

琉球大学学術リポジトリ

微量水柱測定装置の開発

メタデータ	言語: 出版者: 琉球大学教育学部 公開日: 2007-10-25 キーワード (Ja): キーワード (En): 作成者: 新里, 祐宏, 糸洲, 守人 メールアドレス: 所属:
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12000/2115

微小水柱測定装置の開発

新里祐宏・糸洲守人

A Development of A Low Level
Aqua-Height Measuring Instrument

Sukehiro SHINZATO*・Morito ITOSU**
(Received April 28, 1995)

1. 緒言

本研究室では数年来、水置換型空気流量計の研究に取り組んでいる¹⁾²⁾。この装置は圧力を一定に保ちながら供試装置に一定量の空気を供給し、その供給時間から流量を測定する方式の流量計である。したがって、本装置では空気圧制御と、その制御特性を評価するために、リアルタイムで圧力変動を測定しなければならない。圧力、レベルの測定法については多数の方式が提案され、また、確立した方式も多い³⁾。しかしながら、微小圧力を電氣量に変換できるダイヤフラム式は一般に高価で、測定値をパソコンに取り組むためには、さらに付属の装置が必要となる。一方、レベル測定において、レベルを電氣量に変換する方式で広く利用されているものは、レベルの一定基準値からの高低を検出するためのもので、レベルと基準値が共に変化する場面での相対変動を検出するものではない。

そこで、水柱で数mmの微小圧力変動を水柱(レベル)に置換して測定するシステムを開発したので報告する。先に示した方式(文献1)2)では環境温度に対する安定性が悪く頻繁に校正する必要があったので、その点も改良した。また、パソコンをシステムに組み込み、校正及び計測の自動化も併せて行っているが、ここでは回路の特性について報告する。

2. 液面変位検出回路

今回製作した液面変位検出回路を図2-1に示す。主な改良点は、A/D変換器を利用したパソコン処理によるシステムの自動化と環境温度に対する安定性の向上、電極をφ3のアルミニウム棒からφ0.5の白金線に換えて腐食を防止したこと、回路内に発信器を組み込んでシステムを簡素化し

たことなどがあげられる。

回路は発信器、センサー回路、整流・平滑回路、差動増幅回路、フィルター回路で構成されている。すべての回路でオペアンプにはLF756、ダイオードには1S1588を使用している。

発信器は1kHzの正弦波を出力させるために、いくつかの回路を試みたが正弦波にひずみがあったり、ダイオードの温度変化によるドリフトが大きくなり、出力電圧の安定性に問題があった。そこで、回路内の2個のダイオードを近接させることで、温度の影響を相殺した。この発信回路はSin出力とCos出力の2つの出力端を持つが、波形良好なSin出力端を利用した。

センサー回路は長さ100mmの白金線2本を電極にし約0.5%の食塩水に差し込む。白金線は上部を固定して導線と接続し2本の電極換の電圧を測定する。下部は60mmまで食塩水に差し込めるうようにしてある。

液面変位検出の原理は発振回路から正弦波電圧をかけて、液面変位を白金線電極の間の電圧の変化に変換している。同じ回路が2回路あって、一方は基準電圧回路で、液面水位を一定に保った基準槽内に白金線を差し込み基準センサーとした。もう一方は検出槽に白金線を差し込み液面変位を検出する液面変位検出センサーとして機能する両センサー型の構成になっている。

基準電圧回路には2つの機能がある。一つは検出センサーの温度補償用として機能し、他の一つは検出センサー出力のうち基準センサー出力分をカットして、基準位置からの変化量だけを取り出すために機能する。そのことで、A/D変換器の出力幅0~5Vを有効に使い、測定精度を上げることができる。

* Tech. Educ., Coll. of Educ., Univ. of the Ryukyus
** Minamidaito Junior High School, Okinawa

