

自航式ビークル「UROV」の 研究開発

青木 太郎^{*1} 服部 陸男^{*1}

無索無人潜水機は有索方式の無人潜水機に比べケーブルに拘束されことなく、より自由に行動できる。しかしながら、現在のコンピュータ技術、センサー技術レベルでは、制御システム中に人間の判断能力を介在せずに無人潜水機が自由に動くことは不可能に近い。

開発中の自航式ビークル「UROV」は、直径1 mmの光ファイバのみで支援母船上の制御装置と結ばれ、この光ファイバを介して制御信号を送受する。光ファイバに張力がかかると、光ファイバを巻き付けた糸巻から光ファイバを繰り出す。内蔵した動力用電池を使い切るか、あるいは糸巻の光ファイバを出しつくすまで潜航できる。潜航終了時に、光ファイバをカッタで切断し浮上する。光ファイバを使用することで、リアルタイムにテレビカメラによる高品質の水中映像をモニタできる。また、制御信号伝送も信頼性が高い。海底石油リグのような海中構造物の内部に侵入調査したり、“通り抜け”が可能である。また、水平方向への移動距離が大きいので、海底火山のような、直上に支援母船がいては危険な海域での調査に有効である。

キーワード：無人潜水機 (ROV)、光ファイバ、光通信

Development of the Remotely Operated Vehicle 「UROV」

Taro AOKI^{*2} Mutsuo HATTORI^{*2}

Unmanned underwater vehicles without a tether cable are able to swim more freely than ones with a cable. However, considering the current computer or sensor technology, it is impossible that the vehicles navigate autonomically under the control system except operator's judgment.

A ROV (Remotely Operated Vehicle), "UROV", that is under Development, is connected to onboard control units with a like of optical fiber cable (1 mm Diameter). If the fiber is pulled, it is spooled out from the bobbin. Until running out of optical fiber or battery power, UROV can be dived under the sea. After the optical fiber is cut off at the end of navigation, the vehicle goes up to the sea surface.

^{*1} 深海開発技術部

^{*2} Deep Sea Technology Department

Transmitting control signals through an optical fiber, a high quality TV picture is monitored in real time and the transmission is very reliable.

It is possible that UROV is used to inspect an undersea-oil rig and to drive through it. As UROV has an advantage to swim to a rather distant place, it can be operated at the place such as a volcano in activity, where it is dangerous to keep the support ship right overhead.

Key word: ROV, Optical Fiber, Optical Transmission

1. はじめに

無人探査機は、有索無人潜水機と無索無人潜水機に大別できる。有索無人潜水機は、テザーケーブルを介して支援母船より電力供給を受け、また制御信号、テレビ画像信号等を送受する。このことにより以下の特長をもつ。海象条件等の使用環境が許す限り使用時間に制限はない。取扱荷重の大きい油圧方式マニピュレータ等大消費電力を必要とする重作業が可能である。また、テレビ画像信号等高周波信号を送受できるため、鮮明な水中画像をモニタできる。しかしながら、テザーケーブルに受ける水流のドラッグにより運動性能が著しく影響を受け、作業行動領域が制約される。また、船上のケーブルウィンチ等着水・揚収装置は大型なものとなる。

無索無人潜水機は、有索式に比べてテザーケーブルの束縛から解放され、より自由に行動できる可能性をもつ。しかし、独立独航できる高性能な“ロボット”となりえるためには、エネルギー源、情報通信方式、人工知能等の解決しなければならない問題がある。

現在、開発中のUROV(開発コード名)は、エネルギー源として2次電池を搭載し、推進器用直流モータ、照明灯、制御回路の電源として用いる。無人潜水機と支援母船とは光ファイバ1本で結び情報を光によって通信する。無人潜水機の操縦は、オペレータが無人潜水機に搭載したテレビカメラの映像を船上のモニタで見ながら行う。光ファイバは、スプーラ(糸巻き)に巻いて無人潜水機に搭載する。目的深度までの下降中、あるいは探査活動中は或る一定の張力を越える力が光ファイバに加わると、光ファイバをスプーラから巻き出して行動

する。探査終了時には、光ファイバを切断し同時にバラストを投棄して上昇する。水面に浮上した後、支援母船に回収する。この方式の無人潜水機は、支援母船上のケーブルウィンチ等の船上設備が必要ないため比較的小型の船舶で運用できる。通常の有索無人潜水機を用いて、海底石油リグのような海洋構造物を調査する場合、ケーブルが構造物に絡む可能性が高く、内部に入るとは危険をとまなうが、本方式の無人潜水機は内部侵入調査、“通り抜け”が可能である。また、浅海域において使用する場合、支援母船から水平方向へ長距離航行できる。このことは海底火山調査、爆発物処理等支援母船が直上には危険な海域での

