

図 5(a) ボルトが緩んでいない
場合のオリジナル波形

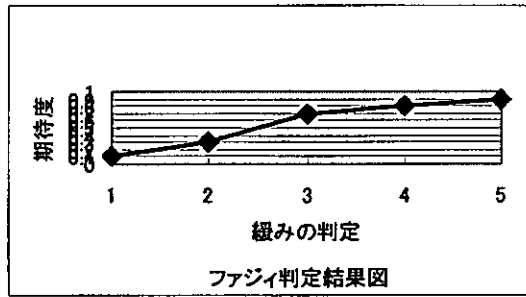


図 5(b) ボルトが緩んでいない
場合のファジィ判定結果

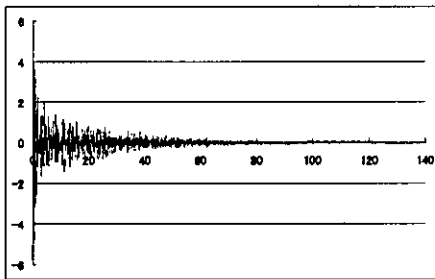


図 6(a) ボルトが20%緩んでいる
場合のオリジナル波形

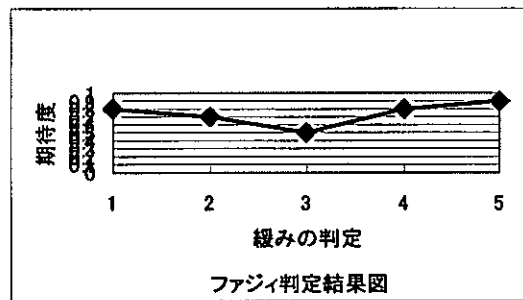


図 6(b) ボルトが20%緩んでいる
場合のファジィ判定結果

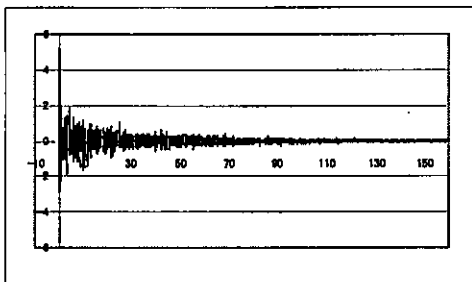


図 7(a) ボルトが50%緩んでいる
場合のオリジナル波形

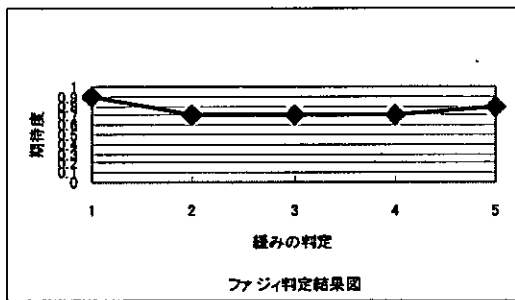


図 7(b) ボルトが50%緩んでいる
場合のファジィ判定結果

100%締付け時ファジィ判定結果図

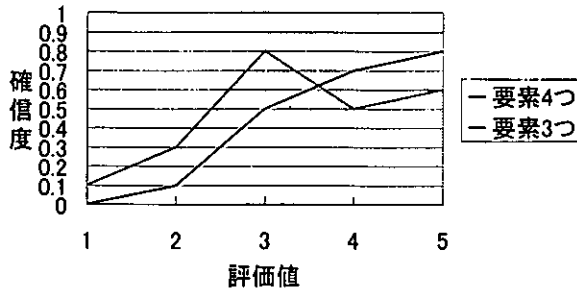


図 8 (a) ボルトが緩んでいない場合の
ファジィ判定結果

80%締付け時ファジィ判定結果図

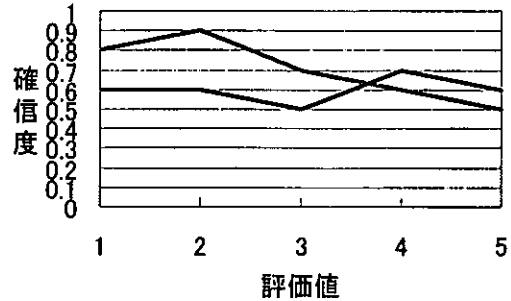


図 8 (b) ボルトが20%緩んでいる場合の
ファジィ判定結果

50%締付け時判定結果図

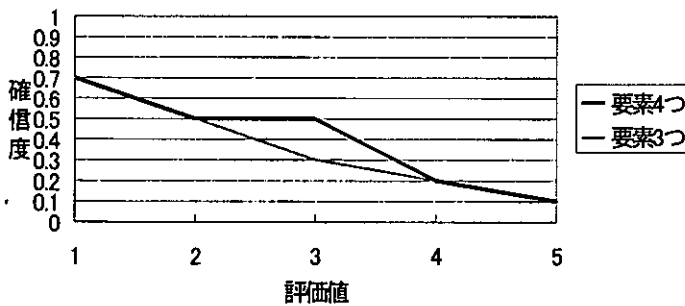


図 8 (c) ボルトが50%緩んでいる場合の
ファジィ判定結果

5. まとめと今後の課題

3種類の給水栓を用いて止水に関する実験を実施し、振動波形を収録する場合に、どのようなデータをどの位置で収録するのが適切なのか、また、水撃作用が生じたときの振動波形がどのような特性を有しているのかを把握し、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）の開発・確立に向けての基礎データを得ることを試みた。また、これと並行して、計測した振動波形から水撃作用が発生しているか否かをファジィ理論を適用して自動的に判定するシステムの構築の改善について検討を加えた。その結果、以下のことが明らかとなった。

- 1) 振動波形の減衰状況の読み取りが最も容易で、かつ、波形が正弦波に近いのが速度波形記録である。また、収録する振動成分としては、給水管管軸方向水平振動、または、給水管管軸直交方向水平振動の波形が正弦波に近く、データ処理に適している。
- 2) 開発を試みる装置の設置位置を、特に指定する必要はない。ただし、スペクトルがピーク値をとる卓越周波数は同じであるが、スペクトル図の形状が位置によって異なるケースも見られる。

- 3) 給水栓の種類の違いにより止水時、あるいは、切り替え時に給水管に生じる振動の特性がかなり異なる。シングルレバー湯水混合給水栓では、1度振動が減衰した後、わずかではあるが振動速度が大きくなる挙動を示す。浴室用シャワー・通常給水切替え給水栓では、どちらに切り替えるかによって、給水管管軸方向水平振動の卓越周波数が異なる。
- 4) 止水時の給水管の振動速度波形の減衰定数は、通常の給水栓とシングルレバー湯水混合給水栓では4～5%、浴室用シャワー・通常給水切替え給水栓では2～3%程度となっている。
- 5) 止水時の給水管の振動速度波形の継続時間は、通常の給水栓とシングルレバー湯水混合給水栓では1.5～2.5秒程度、浴室用シャワー・通常給水切替え給水栓では、かなりばらつきが大きく、また、通常給水からシャワーへの切り替え時とシャワーから通常給水への切り替え時とで特性が異なるが、2.0～3.5秒程度となっている。
- 6) 通水時の給水管の振動速度の卓越周波数は、その時々により異なるものの、おおよそ6～10Hz程度である。
- 7) 振動波形の継続時間、減衰比、卓越周波数、および、位相差スペクトルの4要素を用いて高力ボルトが緩んでいるか否かの判定を行うファジイ理論を用いた意思決定プログラムを構築した。このプログラムは、計測した給水管の振動波形から水撃作用が発生しているか否かを自動的に判定するシステムへの応用が十分に可能である。

今後の課題としては以下のことが挙げられる。

- 1) 止水時あるいは給水レバー切り替え時に発生すると予想される音を収録するための実験方法を工夫する。
- 2) 実際の家屋では、給水管が壁等の状況に応じて曲げられていることから、この曲げられていることの影響について検討を試みる。
- 3) スペクトル図がピーク値をとる卓越周波数は同じであるが、スペクトル図の形状が異なるケースも見られる理由に関して考察する。
- 4) 同一の給水栓を用いて、流速が約2[m/sec]、および、水圧が約0.15[MPa]の条件下で実験を行なった場合の振動特性の違いについての把握を試みる。
- 5) 高力ボルトの緩みチェックシステム用に開発したファジイ理論に基づく判定プログラムを、計測した給水管の振動波形から水撃作用が発生しているか否かを自動的に判定するシステムへ適用できるようにする。

