

21. ダイバー用海中位置表示装置の開発

池田 幹男*¹ 大久保 明*² 神田 修治*¹

ダイバーが潜水作業をする場合には、その場所と行動を把握することが、作業能率の向上および安全上から重要である。本装置はショートベースライン方式によって、ダイバー等の位置を支援船上に表示するものである。その性能は深度 100 m、距離 150 m の測定範囲を有し、精度は 1 m 以内である。この装置の開発にあたってダイバーの排気泡等による海中雑音の中で正確に安定した位置表示を行うため、実海域データ収録等のフィールドスタディを行った上、2 パルス信号授受による信号と雑音の弁別、狭帯域増幅および受波時間帯の設定等の対策を検討するとともに統計処理、平均値演算等の信号処理方法を採用し、計測値の信頼性向上をはかった。また開発された装置につき、実海域で性能確認を行い、要求性能を満たすことを確認した。

Development of an Underwater Diver Positioning System

Mikio Ikeda*¹, Akira Okubo*², Shuji Kanda*¹

When divers are working, it is important to know their position and motion in order to work safely and effectively. This system, based upon the short-baseline acoustic technique, measures and displays the position of the divers on the C R T of the surface support vessel within a 150 meter range and a 100 meter depth, accurate to one meter. This paper describes the system and the results of the operational test. The principal features are as follows;

- (1) The bubbles of the diver's breathing gas disturbs ultrasonic communication. In order to overcome this phenomenon we developed a coded signal technique, a narrow band amplifier technique, window time for receiving signals, etc.
- (2) For the scatter of position data, we collected data in the sea and analyzed it. Based upon the analysis, the signal processing method of the statistical operation was adopted.
- (3) The system was tested in the sea and it was confirmed that its output was at acceptable performance levels.

*¹ 潜水技術部

*² (株) 北辰電機製作所 (前・潜水技術部)

*¹ Manned Undersea Science and Technology Department

*² Hokushin Electric Works, Ltd.

(ex. Manned Science and Technology Department)

1. はじめに

ダイバーが海中で作業する場合、その場所および行動を支援船上で明確に把握することは、潜水作業の安全性および有効性の点から重要である。

例えば、ダイバーが海底で写真撮影、および試料採取などの作業を行った場合に、その作業位置は資料諸元として重要事項であるし、さらに安全上からも、支援船上でダイバーの位置を常時把握しておくことが必要である。

これらの意味から米国海軍はダイバーの航法システムとして、PALS (Positioning and Locating System) DUOS (Dives Underwater Omni-System) 等の開発を進めているが、現在のところ実用的なものはまだない。

そこで本装置は、ダイバー等の位置を支援船上で正確に定量的に監視し、ダイバーへの通信装置と有機的に結合することによって、上記のような要求を達成しようとするものである。

この装置の開発に関して、特に留意した点は次の項目である。

- (1) ダイバーに装着携帯できるよう小型、軽量とする。
- (2) ダイバーの呼吸ガスの泡等による雑音のもとで、十分な機能を出すものとする
- (3) 通常の潜水作業は、複数のダイバーで行うことを原則としているので、複数ダイバーの同時表示および区別ができることが必要である
- (4) 支援船のピッチング、ローリングの傾斜補正を行うとともに、計測値のばらつきに対し、精度、信頼性を高める信号処理を工夫する

以上のような課題に対し、昭和52年度（1977年）から基礎実験を開始し、昭和53年度 海中位置表示装置の試作を行い、実海域実験を実施した。

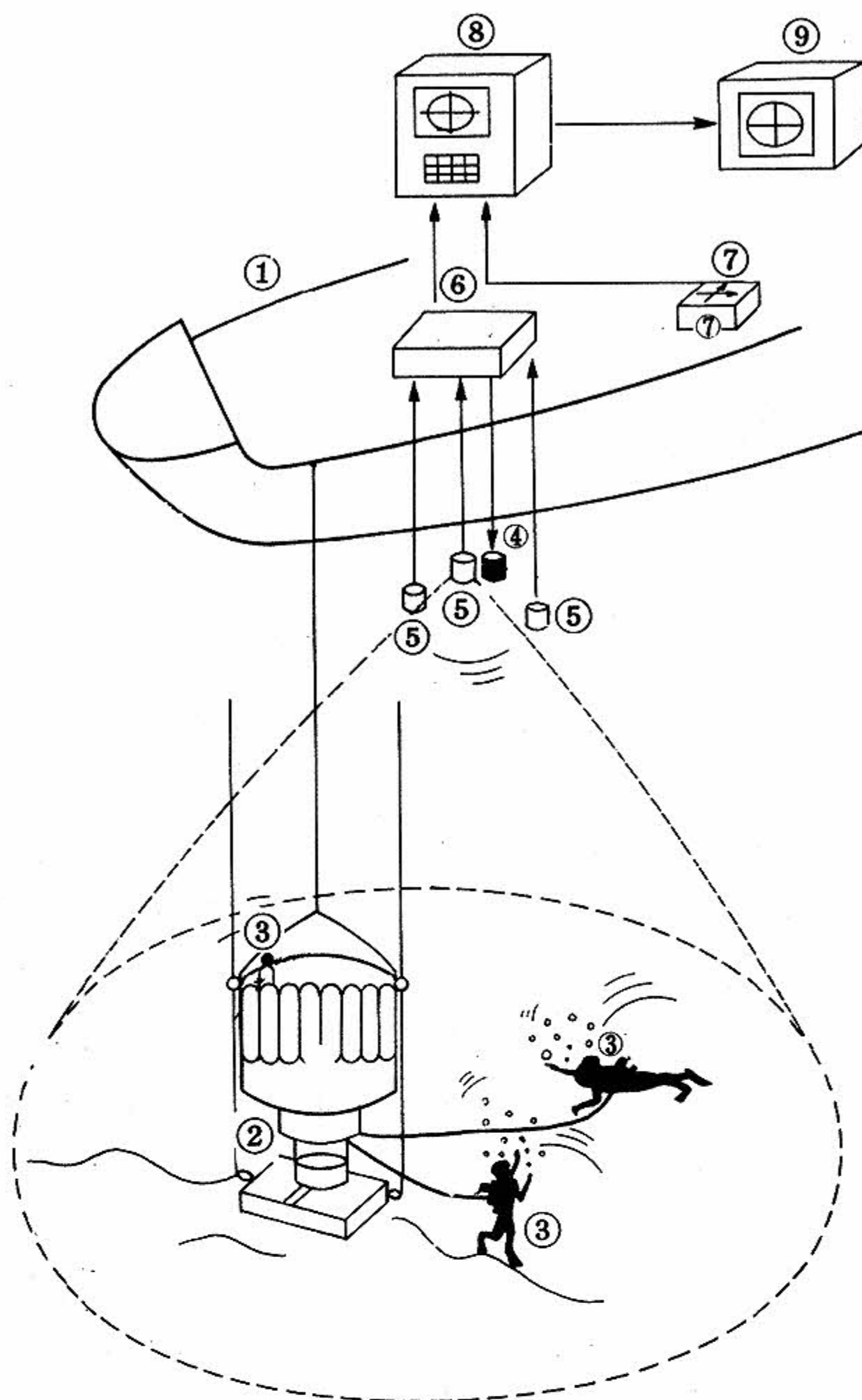
なお、実海域実験等にあたり、潜水作業を担当した当センター潜水技術部、研修部の諸氏ならびに操船を担当した支援ブイおよび久鶴丸の乗員の諸氏に感謝の意を表す。また本装置の開発に当ってご指導とご助言を与えられた当センター潜水技術部の小松茂暢部長および村井徹研究主幹に厚く感謝する。

