

多層観測用電磁誘導伝送式 簡易センサの試作と海域実験

原 俊明^{*1} 伊沢堅志^{*2}

佐々木 建^{*3}

曳航式センサチェーンを主とした多層観測システムに使用可能な電磁誘導伝送式簡易センサを試作し、海域実験を行った。

本センサシステムの主な特徴は、

1. 1本の送信線に多数のセンサユニットを取り付けられること。
 2. センサユニットを送信線の任意の位置に容易に着脱できること。
 3. 船上指令器とセンサユニット間の送信形式をFSKとし、送信制御方式をポーリング方式（センサに局番をつけた呼び出し応答方式）としたこと。
 4. センサの呼び出し順序および呼び出し時間間隔を可変としたこと、などである。
- センサユニットは、水温センサ付きのものと、水温センサおよび深度センサ付きのものとの2種類である。

海域実験を行った結果、送信線にビニル引きワイヤを使用し、試作したセンサユニットとファゾム社製のフェアリングを併用すれば、センサチェーンの機能を果たすシステムが構成されることが確認された。

DEVELOPMENT OF THE SENSOR WITH INDUCTIVE COUPLING FOR A TOWED SENSOR CHAIN

Toshiaki Hara ^{*4} Kenji Izawa ^{*5}

Ken Sasaki ^{*6}

A sensor with inductive coupling for a towed sensor chain has been developed.

The principal features of the sensor system are as follows.

- 1 Many sensor units can be attached to a general insulated wire which is used as a towing and transmitting wire.

*1 海洋保全技術部 *3 前海洋保全技術部

*2 (株) 鶴見精機

*4 Marine Environment Department *6 ex-Mar. Environ. Dept.

*5 The Tsurumi Seiki Co., Ltd

- 2 The sensor units can be easily attached and detached to an insulated wire at the desired points.
- 3 The transmission type is FSK and the polling method is used for transmission control.
- 4 Sampling orders and intervals can each be selected at the desired order and interval.

The sensor units include the temperature measurement unit and temperature and depth measurement unit.

Based on the results of the sea trials, it was confirmed that the composition of a general vinyl coating wire for an insulated wire, and the sensor units and plastic fairing system were successful in the functioning of the towed sensor chain system.

1. はじめに

海洋構造の把握などにおいて、サーミスタチェーンをはじめとする曳航式センサチェーンの必要性については、たとえば、Nagata¹⁾や原ら²⁾が論じている。

原ら³⁾は簡便な曳航式センサチェーンの実用化を目指し、第1段階として、電磁誘導結合による伝送法（以下、電磁誘導伝送法という）を用いた水温計測器一式を試作し、実用化への目道を立てた。電磁誘導伝送法を用いると、1本の送信線に複数のセンサの取り付けが可能となり、しかも、センサが送信線に沿って上下動してもデータ伝送を行える(Sitnikov et al.⁴⁾)ので、電磁誘導伝送法は、曳航式センサチェーン以外にも応用される（図1参照）。たとえば留置ブイによる留置式センサチェーンが Nagasaka⁵⁾や Reidar Bo and H.M.Allen⁶⁾らによって報告されている。また、スライド式曳航体は、現在、海洋科学技術センタ

ーで開発中である。(Nomoto and Sasaki⁷⁾)

第1段階で試作したセンサユニットは送信線の所定の位置に取り付ける場合、センサユニットを送信線の端から通していかなければならず、センサユニットが多数個の場合、取り付け作業が煩雑となり、しかも、両端以外の故障したセンサユニットの取り外し作業時は、正常なセンサユニットまで取り外さねばならない。そこで、われわれは、第2段階として、送信線への着脱が、任意の位置で行えるセンサユニットと、最大5CHまでのセンサデータをポーリング方式で受信記録できる船上指令器を試作し、海域実験を行った。なお、センサユニットは、2種類を試作した。すなわち、水温センサと深度センサ付きのものと、水温センサ付きのものとの2種類である。

