

ケーブルコントロール式テレビシステムの試作

名執 薫*¹ 青木 太郎*¹ 服部 陸男*¹

大陸棚周辺(水深 200 m まで)の諸調査に使用できる軽量, 安価なケーブルコントロール式テレビシステムを試作した。このシステムは, (16 mm ϕ), 中性浮力のテザーケーブル (15 mm ϕ), ビークル本体 (約 430 mm, 重量約 40 kg, 浮力約 1 kg), で構成する。ビークルは, 球形の耐食アルミニウム合金製耐圧殻 (厚さ 5 mm) にアクリル製ドームポート (扇形角 90°, 厚さ 8 mm) を取付けたもので, 後部に 2 基, 上部に 2 基のマグネットカップリング方式のスラスタ (DC 70W) を有する。これらのスラスタによって, ビークルの上下, 左右, 前後, 回頭, およびこれらの合成運動, 深度保持を行う。ビークル内部のテレビは (最低照度 0.5 lux) 上下 $\pm 60^\circ$ チルト可能で, 照明には 2 個の 150 W ハロゲンランプを使用した。ビークルの制御部にはマイクロコンピュータ (Z-80) を使用した。4 個のスラスタの制御, 通信回線の制御には, マイクロコンピュータを使用し, 信頼性が高まり, 回路構成も簡略化できた。

Cable Controlled Unmanned Television System Under Construction

Kaoru Natori*², Taro Aoki*², Mutsuo Hattori*²

A light weight, low priced Cable Controlled TV System which can be used for undersea optical survey around the continental shelf (depth about 200 m) is under development. The system is composed of a deck control unit, main cable (16 mm ϕ), neutrally buoyant tether cable (15 mm ϕ) and a vehicle (about 430 mm in diameter, weight in air about 40 kg, about 1 kg buoyancy). The vehicle has a spherical pressure hull of corrosion resisting aluminum alloy (wall thickness, $t = 8$ mm), with a 90-degree sector angle spherical acrylic window ($t = 5$ mm), and 4 magnet coupling thrusters (each 70WD.C.), two at the stern side and two at the upper part.

The 4 thrusters provide up/down, forward/backward, yaw and side, and advance motion. A desired depth can be maintained automatically.

The TV camera (0.5 lux) is capable of being tilted, plus or minus, 60-degrees in the vertical plane and has two 150 watt tungsten halogen lights.

The system utilizes a microcomputer (Z-80) based control unit. The microcomputer-based control unit, which controls the 4 thrusters and digital I/O channels provides high reliability and simple circuit design.

*1 海洋利用技術部

*2 Marine Exploitation Technology Department

1. ま え が き

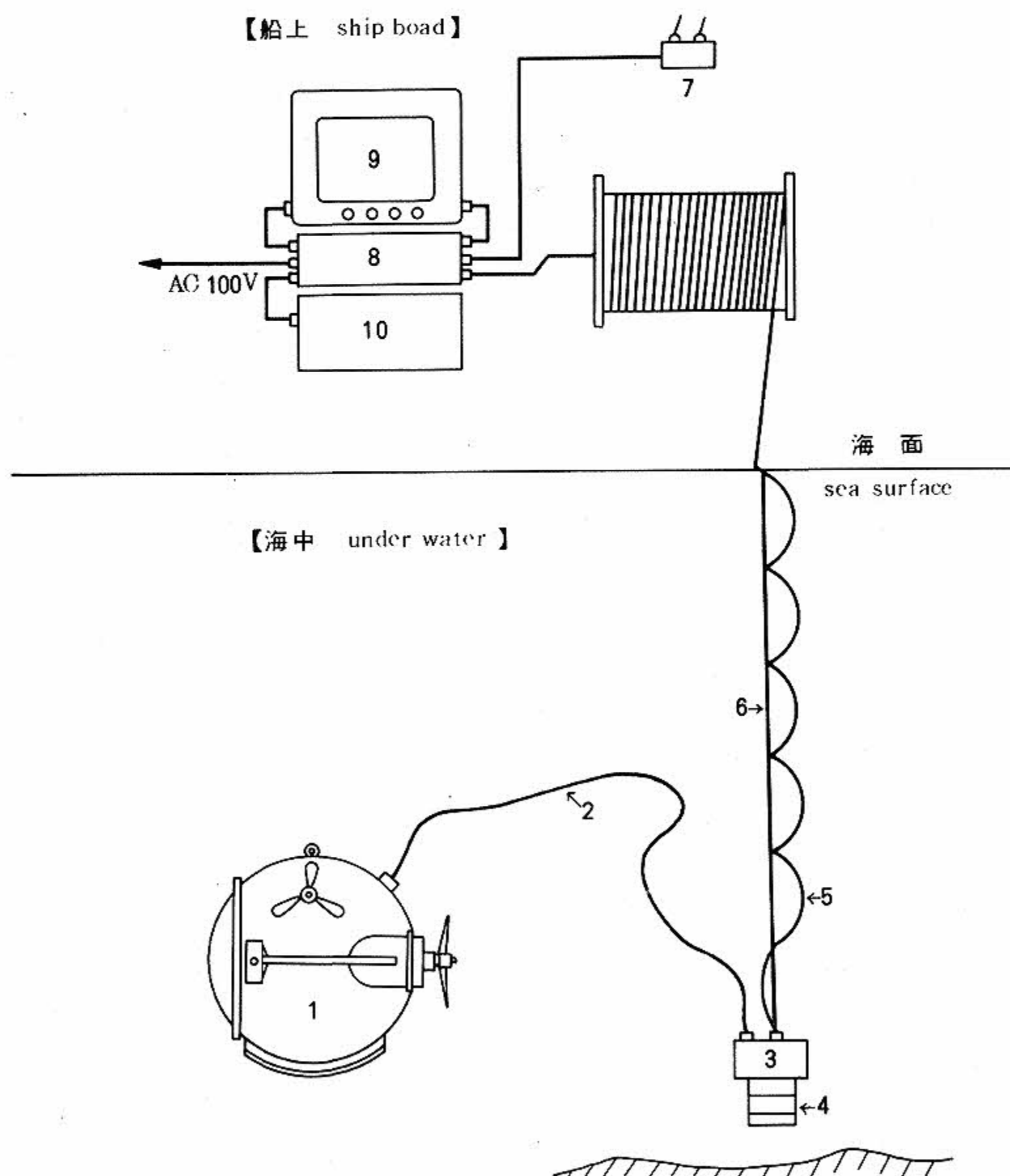
ケーブルコントロールによる海中調査、作業用無人機器は、海中構造物の検査、海底地質、生物調査、海底ケーブルの埋設等の作業用に盛んに利用され、その機種、機数も増加の一途をたどっている。一方、維持、操作性を高め、北海などのきびしい海洋条件に対処するため、全機器のユニット化、他の機器類の支援を要しない、それだけで完備したシステム化も高度に進められており、その結果、システム全体の寸法、重量および価格の増加も著しい。著者等は、1977年頃から、小形船でも使用できる単純、軽量、安価な無人ビークルの開発に着手した。その目的は、水深200mまでの魚礁、海洋構造物、海底地質、生物等の調査および観察に使用できる簡便な無人ビークルの開発