2. 装置の概要

2.1. 構成

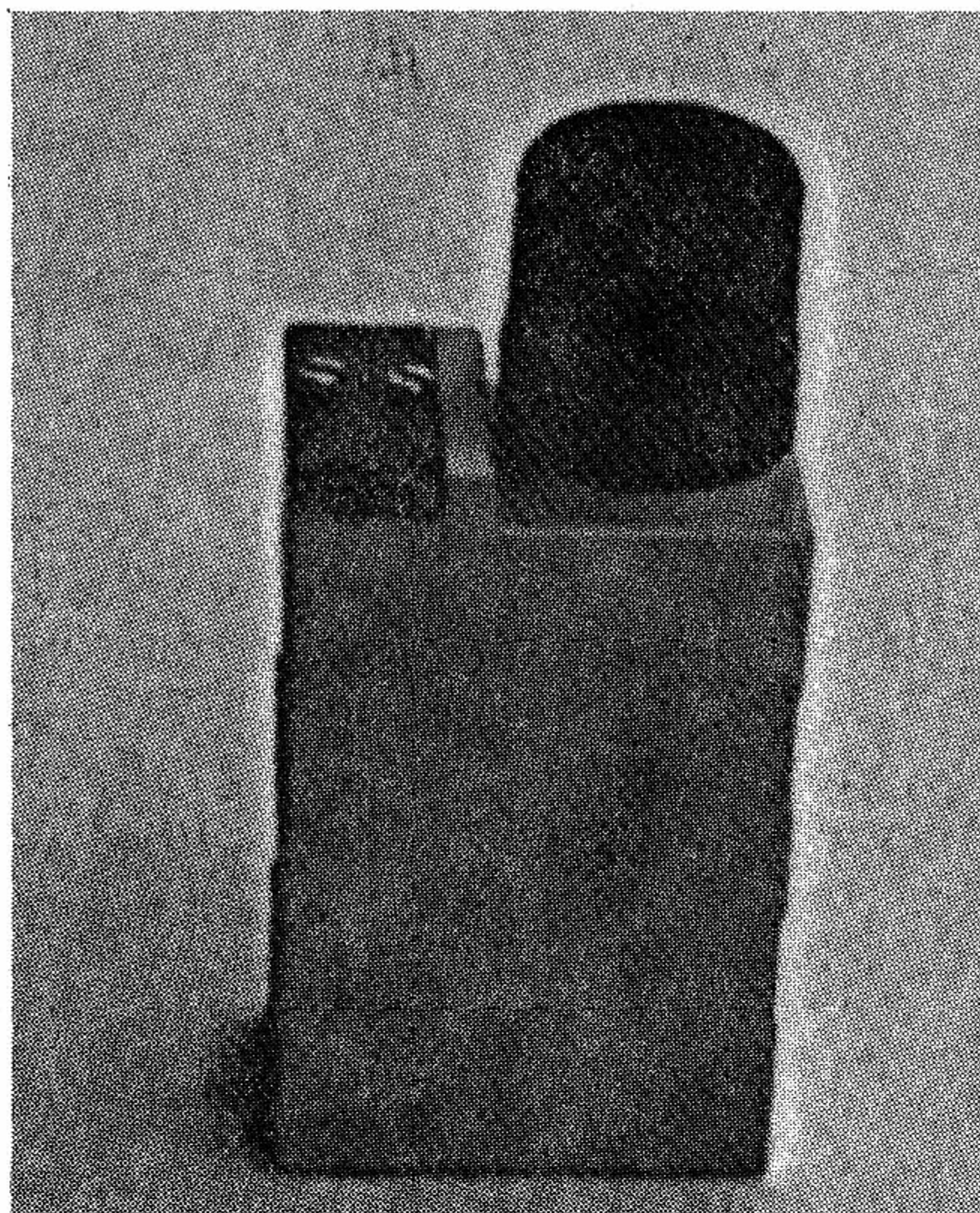
海中位置表示装置の全体構成を図1に示す。

支援船には送波器（1個）、受波器（3個）を設置し、まず送波器から超音波パルス信号を発射



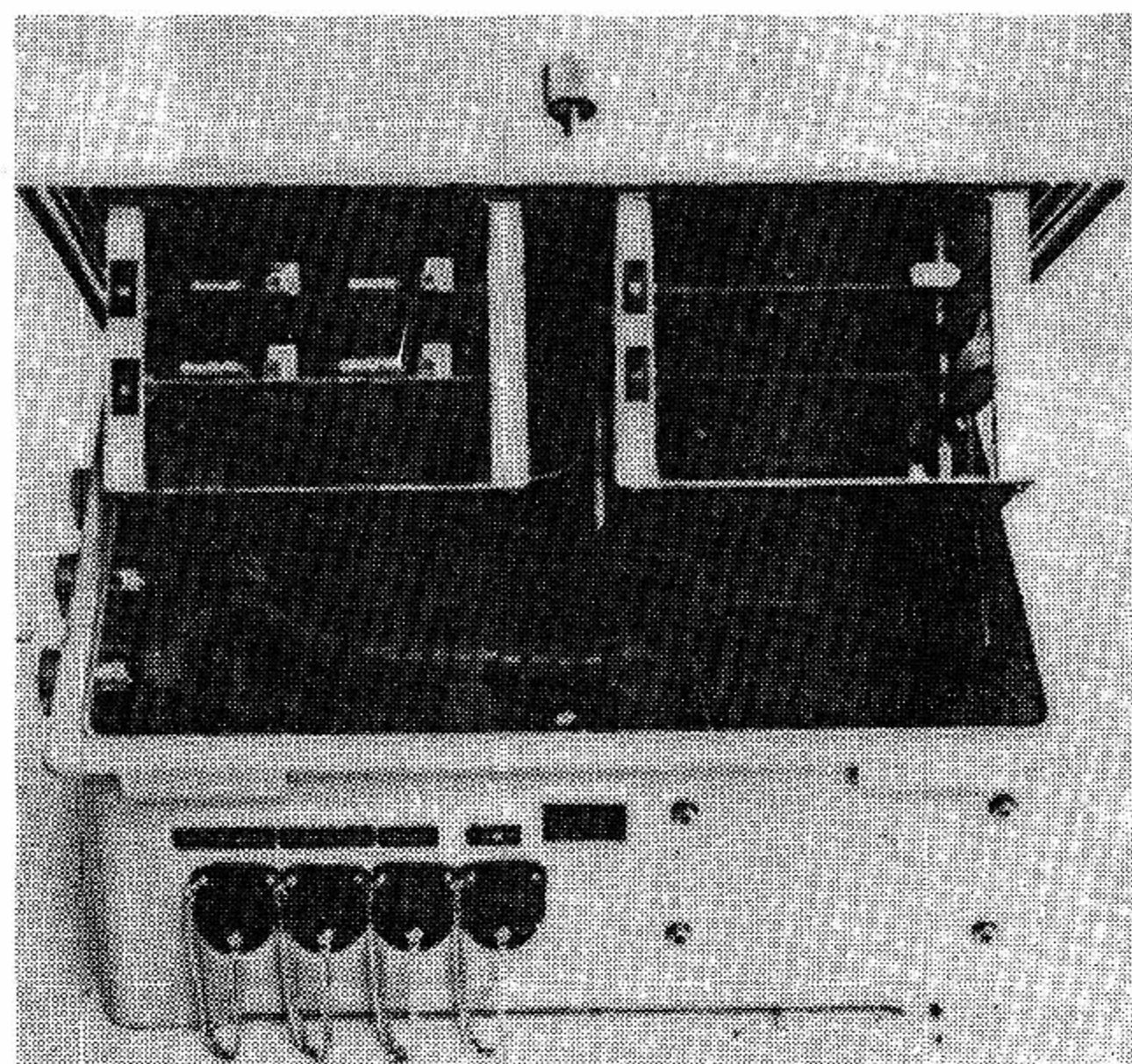
1. 支援船, support vessel
2. 水中エレベーター, PTC, personnel transfer capsule
3. トランスポンダー, transponder
4. 送波器, projector
5. 受波器, hydrophone
6. 接続箱, signal processor
7. 傾斜計, clinometer
8. 演算表示部, operator's display console
9. 外部モニター, monitor

図1 海中位置表示装置の全体構成
Diver underwater positioning system



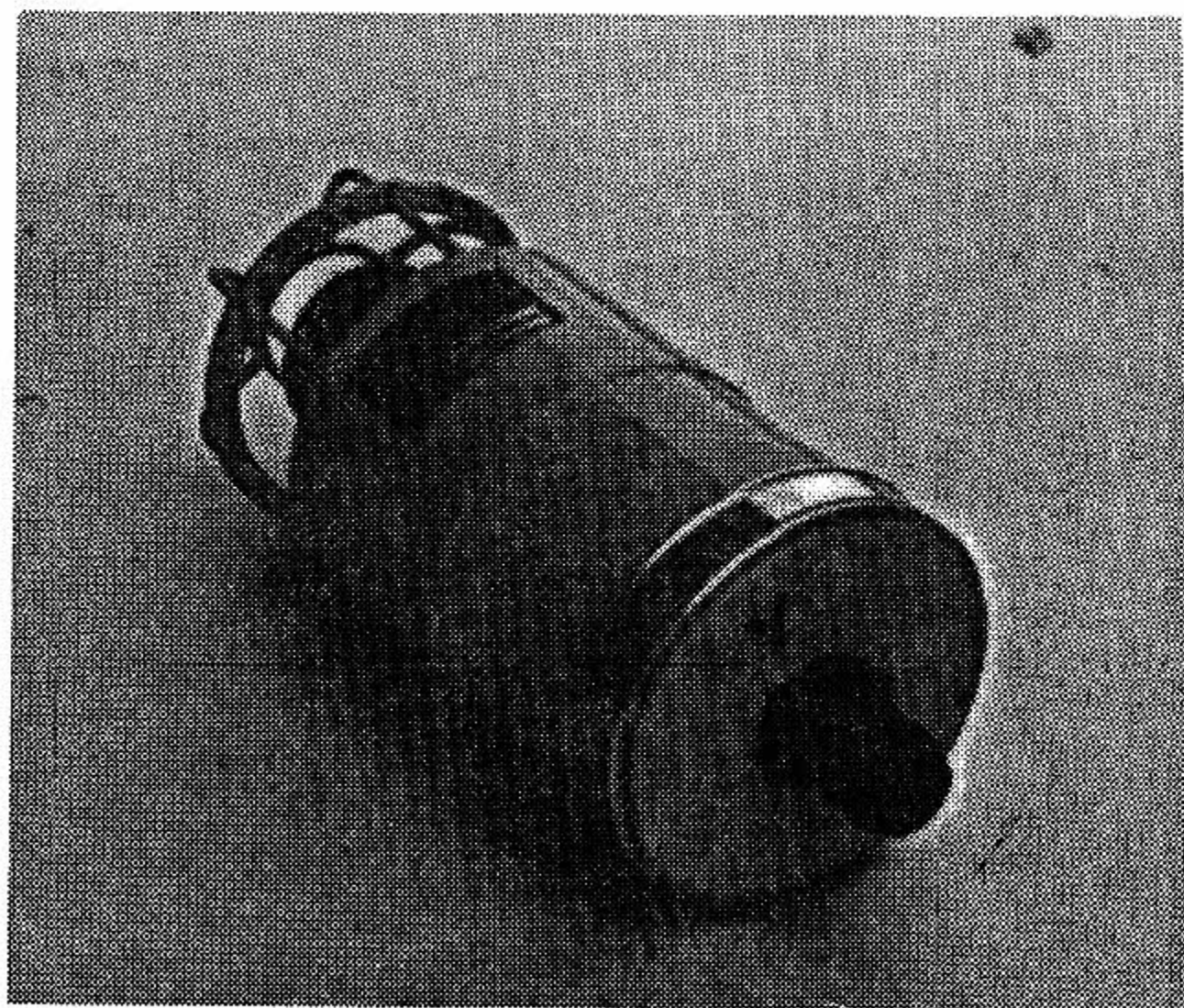
寸法
dimension : $55 \times 80 \times 172 \text{ mm}$

写真1 トランスポンダー
Transponder



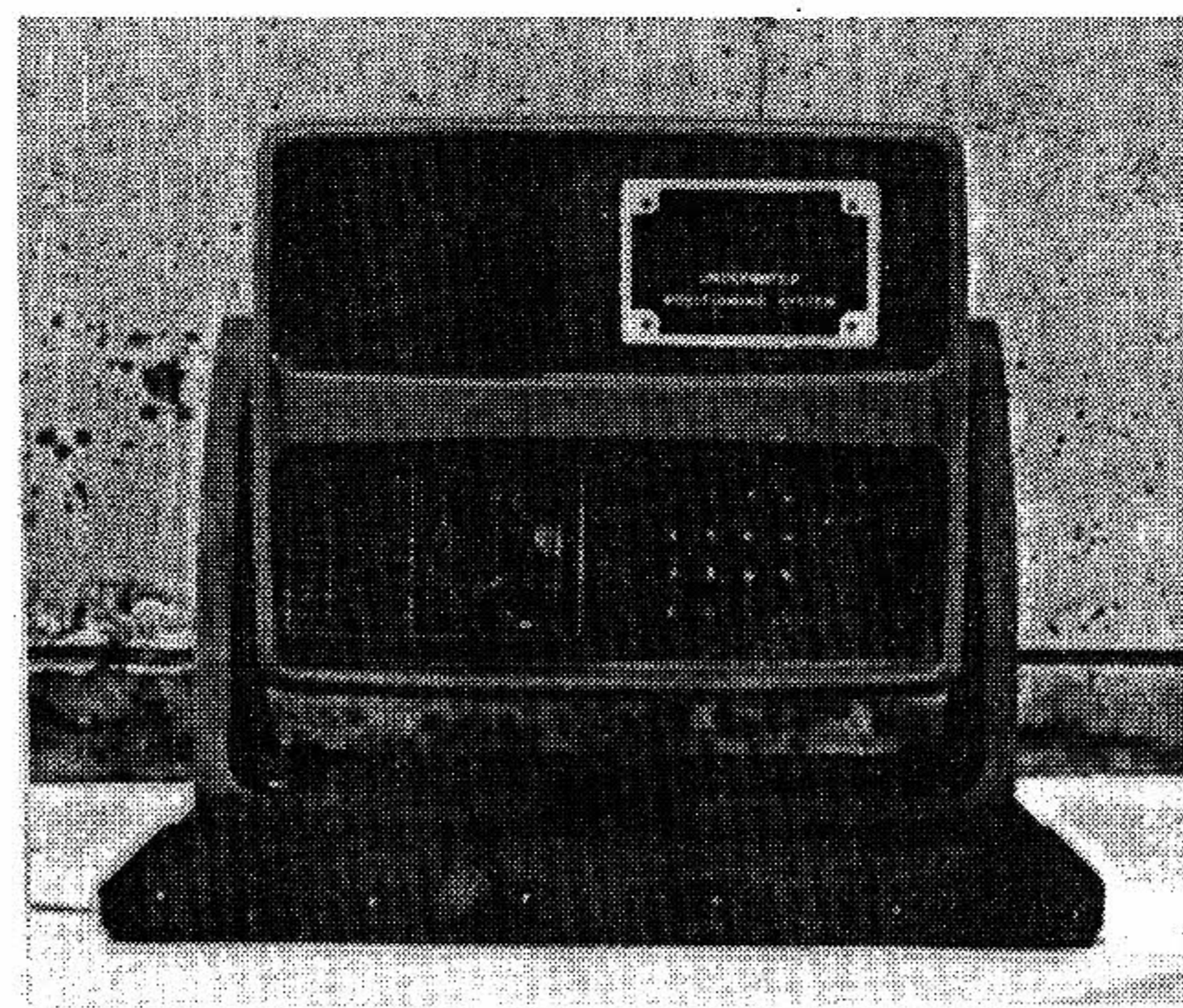
寸法
dimensions : $292 \text{ 幅} \times 369 \text{ 高} \times 153 \text{ 奥行}$