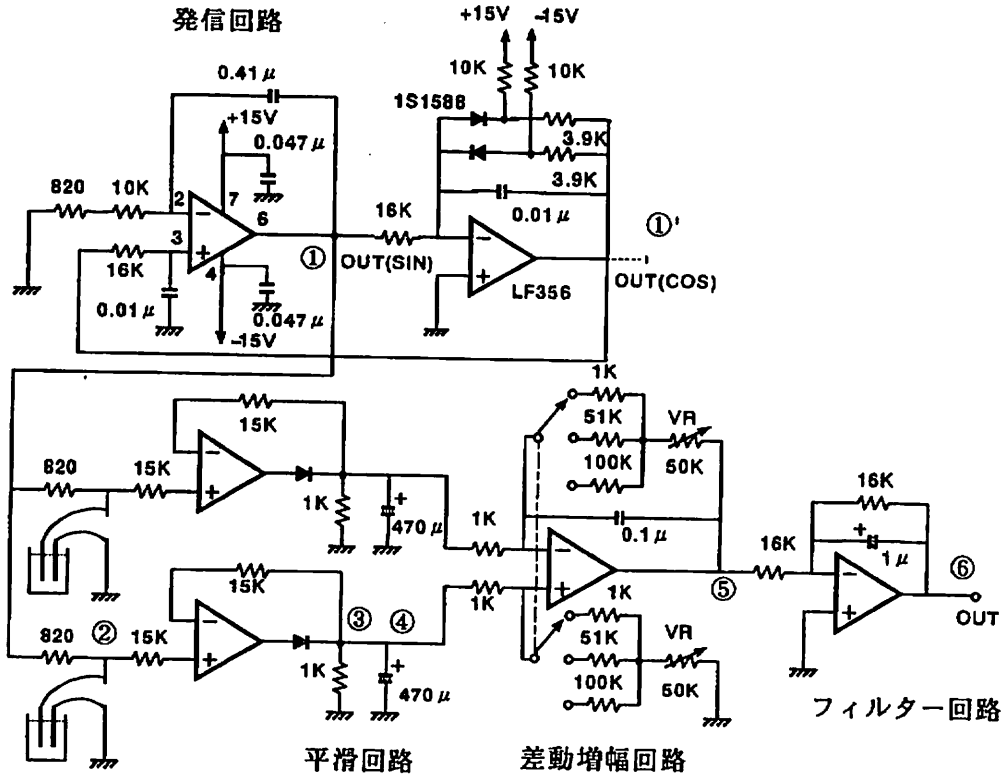


図 2 - 1 液面変位検出回路

発振回路からセンサー回路に正弦波電圧をかけたとき、センサー出力電圧は後段のインピーダンスが低いと交流波形に歪みが生じるため、オペアンプのボルテージホロワを利用した。ボルテージホロワは増幅度が1なので電圧を大きくする作用はないが、入力インピーダンスが高く、出力インピーダンスが小さいという動作特性がある。したがって、ボルテージホロワのはたらきでセンサー回路の出力が保証される。

センサー出力電圧の整流方法はいろいろあるが、例えば、センサー回路と同電源にはダイオード4個の全波整流回路を利用すると良好な波形は得られない。よって、センサー回路と平滑回路以降を切り離して別電源にする必要がある。センサー回路と整流回路をコイルによって切り離す方法もあるが、1電源ですむ実用的なダイオード1個の半波整流回路にした。半波整流回路は後段のオペアンプの入力インピーダンスが高いため(ほぼ無限大)全波整流とリップル率があまり変わらない程度にまで整流できた。

両方のセンサー出力電圧は半波整流し平滑され、比較的なめらかな直流となってそれぞれ差動増幅回路に入力される。増幅度はオペアンプの差動増幅回路の動作特性により入力抵抗と帰還抵抗の比で決まる。入力抵抗が1KΩ、帰還抵抗が1KΩ + VR50KΩなので最大51倍に増幅でき、帰還抵抗の切りかえで約100倍と150倍の増幅度も利用できるようになっている。つまり、基準センサー出力電圧と液面変位センサー出力電圧は、差動増幅回路によって電圧差がとられ1~150倍に増幅し出力できる。また、最終の出力電圧の調整を容易にするため、両センサー回路の増幅度が同じ値になるようにVRには2連可変抵抗器を用いた。

出力電圧は、最終段のフィルター回路で平滑され直線的な直流電圧が出力される。よって、液面検出回路は液面変位を直流電圧に変換して測定することができ、A/D変換器でパソコンに取り込み計測処理できる。液面検出回路の出力電圧は、電源電圧15V近くの飽和電圧まで増幅できるので、A/D変換器の変換範囲が0~5VであればVR

