

水底観測システムの試作

沖縄職業能力開発大学校 石本直幸
金城聖弥

Production of a system observing the bottom of water

Naoyuki ISHIMOTO, Masaya KINJO

要約 本報は90cm×45cm×45cmの水槽を海に、水槽の底を海底に見立て、水槽の水底観測を可能とするシステムの検討、およびその試作について報告する。逆圧電効果を原理とする超音波発振器、圧電効果を原理とする超音波受信センサにより水底へ向け超音波を射出し、その反射波を受信する。この超音波の伝播時間を利用し、水底までの距離測定が可能となる。この原理を利用し、本報で報告する試作機により水底までの距離、およびその水底描画を可能とした。

I はじめに

地球表面積の70%を占有する海洋では相応の確率で事故、災害が起こる。2004年末にはスマトラ沖大地震、津波による被災状況を報じた映像が世界中を駆けめぐった。このような事故、災害後は、海中、海底作業、およびサルヴェージ等を伴うことが考えられる。しかし、海中、水底の作業は陸上とは全く環境が異なるため、様々な危険が伴う。そこで、海中、海底での安全作業を目的として、その様子を事前に把握しておくことが重要である。我々は超音波を利用し、⁽¹⁾⁽²⁾簡易な水底観測システムを検討した。90cm×45cm×45cmの水槽を海に見たて、この水槽の底を海底に見たて、試作機の検討、作製した結果を本報により報告する。本実験における水底観測とは、水面から水底間の距離測定、および水底描画と定義する。

II 試作装置

1 水底観測システムの構成

図1にシステム構成図を示す。本システムは①超音波送信ユニット、②超音波受信ユニット、③描画システムユニットにより構成されている。①超音波送信ユニットはタイミングパルス回路、超音波発振回路より構

成されており、このユニットで形成した信号を送信用水中モールド型振動子（以下、超音波送信器）へ入力する。その結果、超音波送信器より超音波が射出される。②超音波受信ユニットは信号増幅回路、信号検出回路、伝搬時間測定回路より構成されており、受信用水中モールド型振動子（以下、超音波受信センサ）で受信した超音波を電気信号へ変換処理する。なお本実験は同製品の水中モールド型振動子を超音波送信用、および超音波受信用として別体を使用した（送受信分離型反射方式）⁽³⁾。また、この水中モールド型振動子は共振周波数を基にした電気信号を入力すると逆圧電効果により超音波を射出し⁽⁴⁾、超音波を水中モールド型振動子の振動子に照射すると圧電効果により電気エネルギーを出力する⁽⁵⁾。③描画システムユニットはF/Vコンバータ回路、A/D変換回路、パソコンから構成されている。このユニットは②超音波受信ユニットで処理された電気信号をパソコンに取り込み、水底の描画を行う。LED表示回路は②超音波受信ユニットからの信号を水面から水底までの距離として表示する。次に前述した三ユニットの詳細を示す。