写真3 接続箱
Signal processor



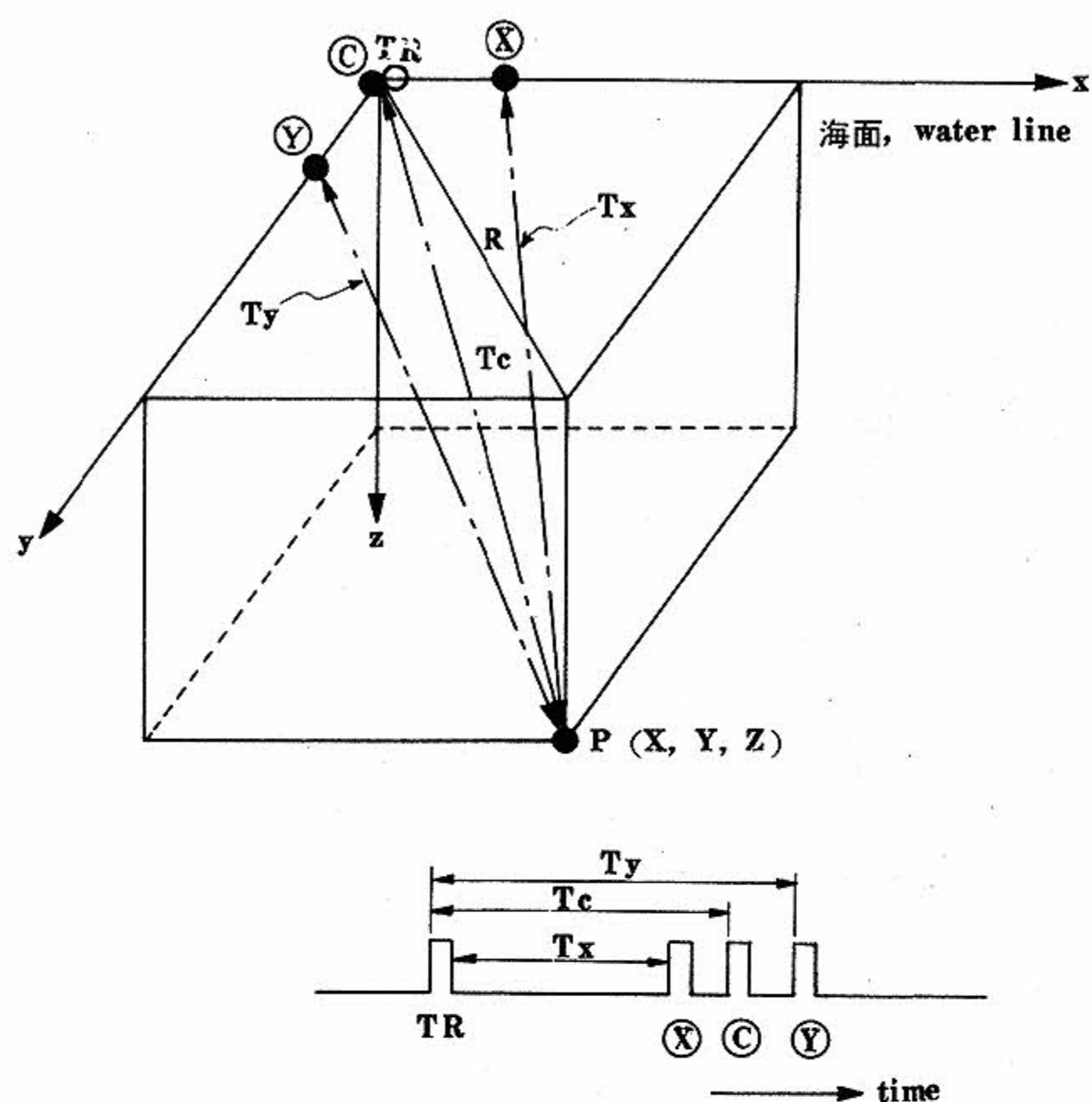
寸法
dimension : $130 \phi \times 260 \text{ mm}$

写真2 送波器—受波器
Projector/hydrophone



寸法
dimensions : $426 \text{ 幅} \times 340 \text{ 高} \times 360 \text{ 奥行}$

写真4 演算表示部
operator's display console



- (C)(X)(Y) ; 受波器, hydrophone
- P ; トランスポンダー, transponder
- TR ; 送波器, projector
- d ; 受波器間隔, base length (m)

図2 座標空間
Co-ordinate system

する。ダイバー等が携帯したトランスポンダーが、その信号を受け、支援船の3個の受波器へ返信信号を送る。受波器で受けた信号は、接続箱内で増幅、波形整形され、演算表示部へ入力される。マイクロコンピュータを使用した演算表示部は、傾斜計からの信号を用い、傾斜補正を行うとともに、位置の演算、統計処理等を行い、CRT画面上に複数個のトランスポンダーの海中位置を輝点として表示する。また同時に個々の深度および水平距離をデジタル表示する。

(1) トランスポンダー (写真1 参照)

トランスポンダーは、測定対象物であるダイバー等に装着し、支援船側の送波器の指令超音波パルス信号に応答し、超音波パルス信号を返信する送、受波の機能を有する。

(2) 送波器および受波器 (写真2 参照)

送波器と受波器は同様の外形をしている。送波器は、トランスポンダーに命令の超音波信号を送

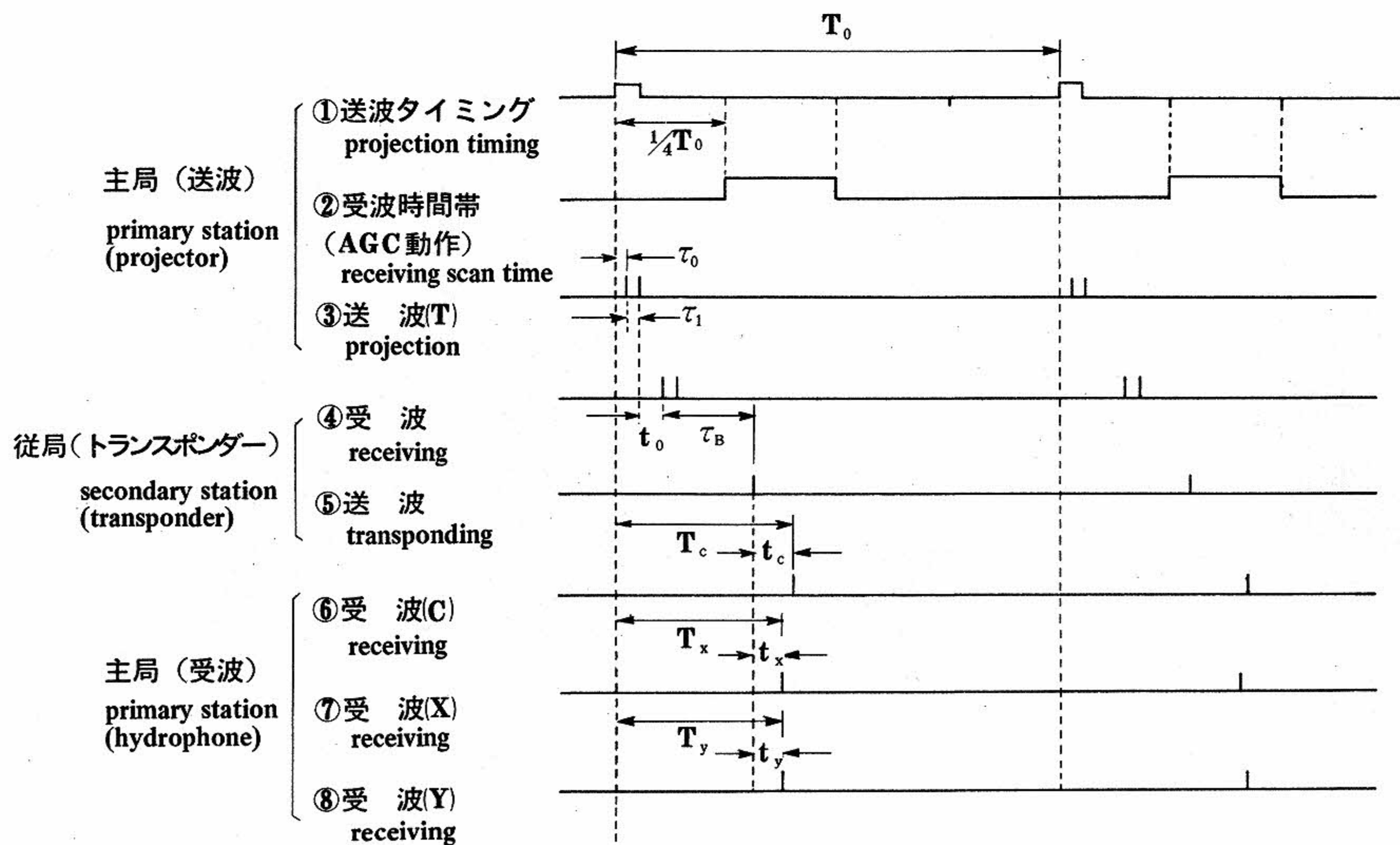


図3 タイムチャート
Time chart

ライン (short base line) 方式で、支援船上に固定された送受波器によって測定基線系を構成するものである。すなわち、基点の送受波器をトランスポンダーが信号の授受を行い、信号の海中伝播時間から距離を求める。

海中位置の演算式を求めるために、図2のような座標空間を設定する。

送波器から超音波パルス信号を発射後、(C), (X), (Y), の各受波器が測定対象物Pからの信号を受信するまでの時間をTc, TxおよびTyとすると、

$$\left. \begin{aligned} \overline{CP} &= \frac{1}{2} T_c \cdot C \\ \overline{XP} &= (T_x - \frac{1}{2} T_c) \cdot C \\ \overline{YP} &= (T_y - \frac{1}{2} T_c) \cdot C \end{aligned} \right\} \quad (1)$$

となる。ここにCは音速を示す。

またPの座標を(X, Y, Z)とすると、

$$\left. \begin{aligned} X^2 + Y^2 + Z^2 &= \overline{CP}^2 \\ (X-d)^2 + Y^2 + Z^2 &= \overline{XP}^2 \\ X^2 + (Y-d)^2 + Z^2 &= \overline{YP}^2 \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

と表わされる。

(1)式および(2)式より、

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{C^2}{2d} (T_c - T_x) \cdot T_x + \frac{d}{2} \\ Y &= \frac{C^2}{2d} (T_c - T_y) \cdot T_y + \frac{d}{2} \\ Z &= \sqrt{\left(\frac{1}{2} T_c \cdot C\right)^2 - R^2} \end{aligned} \right\}$$

ただし $R = \sqrt{X^2 + Y^2}$

が導かれる。したがって、Tc, Tx, Tyを測定することによって、測定対象物(トランスポンダー)の位置を検出することができる。

2.4. 動作説明

タイムチャート(図3参照)および回路構成図(図4参照)によって動作を説明する。

(1) 接続箱のクロック回路は、送波タイミング信号をT₀(約2s)周期で発するとともに、受波時間帯信号②を発し、トランスポンダーの返信信号を受波する時間帯にのみ、AGC (Automatic

Gain Control)回路が作動するようにし、受波に備える。

(2) 送波タイミング信号は、演算表示部の時間計測カウンターをセットすると同時に、送波器からパルス幅200μsおよびパルス間隔20msの2パルス信号③を送波タイミング信号で、T₀の時間遅れで発射させる。

(3) 送波器からの送波信号③は海中を伝播し、t₀時間後にトランスポンダーに受信される。

(4) トランスポンダーの送受波素子に受信された信号④は、送受切換回路によって、信号周波数(50kHz)のみを増幅するように、設計された選択増幅器へ送られる。

(5) 受波弁別回路は、2パルス信号のパルス間隔を計測することによって、受信信号が“真”か“否”かの弁別を行い、“真”であるならば、送波出力回路にT_B時間の遅れをもって、送波命令を送る。このT_Bの遅れ定数は、主局側(支援船側)の受波時間帯信号②が出ている時間に、従局側のトランスポンダーからの返信信号を受信できるように設定する。

(6) 送波命令を受けた送波出力回路は、クロック回路によって発せられる周波数50kHzで変調されたパルス信号を、送受切換回路に送る。

(7) 送受切換回路によって、送受波素子に送られる送波信号⑤は、海中へ超音波として放射される。

(8) トランスポンダーから返信された超音波信号は、海中伝播にt_c, t_x, および t_yの時間を要し主局側(支援船側)の受波器(C), (X)および(Y)に受信される。

(9) 各受波器によって受信された信号⑥, ⑦, および⑧は、受波器のプリアンプで増幅され、接続箱内にある選択増幅器に送られ、信号(50kHz)のみが増幅される。

(10) さらに受信信号は、AGC部および波形整形回路部を通ることによって、波形整形され、演算表示部へ出力する。

(11) 演算表示部のカウンターは、送波タイミング信号で時間の計測を開始し、受信信号が入力するまでの計数値(Tx, TyおよびTc)を計測する。

(12) 演算表示部は、マイクロコンピュータを使用したもので、Tc, Tx, および Tyのデータを読み込むと同時に、傾斜計からのピッチング角ψ, ローリング角θを読み込み、位置決め演算のデータ

る機能を有し、約2sごとに、パルス幅200 μ s、およびパルス間隔20msの2パルス信号を発射する。受波器は、トランスポンダーで返信された超音波パルスを受波するもので、プリアンプを内蔵している。

(3) 接続箱 (写真5参照)

接続箱は、送波器から超音波パルスを発射させるためのパルス発振および受波波からの信号を増幅、波形整形し、位置演算のために必要な前処理を行う。

(4) 演算表示部 (写真4参照)

これは接続箱からクロック信号および送波タイミング信号、受波器からの受波時間信号および傾斜計からロールおよびピッチ角信号を入力とし、トランスポンダーの位置を演算、統計処理し、CRT画面上に表示するものである。

2.2. 仕様

使用深度； 10~100m

測定範囲； 半径150m全方向

測定精度； 1m以内

超音波周波数； 50kHz

送信パルス； パルス幅200 μ s $\times$ 2パルス

傾斜補正； ピッチ角 $\pm$ 5度、ロール角 $\pm$ 15度

送受波素子； 電歪振動子(油漬け)

送波レベル； 80dB以上 (0dB = 1 μ bar/m)

受波感度； -20dB以上 (0dB = 1V/ μ bar)

(増幅器を含む)

表示点数； 最大4点

表示方法； (1)CRT画面上

(2)X, Y座標表示 (輝点)

