

超音波距離計の製作と実験

指導教員 小林 和彦教授

知能機械システム工学科

1 0 1 0 1 5 2

芝 大和

目次

第1章	緒言	2
第2章	超音波についての調査	3
2.1	超音波とは何か	3
2.2	超音波の発生原理	5
2.3	超音波エネルギーについて	6
2.4	超音波の反射について	7
第3章	超音波センサーについての調査	8
3.1	圧電逆効果	9
3.2	圧電直接効果	10
3.3	超音波センサーの構造	11
3.4	距離測定器の回路原理	12
3.5	AND回路とFLIP FLOP回路について	13
第4章	実験方法及び装置	14
4.1	研究に使用する機器	14
4.2	実験方法	18
第5章	超音波による距離測定の実験と考察	19
5.1	実験目的	19
5.2	実験結果	19
5.2.1	超音波の往復伝播時間の測定結果	19
5.2.2	超音波距離測定器による距離測定結果	21
第6章	結言	23
	参考文献・資料	24
	付録	25

第1章 緒言

超音波は私たちの身の回りで目立たないが意外に身近で利用されている。

主に超音波はセンサーとして使用されているが、超音波は人の感覚では感じる事の出来ないものであるから、それを扱うのは困難なことである。考慮しなければならない点としては、

- (1) 1つ目は精度（分解能）で、超音波センサーはパルス反射法と利用していて、距離測定精度は波長で決まる。そのため高精度化の為に高い周波数の超音波を用いる事が有利である。しかし、空気中では周波数が高くなる程、減衰率が大きくなり測定距離が短くなる。また減衰による受信レベルの変化が誤差につながります。
- (2) 2つ目は指向特性で、これはセンサーの方位分解能を決める。これも精度と同じく周波数で決まり、低い周波数では指向角も大きくなる。
- (3) 3つ目は温度による影響で、超音波の反射を用いるセンサーでは測定値は音速をパラメータとして決まる。特に空気中での音速は温度による変化が大きい。
- (4) 4つ目は対称面の影響で、対称面の面粗さなどの表面状態にほとんど依存せず位置や姿勢を測定できません。これは、音波が対象面上のある程度広い面積からの反射の総和で決まる為、細かな凹凸の影響が平滑化されることによるものである。しかし指向角の小さい高精度センサーでは誤差が大きくなるだけでなく反射エコーが得られなくなる為、曲面の測定ではセンサー指向軸を常に面法線に保つ事が必要である。また、測定対象物の影響は硬さによる反射能率の影響は大きいですが、確実な反射エコーさえ得られれば反射時間への影響は少ない。

などが挙げられます。

現在センサーを用いた計測技術は、昔から物体の大きさや重さ、温度、時間、距離の測定といった人間の生活には不可欠な技術として発達をしてきて半導体などの新しい材料の開発や、コンピュータの発達などに伴いその技術範囲はより広く、より柔軟に高度なものとなってきていて、従来の計測技術を超えて、対象物の状態を知るといった知能化された情報技術となっている。

センサーはあらゆる情報及びエネルギーの検出を目的としているため、その検出対象（光、磁気、振動、圧力、温度や湿度、ガスなどある）も広く、非常に複雑である。超音波（振動）を用いたセンサーは主に物体検出（距離検出）として使われ、その応用は様々である。

本研究では試作した超音波デジタル距離計を用いて物体との距離を測定して精度を調べる。

最終的には放電加工機に取付けて、ワークの大きさの測定に利用したいと計画している。

第2章 超音波についての調査

2.1 超音波とは何か？

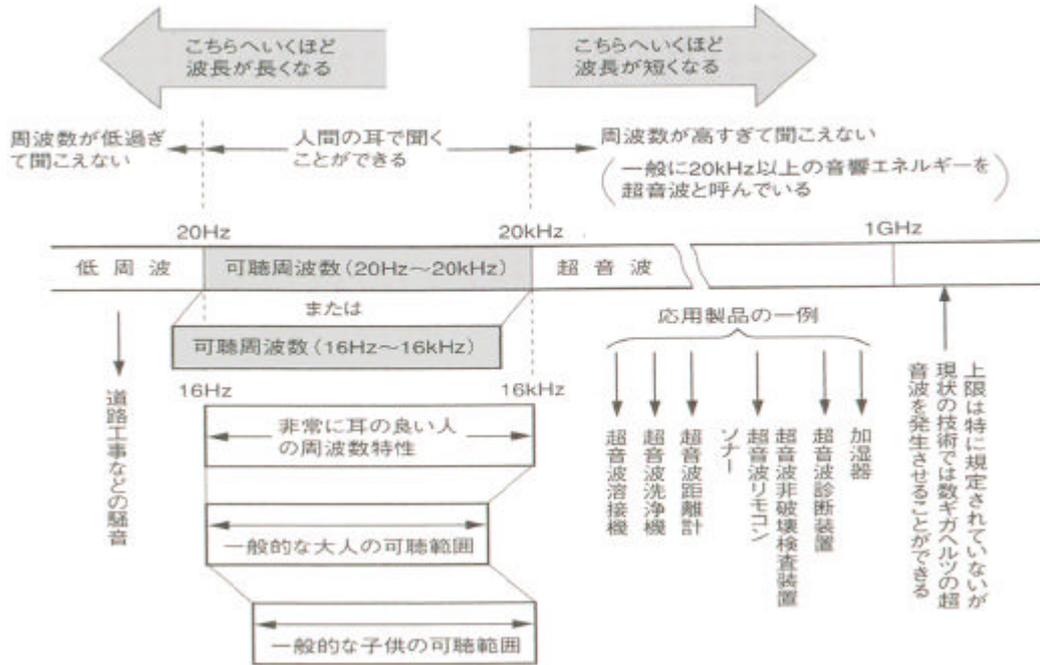


図1 音響振動数とその特徴

超音波は、音響振動の一種であり、人間の耳では聞こえない周波数の音波のことである。身近なもので言えばコウモリやイルカなどが、超音波を自ら発生し、その反射波を聞き分けることができます。通常人間は約 20Hz~ 20kHz の周波数の音波は聞くことができ、これを可聴周波数というがこの範囲以外の音は聞くことができない。そして人間の耳には聞こえない 20Hz 以下の音の事を低周波音波といい 20kHz 以上の音の事を超音波という。

特徴としては

- (1)超音波は気体、液体、固体の順でより速くより遠くへと伝播する。
- (2)気体中の超音波の速度は周波数にはあまり影響されず気温によって変化する。
- (3)液体や気体中は縦波だけが伝わるのに対し、固体中は縦波の他に横波や表面波が存在する。
- (4)超音波は小さい変動異と強力なパワー密度を持つ。
- (5)音響インピーダンスが高いほど超音波は伝播しやすくなる。
- (6)超音波は人体に無害なものである。