にある。1979年には1号機を試作して試験したのち、2号機を製作中である。ここでは、2号機について報告する。

まず、必要最小限の機能を持った軽量で、簡便なテレビ付ビークル（自航体）を開発し、試験したのち、必要に応じて、船上ウインチ、スチルカメラ、発進および揚収機能、測位関係機器等を加えることにした。

必要最小限な機能を有する本システムの構成を図1に示す。現在、メインケーブルは径16mmで長さ100m、またテザーケーブル（中性浮力ケーブル）は径15mmで長さ30mであり、必要に応じて延長可能である。

本システムの使用深度は200mとし、ビークル本体は、耐食アルミニウム合金の球形耐圧殻にア



- | | | | |
|------------|-----------------|----------------|---------------------|
| 1. ビークル | vehicle | 6. ロープ | rope |
| 2. テザーケーブル | tether cable | 7. コントロールボックス | control box |
| 3. 中継コネクタ | joint connector | 8. 制御装置および表示装置 | control and display |
| 4. 重 錘 | weight | 9. モニタ | monitor |
| 5. メインケーブル | main cable | 10. 電 源 | power unit |

図1 本システムの構成

System description

クリル製窓を取付けて製作した。ビークル内に収納したテレビ（白黒、最低照度 0.5 lux）は、ピッチング（チルト）可能で、150Wのライト2個で、5～7 mまでの視程を有する。

本システムの主な諸元を表1に示す。

表1 本システムの主な諸元
system specifications

使用深度 operating depth	200 m
寸法 dimensions	球体; 直径 約 43 cm, 厚さ 5 mm spherical shape; nominal 43cm dia., t=5 mm
重量 weight	約 40 kg
速度 speed	最大 2 ノット max. 2 kt
構造 structure	耐食アルミニウム合金製耐圧球殻内に 各種装置収納 spherical corrosion resisting aluminum pressure hull encloses all components.
浮力 buoyancy	正浮力 1kg positive buoyancy
電源 power requirement	AC 100 V, 50/60 Hz, 1,500 VA
スラスト thruster	DC70W×4 前後進, 左右, 上下, 回頭 four DC70 W motors provide forward ard/reverse, vertical and lateral movement and yaw control.
装備 instrumentation	テレビカメラ, ハロゲンライト (150W×2) 方位 計 (マグネットコンパス) 深度計 TV camera, halogen light (150W× 2), magnetic compass, depth sensor
船上機器 shipboard components	電源, 制御および表示装置 power unit, control/display console

2 設計手順および概念

通常、設計にあたって、3個のパラメータを用いる方法がとられている。すなわち、固定パラメータ、設計パラメータ、および誘導パラメータである。

これらを本システムにあてはめてみると、固定パラメータにはビークルの寸法と重量の最大限度、ビークルの実効浮力、各コンポーネントの重量と体積、モータの型式などがあり、設計パラメータにはビークルの幾可、スラストの配列、プロペラ直径、モータ出力などがある。また、固定パラメータと設計パラメータの値から決定されるものが誘導パラメータであり、これにはスラストサブシステムの重量と体積、最大推進力、ビークルの慣性モーメント、ビークルの大きさなどがある。

固定パラメータは、文字通り固定で変えることのできない値であり、ビークルを計画した段階で

決ってしまう。これに対して設計パラメータは、予備設計の段階でビークルの能力を最大とするように決められる。

本システムは小形、軽量とともに、安価であることを目指しており、各コンポーネントとも、できる限り市販品、もしくはそれを多少改造する程度で使用することを心掛けた。そのため、これらパラメータの値には、あまり選択の余地はなく、比較的容易に決定できた。ただし、モータ出力を必要以上に大きくしないこと、ビークルや制御電源部の大きさ、重量をできるだけ小さくするように、各コンポーネントの設計および選定を行ったことはいうまでもない。

水中で観察、調査活動を行うにたる視界を得るためには、前後、左右、上下、ピッチング、ヨーイング（回頭）の自由度が必要と考えられる。

その方法として、ビークル内のテレビカメラは固定してビークルにすべての自由度を持たせる場合と、テレビカメラに、それぞれピッチング、またはヨーイングのみ、またはピッチングおよびヨーイングの自由度を持たせ、残りの自由度をビークルに行わせる場合とがある。このうち、最適なのはテレビカメラに、ピッチングの自由度を持たせ、残りはビークルで行う場合である。

ビークルにピッチングが必要ないということは、それ自体を重力安定させることができ、静的にバランスさせるための機構が単純化され、ビークルを設計する上で、きわめて都合が良い。これ以外の方法は、テレビカメラの機構が複雑になったり、ビークル自体の設計が難しくなるなど、単純、軽量、安価なビークルの開発を目的とする、われわれの方針にとっては、好ましくないといえる。