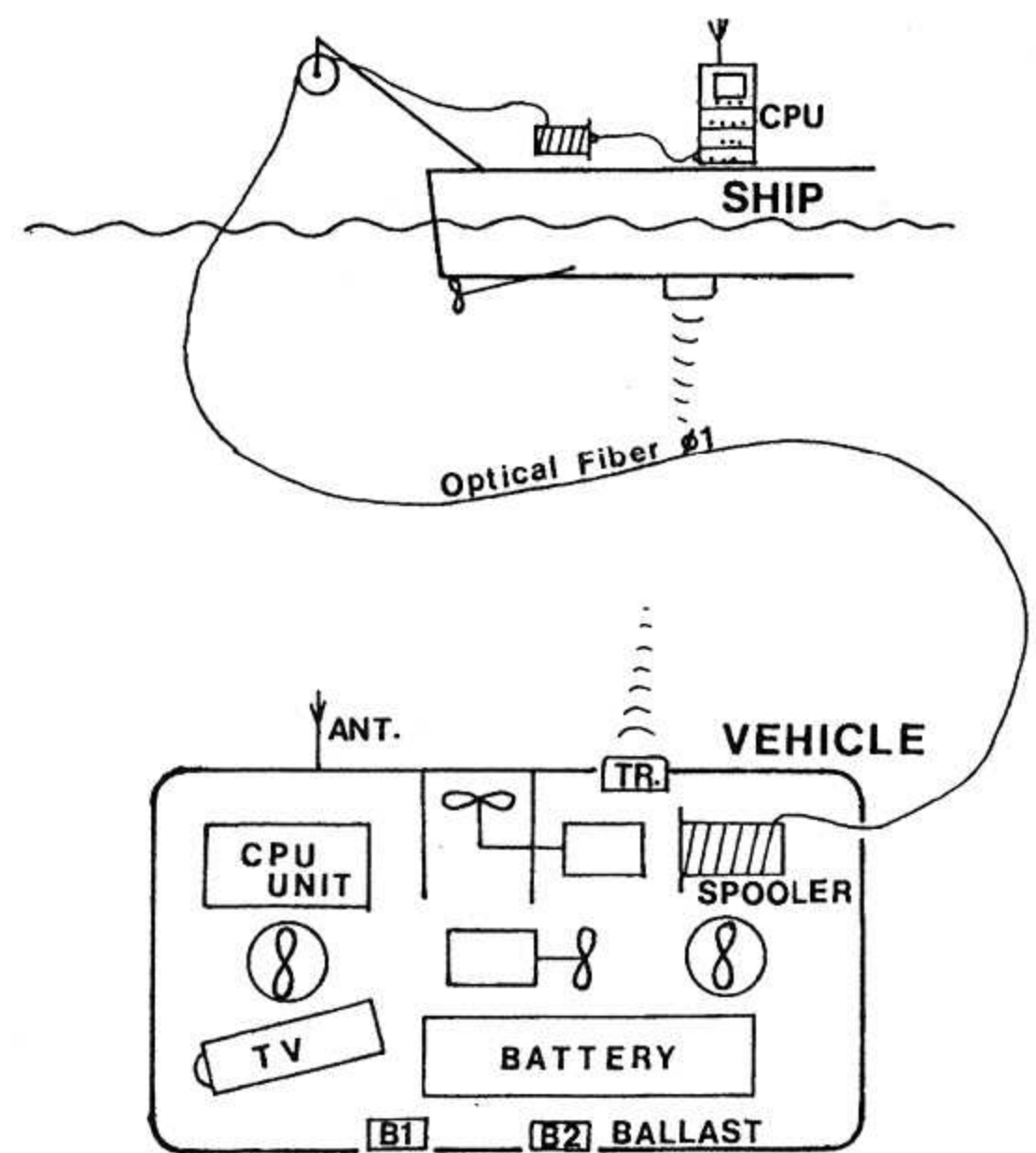


図1 UROVシステム
Fig.1 UROV System

運用に有効である。

このUROVの研究開発は、海洋科学技術センターと住友重機械工業㈱、住友電気工業㈱とにより昭和61年度より4年間（予定）共同研究を実施し試作機を開発中である。

以下、研究開発中の試作機について報告する。

2. UROVシステムの概要

現在試作しているUROVシステムは、水中部の無人潜水機（ビークル）本体、船上部の制御装置、そしてビークルと制御装置を結ぶ光ファイバで構成される。光ファイバを介してビークル本体に搭載したテレビカメラの映像信号、深度・方位等のビークル・ステータス信号（UPLINK），そしてビークル制御信号（DOWNLINK）を送受する。ビークルに2種類の重錘（第1重錘，第2重錘）を搭載して運用する。目的深度までは、スラスタを用いずに第1重錘（下降速度は重量を調整）の

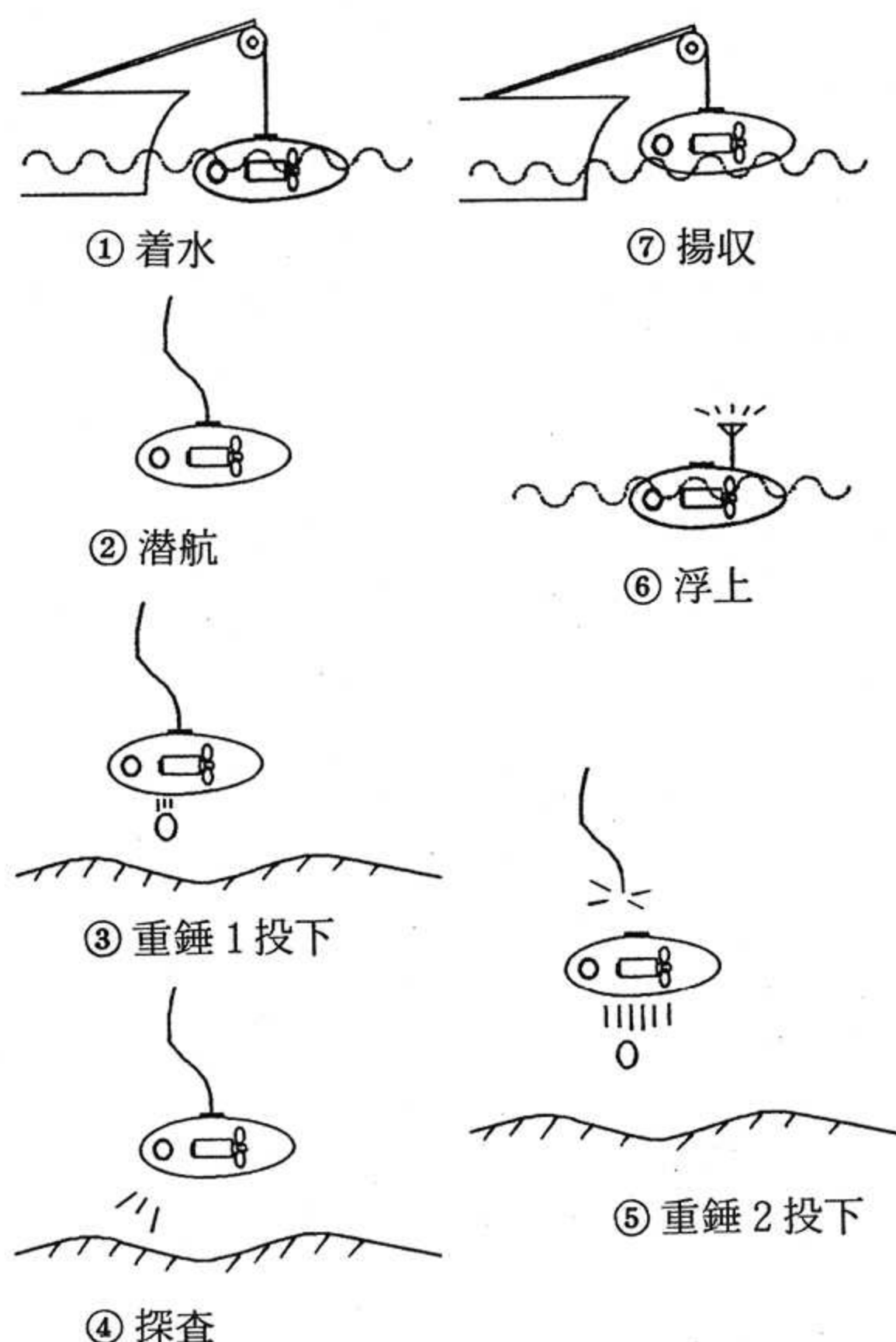


図2 オペレーション
Fig.2 Operation

重量で下降する。目的深度に到達すると第1重錘を投棄する。この状態ではほぼ中性浮量となるように予めバラストを調整しておく。探査が終了すると第2重錘を投棄し、正浮力を得て海面に向け上昇する。また、この時に光ファイバをビークル上部の光ファイバ引出口付近に設置したカットで切断する。浅海域で使用する場合、第1重錘を搭載しないでビークルをほぼ中性浮量に調整して使用することもある。（上下スラスタで目的深度まで潜航する）