2. システムの概要

図2に海洋観測時における概略的構成を示す。

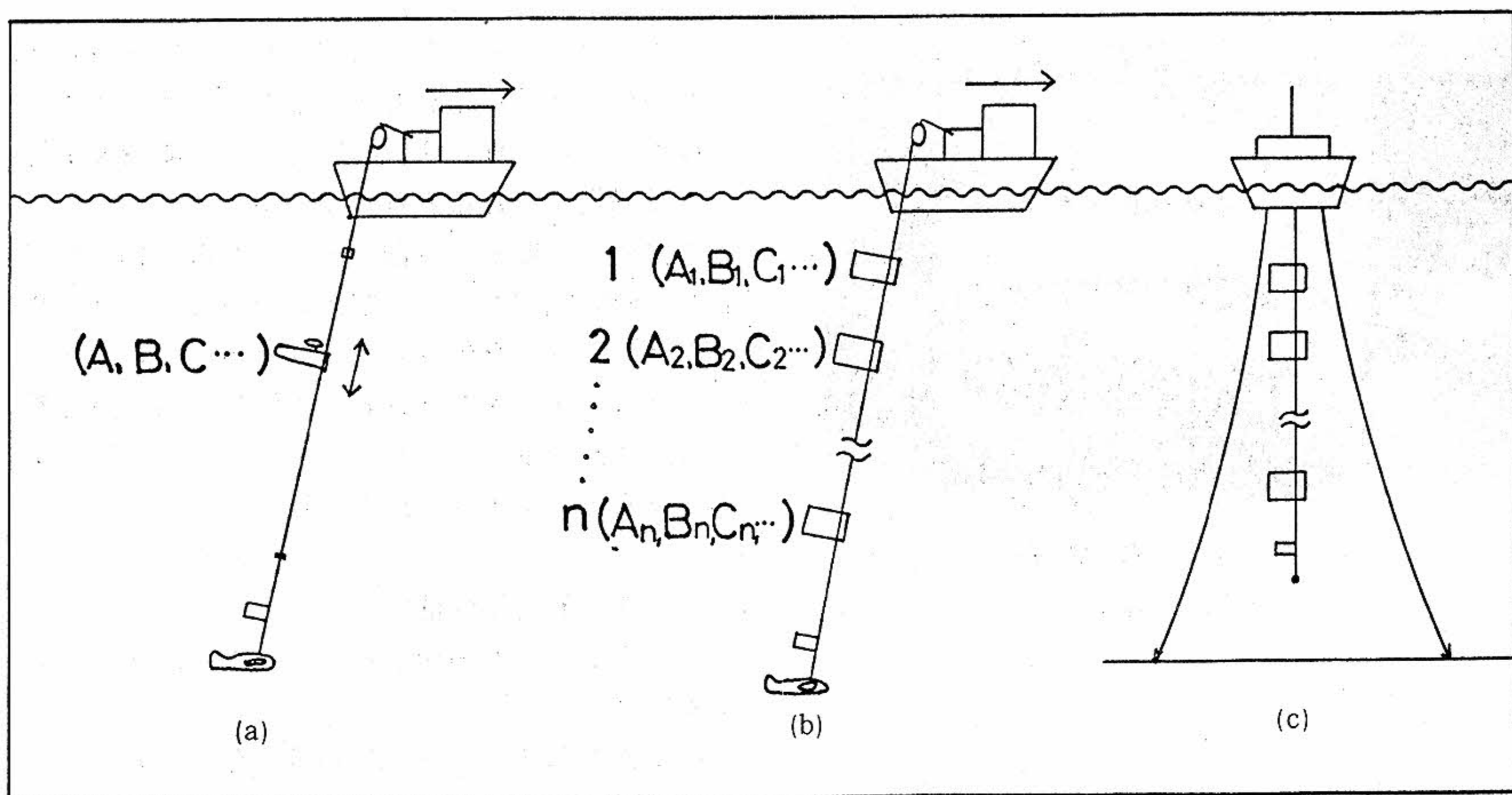


図1 電磁誘導伝送法の応用例

(a) スライド式曳航体 (b) 曳航式センサチェン (c) 留置式センサチェン

Applications of inductive coupling method

(a) Underwater sliding vehicle (b) Towed sensor chain (c) Sensor chain

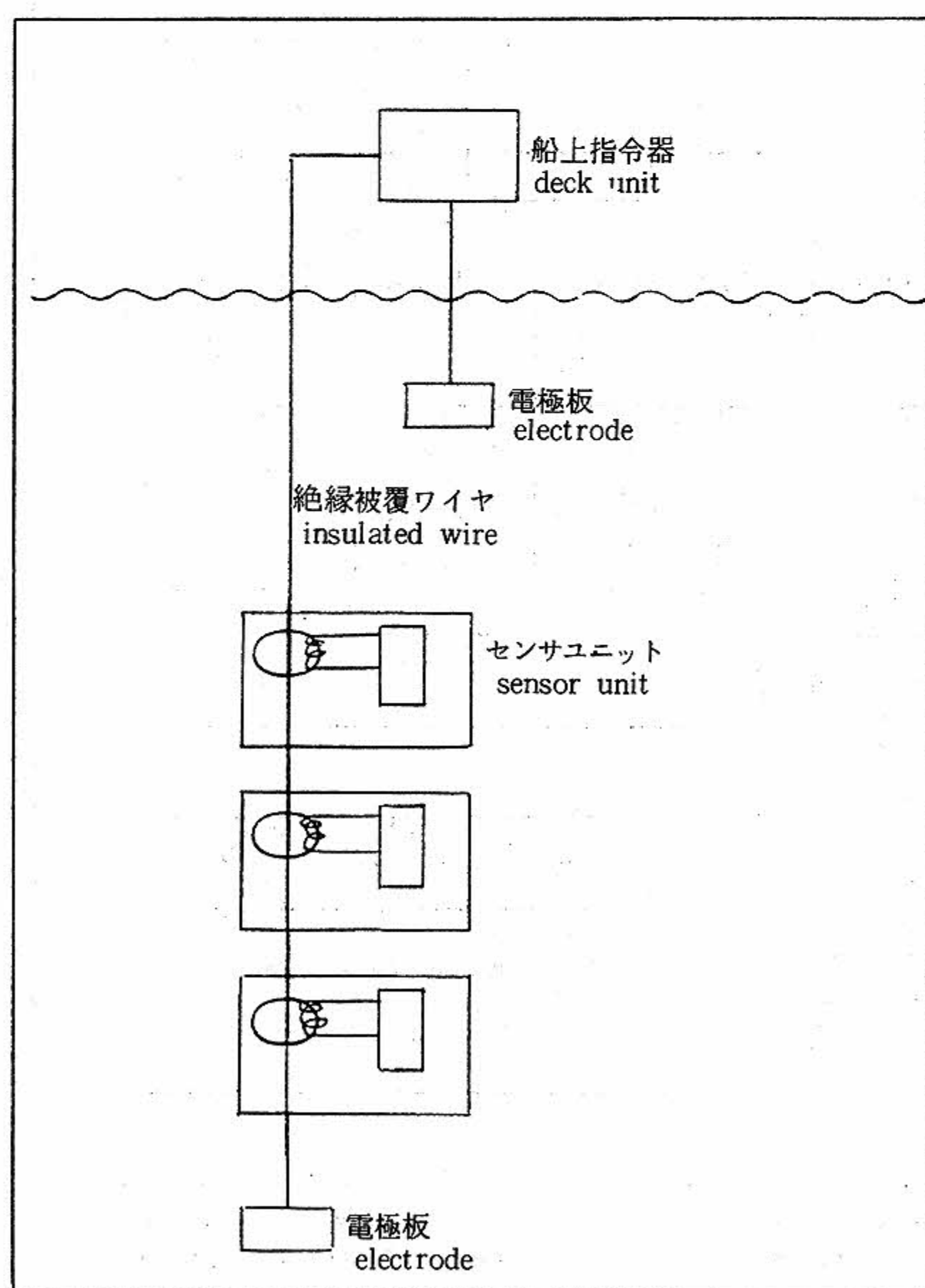


図2 使用構成概略

Outline of system

船上指令器に1本の絶縁被覆送信線が接続され、各センサユニットのコアを貫いている。送信線の先端と船上指令器には、海中電極板が接続され、海水の導電性を利用した信号ループが形成される。なお、船上指令器用海中電極板は、船体アースがとれれば、船体アースに代えることも可能である。簡便に、リアルタイムで計測が行えるようにするために考慮したシステム上の主要な点は

- (1) 1本の送信線で多数のセンサ情報を取得すること、および、送信線とセンサユニットとの結合部のコアの送信可能な周波数範囲が比較的狭いことから、送信制御方式はポーリング方式(センサに局番をつけた呼び出し応答方式)とし、送信形式をFSKとしたこと。
- (2) 任意のセンサ情報が取得できるように、呼び出し順序を可変としたこと。
- (3) センサユニットの送信線での設置間隔および曳航速度等の変化によって生じる各センサの鉛直方向におけるサンプリングポイントのズレの補正も行えるように、あるいは、留置式センサチェーンにも適用できるようにするために、呼び出し時間間隔を可変としたこと。