(1) 超音波送信ユニット

図2に超音波送信ユニットの詳細を示す。本実験で使用する水中モールド型振動子は図3に示す特性をもっており214[kHz]が最適共振周波数であることが確認できた。

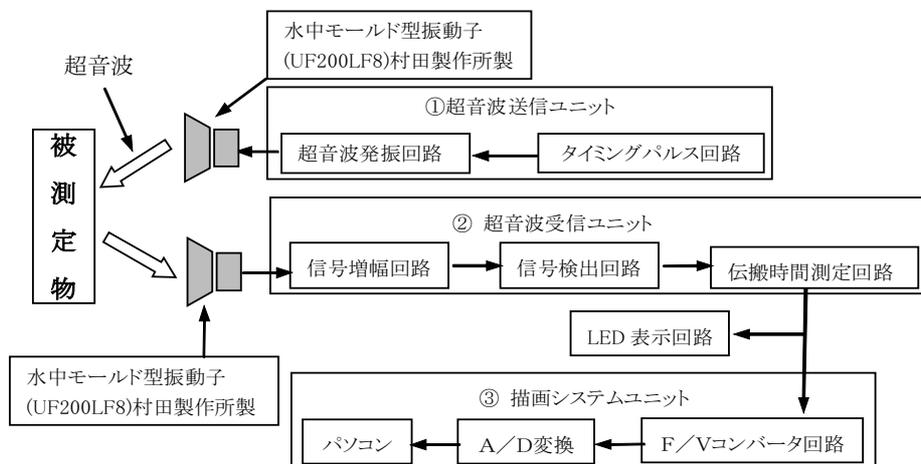


図1 システム構成図

そこで、この周波数を持ったパルス CMOSインバータ (4069UB) で形成する。次に対象物までの距離測定に利用する超音波を形成するために約 $3.5[\mu s]$ 間、最適共振周波数 $214[\text{kHz}]$ のパルスを超音波送信器内部の振動子へ入力する。この場合、超音波送信器内部の圧電素子に $3.5[\mu s]$ 間に約 7.5 パルスの信号を入力することになり、圧電素子の圧縮、伸張が繰り返されることにより超音波が水中へ射出される。この約 $3.5[\mu s]$ はタイマイC (NE555) により作成し、タイミングパルスの長さ、距離測定との関係から最も良好であった時間長を採用した。

(2) 超音波受信ユニット

図4に超音波受信ユニットを示す。水底からの反射波を超音波受信センサで受信する。センサで受信した信号をOPアンプで約70倍に増幅し、ショットキーバリアダイオード (1SS108) で検波し、コンパレータ (LM358) でバッファする。その際、図2中A端子から、図4中B端子へ超音波送信ユニットで形成したタイミングパルスを入力する。この+端子を基準電圧とし、水底からの反射波を検波した信号を-端子へ入力する。この信号が基準電圧より高い場合、Lを出力し、低い場合はHを出力する。コンパレータの出力は超音波受信センサが反射波を受信した瞬間はLを示す。このコンパレータからの出力信号を、図4に示すSR-FF回路のD端子へ入力する。図4に示すSR-FF回路のC端子には超音波射出時の信号を図2のA端子より入力する。その結果、超音波を射出し、受信センサがその超音波を受信するまでの時間をSR-FF回路において出力する。この伝搬時間に対応したパルス、すなわち距離計測パルスをE端子より出力する。

(3) 描画システムユニット

水面と水底との距離変化は超音波受信ユニット内で測定された超音波の伝搬時間に反映される。すなわち、水面と水底との距離が長くなる場合、伝搬時間は長くなる。また、距離が短くなる場合、伝搬時間は短くなる。図4のE端子より出力される距離計測パルス数も測定距離が長くなる場合は増加し、短くなる場合は減少

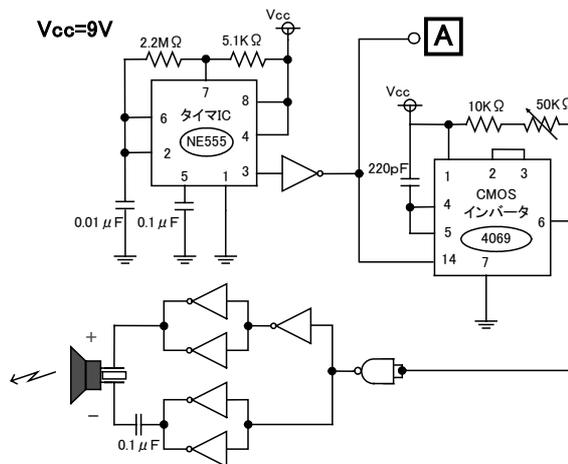


図2 超音波送信ユニット

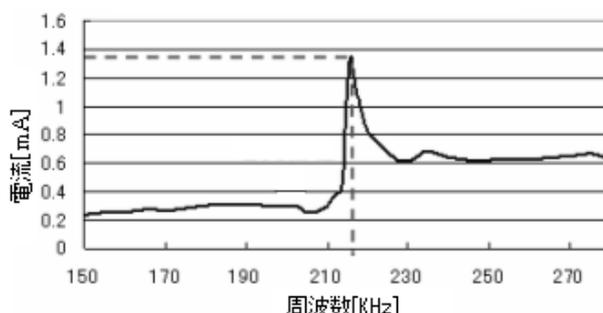
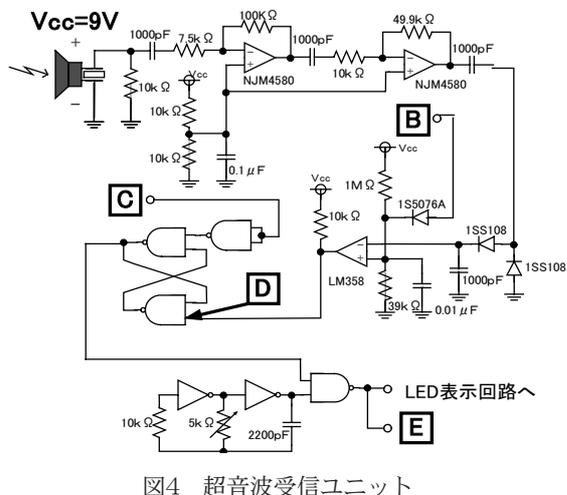