表1に試作中のUROVの開発目標性能を示す。

表1 UROVの主な仕様
Table 1 Specification

項目 item	仕様 specification
寸法 dimension	800(W)×2,000(L)×1,000(H)mm
重量 weight	約500kg
構造 structure	アルミパイプ pipe frame. FRP body
電源 power source	ニッケル亜鉛電池 Ni-Zn battery 48V20AH, 24V10AH, 12V40AH
推進器 thrusters	直流油漬モータ 200W×3 D.C. oilfilled moter
ケーブル cable	φ1 100,000m G. I. type optical fiber

3. ビークル本体の構造

ビークル本体は、耐水圧ケース、光ファイバ・スプーラ、スラスタ、フレーム、浮力材、フェアリングカバーで構成される。耐水圧ケースは、電池収納ケース（2個）、制御回路用ケース（2個）、トランスポンダ用ケース、カラーテレビカメラケース、白黒テレビカメラケースの計8個である。材料は全てアルミニウム合金A7075-T6を用いている。これ等耐水圧ケースを、アルミニウムフレームに固定し、耐水圧ケース間の間隙には浮力材を挿入している。浮力材は比重0.54でガラスマイクロバルーンを用いたシタックチックフォームを使用している。スラスタは前後進用2基を左右両側に各1基、上下進用1基を中央部に

設置している。カラーテレビカメラは前方下部に置いている。白黒テレビカメラは主に光ファイバの監視に用いるためビークルの上部に設置する。ビークル外被のフェアリングカバーはFRP製である。前進方向の流体抵抗を低減するとともに目的深度への下降時間、終了時の海面への上昇時間を小さくするためにビークルは垂直方向に扁平な形状となっている。

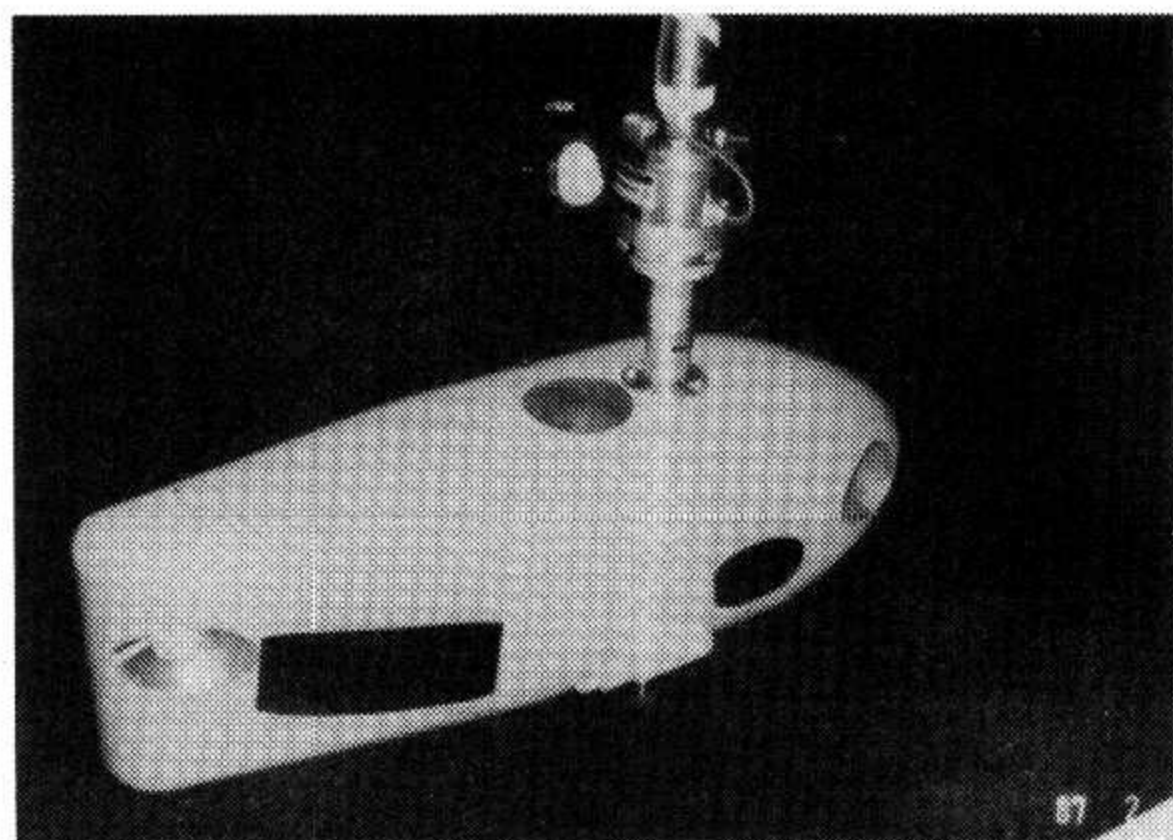


写真 1 流力特性試験中の模型
Photo.1 Model under Hydrostatic Test

4. 主なビークル搭載機器

4.1 電池

使用電池の選定条件として高エネルギー密度、安全性、コスト等を考慮して、二次電池であるニッケル亜鉛(Ni-Zn)電池を用いることにした。一次電池はランニングコストが高いことで採用しなかった。Ni-Zn電池のエネルギー密度は鉛電池の約2倍、Ni-Cdの約1.5倍、Ag-Zn電池の約1/2である。Ag-Zn電池は高価で入手が難しく採用を見送った。採用したNi-Zn電池は密閉式で漏液の心配が少ない。また、直流モータ、照明灯に用いても放電性能が高いので高率放電が可能である。しかしながら、充放電回数が約100回と寿命が短いのが欠点であるが、試作機用としては十分に仕様を満足できると判断した。

4.2 テレビカメラ

小型軽量化のため、CCD(Charge Coupled Device)タイプのカラーカメラを試作した。CCDとレンズ部を耐水圧ケース内部でパンおよびチルトすることができる。透視窓はアクリル樹脂製のドームポートを用いている。