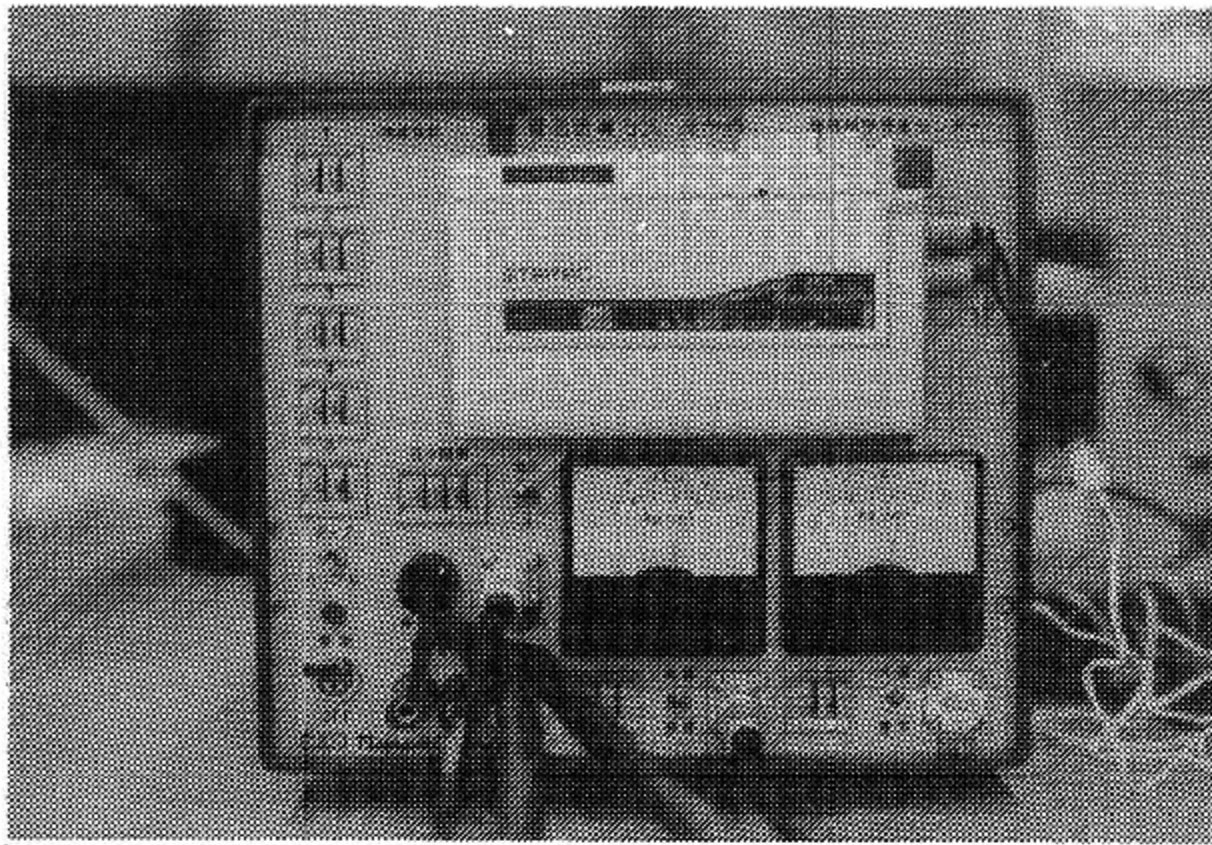


写真1 船上指令器
Deck unit

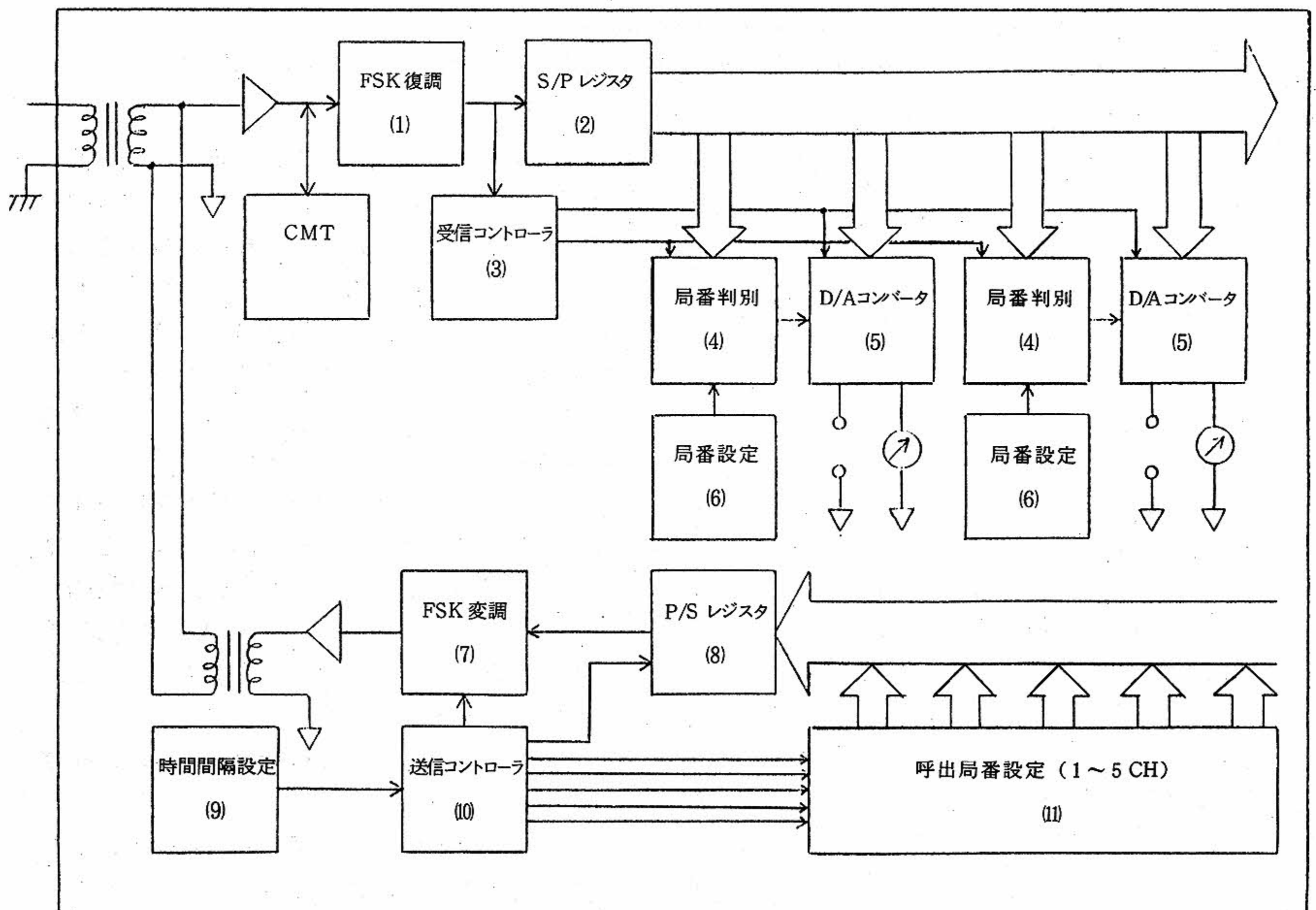
(4) センサユニットの送信線への取り付けおよび、交換作業の煩雑さを軽減するため、センサユニットは、送信線の任意の位置で容易に着脱が行える構造としたことなどである。

観測時に、船上指令器からは、あらかじめ設定された時間間隔および呼び出し順序で、各センサへのコマンドが発信される。コマンドに該当したセンサは、データをFSKで送信し、船上指令器では、これを受信し、テープレコーダーに記録するとともに、アナログ出力を行う。

3. 船上指令器

船上指令器の外観を写真1に、また、ブロック図を図3に示す。

船上指令器は、あらかじめ設定を行うものに、
1. 呼び出し時間間隔、2. 呼び出し局番順序、
3. アナログ出力局番、などがある。呼び出し時



- (1) FSK demodulator (2) S/P resistor (3) receiving controller (4) sensor number selector (5) D/A converter
(6) sensor number select switch (7) FSK modulator (8) P/S resistor (9) interval timer (10) transmission controller
(11) sensor number select switches

図3 船上指令器ブロック図

Block diagram of deck unit

間隔は、25m sec から999 sec までの間をデジタルサーミルスイッチで可変設定できる。呼び出し局番順序は、5 CH分をデジタルサーミルスイッチで2桁設定できる。5 CH分のうち途中に00番があると、それ以降の呼び出しは無効となる。たとえば、88, 33, 55, 00, 60の順序で設定されていると、60番は呼び出されず、88, 33, 55番が所定の呼び出し時間間隔で繰り返し呼び出される。アナログ出力局番は、2 CH分をデジタルサーミルスイッチで設定できる。

所定の設定が完了し、スタートをかけると、送信部では、送信コントローラにより、設定された時間間隔で、呼び出し局番がP/S変換された後、FSK変調され、順次、送信されていく。

受信部では、受信したFSK信号をCMTに記録するとともに、FSKを復調し、S/P変換した後、2系統へ送信する。すなわち、一方はS/P変換され、各局番判別回路およびD/A変換回路へ送信される。他方は、受信コントローラへ送信され、FSK信号が局番かデータかが識別され、

- ①局番なら、各局番判別回路へ制御信号が送信され、先のS/P変換された信号が設定局番と一致しているかどうか判別される。一致している場合には、D/A変換回路へ制御信号が送信される。
- ②データなら、D/A変換回路へ制御信号が送信される。この時、先に①で局番判別回路からD/A変換回路へ、制御信号が送信されていた場

合は、S/P変換されたデータをD/A変換し、これを出力する。水温データの場合は、0～35℃を100m v/℃の割合で出力し、深度データの場合は、0～10kg/cm²を100 m v/kg/cm²の割合で出力する。また、これらはアナログメータでモニタされる。

また、CMTの再生も可能で、リアルタイムでの計測同様、2 CH分のアナログ出力およびモニタが行える。

なお、FSK変調は、ハイレベルを9.6KHZ、ローレベルを19.2KHZとし、伝送速度は1200BPSとしている。

コマンドは、固定ビット（ローレベル）が1つと、番地を表わす8ビットの計9ビットで構成されており、このフォーマットを図4に示す。固定ビットの右側4ビットが10の桁を表わし、残りの4ビットが1の桁を表わすいわゆるBCDとしている。たとえば、22番地の場合は、000100010となる。

4. センサユニット

センサユニットは、水温センサと深度センサ付きのユニットと、水温センサ付きのユニットの2種類を試作した。前者の外観を写真2に、形状寸法図を図5に示す。また後者の外観を写真3に、形状寸法図を図6に示し、両者の仕様は、表1に示す。