以上のことをふまえた上で、ビークルの形状や構造を検討した。

3 ビークルの形状と構造

これまでに開発されたケーブルコントロールビークルは、各コンポーネントごとに耐圧殻を設けるものと、同一耐圧殻に入れてしまうものとに大きく分けられる。

コンポーネントごとに耐圧殻を設けるものの代表は、いわゆる、オープンフレーム方式で、これは観察、調査のみならず、マニピュレータを用いた海中作業など、多目的用途に適しており、その作業

ごとにモジュール化が可能である。その反面、浮力を得るための浮力材を必要とするなど、寸法、重量が大きくなりやすく、また各コンポーネント間のケーブルのやりとりのため、水密構造部が多くなり、故障の原因となりやすい。

これに対し、各コンポーネントを同一耐压殻に入れてしまう方式では、多目的用途には向かない代わりに、観察、調査などに、目的を絞った場合に適している。また、耐压殻自体の浮力を生かせるため、浮力材を必要としないなど、小形、軽量化が可能であり、ケーブル接続の問題もなくなり、ビークル自体もオープンフレーム方式に比べて、はるかに流体的に都合の良い形状にできる。この方式のものには、いわゆる、“流線形”のものと、球のような“にぶい物体”のものに分けられる。この種のビークルは、通常、レイノルズ数 R が $10^3 \sim 10^6$ の範囲で利用されるものが多い。また境界層理論からいえば、“流線形”の場合には抵抗は境界層内の粘性による摩擦抵抗のみとなり、“にぶい物体”が大きな圧力抵抗を受けるのに比べ、はるかに小さくなる。したがって、高速で直進するような場合には、両者に必要なモータ出力の差が明確となる。

3.1 形状

本システムは、テレビカメラを用いた観察、調査が主な用途となるため、高速で直進移動するよりもむしろ、細かい動作や対象物、または観察、調査場所付近に留っている性能が要求される。このため、両者のモータ出力の差は出にくく、また運動性能を良くするためには、“流線形”（長い物体）のように、ある方向に積極的に安定になるような性質では好ましくなく、むしろ安定でも不安定でもない中性が好ましい。また、流れがあった場合には、それに敏感に反応するようでは、一点に留っていることが難しくなる。これらの理由と、耐压的に有利であることから、ビークルには球体を採用することとした。

3.2 材質

材質は当初、シンタクティックフォームや炭素繊維（CFRP）なども検討したが、加工上の問題もあり、高価になってしまうことがわかった。

このシステムは使用深度が 200 m で比較的浅

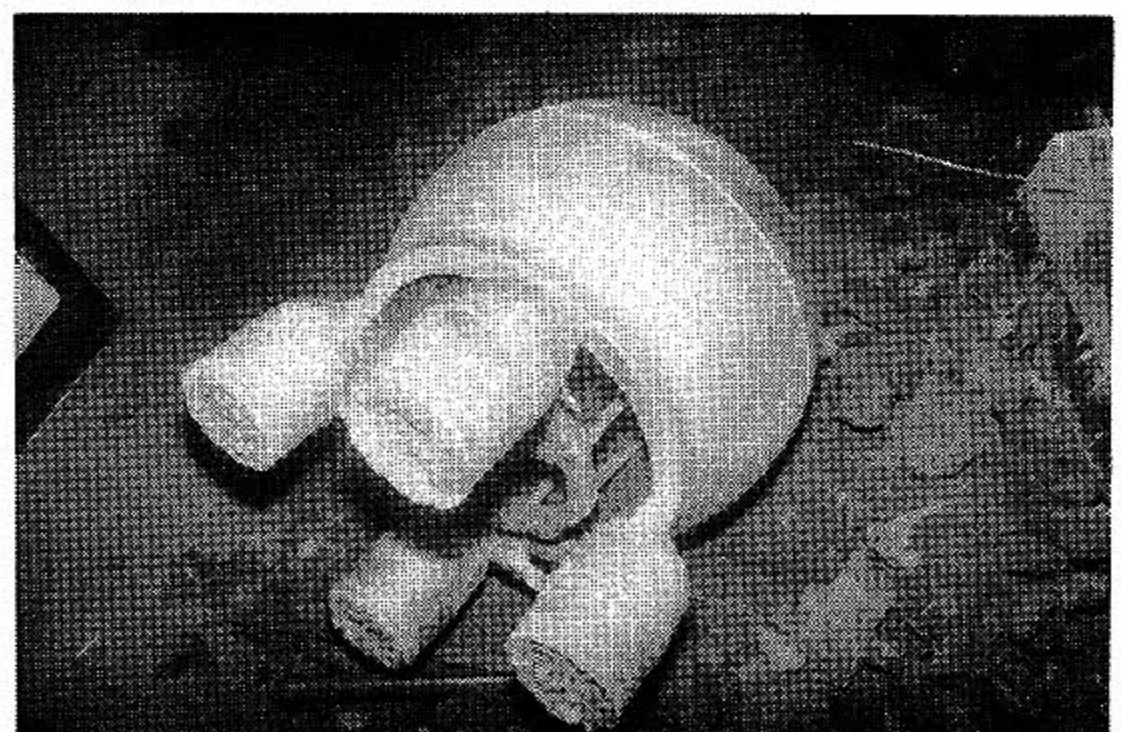
く、ビークルも耐压的に有利な球体のため、肉厚をかなり薄くすることが可能となり、重量も軽く、十分なペイロードを得られることがわかったので、耐压殻材料として、耐食アルミニウム合金を採用することとした。また表面には耐食性および表面硬度を増すために陽極酸化皮膜を施した。