(3)深度および水平距離 (デジタル表示)

電源； (1)トランスポンダー, DC 17V (電池)

(2)演算表示装置等, AC 100V

その他； 外部モニターCRT接続可

2.3. 測定原理

本装置の測定原理は、いわゆる、ショートベース

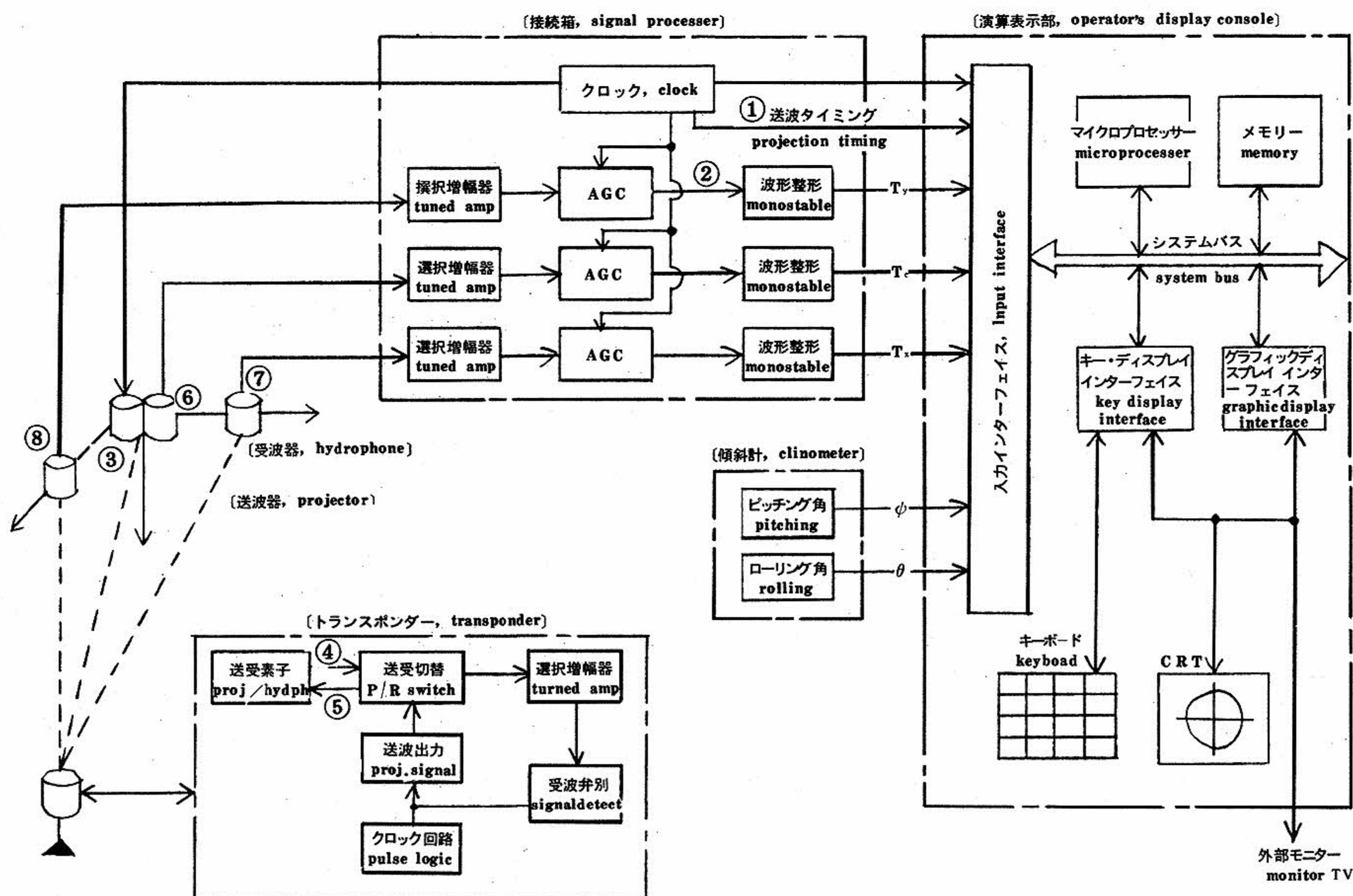


図4 回路構成図

とする。

以上の動作説明と前記測定原理から装置の“位置演算式”は、次の式で表わされる。

$$\left. \begin{aligned} X &= \frac{C^2}{2d} (T_c - T_x)(T_x - \alpha) + \frac{d}{2} \\ Y &= \frac{C^2}{2d} (T_c - T_y)(T_y - \alpha) + \frac{d}{2} \\ R &= \sqrt{X^2 + Y^2} \\ Z &= \sqrt{\left\{ \frac{C}{2} (T_c - \alpha) \right\}^2 - R^2} \end{aligned} \right\} \quad (3)$$

ただし

$$\left\{ \begin{array}{l} \alpha = \tau_0 + \tau_1 + \tau_B \text{ (電子回路の遅れ定数 (s))} \\ C ; \text{ 音速 (m/s)} \\ d ; \text{ 受波器間隔 (m)} \\ R ; \text{ 水平直線距離 (m)} \\ Z ; \text{ 深度 (m)} \end{array} \right.$$

支援船の傾斜補正は、ピッチ角 ψ 、ロール角 θ があまりに大きくない範囲では、近似的に θ 、 φ 独立に回転座標変換を適用することができるので、次式のようなになる。

$$\left. \begin{aligned} X &= \left\{ \frac{C^2}{2d} (T_c - T_x)(T_x - \alpha) + \frac{d}{2} \right\} \cos \theta + l \sin \theta \\ Y &= \left\{ \frac{C^2}{2d} (T_c - T_y)(T_y - \alpha) + \frac{d}{2} \right\} \cos \varphi + l \sin \varphi \end{aligned} \right\} \quad (4)$$

ここに

$$l = \sqrt{\left\{ \frac{C}{2} (T_c - \alpha) \right\}^2 - \left\{ \frac{C^2}{2d} (T_c - T_x)(T_x - \alpha) + \frac{d}{2} \right\}^2 - \left\{ \frac{C^2}{2d} (T_c - T_y)(T_y - \alpha) + \frac{d}{2} \right\}^2}$$

3. ソフトウェア検討

3.1 実海域データ収録実験

実際の使用条件で、海中位置を高精度で、かつ安定に表示するためには、主として、次のような問題が考えられた。

(1) 支援船の傾斜補正の誤差等によって、海中位置の計測値がばらつく場合が考えられる。

(2) 送受交信不能時等におけるデータ処理方法

これらの問題に対処するため、実海域でのデータを把握し、信号処理方法の検討に資するため、実海域データの収録実験を行った。

実験は図5に示す構成によって、横須賀港海洋科学技術センター付近海面で支援ブイ(650総トン非自航)を使用して行った。

支援ブイ上のCRT画面上に、8進数で表示されたデータを1minごとに連続5回、ポラロイド写真で撮影した。収録写真の一例を写真5に示す。

計測結果(T_c, T_x, T_y, φ および θ)およびこれから水平距離(R)および深度(Z)を計算した結果を図6および図7に示す。

これらの図からデータは、ばらつきを示し、受信不能もかなり発生することがわかった。また傾斜補正は有効であるが、ばらつきは残っていることがわかる。さらに支援船の動揺傾斜の影響は、水平距離よりも深度のばらつきを大きくすること、受信率が悪い地点ほど、水平距離および深度のばらつきが大きくなること等がわかる。

3.2 信号処理方法の検討

データ収録実験の結果をもとにし、信号処理方法を検討した。

本装置は、ダイバーの排気泡等の雑音で受信率が悪い場合でも、海中位置を安定に表示する必要がある。

したがって、次のような信号処理方法を考案し、採用することにした。

(1) 受波器(3個)が同時期に受信した場合にだけ、データを読み込むようにする。また、それ以外の場合には、データ値を「0」として統計処理を施し、オミットする。

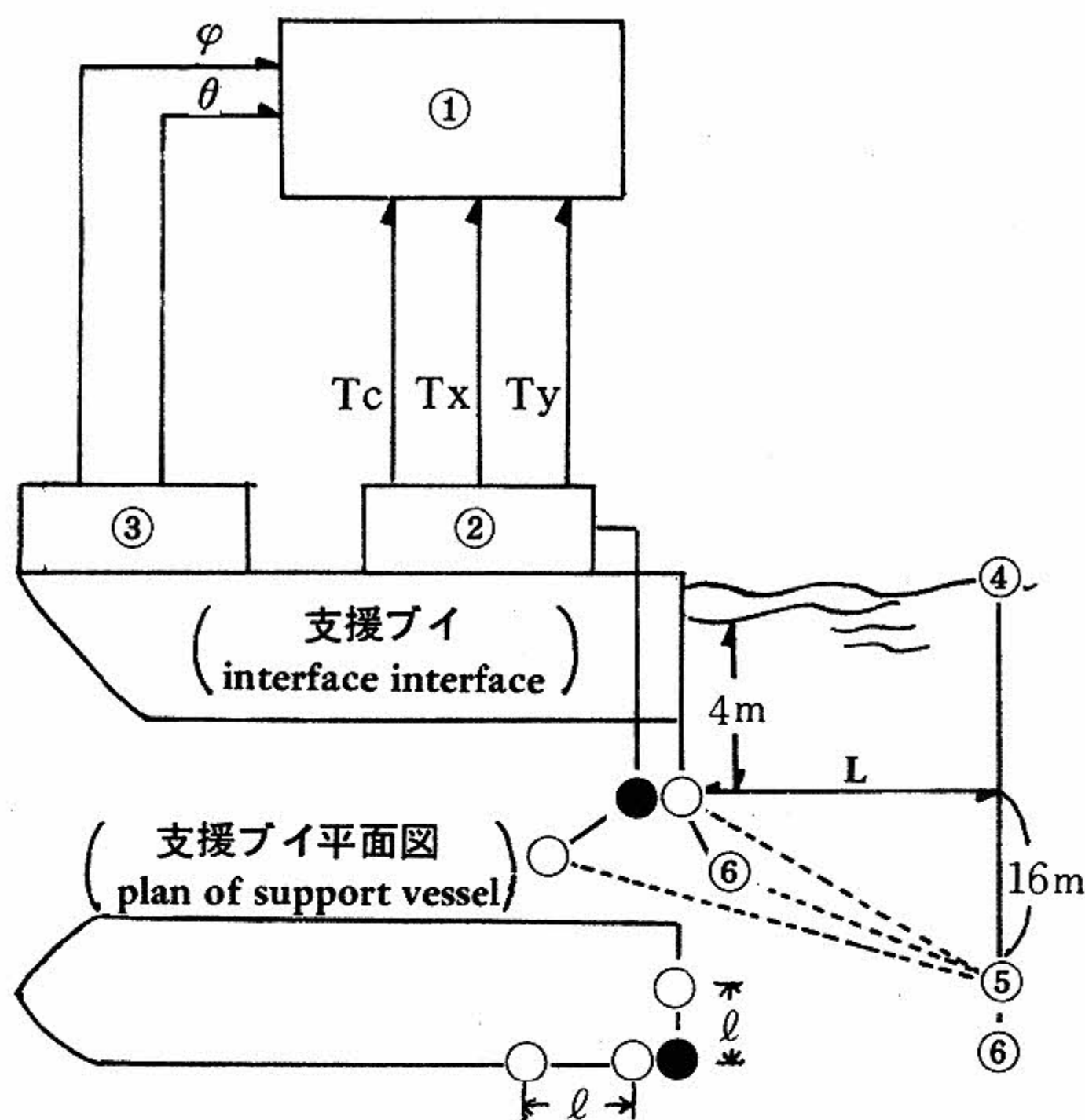
(2) 海中位置の表示を安定させ、計測値の信頼性を向上させるため、繰返し計測値をフェイルし、これから平均値表示が可能のようにする。平均値の計算にあたっては単なる平均ではなく、かけはなれた特異値をオミットする操作を盛り込んだ。

3.3 ソフトウェアの作動説明

図8に示すフローチャートに従い、動作を説明する

(1) 接続箱からの送波タイミング信号で、演算表示部のカウンターは、時間の計数を開始し、受波信号が入力するまでの計数値(T_x, T_y , および T_c)をサンプリング周期(約2s)ごとメモリーに記録する。

(2) T_x, T_y , および T_c の計測データに関して、上下限有効幅チェックを行い、海中位置計測の空



Q ; 5.5 m
 L ; 水平距離 horizontal distance
 ● ; 送波器 projector
 ○ ; 受波器 hydrophone

- ① データファイル ; data file
- ② 接続箱 ; signal processor
- ③ 傾斜計 ; clinometer
- ④ フロート ; float
- ⑤ トランスポンダー ; transponder
- ⑥ 錘 ; weight

