

水中超音波によるテレメーター

金 成 誠 一

UNDERWATER ACOUSTIC TELEMETRY FOR OCEANOGRAPHICAL AND LIMNOLOGICAL RESEARCH

by Seiichi KANARI

synopsis

The acoustic telemetry system described in this paper is designed for measuring depth, water temperature and turbidity in reservoir. This instrument is self-contained, and transmits the modulated super sonic f-m signal to a hydrophone near the shore or the surface of reservoir. The transmitted signal is received and then demodulated to recover the original information for depth, water temperature and turbidity by a specially designed f-m receiver, and recorded on a d. c. recorder.

The system is completely acoustical and eliminates the need for electrical cables or other connecting devices. This can be used also for oceanographical observations.

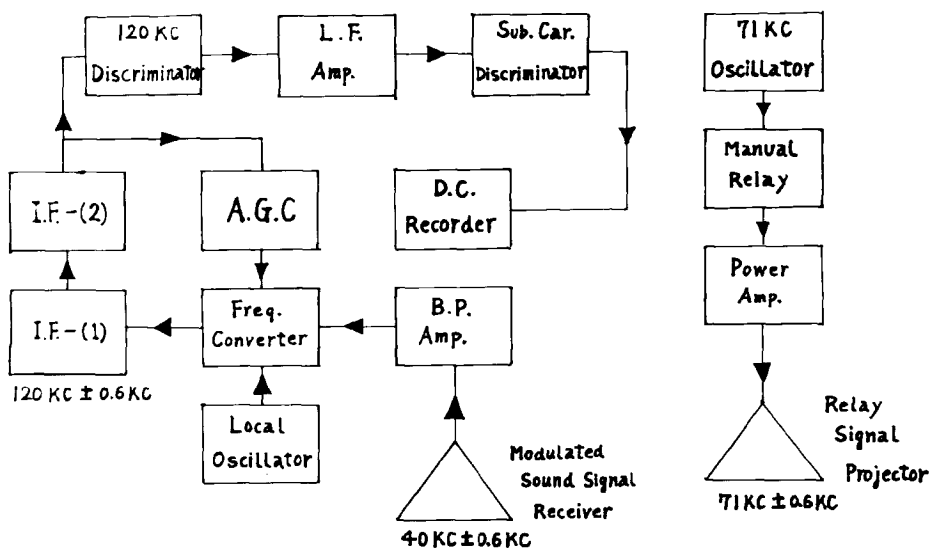
1. 緒 言

近年エレクトロニクスの目ざましい発達にともない各種の電氣的測器が開発され、水理観測の分野でもかなり良質のデーターがとれるようになった。しかしながら、水深の大きな海あるいは湖で、こうした測器を使用する場合には水深に応じた電氣的ケーブルを必要とするために、その適応性はきわめて限られているのが現状である。特に測定諸量を直ちに自記しようとする場合には、かなりの長さの電気ケーブルを含めた回路設計を行なわなければならない、このことが、技術的にやつかいな問題を提起することがすくなくない。こうした問題に対する解決策は、水中超音波を伝送媒体とした遠隔測定の中に見出される。測定量の電波による遠隔伝送は最近ひろく利用されるようになってきているが、水は電波に対して不透明であるのでこれを水中の遠隔測定に用いることはできない。一方、水中音波は比較的小さな減衰で相当長い距離を伝播することができるので、電波による遠隔測定の技術をそのまま利用し、電波のかわりに水中超音波を使用することにより、水中での遠隔測定を行なうことができる。この方式の最初の具体化は米国の W. Dow らによって行なわれた。その後英国、ソ連などにおいてもこの方式の有効性が注目され、現在解決すべき二、三の問題が残されてはいるが大いに将来の発展が期待されている。著者は、上述の方式の発展への一つの試みとして、貯水池あるいは海洋の水温、濁度ならびに深さを測定、伝送する装置を試作したので、以下においてその概要を述べる。

2. System の概要

装置は Fig. 1 に示すように、水中に沈められる送信部 (Underwater Transmitter) と船上もしくは陸上の受信部 (Receiving Unit) とからなることは、通常の通信 System と変わりはない。伝送すべき Channel は上記の三つの量のほかに、ふたつの基準信号を加えた 5 channel で、各 channel とも測定量に応じ 240c/s