などがありこれらの特徴を利用すると、超音波は様々な分野で応用できる技術となる。

その応用例としてはまず空気中の超音波の応用は主に対象物からの反射波の検出

で対象物の存在、対象物までの距離の検出などを目的としている。産業界では、クレーンの衝突防止用センサーとして、古くから使われており、最近では、人を検出してドアを開けるとか、移動ロボットや工場での無人輸送車の障害物検出などの応用に使われている。空気中では高い周波数の超音波の減衰は大きく、そのため 40kHz 前後の周波数が用いられる。また空気中の場合、超音波のビームを走査することにより、対象物の形状や別の角度方向にある障害物を検出することが可能である。しかし超音波の音速の制約があるため、一つの方向の送信と受信にある程度の時間を要する為に全走査範囲の検出と画像の抽出には、光の場合に比べ時間を要する点を考慮する必要がある。

水中での応用は反射波の検出を用いる魚群探知機、水中探査装置(ソナー)、流量計測などで使われている。また水中では光も電波も通らないため超音波が最も利用できる分野であり、しかも広い周波数帯域が利用出来るので、目的に応じて周波数を選べばいいのである。

医療での応用では放射線等と異なり、人の体にはほとんど影響されない為、人の内部を計測できるという点から様々な重要な計測装置として用いられる。周波数帯は水中とほぼ同じであるが、人体の内部構造をイメージとして観測する要求が多いことから、周波数は比較的高く、2~5MHz くらいが多く用いられる。

金属内部での応用は、ほとんどが内部の欠陥を検出する探傷用に用いられている。最も基本的なものとして、オシロスコープで反射波の波形を目視観測する A モード表示に使われています。また目的により、B モードが用いられる場合もあります。

また超音波は、空気などの音を伝える媒体の、密度の濃淡として伝わるもので疎密波といわれている。このため特性は、媒体の性質により大きく左右される。音波の伝わる速さは媒体によって決まり、周波数にはあまり影響されないが温度には影響されるのでそれは考慮しなければならない。

一般に超音波の伝播速度は速度を $V[m/s]$ とすると

$$V = 331.5 + 0.60714t \quad (1)$$

と表されます。この時の t は温度[]である。

またこの時、超音波の発信源から物体までの距離を $d[m]$

音波が発射されて戻ってくる時間を $T[s]$ とすれば

$$T = \frac{2d}{V} \quad (2)$$

となる。

これを利用すれば正確な速度が分かる上に、超音波を発信してから受信時までの理想伝播時間を計算することができる。

2.2 超音波の発生原理

超音波は媒体を振動させ、波動を発生させているもので超音波の発信は、1種の振動子により行うものである。

受信は媒体の振動を受けて振動する素子が用いられる。また送信と受信を同じ素子で行う場合も多い。

超音波は媒体を振動させるため、基本的に振動素子は媒体と接触している必要がある。しかし実用上、接触が困難な対象も多く、非接触による送受信も研究されている。即ち送受信には大きく分けて、接触式と非接触式がある。

超音波の素子では、トランジューサで送信時は、電気信号を超音波に変換している。また受信時は、送信とは逆の過程を用い、超音波を電気信号に変換している。この変換の方法としてよく使用されているのは

- (1) 圧電系：誘電体などの圧電効果を用いる。
- (2) 磁歪系：磁気による歪み（磁歪効果）を用いる。
- (3) 動電系：電磁誘導による磁気力を用いる。
- (4) 静電系：平行電極版の間の静電力を用いる。

の4種類であり一般的に使われているのは圧電効果を用いた方法である。

また圧電系が一般的に使われている理由は以下の通りである。

- (1) 非常に質の高い音源が安価に得ることが出来る。
- (2) 周波数と振幅とを自在に制御することができ、安定した正弦波音波を効率よく励起出来る。
- (3) 連続波以外にパルス波や様々な変調波を得ることが出来る。
- (4) 材質の圧電セラミックは任意の形状のものを大量生産事が出来る。

などが挙げられます。

2.3 超音波エネルギー

超音波の発生により静止物体（媒質）が振動を始めると、そこには運動エネルギーや分子力による位置エネルギーが存在します。またこのエネルギーは媒質が同じであれば、そのパワーが大きい程遠方に伝播することが出来る。

一般に、このエネルギーが大きい波を強力超音波といい、これは波の進行方向に対し垂直な単位面積を、単位時間に通過するエネルギー量で表される。

ここで弾性体内を伝播する正弦波の強さを表す式を求めると、質量 m の質点が単振動をしているとき、そこには運動エネルギー K と位置エネルギー P が存在し、その和は常に一定である。この時、合成エネルギーを I とすると

$$I = K + P \quad (3)$$

の関係となる。

ここで波動の振幅を A 、振動数を f としその最大速度の和を求めると

$$I = K + P = \frac{1}{2} m (A \omega)^2 = 2 \rho A^2 f^2 \quad (4)$$

となる。

このため密度 ρ の媒質中での振動による単位体積中のエネルギー E は

$$E = 2 \rho A^2 f^2 \quad (5)$$

と与えることが出来る。

ここで音波の伝播速度を C とすれば単位時間に進行方向に垂直な単位面積を進行するエネルギー量 I は

$$I = 2 \rho A^2 f^2 C \quad (6)$$

で表わされ、超音波の強さは質量 m が決まれば

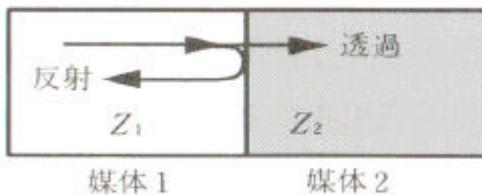
$$I \propto A^2 f^2 \quad (7)$$

の関係となり、その振幅が大きい程、またその周波数が高いほど大きなエネルギーとなる。

2.4 超音波の反射

媒体	密度 ρ [kg/m ³]	音速 c [m/s]	音響インピーダンス Z [Pa/m/s]
空気 (15 °C)	1.21	340	0.41×10^3
水 (0 °C)	1.0×10^3	1,403	0.14×10^7
軟鋼 (縦波)	7.7×10^3	5,900	4.54×10^7
軟鋼 (横波)	7.7×10^3	3,100	2.39×10^7

表1 代表的な媒体の定数



超音波は、伝播する速さや周波数が媒体により影響を受けるのを問題にするのは、超音波の応用が、光などの電磁波と違い空気中以外に水中や金属などの固体中で利用されるとい

う特徴があるためでもある。超音波センサーの場合、異なる媒体間で超音波を送受しな

ければならないことが多く、そのため注意しなければならないことは、媒体間を通る時の反射の問題である。超音波は波動であり、波動は伝わり方が変化する境界面では反射が起こり、その反射の大きさはインピーダンスの差で決まる。

超音波の場合は音響インピーダンスと呼ばれ、媒体固有の値で

$$Z = \rho c \quad (8)$$

である。ここで Z : 音響インピーダンス、 ρ : 密度、 c : 音速である。図2のように二つの媒体がある。この時それぞれの媒体の音響インピーダンスを Z_1 、 Z_2 とすると、この境界面での音波の振幅 (音圧) の反射率は

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (9)$$

で表される。

またおもな媒体に対する音響インピーダンスの例は表1に書いている通りである。

超音波は対象物からの反射を利用する機会が多い。この場合、反射特性は重要な役割を持ち、超音波探傷の場合、金属中に超音波を伝送する必要があり、空気と金属の界面での反射は大きな問題となる。実際に水などを介して超音波を伝送するが、水と鋼との間でも 90%近い反射があり問題が多い。