以下に、送信線への着脱機構と作動概要を記す。

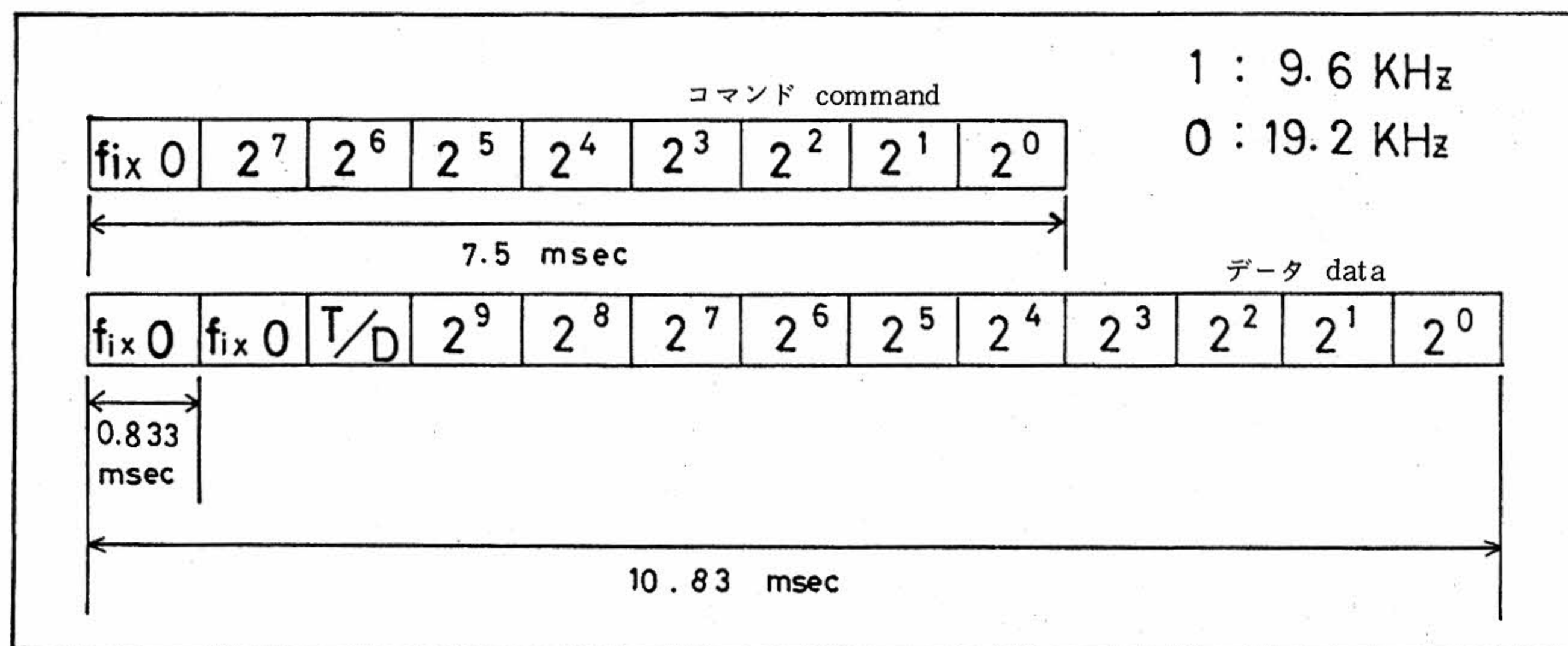


図4 コマンドおよびデータフォーマット
Command and data formats

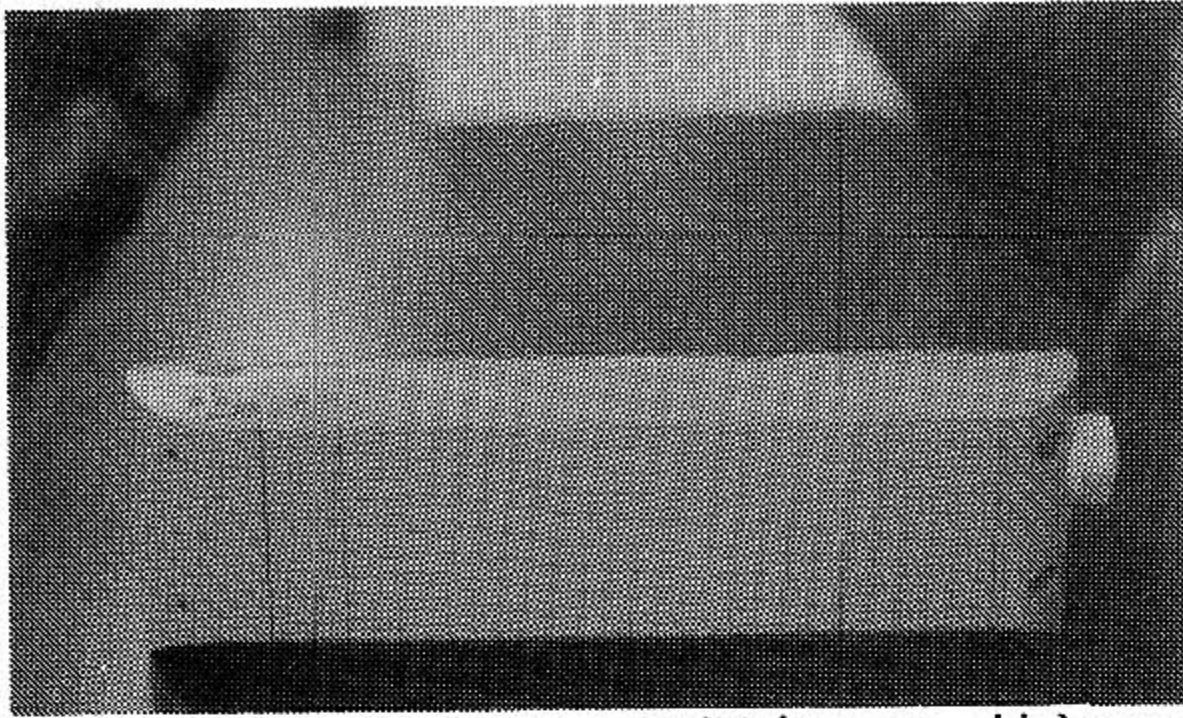


写真2 水温センサ、深度センサ付き
センサユニット
TD sensor unit

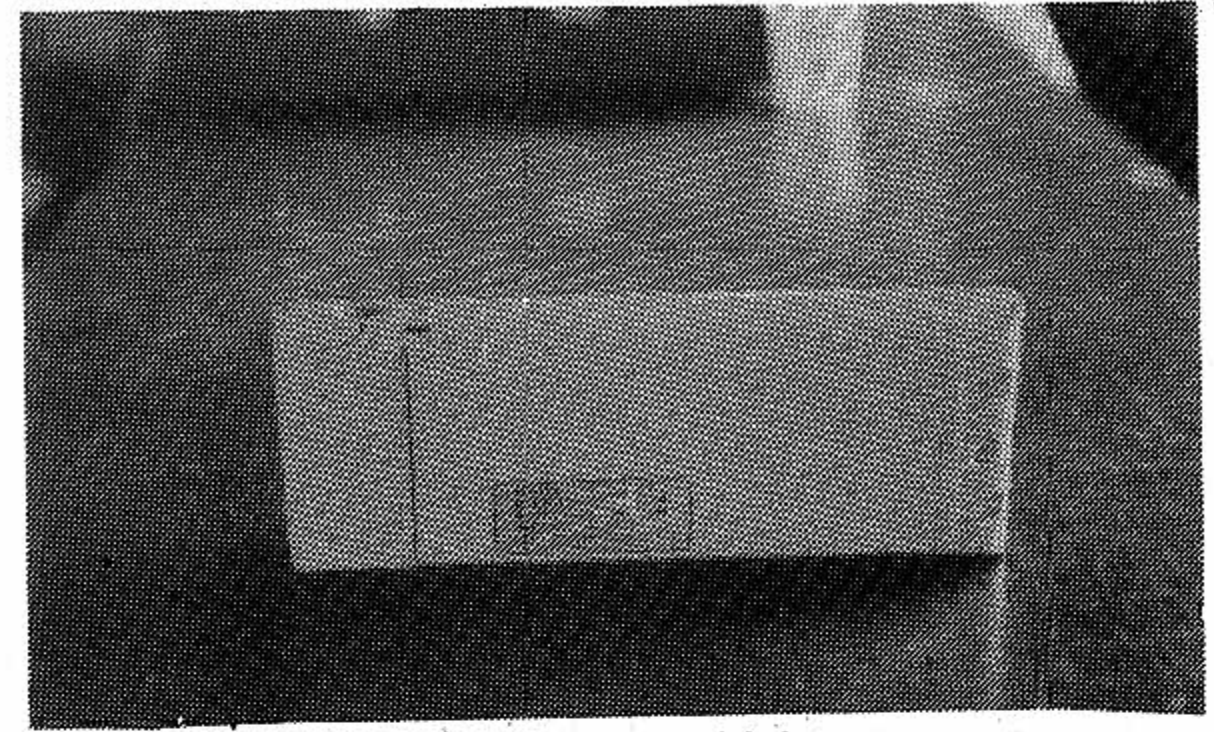


写真3 水温センサ付きユニット
T sensor unit

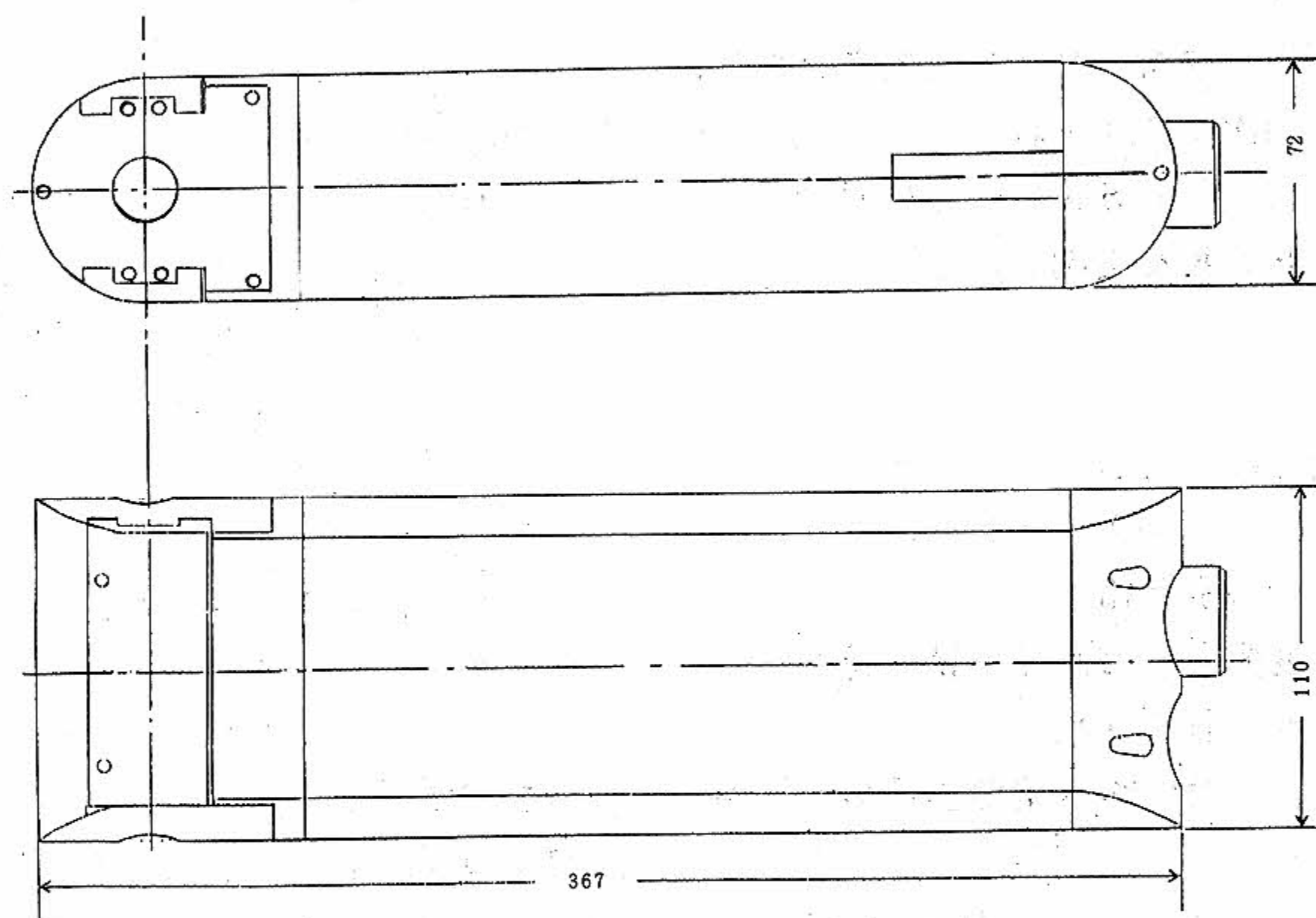


図5 水温および深度センサ付きセンサユニット
Dimension of TD sensor unit

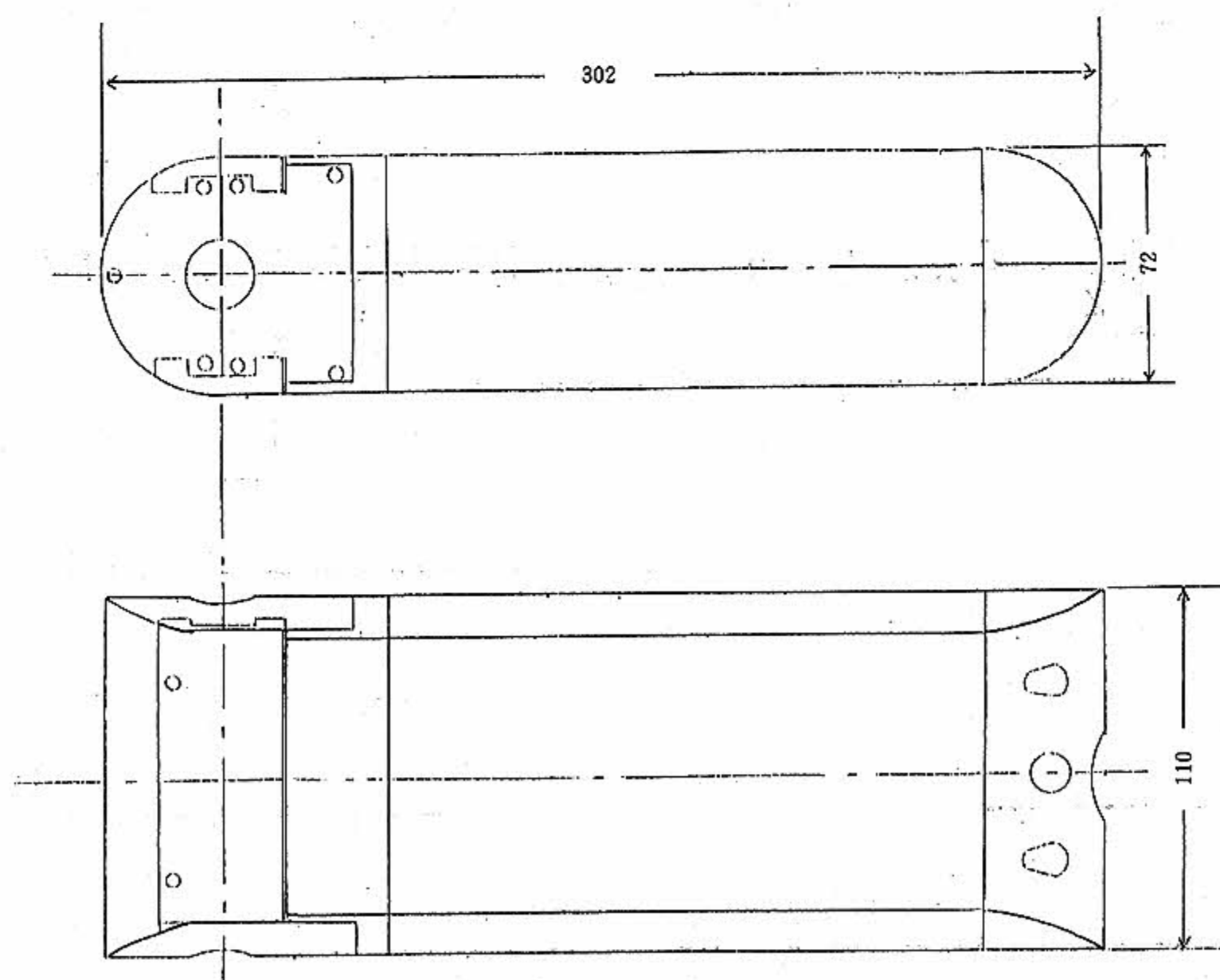


図6 水温センサ付きセンサユニット
Dimension of T sensor unit

表1 センサユニットの仕様
Specifications of sensor unit

		水温センサ, 深度センサ付 TD sensor unit	水温センサ付 T sensor unit
寸 法 dimensions	長 さ length	367 mm	302 mm
	高 さ height	110 mm	110 mm
	幅 width	72 mm	72 mm
