

底層流用流向流速計の開発

森鼻英征^{*1} 中西俊之^{*2} 萩原廣治^{*2}
志村明敏^{*3} 緑川弘毅^{*4} 須山 哲^{*5}

海底設置形の超音波式底層流用流向流速計を開発したので、その概要を報告する。深海潜水調査船システムを有効に活用し、海中・海底の調査活動において所期の成果をあげるためには、潜水調査船及び支援母船に各種の観測機器を設置する必要がある。海洋科学技術センターでは、このような要請にもとづいて、すでにいくつかの観測機器の開発・整備を実施してきており、本装置もその一環として開発されたものである。本装置は電源及び記憶メモリを内蔵しており、「しんかい2000」により海底まで運搬され、設置された後、海底付近の流向流速を自動的に連続して測定する。本装置は陸上での各種試験を経た後、昭和61年8月29日、駿河湾の深度約2000mの海底で海中試験を行い、良好な結果が得られた。

Development of a Deep Sea Current Meter

Hideyuki MORIHANA^{*6}, Toshiyuki NAKANISHI^{*7}
Hiroharu HAGIHARA^{*7}, Akitoshi SHIMURA^{*8}
Koki MIDORIKAWA^{*9}, Satoshi SUYAMA^{*10}

JAMSTEC has developed several instruments for research and observation to expand the capability of the manned deep research submersible *SHINKAI 2000*.

In one project, we developed a deep sea current meter. The principle of current meter is the acoustic sing-around method.

*1 三菱重工業(株) (前深海開発技術部)

*2 深海開発技術部

*3 運航部

*4 深海研究部

*5 (株)鶴見精機

*6 Mitsubishi Heavy Industries, Ltd. (Formerly Deep Sea Technology Department)

*7 Deep Sea Technology Department

*8 Ship Operation Department

*9 Deep Sea Research Department

*10 The Tsurumi-seiki Co., Ltd.

It is placed on the ocean bottom by the manipulator of *SHINKAI 2000*. It is powered by batteries and uses internal IC recording memories. It measures the direction and velocity of the bottom current continuously. Results of a test at a depth of about 2000 m in Suruga Bay were satisfactory.

1. ま え が き

深海潜水調査船を有効に活用して、海中・海底の調査研究活動の成果をあげるためには、各種の調査観測機器が必要である。「しんかい 2000」では、基礎的かつ共通的で、しかも使用頻度の高い調査観測装置を固定装備とし、その他の特定の調査研究のために使用される調査観測装置は入替観測装置として、必要に応じて塔載するようにしている。海洋科学技術センターでは「しんかい 2000」の運用と平行して、各種の入替観測装置の開発・整備を進めてきた。これら装置の必要性については「潜水調査船開発研究会調査観測機器専門部会」などで検討されており、そのいくつかの開発結果はすでに報告されている。

今回報告する底層流用流向流速計も、上述の専門部会での検討をふまえて開発された。深海底における海水の流れの実態は、まだ十分に把握されておらず、それ自体が研究課題であると共に、海底地形、堆積構造、海底鉱物資源、生態系などとの関連において、重要な調査項目であると考えられる。本装置はこのような調査研究に使用することを目的とする。すなわち、海底付近の微弱な流れを長時間連続的に測定するために、超音波シンガラウンド方式を採用し、電源及び記憶メモリを内蔵し、「しんかい 2000」により、海底に設置した後、自動的に流向流速を測定記録するように計画した。

本装置は陸上での各種試験を実施した後、昭和61年8月29日駿河湾の深度約2000 mの海底において試験を行い、満足すべき結果が得られた。

本報では本装置の概要と試験結果について報告する。

2. 装置の検討

本装置に要求される性能は、その使用目的から次のものが考えられる。

- (1) 小型軽量であること。
- (2) 消費電力が少いこと。
- (3) 流速の零点安定度が高いこと。
- (4) 内蔵記録式であること。
- (5) 三次元の流向流速を計測できること。

流向流速の検出方式には、サボニアスロータ・ベーン式、電磁式、レーザードップラー式、超音波式がある。

サボニアスロータ・ベーン式は、現在まで係留装置の流速測定に多用されてきた。この方式は一般に内部の光学式ディスクエンコーダによってベーンの位置を検出して流向を計測し、サボニアスロータの回転数をマグネットリードスイッチ等によって検出して流速を計測する。この方式には機械的可動部分の信頼性が低いことと、生物付着等により低流速におけるロータ及びベーンの感度が低下するという欠点がある。

電磁式は、検出電極を横切る磁界と流速の積に比例する出力（電圧）を検出して流速を測定する。磁界の強度はそのコイルから離れると急に弱くなるので、消費電力を増さずに出力を上げるにはコイルが大きくなり、流れを乱すことになる。また電極が直接海水に接触しているために、その化学的作用で零点ドリフトが生ずるという欠点がある。