(2連可変抵抗器)で0~5Vに調節すればよい。

図2-1に示す各点(①~⑥)の電圧波形を観測した。そのときの条件は次の通りである。基準センサーを先端から30mmまで食塩水に差し込み基

準の位置とし、液面検出センサーを出力電圧が4.5Vになるように上方に移動して調節し、シンクロスコープで測定した各点の波形を図2-2に示す。

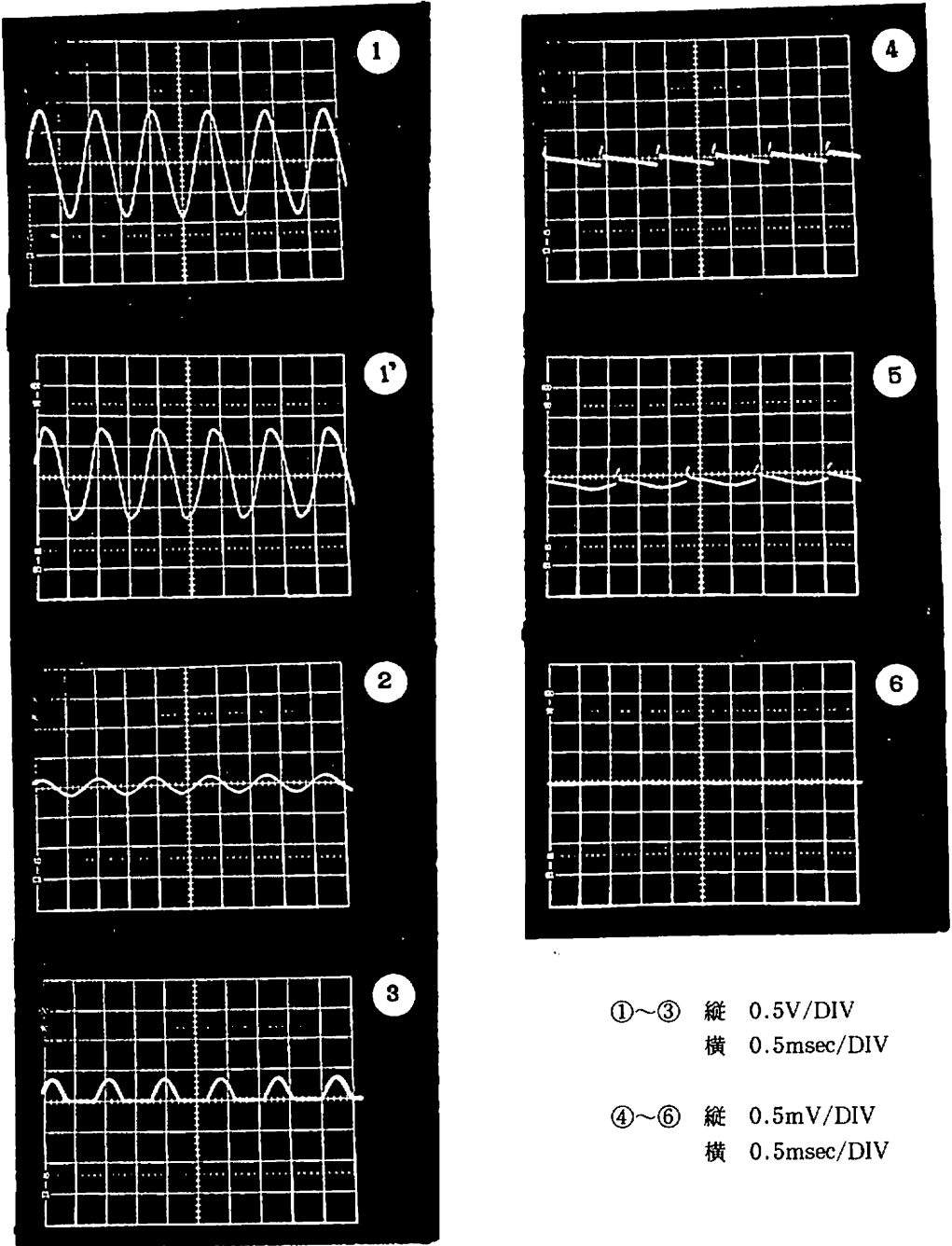


図2-2 液面変位検出回路の各点の波形

- ①は発信回路から出力されるSin波形交流電圧 (1 KHz)。
- ①'は発振回路から出力されるCos波形交流電圧 (1 KHz)。
- ②は①が液面検出センサーの白金線電極間に分圧し出力された交流電圧波形。
- ③は②の液面検出センサーの交流電圧を半波整流した波形。
- ④は③の半波整流電圧を平滑しなめらかになった直流電圧の波形。
- ⑤は④で平滑された両方のセンサー出力電圧差を増幅した波形。
- ⑥は⑤をフィルター回路で平滑しはば直線になった最終出力電圧。

なお、①～③の波形は0.5V/DIV、0.5msec/DIVで表示しアースは画面の中央線と一致している。④～⑥は5mv/DIVで波形を詳細に観察するため、アースは画面の下方に位置する。また、③の半波整流波形は平滑回路を切り離して測定した。

