

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17年度～平成19年度 総合研究報告書

主任研究者 中村 文雄

平成20(2008)年3月

目次

I. 総合研究報告書

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

(資料-1) 本研究の要旨、目的、研究方法の概要 15

(資料-2) 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

(資料-3) 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 31

(資料-4) 振動・音等異常現象の検出システムの構築とその実用化 45

(資料-5) 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 53

(資料-6) 逆流防止装置異常検知方法の開発と応用に関する研究 65

(資料-7) 給水末端システムの管理方法に関する研究 87

厚生労働科学研究費補助金（地域健康危機管理研究事業）
（総合）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。

平成17～19年度の3年間にわたって、異常濁・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（H17-H18）

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（H19）

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

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

B. 研究方法

本研究は、学識者、水道事業体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」(別表-1 参照)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。

本研究は、「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を用いた水質異常検出システムの開発

高度な浄水技術により水道原水中に存在し、水質異常を引き起こす可能性のある物質のほとんどは除去され、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等の水質劣化が発生するケースやクロスコネクションによ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。

研究に用いた装置は、内径13φのフローセルにおいて、LEDを光源として、管内に光を照射し、これに対する90度散乱光と透過光を光電変換に

よりアナログ電気信号とし、アンプにより増幅し、記録する仕組みとなっている。

1) 平成17年度の研究結果の概要

濁りに関して、光源として赤色LEDを用いた際の散乱光により、濁度換算で1度以下の濁りの検出が可能となった。また、濁りの原因物質の種類、粒径を変化させた模擬実験では、濁質の粒径の違いが得られる濁りに差が生じるだけでなく、得られる値の安定性にも大きく影響し、また、濁質の違いも濁りに差が生じることが示され、本機を用いて濁りを評価する際にはこれらのことを考慮しなければならない。貯水タンク内に生成した錆濁質を利用した連続的な水質異常模擬実験では、水質異常の指標として単位時間あたりの濁り変化量を指標として用いることで、水利用を想定したバルブの開閉がある場合においても人為的な水質異常を検知することができた。

2) 平成18年度の研究結果の概要

光源として紫色LEDを用い、着色の検出について検討を行った結果、装置に大幅な改良を加えることなく、色度換算で1度以下の着色を検出することが示された。紫色LEDを光源とした場合、散乱光はほとんど反応が得られず、濁りの測定には光源を赤色LEDとした散乱光、着色の測定には光源を紫色LEDとした透過光とすることで、ユニットを簡略化でき、これらのユニットを直列に測

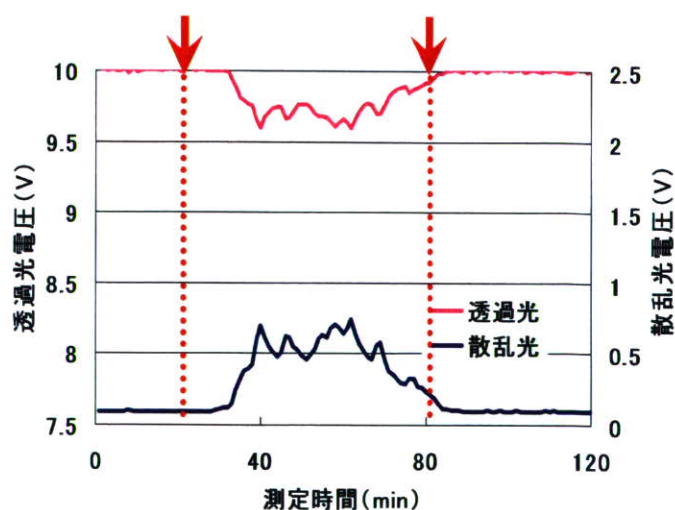


図-1 フミン酸と錆を用いた模擬実験における透過光および散乱光電圧の挙動
定することで、濁りと着色を同時に測定できるこ

とが示された。

3) 平成19年度の研究成果の概要

紫色LEDと赤色LEDを光源とするユニットを直列に接続した装置を用い、数種類の物質を対象に人為的に水質異常を発生させ、得られるデータについて検討を行った。結果、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でより効率的に水質異常を検出できることが示された。実験結果の一例として、フミンと錆の混合物を用いた水質異常模擬実験における透過光および散乱光電圧の挙動を図-1に示す。矢印で示す時間にフミンと錆の混合物を注入している。

