

# 海中温度および深度の超音波テレメータ 計測システム

(システムの解析と計測器の試作)

東 克彦\*・荒木博文\*・中村 克\*

Telemetry system with Ultrasonic wave for Measurements  
of the Temperature and Deepness in the Sea  
(Analysis of System and Trial Production of Instruments)

by

Katsuhiko Higashi, Hirofumi Araki and Katsu Nakamura

Japan is surrounded by sea. Today it is an immediate for Japan to develop the sea resources. This study attentioned to the Temperature and Deepness that is fundamental dates in the sea. These dates are measured by temperature sensor and pressure sensor that is controlled of micro-computer, then these dates was transmitted by telemetry system with Ultrasonic wave. We manufactured trial and experimented this system.

## 1. まえがき

国の四面を海に囲まれ、しかも狭い陸地面積、貧しい資源しかもたないという自然条件にあるわが国にとって、海洋のもつ豊富な資源の開発、利用は今後に大きな意義をもつことは論を待たない。

日本海は平均深度1,730mで、間宮、宗谷、津軽の各海峡は狭く袋小路となっており、水深約200m以深では、年間を通してほとんど0°Cの冷海水を持つ冷蔵庫と考えられる。これに対馬、朝鮮各海峡より表面約200m以浅を対馬暖流(夏季27°Cmax)が流入しており、このような特性をもつ海域は日本海のみであり、日本にとって恵まれた利点と考えられる。

日本海に存在する温海水と冷海水の温度差が最大でかつ深度差が最小である地点は、対馬暖流が日本海に流入する日本山陰海域と韓国南東海域である。

省エネルギー、省資源の時代になり、この海洋温度差約20~25°Cのエネルギーと、さらに大型発電所の温排水の温度差8~10°Cのエネルギーは、小さいながらその量は膨大なので、それらの活用が考えられるようになって

てきた。

本大学においては、エネルギー資源活用への一環として、海洋温度差、発電所の温排水、さらに化学的昇温サイクル方式ヒート・ポンプ利用による海水淡水化実験が行われ、期待の海域の地点における海水温度差分布の実測が行われた。

海水温度差分布の測定は、サーミスタセンサを使用したX-BT(自動平衡記録抵抗温度計)と、安価なダイオードセンサを使用した温度測定回路の2つにより実験が行われた。

X-BTは、サーミスタを使用しているため直線性が悪く、一度投げ込むと回収不可能なため、測定回数を増やすと費用がかかる等の問題があった。

ダイオードセンサを使用した測定装置では、打点記録計を用い多数の測定温度が記録できた。しかし計測するために、ビニルキャップタイヤコード(0.75mm<sup>2</sup>, 2芯, 外径6.8%)を外径4%の麻ロープで並列結索して保護しながら使用し、水深200mともなると、潮流、コードのたるみ等の為、300m~400mの長さを船上よ

昭和63年9月31日受理

\*電気情報工学科 (Department of Electrical Engineering and Computer Science)

りおろさなければならない。400mでコードの自重が約25kg, おもり等を含めると30kg以上にもなり, 次の様な問題点が出てきた。

- (i)機械での巻き上げ, 巻き下ろしはコードの断線の危れがあるため, 人間の手作業による上げ下ろしに頼らざるを得ない。
- (ii)引き上げるのに重くて大変である。
- (iii)潮流などの影響でコードが弧を描いており, 正確な水深が分らない。

このような問題点を解決するためには, 測深センサの利用およびテレメータ化などが必要となってくる。

本稿はテレメータ方式による, 温度および深度の測定理論, 回路方式および各実験のデータを問題点とともに記述しておくものである。

## 2. 海中における情報伝達手段

海中での情報伝達手段としては, 電波, 光, 音波が考えられる。電波は水中では減衰が大きいため, 海中の情報伝達手段に電波を使用するのは適当でない。一方, 光は一般には減衰が大きいが, 緑の波長ではかなり減衰が小さい。とくにレーザー光線は高輝度であることから, 青および緑で発振するアルゴンレーザーおよびネオジウムレーザーの第2高調波が適当であると考えられる。しかしレーザービームは非常に鋭い指向性を有するため, 海中および海底の固定点への情報伝達には適しているが, 移動点および広範囲への情報伝達には不適当である。また, レーザービームは未開発の部分も多く高価である。そこで音波の利用が考えられるが, 海中での減衰を考えると周波数や距離によっては伝播損失が小さく, 実用可能な範囲内にあることが知られている。