3. 特性試験

3.1 温度特性試験

液面検出回路の基準電圧回路に、電圧設定が容易にできるポテンショメータを利用して見たが、室温および液温の変化に対して出力電圧が大きく変動することが判明したため、液温と出力電圧の関係を調べた。また、その後改善した両センサー回路についても同様に試験した。試験は基準電圧回路にポテンショメータを使用したとき、食塩水0.5%、200CC、増幅率21倍、センサー幅(白金線電極の間隔)20mm、ポテンショメータ154Ω、食塩水温度30℃、室温28℃～30.5℃で出力電圧が約5.5Vになるように液面検出センサーを初期設定し、液温を15～39.5℃に変化させ出力電圧を測定し温度による影響を試験した。同様に基準センサーを使用したときの出力電圧も測定した。その時、使用した電圧計はデジタルマルチメータ(3 1/3桁)である。結果を図3-1に示す。基準電圧回路にポテンショメータを使用すると、液温変化による出力電圧の変動が大きいく。両センサー回路にすることで大幅に改善できた。実験で液面変位検出回路を使用するのは短時間(10～60sec)

なのでその都度校正することで液温変化の影響を少なくすることは可能だが、両センサー回路によって校正間隔を長くとることが可能となり、校正に要する時間的負担を大幅に軽減できる。

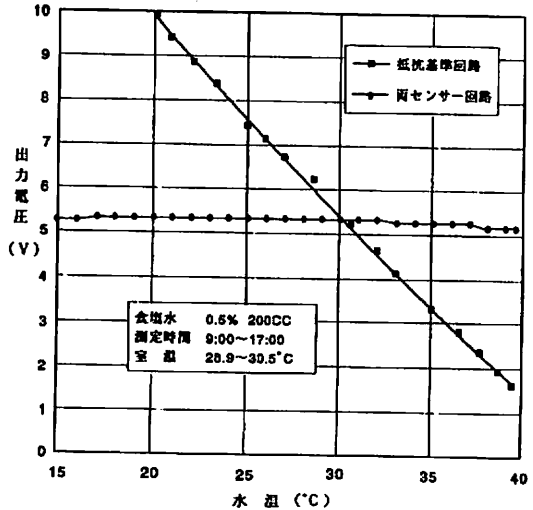


図3-1 温度特性

室温をパラメータとした実験は行っていないが、図から明らかのように両センサー回路の場合、液温と室温のトータルの変化に対して安定性が良好なので、測定時間中の室温変化によると見られる変動は観測されていないことになる。室温変化が一般に緩やかであることを考えると、実験前の校正で十分な精度が確保できる。

3.2 静特性試験

液面変位検出回路の両方のセンサーを幅20mmで固定し、約0.5%食塩水を200cc入れたピーカーに差し込む。液面検出センサーは読み取り顕微鏡台に固定し、電極の先端から50mm食塩水に差し込んだ状態で、基準センサーを出力電圧が約0V(0.132V)になるように食塩水に差し込み固定して基準電圧とする。そこで、液面を下げる代わりに液面検出センサーを1mmずつ引き上げて出力電圧を測定する。

試験結果図3-2に●印で示されている。変位量と電圧の関係は直線的関係にない。図中の実線は試験結果を3次式によって近似できることを示している。

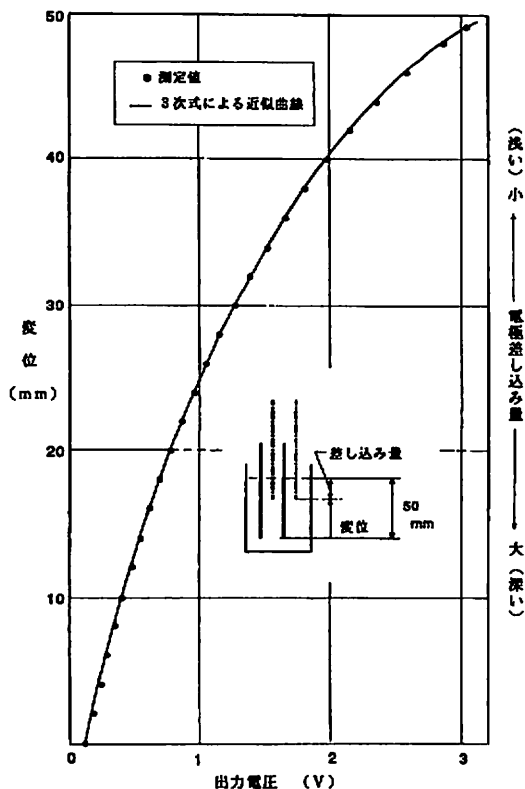


図3-2 静特性

実際に使用される場面では、まず、校正の段階として、パソコンに取り込んだ静特性データ（4点）から近似式を求めておく。次に実験の段階に入り、パソコンに取り込んだ液面変位検出回路の出力電圧値と先に求めておいた近似式から計算処理さしれ、液面の変動量が算出される。