RECEIVING UNIT



UNDERWATER TRANSMITTER

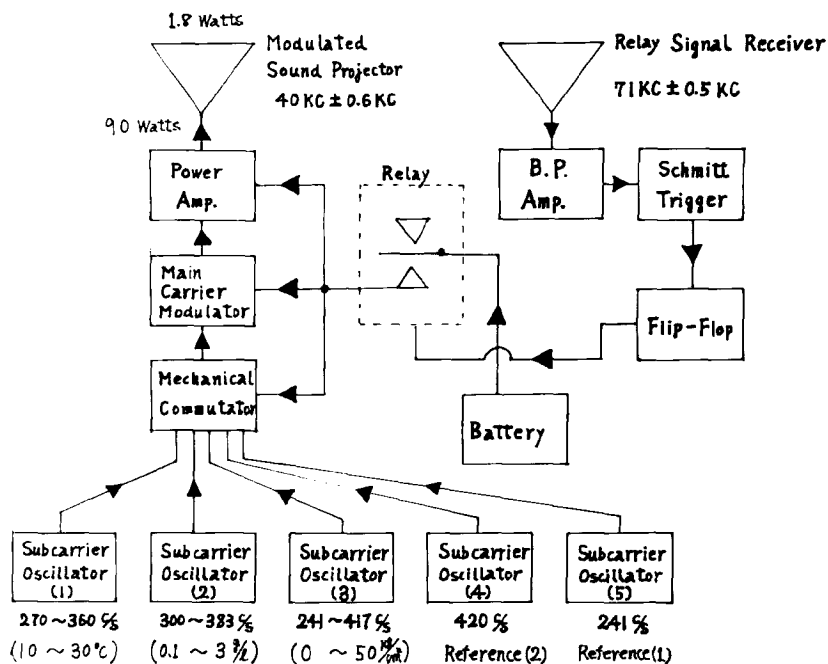


Fig. 1 Block diagram of f-m/f-m underwater telemetry system.

から 420c/s の間の電氣的信号 (subcarrier) を発振し、これらは Mechanical Commutator によって順に選択され、これによって中心周波数約 40.2kc の信号を周波数変調する。この変調波を必要な level (9W) まで電力増巾したのち、適当な指向性 (指向性はどれくらいにすべきかという定説は現在のところ与えられていないが、著者の経験では Power の loss および受信の安定性などから判断して $\pm 15^\circ$ 程度が最適と考える。) を持った電気音響変換器 (チタン酸バリウム振動子) を通して水中超音波に変換する。変調音波は所定の距離を伝播したのちに、f-m 受信器の入力側に接続されている Receiving Hydrophone (Photo. 1) によって

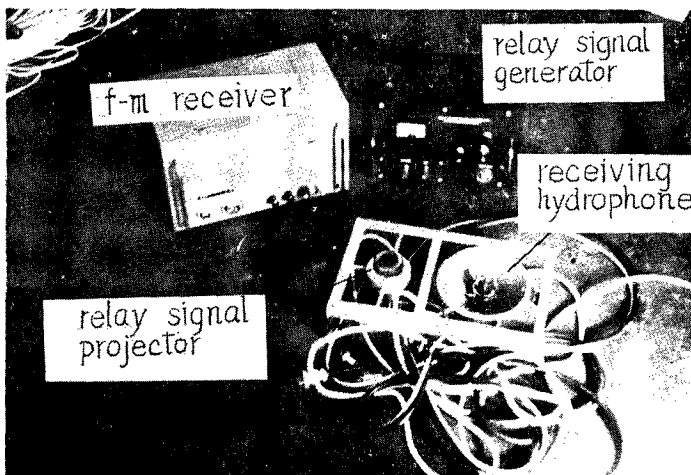


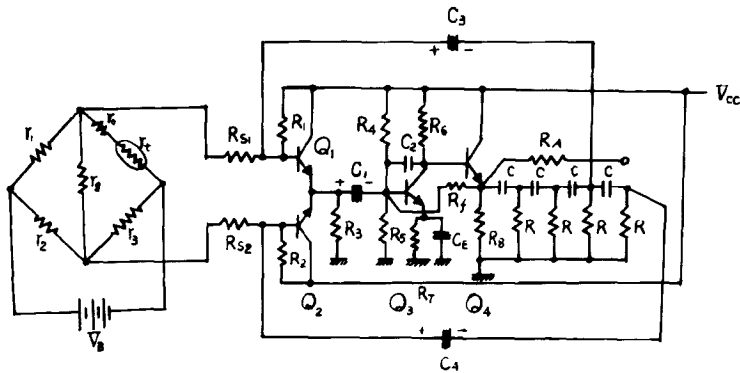
Photo. 1 View of receiving unit.