ドームポートは、アクリル樹脂製とした。この樹脂は全光線透過率 92% という抜群の透明性を有し、耐候性も良好なため、経時変化に対応する透明性の保持率がきわめて高い。また機械的強度、クリープ特性、曲面加工性、厚みの均一性、耐海水性などもすぐれている。さらに温度の降下とともに、強度が一般的に増大し、適当な衝撃強度を有し、自爆現象がないため、破壊に対して高い抵抗性を有するなど、海水中で使用するドームポート材料として適当なため、これを採用することとした。

3.3 付属装置の取付け

耐压殻内部には、後部左右と側面左右とに計 4 個のスラストモータ、ピッチングを行わせるためのチルト機構を有する高感度白黒テレビカメラ、深度計、制御回路が収納され、また外部には 2 個の照明用ライト、ドームポート下方にはマグネットコンパスが取付けられた。

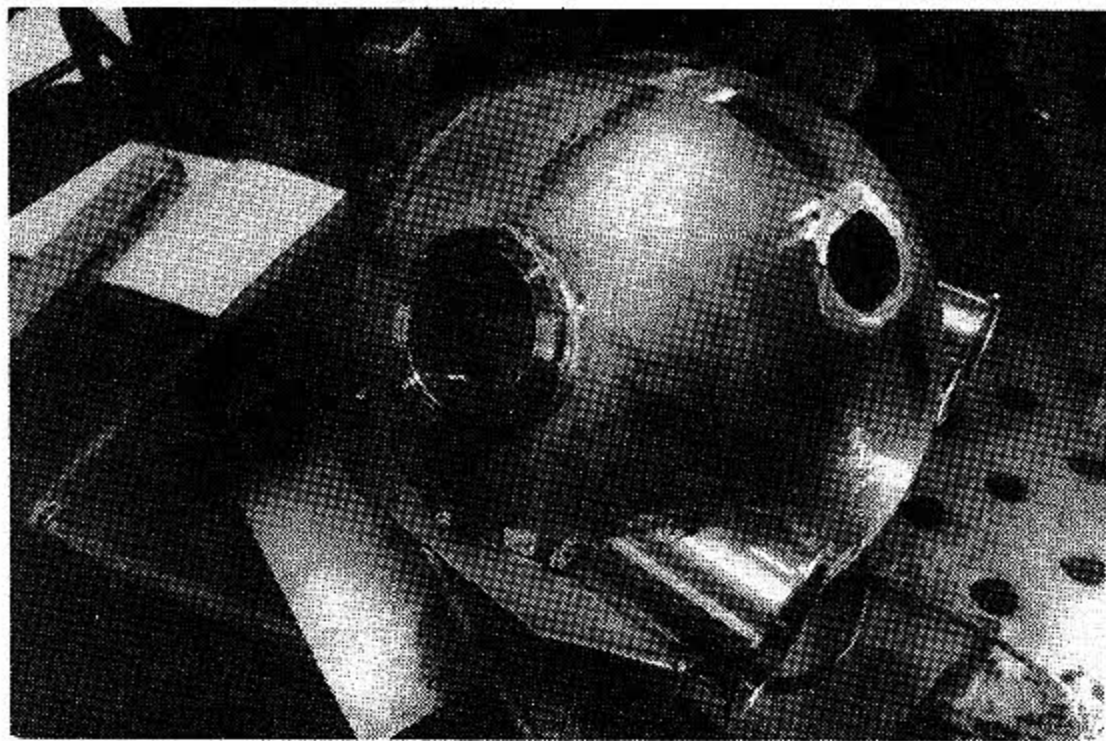
耐压殻の鋳造および溶接過程を写真 1 および写真 2 に示す。



「ケーブルコントロール式テレビシステム試作」

写真 1 耐压殻の鋳造過程

Casting process of the pressure hull



「ケーブルコントロール式テレビシステムの試作」

写真2 耐圧殻の溶接過程

Welding process of the pressure hull

4. 浮 力

水中の運動性を考えると中性が好ましいが、ケーブルが切断した場合には、ビークルが自力で浮上できるように、正浮力とすべきである。

このことからビークルの実効浮力は1 kgとした。

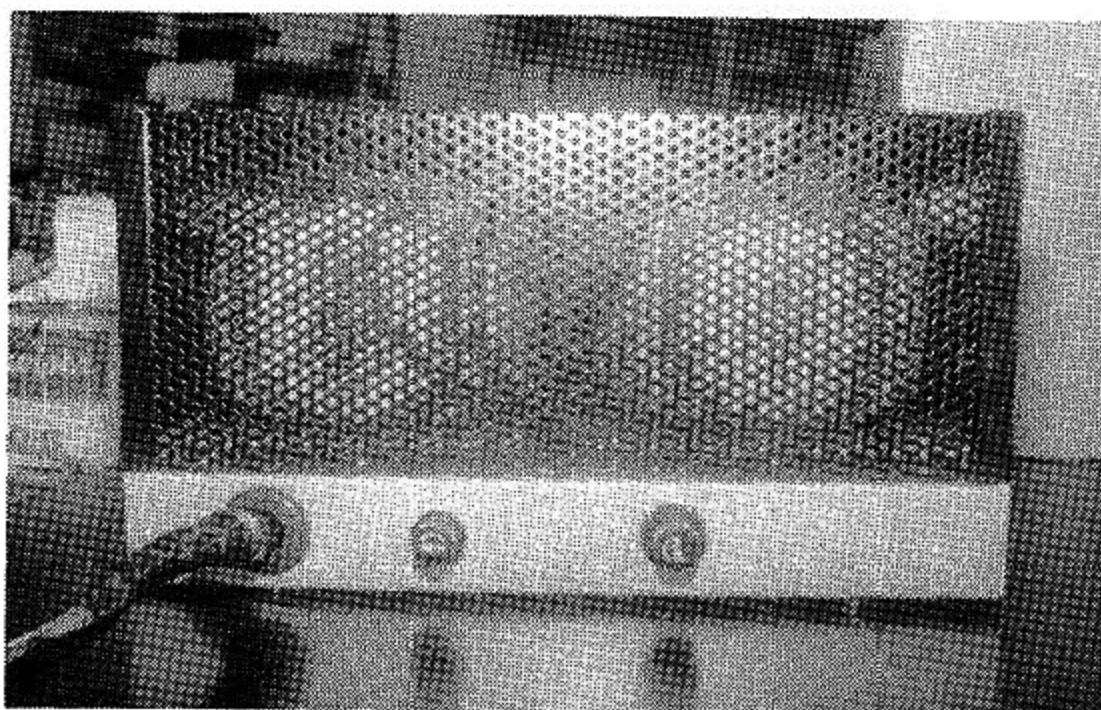
浮力の調整は耐圧殻外下部に取付けた重錘によって行った。

5. 電 源

電源はAC100 V, 50または60 Hz, 1,500 VAである。

計算上は1,000 VAで十分であるが、ケーブルによるドロップ分を考慮して1,500 VAとした。

写真3には電源装置を示す。



「ケーブルコントロール式テレビシステムの試作」

写真3 電 源 装 置

Power unit

6. ス ラ ス タ

スラストモータには、観察および調査時にテレビカメラの信号への影響を最小限にするため、最大出力でなくても、所期の流速に打ちかって、その位置へ移動でき、またはその場に留っていられる程度の出力が必要である。しかし、必要以上に出力を大きくすることは、ビークル全体の大きさや、後述のケーブルの太さに悪影響を与えるため極力避けなければならない。

ビークルを三次元空間内で自由に移動させ、かつ運動性能を良くするには、モータは正転、逆転が頻繁に行え、回転数の制御の容易なものが好ましい。これらを考慮して、スラストモータはDC 24V, 70Wとし、これに減速比1:5の減速機を取付けて使用した。2個は前後進および回頭用としてビークル後部の左右、2個は上下および横移動（左右）用として、ビークル側面の左右に取付けた。

プロペラは、製作経費節約のため市販のものも検討したが、回転数、ピッチ/直径比、翼面積などの適当なものがなかった。その結果、価格、重量、製作性を考慮して、耐食アルミニウム合金で要目に合うものを特注した（直径205 mm, 3翼）

プロペラは直径を大きくし、回転数を下げた方が効率は上昇するが、小形、軽量化に反するため、モータのトルク、回転数から必要最小限の径とした。モータからプロペラへの動力の伝達には、マグネットカップリングを使用した。この方式は構造が簡単であり、耐圧殻には貫通部がないため耐圧性が良好となり、伝達効率が高いなどの特長がある。これまでも自航式カメラ用スラストで使用実績があるので、採用することとした。