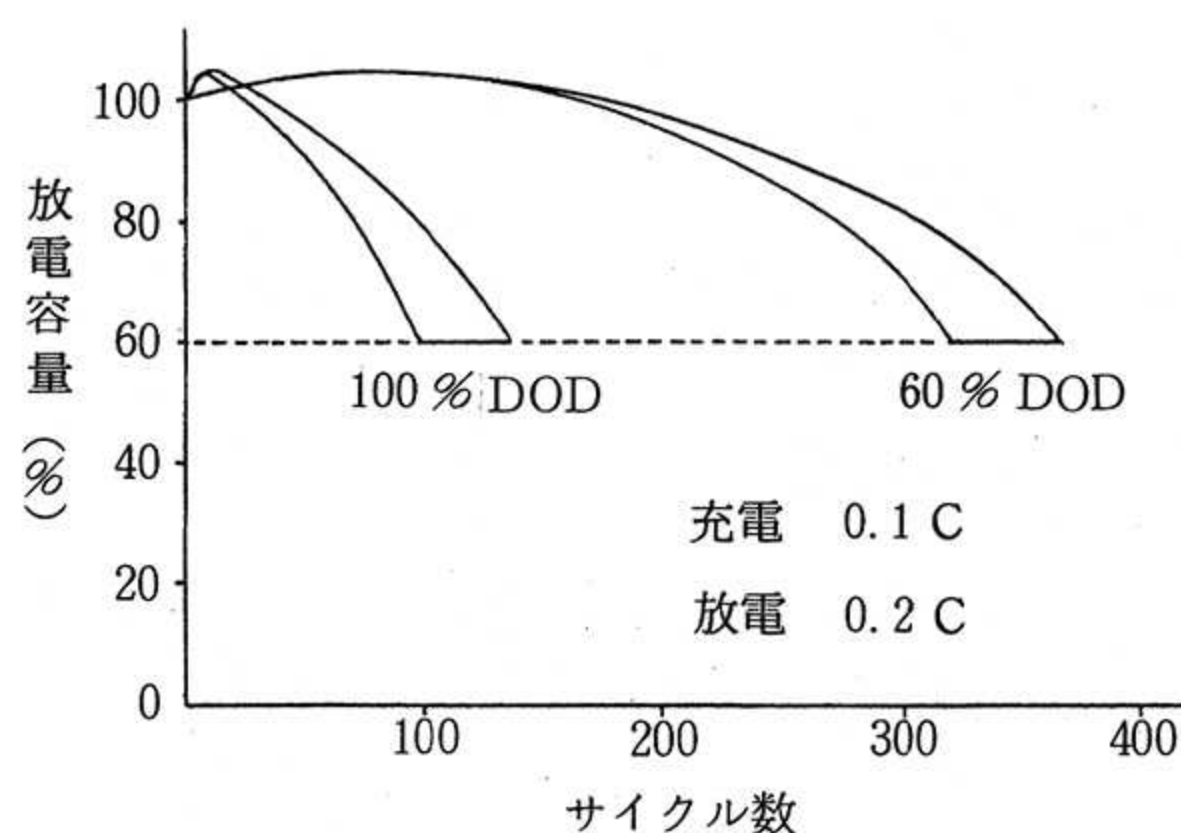


図 3 サイクル寿命
Fig.3 Cycle Service Life

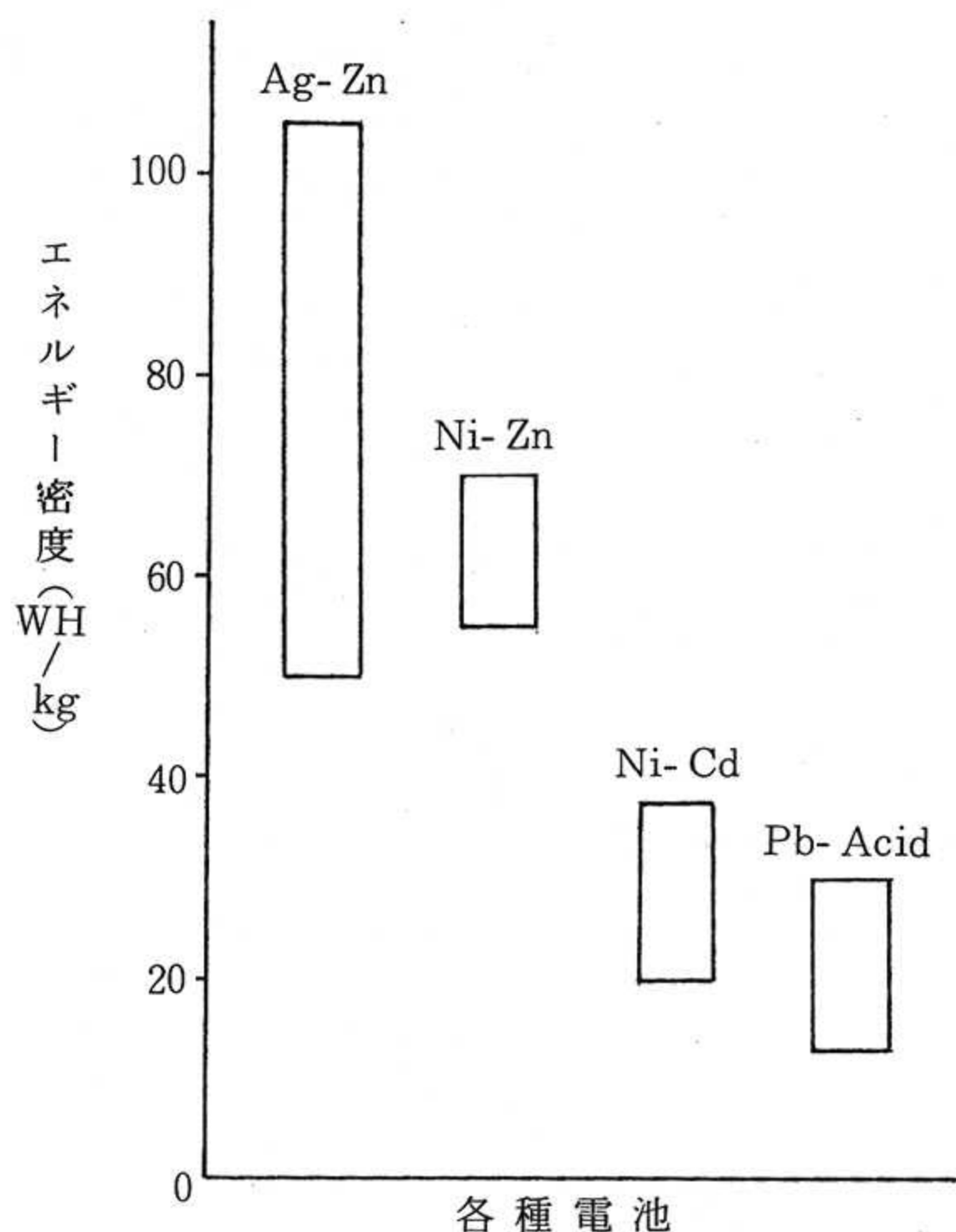


図 4 電池のエネルギー密度
Fig.4 Energy Density

光ファイバのリリースする状況観測のために白黒テレビカメラを製作した。撮影素子はCCDで最低照度が1ルクスである。

4.3 制御回路ユニット

制御回路基板は、内径200mmの円筒ケースに収納するために寸法を140×140mm角に統一した。電子回路ラックは直流モータ駆動用パワートラン