再び電気信号に変換され、f-m 復調器によって元の測定諸量に対応した d. c. 電圧として Recorder に順次記録されてゆく。なお、この System には電源の音響的 Remote Control 装置が含まれており、船上または陸上から 71.5kc の超音波パルスを発振することによって、水中の送信器に必要な時にのみ送信を行なわせることができる。

3. 副搬送波発振器

(1) 水温. 水温測定に用いた副搬送波発振器を Fig. 2 に示す。Bridge 回転のひとつの arm に含まれている抵抗 r_t は水温測定用の bead 型サーミスターであり、 r_g の端子電圧が 10°C から 30°C の水温に対して直線的 (0.1%) に変化するように各 arm の抵抗値を Set してある。この端子電圧によって電圧制御型位相推移発振器の発振周波数を制御する。この発振特性は Fig. 4 に示す通りである。

(2) 濁度. 水中の濁度の絶対量を測定することはそれほど簡単ではないので、ここでは濁度の相対的な変動を測定することに重点をおき、直径 25mm、長さ 150mm の薄肉円管 (アルミニウム) の一端に光源 (3V) 他端に太陽電池を取りつけ、さらに円管の側面には 6mm の穴を多数開口させ、その中を水が自由に入出力できるようにし、有効距離 13.5cm の間の媒質中の光の減衰量を太陽電池の出力電流に変換し、これを濁度に対応させた。太陽電池出力端子は水温測定用の副搬送波発振器と同一 type のものに組み込まれており、その出力特性は Fig. 4 に示されている。光の減衰量と媒質中の浮游砂濃度 (濁度) とを関係づけるとき、浮游砂の粒度組成が問題となるが、浮游砂の粒径が $0.5 \sim 200\mu$ の範囲内にある場合には光の減衰量と濃度との間に一対一の対応が成立するとみてもよいようである⁽²⁾。なお、浮游砂濃度と太陽電池出力電流との関係は Fig. 5 に示してある。浮游砂濃度としてはかなり高い範囲が使われているが、これは貯水池の中の高濃度の浮游砂 (たとえば Turbidity Current にともなうような) を測定対象としたからである。



$$\begin{aligned}
 R_{S1} &= R_{S2} = 50K & C_1 &= 3\mu F & Q_1 &= Q_2 = \mu pA-15 \\
 R_1 &= R_2 = 200K & C_2 &= 0.002\mu F & Q_3 &= Q_4 = 2SC-284J \\
 R_3 &= 10K & C_3 &= C_4 = 3\mu F & r_o &= 7K & V_B &= 9.2V \\
 R_4 &= 100K & C_E &= 20\mu F & I_1 &= 27K & V_{cc} &= 10V \\
 R_5 &= 1K & C &= 0.05\mu F & I_2 &= 8.2K & & \\
 R_6 &= 5K & R &= 5K & I_3 &= 5K & I_t &= \text{thermistor} \\
 R_7 &= 2K & R_A &= 8K & I_9 &= 6.2K & & \\
 R_f &= 100K & & & & & & \\
 R_8 &= 2K & & & & & &
 \end{aligned}$$

Fig. 2 Circuit diagram of temperature sensitive subcarrier oscillator. Resistor r_t in a arm of the bridge circuit is a thermistor.

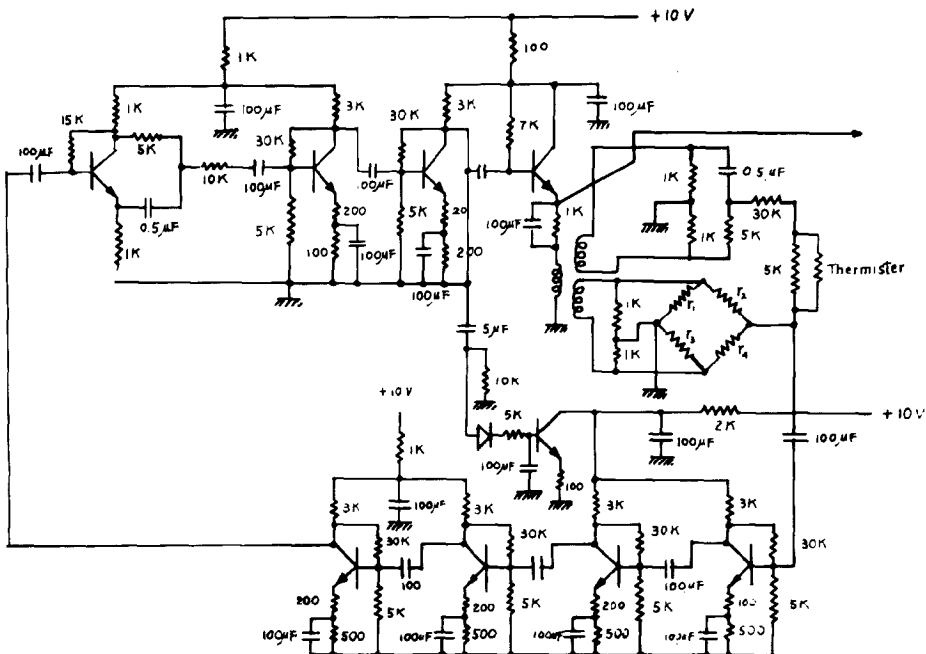


Fig. 3 Circuit diagram of pressure sensitive subcarrier oscillator. The bridge circuit of $r_1 \sim r_4$ shows the PR-50 type pressure transducer (Shinkoh T. K. Co.).