第3章 超音波センサーの構造と原理

3.1 圧電逆効果

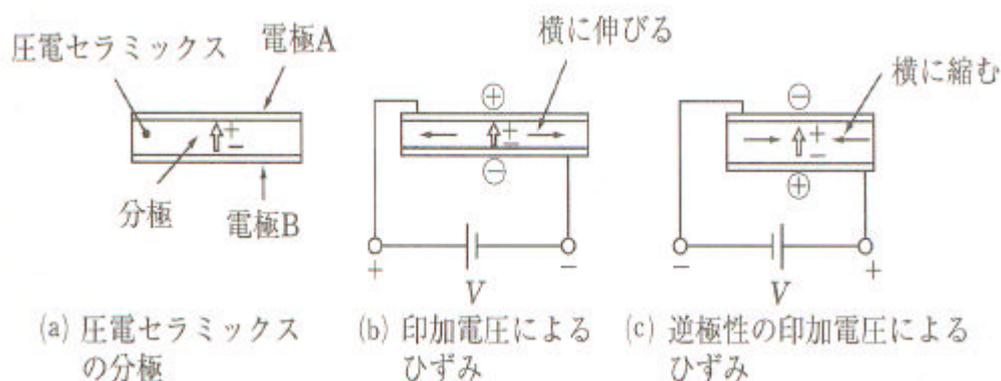


図3 圧電逆効果の原理図

超音波センサーは、厚さ方向に分極した圧電セラミック（PZT系など）の圧電効果を利用している。圧電効果には、圧電逆効果と圧電直接効果がある。超音波センサーは可逆素子であり、超音波送波器は圧電逆効果を利用する。

圧電逆効果とは、図3 圧電逆効果の原理図に示すように、圧電素子に電圧をかけると形が歪む事である。

図3(a)のように分極した圧電セラミックに、図3(b)に示す極性の電圧をかけると、外部電荷のプラスと圧電セラミックの分極のプラスとが反発する。同時に、外部電荷のマイナスと分極のマイナスとが反発する。この電荷の反発により、厚さ方向に圧電セラミックは縮み、その結果として長さ方向に伸びることになる。

印加電圧の極性が逆になると、図3(c)のように、外部電荷のマイナスと分極のプラスは引き合い、同時に外部電荷のプラスと分極のマイナスも引き合う。

このため、圧電セラミックは厚さ方向に伸びる。そうすると長さ方向には縮むことになる。またこの時、交流電圧を加えるとその周波数でセラミックが歪み超音波振動が発生する。

3.2 圧電直接効果

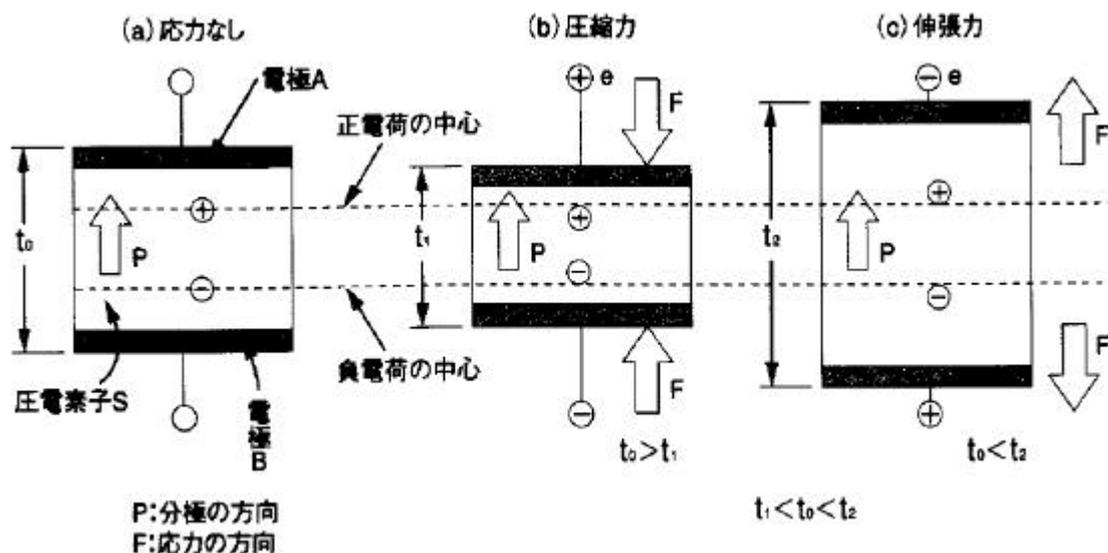


図 4 圧電直接効果の原理図

圧電直接効果とは図 4 の圧電直接効果の原理図から分かるように、 P 方向に分極された圧電素子 S は上下 2 枚の電極 A 、 B に挟まれ、それぞれのリード線がとりつけられています。