参考文献

- 1) (財) 給水工事技術振興財団：解説 給水装置の構造及び材質の基準 本編、pp. 11-12 (2001年8月)
- 2) 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、平成16年度土木学会全国大会第59回年次学術講演会(第VII部門、上下水道管理セッション)(2004,9) 投稿中。

Ⅱ-1-4. 給水システムのリスク管理に関する研究(2) ；

濁度・懸濁粒子数・吸光度等を指標とした給水システム内における水質異常の検出；トレンド出力型濁りモニタの試作と評価

分担研究者 松井 佳彦 岐阜大学工学部教授

1. 背景と目的

給水栓水質を簡易な装置により常時監視し、水質に対する異常な変動を検出することにより、事故等による水質異常の検出する技術の可能性を検討するために、濁度(吸光度)を管内にインラインで設置したセンサーで計測する装置の試作し、実試験を行っている。昨年度までの成果として、長期間連続使用による光学系の汚れと光電変換系の安定性のため、濁度の絶対値自体の計測は難しかったが、濁度の相対変化率を指標とすることの可能性が示された。具体的には、現時点では20分の間で濁度が4度以上上昇する場合の水質異常の検出の可能性が示された。今後の課題として① 原理試作器の製作と評価(長時間にわたる耐久実験、給水栓を先締めした状態でのテスト、停滞水時と流水時の光学系汚れ程度の評価)、② 透過光強度検出の可能性、③ さび・腐食管・クロスコネクションなどの異常水質の検出模擬実験、④ 濁度上昇を示す指標の算出法、などが挙げられた。本年度はこれらの課題の中で、①、②、④について検討を行った。

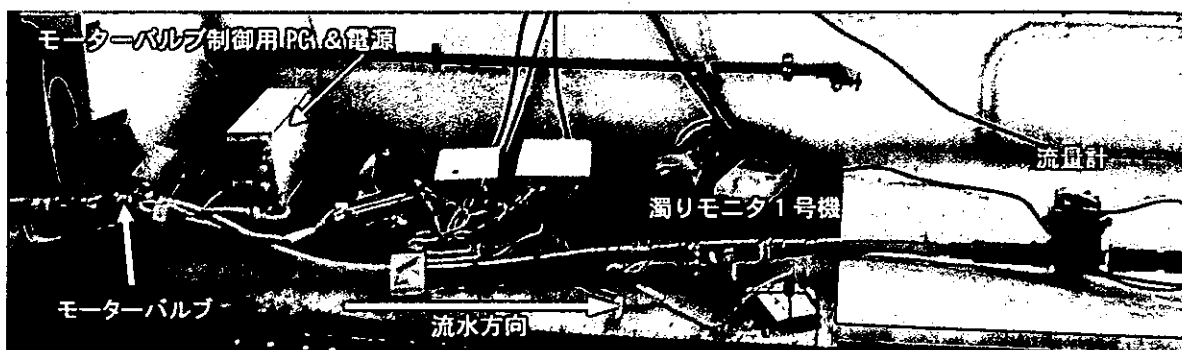


写真1 長期間実験装置

2. 結果と考察

2. 1 長時間にわたる耐久実験

(1) 長期間実験

昨年度使用していたトレンド出力型濁りモニタ1号機に電動モーターバルブを設置し(写真1)、水道水のバルブ開閉をコンピュータ制御することによって、1週間にわたってバルブ開閉を無人で操作し長期間の水道水の通水実験を行った。バルブ開閉は家庭の1日の水の使用パ

ターンが繰り返されると仮定し、予め作成した開閉パターンを1日毎に繰り返すことにした。データは1日ごとにロガーからPCに転送した。実験装置の概観を写真1に示す。実験では圧力がかからないように、水量コントロールは元締めで行った。結果を図1～3に示す。図1に比べて、図2ではみかけの濁度が ± 3 度以上の範囲で細かく変動した。これは光照射部または受光部に大きな汚れが付着していたためと思われる。図1と図2の実験はやや時間をおいて行った。長時間使用してない状態では残留塩素が消失し、光学セルに無視し得ない汚れが付着すると思われる。センサー部を管系からはずし麺棒で清掃した後は図3に示すように安定した出力となった。光照射部または受光部における汚れの影響は、以下に述べる散乱光と透過光が同時計測可能な試作器2号器により対策を検討して行くことにする。

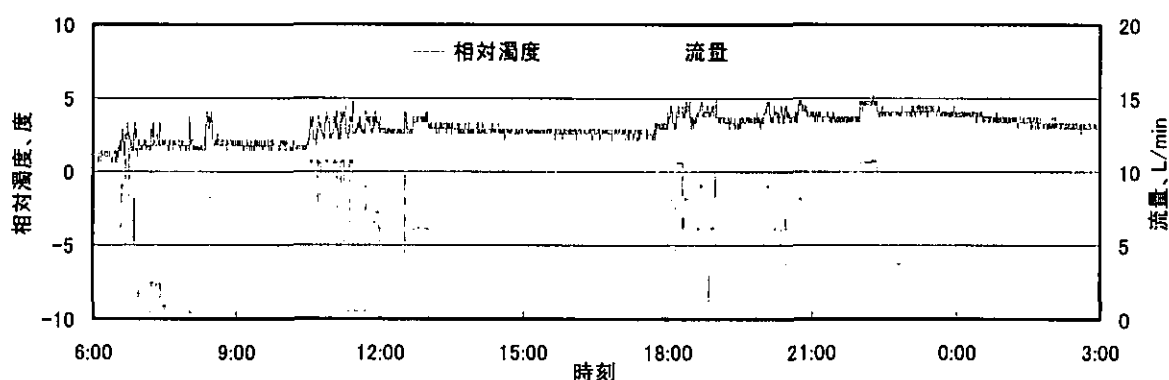


図1 濁度と流量の時間変化 (第1日目)

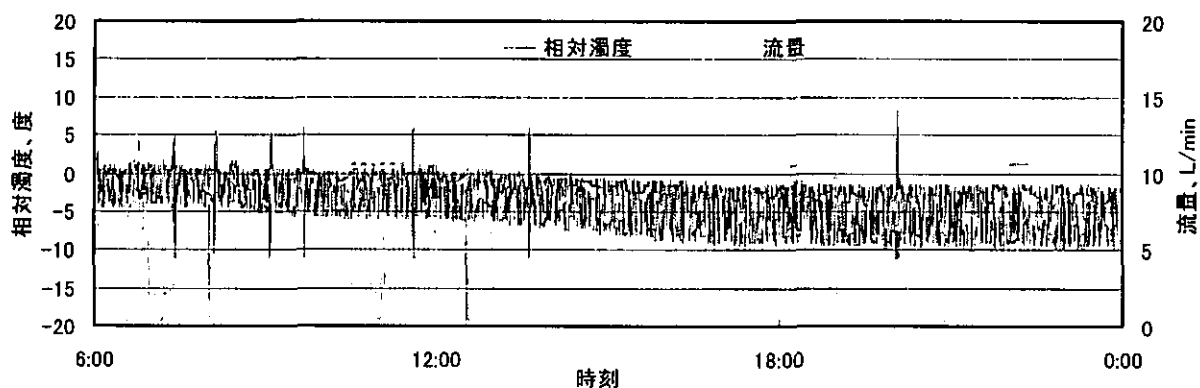


図2 濁度と流量の時間変化 (第2日目)