(3) 圧力. Fig. 3 は圧力 (静水圧) 測定用の副搬送波発振器であり, Bridge 回転を構成している抵抗 r_1 , r_2 , r_3 および r_4 には市販の圧力変換器を使用した。発振器は前記の水温ならびに濁度用のそれと一見異なっているようであるが, 原理的にはこれも位相推移型の発振器である。ただし, 安定度が幾分悪いために, 圧力用として要求された精度を満足する性能は持っていない。発振特性は Fig. 4 に示す通りである。

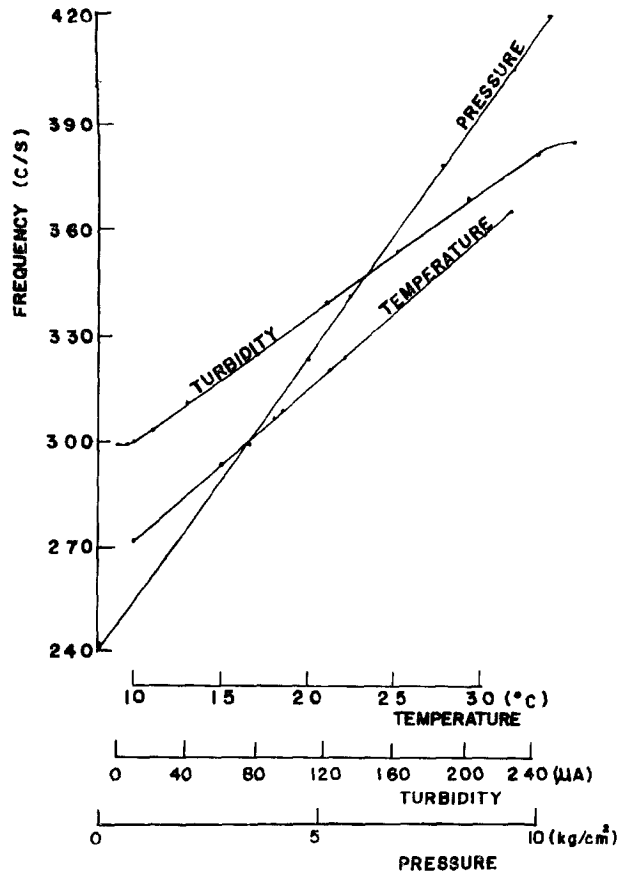


Fig. 4 Characteristics of temperature, turbidity and pressure sensitive subcarrier oscillators. Turbidity is shown as the output current of the photo-electric cell which has the characteristics as shown in figure 5.

(4) 基準信号. 上記三個の発振器のほかに, 最終的な記録の読みとりの便を考慮して 241c/s および 420c/s の固定周波数発振器を内蔵しているが, 回路としては水温用の発振器と同じである。

以上の各種 subcarrier 発振器および主搬送波発振変調器 (水温用副搬送波発振器と同じ type で発振周波数を 40kc 付近に設定したもの), さらに電力増巾器などの諸性能については Table 1 にまとめている。

また, 送信器の内部回路の実際は Photo. 2 に示してある。

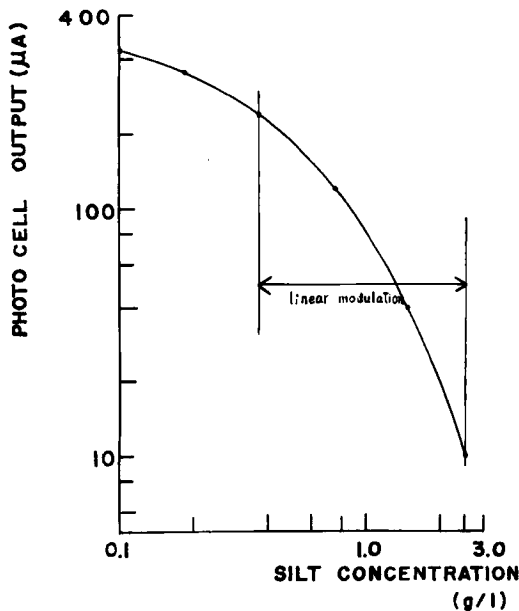


Fig. 5 Turbidity (silt concentration in g/l) versus output current of photo-electric cell.