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

給水末端で給水水質の連続測定・監視を行って水質異常を逐次検出する場合、水質の異常判断の確実性と安全性を確保する為には、その判断を補完し得るシステムを確立しておくことが望ましい。

本研究では、水道水質のバックグラウンド変動の態様などを考慮した上での水質異常判断の補完方法に関する検討を主たる目的としている。

研究は、自動水質測定器によって連続的計測を行っている水道事業者のうち高緯度～低緯度に位置する6都市(P, Q, R, S, T, U)を調査対象都市として選択し、各水道事業者において原水、配水池、給水栓で連続的に計測されている水質項目の日単位(日平均値)の連続データを用いて解析を行った。

1) 平成17年度の研究成果概要

P市において自動計測された3年間のデータを用いて、給水水質変動態様および原水水質等による水道水質変動の推定の可能性に関して検討した。その結果、配水管網内水質の変動幅と対比することにより給水水質異常の判断は可能と考え

られた。また、水道水質の推定精度は、「電気伝導率」・「残留塩素」で高く、「濁度」・「色度」で低かったが、同様に、その変動幅に基づいて水道水質異常の判断は可能と考えられた。

2) 平成18年度の研究成果概要

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給水栓(給水区域)の選定方法に関する検討を意図して、①3都市(P, Q, R)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。

配水管網内での水質分布は、浄水場数増大と配水系統が複雑になるにつれ、平面的な一様性を失う。図-2には、3原水・3浄水場により配水しているR市の配水管網内水質分布を例示する。

一方、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より水質推定は大凡可能である。したがって、これらの方法により、事前に、比較対象とするべき給水栓(給水区域)を設定することは可能であると考えられた。

水質6項目4指標(Av, σ , Max, Min)のクラスター分析樹形

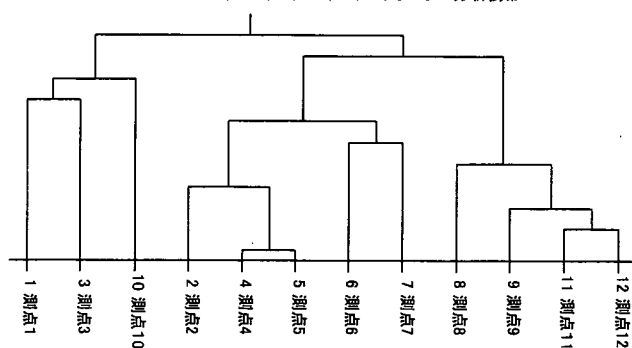


図-2 R市の配水管網内の水道水質分布

3) 平成19年度の研究成果概要

6都市のデータを用いて、各都市における①水道水質変動と原水水質変動との関連性、②濁度等が水質基準値に達する確率の推定を行った。

水道水の濁度変動は、水質基準の範囲内にあるにしても、原水の水質変動を反映している場合が多い。即ち、原水が高濁度となる時期に水道水の濁度が増大する可能性が高くなる。しかしながら、水質基準値(濁度=2度)を越える確率は0.0002～0.01%の範囲内にあり、このような事態が発生する確率は極めて小さいと考えられた。

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・・・)

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、具体的には、給水管の振動・音の継続時間や減衰性状、および、スペクトル解析の実施により振動・音の卓越周波数やスペクトルのピーク値、位相差分スペクトル等を算出し、平常時と比較して、これらの値があらかじめ設定した閾値を越えた場合に、水撃作用の発生の警告を利用者に発するような装置の開発を目的としている。