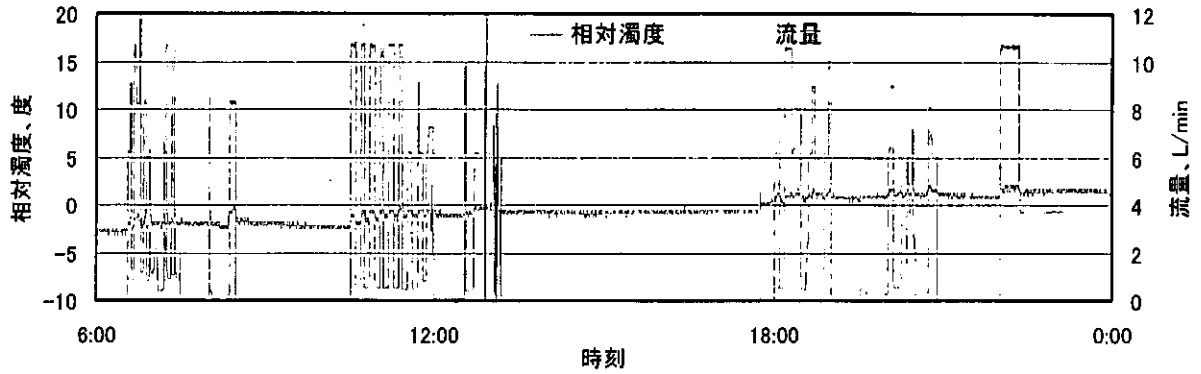


図3 濁度と流量の時間変化（第3日目）

（2）被圧条件下における耐久実験

濁りモニタを実際に設置する場合は、給水栓の元側に設置するため給水栓を閉じた状態では被水圧下で、開栓状態ではやや圧力がかかった状態で計測することになる。ここでは、そのような被圧力下および圧力変動条件下において、装置の水密性およびその間の濁度計測特性を調べた。装置の設置状況は写真2に示す。まず、センサー部自体からの水漏れも無く構造的に給水栓前に設置可能なことを確認した。濁度と流量の時間変化を図4に示す。昨年度の結果と同様に、通水/停止に関わらず出力値はゆっくりと上昇または変動した。この間の実際の濁度の変化は0.1度以下であり、この間にセンサー表面に汚れが濁度換算で3度以上付着したとは想像しにくいことから、この出力値の上昇は原理試作器自体の電氣的なものに由来していると思われる。その一つの可能性として照射光強度が温度などの外的な環境により影響を受けてることが考えられる。このことは透過光強度も同時計測可能な濁りモニタ2号機で検討して行く。

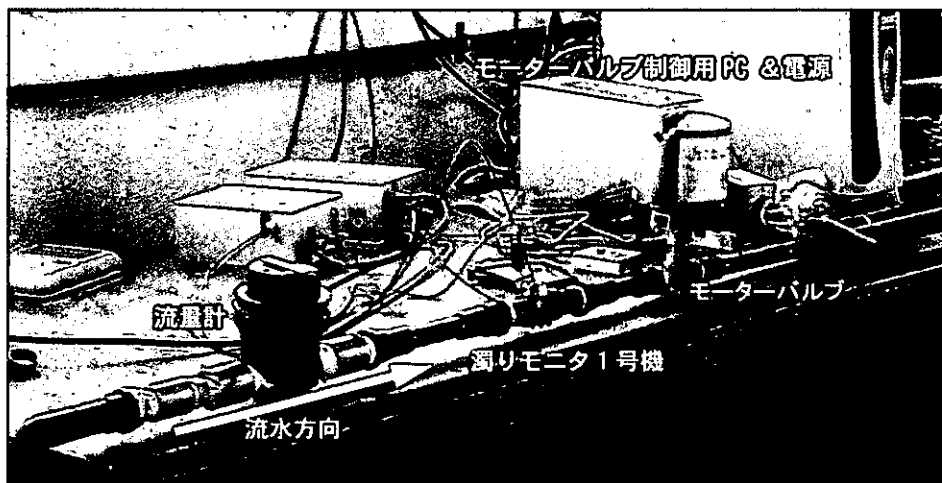


写真2 被圧耐久実験

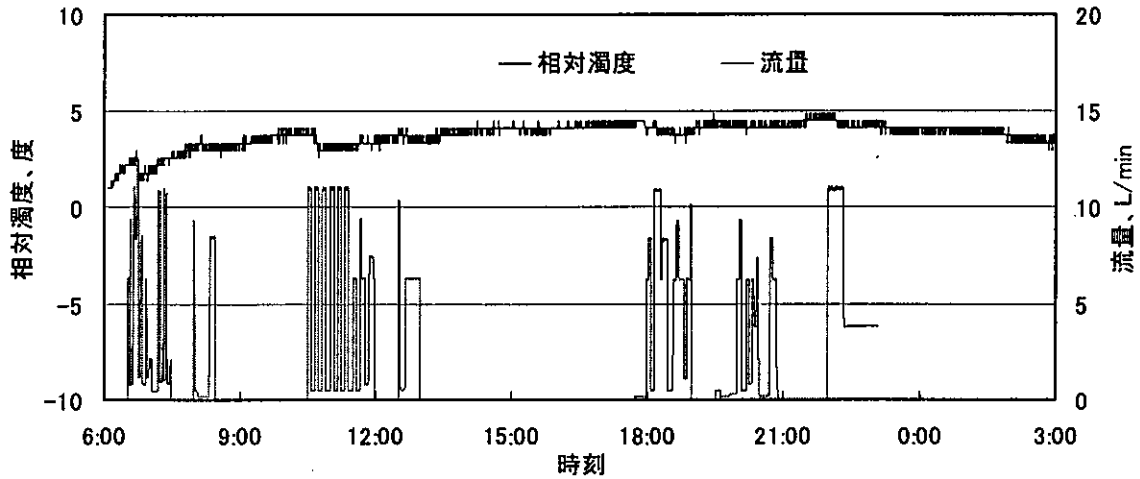


図4 被圧条件下における耐久実験

2. 2 給水栓用濁度モニタ (試作2号機)

(1) 装置概要

給水栓に直結可能な管路型光学セル構造 (ファイバ照射・受光系) の濁度モニタで、管路を流れる水中に光を照射して含有の懸濁物質によって散乱される光量 (90° 側方散乱光量) を測定することにより、濁度 (水の濁り) の変化を連続的にモニタ可能なセンサ (試作品) を試作した。尚、今回試作の2号機では、前方透過光量を測定できるようにし、散乱光量との比較を行えるようにした。

