水質異常を安価で簡便な装置によりモニタリングできる可能性が示された。また、(2) 給水水質と原水水質との変動性、濁度・色度の出現率などを考慮すると、給水末端に設置する水質監視装置における異常判定の閾値は、飲料水質基準値近傍に設定するのが望ましいと考えられた。

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) ファジイ判定システムを適用した水撃作用発生の有無を検知する装置の開発に際して収録すべきデータの種類と項目を明らかにし、専門家がいなくても水撃作用の発生を知らせることが可能なファジイ判定プログラムを構築した。この判定プロセスにおいては、材質の分かっている給水管に対して、材質の識別を行った後、評価項目を当てはめファジイ判定を行うという流れで、水撃作用が発生しているか否かを判断した。また、(4) 蛇口付近において流量と圧力をモニタリングし、管路におけるエネルギー損失から計算される係数を逐次計算することにより、漏水の有無が検出されることが示された。

特に、流量の小さい層流域において漏水の有無の検出の精度は上昇するのであるが、電磁流量計を用いるシステムの導入により、低流量でも精度良く計測することができ、本システムの有効性が示された。さらに、(5) 逆流防止装置に関する研究では、①単式バネ式、二重式及び減圧式逆流防止器において、弁差圧と流量を連続的に計測することにより実際に使用している状況での異常検知が可能となった。②単式バネ式逆止弁については、流量と弁変位による組合せ判定も有効な手法である。③異常検知装置の実用化のために、低コ

スト化、維持管理方法の確立等の課題がある事などを明らかにした。

さらに、「給水末端システムの管理方法」に関する研究では、給水末端システム構築の実現には、①給水装置の維持管理に対する利用者をはじめとする関係者の意識を高めること、②サービスの有効性・価値は、利用者にとって価値があるサービスを提供するものであること等が必要である。

また、③本研究では、一定条件のもとで給水末端の維持管理システムが、経済性の面でも有効であることを示すことができた。

以上のように、各研究者は、着実な成果を挙げてきたが、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. 研究発表

各分担研究報告書にも個別に記載してあるが、それらを以下にまとめて示す。

論文発表

1) 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、17年度総括・分担報告書、2006・3、25～49
- 3) 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

- 4) 中村文雄、若松享二、給水末端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講演集、6-1、pp442-443 (2007)

(分担研究者)

- 5) 杉山俊幸、原田要、中村文雄、松本正文: 音と振動を対象としたファジイ理論に基づく水撃作用検知システムの開発、土木学会第62回年次学術講演会講演概要集VII-109、2007年9月、CD-ROM版。
- 6) 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.
- 7) 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.
- 8) 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.
- 9) 戸部 淳一、石原健太、長岡 裕: 貯水槽における膜ろ過システムの適用に関する基礎的研究、第34回関東支部技術研究発表会講演概要集、7-54、2007
- 10) 増田 皓太、長岡 裕: 管路内の水理学的挙動の解析による漏水検知に関する研究、第34回関東支部技術研究発表会講演概要、7-55、2007
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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
- 14) 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

- 15) 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
- 16) 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
- 17) 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
- 18) 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
- 19) 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
- 20) 馬場崇, 伊藤雅喜. 流量・弁差圧の連続監視によるバネ式逆止弁の異常検出手法の開発. 第 58 回全国水道研究発表会講演集. p. 474-475. (2007 年 5 月)
- 21) 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、
- 22) 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
- 23) 鎌田 素之, 松井 佳彦「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」第 58 回全国水道研究発表会講演集, pp 462-463, (2007)