研究は、実験室内に一般家屋を想定してスチール製、塩化ビニル製、ポリエチレン製の給水管を配置し、電磁弁により給水を急閉止する際に生じる音、および、給水管の振動のデータを収録した。また、一般家屋において全自動洗濯機にセットされている電磁弁で給水を急閉止することにより発生する音 (i. e. 水撃作用に伴って生じる音) のデータを収録し解析することを試みた。さらに、ハンマで与えた衝撃による給水管近傍の振動および音の収録・解析も行い、水撃作用発生時とハンマで与えた衝撃との波動特性の違いから、水撃作用が発生しているか否かを、ファジィ演算を用いて判定するシステムの構築を試みた。

1) 平成 17 年度の研究成果の概要

ある住宅で発生する水撃作用による音を収録・解析し、これらのデータに基づきメンバーシップ関数を作成しファジィ判定を行った結果、約 9 割の精度で水撃作用の発生の有無を判定できた。構築したファジィ判定システムを用いて、別の 3 軒の住宅で収録したデータに対して判定を試みたところ、その判定精度は約 7 割であった。精度が低下した原因として、各住宅で発生する水撃音にはそれぞれ違いがあり、1 軒の住宅のデータだけを基に作成した判定システムでは十分な判定精度が得られないものと考えられる。

2) 平成 18 年度の研究成果の概要

スチール製給水管と塩化ビニル管の振動および音の特性が大きく異なるため、水撃作用の検出に際しては、給水管の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こと、また、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、特に塩化ビニル製の場合、電磁弁にできる限り近い位置での給水管の振動を対象とするのが適切であること等が明らかとなった(表-1 参照)。

3) 平成 19 年度の研究成果の概要

ポリエチレン管を給水管として使用した場合の水撃作用発生時の振動および音の両者を実験室内で収録し、データ分析を行った。その結果、ポリエチレン管を使用した場合には、発生する音の振幅と継続時間に関してはスチール製と比較して有意な差は生じないが、振動に関してはポ

表-1 水撃作用検出の精度 () 内は、正しく判定できた回数/総データ数を表示

		(A)	(B)	(C)	(D)	(E)
鉄管	水撃作用の検出割合	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	75% (6/8)	75% (6/8)
	水撃作用以外の衝撃の検出割合	100% (12/12)	30% (4/12)	100% (12/12)	100% (12/12)	100% (12/12)
塩ビ管	水撃作用の検出割合	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	87.5% (7/8)	50% (4/8)
	水撃作用以外の衝撃の検出割合	91.7% (11/12)	58.3% (7/12)	91.7% (11/12)	100% (12/12)	75% (9/12)

(A) 音と振動 (振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施) , (B) 音のみを対象

(C) 振動のみを対象 (振動計測を電磁弁から 80cm と 280cm の位置で実施) ,

(D) 音と振動 (振動計測を電磁弁から 80cm の位置で実施) ,

(E) 音と振動 (振動計測を電磁弁から 280cm の位置で実施)

リエチレン製の方がかなり減衰の大きいことが明らかとなった。

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

本研究では、各戸に各種センサを併設した水道メータを設置し、各種センサから得られる流量・水圧の時系列データを逐次1箇所の管理システムに送ることで、異常が発生した場合、各戸に警報を発するシステムを想定し、水道メータ付近に設置した流量計、圧力計、水質計によって、水質の異常や水量の異常を速やかに検出し、水道利用者に警報を発するシステムの構築を目指した。

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（下式参照）。

$$\frac{v^2}{2g} + \frac{P}{\rho g} + z + h_L = H \quad (1)$$

$$h_L = f \frac{L}{D} \frac{v^2}{2g} + K \frac{v^2}{2g} = \lambda Q^2 \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{64}{\text{Re}} \alpha \quad (3)$$