3.3 動特性試験

図3-3のように、計測対象である液面を正弦波動的に変動させる替わりに、偏心カムを使って液面検出センサーの方を正弦波運動させ、動特性試験を行った。偏心カムはステッピングモータによって駆動され、発信器から駆動回線へ入力するパルスの周波数を変えることによって回転速度を変えている。使用したモータは200パルスの入力で1回転する。

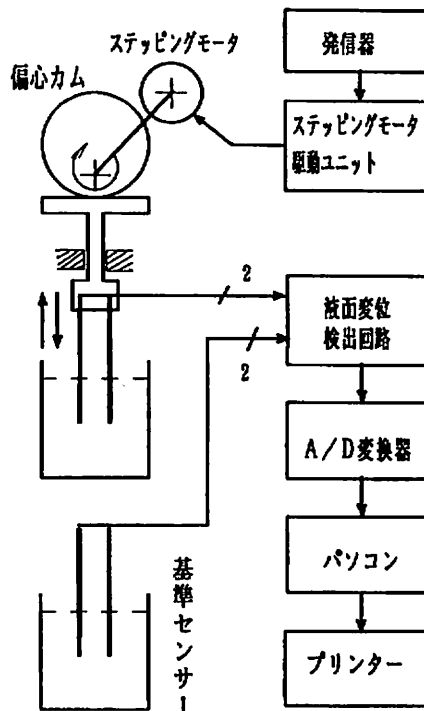
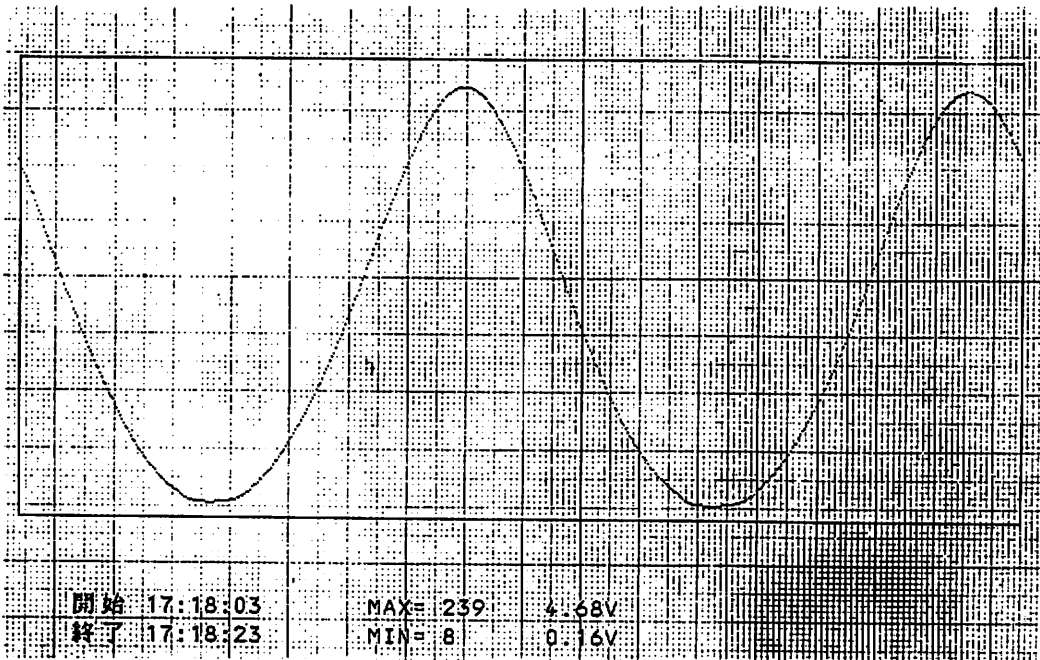


図3-3 動特性試験システム

センサーの正弦波運動に対して出力電圧も正弦波状に変化する。ここでは、ディスプレイ上の出力波形をハードコピーして、モーターの回転数の増加に対する振幅の減少率で動特性を評価した。モーターの回転数は0.1 (rps) を基準にして、0.25 (rps) ずつ増加させた。以後は、モーターの回転数 (rps) を周波数 (Hz) として表記する。それぞれの周波数において、センサー幅を10, 15, 20 (mm)、基準センサーの差し込み量50, 40, 30 (mm)、及びカムストローク（最大液面変位量に相当する）を11, 15, 20 (mm) として、各条件の組み合わせで実験を行った。