レーザードップラー式は、光学系があるために大きさ及び重量の点で本目的には適さない。

超音波式には大きく分けて二種の方式がある。その一つの後方散乱方式は、ドップラ周波数変化が流速に比例するのを検出するものであるが、散

乱を生じさせる浮遊物が少ない場合は使用できず、また消費電力も大きい。もう一つはシングア라운드方式と呼ばれるもので、流れに平行に置かれた超音波振動子間で送受信をくり返して、その周波数を計るものである。送波器と受波器を交互に切換えると、各々の周波数の差は流速に比例する。この超音波シングア라운드方式は一般的に、a) 流速に対するリニアティが良い。b) 流速の零点の安定度が良い。c) 検出部が小さい。d) デジタル処理が容易。e) 消費電力が少い。等の特長がある。これらの理由から、本装置には超音波シングア라운드方式を採用した。

さらに、小型化と流向測定精度の向上のために、一対のみの振動子による三次元の流速測定法を採用した。内蔵記録方式にはICメモリ式、カセットテープ式、バブルメモリ式が考えられるが、近年のICメモリの集積度の向上、低消費電力化は著るしく、装置の小型化及び低消費電力化の見地からICメモリ式を採用した。

3. 装置の概要

3.1 作動原理

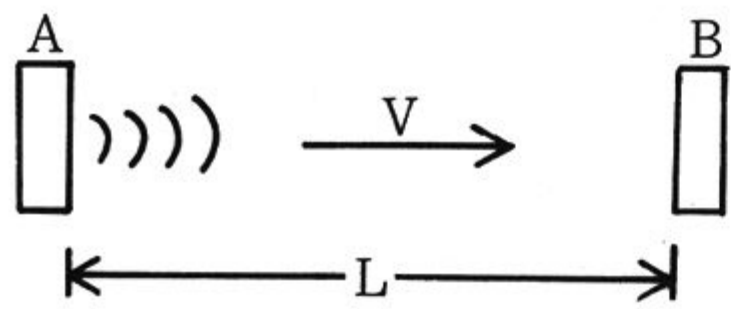
本装置は図1に示すように、丁字状送受波部の先端に一対の送受波器を持っている。この送受波器は流向流速計底面に対して正確に45°の角度で対向しており、流向流速計の中心軸の周囲を360°往復回転しながら、パルス状の超音波を交互に送受し、送受波器間の流速を検出する。その作動原理を以下に説明する。

3.1.1 超音波による流速検出

海水中で送波器Aと受波器Bが距離Lで対向しているとき、超音波のAからBに至る到達時間Tは(1)式のようにになる。ただしvは超音波の伝搬速度である。

$$T = \frac{L}{v} \dots\dots\dots(1)$$

海水が送受波器の対向線に平行してAからBの方向に速度Vで流れているときの到達時間Tは(2)式のようにになる。



$$T = \frac{L}{v + V} \dots\dots\dots(2)$$

海水の流向が送受波器の対向線とβの角度を持つときの到達時間Tは(3)式のようにになる。

$$T = \frac{L}{v + V \cos \beta} \dots\dots\dots(3)$$

以上から、到達時間Tは流速と流向の関数であるが、音速vの影響も受ける。海水の温度、塩分、圧力により変化する音速の影響を除くために、Bを送波器Aを受波器とする逆方向の超音波の到達時間T_Rを測定し、1/Tと1/T_Rとの差をとる。

$$T_R = \frac{L}{v - V \cos \beta} \dots\dots\dots(4)$$

$$\Delta \frac{1}{T} = \frac{1}{T} - \frac{1}{T_R} = \frac{2V \cos \beta}{L} \dots\dots\dots(5)$$

(5)式のΔ1/Tを検出することにより、音速vの影響を除くことができる。

3.1.2 シングア라운드式

到達時間を測定するかわりに、送受波の繰り返し周波数を測定する方法で、次のように作動させる。Aより発せられたパルス状の超音波が時間Tの後にBに到達する。Bに到達したのを検知増巾して再びAより超音波を発する。この動作を継続させると、繰り返し周波数fは(6)式のようにになる。

$$f = \frac{1}{T} = \frac{v + V \cos \beta}{L} \dots\dots\dots(6)$$

逆方向の繰り返し周波数f_Rは(7)式のようにになる。

$$f_R = \frac{1}{T_R} = \frac{v - V \cos \beta}{L} \dots\dots\dots(7)$$

従ってfとf_Rの差Δfは(8)式となり、その右辺は(5)式と同じである。

$$\Delta f = f - f_R = \frac{2V \cos \beta}{L} \dots\dots\dots(8)$$

3.1.3 最小自乗法による流向流速の算出

(8)式から明らかなように、検出されるのは成分流速V cos βであるので、流速Vと流向βを得るには二方向以上の検出値が必要である。通常は同一の検出機構を直交する方向に配置して、直交する成分流速を検出し、ベクトル演算により流速と流向を求める方法が用いられるが、本装置の場合は単一の検出機構を回転させて360°全方位からn個(n=50)の成分流速を検出し、最小自乗法

により流速，流向を算出する。

基準方位に対するある時刻の送受波器の角度を θ_i ，流向を β ，流れの仰角（水平面に対する角度）を α ，流速を V とすると，検出される成分流速 v_i は(9)式で表わされる。（ $\sqrt{2}$ は送受波器が水平面に対して 45° 傾斜していることによる）

$$v_i = \frac{V}{\sqrt{2}} (\sin\alpha + \cos\alpha \cos\beta \cos\theta_i + \cos\alpha \sin\beta \sin\theta_i) \dots\dots\dots (9)$$