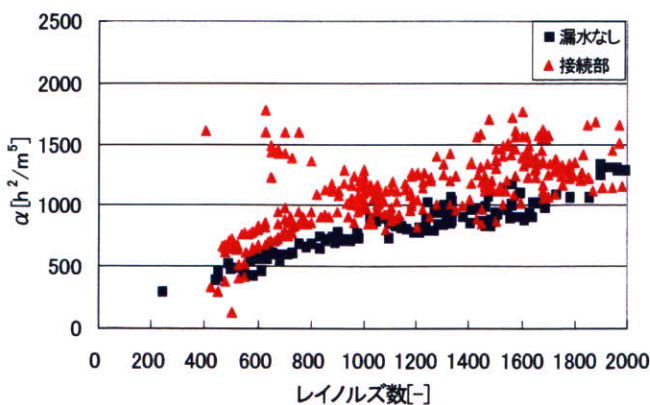


図-3 レイノルズ数と係数 α の関係（接続部：漏水あり）

1) 平成17年度の研究結果の概要

漏水率が1%程度の条件で、レイノルズ数と計数 α の関係は漏水の有無により計数の値が変化した。また、漏水がある条件において値のばらつきも大きかった。

2) 平成18年度の研究結果の概要

平成17年度に引き続き実験を継続し、データを蓄積した結果、漏水の有無により明確な差があることが明確になった（図-3参照）。

3) 平成19年度の研究結果の概要

配管モデルを構築し、漏水の有無および各階におけるランダムな水使用に伴う係数 α の変化を数値的に求めた結果、 α のばらつきと漏水の有無による係数の変化を再現できた。

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

給水装置が高度、多様化してきており、その種類、使用箇所数も多くなっている。これらの給水装置に対する不適切な施工・管理は、建築物内の給水システムのみならず、水道配水管系統へも悪影響を及ぼす恐れがあるため、給水装置の安全性確保は極めて重要である。本研究では、給水装置の安全性向上のため、逆流防止装置の異常検知手法の開発を行った。

本実験では、単式バネ式逆止弁、二重式逆止弁、減圧式逆流防止器について正常及び異物噛みを想定した状態でそれぞれ正圧、逆圧、負圧時の圧力、流量及び場合により弁変位データを収集する。これらのデータを整理し、異常検知に有効なデータの検討を行い、異常検知手法を確立する。さらに装置実用化に向けた課題抽出と対応策を検討した。

1) 平成17年度の研究結果の概要

単式バネ式逆止弁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から弁差圧と流量による異常検知方法の可能性を検討し、図-4に示すように異常状態の状況を可視化した。さらに、より直接的な異常監視を実現するため、単式バネ式逆止弁に関しては弁体の変位を検知するセンサ付き試作品を開発した。

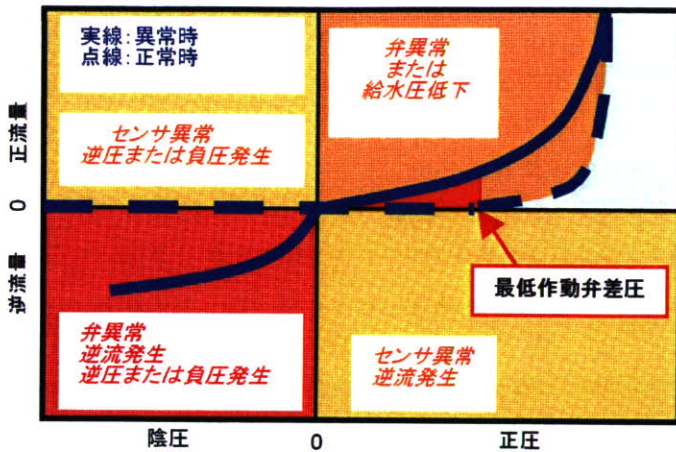


図-4 単式バネ式逆止弁の弁差圧－流量特性

2) 平成 18 年度の研究成果の概要

単式バネ式逆止弁における動的過程の異常状態挙動把握、二重式逆止弁における様々な条件下での正常・異常状態時の圧力、流量データ収及び挙動解析、弁変位センサ付単式バネ式逆止弁における弁変位を加味した圧力、流量の挙動解析等を行った。