G. 知的財産権の出願・登録情報

1. 特許取得

- 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委員会

委員名簿

(任期 平成19年4月1日～平成20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

長岡裕 武蔵工業大学工学部都市工学科教授

鎌田素之 関東学院大学工学部社会環境システム学科准教授

藤村和彦 東京都水道局給水部貯水槽水道対策担当課長

内藤浄 横浜市水道局給水部中部給水維持課長

鵜沢誠 千葉県水道局技術部給水課副主幹

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

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 山梨大学工学部土木環境工学科教授
分担研究者 鎌田 素之 関東学院大学工学部社会環境システム学科准教授
分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学工学部都市工学科教授
分担研究者 伊藤 雅喜 国立保健医療科学院水道工学部水道計画室長

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。

本年度の研究の内、「水質監視方法の検討」では、(1) 水道水の異常検出感度として、濁度・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) 給水末端の水質監視装置における濁・色度の異常判定の閾値は、飲料水質基準値近傍に設定するのが望ましいと考えられた。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) 検知装置の開発に際して収録すべきデータの種類と項目を明らかにし、専門家がいなくても水撃作用の発生を知らせることが可能なファジイ判定プログラムを構築した。また、(4) 管路におけるエネルギー損失から計算される係数を逐次計算することにより、漏水の有無が検出できることを示した。さらに、(5) 逆流防止装置に関する研究では、単式バネ式、二重式及び減圧式逆流防止器において、弁差圧と流量を連続的に計測することにより実際に使用している状況での異常検知が可能であることを明らかにした。

さらに、「給水末端システムの管理方法」に関する研究では、一定条件のもとで給水末端の維持管理システムが、経済性の面でも有効であることを明らかにした。

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、下記のⅠ～Ⅲのサブテーマ、6研究課題を設定して研究を行ってきたが、研究計画・実施・その他に関しては学識者、水道事業体および民間企業からなる「研究委員会」で審議・検討を重ねてきた（総括報告の別表-1参照）。

なお、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。

Ⅰ、給水末端の水質監視方法

- 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
- 2、水道水質変動と水質監視・管理への補完的活用に関する検討

Ⅱ、給水装置・用具の機能不全監視方法

- 1、振動・音等の異常現象（給水装置・用具の機能不全）の検出システムの構築とその実用化
- 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
- 3、逆流防止装置異常検知方法と応用に関する研究

Ⅲ、給水末端システムの維持管理方法

- 1、給水末端システムの管理方法

（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(Ⅲ)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「給水末端の維持管理システム構築の実現可能性」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. トレンド出力型濁度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 鎌田 素之 関東学院大学工学部

1. 研究背景および目的

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的確に検出するため、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、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の管と同径のフローセルにおいて、光源として特定の波長にピークを有するLEDを使用し、光ファイバーを通してフローセルに照射する。照射された光に対する90度散乱光および透過光を受光し、Si-フォトダイオードユニットに入射後、光電変換に得られたアナログ電気信号をアンプにより増幅し、データを得る仕組みとなっている。

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差が生じ、本機を用いて評価するには考慮する必要があることが示された。更に着色の検出を行うため光源として紫色LEDを用い検討を行った結果、装置に大幅な改良を加えることなく光源を変更することで色度換算1度程度の着色を検出できることが示された。これまでは一つの光源に対して透過光、散乱光の2つ受光部を設けていたが、濁りの測定には赤色LEDに対する散乱光、着色の測定には紫色LEDに対する透過光が有効であることが示された。

このように濁り、着色に関して、水質異常の検出に関する一定の成果が得られたことから、本年度は、これらの装置の最適化を行い、濁りおよび着色における水質異常検出に関する基準の設定と連続的な運転における濁りおよび着色に挙動を明らかにすることを目的に研究を行った。

2. 装置の改良（濁りと着色の同時モニタリング）

従来の装置では、1つのLED光源に対して散乱光と透過光を同時モニタリングできるよう2つのユニットを同期させる特殊な装置により散乱光と透過光の検出を行っていた。しかし、これまでに得られた知見から、濁りに関しては赤色LEDに対する散乱光、着色に関しては紫色LEDに対する透過光が有効な事が示されたことから（以下散乱光および散乱光電圧は赤色LEDに対するもの示し、透過光および透過光電圧は紫色LEDに対するものを示す）、装置をコンパクトにし、価格を抑えるためにも、濁り、着色に対してそれぞれ1つのユニットを割当て、これらを光源としたフローセルを直列に連結することで濁りと着色の同時測定可能となった。ユニットの構成およびセル部の写真を図1, 2に示す。この構成において、2カ月程度の連続運転を行った