但し $i = 1 \sim n$

ここで

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= \frac{1}{\sqrt{2}} V \sin\alpha \\ X_2 &= \frac{1}{\sqrt{2}} V \cos\alpha \cdot \cos\beta \\ X_3 &= \frac{1}{\sqrt{2}} V \cos\alpha \cdot \sin\beta \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (10)$$

と置くと，

$$v_i = X_1 + X_2 \cos\theta_i + X_3 \sin\theta_i$$

となる。未知数 X_1 ， X_2 ， X_3 を求めるため，各係数を a_i ， b_i ， c_i とすると

$$\begin{aligned} a_i &= 1 \\ b_i &= \cos\theta_i \\ c_i &= \sin\theta_i \end{aligned}$$

となる。ここで最小自乗法を適用すると，

$$\begin{aligned} (\sum a_i^2) X_1 + (\sum a_i b_i) X_2 + (\sum a_i c_i) X_3 &= \sum a_i v_i \\ (\sum a_i b_i) X_1 + (\sum b_i^2) X_2 + (\sum b_i c_i) X_3 &= \sum b_i v_i \\ (\sum a_i c_i) X_1 + (\sum b_i c_i) X_2 + (\sum c_i^2) X_3 &= \sum c_i v_i \end{aligned}$$

となる。この三元一次連立方程式の解が

$$\left. \begin{aligned} X_1 &= A \\ X_2 &= B \\ X_3 &= C \end{aligned} \right\} \dots\dots\dots (11)$$

と得られたとすると，これを(10)式に代入して，求める流向 β ，仰角 α ，流速 V を算出すると

$$\begin{aligned} \beta &= \tan^{-1} \frac{C}{B} \\ \alpha &= \tan^{-1} \left(\frac{A \cos \beta}{B} \right) \\ V &= \frac{\sqrt{2} A}{\sin\alpha} \end{aligned}$$

が求まる。また三方向の成分流速を v_x ， v_y ， v_z とすると(10)，(11)式から

$$\begin{aligned} v_x &= V \cos\alpha \cdot \sin\beta = \sqrt{2} C \\ v_y &= V \cos\alpha \cdot \cos\beta = \sqrt{2} B \\ v_z &= V \sin\alpha = \sqrt{2} A \end{aligned}$$

となる。この v_x ， v_y ， v_z を IC メモリに記憶する。

3.1.4 送受波器の回転

送受波器は減速ギヤを介してステッピングモータで駆動されて回転する。回転角度は 360° で往復回転する。一方向回転ではないので，配線にスリップリング等の回転接触は介在せず，柔軟性の高いフレキシブルケーブルを使用している。回転速度は $360^\circ / 5$ 秒で，5 秒間正転し，25 秒間休止後 5 秒間反転し，25 秒間休止する動作をくり返す。回転中は 0.1 秒毎に流速の計測を行い， 360° 回転する間に 50 回の計測を行う。ステッピングモータは耐压ケース内演算記録部の電気回路によって制御される。

3.1.5 測定精度の向上

一般に超音波式流速計では，振動子を支持するポールから発生する渦流が測定精度を低下させるので，ポールを細くしたり流れを乱さない位置にしたりするなどの対策がとられる。本装置ではポールが 2 本であり回転しているために，全周中で 2 箇所のみ流れが乱される。そこで先ず全周のデータを用いて仮の流向の計算を行い，次に乱された部分のデータを削除して流向流速の再計算を行うことにより，その精度の向上を計っている。

表 1 は，長いポールへの流入角（超音波伝搬面からの偏位角）に対する流速減衰率の実測値を示す。流速が大きくなると減衰率は小さくなり，減衰が生ずる流入角の範囲も狭くなる。短かいポールによる減衰率は無視できるほど小さい。実際に回転しながら計測する場合には，正弦波状に分布する 50 個の成分流速データの中で，減衰を受ける位置は必ずしも流向を示す正弦波の山もしくは谷の位置ではなく，流速に依存するある角度だけずれることになる。そこで，次に流速 5.7 cm/s の場合の流速減衰率を用いて，正弦波ピーク位置から減衰域中心までの角度を変えて流向流速を最小自乗法で計算した結果を表 2 に示す。

表中の仮計算とは 50 個の全データを用いて計算し

た場合を、再計算とは減衰域中心から $\pm 30^\circ$ の範囲内のデータを除いて計算した場合を示す。再計算によりポールの影響が小さくなることがわかる。

表1 流入角と流速減衰率との関係
Relation between flow-in angle and velocity reduction

流速 (cm/s) 流入角(度)	流 速 減 衰 率 (%)		
	5.7	11.3	22
0	3.3	2.8	2.3
± 10	1.7	1.4	0.7
± 20	1.3	0.8	0.3
± 30	1.1	0.5	0.1
± 40	0.9	0.4	0.0
± 50	0.4	0.2	0.0
± 60	0.0	0.0	0.0