3) 平成 19 年度の研究成果の概要

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ィージビリティスタディを行った。

3. 給水末端システムの管理方法

本研究は、給水末端での水質や水圧・流量の異常、給水装置の異常等に対応するために、給水末端で取得可能なデータの整理と管理システムのあり方の検討、取得データに基づく異常判定や異常予測への活用方法の検討、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する。

研究方法として、給水末端システムの現状について、文献等の資料に基づき把握した。給水末端の維持管理システムの検討は、現行の事故対応フローについて考察した。また、投資効果や経済性の検討は、類似システムを参考に費用対効果の手法を用いて検討を行った。

1) 平成 17 年度の研究成果の概要

平成 17 年度は、給水末端で得られるデータとその活用方法について以下の成果を得た。

- ①データの流れと異常情報への対応パターンの整理・分類
- ②取得データの解析による活用を「異常判定」と「異常予測」に分類
- ③上記情報の給水末端及び水道システムでのリスク管理や維持管理での活用の可能性

2) 平成 18 年度の研究成果の概要

平成 18 年度は、現状における給水末端の管理状況より問題点を抽出し、それらの問題点に対処可能な維持管理システム（図-5）を提案した。

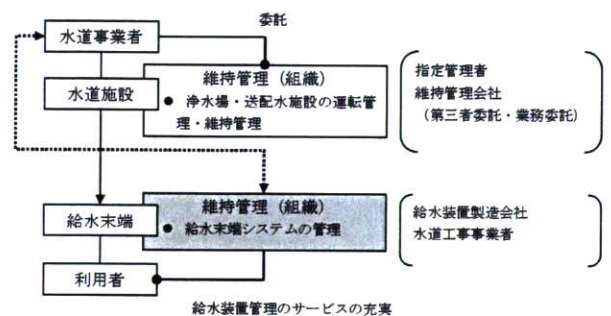


図-5 維持管理組織を想定した維持管理システム

- ① 給水末端の管理における現状の問題点：
 - (ア)給水末端管理に関する認識不足（需要者）、
 - (イ)情報共有などの連携が不十分（関係機関）、
 - (ウ)水道施設と給水装置に管理境界が存在（水道システム）等
- ② 異常情報に対する対応：(ア)原因の特定、(イ)水道水の安全性確保に対する遅れ、(ウ)水道事業者の関与、(エ)給水末端での異常に対する対応に必要な機能主体の明確化等

3) 平成 19 年度の研究成果の概要

平成 19 年度は、モデルケースの検討として、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。

- ① 費用便益比（費用：維持管理システムの初期投資額、人件費等の維持管理費等、便益：水質異常に気が付かずに水道水を使用し続けることによる健康被害⇒一定割合の利用者が被害回避のために飲料水にボトルドウォーター使用を想定）を試算した。

- ② 試算の結果より、一定規模の確保、末端のモニタ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

本研究の研究成果の概要は、上記Cに記載の通りであるが、以下においては、本研究の結果や研究過程で気付いた課題などの概要を整理しておく。

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；

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。これらの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く、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、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；

給水末端での水質監視装置がアラームを発信した時には、まず、メータ上流側の水道水質との対比および計測機器の機能チェックがなされることになるであろう。メータ上流側の水道水質との対比においては、水道水質予測値や管網内水質の変動幅と給水末端の水質値との比較対が可能であるが（平成17年度成果）、事前に、比較対照とするべき給水栓や配水区域を予め確定しておく必要がある（平成18年度成果）。また、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留意する必要があると考えられた（平成19年度成果）。

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ィ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；

係数 α とレイノルズ数の関係を概ね数値的に再現することはできたが、計算結果よりも実測値の方が漏水の有無による差が大きく、この原因をさらに調査する必要がある。

○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システムは、給水栓での水道水の安全を確保するためのものであるが、このシステムを構築するには、利用者、水道事業者、給水装置関係者（メーカー、工事業者等）の連携、ならびに給水末端での異常によるリスクの認識が重要である。