図 4(a)においては圧電素子に外部応力 F [N]が与えられてないので、この時には出力電圧は e [V]は発生しません。

図 4(a)のような状態に図 4(b)のように圧縮力 F [N]を加えると、上側の電極にプラス、下側の電極にマイナスの電圧が発生し、圧電素子は圧縮されます。

逆に図 4(c)の様に、伸張力（引張力） F [N]を加えると、上側の電極にマイナス、下側の電極にプラスの電圧が発生し圧電素子は伸張します。

ここで圧縮力や伸張力などの外部応力 F [N]を超音波エネルギー（音響エネルギー）に置き換えれば、超音波センサーとして利用することが可能である。

3.3 超音波センサーの構造

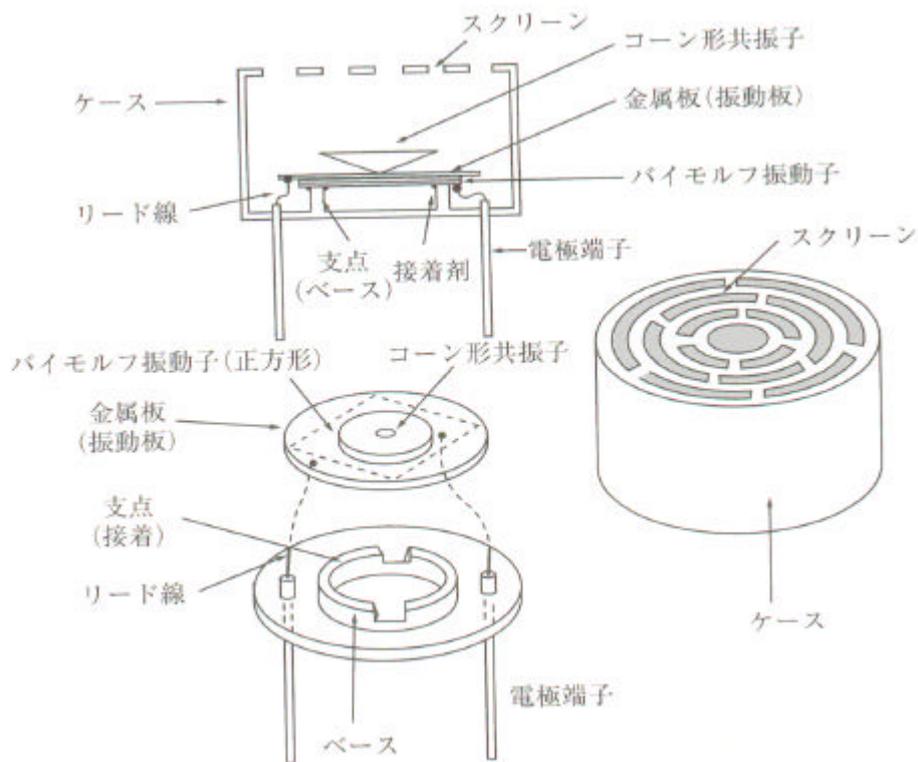


図5 超音波センサーの構造図

図5は超音波センサーの構造図である。a、b2枚の圧電セラミックの分極方向を互いに逆にして貼りあわせ、長さ方向に一方が伸びると他方は縮むように形成した振動子を使用する。このような振動子をバイモルフ振動子という。

バイモルフ振動子の両面には薄膜の電極があり、上面は金属板（振動板）からリード線で電極端子に接続している。下面は電極から直接リード線で電極端子につながっている。バイモルフ振動子は正方形の形をしていて、正方形の左右の2辺辺りが、円弧形のベースの突起によって支えられている。この2個所の支点が振動子の振動の節点となる。

送信時には、高周波電圧をバイモルフ振動子に加えると電圧の極性に応じて圧電セラミックは膨張と圧縮を繰り返し、その振動により超音波が発射される。

受信時には、送信機から超音波がくると、その周波数に応じて振動し、その時に交番電気が発生する。

金属板の中心にあるコーン形共振子は送信時には指向性をよくして効率よく超音波を発射し、受信時には超音波の振動をバイモルフ振動子の中心に集め、効率よく高周波電圧を発生させるためである。

3.4 距離測定器の回路原理

図6 超音波距離計の回路図

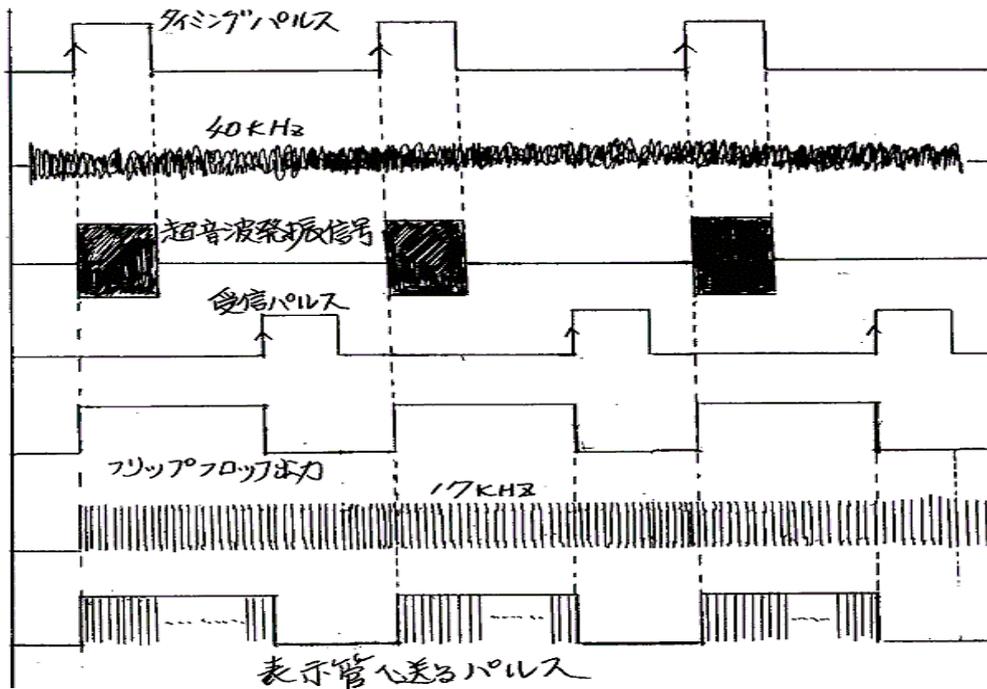
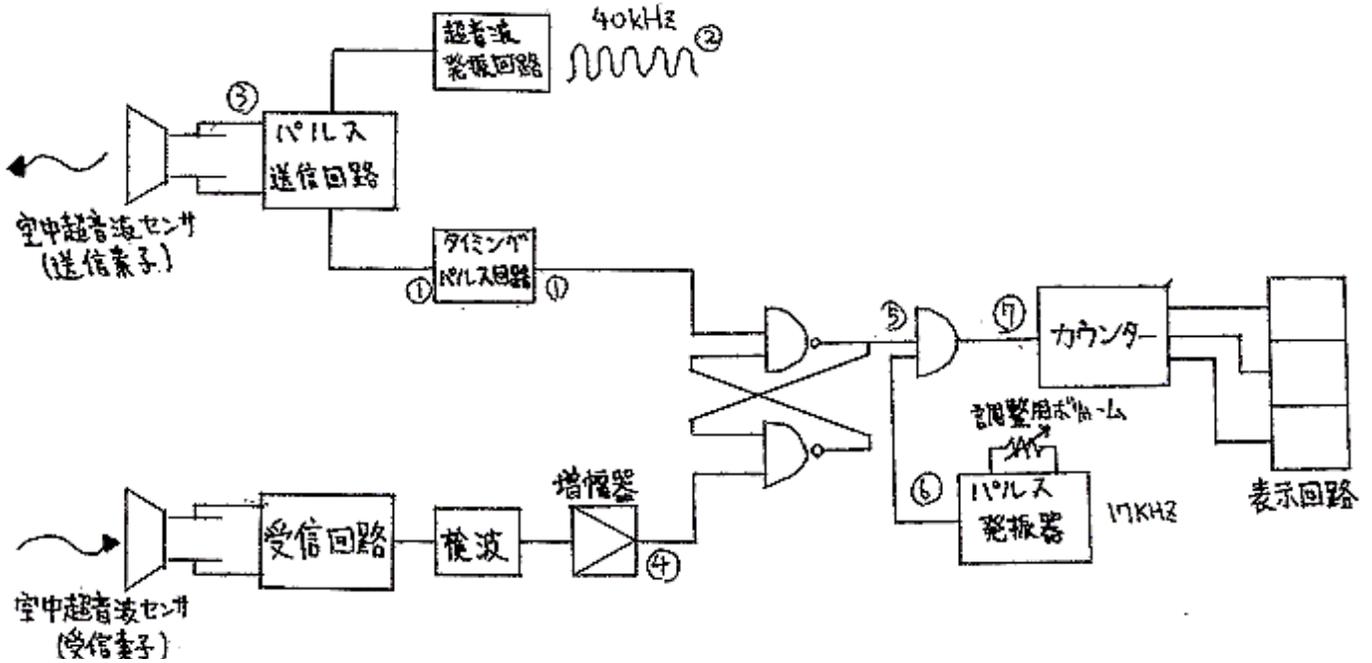