なお、センサーのアナログ出力値をデジタル値に変換するために、自作の8ビットA/D変換器 (ADC0804) を使った。BASICプログラムによるサンプリング数は約400個/secで、本実験のためには十分な変換速度をもつものである。

① 0.1HZ(ストローク15mm、センサー幅10mm、基準センサー差し込み量40mm)



② 0.5HZ(ストローク15mm、センサー幅10mm、基準センサー差し込み量40mm)

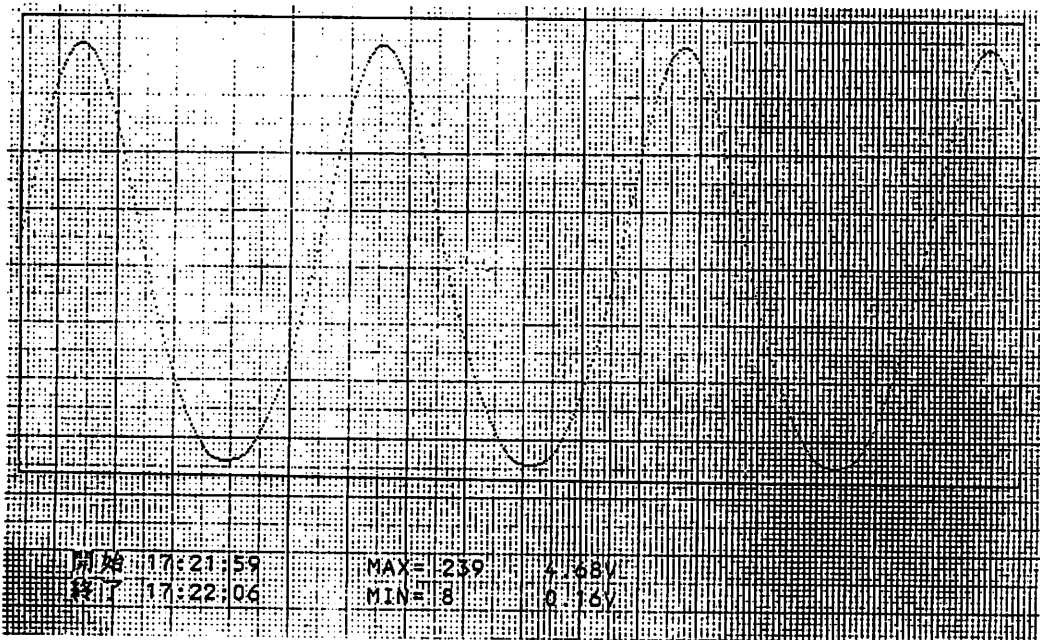


図3-4 センサー差し込み量と出力電圧の関係(例)

振幅の減少率の算出に当たっては、応答遅れのない（減少率＝0）ことが確かめられた0.1（Hz）の波形を基準にした。出力波形の例を図3-4①、②に示す。図の①、

②は（ ）内の条件下でのセンサー差し込み量と出力電圧の関係を示すものである。波形で上が鋭く、下に膨らみがあるのは、静特性が直線的な関係にないことに起因している（図3-2）。

表3-1 周波数と振幅減少率（例）

周波数 (Hz)	A/D出力		減少率 (%)	周波数 (Hz)	A/D出力		減少率 (%)	周波数 (Hz)	A/D出力		減少率 (%)
	最大	最小			最大	最小			最大	最小	
0.1	250	6	0	0.1	250	8	0	0.1	246	7	0
0.25	250	6	0	0.25	250	8	0	0.25	246	7	0
0.50	250	6	0	0.50	250	8	0	0.50	245	7	0.4
0.75	250	6	0	0.75	250	8	0	0.75	244	8	1.3
1.0	249	6	0.4	1.0	249	8	0.4	1.0	244	8	1.3
1.25	248	7	1.2	1.25	249	9	0.8	1.25	243	8	1.7
1.5	247	7	1.6	1.5	247	9	1.7	1.5	241	8	2.5
1.75	247	7	1.6	1.75	247	9	1.7	1.75	239	9	3.3
2.0	246	8	2.4	2.0	247	9	1.7	2.0	238	10	5.3
2.25	245	8	2.8	2.25	245	10	2.9	2.25	235	13	8.3
2.5	244	8	3.2	2.5	244	11	3.7	2.5	232	19	12.6
2.75	244	9	3.6	2.75	242	15	6.2	2.75	230	26	17.0
3.0	240	11	6.0	3.0	240	19	8.7	3.0	226	34	22.9