が、フローセル内の投光部および受光部への汚れの付着等による問題以外に大きな問題は発生せず、装置として連続的に使用できることが確認できたためこの本研究における最終型として検討を行った。詳細なデータについては4. 項で述べる。

3. 水質異常模擬実験

濁りおよび着色を同時検出できる装置の検出特性を把握するため模擬的に水質異常を発生させ、その際の検出特性について検討を行った。濁り成分として活性炭（和光純薬製の粒状活性炭を乳鉢ですりつぶしたもの）、カオリン（和光純薬製）、破損管から採取した錆（粒径により大、小に分類し、それぞれの有効径は0.50mm, 0.09mm）を対象とし、着色成分として、入浴剤（市販の緑色のもの）、フミン酸（シグマ製）、インク（市販の青色のもの）、醤油を対象とした。これらの試験物質の200~600nmにおける吸光度（ cm^{-1} ）を図3~10に示す。実験は試験物質を所定の濃度に希釈し、活性炭と口径0.1 μm のセラミック膜を備えた家庭用浄水器C1（日本ガイシ製）に通水し、あらかじめ濁質等を除去した一定流量の水道水にポンプで一定量の試験物質を注入し、トレンド出力型モニタで測定を行った。トレンド出力型モニタにおける測定間隔は1秒とし、実験開始20秒後から試験物質を60秒間注入した。その後、注入をやめ40秒間水道水だけの状態で測定を続けた。尚、注入地点とモニタ部に距離があるため試験物質を検出するまでに約10秒のタイムラグが確認されている。各試験物質に対して実験開始から20秒後まで測定データを試験物質注入前として、実験開始60秒後から80秒後までのデータを試験物質注入中のデータとして双方の測定データを比較した。結果を図11~18に示す。結果に示された透過光電圧は着色に、散乱光電圧は濁りに対応しているが、各試験物質で濁り成分は透過光、散乱光双方に顕著な反応を示し、中でもカオリンが最も高い応答を示し、試験物質注入期間における値も大きな変動を示した。また、着色成分はインクと醤油に関しては透過光に対して高い応答が認められたが、フミンと入浴剤に関して応答は小さく、フミンに関しては散乱光の応答はほとんど認められなかった。得られた結果により、給水栓末端で事故やクロスコンタミネーションによって汚染の可能性のある物質の中ではフミンの様な短い波長に吸収を示す色度成分の検出がやや困難であるが、その他の物質については透過光、散乱光双方に応答し、二つのセルを直列に繋ぐことでより正確なモニタリング可能であることが示された。

3. 短期測定におけるバックグラウンド

本装置を用いて水道水を測定する場合、濁度や色度と言った絶対的な指標ではなく、透過光電圧および散乱光電圧の変化量や変動に着目して水質異常を検知している。そのため水道水や水道水より清澄な水や錆等の混入の可能性が高い水を連続的に通水した場合どの程度の変動を示すのかを把握しておく必要がある。本項では水道水、これより清澄な水試料として活性炭と口径0.1 μm のセラミック膜を備えた家庭用浄水器C1（日本ガイシ製）に通水した水道水、昨年度の実験まで連続通水実験に使用していた貯水タンクに一度貯留した水道水を対象として、1分間隔でデータを120分間測定し、散乱光電圧および透過高電圧の挙動について検討を行った。それぞれの結果を図19~21に示す。結果から透過高電圧に関しては大きな違いは認められないが、散乱光電圧に関しては浄水器を通した試料のデータが最も安定した値を示した。各データを比較すると散乱光電圧、透過光電圧ともに水道水レベル清澄な試料の短期的な変動幅は0.03V程度であり、散乱高電圧に関しては変動係数も5%程度であることが確認された。