図5 データ収録実験
Experiment for data collection

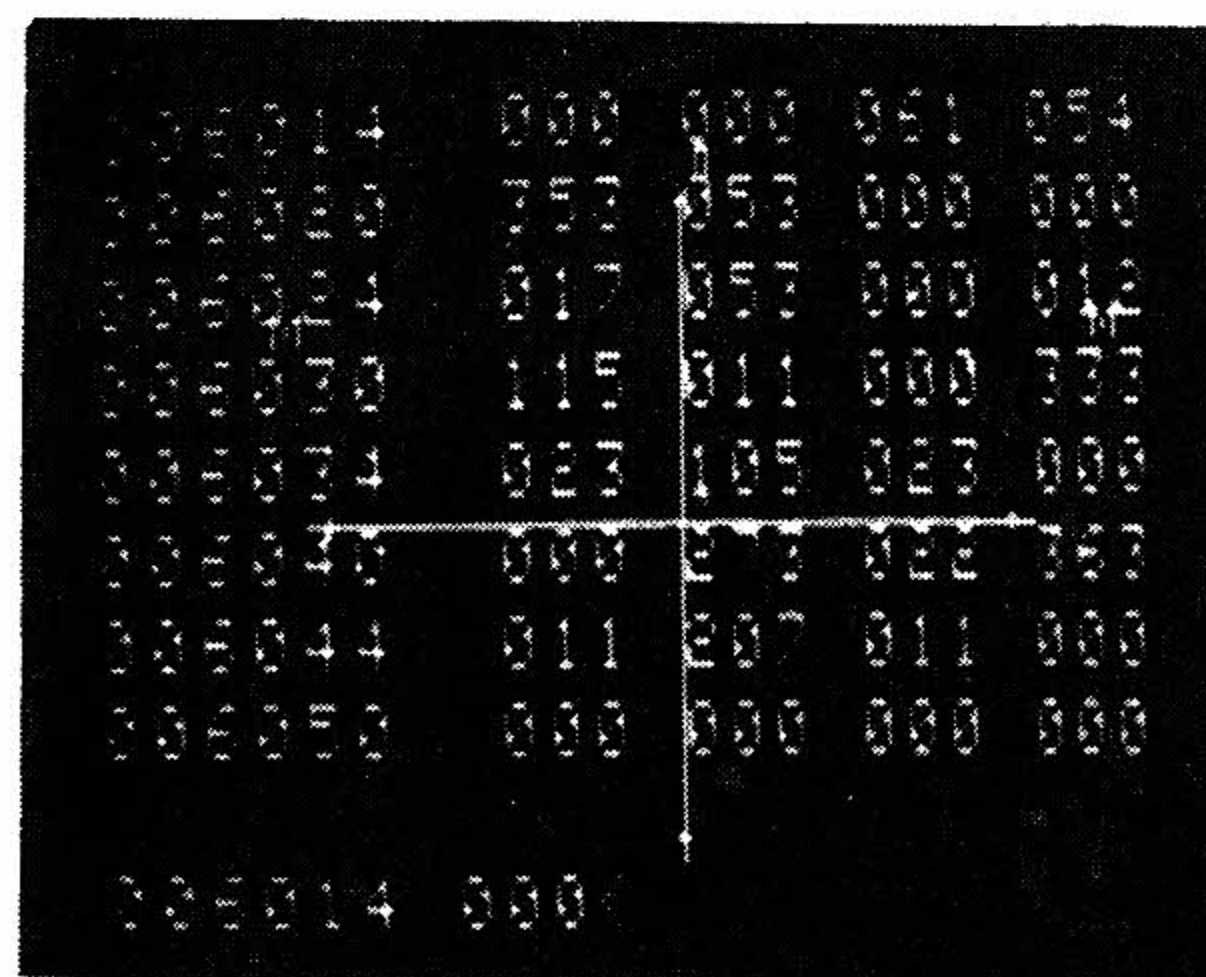


写真5 データの収録写真

An example of data displayed of the CRT

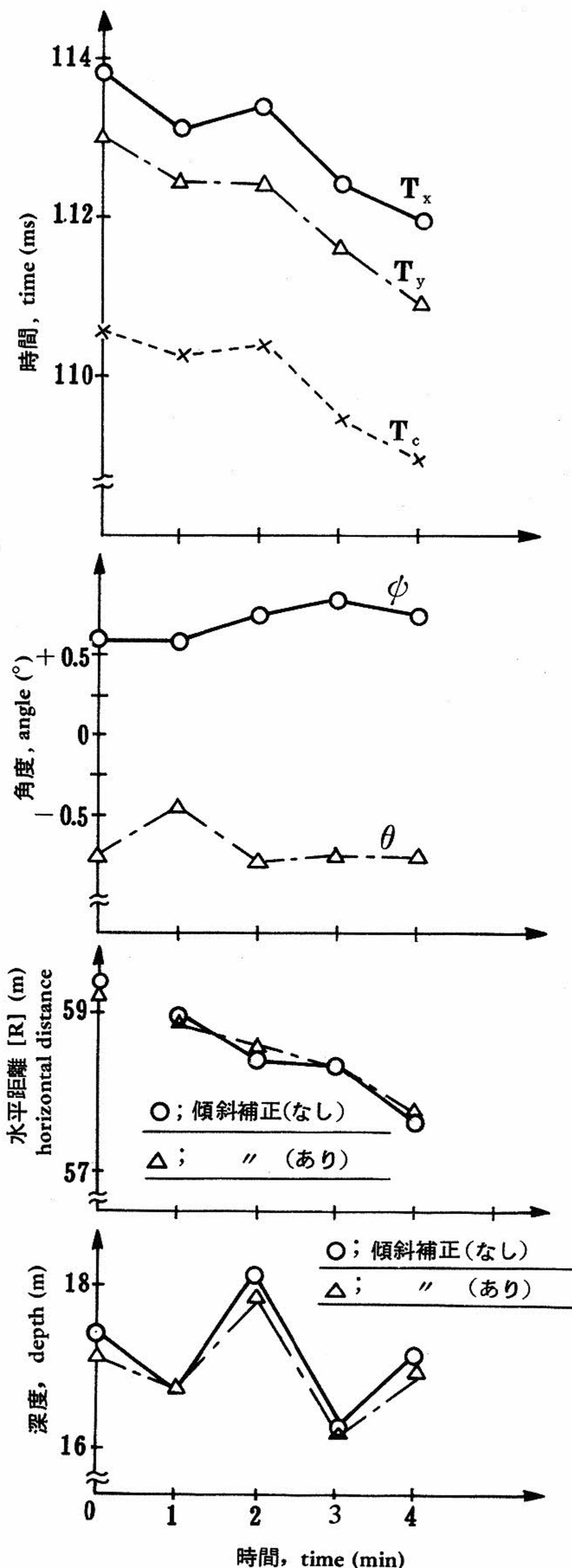


図6 収録データの一例 ($L = 60\text{ cm}$)

Examples of collected data ($L = 60\text{ m}$)

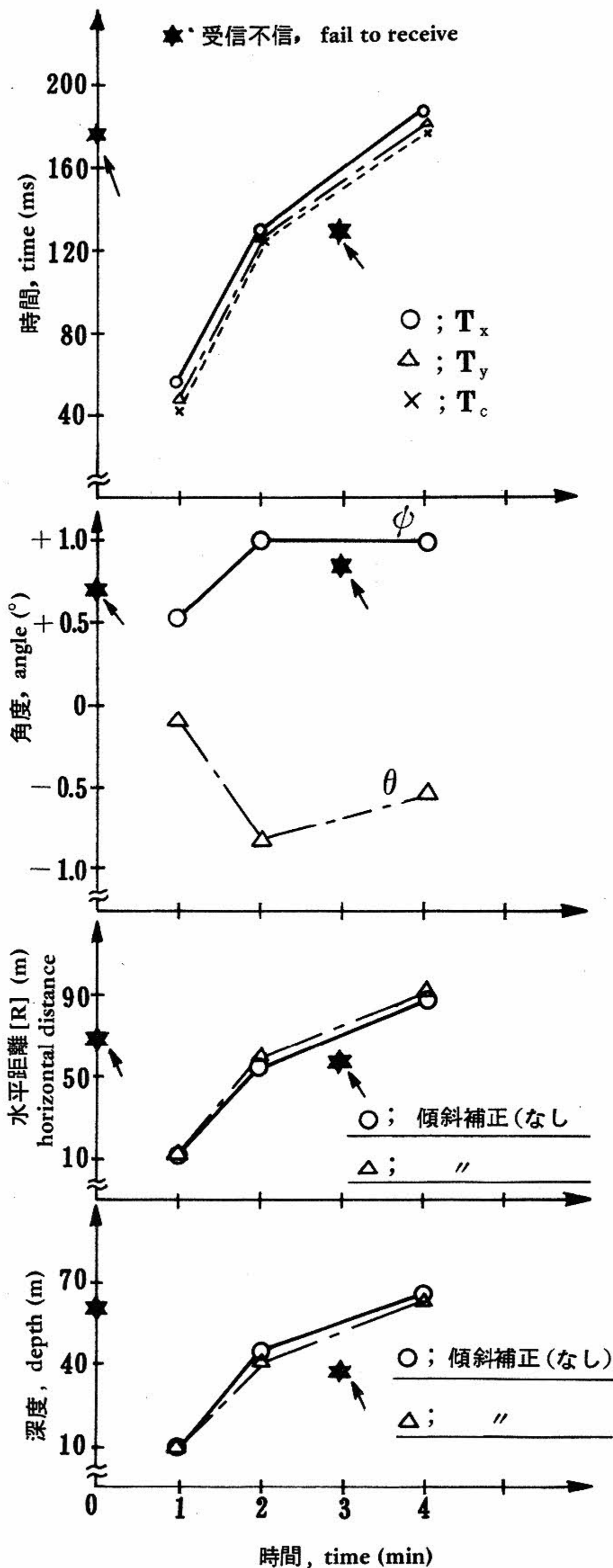


図7 収録データの一例 ($L = 10 \text{ m}$)
Examples of collected data ($L = 10 \text{ m}$)

間領域内のデータであるか確認する。下限値から外れた場合は、受波する以前の状態に戻し、次の受波信号が入力するのを待つ。上限値から外れた場合は、演算結果ファイルにデータ“0”としてファイリングする。また受波しなかった場合はデータ“0”として処理する。

(3) 一定の時間幅内にデータ (T_x , T_y , および T_c) が揃えば、傾斜計のピッチ角 (ψ)、ロール角 (θ) をA/D変換し、メモリーに記録する。揃わなければ、データ“0”として、演算結果ファイルにファイリングする。

(4) ピッチ角 (ψ)、ロール角 (θ) のバイナリーデータを10進変換し、角度の単位に変換する。

(5) 入力データ T_x , T_y , T_c および θ , ψ が、設定した上下限内にあるかチェックする。チェックの結果が“NO”であれば、演算結果ファイルにデータ“0”として、ファイリングする。

(6) 位置演算式に従って演算を実行し、 X , Y , R および Z を求める。

(7) X , Y , R および Z の各項目につき、演算結果を30個までファイルする。なお、これを超え、最新の演算結果データが入ると最古のデータは消失する。

(8) 演算表示部のキーボードから指定した個数によって演算結果ファイルの新しい順にファイルを探索する。そのうち、有効データのみを所定の幅で分類する。

(9) 分類の結果、データが最も多く集まったグループを探索し、そのグループに属するデータについて平均値を計算する。3個以上のデータをもつ、グループが存在しない場合は、“データ読み込み不良”とする。データ最大のグループが二つ以上ある場合、隣合っている場合には、両方のグループの平均値を求める。また、二つのグループが離れたり、三つ以上ある場合には、“データ読み込み不良”とする。

(10) (9)項で求めた平均値 X , Y , R および Z と、前回に求めた平均値 X' , Y' , R' および Z' とを比較し、その差が指定の値を超えた場合には、“変化率異常”とする。