表2 流向・流速の再計算結果
Result of corrective calculation on direction and velocity

減衰域 中心位置	流 向 (度)		流速減衰率(%)	
	仮計算	再計算	仮計算	再計算
0°	0	0	6.0	1.6
30°	- 1.3	- 0.2	5.0	1.6
60°	- 1.2	- 0.2	2.4	1.0
90°	0	0	1.2	0.6

3.1.6 方位の計測

本装置はシリコン油中にジンバル吊りされた磁気コンパスを内蔵しており、これを基準にして本装置の設置方位を測定し、流向を決定する。設置方位角の分解能は 1.4° である。

3.1.7 水平の出し方

本装置は重量・寸法等の制約上、傾斜計を内蔵しておらず、送受波器の回転軸に直交する面を水

平面と仮定して計測する。従って、なるべく水平に設置することが望ましい。なお磁気コンパスは 30° 以上傾斜させて使用することはできない。

3.2 装置の構成

本装置の構成は次のとおりである。

- (1) 流向流速計
- (2) 運搬用具
- (3) フラッシュライト
- (4) データ読出し用インタフェース
- (5) データ再生処理プログラム
- (6) 予備品及び付属品

流向流速計の外形を図1に示す。高力アルミ合

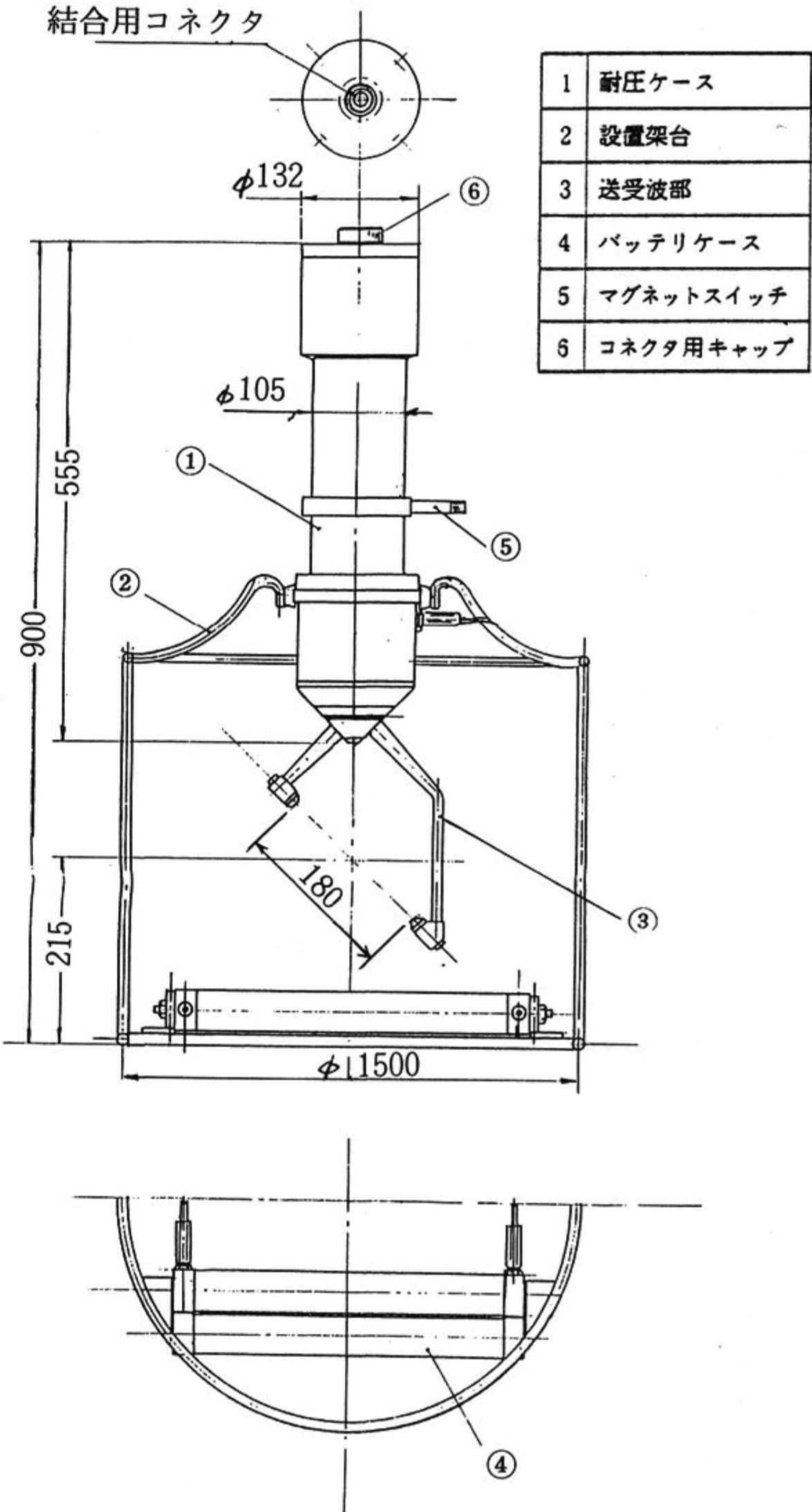
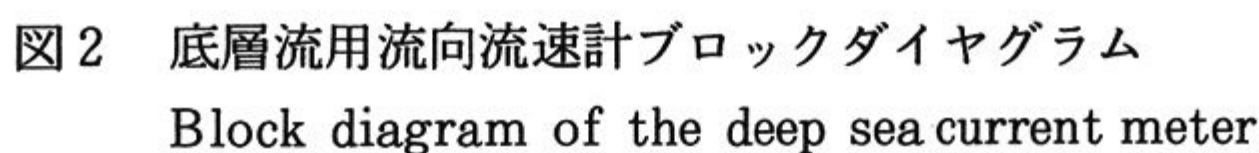