4. 長期測定における検出特性

これまで本装置での連続測定は1カ月程度であった。濁りと着色を同時にモニタリングできる装置が固まったため今回は約2カ月間の連続実験を行い、透過高電圧および散乱光電圧の挙動について検討を行った。測定は2分間隔とし、データはロガーから3日～5日に1回の割合で回収した。散乱光電圧および透過光電圧の結果を図22～23に示す。散乱光電圧に関しては、初期値0.079Vに対して、55日後には0.114Vを示し、55日間の測定で0.035Vの上昇にとどまったが、30日付近から緩やかであるが値が上昇傾向にある。これはセルの汚れ等が原因と考えられ、今後急速に上昇することも考えられる。また、測定開始40日目付近で高い値と測定開始50日目付近で低い値を示している。これらに関して詳しい原因について特定ができなかったが、前者に関しては少なくとも2データ分（4分間相当）高い値を示しており、鏽等の何らかの濁質が混入に起因し、後者に関しては電圧の低下であることからエア等の混入に起因すると推察される。測定毎の全データの変動幅は最大0.115V、平均で0.004Vと安定していることが示され、長期運転においても問題なく濁りを検出できることが示された。

一方、透過光に関しては、測定開始後から透過光電圧の低下が認められ、初期値11.19Vに対して、55日後には9.57Vを示し、55日間の測定で1.62Vと初期電圧の約15%低下した。透過光の減少は図23からもわかる通り、一定の割合で減少しており、一次式で近似することでも良好な相関係数が得られた。測定開始40日目以降にいくつかのピークが認められるが、詳細をみると午後の決まった時間帯に定期的な透過光電圧の上昇が認められた。この原因に関して特定できていないが、定期的な水利用が何らかの影響を与えている可能性が考えられる。

以上の結果から、2. 項で述べた通り、水漏れ等の問題は認められなかったが、特に透過光に関しては電圧の低下が大きいため水質異常の検出にあたっては電圧の減少を考慮し、2カ月を目処にセル部のファイバー表面の研磨等のメンテナンスが必要なことが示された。

5. 水質異常の判断基準

短期および長期連続運転の結果および水質異常模擬実験の結果を踏まえ透過光および散乱光に関して以下のような判断基準を満たす場合、水質異常が発生したと判断する。

透過光に関しては使用に伴って透過光電圧の低下が認められるが、その減少は線形近似することで予測できる。そのため、測定直前のデータと比較した変動幅が0.06Vを超えるケースを水質異常と判断する。この基準を前項の連続測定に適用したところ測定データ約40000個に対して39箇所が水質異常に該当し、変動幅の最大は0.08Vであった。

散乱光に関しては値が比較的安定していることから変動幅に加え、測定直前一時間分のデータの変動係数を指標とし、それぞれの基準を0.06Vと12%を超えるケースを水質異常と判断する。結果、変動幅に関しては2箇所が水質異常に該当し、変動幅の最大は0.115Vであり、変動係数に関しては、47箇所（1359データ）が該当し、変動係数の最大は23.9%であった。

これらの変動幅の基準は濁度および色度換算で1度レベルに該当することから原因は特定できないが管内生成した鏽等の影響により何らかの水質異常があったものと考えられる。また、変動係数に関しても連続的に値が変動していることからそれほど高いレベルではないが実験施設の近辺の水利用状況の変化等により、定常的に微量の鏽が混入するなどの水質の変化があったものと推察される。

6. まとめと今後の課題

紫色LEDに対する透過光電圧と赤色LEDに対する散乱光電圧を利用した検出部を直列に接続し、連続的に給水末端の水質を監視することで、濁度および色度換算で1度レベルの水質異常を検出することが可能となった。その判断基準は、濁りに関しては電圧の変動幅（0.06V）と過去1時間のデータの変動係数（12%）を、着色に関しては電圧の変動幅（0.06V）とすることで、清澄な水道水に発生した異常を検知できることが示された。