①
カムストローク 15mm
センサー幅 20mm
基準センサー差込 50mm
増幅率 約26倍

②
カムストローク 15mm
センサー幅 20mm
基準センサー差込 40mm
増幅率 約15倍

③
カムストローク 15mm
センサー幅 20mm
基準センサー差込 30mm
増幅率 約7倍

表3-1①、②、③には、周波数を0.1～3（Hz）間で変化させたときの出力電圧の最大値と最小値がA/D変換器の出力値で示されている。

条件としてカムストローク（15mm）を一定にして、基準センサー差し込み量に対する出力例を示すものである。以後、

$$\text{振幅} = \text{最大値} - \text{最小値}$$

$$\text{減少率} = \frac{(\text{0.1Hz時の最大値} - \text{最小値}) - (\text{ある周波数時の最大値} - \text{最小値})}{\text{0.1Hz時の最大値} - \text{最小値}} \times 100 (\%)$$

と定義する。増幅率はセンサー差し込み量とともに大きくなっているが、差し込み量の増加にとも

ない振幅は減少するので、すべての条件において振幅をほぼ同じ値にするためである。

以上のように処理された実験値をもとにセンサー幅、基準センサー差し込み量、カムストローク（液面変位量に相当）と振幅減少率の関係を示したのが図3-5、図3-6、図3-7である。

次のように評価できる。

1) 図3-5は、液面変位（カムストローク）と、センサー差し込み量を一定にしたときのセンサー幅と振幅減少率の関係を示すものである。センサー幅の顕著な影響を読み取ることはできない。仮定した中央値（図中の実線）に対し ± 2.5 (%)のばらつきの範囲内にあり、センサー幅は10~30 (mm)の間で任意に選択すればよい。

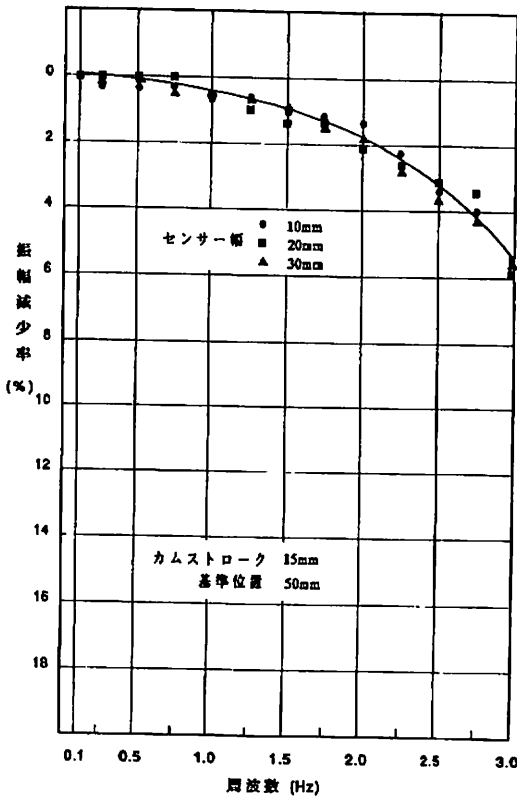


図3-5 センサー幅と振幅減少率

2) 図3-6は、センサー幅とセンサー差し込み量を一定にしたときの液面変位の増加にともない応答性が悪化しており、周波数と共にその傾向は増大する。液面変位速度の増加が入力値の変化速度を増大させるためである。

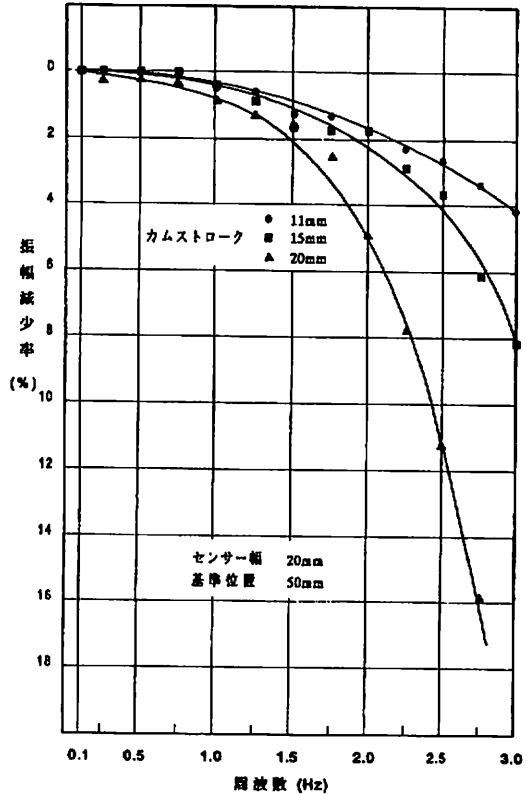


図3-6 カムストロークと振幅減少率

3) 図3-7は、液面変位（カムストローク）とセンサー幅を一定にしたときのセンサー差し込み量と振幅減少率の関係を示すものである。センサー差し込み量が大きくなるに従い変位に対する出力電圧の変化が小さくなり（図3-2）、結果的に検出回路への入力値の変化速度が小さくなるためである。