図3 水中モード型振動子の共振周波数と出力の関係



する。この距離計測パルスは図5 のF端子よりF/Vコンバータ回路に入力される。このパルス数の変化はF/Vコンバータ回路で直流電圧に変換する。次に、F/Vコンバータ回路からの出力をA/D変換カードでデジタル信号へ変換し、パソコンで処理する。その際、Visual Basicによりパソコン上で水底を描画する。本実験では水面から水底の距離を測定しており、このF/Vコンバータ回路への入力変動が大きい。そこで、F/Vコンバータ回路からの出力電圧に変動が生じ、脈流が現れる。この不具合解消を目的として、図5に示すようにコンデンサによる平滑回路を使用した。これによりパソコン処理への脈流の影響を軽減させた。

2 試作装置

図6に実験装置の全体図を、図7に実際に実験で測定した水底の様子を示す。水槽の上部に設置されたボールねじの台座に超音波送信器、および超音波受信センサを設置した。また、超音波の伝搬時間処理、および水底描画を行う回路、ユニット等は図6に示すように水槽の外に設置した。なお、この試作機により測定する際、センサの送受信部分である先端部を水中に5mm程度浸し、水槽のX軸0~70cm、Y軸0~40cmの範囲で測定する。

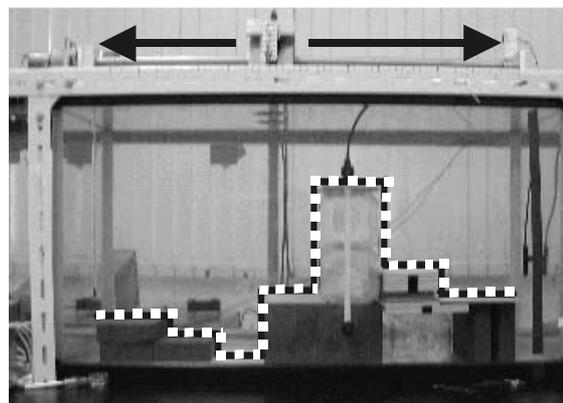
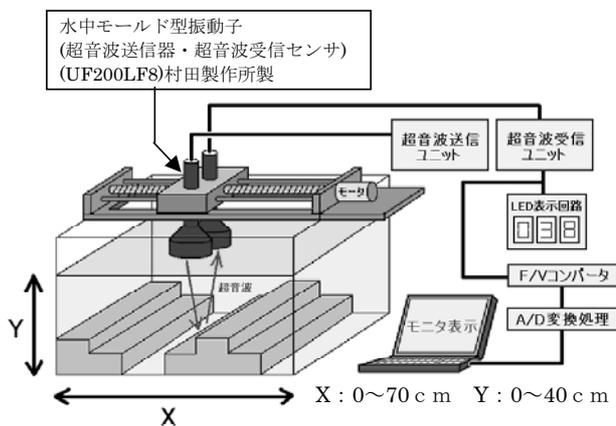
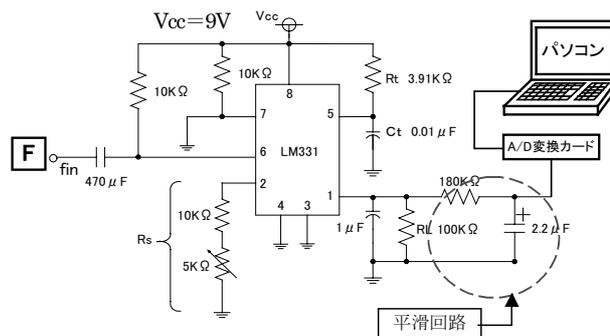
III 水底観測実験、および結果

本実験で作製した水底観測システム試作機により以下の実験を行った。

1 水底距離測定実験

水温20[°C]で水底までの距離測定を行った。試作機により水底測定を行う前に、本実験で使用する水槽の

水底をメジャーで実測した。水槽における水底を図8に、実測した値を表1に示す。図9に試作機による水底測定の結果と、メジャーによる実測結果との比較を示す。試作機による水底測定は水面から水底までの距離を超音波で測定し、その結果である距離を超音波受信ユニット内の7セグメントLEDで表示した。その際、超音波送信機、