空 中 重 量 weight in air		2.9 kg	2.5 kg
測 定 範 囲 range	水 温 temperature	0 ~ 35 °C	0 ~ 35 °C
	圧 力 pressure	0 ~ 10 kg/cm ²	—
分 解 能 resolution	水 温 temperature	1/30 °C	1/30 °C
	圧 力 pressure	0.01 kg/cm ²	—
セ ン サ sensor	水 温 temperature	サ ー ミ ス タ thermistor	サ ー ミ ス タ thermistor
	圧 力 pressure	半 導 体 ス ト レ イ ン ゲ ー ジ semi-conductor strain gauge	—

4.1 送信線への着脱機構

電磁誘導結合部をカットコアを使用することにより, 2分割構造とした。

図7にコア付近の概略的横断面図を示す。2分割された左側を前部, 右側を後部とし, 両者を送信線をはさむようにして, 前部の下部と後部の上

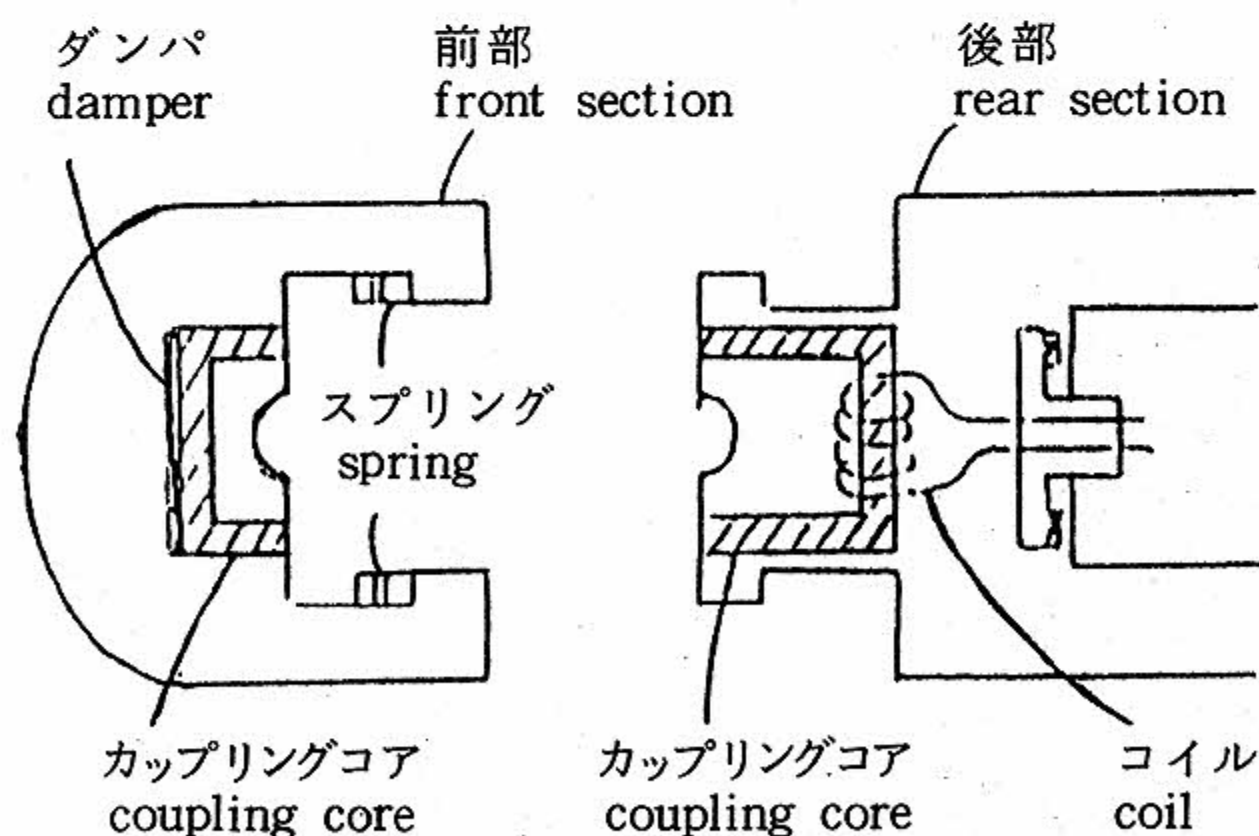


図7 センサユニットのコア付近横断面図
Cross section near core of sensor unit

部とをお互いの溝に合せ, スライドさせながら1体化させる。1体化したときには, カットコアのお互いの縦断面が密着するように, スプリングおよびダンパ等を使用している。