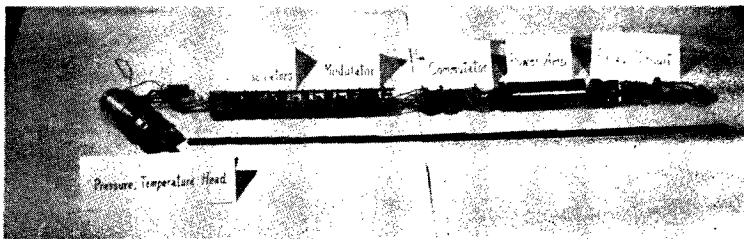


Photo. 2 Electronic component assembly.

4. 送波器指向性

一般に音響測深を行なう場合には、送波器の指向性を鋭くするにつれて Bottom topography の分解能は向上する。したがって最近の測深器では指向性を鋭くする傾向にあるが、音響通信あるいはテレメーターでは、常に良質 (SN 比の高い) の信号を受波することに重点がおかれるために、送波指向性を鋭くすることによって受波器が音域外にそれることを極力さけなければならない。しかし、指向角を広くするにつれて有効音域内の音響強度が低下し efficiency の点からは好ましくない。現在のところテレメーターの最適指向角を与える手段は見出されていないが、著者の経験では、半減指向角を $\pm 15^\circ$ 前後とするのがもっとも使用しやすいように思われる。本装置には外径 40mm、高さ 38mm、肉厚 3mm の円筒型チタン酸バリウムのひろがり振動 (二次元無指向性) を corn 状の反射傘を利用して一方向の放射を行なわせている。その指向特性 (計算値) は Fig. 6 の実線に示してある。図の破線で示した特性 (計算値) は、Relay 信号送波器 (ランジュバン型 $f_0=71.5\text{kc}$) のものである。これは直径 50mm の円形送波面のピストン振動を利用したものであり、Relay 信号受波器にもこれと同一の振動子が使われている。

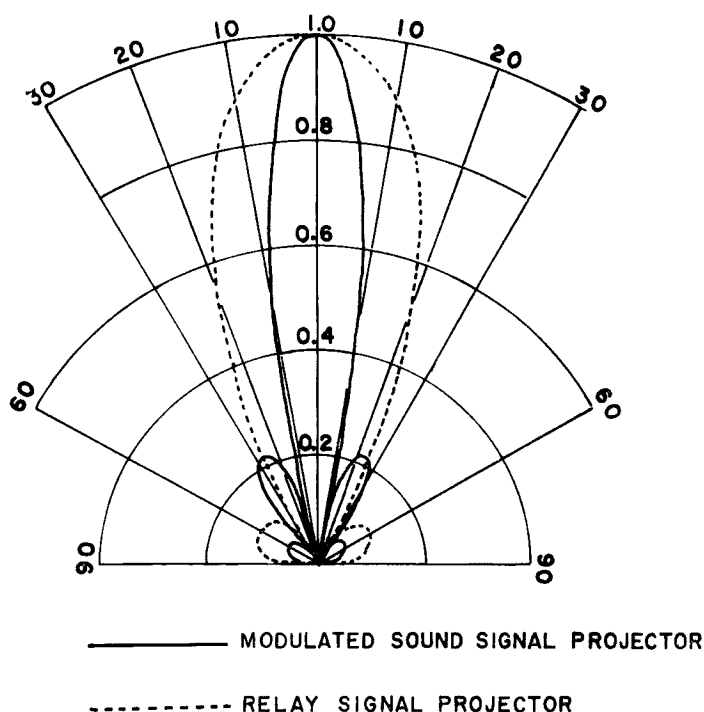


Fig. 6 Calculated directivity patterns of modulated sound signal projector of the transmitter and of relay signal projector in deck unit.

5. 送信器構造

送信器回路 (Photo. 2) は内径 50mm, 肉厚 6mm, 長さ 1300mm のアルミニウム円筒に収納されており, その両端は O-ring パッキングを付した金属蓋により完全に密封される。電源ならびに送波器, その他二, 三の外部回路への必要な lead は金属蓋を通じて外側に導かれており, いずれも完全な耐圧 (静水圧), 絶縁シールが施こされている。この主円筒の周囲には 4 本の内径 36mm, 肉厚 3mm, 長さ 700mm のアルミニウム円筒が硬質塩化ビニール製の円板によって固定されており (Photo. 3), この 4 本の円筒には乾電池が収納される。使用電池の list は Table. 2 に示してある。変調信号送波器および Relay 信号受波器は, 主円筒の上端に主円筒をはさんでとりつけられており, 各々の音響主軸は主円筒軸を含むひとつの平面内で方向を変えうようになっている。電池を装填した状態での本体重量は約 20kg (水中で 12kg) である。