(11) 以上の信号処理を経て、求められた平均値によって水平距離 (R) および深度 (Z) がCRT画面上に表示される。

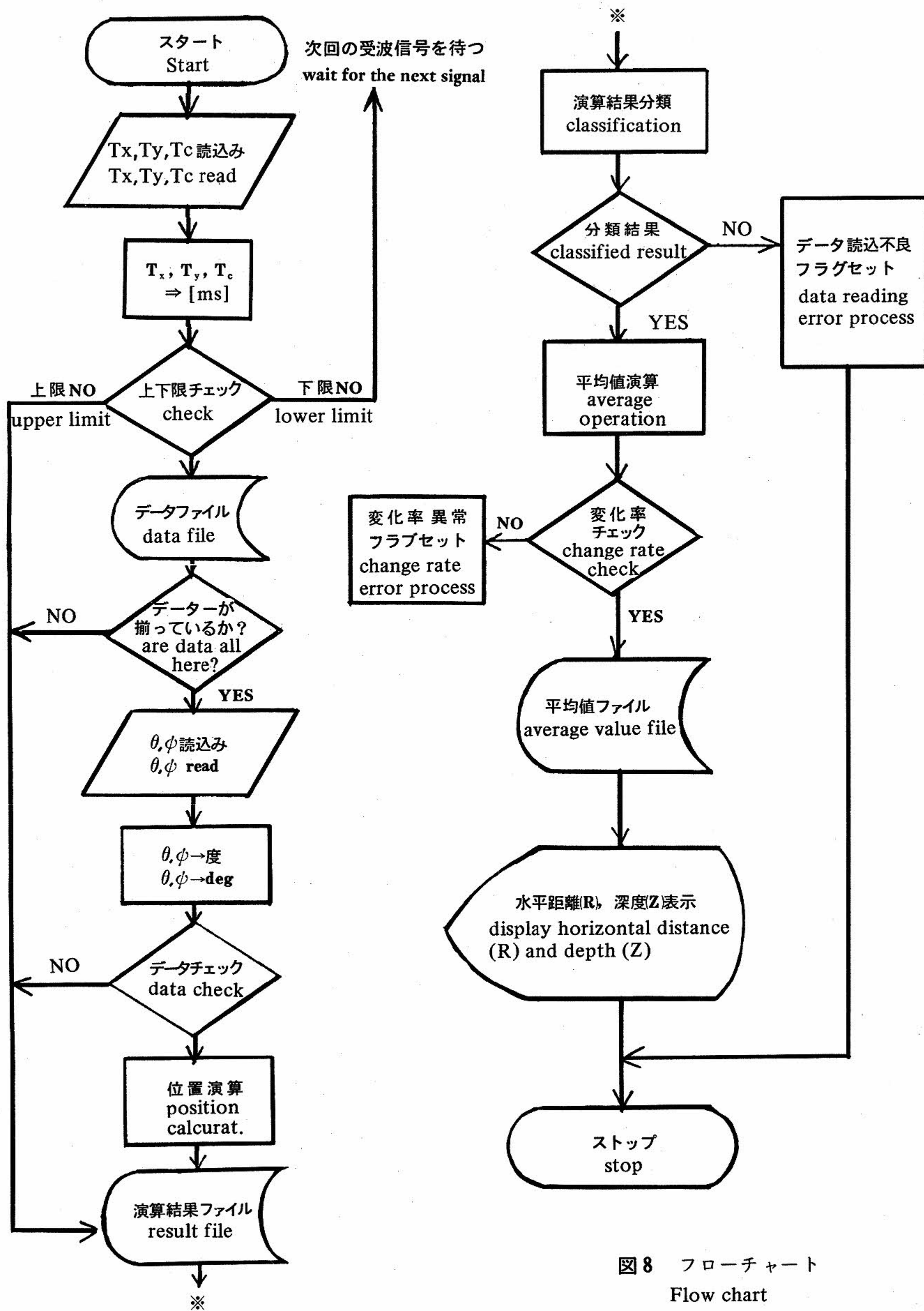


図8 フローチャート
Flow chart

4. 雑音等に対する対策

海洋の雑音は2種類に大別され、一つは海洋の周囲雑音であり、他は人間活動によって発生する雑音である。

海洋の周囲雑音はKundsen Curveとして知られているように、本装置に使用した50 kHzでのノイズレベルは約-36 dB（基準1 μ bar）と比較的小さく、さほど問題とならない。

人間活動で発生する雑音のうち、本装置で最も重要なものはダイバーが発する雑音である。これについて、C. J. Partridge²⁾が次のように報告している。

(1) ダイバーが発生するノイズは、ガス呼吸で発生する音と排気による泡が超音波信号を遮蔽する問題がある。

(2) 吸気時にバルブを通過して生ずるノイズは、広帯域にわたるノイズであり、比較的大きい。また、排気時のノイズは低周波であり、この場合は、さほど問題とならない。

また人工的海中雑音には、ダイバーによる雑音

のほか、船舶の発生する音符も考えられる。これらの問題点に対処すべく、潜水訓練プールでダイバーの排気泡の影響に関する基礎実験を行った上、次の対策を盛り込んだ。

(1) 2パルス信号授受によって、信号と雑音を区別する。

(2) AGC回路の作動タイミングを、あらかじめ予想した次回受信予定時間に設定することによって、それ以外の時間帯での信号を受け付けないようにする。

(3) 受波選択増幅器を、使用周波数に対して、狭帯域幅にする。

これらの結果を確認するために、実海域でダイバー排気泡影響実験を実施した。

4.1 ダイバーの排気泡影響実験

実験構成を図9に示す。

実験場所は横須賀港猿島沖である。デマンド形潜水呼吸器を装備したダイバーがトランスポンダーを手を持ち、送受信部に泡が当たるようにして潜水を行い、装置を作動させ、受波波形をシンクロ

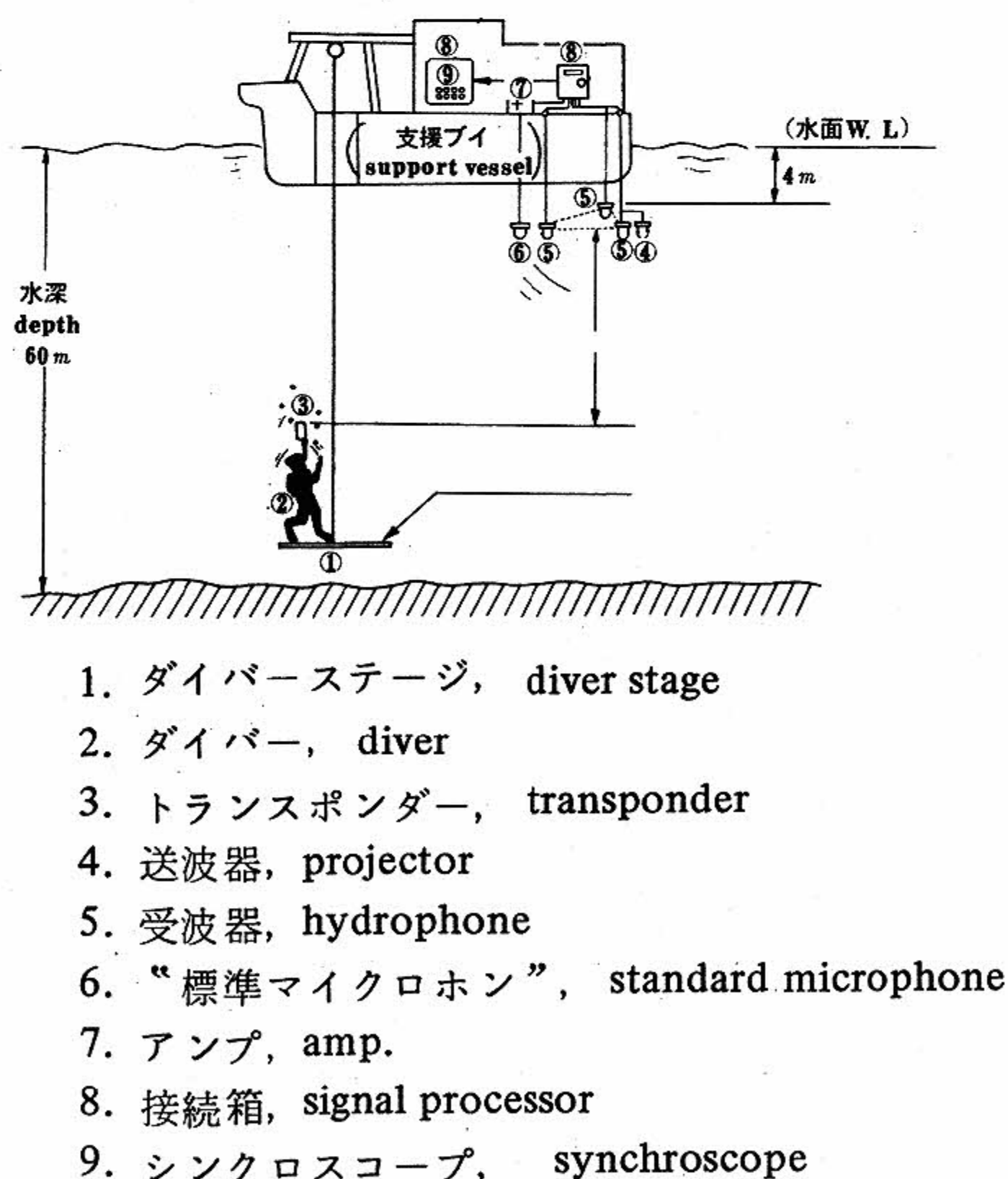


図9 泡の影響実験

Experiment of the bubble influence

表1 船舶騒音の影響
Influence of noise from boat

トランスポンダーの位置 Position of transponder	項目 Item	受波の回数 / 送波の回数 Number of receivings / Number of projections	受波率 (%) Receiving ratio
(1) 水平距離 Horizontal distance	(50 m)	18 / 30	60
(2) 水平距離 Horizontal distance	(100 m)	9 / 30	30
(3) PTC 上 On the PTC		30 / 30	100

スコープで観察記録した。実験には比較検討を行うため、標準マイクロホンの本装置の受波器と並べて設置した。

記録の一例を写真6に示す。これからわかるように、標準マイクロホンの受波波形は、泡の影響を著しく受けているのに対し、本装置の受波器で受波し接続箱で信号処理を施した波形は、全く雑音の影響を受けていないことがわかる。

以上の実験で、さきに述べた雑音対策が有効であることがわかった。またダイバーの排気泡による超音波信号の遮蔽については不明な点も残されているが、この実験結果を見る限り気泡がある中でも、十分確実に受波できることが確認された。

4.2 船舶による騒音の影響実験

海中雑音は、ダイバーによる雑音のほか、船舶等による雑音があることは、すでに述べた。

これらの影響を調べるため、試作した装置につき、実海域実験に際し、付近に船を航走させて作動確認を行った。実験場所は横須賀港内である。

支援船に演算表示部も含め、すべての機器を設置した。一方、トランスポンダーは手ぐす糸に50m間隔にフロートを付け、その下20mに吊り下げて潮流方向に流すとともに、PTC（位置は水平距離27m深度15m）の上にトランスポンダーを設置した。

このような実験装置のもとで、フロートの近く（最近接距離約1m）にタグボート（久鶴丸94総トン、速力11kt、600ps）を全力航走させた。演算表示部は、1回ごとに表示するモードに切換え、1minに表示する回数を数えた。作動間隔は2sであるから、1minにトランスポンダーへ30回送

信することになる。その中で返信信号を3個の受波器のすべてが受信した回数を、百分率で表わしたものを“受波率”とし表1に示す。

船舶が近くを航走していない場合、受波率はすべて90%以上あったのに対し、船舶を航走させた場合には、この表でわかるように、受波率は30～40%低下した。またこの表からトランスポンダーの位置が遠くなるほど受波率が悪くなり、船舶騒音の影響を受けていることがわかる。これは距離の近い場合には、受信側の信号音圧レベルが大きく、距離が遠くなるにつれて海中伝播の減衰によって信号レベルが小さくなってS/N比が悪くなり、受信側ではノイズとシグナルの判別が困難になったものと思われる。

今回の結果、本装置は約30%以上の受波率があれば、繰返し計測値の統計処理および平均値演算によって、確実に位置表示できることから実用上の問題にならないと考えられる。

5. 実海域性能確認実験

本装置の総合性能を確認するため、実海域で最大到達距離実験、精度実験、最大深度実験等を実施した。

5.1 実験方法

図10は最大到達距離の構成を示す。

実験場所は横須賀港内海洋科学技術センター付近海面である。手ぐす糸に50m間隔にフロートを付け、先端のフロートをタグボート（夏島1号艇）で引き、適切な張力を与えた。フロートの下、15mにトランスポンダーを吊下げた。これは基準面からの深度11mである。