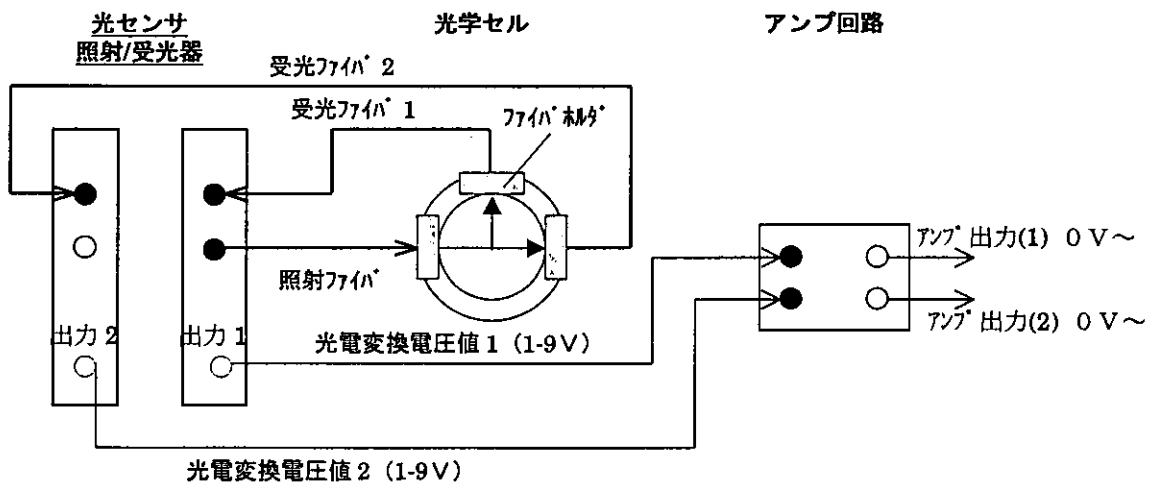


図5 装置構成の模式図

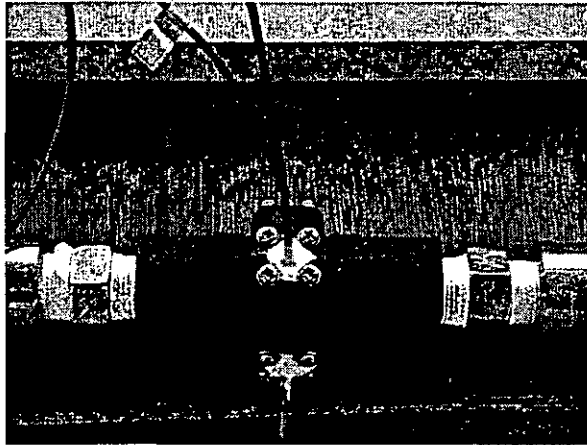


写真3 濁りモニタ2号機のセンサ部

(2) 供試水濁度と光センサ出力(散乱光量)の評価

- 1) 供試水：ポリスチレン濁度標準液（JSR 製 100 度）の希釈水およびカオリン懸濁水
- 2) 方法：光学セルに供試水を満たし（静止状態）、光センサの出力値（光電変換電圧）を電圧計で測定した。また、供試水濁度は積分球式濁度計（セントラル科学 TB-50）で測定した。
- 3) 結果：下の図表の通り、90° 側方散乱光については、濁度 20 度程度までに良好な直線性を確認した。但し、一次試作機に比べると直線の傾きが小さく（1 次試作機の 0.63 倍）、濁度に対する感度が低い（カオリン加濁水 19.5 度の場合は同 0.80 倍）。ここで、検出下限は概ね 1 度と考えられる。一方、前方透過光は、濁度 10 度以下では光量の減衰が殆ど見られなかった。図 7 に示すようにカオリン懸濁水の場合も同様の結果となった。

供試水濁度 度	90° 散乱光		前方透過光	
	出力1(V)	$\Delta V1(V)$	出力2(V)	$\Delta V2(V)$
0.0	1.063	—	9.000	—
0.7	1.066	0.003	8.999	0.001
1.2	1.069	0.006	8.998	0.002
2.3	1.075	0.012	8.997	0.003
5.6	1.094	0.031	8.997	0.003
11.1	1.122	0.059	8.996	0.004
22.8	1.185	0.122	8.991	0.009

表2 センサ出力1および2の測定結果（光電変換電圧）

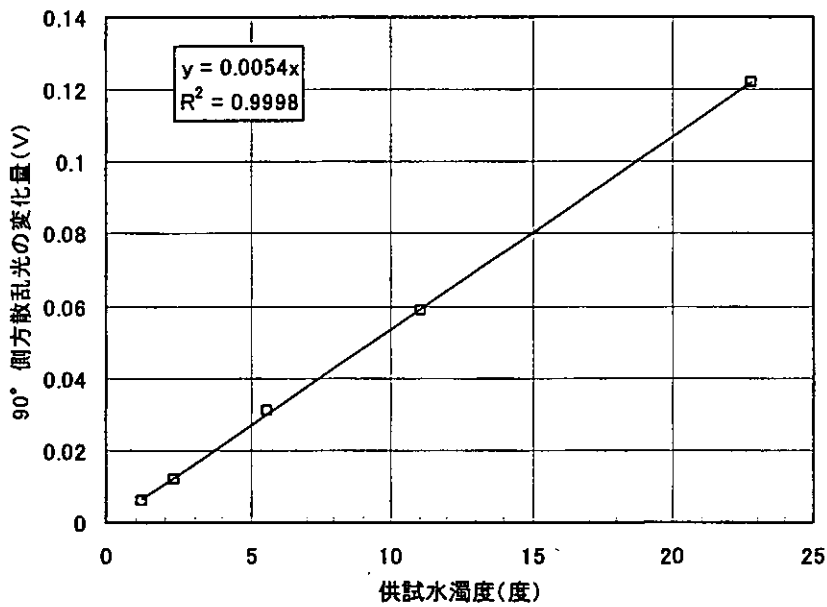


図6 ポリスチレン濁度標準液を用いた際の実出力値（電圧）と濁度の比較

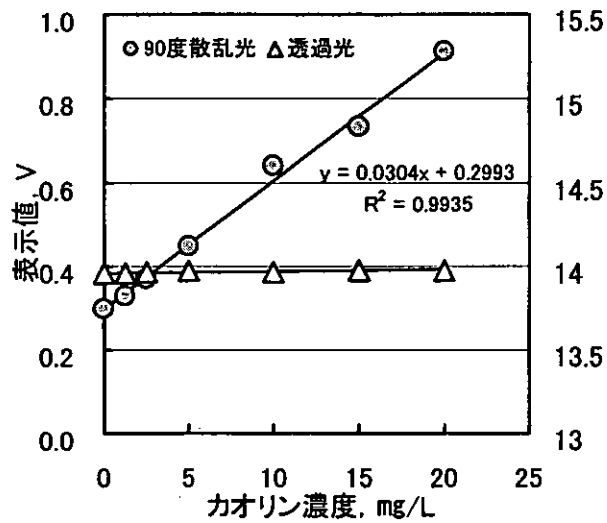


図7 カオリン懸濁液濃度と出力値（電圧）の関係

(3) 通水実験

写真1に示すように、モーターバルブの後に濁りモニタ2号機を設置し通水/停止状態における透過光強度と散乱光強度を計測した。散乱光強度は図7の検量線により濁度に変換した。透過光強度、散乱光強度による濁度、流量の時間変化を図8～10に示す。1号機では濁度の大きな変化が見られたが、2号機ではより安定した出力が得られた。これはファイバ式アナログ光センサ部を前回のものと異なる製品に変えたためと思われる（その他、2号機と1号機は同一機器を使用して構成されている）。しかし、通水停止状態に比べて、給水栓を開けてか圧力が上がった状態では、濁りモニタの出力値（みかけの濁度）が上昇した。昨年度の結果と同様に、バルブ操作時に出力の変化も見られるため、この見かけの濁度変動と真の濁り変動を区別する必要がある。

表3 濁りモニタ2号機の実験のまとめ

	濁度変化率 (度/5分)	濁度変化率 (度/10分)	濁度変化率 (度/30分)	濁度変化率 (度/60分)
実験1	0.75	0.78	0.75	0.70
実験2	2.78	1.51	0.77	0.67
実験3	1.19	1.13	1.06	0.78
実験4	0.87	0.91	0.81	0.69
実験5	1.10	0.88	0.86	0.80
実験6	1.04	0.96	0.96	0.84
実験7	1.11	1.05	0.93	0.85

図11～13に透過光強度の時間変化を示す。散乱光強度に見かけの変化が生じる流量変化時には、透過光強度はほとんど変化しなかった。したがって、散乱光の流量変化時のみかけの変化は光学系が原因ではないことがわかった。したがって、透過光強度と散乱光強度の相対比較値を用いても流量変化時の変動は補正は難しいと思われる。

昨年までの検討では、濁りモニタ1号機の出力値が示す濁度変化率の最大値も3.2度となり、現時点では20分間で濁度が4度以上上昇する場合の水質異常の検出の可能性が示された。今回の7日間にわたる長期間実験における濁度変化率の最大値をまとめると表3のようである。2号機では10分間の濁度変化の最大値は1.51度、5分間の濁度変化の最大値は2.78度である。このことから、濁りモニタ2号機の安定性が示され、さらに5分間の濁度が3度以上上昇するケースは異常状態として検出することが可能なことがわかった。