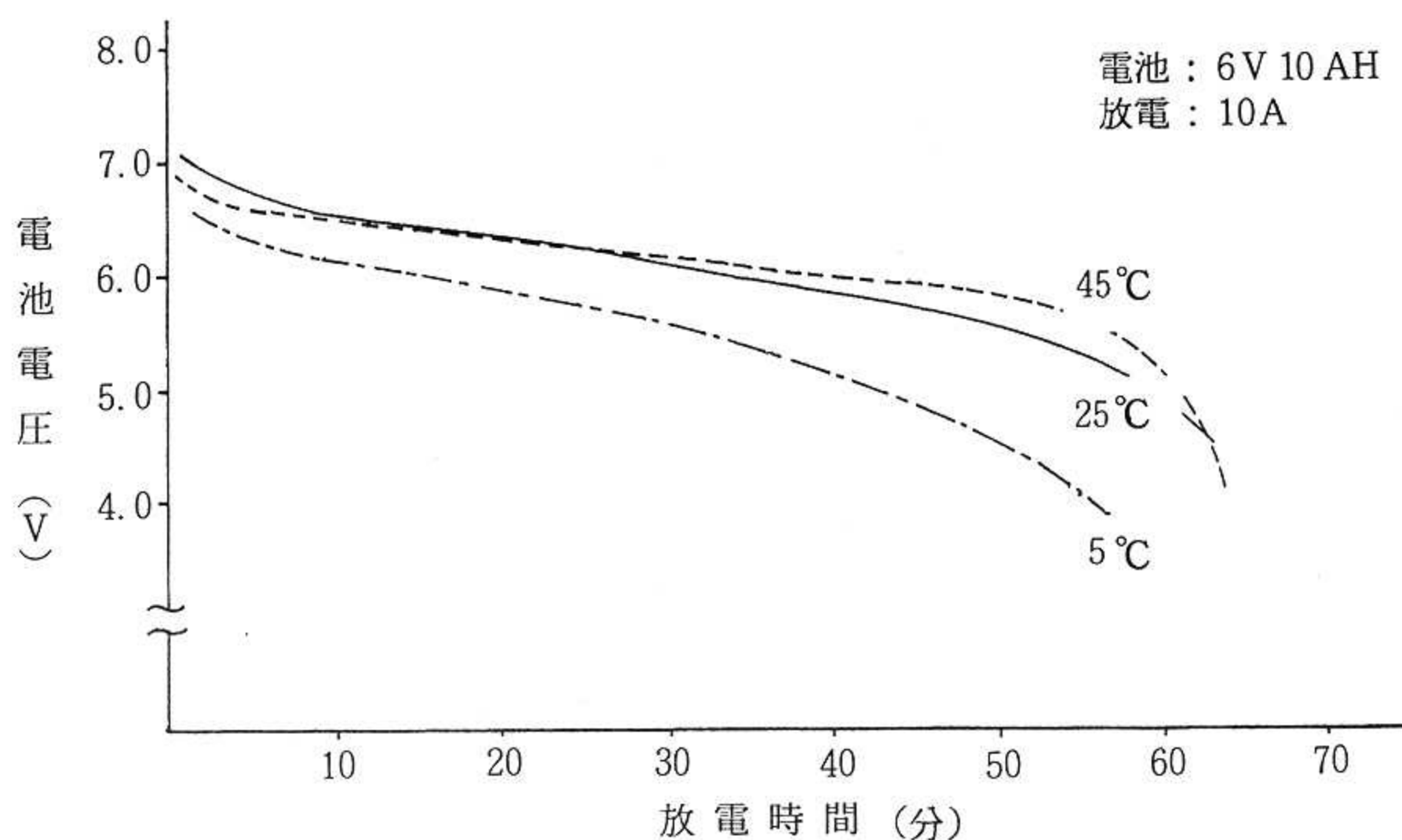


図5 放電特性
Fig.5 Discharge Curves



写真2 カラーテレビカメラ
Photo. 2 Color TV Camera

ジスタの放熱シャーシをも兼用している。ラックに組み込まれている純水ヒートパイプを介して耐水圧ケースに熱を放熱する。制御回路は、マイクロコンピュータ基板を中心にUPLINK回路（ビークルから支援母船上の制御装置へのデータ）・DOWLINK回路（支援母船→ビークル）のインターフェース、深度センサ、フラックスゲート方位計等センサ回路、直流モータドライブ回路等で構成される。