4.2 作動概要

センサユニットのブロック図は代表として, 水温センサ付きのものを図8に示す。センサユニットは, 船上指令器からのコマンドを受信すると, 2系統に送信される。すなわち, 一方は, FSKが復調され, シフトレジスタによりS/P変換された後, 局番判別回路により, 自局の局番と一致しているから判別される。一致している場合は, 制御信号がアンド回路へ送信される。他方は, センサからのアナログ信号のA/D変換を開始させるとともに, コマンドであるかどうか識別され, コマンドであると識別された場合には, 制御信号がアンド回路へ送信される。この時, 先に局番判別回路からの制御信号が送信されていた場合には, アンド回路から制御信号がA/D変換回路へ送信

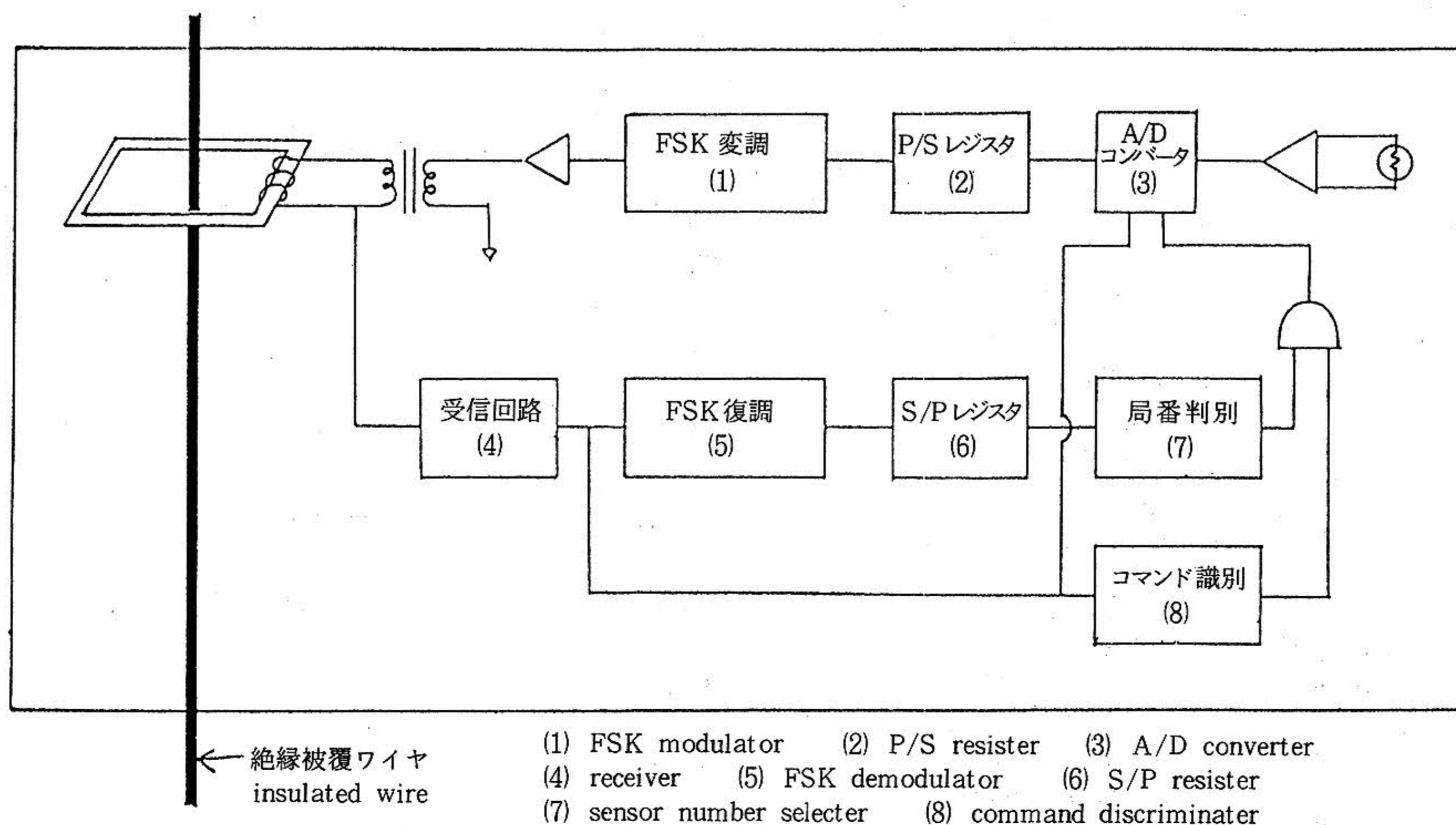


図8 センサユニット ブロック図
Block diagram of sensor unit

われ、次にF S K変調された後、船上指令器へ送信される。

なお、水温センサにはサーミスタが、また深度センサには半導体ストレンゲージタイプが使用されている。

5. 海域実験

試作器による海域実験を相模湾中央部で行った。実験に使用した送信線は、S U Sのビニル被覆ワイヤ（ワイヤ径4 mm，外径7 mm）である。

昭和57年9月11日には、水温センサ付きのセン

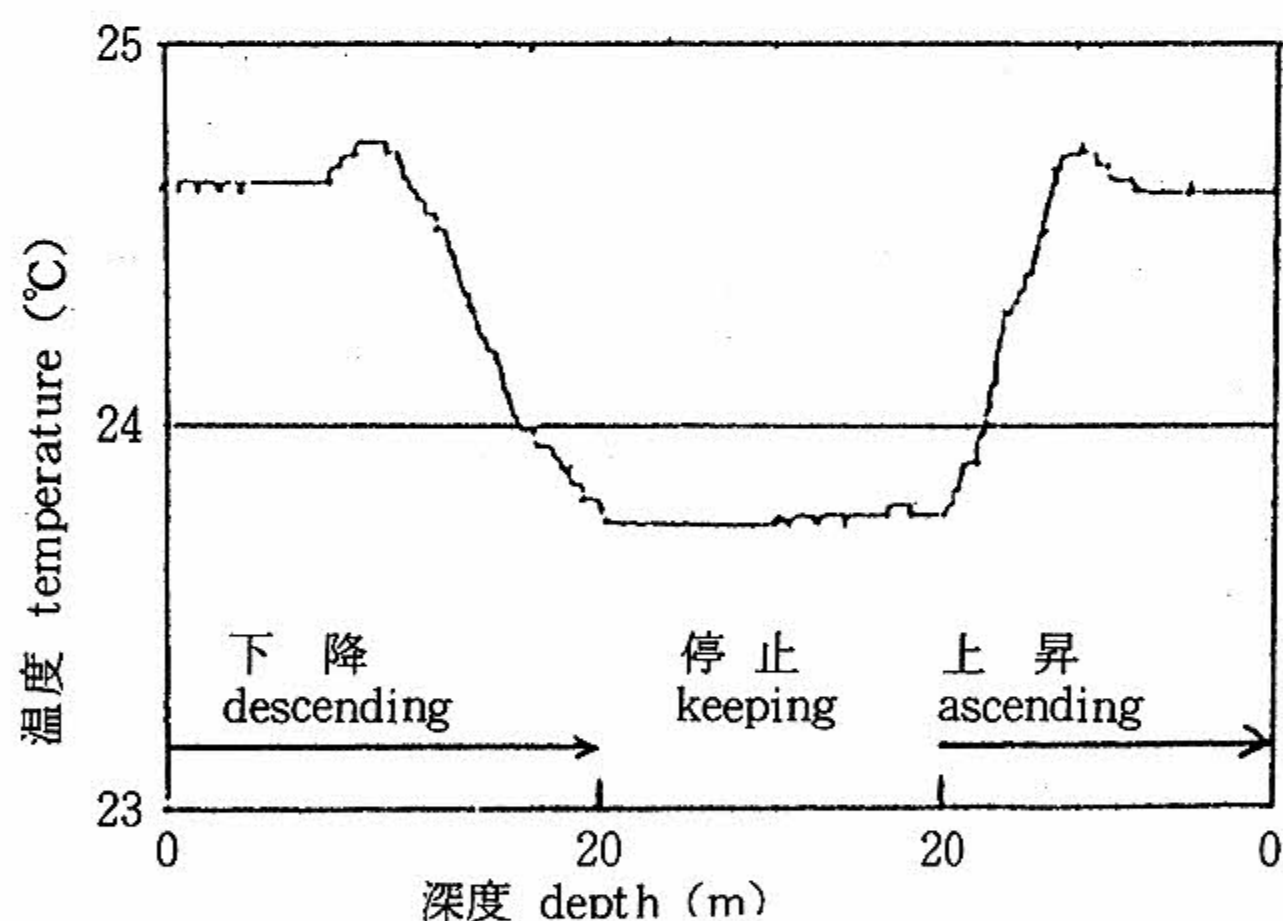


図9 水温センサ付センサユニットの下降上昇試験におけるデータ例
(深度10m付近に約0.1℃の逆転層)
An example of output from descending and ascending T sensor unit
(Temperature inversion layer of about 0.1℃ is found at a depth of about 10m.)