図7 図6のタイミングチャート

図6は超音波距離計の回路図を簡単に描いたもので、また図7は回路図のタイミングチャートである。

回路の動作原理については以下のように説明できる。

まず超音波発信回路から図7- の様な超音波パルスがパルス送信機に送られる。また同時にタイミングパルス回路から図7- の様なタイミングパルスがパルス送信機に送られている。そしてパルス送信回路では図7- と の積(AND)をとり、増幅されて図7- の様な送信パルスが生成される。

生成された送信パルスは超音波送信素子から超音波が発射され、発射された超音波は前面に位置する物体に反射されてくる。それを受信素子で検出する。

受信された信号は、検波されて増幅器により増幅されると、図7- の様なパルスに整形され、出力される。そしてこれは、フリップフロップ回路の一方の入力端子に送られる。またタイミングパルス回路からのタイミングパルス(図7-)も、フリップフロップ回路の他方の入力端子に送られてきている。

フリップフロップ回路では図7- のタイミングパルスで立ち上がり、図7- の受信パルスで立ち下り、図7- の様なパルスが生成される。

次に、検出されたパルスとパルス発信機からきた図7- の様なパルスとの積(AND)をとり、図7- の様なパルスが作られる。またこの図7- の(枠内)のパルスの数が距離に相当するように、パルス発信器の周波数を設定しているのので、そのパルス数をカウンターで数えて、それを表示回路で表示する仕組みになっている。

以上が大まかな超音波距離計回路の動作原理である。

3.5 AND 回路と FLIP FLOP 回路について

図4に出てきた AND 回路と FLIP FLOP 回路について詳しくおきます。

(1) AND 回路について

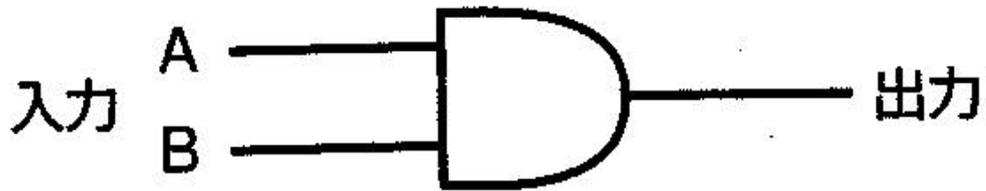


図 8 AND 回路の回路図

図 8 は AND 回路の図記号である。AND 回路は、論理積回路とも呼ばれていて $A \times B =$ 出力といった原理になっている。

この回路の中では論理積が行われていて演算は全て 1 と 0 で行われるため、A と B の値が共に 1 でないと出力されないのである。

数学的に簡単に言うと、A と B の共通部分をとればよいということである。

(2) FLIP FLOP 回路について

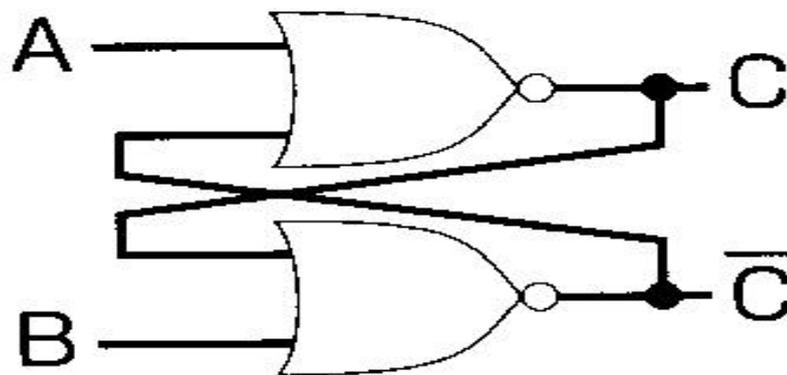


図 9 flip flop 回路の回路図

図 9 は FLIP FLOP 回路の図記号である。FLIP FLOP 回路は 1 ビットの 0 か 1 の情報を過去の入力にしたがって安定的に保持する動きを持つ。

即ち、C は A が 1 になるまで 1 の状態を保持し、 \bar{C} は B が 1 になるまで 1 の状態を保持している。この動きはシーソーの動きに似ていると言われている。

第 4 章 実験方法及び装置

4.1 研究に使用する機器

今回研究で使用する機器は、試作した超音波デジタル距離計、オシロスコープおよび安定化電源を使用した。

(1)