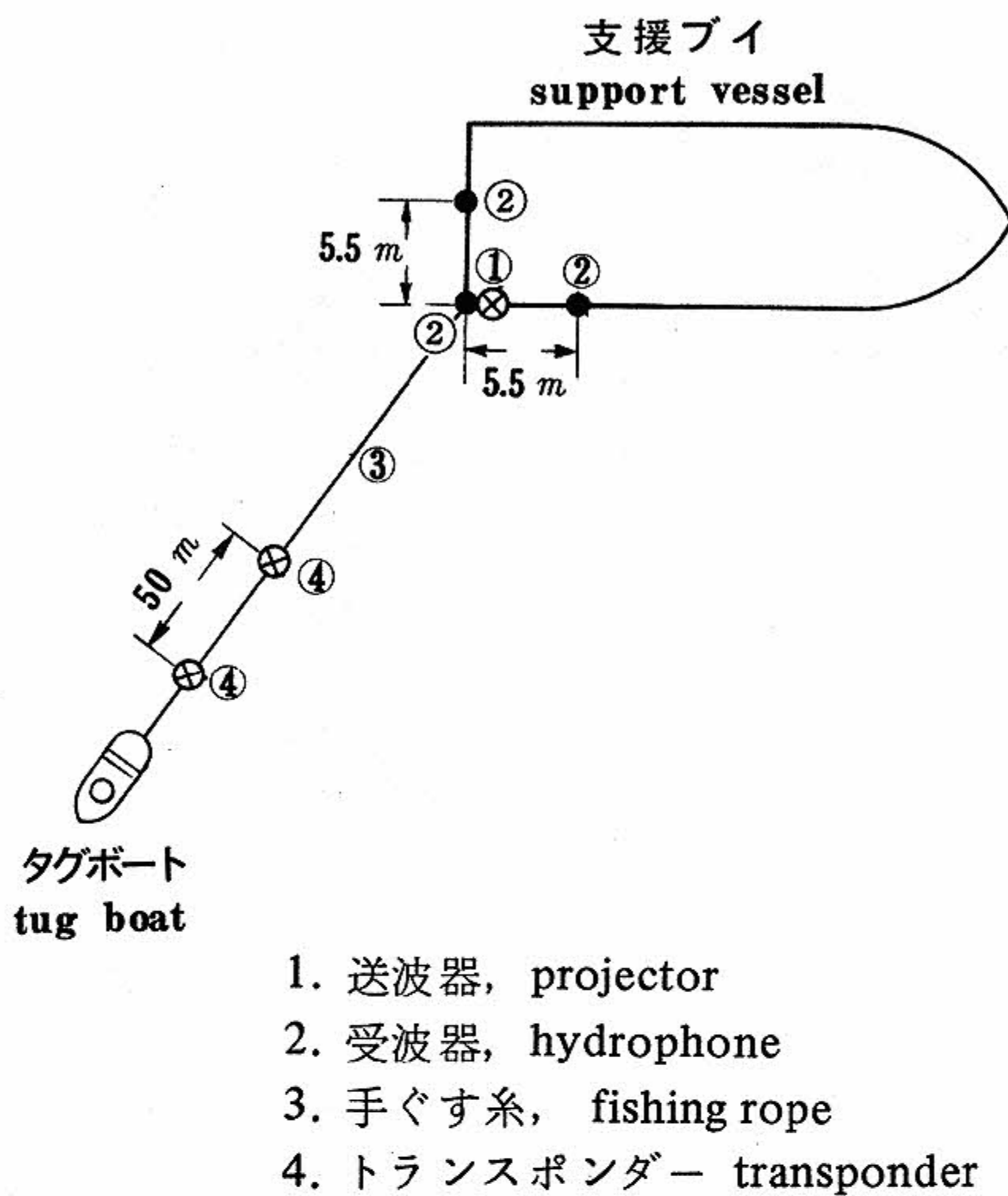
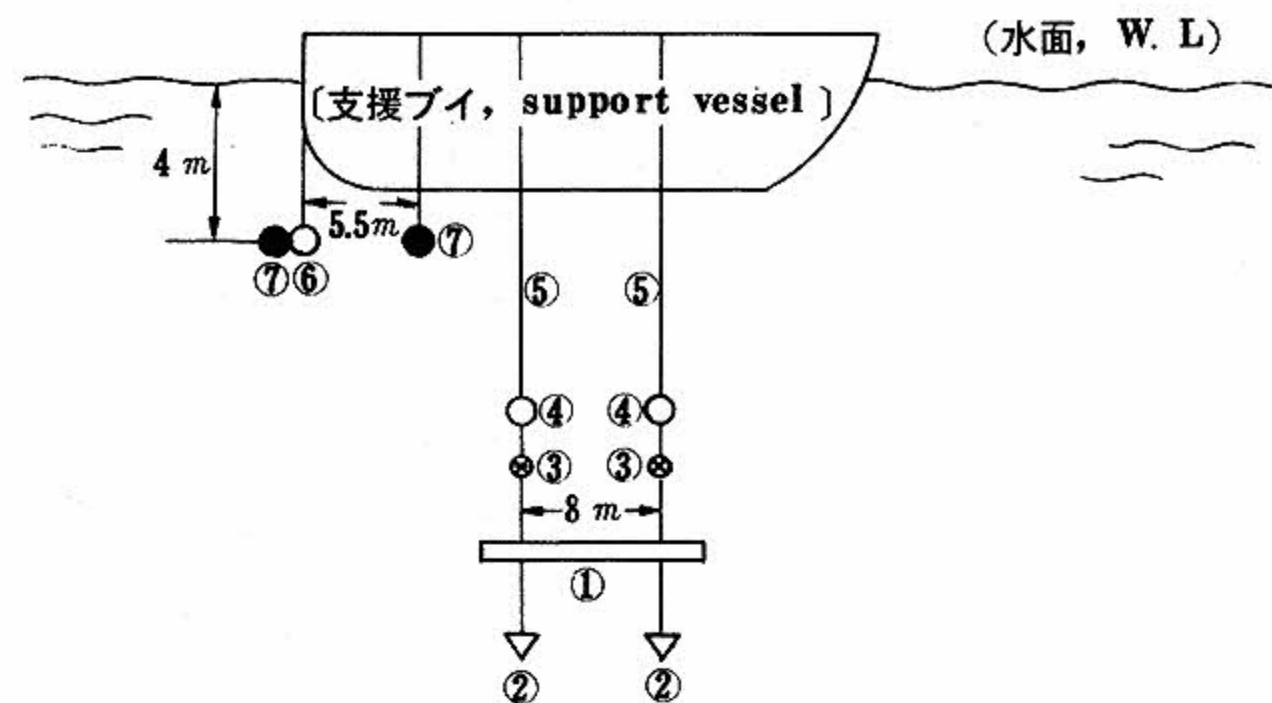


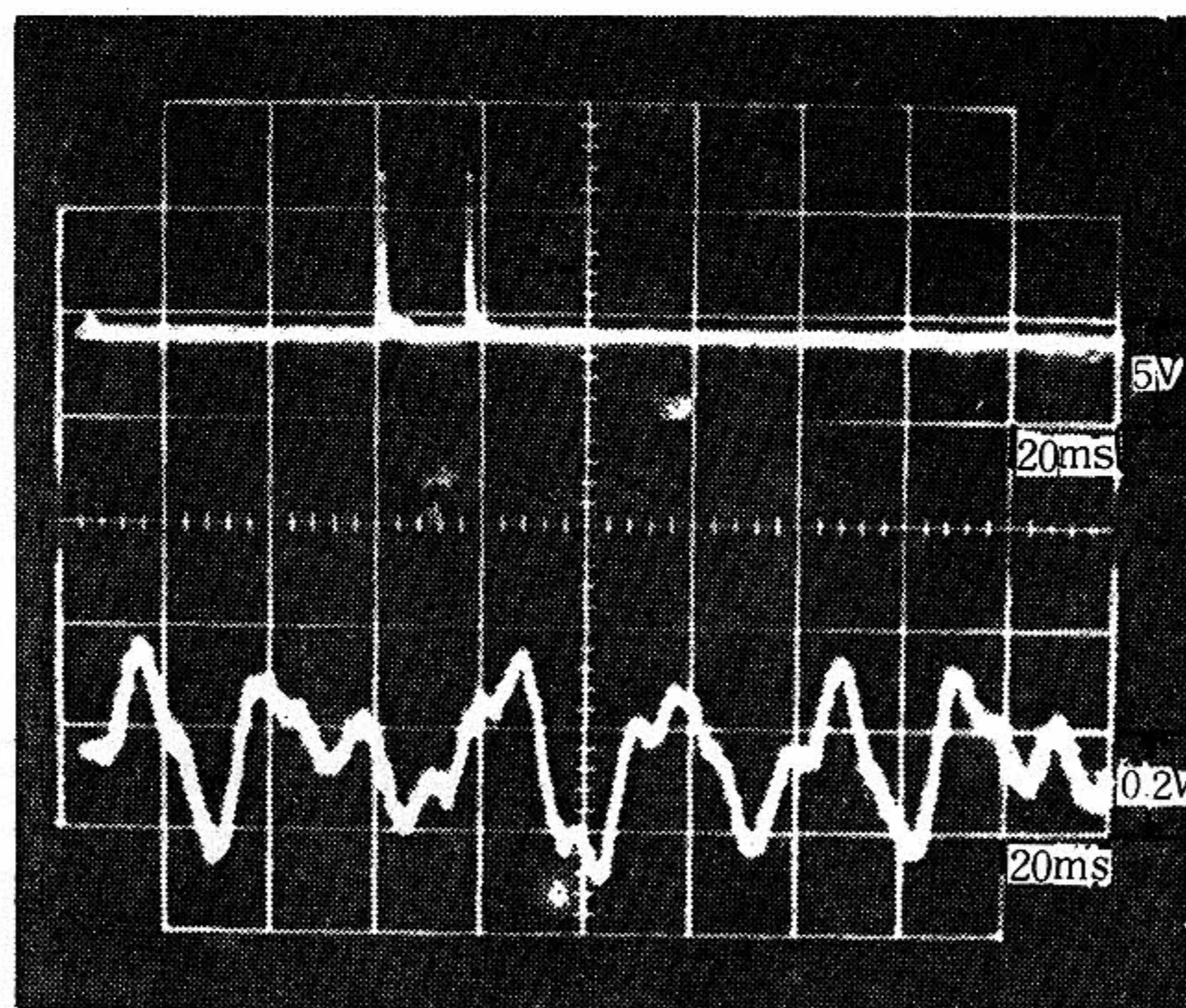
図10 最大到達距離実験
Maximum range experiment



1. 棒材, bar
2. 錘, weight
3. トランスポンダー, transponder
4. フロート, float
5. ロープ, rope
6. 送波器, projector
7. 受波器, hydrophone

図11 精度実験
Accuracy experiment

試作受波器 (上部)
experimental hydrophone (upper diagram)



標準マイクロホン (下部)
standard microphone (lower diagram)

写真6 トランスポンダーからの受波波形
(深度 18 m)

Received wave pattern from transponder
(depth 18 m)