図1 底層流用流向流速計外形図
Shape of the deep sea current meter

フラッシュライトは流向流速計を回収する時に
目標となるものである。

流向流速計のブロックダイアグラムを図2に示す。流向流速計の内部はマイクロプロセッサを中心にROM、RAM、コンパス、ステッピングモータ、超音波制御部などで構成されている。



3.3 装置の仕様

本装置の仕様は次の通りである。

- (1) 検出方式 超音波シングア라운드式
送受信周波数 2 MHz
シングア라운드周波数 7 kHz
- (2) 記録方式 内蔵 I C メモリ式
- (3) データ読出方式 コネクタ方式
- (4) 記録時間 最大25時間15分
- (5) サンプリング周期 5 秒計測25秒休止
- (6) 測定範囲 流向 0 ～ 360°
流速 0 ～ 100 cm/s
- (7) 測定精度 流向 ±5°(ただし10cm/s以上)
流速 微流速 (0 ～ 40cm/s),
± 2cm/s
強流速 (40 ～ 100cm/s),
指示値の ± 5 %
- (8) 電 源 内蔵 Ni-Cd 電池
- (9) 充 電 コネクタ方式
- (10) 耐 水 圧 最大 311 kgf/cm²
- (11) 動作温度 - 2 ～ 35℃
- (12) 寸 法 高さ 900mm, 径 500mm
- (13) 重 量 実測 水中 13.5 kgf
" 空中 24 kgf

4. 試験結果

4.1 陸上試験

4.1.1 微流速試験

微流速検定水槽の台車に流向流速計を取り付け、台車の速度 0 及び約 2, 5, 10, 20, 30, 40cm/sec の 7 点 (ただし流向については10cm/sec以上の 4 点) について試験した。次に流向流速計の取付け位置を 90°, 180°, 45° の方位にずらし、10 及び 30 cm/sec の 2 点について試験した。試験結果は表 3 に示すとおりであり、所期の性能を満足する結果が得られた。

4.1.2 強流速試験

回流水槽を使用し、水槽の観察窓中央に流向流速計を取付け、約 50, 60, 70, 80, 90, 100cm/sec の 6 点について試験した。次に流向流速計の取付け位置を 90°, 180°, 45° の方位にずらし、50 及び 100 cm/sec にて試験した。試験結果は表 4 に示すとおりであり、所期の性能を満足する結果が得られた。

表 3 微流速試験結果

Test result in low velocity range

基 準 値		測 定 値		誤 差	
流向 (deg)	流速 (cm/s)	流向 (deg)	流速 (cm/s)	流向 (deg)	流速 (cm/s)
	0		0		0
	1.7		1.48		- 0.2
	5.7		5.92		0.2
0	11.3	3.8	9.80	3.8	- 1.5
0	19.5	- 1.1	19.58	- 1.1	0.08
0	30.3	1.4	31.26	1.4	1.0
0	41.8	0.5	43.05	0.5	1.3
90	11.3	88.2	11.8	- 1.8	0.5
90	30.3	93.9	31.8	3.9	1.5
180	11.3	180	10.7	0	- 0.6
180	30.3	182.0	31.1	2.0	0.8
45	11.3	47.6	11.5	2.6	0.2
45	30.3	47.4	31.1	2.4	0.8

許容誤差 流向: ± 5° 以内
流速: ± 2 cm/s 以内

表 4 強流速試験結果

Test result in high velocity range

基 準 値		測 定 値		誤 差	
流向 (deg)	流速 (cm/s)	流向 (deg)	流速 (cm/s)	流向 (deg)	流速 (cm/s)
0	50.086	- 1.06	49.58	- 1.06	- 0.5
0	60.4	- 0.7	60.31	- 0.7	- 0.1
0	71.02	- 0.9	71.41	- 0.9	0.4
0	80.2	- 0.9	81.03	- 0.9	1.0
0	90.7	- 0.9	92.1	- 0.9	1.4
0	100.56	- 0.9	103.2	- 0.9	2.6
90	50.86	88.75	51.06	- 1.25	0.2
90	100.36	88.79	104.7	- 1.21	4.0
180	50.28	178.9	49.9	- 1.1	- 0.4
180	99.58	178.5	103.2	- 1.5	3.6
45	50.086	43.9	51.27	- 1.1	1.2
45	100.56	43.4	102.8	- 1.6	2.2

許容誤差 流向: ± 5° 以内
流速: 指示値の ± 5% 以内

4.1.3 その他の試験

連続作動試験, 耐水圧試験, 環境温度試験, データ読出し用インターフェース作動試験, データ再生処理プログラム作動試験を行い、いずれも正常に機能することを確認した。