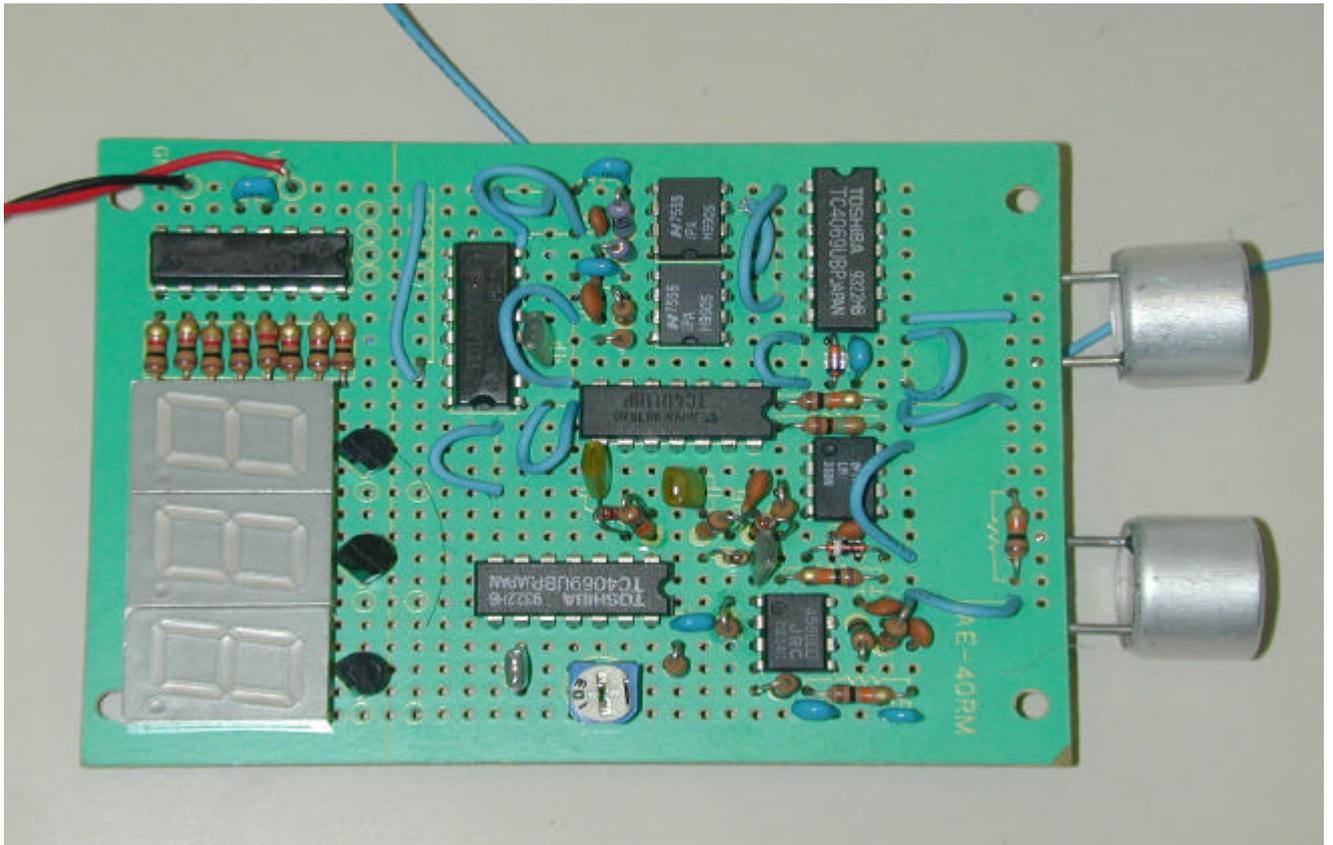


図 10 試作した超音波デジタル距離計の外観写真

図 10 は、超音波 (40kHz) の空中伝搬・反射時間を利用したデジタル距離計の外観写真である。主な特長を述べると、次のようになる。

- (1) 超音波トランスデューサ部 (送信スピーカ/受信マイク) を個別利用して、高感度、高精度計測が可能。
- (2) 標準計測距離は 0.1 ~ 3 [m]。
- (3) 送信スピーカ/受信マイクに自作可能な超音波音響ホーンを取り付けた場合、10m 程度まで計測距離を伸ばすことが可能。
- (4) 計測表示には超高輝度赤色 7 セグメント LED を 3 個利用。

- (5)測定分解能は1cm、3桁で999cm。
- (6)電源電圧はDC8.5～12V、単一電源作動で携帯用距離計として電池駆動が可能。
(NiCd 充電電池または鉛蓄電池等)。
- (7)表示部にLEDを使用しているため、006P等の乾電池動作は不可。
- (8)送信パルスの立ち上がりから、反射パルスの立ち上がりまでの時間差を距離として表示。
- (9)基準発信17.2kHz(58.14us)を送受反射波距離時間差によってゲートして、
その通過パルス数(1パルス時間は超音波1cm往復距離と等価：測定空間温度20の場合)をカウント・表示。
- (10)測定誤差は±1cm以内(0.1～3m計測時)。
- (11)音波の空中伝搬時間は、温度依存特性($331.5 \pm 0.6t$ m/秒、t:摂氏)を持っているため、
温度一定の条件を満たしている必要がある。
- (12)温度による係数補正、または、基準発振の校正(微調整)により、音速の温度補正が可能。

(2)



図 11 TDS380P 型オシロスコープの外観写真

図 11 は今回使用した TDS380P 型オシロスコープの外観写真であるである。主な機能を述べると、以下の様になる。

(1) 2チャンネル入力

レコード長さ：1000 サンプル/チャンネル

垂直軸分解能：8ビット

2チャンネル同時取り込み可能

(2) 最高サンプル・レート 2[GS/s]

(3) 周波数帯域及び最高掃引速度 400[MHz] (1 ns/div)

(4) 多彩な機能を使いやすく表示するリードアウト

オートセット機能、カーソル機能、自動メジャメント機能、高速フーリエ変換(FFT)

(5) アベレージ、エンベロープ及びハードウェア・ピーク・ディテクト機能

(6) 波形/設定の保存/呼び出し及びハードコピー用のフロッピー・ディスク・ドライブを装備

(7) TDS シリーズに共有のグラフィカル・ユーザ・インタフェース (GUI) と前面パネルのレイアウト

(3) 安定化電源



図 12 安定化電源の外観写真

図 12 は今回の実験で使用した安定化電源の外観写真である。電気的仕様においては以下の様になる。

(1)入力電圧： AC100V max 50W

(2)出力電圧： DC3V・5V・6V・9V 最大 1.5A (連続 1.2A)

DC12V・15V 最大 1.0A (連続 0.7A)

(3)出力電圧交差： $\pm 0.5V$ (1A 時)

4.2 実験方法

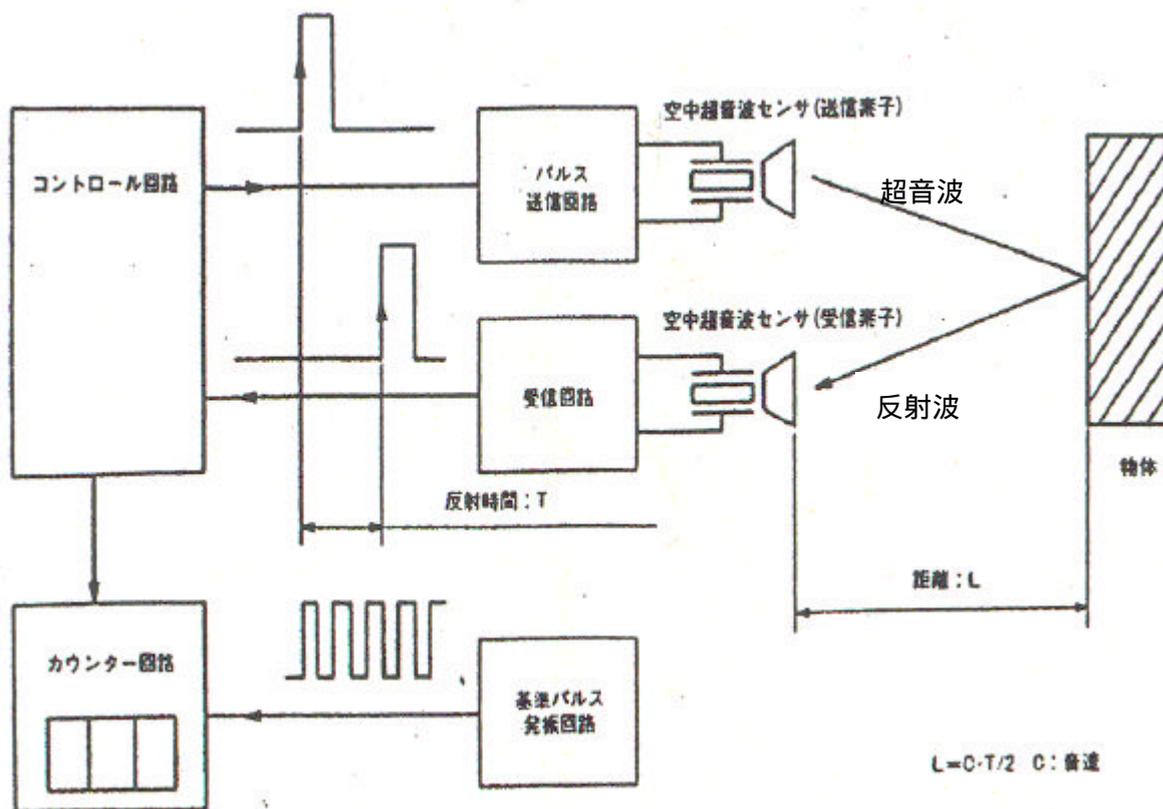


図 13 超音波距離計の原理図

図 13 に示すように、実験の方法はまず、40[kHz]の超音波パルスによって生成された超音波を対象物に当て、それが反射して戻ってくるまでの時間をオシロスコープで測定する。