超音波受信センサは水面を約2cm/sで移動する。この結果より、水底の横幅方向に多少の誤差が認められるが、実測値と測定値はほぼ一致していることが確認できる。したがって、試作した水底観測システムにより水底距離測定が可能であることが確認できた。

2 水底描画実験

この実験は水底距離測定実験と同条件で行った。試作機で得た水底までの距離データをA/D変換カードにより処理し、パソコンによりVisual Basicで水底を描画した。その結果を図10に示す。この結果と図8を比較すると実際の水槽の水底とほぼ同様の描画できた。したがって、試作機による水底描画が可能であることが確認できた。

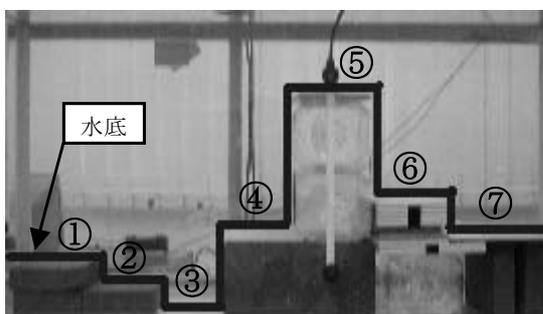


図8 水底の様子

表1 実測値

①	33.8 [cm]
②	36.5 [cm]
③	40.0 [cm]
④	30.0 [cm]
⑤	11.3 [cm]
⑥	25.3 [cm]
⑦	29.5 [cm]

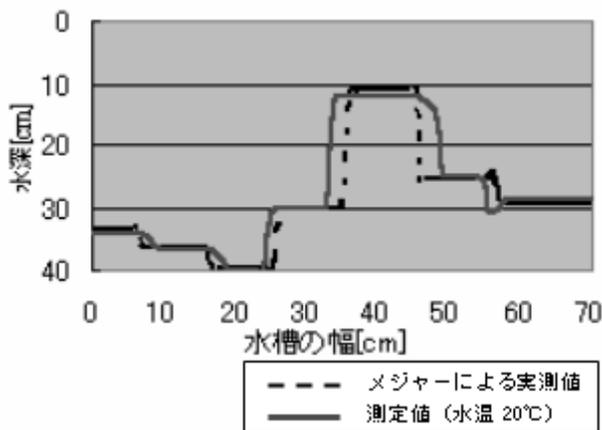


図9 水底距離測定実験結果



図10 水底描画実験結果

IV 考察

1 超音波の伝搬経路と誤測定について

本試作機は送受信分離型反射方式、すなわち同製品である水中モールド型振動子を超音波送信用と超音波受信用として15cm離し設置した。これらの水中モールド型振動子で測定を行う際、図11に示すように、概ね二通りの経路で超音波は受信センサへ到達すると考えられる。本試作機は図11の経路①超音波により水面、水底間距離測定を行う。しかし、経路②超音波は超音波送信器より射出された直後に超音波受信センサへ到達するため水面、水底間距離を誤測定することが考えられる。そこで、水面から水底間の距離を正確に測定するために図12に示す回路により改良を行った。図12のB端子には図2の超音波送信ユニットで形成した35[μs]のタイミングパルスを入力する。経路②超音波による誤測定防止に利用するこのパルスは、図12のコンデンサC1により立ち下がり遅らせた。その波形を図13に示す。経路②超音波は35[μs]のタイミングパルスとほぼ同じタイミングで射出される。超音波受信センサがこの経路②超音波を受信した場合、図13のa区間の信号と受信超音波を図12のコンパレータ (LM358) により比較する。この場合、コンパレータ (LM358) はHを出力する。その後受信する経路①超音波は、図13のb区間の信号とコンパレータ (LM358) で比較されLを出力する。後段の回路との関係で、コンパレータ (LM358) の出力Lは超音波の受信を意味し、Hは超音波の無受信を意味する。したがって、経路②超音波による試作機の誤測定を図12回路により解決することができたと考える。