4.2 海中試験

4.2.1 試験方法

昭和61年 8 月 29 日 (金), 駿河湾の北緯 34 度 43.00 分, 東経 138 度 35.00 分, 水深 1,961m の海底において試験を行った。

「しんかい 2000」の採取物入れを外して本装置

用の運搬用具を取付け、その上に流向流速計を乗せて、マニピュレータで押えた。この状況を写真1に示す。着水の直前に流向流速計のスイッチを入れ、作動を開始させた。流向流速計をマニピュレータで押えたままで潜航し、海底に着底した後、マニピュレータで流向流速計を海底に降して設置した。この時、流速値に及ぼす船体の影響を極力少なくするために、「しんかい2000」は海水の流れてくる方向に船首を向けて着底し、流向流速計の位置は耐圧殻の前方約2.5 mであった。この状態で11時57分から約1時間、計測を行った。計測終了後、マニピュレータで流向流速計を回収して浮上した。支援母船「なつしま」の船上で流向流速計をデータ読出し用インタフェースを介してデータアナライザに接続してデータの読出しを行いデータ再処理プログラムを使用してデータのプリントアウト及びベクトル図等の作成を行った。

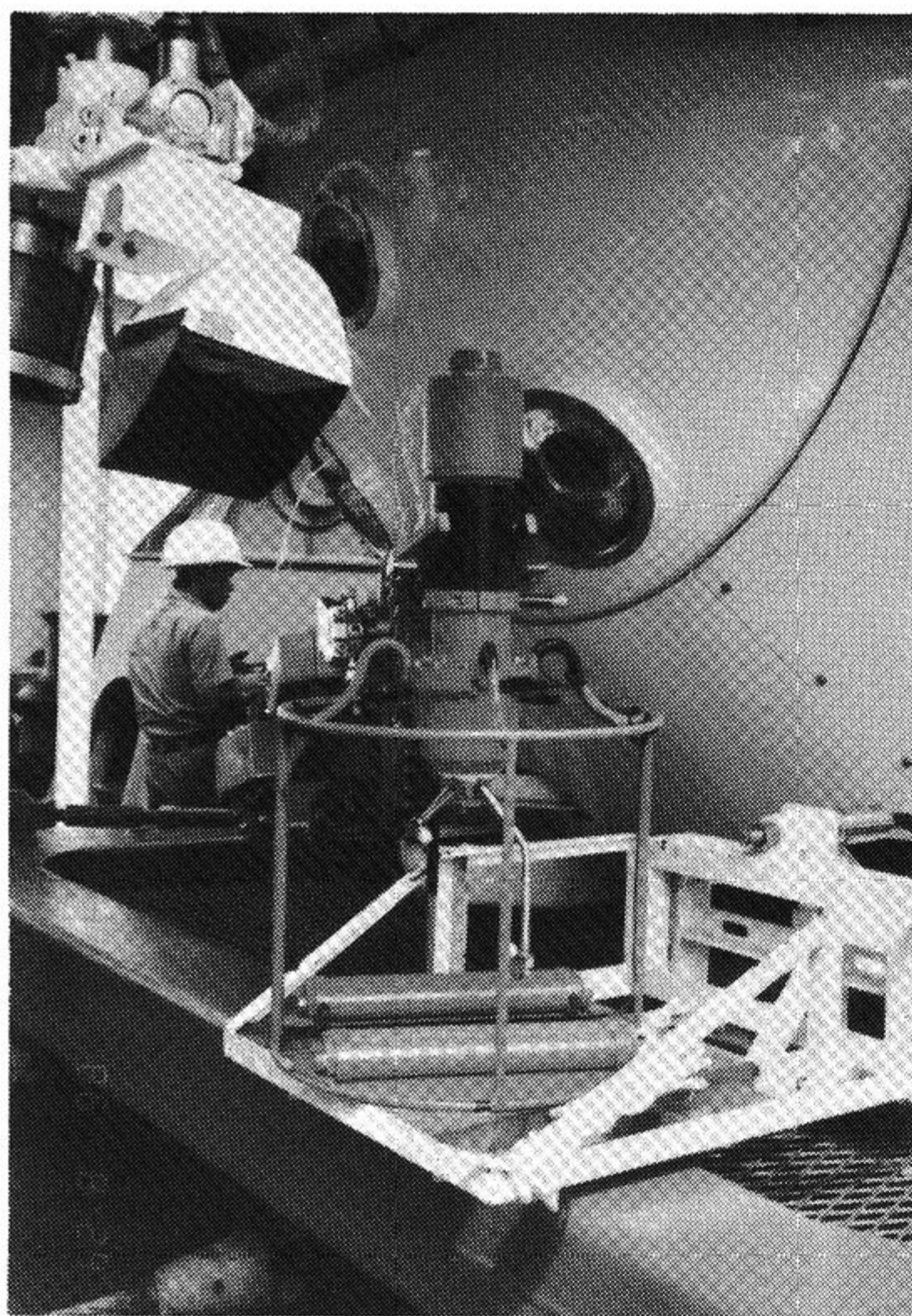


写真1 「しんかい2000」に搭載された底層流用流向流速計

Appearance of the deep sea current meter mounted on SHINKAI 2000

4.2.2 試験結果

(1) 作動状況

本装置は海底設置形であるため、潜水船と電氣的なつながりはない。従って母船上で着水の直前にスイッチを入れて作動を開始させ、母船上に回収してデータの読出しを完了した後に作動を停止させる。この間の全取得データを点検した結果は特に異常なく、また「しんかい2000」の覗窓を通じて作動状態を観察した結果も正常であった。従って本装置は海面から深度約2000 mの海底までの間で正常に作動したと考えられる。