さらに、試作した超音波デジタル距離計を用いて、対象物までの距離を測る。測定する距離は 10[cm]から始めて、物体を 10[cm]ずつ遠ざけて行き、最大 1.5[m]まで測定する。

なお、測定環境としては、気温は 26[℃]、電源は電圧変動の影響をさせるために安定化電源を使用して測定した。

第 5 章 超音波による距離測定の実験

5.1 実験目的

超音波デジタル距離計を用いて、対象物との距離を測定し、次にその測定された数値と実際の距離を比較して、超音波デジタル距離計の精度を調べることを今回の実験目的としている。

5.2 実験結果

5.2.1 超音波の伝播往復時間の測定結果

表 2 往復伝播時間の測定結果

実験室の環境 26

距離 (cm)	理想伝播往復時間 (msec)	往復伝播時間(msec)	距離 10cm の伝播時間(msec)	誤差(msec)
10	0.576202823	0.7		0.123797177
20	1.152405647	1.25	0.55	0.097594353
30	1.72860847	1.85	0.6	0.12139153
40	2.304811294	2.45	0.6	0.145188706
50	2.881014117	3	0.55	0.118985883
60	3.45721694	3.6	0.6	0.14278306
70	4.033419764	4.25	0.65	0.216580236
80	4.609622587	4.8	0.55	0.190377413
90	5.185825411	5.4	0.6	0.214174589
100	5.762028234	5.9	0.5	0.137971766
110	6.338231057	6.5	0.6	0.161768943
120	6.914433881	7	0.5	0.085566119
130	7.490636704	7.6	0.6	0.109363296
140	8.066839528	8.25	0.65	0.183160472
150	8.643042351	8.75	0.5	0.106957649
		平均時間/10cm	0.575msec	

表 2 は超音波の往復伝播時間の測定結果である。往復伝播時間というのは、超音波が発射した後、対象物に反射して戻ってくるまでの時間で、オシロスコープで測定した。また、表 2 には往復理想伝播時間を参考として載せているが、この値は前述した式(1)と式(2)を用いて計算した値である。

図 14 は表 2 の結果をグラフ化したものである。

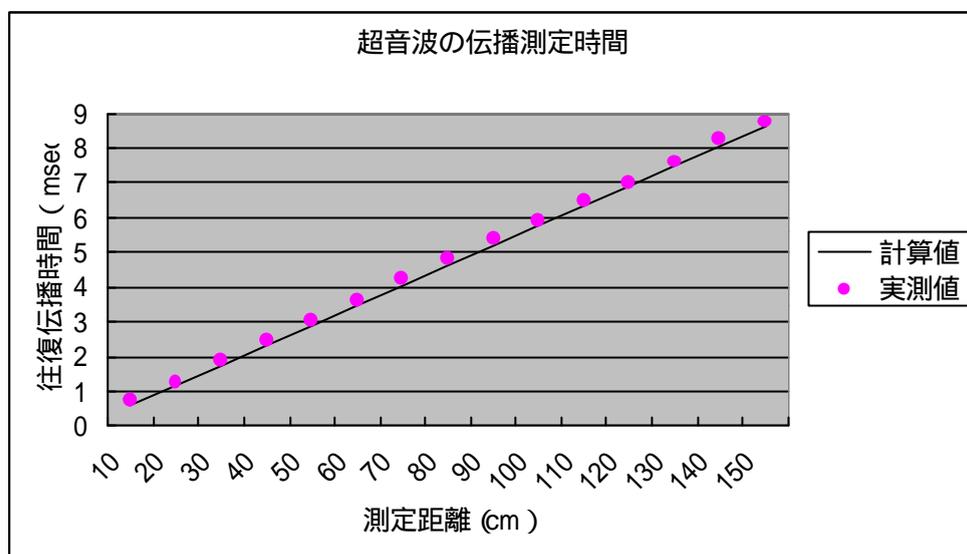


図 14 往復伝播時間と測定距離との関係

そこで表 2 より、距離 10cm の平均伝播時間を計算で求めてみると、次のようになる。

$$\text{平均伝播時間} / 10\text{cm} = 0.575\text{msec}$$

したがって、この結果より仮定の音速を計算すると

$$V' = 0.1 / 0.575 \times 1000 \times 2 = 347.8[\text{m/s}] \quad (10)$$

が求められる。

ところで、当日の実験環境は表 1 に示しているように 26 だった。26 における超音波の速度は、式(1)より

$$V = 331.5 + 0.6 \times 26 = 347.1[\text{m/s}] \quad (11)$$

となる。

式(10)と式(11)とを比べると、わずかながら測定結果から求められる速度の方が若干速いことが分かる。

一方、往復伝播時間の誤差(表 2 参照)は、0.1~0.2[msec]位であり、殆ど差はないため、距離測定における精度はかなり高いと思われる。しかしさらに精度を上げるならば、図 6 および図 7 における発信器の周波数の調整をすれば理想的な状態に近づけることができると考えられる。

5.2.2 超音波距離測定器による測定結果

表 3 超音波距離計による測定結果

実験室の環境 26

デジタル表示による測定値 (cm)	メジャーによる測定値 (cm)	誤差 (cm)	実測値の誤差比率 (%)
10	10	0	0
20	20	0	0
30	30	0	0
40	40	0	0
50	50	0	0
60	60	0	0
70	70	0	0
80	80	0	0
90	90	0	0
100	100	0	0
110	108	2	1.818181818
120	118	2	1.666666667
130	128	2	1.538461538
140	137	3	2.142857143
150	146	4	2.666666667

表 3 は、試作した超音波デジタル距離計を用いて、対象物との距離を測定した結果である。測定器のデジタル表示による測定値は、試作した超音波デジタル距離計上にあるデジタル表示器の値であり、メジャーによる測定値は、超音波デジタル距離計から対象物までの距離をメジャーで測った値である。

そこで、これらの 2 つの測定値からメジャーによる測定値が正しいとした場合の測定器の誤差を計算することができる。距離 10cm 毎の誤差[cm]を求めると、次のようになる。