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きたが、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」の内、(1) 水質異常検出システムの研究では、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) 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では、給水末端の水質異常判断の確実性と安全性を確保する為にメータ上流の水質との対比を行う場合、比較対照とすべき平常時の管網内水質変動幅の設定は可能であるが、事前に、比較対照とすべき給水栓（給水区域）を設定しておくことが必要である。なお、原水の高濁度時の水道水質変動には留意する必要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」に関する研究の内、(3) 振動・音等異常現象の検出システムの研究では、ファジィ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ィ判定プログラムを構築した。最終的に小型で低価格の検出装置を開発し、その精度を確認するまでには至らなかったが、どのようなパーツを組み合わせれば装置ができるのかを提案することができた。

また、(4) 水量異常の検出方法に関する研究では、蛇口で流量と圧力を測定することにより本手法により、建物内の漏水を検出することが可能であることが示さ、また現象をある程度数値的に再現することができ、直結給水などの条件においても本手法を拡大して応用できる可能性が示唆された。

さらに、(5) 逆流防止装置異常検知方法の研究では、下記が結論された。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。

さらに、(6)「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、(ア)給水装置の維持管理に対する利用者をつまじめとする関係者の意識を高めること、(イ)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、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、着実な成果を得てきたが、これらの研究成果を基礎にして、更にそれを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

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ィ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：ファジィ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集、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、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. 知的所有権の取得状況

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 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

資 料

資料－1 本研究の要旨、目的、研究方法の概要

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。

「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・用具の機能不全検知方法」に関する研究では、(3) 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。

一方、「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3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。（総合研究報告書別表-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・用具の機能不全検知方法

- 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・用具の機能不全検知方法の研究は、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、3年間にわたり、上記の6研究課題について各分担研究者がそれぞれ分担して研究を実行してきた。具体的には、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」の2テーマの研究を、給水装置・用具の機能不全検知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資料としてまとめて示す。

資料-2 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社会環境工学科
松井 佳彦 北海道大学大学院工学研究科

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。実験開始当初の装置の概要を図1に示す。

2. 光源に関する検討

本装置は光源としてLEDを使用し、1つの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る。今回は光源として680nmのピーク波長を有す赤色LEDと375nmのピーク波長を示す紫色LEDを用いて濁りおよび着色の検出特性について検討を行った。実験に用いたLEDを図2に示す。

2. 1 濁り検出に関する検討

赤色LEDを光源としフローセル部に所定の濃度のホルマジン溶液を添加し、その際に出力される散乱光電圧を測定した。ホルマジン溶液の濁度の測定には多項目迅速水質分析計（HACH社製）を用いた。結果、濁度と散乱光電圧の間には式(1)と $R^2 = 0.9998$ の関係が得られた。

$$y = 0.0308x + 0.2997 \quad \text{式 (1)}$$

ここで、 y ：散乱光から得られる濁り、 x ：濁りモニタから得られた散乱光電圧 (V)

一方、透過光電圧についても同様の検討を行ったが、添加したホルマジン溶液の濁度の違いに対応した変化は認められず、本研究においては散乱光強度のみの計測を行い、これを用いて濁り測定することとした。

2. 2 着色検出に関する検討

紫色LEDを光源として使用する際、赤色LEDと比べ波長が短いため以下のことについて検討を行う必要がある。

1) 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、光电変換された電気信号はアンプにより増幅されている。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3)

3) に関して、本装置では投光、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4)

これらについて検討を行った結果、1)に関しては、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された。2)に関しては、特にアンプの改良を加えることなく、十分な透過光電圧が得られることが確認された。3)に関しては、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）の色度を变化させ測定を行った結果、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。結果を図5に示す。尚、散乱光について同様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、ファイバーを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。

次に、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。フミンに関する結果を図6に示し、色度標準液およびフミンの375nmにおける吸光度を図7、8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。

3. 濁りと着色の同時モニタリングのための装置の改良

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10, 11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。

4. 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。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 μ m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12～17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。得られた結果より、給水栓末端で事故やクロスコネク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孔径 $0.1\mu\text{m}$ 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、錆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、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となることが示された。

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