今回の検討では、実際の給水末端において水質異常を生じさせた物質の同定や他の装置との相関性について十分な検討が行えていない。今後、実用化に向けて6カ月～1年と程度の連続運転と同様の機能を有す他のモニタリング装置との相関性を見ることで性能をより詳細に検討することが実用化に求められる。また、今回の検討に用いた装置の製作コストは約10万円程度であるが、実用化に向けては装置の更なるコストダウンも必要と考える。

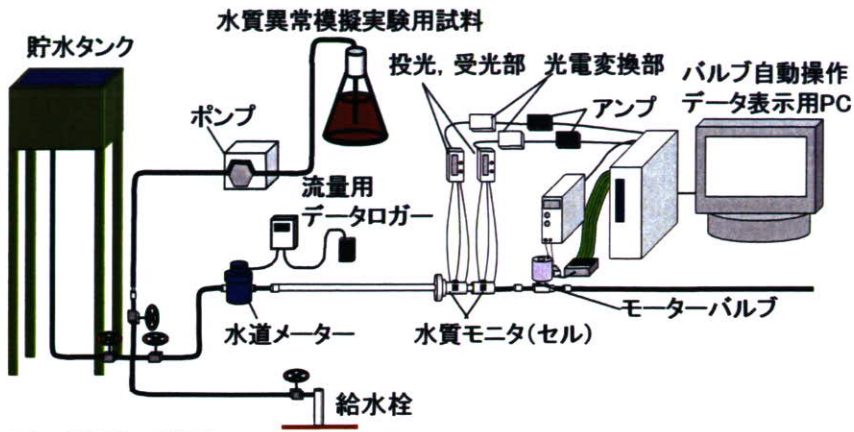


図1 装置の概要

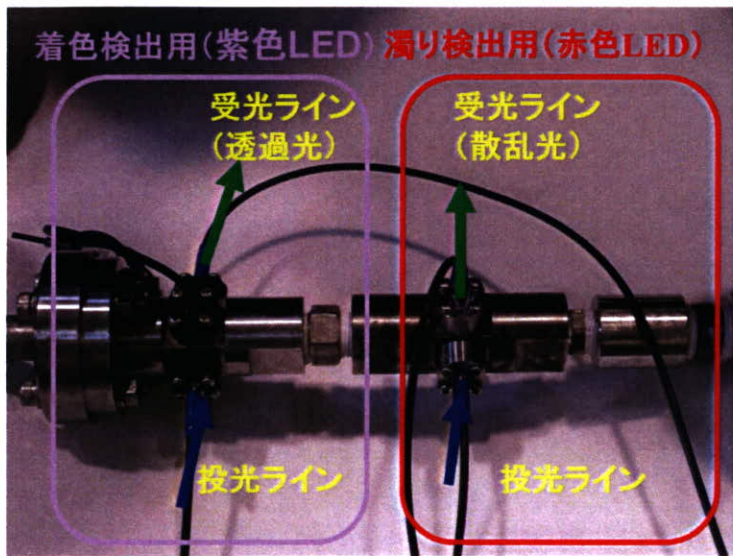


図2 検出部の構成

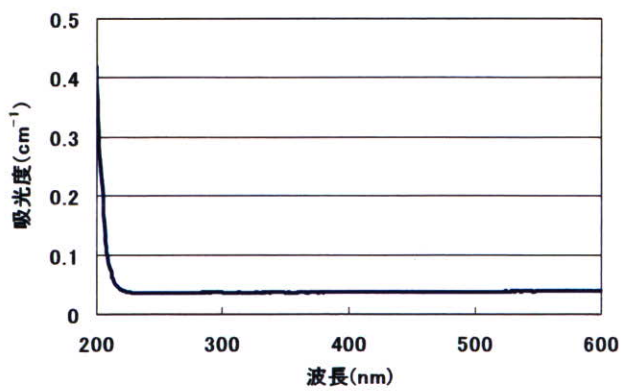