音波を利用した通信には, 超音波を搬送波としたものと可聴音波をそのまま水中に放射するものとの二つに大別されるが, その使い分けは伝達距離と音源の有するパワーおよび経済性によって決められる。

超音波利用は, 空中における無線伝送および有線における搬送波技術に類似している。しかし水中伝送技術を考える時は, 伝送方式はもちろん情報の性質, 伝送経路の環境および情報処理についても考慮を要する必要がある。さらには, 情報の内容や使用時間によって伝送方式を選定しなくてはならない。

超音波による伝送には, 一般に連続波変調方式とパルス変調方式があげられる。連続波変調方式は海中雑音に比較的強く, 振幅変調(AM), 周波数変調(FM)などの方法があり, 一般には基本の搬送波周波数を情報に比例した周波数で変調したもの(FSK)が使用さ

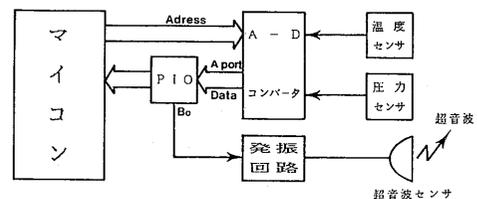
れている。パルス変調方式にはパルス間隔変調(PDM), パルス幅変調(PWM), パルス周波数変調(PNM)などがある。

今回はデータ数が少ないこと, 通信速度が高速である必要がないこと, 同一のデータを数回にわたり伝送し, 伝送エラーがあった時は無視すればよいこと, などからAMの一種である簡易なトーンバースト方式を採用した。またトーンバースト方式を用いることにより, 超音波センサが最大感度を示す周波数を利用できるという利点がある。トーンバースト方式とは, データの“1”, “0”に対応して発振を“ON”, “OFF”するものである。

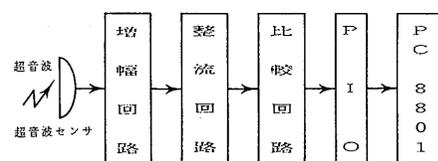
## 3. システム構成と各部の動作概要

海中温度および深度のテレメータ計測システムの構成図をFig. 1に示す。システムは送信部と受信部に大別される。

送信部の構成図をFig. 1(a)に示す。海中の温度および深度のデータは, 温度センサおよび圧力センサにより電気信号に変換される。この信号はアナログ信号であるので, マイコンに取り込むためにA-Dコンバータにより8ビットのデジタル信号に変換される。デジタル化されたデータはPIOよりマイコン内に取り込まれる。マイコンではデータの整理を行うとともに, シリアルデータに変換し, 下位ビットより順次PIOのBoに出力する。シリアルデータ形式をFig. 2に示す。シリアルデータの直前にはスタートビット(1ビット)と, 温度データか圧力データかを識別するための識別ビット(1ビット)が添加される。発振回路



(a) Transmission sector



(b) Recieve sector

Fig. 1 System block diagram

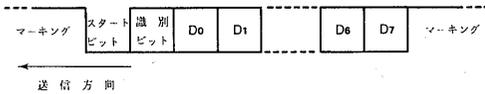


Fig. 2 Style of serial data

は PIO の B<sub>0</sub>からのデータにより制御され、データの“1”，“0”に対応して発振を“ON”，“OFF”する。超音波センサは発振回路により駆動される。このようにして温度あるいは深度のデータは、超音波のトーンバースト信号として送信される。

受信部の構成図を Fig. 1 (b)に示す。受信部においては、送信部から送られてきた超音波のトーンバースト信号を、超音波センサにより受信する。超音波センサは、超音波信号を受信しているときは正弦波電圧を出力し、受信していない時は出力をしない。この出力を増幅回路により数百～数千倍に増幅し、整流回路により直流に変換する。この出力は安定していないので、比較回路により安定した直流電圧を得る。これらのシリアルデータは PIO を通してパソコンへ入力される。パソコンでは、このシリアルデータをパラレルデータに変換し整理するとともに、ディスプレイ表示のための処理を行う。