7. 装 備

7.1 テレビカメラ（白黒）

テレビカメラは2:1インターレスの内部同期形で、解像度は水平500本、周辺300本、最低照度0.5 luxである。

このカメラはチルト機構を有し、次の俯仰範囲は±60°である。

7.2 ライト

海中で光の到達距離を長くするには、波長が400~500 nm程度の沃化タリウムなどの光源が好ましいとされている。

しかし、テレビカメラ照明用にはハロゲンラ

ンプが適しており、100 V、150 W のものを2個使用した。

7.3 方位計(マグネットコンパス)

これは耐圧殻外ドームポート下方に取付け、随時テレビカメラ視野内にとらえ、方位を決定する。

7.4 深度計

深度計には半導体ストレインゲージ方式の圧力変換器を使用した。

測定範囲は0～35 kg/cm²、誤差±0.05 kg/cm²(50cm相当)である。

8. ケーブル

8.1 メインケーブル

これは船上の電源部と制御部との中継コネクタを結ぶケーブルである。このケーブルは同軸心3本、電源心2本、制御心5本からなり、外径約16 mm、空中重量340 g/mである。

8.2 テザーケーブル

これは中継コネクタとビークルを結ぶケーブルである。このケーブルは、同軸心1本、電源心4本、制御心2本からなり、外径約15 mmである。また中性浮力(比重1)となるように、特殊な浮力材を使用したケーブルを開発中である。

前述のスラストのモータの出力は、必要以上に大きく設定してしまうと、電源電圧を低く押えれば、電流を上げるために電源心を太くする必要があり、ケーブル全体の径が太くなり、重量が増加する。その結果、中性浮力を得るには、さらにケーブル径が太くなるという悪循環を繰返し、流体抵抗が大きくなるとともに、信号線の横に高電流の導体があるため、テレビカメラのビデオ出力がテレビモニタ上でノイズとなって妨害を受けやすくなる。これを避けるためには電源電圧を高くし、電流を下げてやればよいが、この場合は船上の電源装置が大形化となり、好ましくない。

以上の理由によって、モータの出力は必要以上に大きくしてはならないといえる。

中性浮力のケーブルはこの種のビークルには必要不可欠なものである。もし浮力が得られないケーブルでは、自体でからんだり、海底に垂れ下がって障害物にひっかかりやすくなったり、または海底を引きずり、ビークルの動作を著し

く阻害することになる。また、浮力を中性にするにはブイが必要で、これがまた、からみや流体抵抗を大きくする原因となる。

以上の理由によって、中性浮力のケーブルの開発は、このケーブルコントロール式ビークルシステムの成否の鍵を握っているといっても過言ではないであろう。

9. 制御および表示装置

9.1 ハードウェア

4個のスラストの速度制御演算、通信回線の制御などの信頼性を高め、これらの回路構成を簡略化するため、マイクロコンピュータ(Z-80)を使用した。

メモリROM-2kbyteおよびRAM-kbyteの計3kbyteを装備した。

ビークルの動作はコントロールボックスに取付けられた2個のジョイスティックによって、すべて制御する。ジョイスティック1個につき、X軸およびY軸の2個のポテンシオメータがついており、CPUの指令でポテンシオメータのアナログ出力はデジタル値に変換され、CPUに入力される。各ポテンシオメータのデジタル変換値、 J_1 (前進後進)、 J_2 (左右)、 J_3 (上下)および J_4 (回頭)は、ビークルの運動のパラメータで、これらを用いて4個のスラストの速度をCPUで算出し、ビークルは三次元空間内を任意の速度で移動できる。