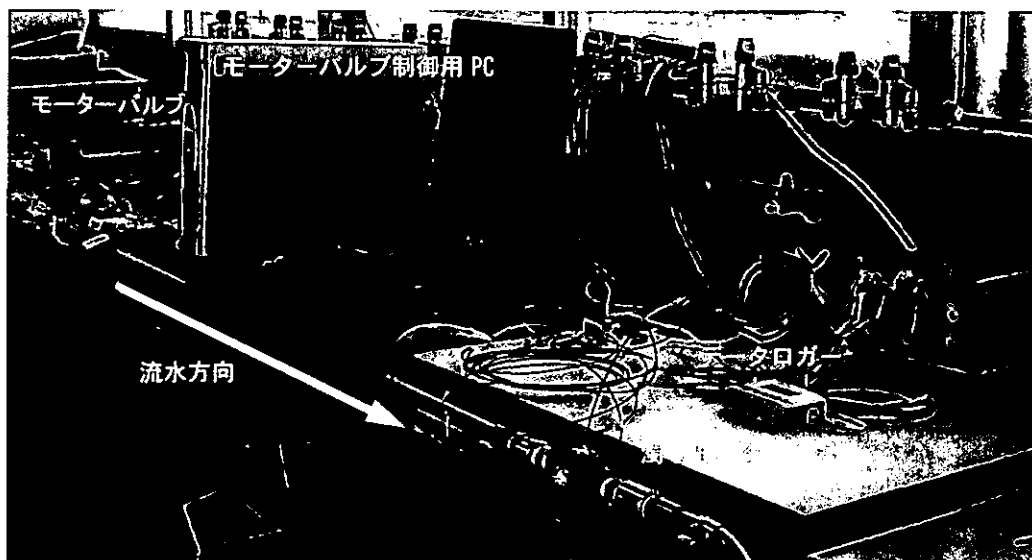


写真3 濁りモニタ2号機の設置

* これまでの研究発表の経緯

山岸貴行, 松井佑介, 村瀬良太, 松井佳彦, 井上隆信, 松下拓, 給水栓末端における濁度水質モニタ, 平成15年度土木学会中部支部研究発表会(長野, 2004年3月), 講演概要集 pp. 603-604。