4. 回路方式

4. 1 温度測定回路

温度測定用のセンサとしては、従来より熱電対、サーミスタ、サーモカップル、白金抵抗体等が多く用いられてきた。しかしサーミスタ等は出力に温度との直線性がなく、それを補正するために外部にリニアライズ（線形補償）回路を必要とし、センサに接続する増幅器が大がかりとなっていた。最近では、センサとリニアライズ回路を一体化した高性能の IC 温度センサが広く使われている。IC 温度センサは、バイポーラトランジスタのベース・エミッタ間順方向電圧降下  $V_{BE}$  の温度係数約  $2.3mV/^{\circ}C$  を利用し、増幅回路や出力トランジスタを同一シリコンチップ内に集積したものであり、バイポーラ IC が市販されている。IC 温度センサは、(1)出力がすでに線形化されているのでリニアライズ回路が不要である。(2)精度が比較的良好。(3)出力インピーダンスが高いので伝送路の抵抗、コネクタ接触抵抗などの影響を受けにくい。(4)感温部の他にセンサ駆動回路、信号処理回路などを集積化でき、小型パッケージに封入されているので使いやすい。(5)広範囲の温度変化を測定できる。等の利点を持っている。

今回行った実験では、IC 温度センサ AD590J (A・D 社製)を用いた。AD590J は、直流電源 (+4 V ~ +30

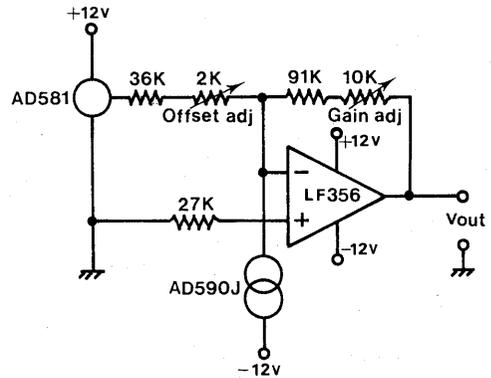


Fig. 3 Experiment circuit of temperature measurement

V) で高インピーダンス (10M $\Omega$ ) 以上の定電流源として動作し、温度変化に対する出力電流は  $1 \mu A/^{\circ}K$  である。また  $25^{\circ}C$  ( $298.2^{\circ}K$ ) での出力が  $298.2 \mu A$  になるようにデバイスが校正されている。Fig. 3 に AD590J を用いた温度測定回路を示す。AD581 は、12V ~ 40V の安定化されていない直流電圧を 10V の定電圧にするための素子である。抵抗  $R_1$  は  $0^{\circ}C$  の時の出力を 0 V にオフセットするためのポリウムで、 $R_2$  はゲイン調整用のポリウムである。

4. 2 深度測定回路

水深の測定は、水深に対する水圧の関係より水圧の測定に置換できる。圧力という力学的な量を電気信号に変換するには圧力センサが必要となる。この変換を一つの変換要素で行うセンサもあるが、一般には複数の変換要素を組み合わせ用いている。例えば感圧素子により圧力を変位に変換し、変位を電気量に変換するようなものである。今回、圧力センサとして半導体拡散抵抗型圧力センサ KS2152 (フィリップス社) を使用した。この圧力センサは感圧素子としてダイアフラムを用い、その変位をストレインゲージにより電気信号に変換するものである。KS2152 のスパンは  $0 \sim 1.6$  (bar) であり、大気圧 1 (bar) との差圧を測定するため、測定可能深度は最大 6 (m) である。

深度測定回路を Fig. 4 に示す。AD581 は 12V ~ 40V の不安定な直流電圧を 10V の安定電圧にする 3 端子レギュレータ素子である。圧力センサ KS2152 は  $V_p^+$  と  $V_p^-$  間より圧力に比例した電圧を出力する。この出力は 0 bar の時に 0 V、1.0 bar の時に 50 mV である。これを差動増幅回路を用いて増幅し、大気圧 (1 bar) の時に 0 V となるようにオフセットをかけ調整する。

4. 3 送受信回路

送信回路を Fig. 5 に示す。温度および深度のデータ

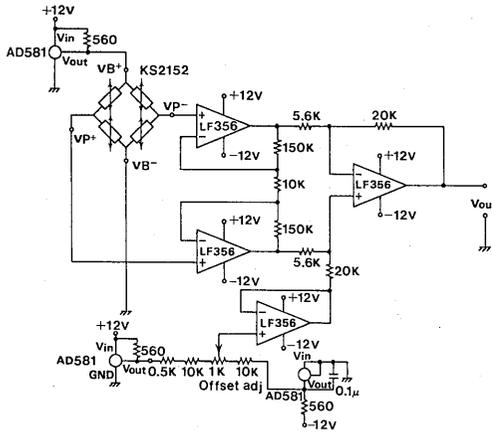


Fig. 4 Experiment circuit of deepness measurement

はマイコンに取り込まれ、シリアルデータに変換されるとともに、PIOのB<sub>0</sub>より出力される。送信回路はB<sub>0</sub>の出力により制御されるが、伝送方式としてトーンバースト方式を採用しているので、B<sub>0</sub>の出力が“1”の間は発振し、“0”の間は停止するように構成されている。超音波センサ MA40L4R は、周波数40kHzにおいて最大出力を得るので抵抗R<sub>f</sub>により周波数の調整を行う。