され、A/D変換された信号はシフトレジスタへ送信される。シフトレジスタではP/S変換が行

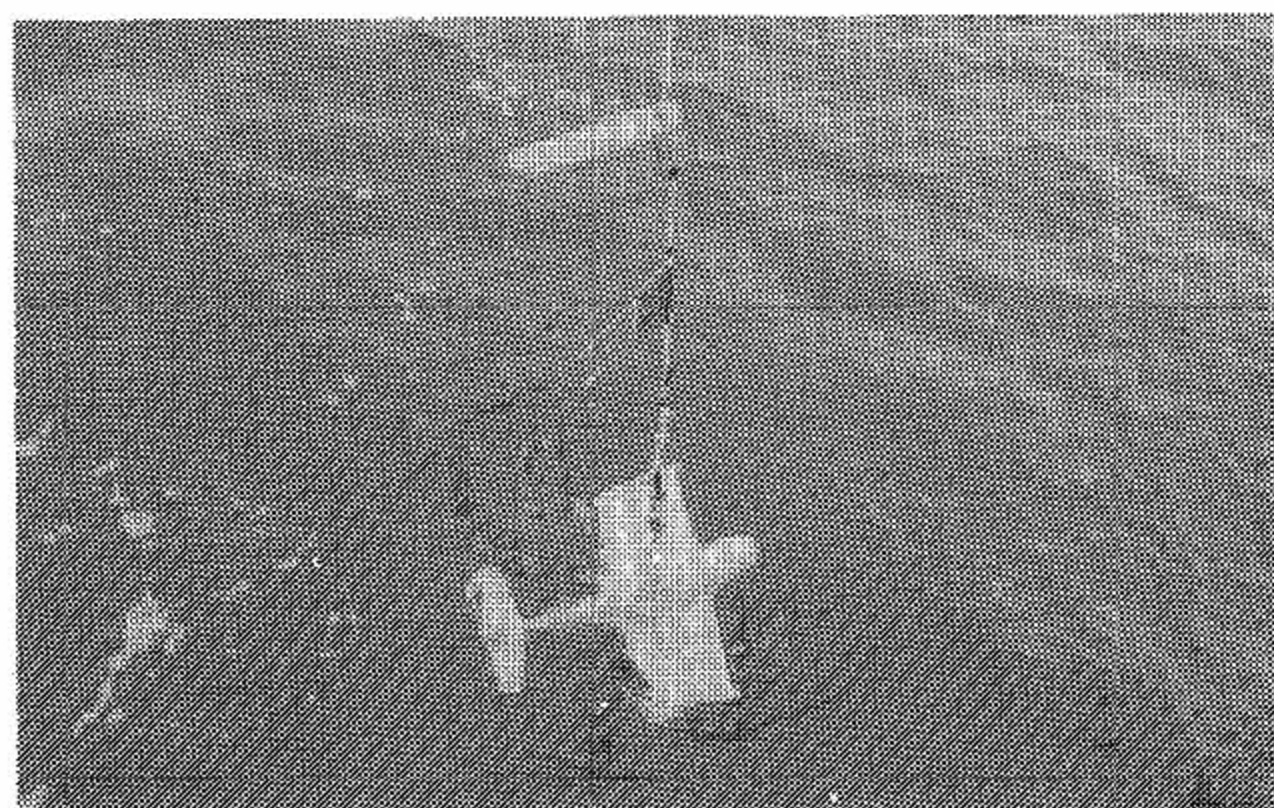


写真4 曳航試験
Towing test

サユニットを送信線に固定し、送信線を繰り出し揚収することによりセンサユニットを上昇下降させた。この時のデータ例を図9に示す。これは、アナログ出力をペンレコーダに記録したものである。センサユニットは海表面から深度20mまでを往復している。深度約7mまでは、ほぼ一定温だが、それ以深に約0.1℃の逆転層が見られる。センサユニットの下降時、上昇時とも、深度10m前後に同様のパターンを示しているので、小さなスケールながら、逆転層の存在は、ほぼ確実と思われる。また、この記録から、本システムにおけるビット誤差は ほぼ1ビット（約0.03℃相当）と思われる。

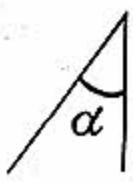
昭和57年12月9日には、前回同様、水温センサ付きセンサユニットを用いて、曳航実験を行った。この時の実験状況を写真4に示す。写真4の送信線に付属している三つのものは、上から順に、センサユニット、電極板、ディプレッサである。センサユニットとディプレッサの距離は約1mである。なお、この実験の途中で、船上指令器からの海中電極板は、船体アースに変えたが、この方が、ノイズの混入が少なかった。曳航速度と索長（海面からディプレッサまでの送信線の距離）に対する送信線の傾斜角の測定も行ったが、この結果を表2に示す。図10には、索長5m、曳航速度3kts下で潮目を横断した時に得られたデータ例を示す。この例では、約1℃の水温低下が見られる。低温域に入る直前は、0.2～0.3℃の上昇、下降を激しく繰り返しており、これは、高温水と低温水との内部境界面が、センサの位置である深度約3.5m付近に存在することを示しているものと思われる。

る。

昭和58年6月15日には、水温センサ付きセンサユニット2台と、水温センサ、深度センサ付きセンサユニット1台の計3台と、ファゾム社製のフェアリングを使用した曳航実験を行った。この時は、船上指令器からの海中電極板は、船体アースに変えて行った。センサユニットの送信線に対する装着位置は、以下のとおりである。すなわち、ディプレッサから1m上に水温センサ深度センサ付きセンサユニットを、それより5m上に水温センサ付きセンサユニットを、さらにそこから8.5m上にもう1台の水温センサ付きセンサユニットを装着した。なお、各センサユニット間には、ファゾム社製のフェアリングを装着した。索長は18mとして、曳航速度2～5ktsまでの曳航実験を行った。この時の送信線の各曳航速度に対する傾斜角を表3に示す。フェアリングの効果は、前回の表2の結果と比べると非常に大きいことが確認された。

3層観測のデータ例を図11に示す。この時の曳航速度は4.5kts、曳航時の各センサの深度は、3m、10m、14mである。最下部にあった深度センサのデータから、深度変動は、20～30cmであったものと思われる。この日は、カラーライン (color line) が頻繁に現われていた海況であり、各層とも、複雑な変化を示している。この時のデータをもとにして、11時40分の位置から12時4分30秒の位置までの水温鉛直分布図を作製し、これを図12に示す。等温線は0.4℃間隔である。3層観測で、しかも、1層目（深度3m）と2層目（深度10m）の間隔が7mもあるので、等温線は、高温

表2 センサユニット1台付き送信線の傾斜角
Inclination (α) of bare wire with
a sensor unit



		曳 航 速 度 towing speed			
		1 kt	2 kts	3 kts	4 kts
索 長 wire length	5 m	18°	20°	26°	30°
	10 m	39°	46°	47°	45°
	20 m	49°	52°	59°	

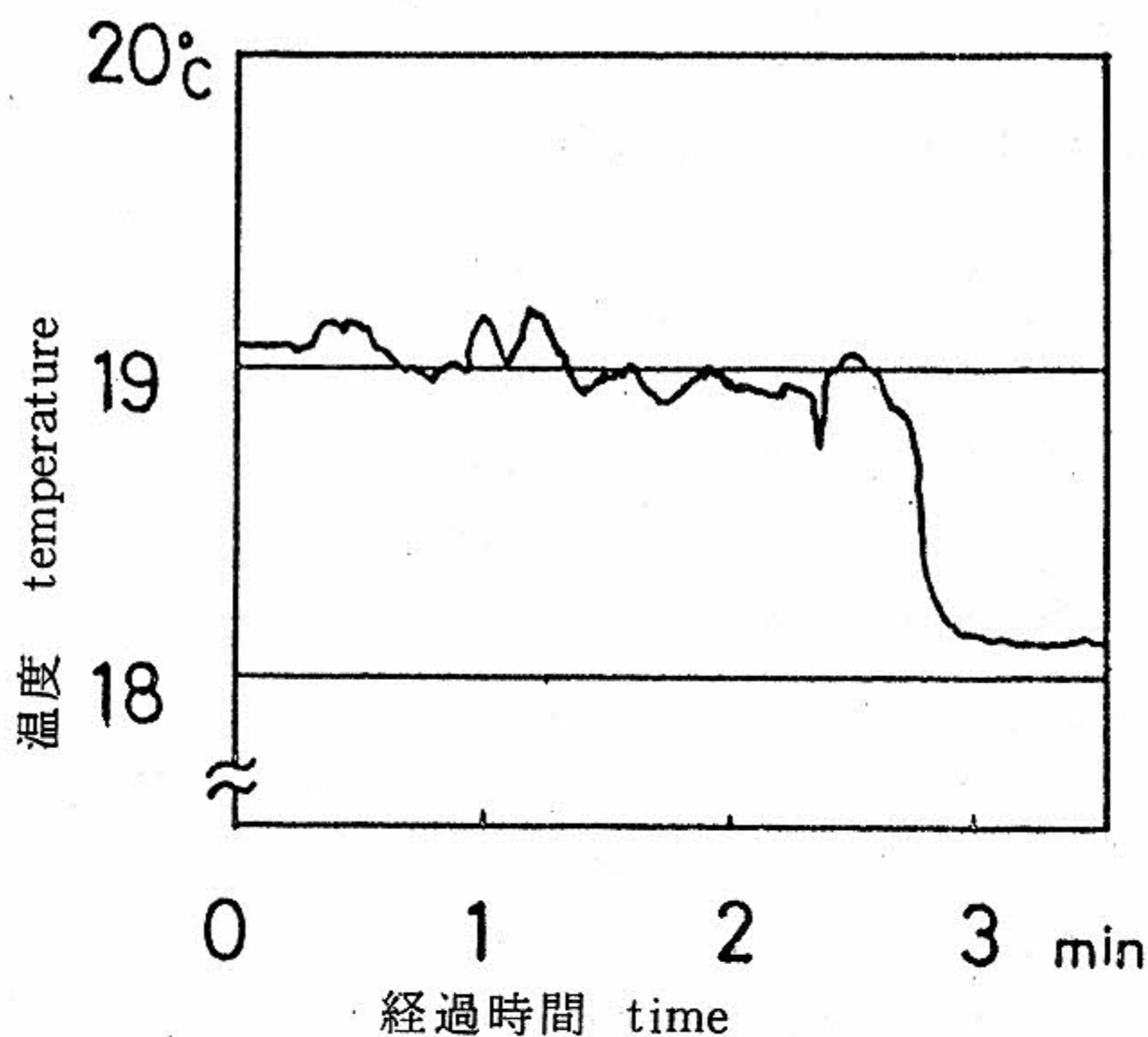


図10 水温センサ付センサユニットの曳航試験におけるデータ例 (曳航速度: 3 kts)
An example of output from towed T sensor unit (towing speed: 3 kts)