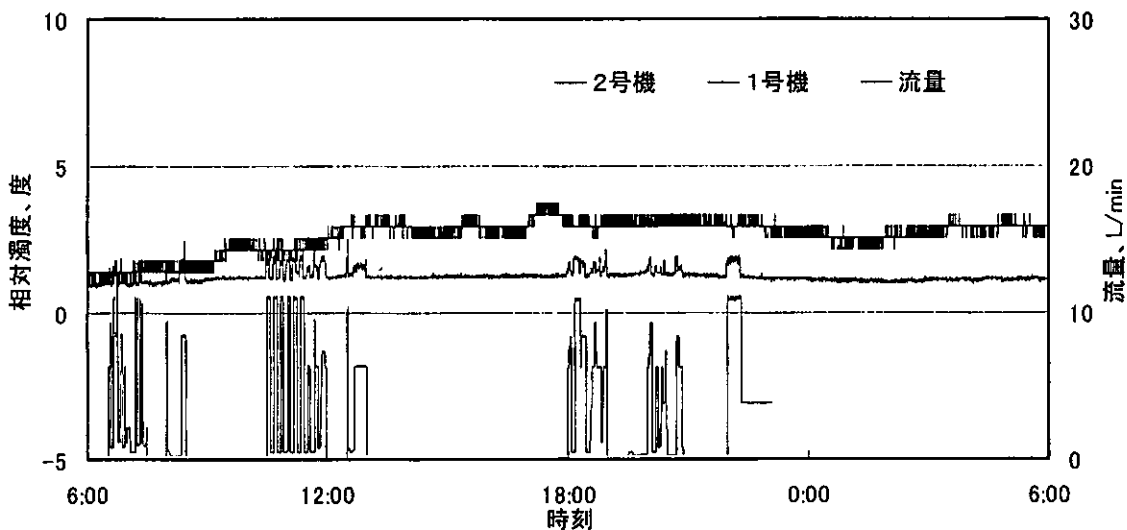


図8 濁りモニタ1, 2号機の出カ

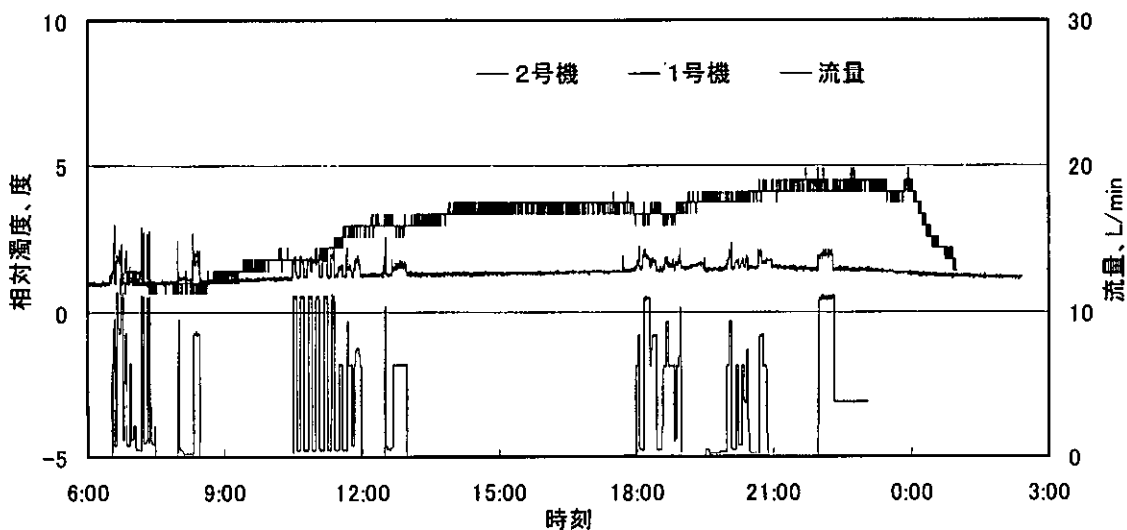


図9 濁りモニタ1, 2号機の出カ

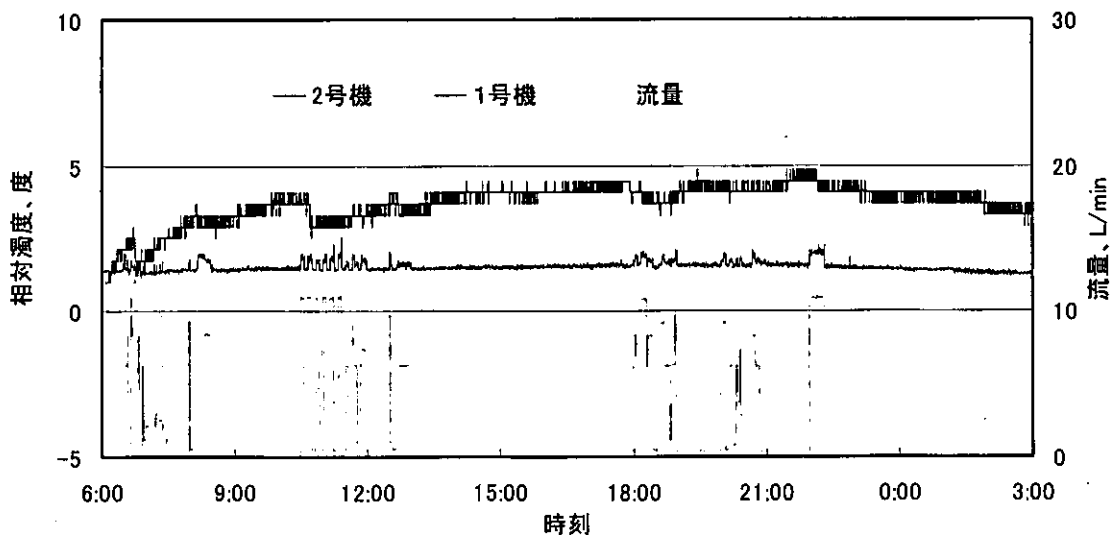


図10 濁りモニタ1, 2号機の出カ

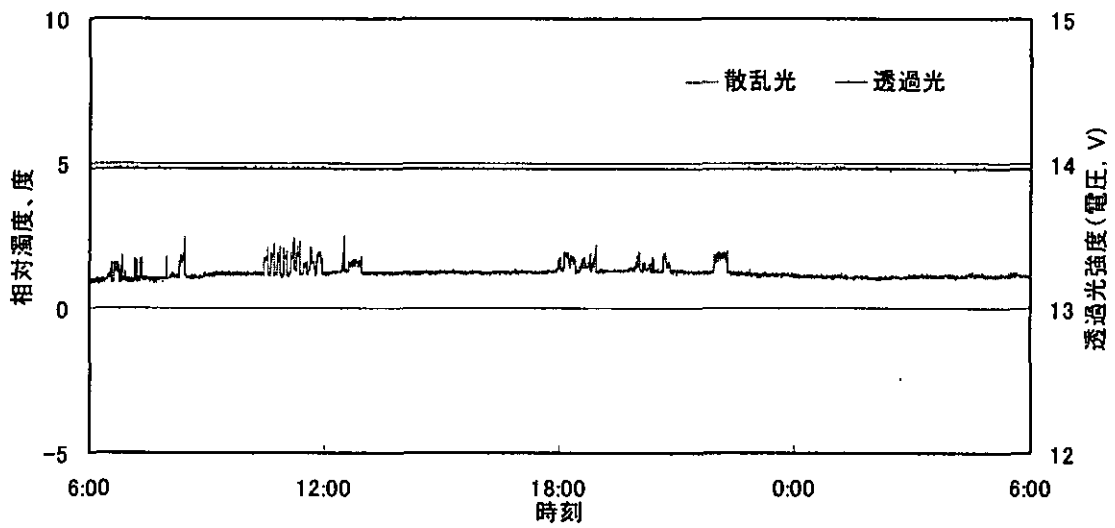


図 1 1 濁りモニタ 1, 2号機 の出力

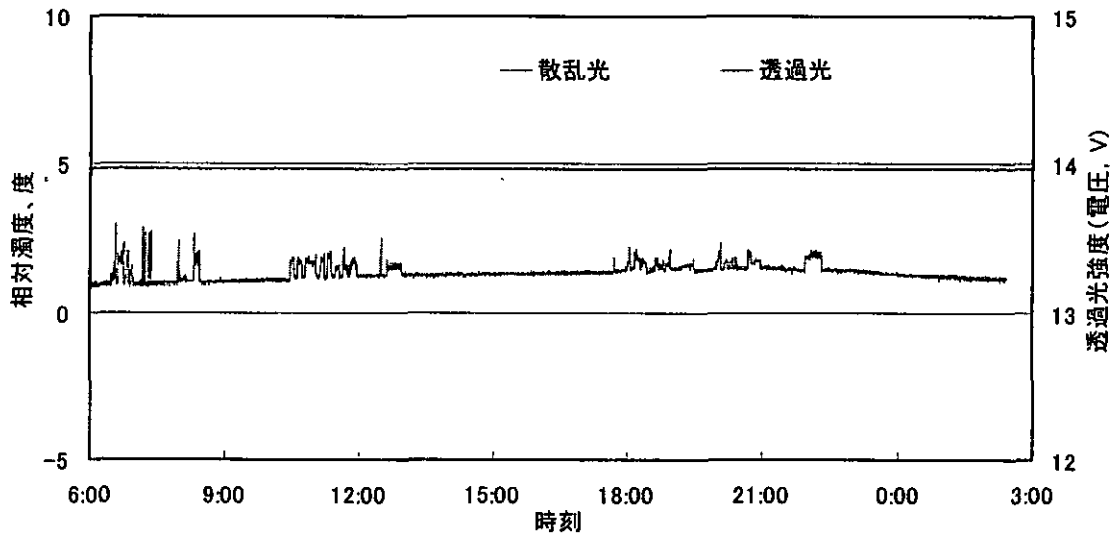


図 1 2 濁りモニタ 1, 2号機 の出力

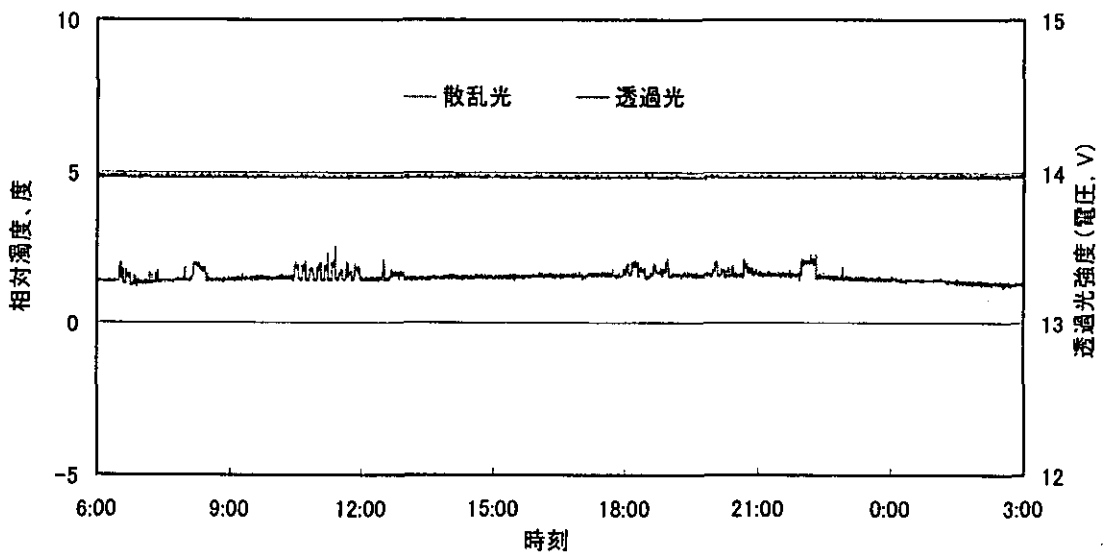


図 1 3 濁りモニタ 1, 2号機 の出力

Ⅱ-1-5. 給水システムのリスク管理に関する研究(3) ;

リスク管理目的に合致した異常現象の検出方法に関する基礎的研究、「水量、水質(EC,ORP)異常等の検出」

分担研究者 長岡 裕 武蔵工業大学工学部

1 はじめに

近年、給水栓からの逆流、貯水槽における水質悪化、経年劣化などに起因する水道水質の異常などの事故が報告されているが、これらを検知するシステムの開発は未だ十分であるとはいえない。

本研究は、各戸の水道メータ付近に設置した流量計，圧力計，電気伝導度センサーによって、水質の異常や水量の異常を速やかに検出し、ユーザーに警報を発するシステムの構築を目指している。想定しているシステムとしては、各戸に各種センサーを併設した水道メータと集合住宅への引き込み管に1個のメータを設置し、各種センサーから得られる流量データ及び水質データの時系列データを逐次、1箇所の監視システムに送ることで、異常が発生した場合に各戸に警報を発するというものである (Fig. 1 参照)。警報が発せられることで、当該需要者はもちろん、他の需要者に健康的リスクの低減や、経済的損失の低減を達成することが可能となる。本システムでは、漏水などの流量異常、水道水中の水質異常に起因する電気伝導度の上昇、管内閉塞による圧力の異常などを検出することが可能である。本年度は、実験室において異常システムを試作し、実際に運転することによって、本システムの適用可能性について検討したので、報告する。