以上のことから、液面変位回路の使用にあたっては、センサー差し込み量を50 (mm) 前後に設定し、センサー幅は10~30 (mm)の間で任意に設定すればよいことになる。液面変位は小さいほど応答性は良くなるが、実際の使用に際しては液面変位は計測対象量であり、変動する量である。しかしながら、この液面変位回路は液面変位を小さくするように制御動作するシステムに組み込まれるので、応答性は良くなる方向で使用されることになる。

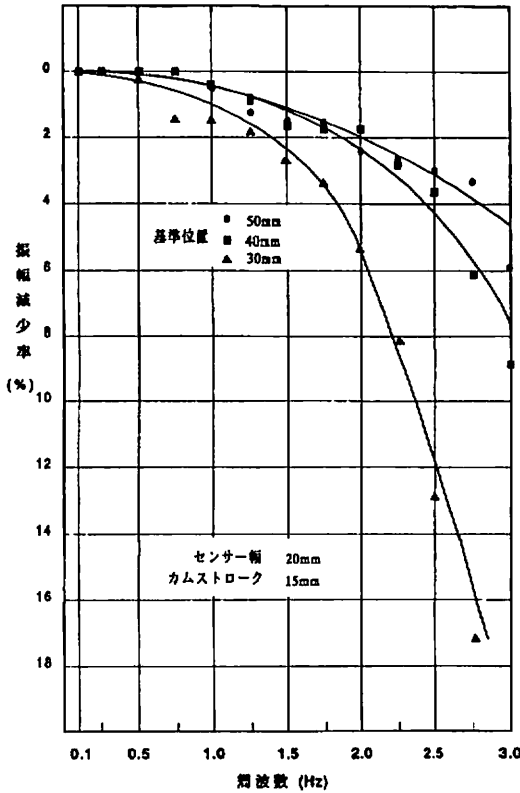


図 3-7 基準位置と振幅減少率

応答性に大きな影響を与える要因としては、食塩水の濃度と、差動増幅回路とフィルター回路のコンデンサー容量が考えられるが系統的な検証は今後の課題である。分献 1) に示すように、液面変位の最高周波数は 0.38 (Hz) となっており、図 3-5、6、7 から明らかのように 0.5 (Hz) 以下ではほとんど振幅が減少していないため、ここで開発した回路が液面変位検出回路として十分に機能することが確認できた。

なお、感度は A/D 変換器の分解能 (8 ビット、 $1/256$) に依存する。液面変位が 0 ~ 10 (mm) のとき出力電圧が 0 ~ 5 (V) になるように設定

すると感度は 0.04 (mm) となる。図 3-2 に示すように変位量と出力電圧の関係は直線的ではないが、そのとを考慮しても 0.1 (mm) のオーダーは保証されている。

4. 結び

本研究室で数年来、開発に取り組んでいる水置換型空気流量計の圧力制御のための圧力検出器を新たに開発した。水柱圧力を電圧に変換して測定する方式のもので、1 (mm) 前後の水柱まで検出できる精度を目標に行われた。

特性評価の結果は以下の通りである。

1) 環境温度に対する安定性が改善され、校正間隔を大幅に延ばすことができ、校正に要する時間的負担を軽減できた。

2) 水柱と出力電圧は直線的な関係にはない。しかし、A/D 変換器を介してパソコンで処理することで、両者の関係を 3 次式で表現し、圧力制御のための制御信号を作ったり、水柱 (液面) 変動の記憶、再生が可能になった。

3) 動特性はセンサー幅、センサー差し込み量、水柱 (液面) 変動量に大きく影響されるが、水柱 (液面) 変動速度 0.5 (Hz) までは出力が低下せず、水置換型空気流量計が要求する 0.35 (Hz) には十分追従できる。

4) 静特性から判断して、感度は 0.1mm のオーダーなので、目標にした 1mm 前後の精度は実現できた。

参考文献

- 1) 新里祐宏：水置換型空気流量計の研究 (第 1 報)、琉球大学教育学部紀要、第 35 集、第 2 部、143、(1989)
- 2) 宮城安勝：空気量測定装置 (脈流特性)、琉球大学教育学部技術教育科、昭和 63 年度卒業研究
- 3) 工業計測技術大系 4 圧力・真空・レベル測定、日刊工業新聞社