域と低温域のパターン表現を行うための推定線にすぎないが、この例では、暖水が冷水の下層に対して潜り込みを行っているように思える。一例ではあるが、このような状態の時、定点による鉛直観測では、温度逆転が観測されるものと思われる。

6. おわりに

海域実験を行った結果、試作したセンサユニットと、ファゾム社製のフェアリングとを併用すれば、送信線に、通常市販のビニル引ワイヤを使用しても簡便にセンサチェンの機能を果たすシステムが構成されることが確認された。

また、今回は、最大で3層観測であったが、潮目に伴う温度逆転の構造の一部と思われるデータが得られ、より密度の高い多層観測の必要性が感じられた。

現在、10層以上の観測が行える船上装置を開発

表3 フェアリングおよびセンサユニット3台付き送信線の傾斜角
Inclination (α) of faired wire with three sensor units

		曳航速度 towing speed			
		2 kts	3 kts	4 kts	5 kts
索長 wire length	18 m	28°	30°	32°	38°

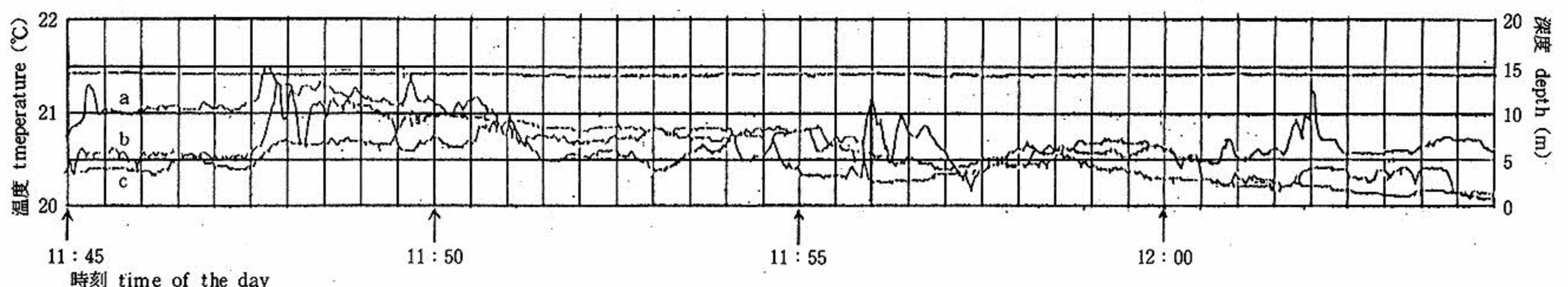


図11 3層曳航試験データ例 (曳航速度: 4.5 kts, センサユニット深度:
① 3 m-T センサ, ② 10 m-T センサ, ③ 14 m-T および D センサ)

An example of outputs from towed three sensor units
(towing speed: 4.5 kts, depth of sensor units: (a) 3 m-T sensor,
(b) 10 m-T sensor, (c) 14 m-T and D sensor)

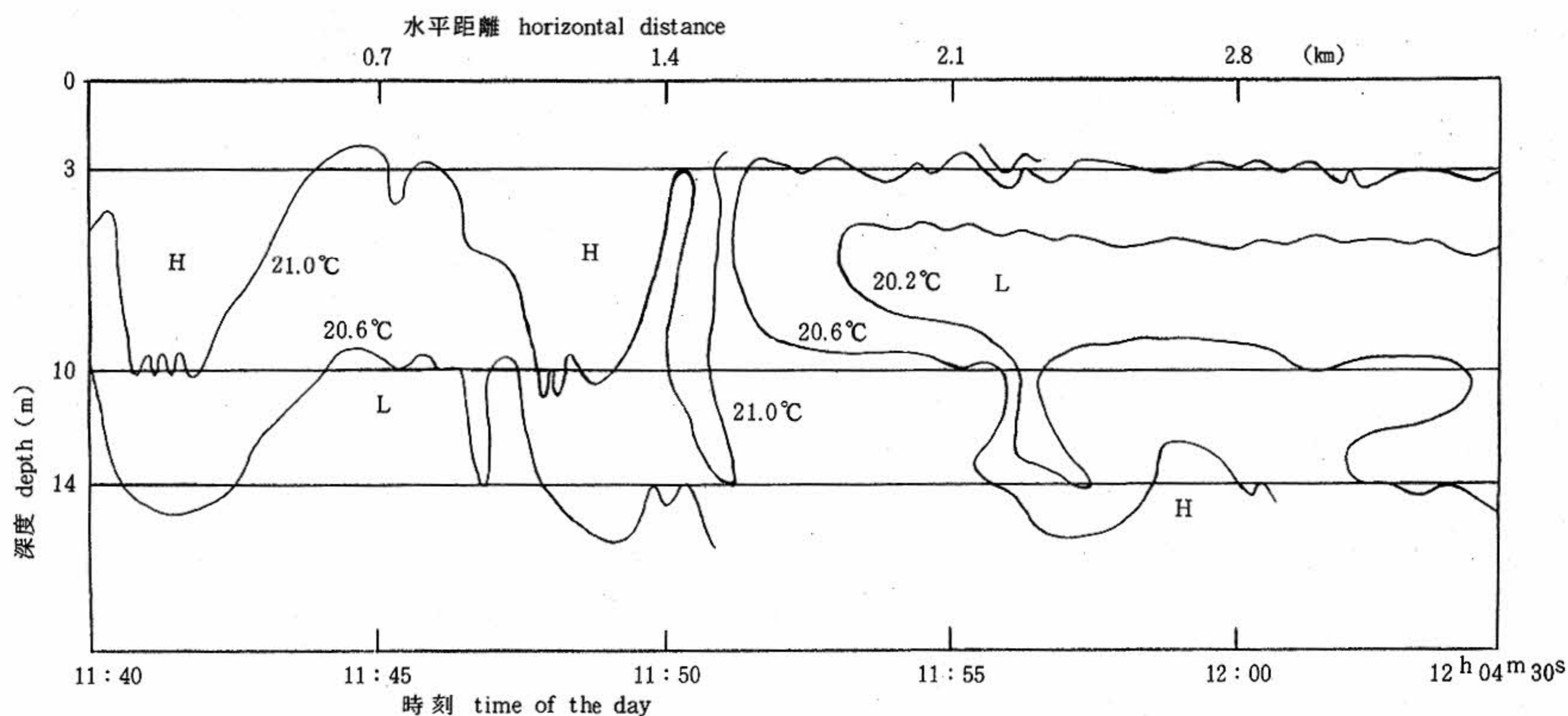


図12 水温鉛直分布（北緯35°01′，東経139°25′付近）

Vertical distribution of temperature near 35°01'N, 139°25'E based on the outputs from towed three sensor units

中であり，完成後，多層曳航観測実験を繰り返すことにより，海洋構造，たとえば，潮目などの構造把握が，一層可能となってくるものと思われる。

Underwater Technol 8(4)p.3—4(1982).

- 7) Nomoto, M., Sasaki, K. "Development of an Underwater Sliding Vehicle for Oceanographic Measurement". Proc. Oceans 81. Boston, 1981—09, p.1150—1154.

文献

- 1) Nagata, Y. "On the Structure of Shallow Temperature Inversions". J Oceanogr Soc Jpn 23(5)p.221—230(1967).
- 2) 原 俊明ほか. "内浦湾表層水温の水平方向の連続観測" JAMSTECTR(6)p.55—69 (1981)
- 3) 原 俊明ほか "電磁誘導伝送法による水温計測器の試作試験" JAMSTECTR(9) p.112—120(1982).
- 4) Sitnikov, L.S. et al. "Inductive Coupling with Steel Towing Cable". Mar Technol Soc J 9(10)p.14—19 (1975)
- 5) Nagasaka, K. "An STD System for Instrumented Buoy". Oceanogr Mag 23(1)p.33—45(1971)
- 6) Bo, R., Allen, H.M. "Sensor Chains for Oceanographic Profiling". J Soc