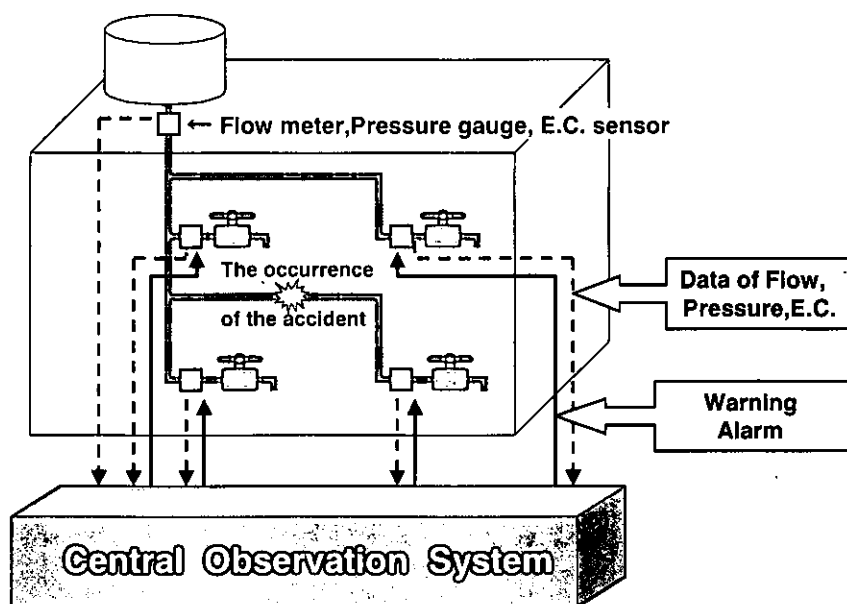


Fig. 1 Image of accidents detection system in an apartment

2 異常検出システムの概要と構成

2.1 想定する異常検出システムの概要

各種センサーを併設した水道メータは集合住宅の1個/1戸に設置されており、集合住宅への引き込み管にさらに1個のメータが設置されている。流量データ及び水質データの時系列データを逐次、1箇所の監視システムに送られる。監視システムにおいて異常を検出した場合には各戸に警報を発することができるというものである。(Fig.1 参照)

2.2 異常検出システムの構成

異常検出システムは、配管内に流量計、圧力計、電気伝導度センサーを組み込んだものとする。Fig.2 に高置水層方式における検出器の設置の模式図を示す。このシステムでは、蛇口を開くと流量 Q が上昇し、圧力 P は減少することを利用して、これらの検出器からのデータにより、配管における水理学的な異常の検出を可能にするものである。また、電気伝導度のデータより、水質異常の検出を可能とするものである。

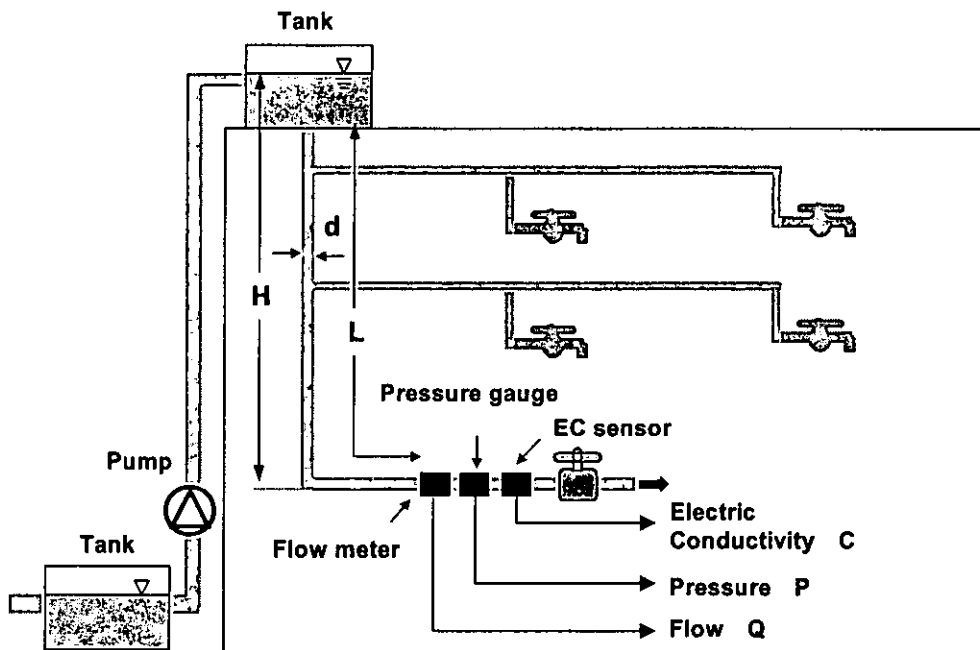


Fig.2 Composition of an unusual detection system

2.3 異常検出システムにより検出が可能な異常現象

2.3.1 流量異常の検出

式(2.1)に示すように集合住宅入口における流量 Q_{in} と各戸の流量 Q_{out} の和に差が生じれば、配管内からの異常漏水があることになる。

$$Q_{in} \neq \sum Q_{out} \quad (2.1)$$

2.3.2 電気伝導度の異常の検出

電気伝導度の上昇は、イオン濃度の上昇（金属の溶出など）による異常が生じたことになる。特に水の使われていないときにおいて高い電気伝導度が見られれば、管内滞留水に金属の溶出が見られたことになる。（Fig.2 参照）

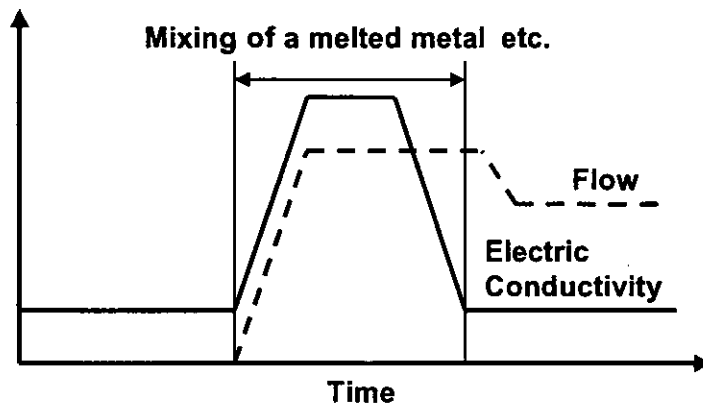


Fig.2.2 Detection of accidents of electric conductivity

2.3.3 管内における負圧と逆流の検出

何らかの理由により負圧と逆流が発生した場合、流量および圧力の検出データから確認することが可能となる。（Fig.3 参照）

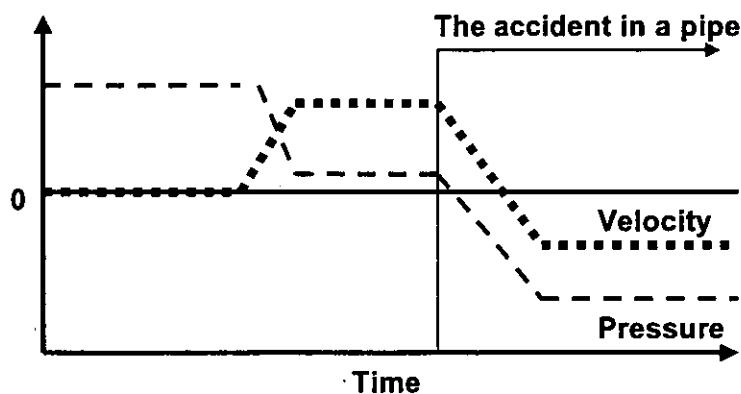


Fig.3 Detection of negative pressure and an adverse current

2.3.4 管内閉塞などの検出

蛇口をひねって水を出している状態では、式 (2.2) に示されるベルヌーイの定理によって、蛇口における速度水頭および圧力水頭の和は、受水槽における全水頭 H よりも管内損失分だけ小さくなることが知られている。しかし、管内が異物により閉塞するなどの異常