受信回路を Fig. 6 に示す。超音波センサは超音波を受信すると正弦波電圧を出力する。この出力は数 mV 程度であるので、Fig. 6 (a) に示す回路でトランジスタ増幅を行った後、さらにオペアンプを用いた反転増幅回路で増幅する。増幅された正弦波信号は、Fig. 6 (b) に示す回路で整流される。この回路は、反転理想ダイオードと反転加算回路を組み合わせた絶対値増幅回路である。入力が+側半サイクルの時には、a 点の電圧は入力を反転整流した-半サイクルの電圧であり、これがR<sub>6</sub>経由でR<sub>3</sub>経由の入力の+半サイクルと加算され出力される。次に入力が-側半サイクルの時には、a 点の電圧は0であるので、入力の-半サイクルはR<sub>3</sub>経由

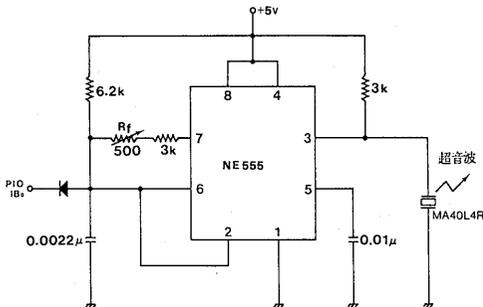


Fig. 5 Transmission circuit

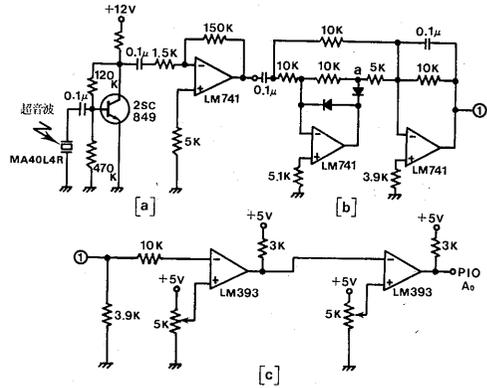


Fig. 6 Receiver circuit  
(a) Amplification sector  
(b) Rectification sector  
(c) Comparison sector

で増幅され、そのまま出力される。したがってトータルとしての出力は、入力の+側半サイクルおよび-半サイクルをR<sub>6</sub>/R<sub>3</sub>倍した正の直流電圧となる。整流回路の出力は、不安定な直流電圧である。このままではパソコンへ取り込むことができないので、安定化するために、コンパレータを用いた。比較回路を Fig. 6 (c) に示す。比較電圧はR<sub>6</sub>およびR<sub>7</sub>で調整する。一段目のコンパレータでシリアルデータは“1”と“0”が反転するので、二段目のコンパレータで再び反転している。

## 5. 実験結果および検討

### 5. 1 温度測定回路の特性

温度測定回路の特性試験は IC 温度センサ AD590J をビニル袋に入れ防水保護しながら、水の温度を変えて行った。水温が30°C以上と高い場合には、ビニル袋の内側に水滴が発生しセンサの正常な動作を防げるため、0°C~30°Cの温度範囲での特性試験となった。

Fig. 7 に温度測定回路の特性を示す。特性試験前に水温が0°Cの時に出力が0V、水温が30°Cの時に出力が3Vとなるようにオフセット調整とゲイン調整を交互に2回ずつ行っている。温度変化に対する出力電圧の変化は0.1V/°Cである。