CPUとビークル間のデータ伝送は、双方向(最大128チャンネル)の非同期直列伝送方式である。チャンネル数、データの優先順位はプログラムで可変できる。CPUからビークルへ伝送されてきた各スラストの速度データは、チップパ信号に変換され、各スラストモータを回転させる。

図2には制御系統ブロックダイヤグラムを示す。

9.2 ソフトウェア

4個のスラストの各速度データを算出するに必要なパラメータは、コントロールボックスのジョイスティックから得られるパラメータ($-m < J_1, J_2, J_3, J_4 < +m, m > 0$)と、ジョイスティックの上下動を操作しないときに一定深度を保持するためのフィードバック制御

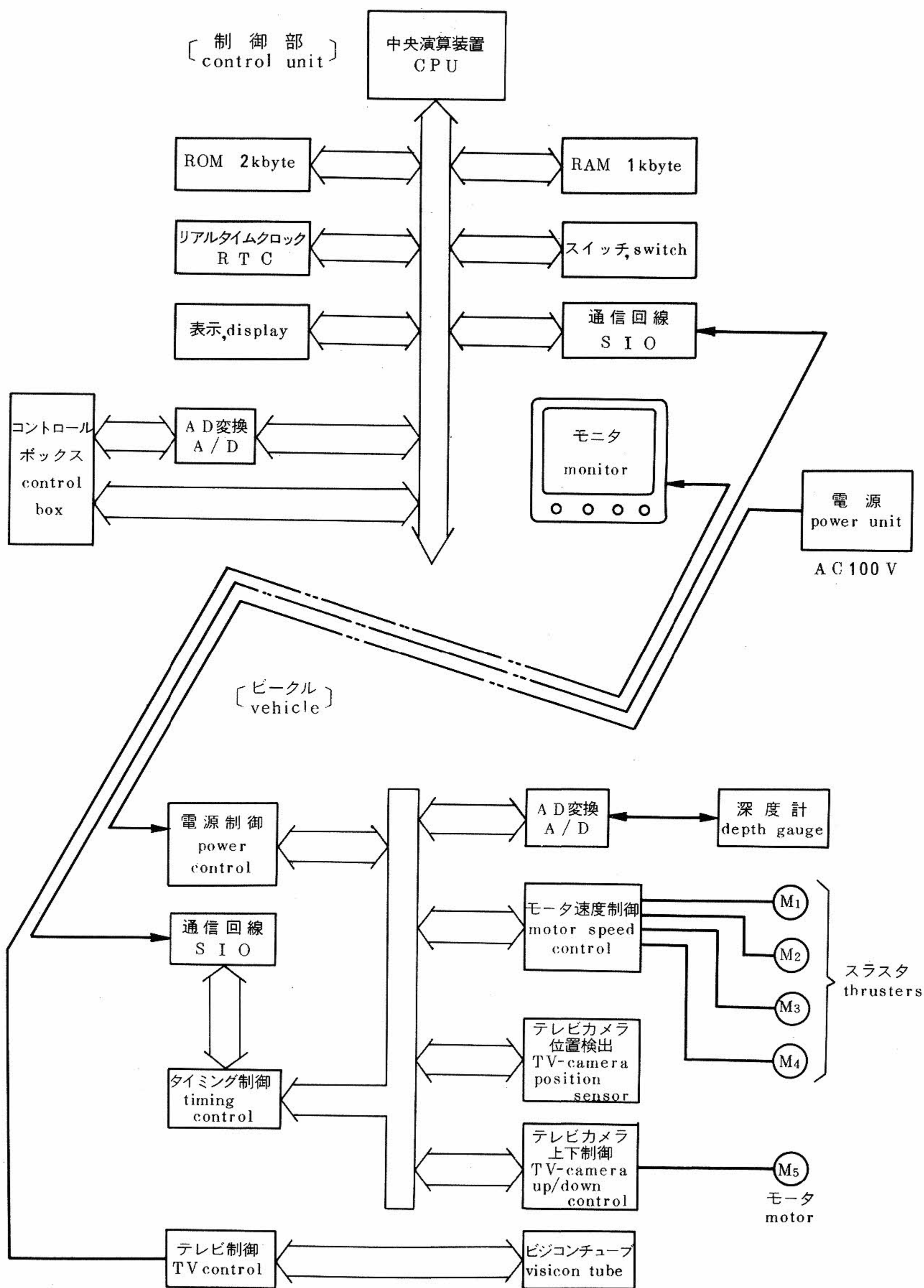


図2 制御系統

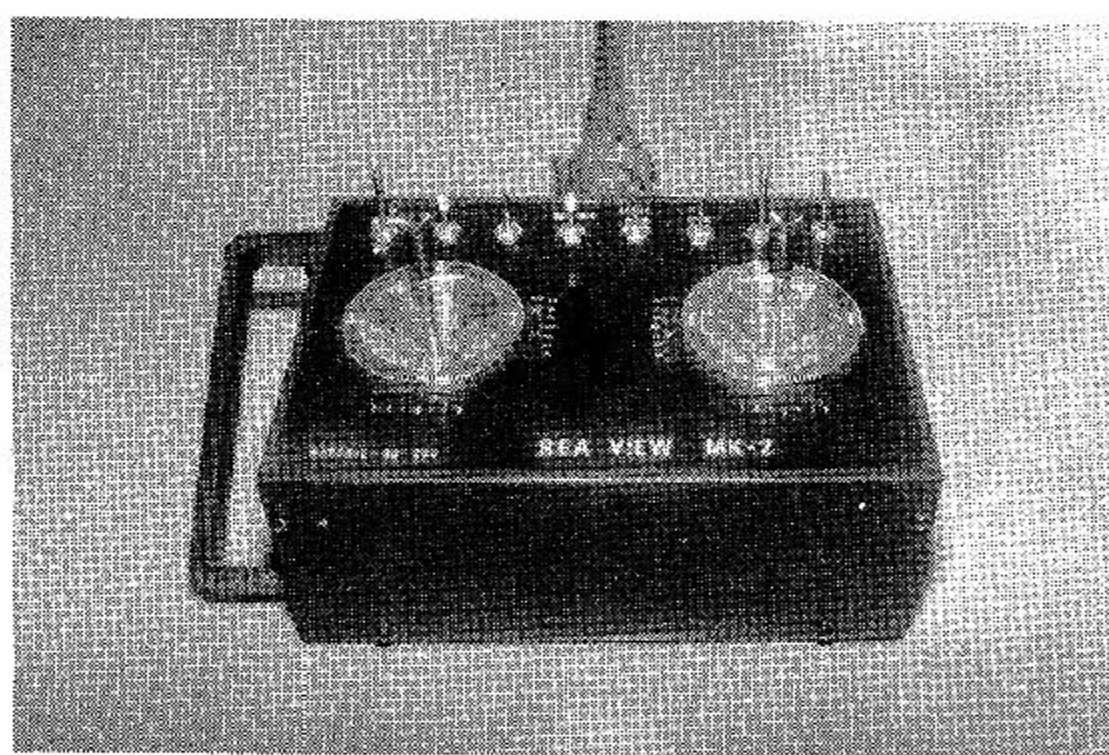
Control block diagram

に必要な深度計（圧力変換器）から得られるパラメータとがある。

ビークル後部の左右に取付けられた2個のスラストの速度は、ジョイスティックの前進後進値（ J_1 ，前進は $J_1 > 0$ ，後進は $J_1 < 0$ ）と回頭値（ J_4 ，右回頭は $J_4 > 0$ ，左回頭は $J_4 < 0$ ）との和の比例値で表わされる。ただし，回頭運動が加わる場合には，左右のスラストに与えられる値は正負が逆となる。