が発生すると、管内の損失が通常時より大きくなり、蛇口における全水頭を計算した結果と異常の無いときの全水頭を比較することによりこれを容易に検出することができる。

(Fig. 4 参照)

$$H = \frac{v^2}{2g} + \frac{p}{\rho g} + z + h_f \quad (2.2)$$

H : 全水頭 v : 流速 p : 圧力 z : 位置水頭 h_f : 管内損失 ρ : 水の密度 g : 重力加速度

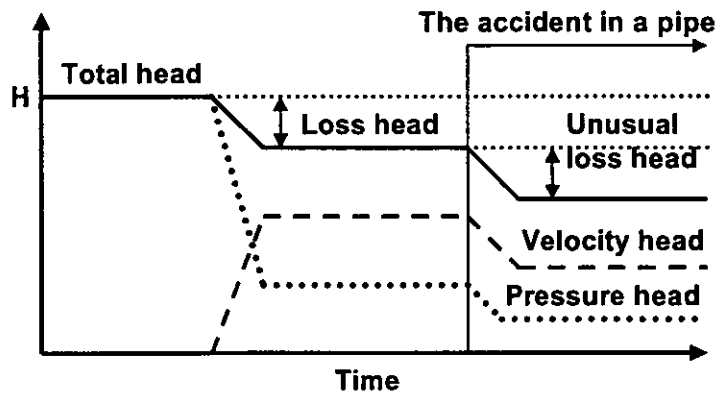


Fig. 4 Detection of the blockade in a pipe

3 実験装置及び測定方法

3.1 実験装置

Fig. 5 に実験に用いた装置の概略を示し, Photo. 3.1 から Photo. 3.8 は実験装置の主要部を示す。実験装置は, 本学水圏環境工学研究室中 2 階にある蛇口に接続している。既設の蛇口にステンレス製のフレキシブル水道管を接続し, それに管径 13 mm の塩ビ管が接続してある。その塩ビ管に流量計, 圧力計, 電気伝導度センサーが取り付けられており, その塩ビ管は水道が通常に使えるように, 出口に新たに蛇口を設置した。

出口に蛇口を設置することで水道の通常時の圧力, 流速, 電気伝導度の状況が分かるようになった。流量計, 圧力計, 電気伝導度センサーから出力されるデータは, A/D 変換器を通し, アナログデータをデジタルデータに変換しパソコンに取り込むようになっている。A/D 変換は, Visual Basic6.0 によって作成されたプログラムによって行われ, 研究室における通常の水道使用に伴う, 流量, 圧力, 電気伝導度の変化を 24 時間以上連続で取得できるものとした。データはパソコンのハードディスクに連続的に収納するものとし, 後ほどデータの解析を行うものとした。

Table1 に実験に用いた各測定器等のスペック等を示す。電気伝導度センサーは, 内径 13 mm の塩ビ管に対応させるためにホイーストブリッジと交流発信器を用いて自作した。

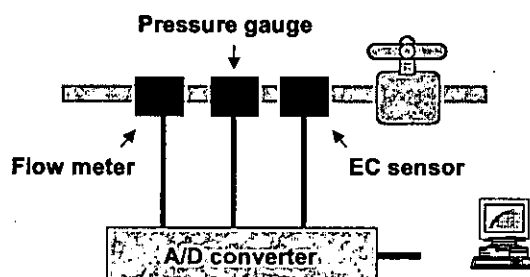


Fig.5 The schematic diagram of experiment equipment

Table1 Specification of experiment equipment

機器	仕様
電磁流量計	東京計装 (株) MGM1010K
デジタル圧力計	長野計器 (株) GC61 デジタル圧力計
電気伝導度センサー	自作
直流安定化電源	AND (株) AD-8723
交流発振器	AND (株) AD-8623
パソコン	Windows パソコン (OS: Windows2000)
A/D コンバーター	CONTEC AD16-16U(PCI)EH 非絶縁型 16bit

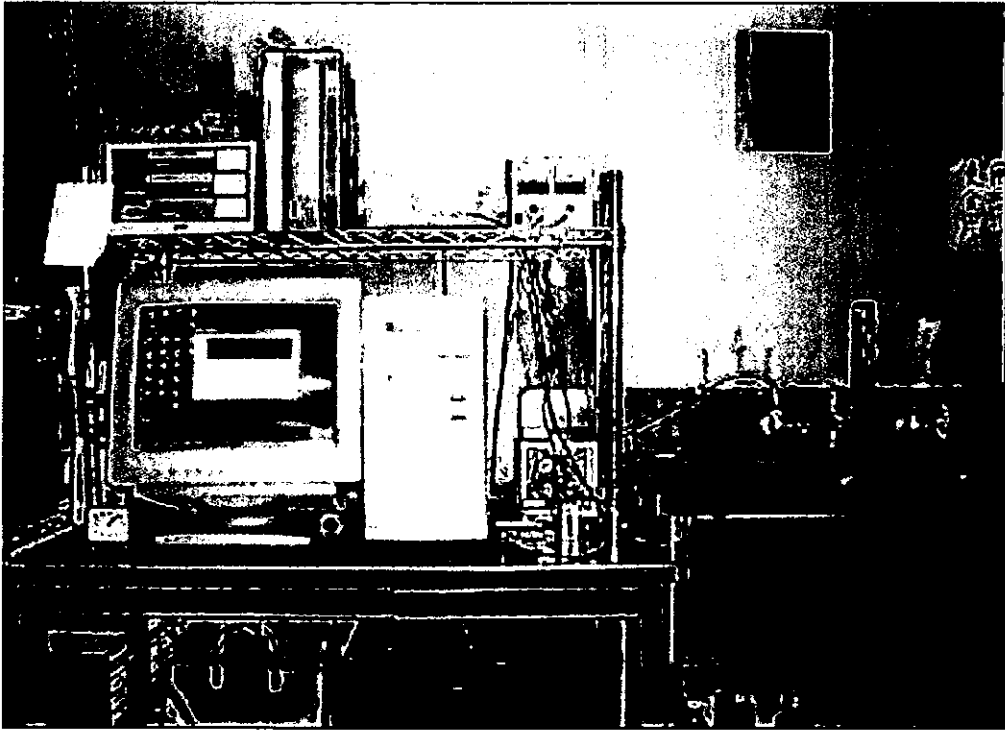


Fig. 6 The whole experiment equipment figure

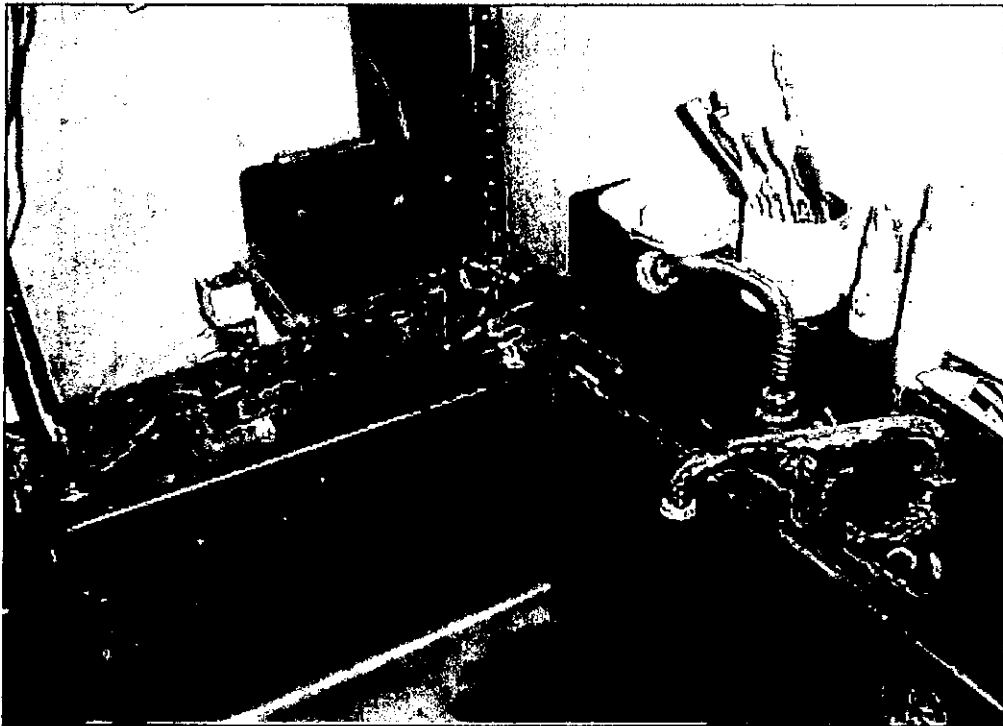


Fig. 7 The whole experiment equipment figure (Near a faucet)