$$[\text{誤差}] = [\text{デジタルに表示された値}] - [\text{メジャーによる測定値}]$$

したがって、この結果より誤差比率[%]を計算すると

$$[\text{誤差比率}] = [\text{誤差}] / [\text{デジタルによる測定値}] \times 100$$

となり、計算した結果は表 3 の右端に載せている。

図 15 と図 16 は表 3 の結果をグラフ化したものである。

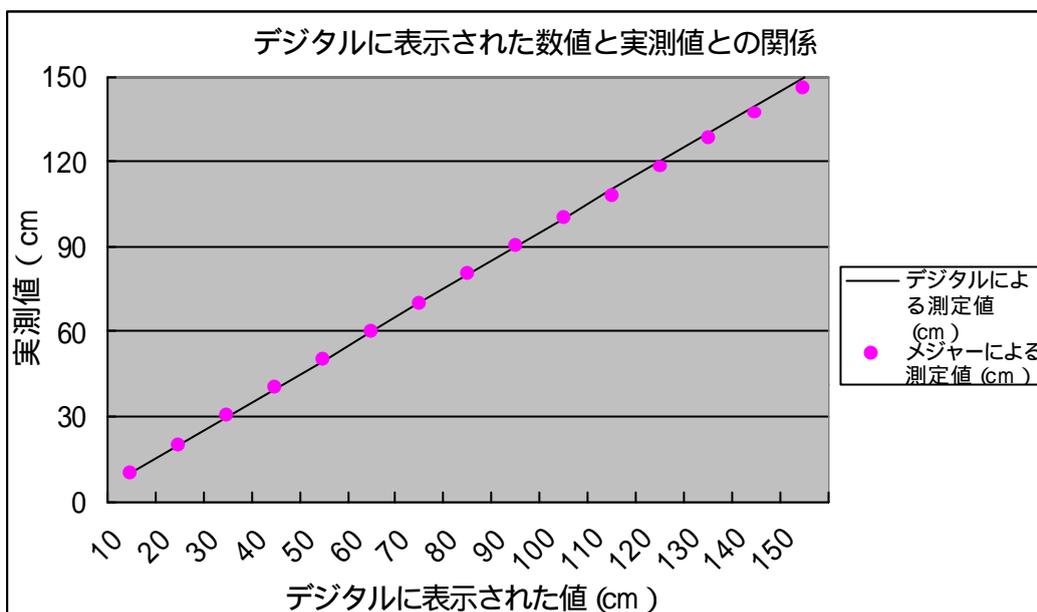


図 15 デジタルに表示された数値と実測値との関係

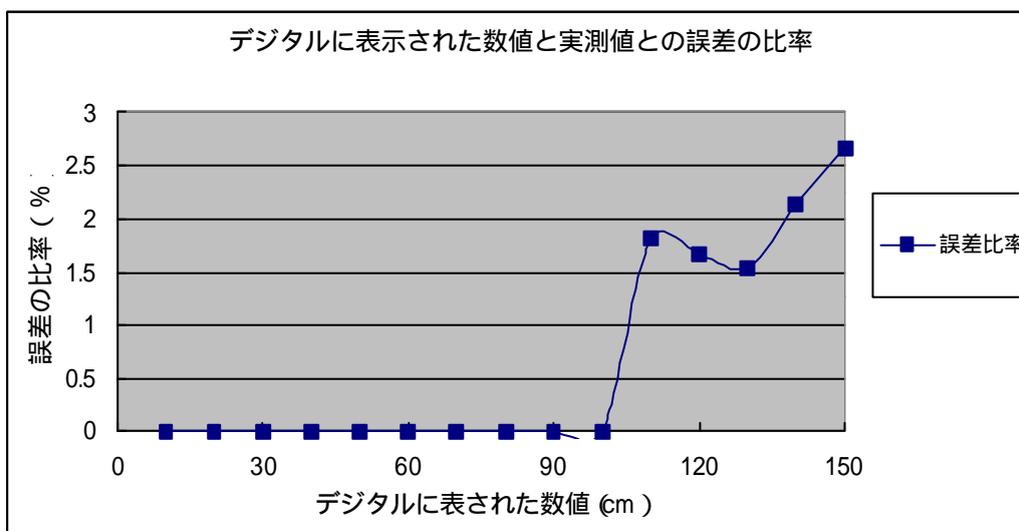


図 16 デジタルに表示された値と誤差との関係

これらの二つのグラフからはかなりの精度が得られたということが分かる。しかし 10[cm] ~ 1[m]までは高精度であるのに対し、1[m]を超えたあたりから誤差が 2 ~ 4[cm] 生じている。

精度を上げるためには、回路定数や発信回路の周波数などを厳密に精度良く調整する必要があると考える。

第6章 結言

現在センサーは多くの種類があり、その技術も広範囲になってきており、また、これに機能材料や LSI を使ったマイクロエレクトロニクスも加えると、更にそのバリエーションは多彩なものになる。

しかし、全てのセンサーが LSI や機能材料を使って高度な信号処理を行うわけではなく、現状では特定の条件で特定の物理量を検出するシンプルなセンサーが大半である。これからのセンサーの発展は、優れたセンサー材料の開発には、リニアリティ、再現性、ダイナミックレンジ、感度、寿命などの機能を兼ね備えた機能材料の開発がセンサー技術の向上の決め手となるということが考えられる。

今回超音波を使った距離測定器で実験を行ったが、主に超音波はセンサーとして使用することが多い。その為、実験は超音波デジタル測定を組み立て実際にそれを使用することによって超音波の特徴を把握し実用性を調べることにした。

今回の実験結果からは以下のようなことが結論付けられる。

- (1)超音波デジタル距離計を用いての距離測定は多少誤差が発生したが、かなりの高精度が得られた。
- (2)超音波の往復伝播時間においては、殆ど差はなく、高精度であるといえる。

また、超音波は高い精度を持つ反面、測定環境が変わると精度が変わってしまうため、測定する度に測定条件を把握し、温度による係数補正や基準発信の微調整をすることによって高い精度が得られる。扱いは困難であるが超音波のセンサーとしての利用は最適だと考えられる。

今回は、超音波発信回路の周波数を 40[kHz]で実験を行ったがこの周波数を高くすると検知距離は[m]は短くなり、分解能[mm]も短くなって高性能になる。逆に周波数を低くすると検知距離が長くなり、分解能も長くなるため精度が落ちる。このため目的に応じての調整も必要と言える。

今回使用した超音波センサーは自ら超音波を発生し、物体に反射した反射波を検知するアクティブ方式であるが、もう一つ超音波受信専用のパッシブ方式を使用したセンサーがある。

前者のアクティブ方式を利用したセンサーでは放電加工機に取付けて、ワークの大きさの測定に利用したいと考えています。今回の研究で超音波距離計の精度はよくその精度の面では実用に値するが、調整を測定する度に行わなければいけないのが問題である。

後者のパッシブ方式のセンサーでこれは AE 波の検出などに使われています。AE とは Acoustic Emission といい物体が破壊する寸前に発生する超音波エネルギーの事である。この技術が発展すれば大地震などの早期発見につながり被害を最小限に抑えることが可能になるはずである。

今回は基礎的な実験でしたが、超音波センサーの発展には無限の可能性があるため、これからも様々な問題点を改善して使用分野を拡大するために研究する必要がある。

謝辞

本卒業研究及び研究論文は小林和彦教授のご指導の元に行われ、完成する迄に至りました。終始ご指導頂いた同教授に厚く御礼申し上げます。

また本研究に対して、研究室の方々には数々の協力をして頂き、厚く御礼を申し上げます。

参考文献

- | | |
|-------------|--------------|
| 稲見 辰夫、稲見 昌彦 | 「電子部品のしくみ」 |
| 稲荷 隆彦 | 「基礎センサ工学」 |
| 谷腰 欣司 | 「センサーのすべて」 |
| 鈴木 美朗志 | 「センサ回路と制御実験」 |

付録

「超音波デジタル距離計の送信回路図」