ビークル側面左右に取付けられた2個のスラストの速度は，ジョイスティックの左右進値（ J_2 ，右進は $J_2 > 0$ ，左進は $J_2 < 0$ ）と上下動値（ J_3 ，下降 $J_3 > 0$ ，左進は $J_3 < 0$ ）および深度制御のためのフィードバック値 $J_3 = 0$ のとき，過下降は $DPA < 0$ ，過上昇は $DPA > 0$ ）との和の比例値である。左右進が加わる場合には，左右のスラストに与えられる値は正負が逆となる。また，ビークル本体の流体的な対称性やプロペラ効率の相違の影響を避けるため，これらを補正した値を，あらかじめ各スラストに与える。

図3はスラスト制御のフローチャートを示す。



「ケーブルコントロール式テレビシステムの試作」

写真4 コントロールボックス
Control box

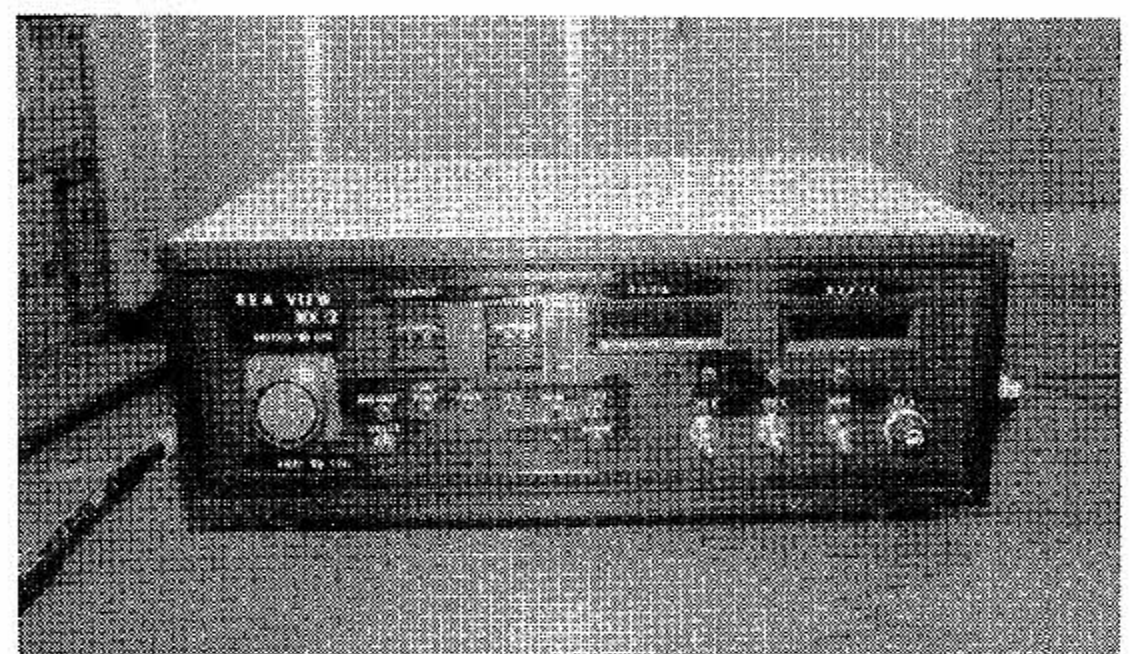
9.3 コントロールボックス

これは写真4に示すように，2個のジョイスティックおよび各種スイッチ類が取付けられ，ビークルの動きを制御する。それぞれのジョイスティックには，X，Yの2個のポテンシオメータがついており，写真の右側は前進／後進用および右進／左進用，左側は上昇／下降および右回頭／左回頭用である。

スイッチ類は右側からテレビカメラON/OFF，ライトON/OFF，テレビカメラ上／下，深度保持ON/OFF用である。

ビークルは約1kgの実効浮力を持っているため，ジョイスティックを操作しないと，徐々に浮上する。このため，一定の深度にビークルを保持したいときは，深度保持スイッチをONにする。