(2) マニピュレータによる操作

本装置は高さ900mm、水中重量13.5kgfと、かなり大型のものであるが、「しんかい2000」のマニピュレータにより海底への設置及び回収が、确实に行えることが確かめられた。

(3) 計測データ

本装置を海底に設置して計測データの1部を表5に示す。東西成分流速、南北成分流速、二次元(X-Y平面)の流速及び流向(マグネット方位による)、三次元(X-Y-Z)の流速及び仰角、流向流速計の磁北からの変位、並びにX・Y・Z軸の成分流速が、30秒毎に表示されている。

海底で計測したデータによるベクトル図を図3に示す。横軸に時間を取り、30秒ごとに二次元の流向・流速をベクトル表示している。流向(流れ去る方向)は $300^{\circ} \sim 310^{\circ}$ (概ね北西)、流速は毎秒4~10cmを示している。これらの値は、目視による浮遊物の観察結果と良く一致した。

(4) プログラムによるデータ処理

上述したベクトル図(図3)のほかに、成分流速図及びプログレッシブベクトル図を作成し、データ処理プログラムの有効性を確かめた。

5. あとがき

「しんかい2000」用入替観測装置の一つとして海底設置形の底層流用流向流速計を開発した。超音波シングア라운드法による測定原理はすでに確立され多くの使用実績があるが、一対の送受波器を 360° 回転させながら全方位の成分流速を測定することにより、精度の向上をはかり、かつ三次元の測定を可能にした例は少ないものと思われる。今後、海洋研究者の手によって、大いに活用

表5 底層流用流向流速計による計測データの一部
Data list by the deep-sea current meter

(1) HR MN		(2) EW CM/S	(3) NS CM/S	(4) V-2D CM/S	(5) DIR DEG	(6) V-3D CM/S	(7) TIL DEG	(8) COP DEG	(9) SX SY SZ		
12.13	2 30	-6.6	4.8	8.1	306.0	8.2	-7.8	66.1	7	4	-1
	2 30	-8.0	6.2	10.1	307.7	10.2	-6.3	66.1	9	5	-1
	2 31	-7.0	6.6	9.6	313.5	9.7	-8.7	66.1	9	4	-1
	2 31	-6.7	5.1	8.4	307.3	8.5	-5.0	66.1	7	4	-1
	2 32	-5.3	2.9	6.1	298.5	6.2	-13.7	66.1	5	4	-1
	2 32	-4.4	4.5	6.3	315.5	6.4	-10.0	66.1	6	2	-1
	2 33	-4.2	2.2	4.7	297.4	4.9	-13.2	66.1	4	3	-1
	2 33	-6.4	5.3	8.3	309.5	8.3	-2.6	66.1	7	4	-0
	2 34	-5.9	4.3	7.3	305.6	7.4	-8.6	66.1	6	4	-1
	2 34	-5.7	6.4	8.5	318.4	8.6	-7.4	66.1	8	3	-1
	2 35	-4.4	2.5	5.0	300.1	5.2	-12.4	66.1	4	3	-1
12.20	2 35	-4.7	6.8	8.3	325.8	8.3	-5.1	66.1	8	1	-1
	2 36	-4.9	4.7	6.8	313.7	6.8	-3.1	66.1	6	3	-0
	2 36	-6.5	6.4	9.1	314.7	9.3	-11.4	66.1	9	3	-2
	2 37	-5.6	4.4	7.1	308.2	7.3	-11.7	66.1	6	3	-1
	2 37	-6.0	5.4	8.1	311.9	8.2	-10.3	66.1	7	3	-1
	2 38	-5.8	3.9	7.0	304.1	7.1	-12.0	66.1	6	4	-1
	2 38	-6.2	4.9	7.9	308.3	8.0	-5.3	66.1	7	4	-1
	2 39	-5.8	3.9	7.0	304.1	7.1	-12.0	66.1	6	4	-1
	2 39	-4.4	4.5	6.3	315.5	6.4	-10.0	66.1	6	2	-1
	2 40	-4.5	2.9	5.3	302.4	5.4	-7.9	66.1	4	3	-1
	2 40	-4.3	4.2	6.0	314.3	6.0	-3.5	66.1	6	2	-0
12.25	2 41	-5.0	3.0	5.9	301.4	6.0	-10.7	66.1	5	3	-1
	2 41	-5.9	5.1	7.8	310.7	7.8	-5.4	66.1	7	3	-1
	2 42	-5.1	3.4	6.2	303.4	6.3	-10.2	66.1	5	3	-1
	2 42	-5.1	4.2	6.6	309.5	6.7	-6.4	66.1	6	3	-1
	2 43	-5.0	2.2	5.5	293.8	5.7	-15.1	66.1	4	4	-1
	2 43	-5.4	4.1	6.8	306.7	7.0	-12.3	66.1	6	3	-1
	2 44	-4.4	0.9	4.5	281.1	4.8	-18.1	66.1	3	4	-1
	2 44	-4.4	4.5	6.3	315.5	6.4	-10.0	66.1	6	2	-1