4.4 光通信回路ユニット

制御回路ユニットの耐水圧容器と同寸法に統一するため、内径を200 mm、長さ300 mmの容器に

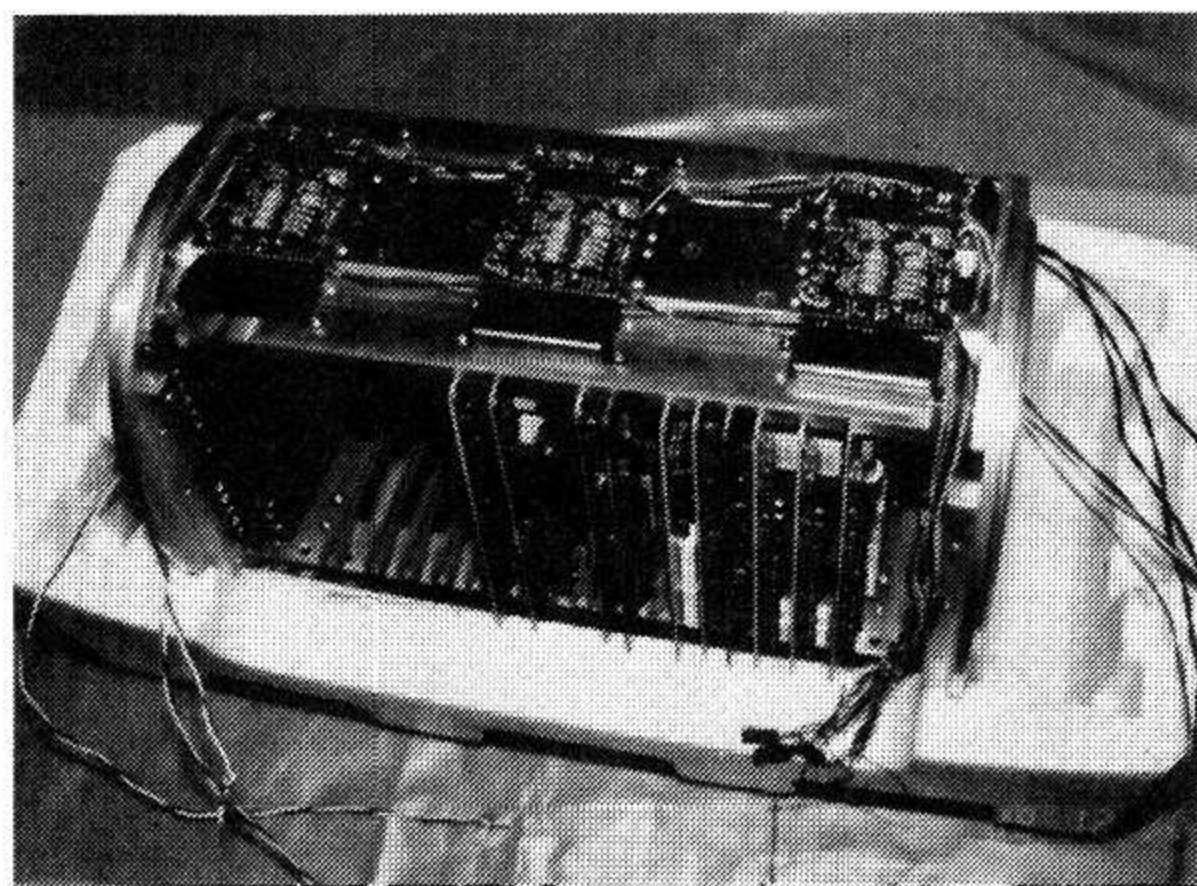


写真3 制御ユニット
Photo. 3 Control Unit

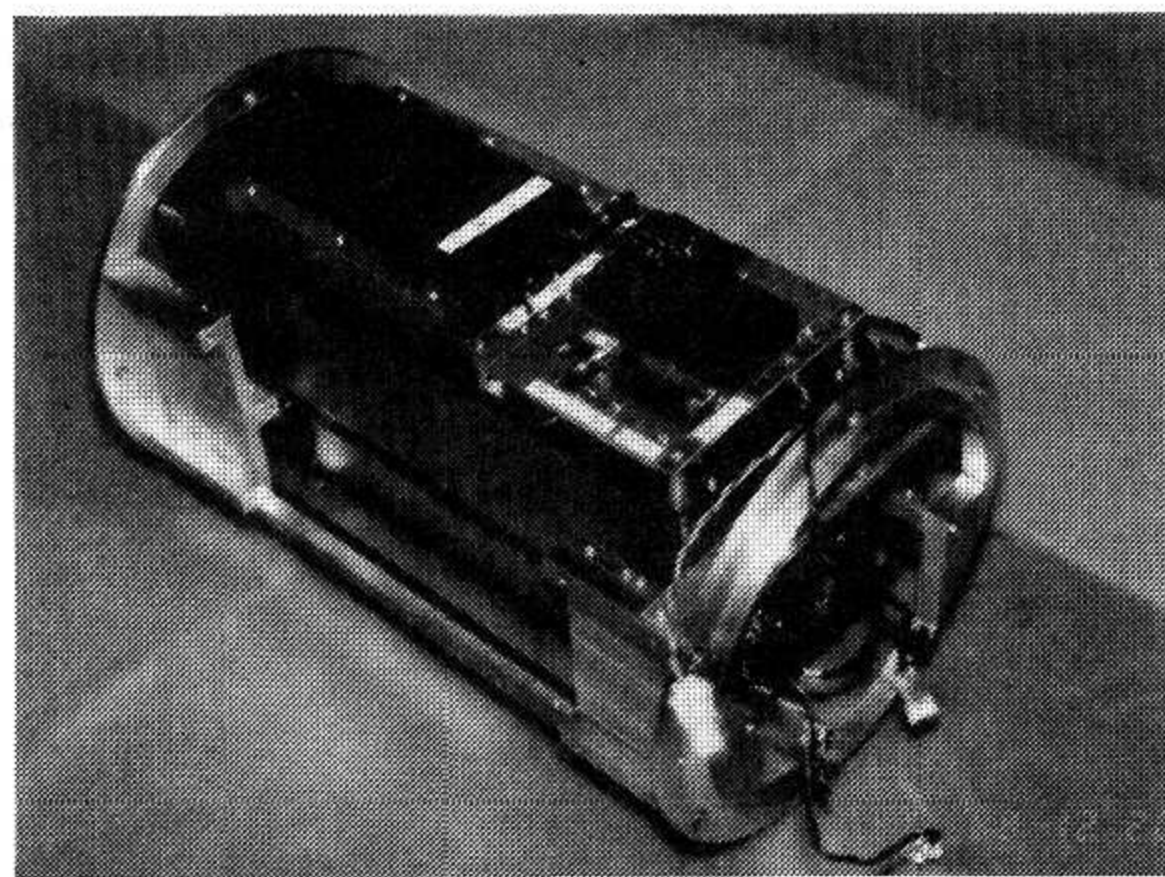


写真4 光通信ユニット
Photo. 4 Optical Transmission Unit

入れた。

テレビ映像信号を電気・光変換し、支援母船上の制御装置に伝送する。母船上の制御装置から制御コマンドの光信号を受信し、電気信号に変換する。

5. 光ファイバ通信と制御システム

5.1 光ファイバ

UROVシステムにおいて、光ファイバの性能はシステム全体の良否を決定するといっても過言ではない。

光ファイバは外部より圧力を受けると被覆の座屈あるいはマイクロベンディングにより光損失が増加することが報告されている⁵⁾。水圧を受けても微小な光損失の信頼性の高い光通信を確立しなければならない。また、光ファイバを大量に使用するため低コスト化を計らなければならない。

水圧テストサンプルを試作し、水圧試験を実施した。1,200及び1,500kgf/cm²の圧力下においても光損失が微小な試験結果を得た。図6に示すFRP被覆光ファイバは、GI(Graded Index)型・コア径50μm・クラッド径125μmの光ファ

イバ芯線にシリコンバッファ層をコーティングし、更にその外周をGFRPで覆った形状を成す。仕上がり外径は、約1.2mmである。全長200mをボビンに巻き、水圧試験を実施した。図6に示す如く、1,200kgf/cm²の圧力テストにおいて光損失量の変化は、約±0.5dB/kmである。図7はGI型・コア径50μm・クラッド径125μm・ナイロン被覆外径0.95mm・全長3,000mの光ファイバ水圧テスト結果である。昇圧時50kgf/cm²付近までの急激な損失増加は、貫通コネクタ部で発生する応力集中によるものと思われ、その後の1,500kgf/cm²までの緩やかな増加は、光ファイバと貫通コネクタ部で発生する損失の和であると思われる。図7の光ファイバは大量生産設備を使用して製作された光ファイバなので市販光ファイバとほぼ同じコストで入手できる。