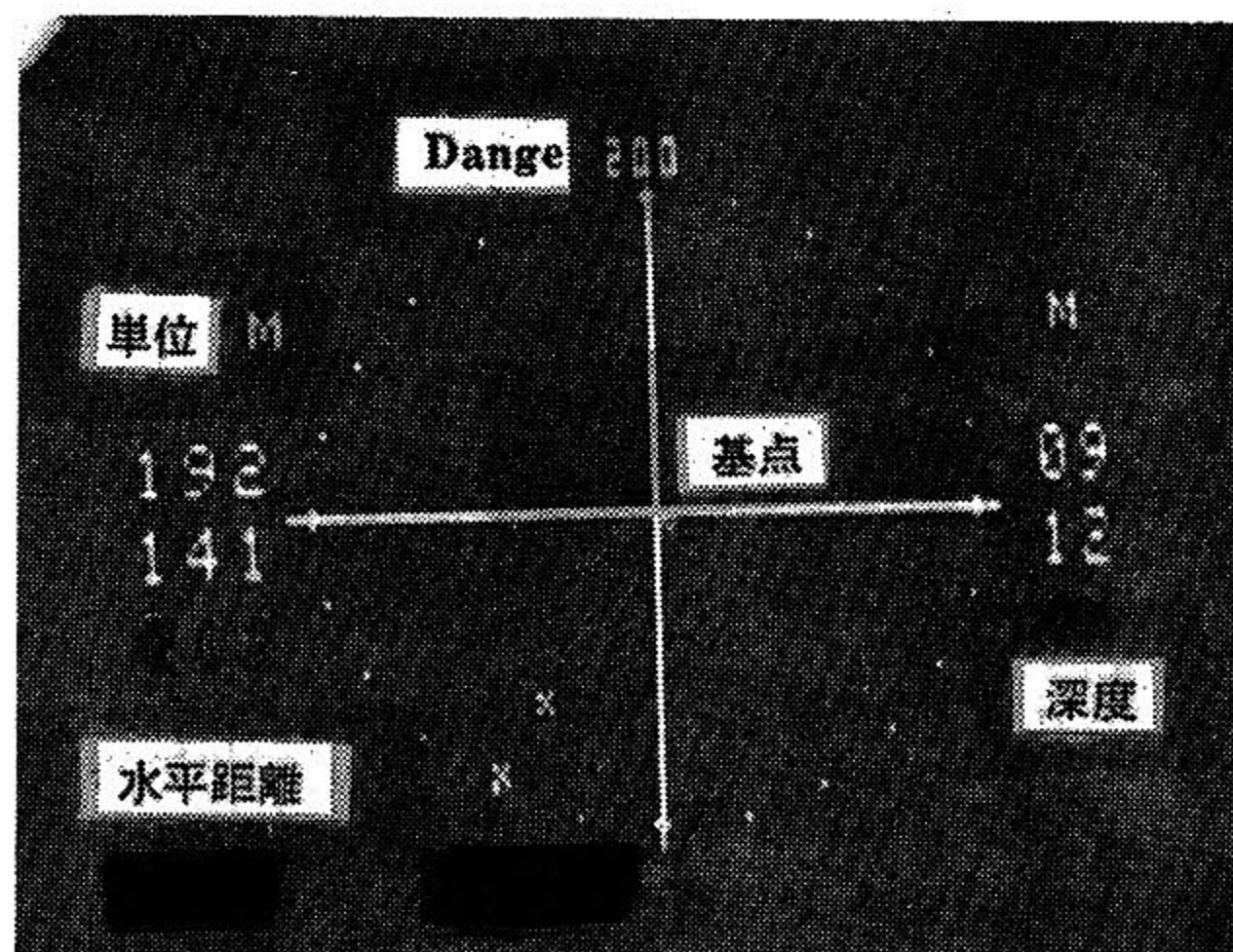


写真7 最大到達距離試験結果の例

An example of maximum depth experimental
results

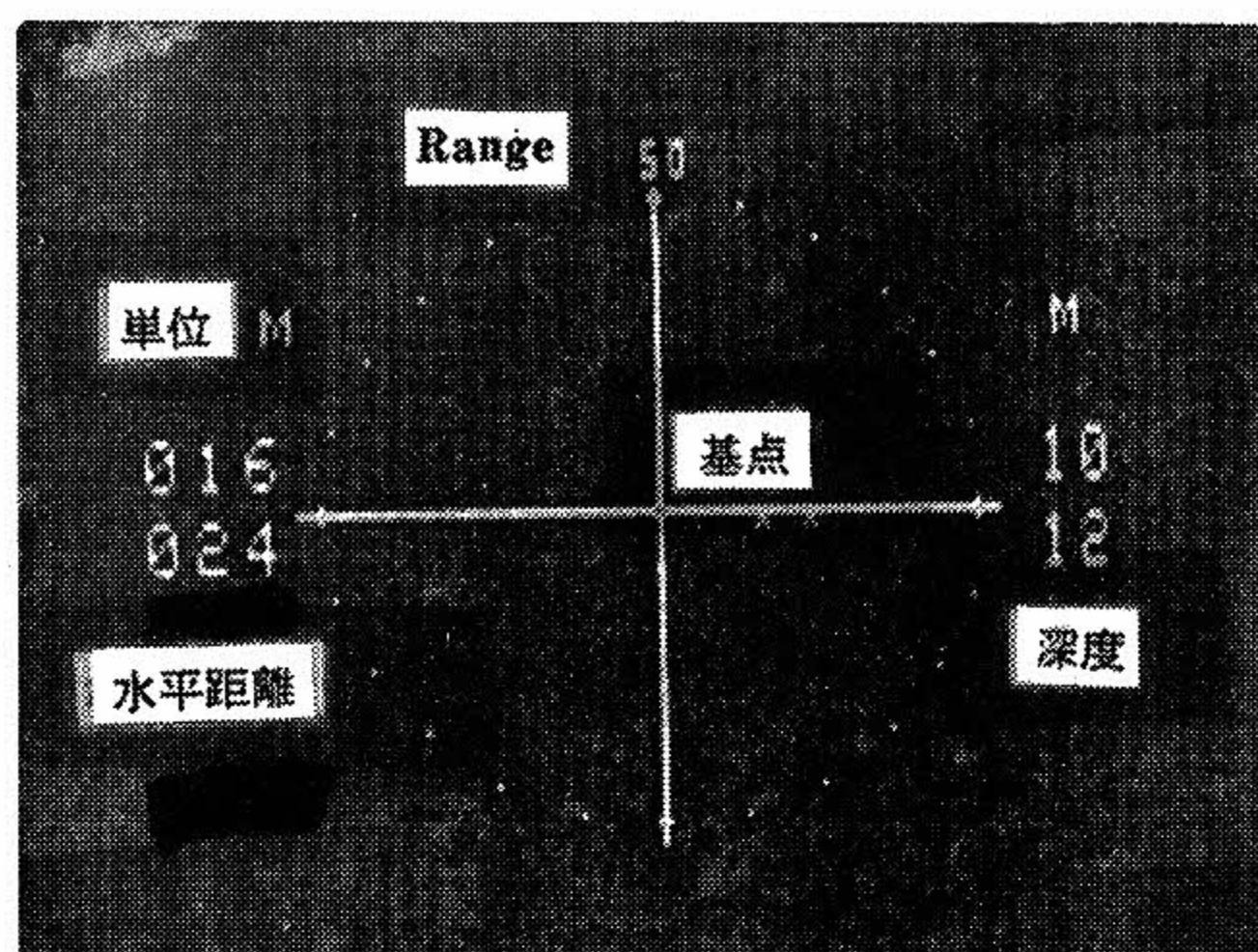


写真8 精度試験結果の例

An example of accuracy experimental results

図11には精度実験の構成を示す。

実験場所は横須賀港内の海洋科学技術センター付近海面で支援ブイを使用した。棒材（鉄パイプ）の8 m離れた位置にフロートを取りつけ、この棒材を二本のロープで支え、トランスポンダーを15mまで沈めた。これは基準面からの深度11mである。また最大使用深度実験は久鶴丸を使用し、横須賀港内で実施し、トランスポンダー3個をロープに10m間隔で取付け、最上のトランスポンダーが海面から64 m（索長計測）となるように吊下した。これは基準面からの深度は60mである。

5.2 実験結果

最大到達距離実験および最大深度実験の表示記録をそれぞれ写真7、写真8および写真9に示す。

写真7に示すように、最大到達距離は水平距離192 mまで可能であることが確認できた。次に50 m間隔に設定したフロートの位置が192 mと141 mでその間隔が51mとなっていることがわかる。なお、深度は測定値11mに対し、9 mおよび12mであるが、これは距離に対し、深度が著しく浅い実験であるため、誤差が大きくなったものと思われる。

写真8では2個のトランスポンダーの位置は24 mと16mでその間隔は8 mであり、棒材で設定した8 mと合致していることが確認できた。また深度についても設定値11mに対して計測値10mと12 mであり、精度規定を満たしている。

写真9ではトランスポンダーの深度が59m（設

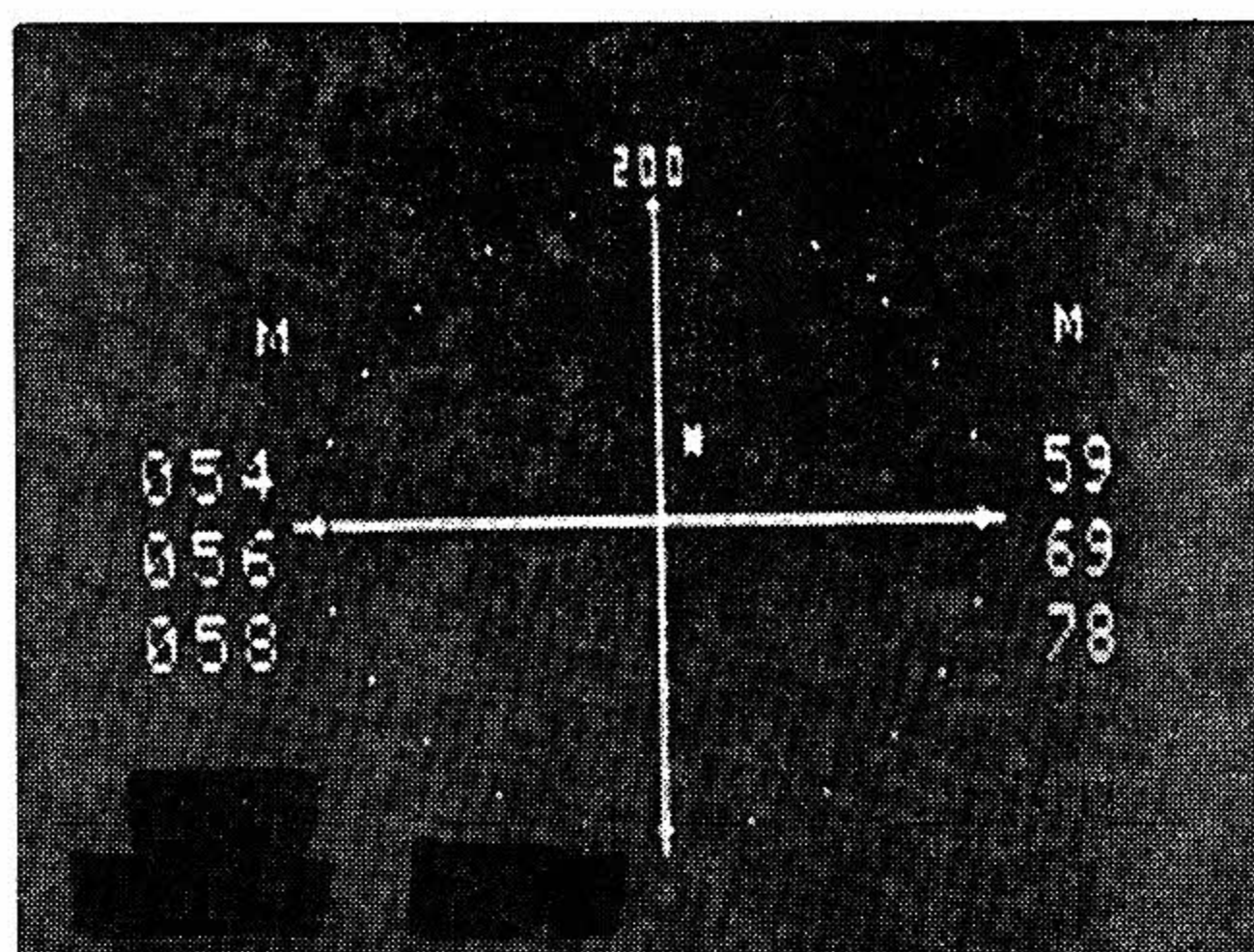


写真9 最大深度試験結果の一例

An example of maximum depth experimental results

定値60m）、69m（設定値70m）および78m（設定値80m）である。なお総体的に浅く表示しているのは、トランスポンダーを吊下げているロープが潮流の影響を受けたためと思われる。

以上の結果、本装置は要求性能を満足していることが確認できた。なお、お最大使用深度100 mについては、実験海域の制約によって85mまでの確認にとどまったが、別途耐圧試験等の結果から100 mで使用可能であることを確認した。

6. まとめ

本装置の試作および実海域実験を通じて総括すると、ショートベースライン(short base line)方式によって海中位置を計測表示する装置を開発するとともに、海中雑音内で正確かつ安定に位置表示するため、次の対策を施すことが有効であることが確認された。

- (1) 2パルス信号授受によって信号と雑音を区別する。
- (2) AGC回路の作動タイミングを、あらかじめ予定した次回受信予定時間に設定することによって、それ以外の時間帯での信号は受けつけないようにする。
- (3) 受波選択増幅器を使用周波数に対し、狭帯域幅にする。
- (4) データの上下限有効幅チェックを行い、海中位置計測の空間領域内のデータであるかを判断する。

(5) データを統計処理することによって、データ読み込み不良、変化率異常等の判別を行い、データの信頼性の向上を計る。

(6) 統計処理後、平均値演算によって高精度で、かつ安定な位置表示をはかる。

本装置は潜水作業の有効性を向上し、実用化を推進したいという当センター独自の希望から出発した、世界にも例の少ないものであるため、開発の手法、特に実海域データのばらつきや海中雑音等の実情とその対策に未知な点が多かったが、実海域でデータを収録し、その検討に基き、設計、製作を進めるというフィールドスタディを展開した。その結果、これらの現象については、未解明

な課題が残っているが、装置として、所期の目標を達成することができた。

この間、機器の製作を担当されたほか、実海域実験の実施等フィールドスタディの展開に、積極的にご協力下さった株式会社北辰電機製作所の関係者諸氏に謝意を表する。

文 献

- 1) Saltzer, Ben., 1970, "A deep submergence divers navigation system", Journal of the Institute of Navigation 17, (1)
- 2) Partridge, C.T.B.SC., "Electronic aid for exploration divers"