6. 記録例

本装置の主な使用法には⁽¹⁾, 水温, 濁度の鉛直分布を測定する場合の (1) Vertical Transmission (Fig. 7), および送信器を水底に固定して, 岸から固定点の水温, 濁度の時間的変化を測定する場合の (2) Slantways Transmission (Fig. 8) のふたつがある。(1)においては, 送信器を水中に入れ Relay 信号によって送信器電源回路を閉じたのちに送信器を適当な速度で所定の深度まで降ろしてゆくことによりその途中の水温, 濁度および送信器の位置する深度が刻々記録されてゆく。Fig. 9 は天ヶ瀬貯水池の最深部において実験を行なったときの記録の一例であるが, 実験は鉛直混合の行われ易い秋に実施されたので, 水温および濁度はいずれもともにほとんど一様で鉛直方向の変化を示していない。また, 圧力測定用の副搬送

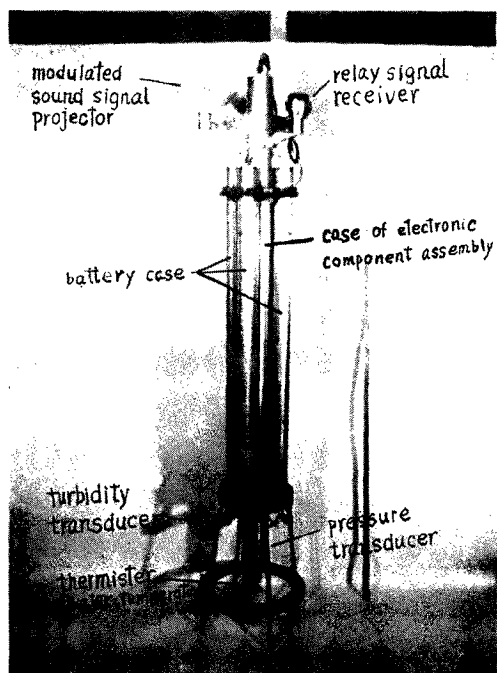


Photo. 3 View of underwater unit (transmitter).

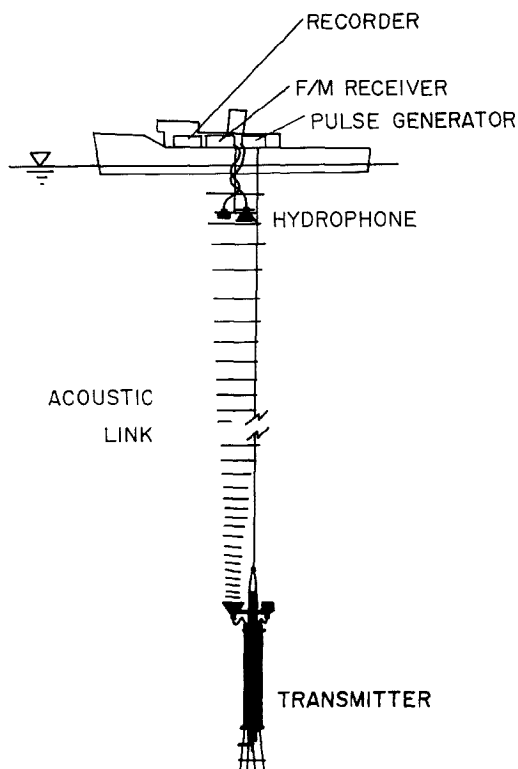


Fig. 7 Schematic diagram of vertical transmission.

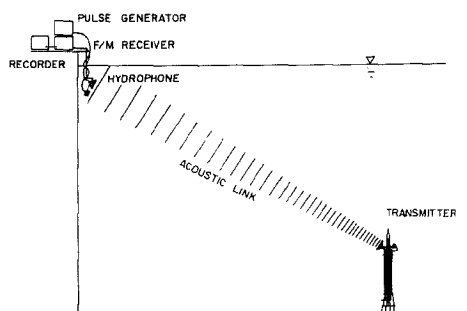


Fig. 8 Schematic diagram of slantways transmission.

Table 1. List of characteristics of each components.