図3 水質異常模擬実験に用いた活性炭の波長と吸光度の関係

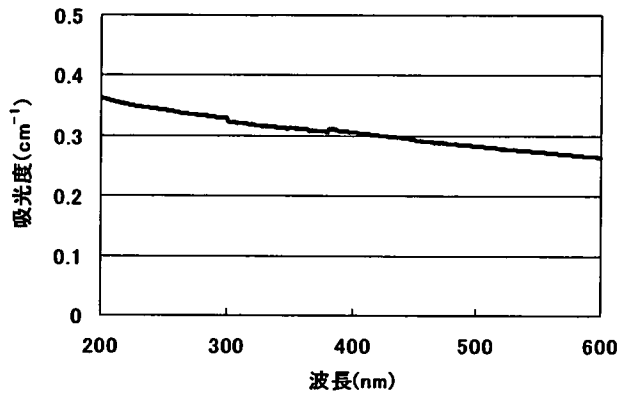


図4 水質異常模擬実験に用いたカオリンの波長と吸光度の関係

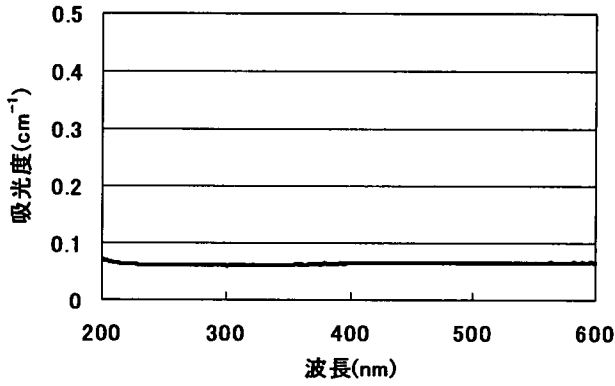


図5 水質異常模擬実験に用いた錆（小）の波長と吸光度の関係

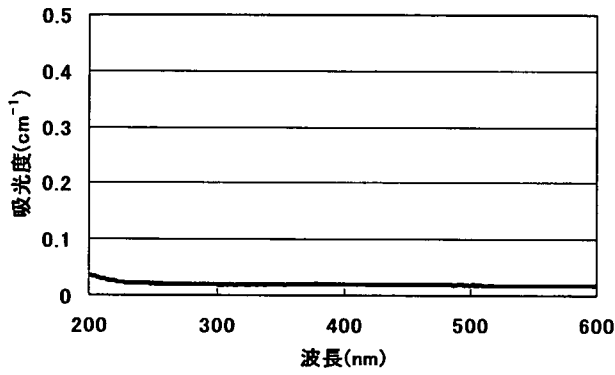


図6 水質異常模擬実験に用いた錆（小）の波長と吸光度の関係

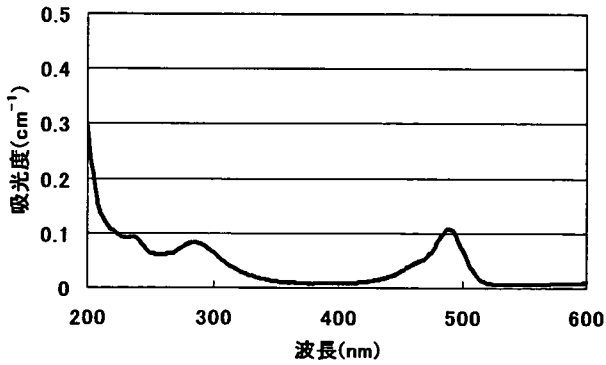


図7 水質異常模擬実験に用いた入浴剤の波長と吸光度の関係