この深度保持には二つの方式がある。一つは上昇／下降ジョイスティックを操作し，ある深度に達したとき，CPUがこの深度を記録し，以後，これを基準として深度を保持する場合である。もう一つはデジタルスイッチ（0～30段階）の数値を設定することによって，それに対応する任意の深度を保持する場合である。



「ケーブルコントロール式テレビシステムの試作」

写真5 表示装置
Display

9.4 表示装置

これは各種データを表示する装置である。写真5はその外観を示す。

深度計のデータは4桁の数字LED表示器を用いてビークルから伝送されてくる値をデジタル表示する。最小表示単位は10cmである。

表示装置はデータセレクトデジタルスイッチによって，ジョイスティックの位置に対応する数値と各スラストの回転パラメータを選択表示する。

その他，この表示装置には，テレビカメラ電源，ライト電源，伝送異常，テレビカメラ位置，深度保持中の各確認用LEDが取付けられている。

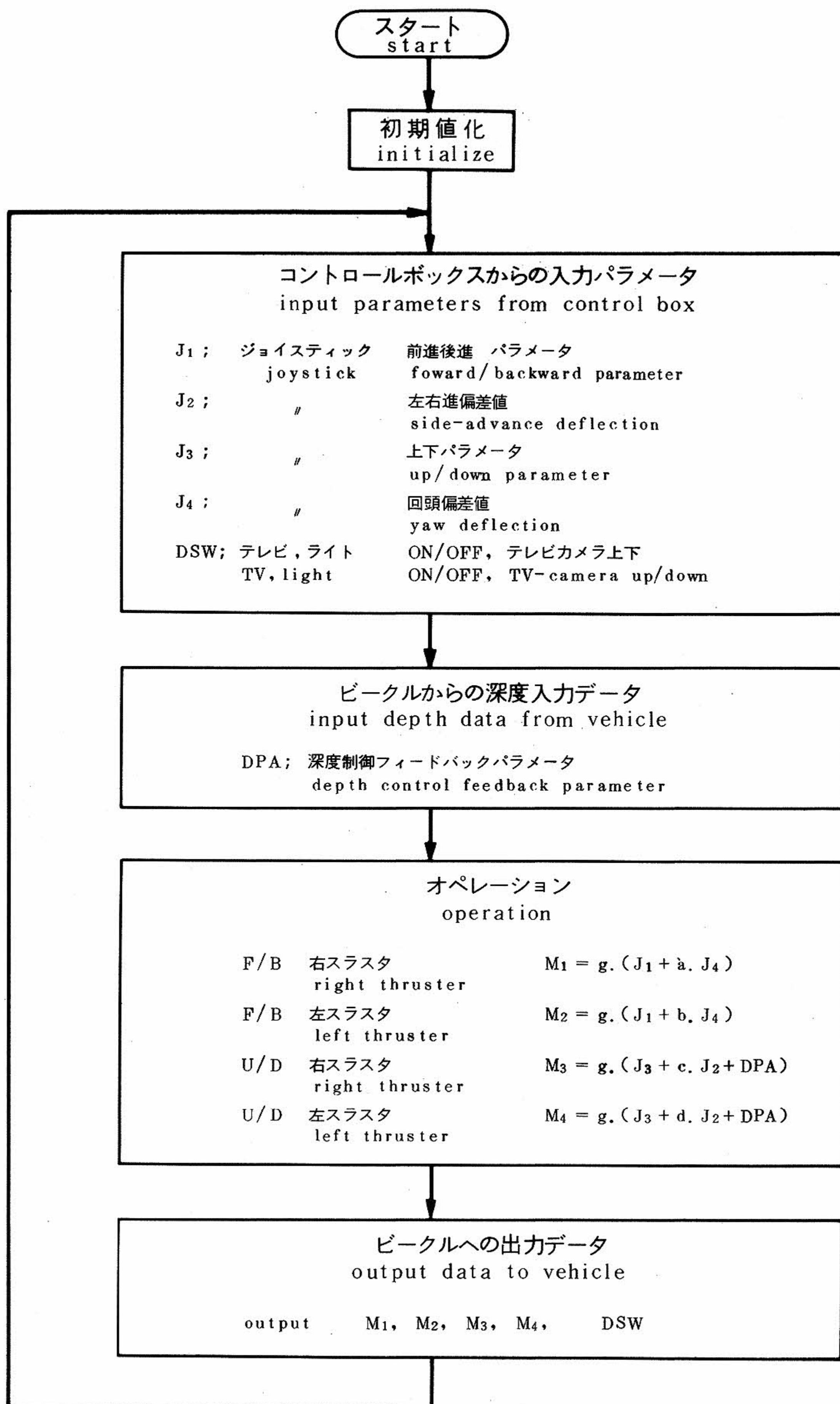


図3 スラスト制御のフローチャート
Thruster control flow chart

10. あとがき

本システムはあくまで実験用であり、ビークルの形状、構造、材質、製作方法、運動性、制御方式などを研究することが目的であるため、実用機とするには、まだ多くの難点がある。

例えば、大形の船上装置（ウインチなど）を必要とせず、小形、軽量、簡単で確実な発進揚収装置の開発、位置決め、にぎりのある海域での視界確保などである。

しかし、これらは研究に投資する金額とある程度比例して解決できる種類の問題と考えられ、無人機への関心が高まっている折、人員的にも、予算的にも、より充実した研究に発展することを期待したい。

文 献

- 1) American National Standard, "Safety standard for pressure vessels for human occupancy"(1977) ANSI/ASME DVHOI
- 2) Stachiw J.D., 1977, "Spherical sector windows with restrained edge for undersea applications", Journal of engineering for industry (May) p.459-468
- 3) R. Frank Busby Associates, Inc., "Remotely operated vehicles", Aug. 1979, U S G.P.O.