	Input level	Center of freq.	Maximum freq. deviation	Output level	Gain	Accuracy
Subcarrier Oscillator (1)	94~200mv (10~30°C)	315c/s	±14.3% (270 360c/s)	1.0Vpp.	29.7db	±0.15%
Subcarrier Oscillator (2)	5~120mv (100~240mv)	335c/s	±12.2% (300 383c/s)	1.0Vpp.	30.7db	±0.25%
Subcarrier Oscillator (3)	0~50 kg/cm ²	329c/s	±26.8% (241 417c/s)	1.0Vpp.		±1.2%
Reference sign. Oscillator (1)		420c/s		1.0Vpp.	30.7db	±0.25%
Reference sign. Oscillator (2)		241c/s		1.0Vpp.	37db	±0.4%
Main carrier modulator	1.0Vpp.	40.2kc/s	±0.6kc/s	0.5Vpp.	-6.odb	±0.2%
Power amp.	0.4Vpp. 1	40.2kc/s	B=1.2kc/s	60Vpp. (max.) (R=200ohm)	50db	
Relay signal amplifier	0~100μv	71.5kc/s	B=±0.5kc/s	4.0Vpp. (max.)	92db	

Table 2. Batteries used in the system.

送信回路	100W	単-1(1.5V)	24個	(8個直列)×3
Commutator	0.5W	単-1(1.5V)	6個	6個直列
濁度計光源	0.9W	単-1(1.5V)	2個	2個直列
ブリッジ電源	1~3mW	水銀(9.1V)	1個	

波発振器が調整不良のために異常発振を起こして、圧力の変化を記録することができなかった。

(2)の Slantways Transmission に対してはまだ実験がなされていないが、装置の若干の調整がすみ次第実験する予定である。なお、本装置によって、どれくらいの距離のテレメーターが可能であるかを調べる目的で、受波器を水面下2m、送信器を水面下3mに沈めて、水平距離約1000mの Horizontal Transmissionを試みた。その結果はFig. 10に示すように、きわめて不安定な受信波を記録している。これは、受波器および送信器が共に水面近くにあるために、水面からの多重反射波によって信号波が干渉を受けた結果である。したがって、良質の受信波を得るためには、こうした媒質の境界面での多重反射による信号波の干渉をできるだけさけるような伝送方向をえらぶ必要がある。その一例として、Fig. 11にいくつかの Transmission に対する受信の安定性を模式的に示してある。ここにはきわめて単純なケースだけをえらんで示してある。しかし、信号が干渉を受けても、それが振巾制限器で除去できる程度のものであれば問題はない。一般には、こうした干渉の程度および干渉の有無は、送、受波器の指向性、境界面の反射能、水深、媒質の密度分布、送、受波器の位置および距離、音波の周波数などが総合的に影響し合うので、一義的に決定することはできない。

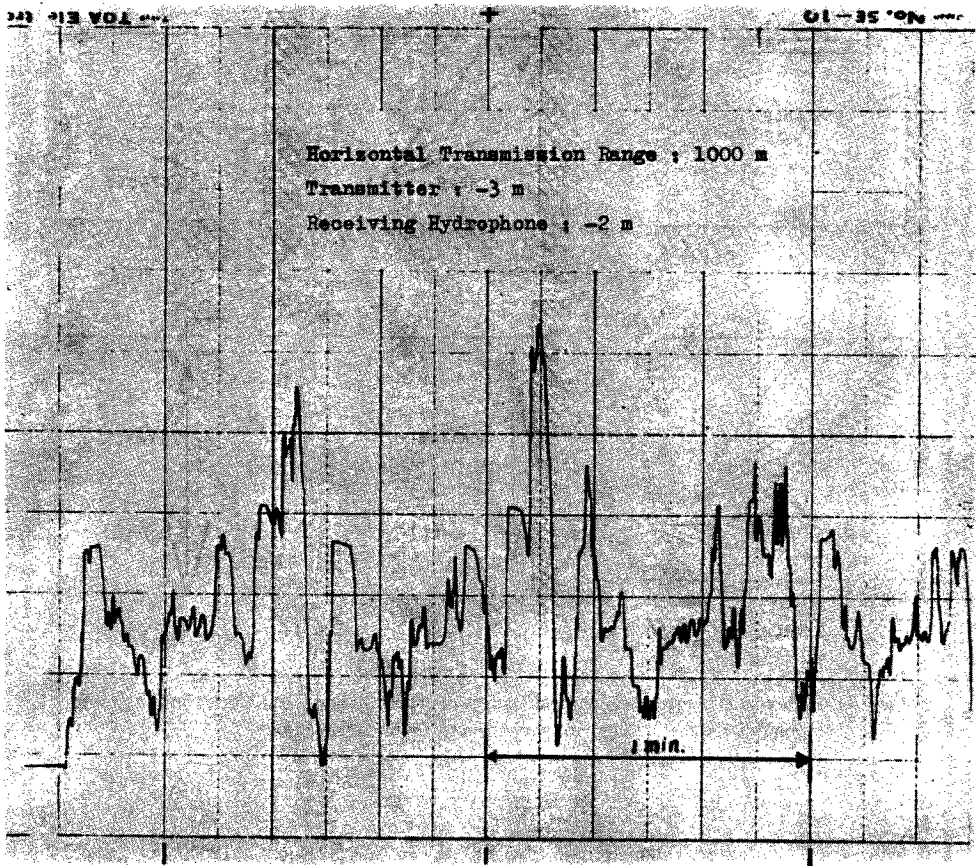


Fig. 10 An example of telemetered record.