5.2 光通信

UROVの光通信システムは、テレビカメラ信号1系統、ビークル制御信号、そしてビークルのステータス信号の3信号を光により伝送する。第1段階として6,000m伝送装置(第2段階は、10,000m伝送を予定)を試作した。船上装置か

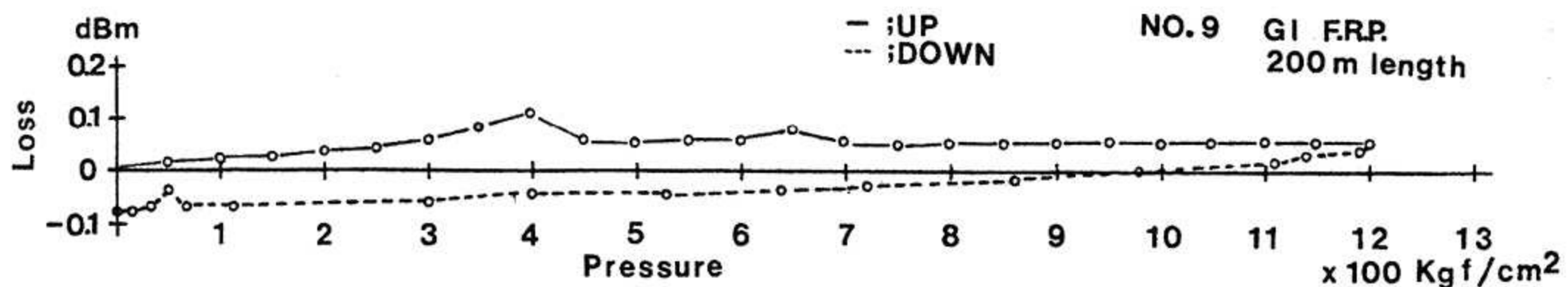


図6 水圧下の光損失
Fig.6 Optical Transmission Loss Under Pressure Test

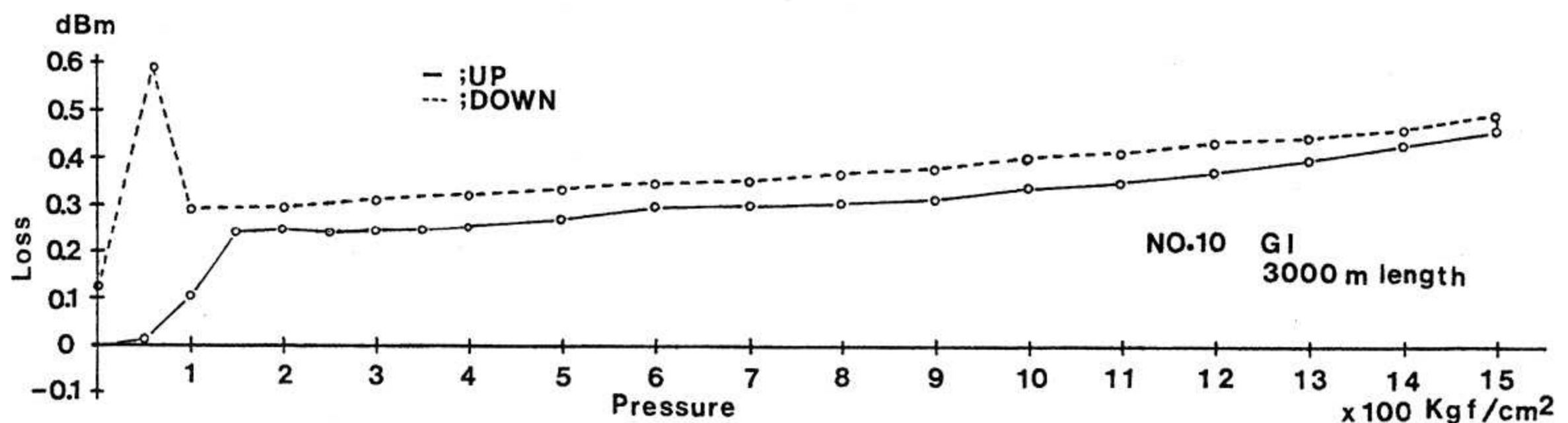


図7 水圧下の光損失
Fig.7 Optical Transmission Loss under Pressure Test

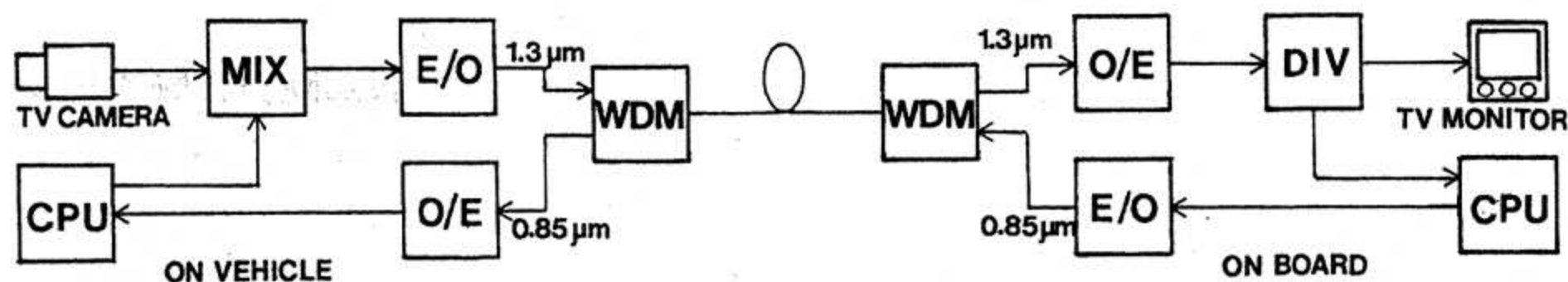


図8 光通信システム
Fig.8 Optical Transmission System

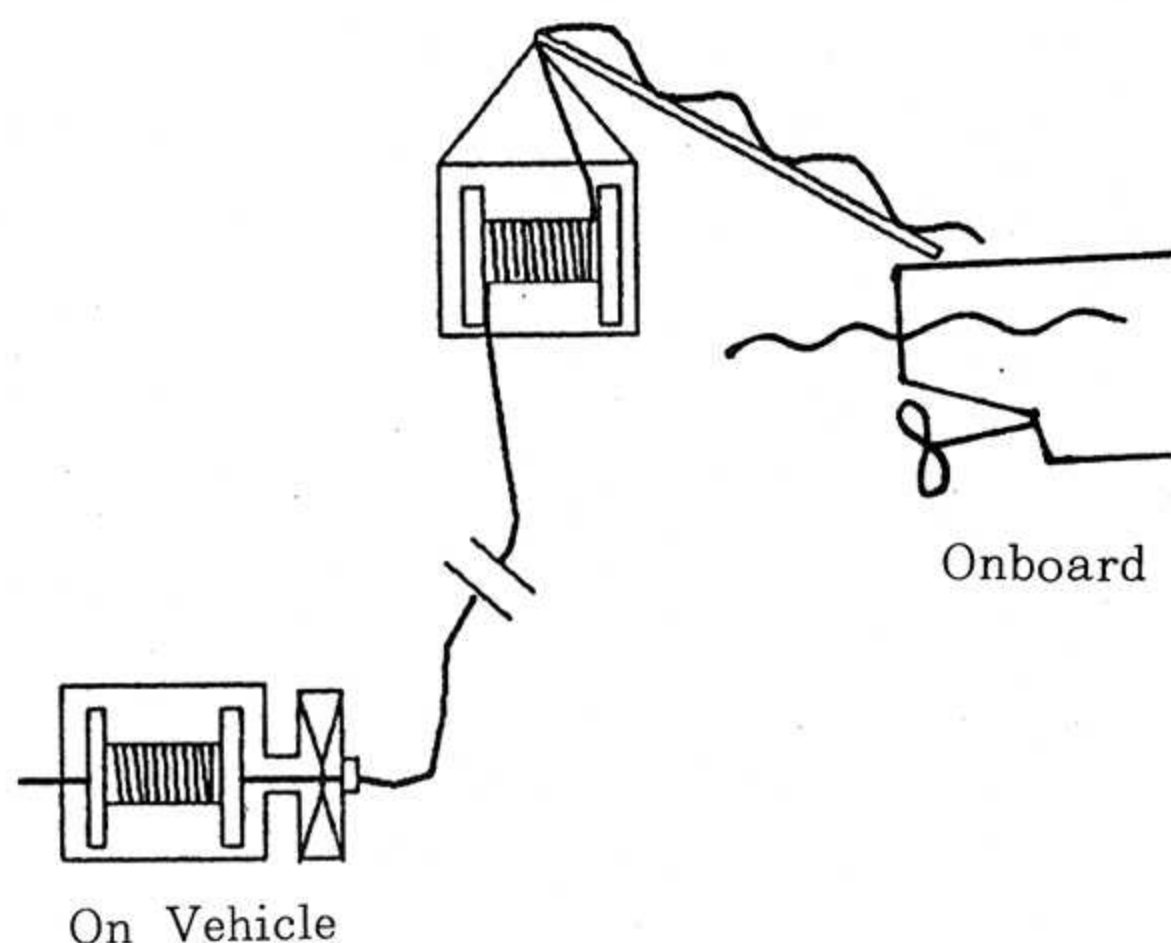


図9 光ファイバ・スプーラ
Fig.9 Optical Fiber Spooler

ら出力される制御信号は、非同期のRZ (Return Zero) 形式のデジタル信号で $0.85\mu\text{m}$ 帯のLEDを用いて伝送する。一方、ビークルから出されるステータス信号は、ビデオ信号 (テレビカメラ信号) の水平同期第12Hから第19Hの8Hに割り込ませ $1.3\mu\text{m}$ 帯のLEDを駆動して船上装置へ伝送する。光ファイバ6,000mを接続し伝送試験を行った。テレビ・デジタル重畳信号等の伝送試験は良好な結果を示した。

5.3 制御装置

船上制御装置は、光通信ユニット、演算制御ユニット、表示ユニットで構成している。光通信ユニットは、UPLINK信号である画像伝送とステータス信号の合成信号を分離し、テレビ画像信号を表示ユニットへ、ステータス信号を演算制御ユニットのCPUへ入力する。また、CPUから出力されてくるビークル制御信号を光信号に変換し、ビークルに伝送する。ビークルの推進器である直



写真5 制御装置
Photo.5 Controller

流モータのコントロールは、コントロールボックスに取り付けたジョイスティックを操作することで行う。ジョイスティックに取り付けられたポテンショメータの電圧値をA/Dコンバータでデジタル値に変換し、CPUに取り込む。CPUはこの指令値を対応するスラストの回転パラメータに変換し、このパラメータをビークルに伝送する。深度、方位の自動保持を行う場合は、ビークルから伝送されてくる深度、方位のデータとジョイスティック指令値とを演算してスラスト回転パラメータを決定する。ビークル内のスラストサーボアンプはFETのフルブリッジで構成したPWM方式