### 5. 2 深度測定回路の特性

深度測定回路の特性試験は、直径20cm、高さ16mの塩ビパイプに水を入れて溜めて行った。

Fig. 8 に深度測定回路の特性を示す。深度0mにおいて出力が0Vとなるようにオフセットをかけている。深度変化に対する出力電圧の変化は0.3V/mである。

### 5. 3 送受信回路の特性

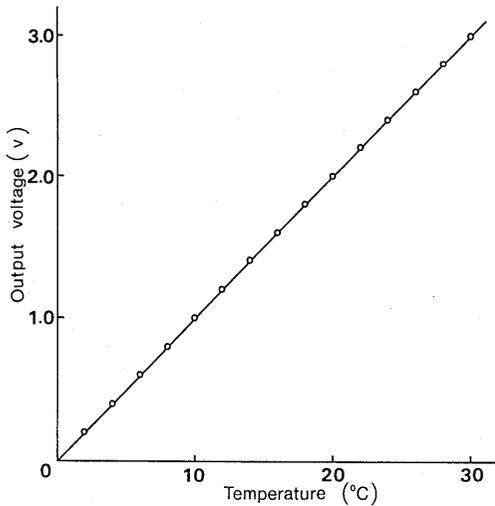


Fig. 7 Characteristic curve of temperature measurement circuit

超音波センサの減衰特性を Fig. 9 に示す。ここでは距離1.5mまでの特性しか示していないが、データ伝送可能な距離は最大6.5mであった。

## 6. 考 察

温度測定回路においては、水温0°C~30°Cにおいて0V~3Vの直線出力を得た。この時の誤差は最大で±0.01Vであった。A-Dコンバータにより0Vで0、3Vで255(フルスケール)となるように変換すると、分解能は0.012V/bitとなるので良好な結果といえる。

深度測定回路においては、深度0~6mにおいて直線出力を得ることができた。測定圧がさらに大きい圧力センサを用いることにより数百mの深度の測定も可能であるが、今後の課題である。

データ伝送においては約6m以内において、ミスのないデータ伝送が行え、さらにマイコンによるデータ処理も行った。今後は伝送距離を大きくするため、出力の大きな超音波センサの利用も考えている。

## 7. 結 論

今回のシステムでは実際の海中での利用は行えず、試作段階にとどまった。しかしながら、温度および深度の測定を行い、さらには超音波によるデータ伝送も一応の成功を収めることができた。今後は、残っている問題点の一つずつ解決してゆき、本来の目的である海中温度および深度のテレメータ計測が行えるよう、さらにはもっと多数の海洋データの計測が行えるよう、研究を進めていくつもりであった。

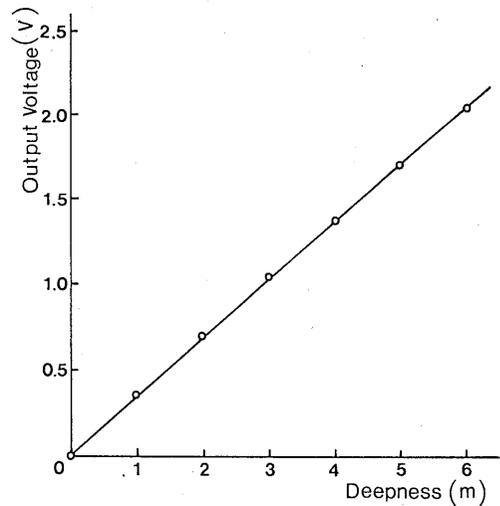


Fig. 8 Characteristic curve of deepness measurement circuit

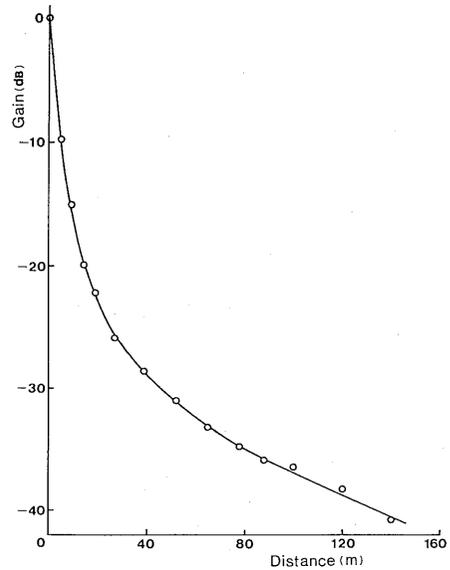


Fig. 9 Characteristic curve of ultrasonic wave sensor

## 参 考 文 献

- (1) 佐々木：海洋開発6 海洋開発センター局
- (2) センサ技術 1985-5 (センサ回路デザインブック) 東京エレクトロン
- (3) 高橋, 東, 栗須：長崎大学工学部研究報告 第17号 (昭57)