7. む す び

水中超音波を伝送媒体として、水中の物理量を遠隔測定する装置を試作した。この装置の利点は、取り扱いのめんどろな電氣的ケーブルを必要としない点にある。現在試作が完了したばかりで、調整を要する点が二、三あるが、天ヶ瀬貯水池における実験では比較的良好な記録が得られた。本装置は測定要素の数を多くすることに重点をおいたので精度はそれほど高くなく、水温、圧力および濁度の測定精度はいずれも2%程度である。送信器回路にはトランジスターを使用し、回路の小型化をはかったにもかかわらず、本体はかなり大型のものになってしまったが、この点については将来 Circuit Component をすべて Micro-Module 化することにより解決されるものと思われる。

謝 辞

本装置の試作にあたり、音響テレメーター装置の有用性について貴重なる示唆を与えられた京都大学防災研究所長速水頌一郎教授に心から感謝する。また、試作ならびに現場テストを通じ、あらゆる便宜を計られ終始激励を与えられた当研究所地形土壤部門奥田教授ならびに当研究室の諸氏に厚く感謝する。現場テストにあたっては近畿地方建設局天ヶ瀬ダム管理事務所の御協力を受けた。最後に、本装置の回路の製作に関しては早川電機KK産業器機課の御協力によるものであることを記し、ここに謝意を表する。

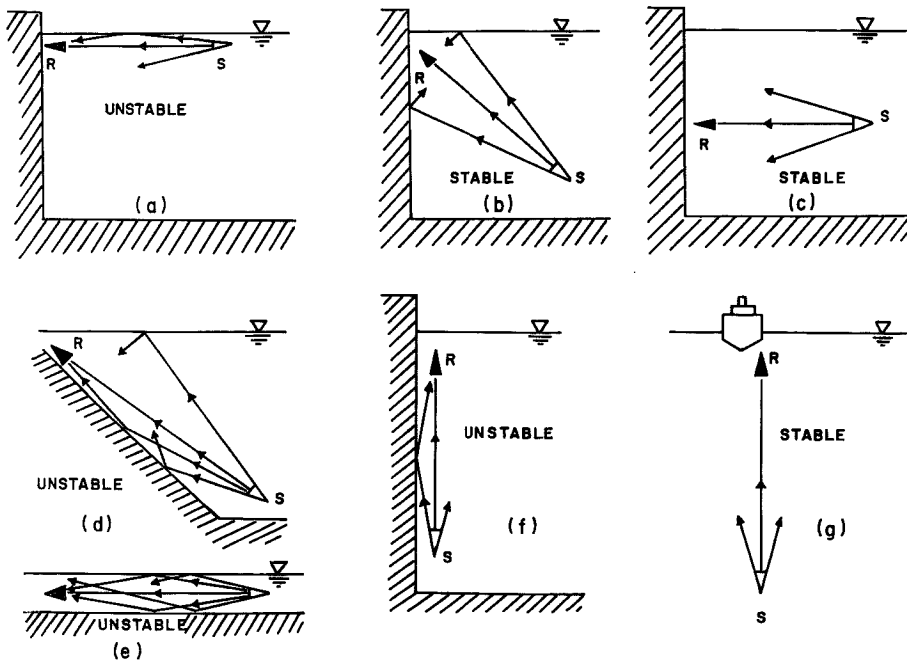


Fig. 11 Schematic diagram of several types of transmission. A black and a white triangles denote a receiver and a sound source respectively.

参 考 文 献

- (1) W. Dow., Underwater Telemetering., No. 880. Deep Sea Research., 1954, Vol. 2, pp. 145~151
- (2) D. E. Campbell, R. J. Cyr, C. Crosier., Underwater Telemetry for Oceanographic Research., Electronics, Jan. 12, 1962, pp. 53~68.
- (3) M. J. Tucker, R. Bowers, F. E. Pierce and B. J. Barrow., An acoustically telemetering depth gauge., Deep Sea Research, 1963, Vol. 10, pp. 471~478.
- (4) A. N. Paramonov., The use of the principles of discrete counting for the transmission of data from deep sea measurements., Okeanologia, 1961, Vol. 1, No. 4, pp. 710~716.
- (5) J. M. Snodgrass, J. H. Cawley, Jr., Temperature and depth circuitry in a telerecording bathythermometer., Contribution from the Scripps Institute of Oceanography, New Series, No. 880.