を採用している。

6. おわりに

今年度、UROV の機体に制御システムを組み込み、全体システム・チェックを実施する予定である。また、光ファイバのスプーリング状況、低温度下の電池放電性能等の計測をする予定である。

無人潜水機は、全世界で累計で 1,000 機以上製作されている。しかしながら無索無人潜水機は、数10機の製作例にとどまり、実用化されているのは仏国製“EPAULARD”だけといってもよい。搭載可能な小型、軽量で安全なエネルギー源が見当たらず、現状技術ではアルカリ電池等に頼らざるを得ない。また、独立独航を可能にするには、状況判断、価値判断のできる人工知能を開発する必要がある。これ等の難問を解決するには、まだ幾多の年月が必要と思われる。本システムは、有索方式と無索方式の中間的な方式であり、日本においていまだ開発されていない。本システムを研究開発することが、無索無人機開発の基礎になると考えている。

本システムを開発するにあたり、住友重機械工業㈱、住友電気工業㈱の担当各位、また、電気通信大学の望月仁教授、実習生越智寛君、高部文宏君、田嶋慶太君の各氏にご協力いただいた。以上の各位に謝意を表します。

参考文献

- 1) 青木太郎, 服部睦男, 野本昌夫, 高橋賢一:
“自航式ビークル「HORNET-500」の開発”
JAMSTECTR, No.12, pp.39-49., (1984)
- 2) 青木太郎, 高橋賢一, 服部睦男: “小型ROV制御システムの開発” JAMSTECTR, No. 17, pp. 65-74., (1986)
- 3) 青木太郎, 服部睦男, 野本昌夫, 高橋賢一:
“無人潜水機の光通信システムについて”, 電気学会計測研究会, IM-87-28., (1987)
- 4) 青木太郎, 服部睦男: “無人潜水機の研究開発”, 造船学会, 第8回海洋工学シンポジウム pp. 89-96., (1989)
- 5) 西村真雄, 泉村信太郎, 飛田進: “光ファイバ被覆構造と水圧特性” 昭和54年度電子通信学会総合全国大会, (1979)
- 6) 藤井健吉, 油布浩, 河村千章: “小型密閉ニッケル-亜鉛電池について” YUASA-JIHO, No. 57, pp. 32-39., (1984)

(原稿受理: 1989年5月24日)