2 測定距離の直流電圧化

超音波送信ユニットから超音波が射出され、水底に反射し、超音波受信ユニットで受信する。その際、超音波の伝搬時間に対応した距離計測パルスが出力される。この計測パルス数は測定距離が長くなれば増加し、距離が短くなれば減少する。このパルス数の変化を直流電圧の変化として出力できないかと考え、積分回路を原理とするF/Vコンバータ(図14)の利用を検討した。計測パルスがF/Vコンバータ回路へ入力されると積分され、パルスの数、すなわち距離数に応じた直流電圧が出力される。この計測パルス数の変化と出力電圧の関係を図15に示す。この結果よりF/Vコンバータ回路により計測パルス数の変化を直流電圧の変化とすることが確認できた。その結果、水面、水底間距離の変化をパソコンに送ることが可能となり、水底の描画が可能となった。

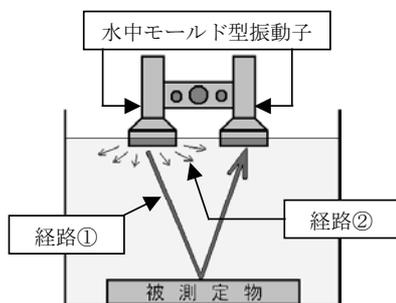


図11 二種類の超音波伝播経路

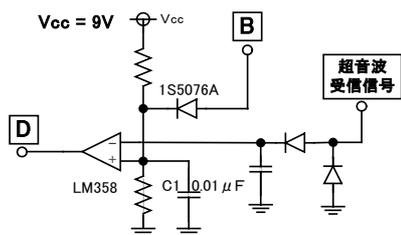


図12 超音波受信ユニット/コンパレート部分

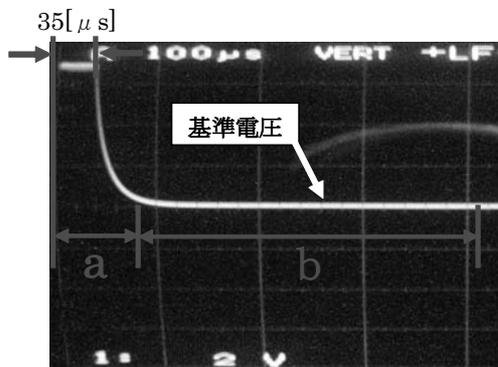


図13 タイミングパルス

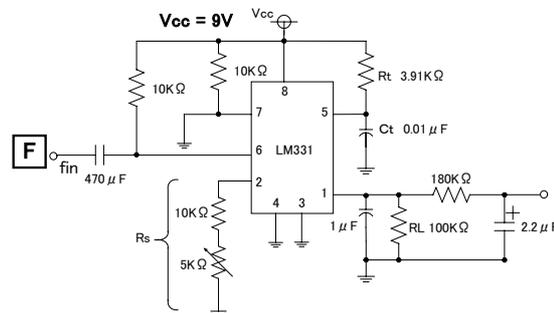


図14 F/Vコンバータ回路

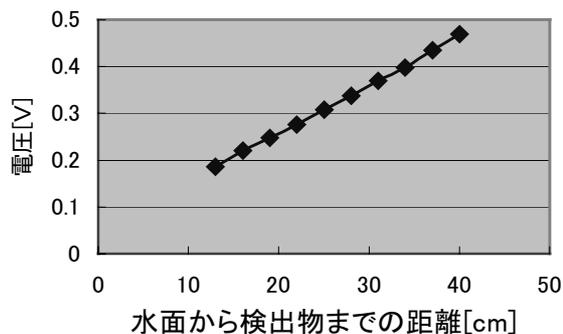


図15 距離と電圧の関係

V おわりに

本報は水中モールド型振動子を利用した水底観測システムの試作について報告した。水中モールド型振動子の基本特性に基づき発振器を作製し、送信ユニットにより水底へ向けて射出した超音波を受信ユニットで受信する。この超音波の伝搬時間により水面から水底までの距離測定、および水底描画を行った。実験では水中モールド型振動子を送信用、受信用別体を使用した。今後は水中モールド型振動子を送受信共用とする構成への改良、および距離測定精度の向上、正確な水底描画について、回路、システム構成等の改良を進めていく。

[参考文献]

- (1) 丹波登, 超音波計測, 昭晃堂, 1982年, P.1
- (2) 丹波登, 超音波計測, 昭晃堂, 1982年, P.2
- (3) 谷腰欣司, 超音波とその使い方, 日刊工業新聞社, 1994年, P.88
- (4) 木本晃, 信太克規, 圧電セラミック多機能接触センサによる材質識別, 電気学会論文誌E, No.9, 2004年, P.311-312
- (5) 木本晃, 信太克規, 圧電セラミック多機能接触センサによる材質識別, 電気学会論文誌E, No.9, 2004年, P.311-312