記 号 の 説 明	
(1) HR MN	作動開始よりの経過時分
(2) EW	東西成分流速（東流を正）
(3) NS	南北成分流速（北流を正）
(4) V-2D	二次元（X-Y平面）流速
(5) DIR	二次元（X-Y平面）流向（マグネット方位による）
(6) V-3D	三次元（X-Y-Z）流速
(7) TIL	仰角（上向きを正）
(8) COP	流向流速計の磁北からの変位
(9) SX, SY, SZ	X, Y, Z 軸の成分流速

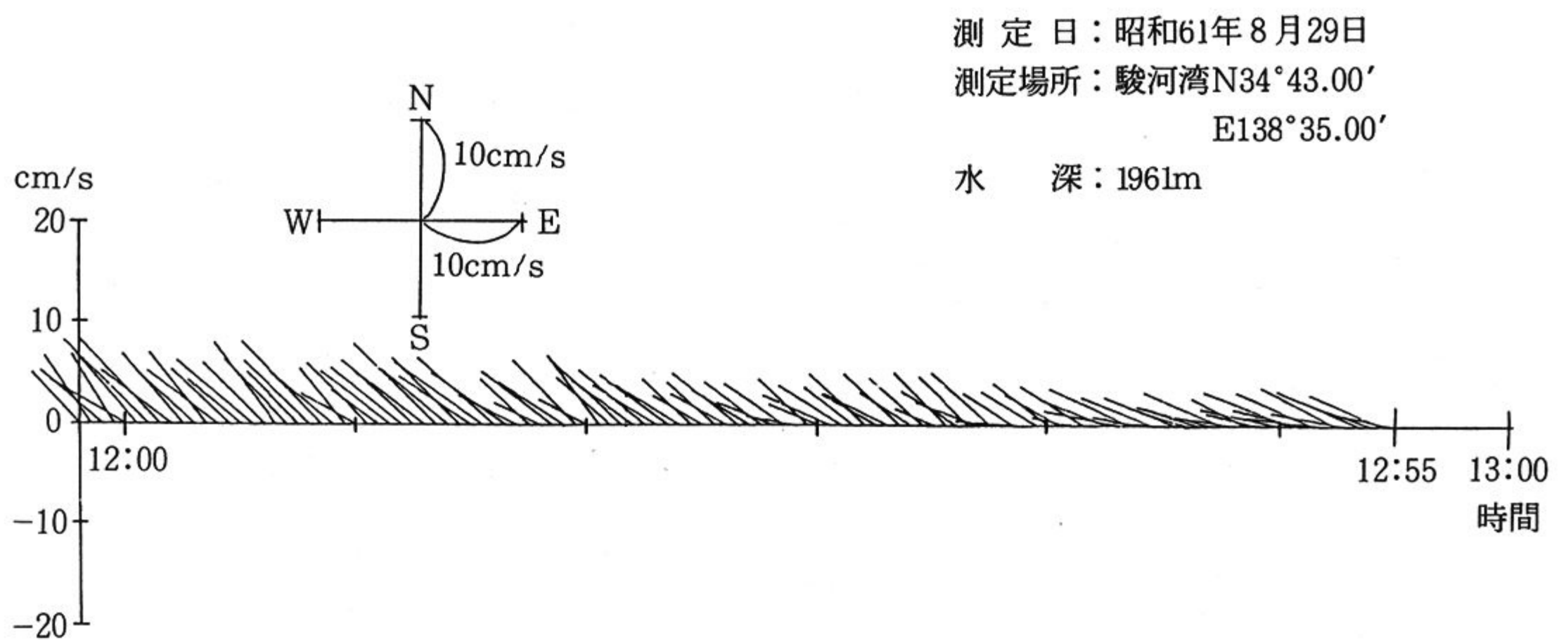


図3 底層流用流向流速計による測定結果 (ベクトル図)
Vector of the test data at sea

されることを期待したい。

なお本装置の仕様を決定するに際しては、「潜水調査船開発研究会調査観測専門部会」の意見などを参考にしたが、重量等に関する制約上、記録時間を約1日、測定間隔を30秒としており、必ずしもすべての研究者の要望を満していないかも知れない。この点については、本装置の使用経験などをふまえて、将来の計画に反映されることを希望する。

最後に、本装置の海中試験に際して多大の御協

力をいただいた「しんかい2000」運航チーム及び運航部の関係者各位に謝意を表します。

文 献

- 1) 潜水調査船開発研究会調査観測機器専門部会, 1983, 「2000m潜水調査船システム用調査観測機器に関する調査報告書」, 海洋科学技術センター
- 2) 「底層流用流向流速計完成図」

(原稿受理: 1987年1月21日)