

細径ケーブル無人潜水機「げんたつ500」の実証試験

月岡 哲*¹ 青木 太郎*¹
粕谷 芳夫*² 家接 直人*²

平成元年度から平成3年度まで行われた福井県との地域共同研究では、海洋生物資源の調査を目的とした無人潜水機「UROV500」が建造された。「UROV500」は、センターが所有する「UROV2000」をベースにした実用機である。UROVの大きな特長は支援母船と結ばれるケーブルが非常に細く海水から受けるケーブル抵抗がなく、無人潜水機が自由に運動できることである。「UROV500」は福井県沖の天然礁「げんたつ瀬」にちなみ、「げんたつ500」と命名された。

平成4年度より海洋科学技術センターと福井県は、「細径ケーブル無人潜水機の運用に関する研究」と題する通常の共同研究を開始し、「げんたつ500」の実用性を評価しながら福井県の運用体制の確立をバックアップしてきた。その結果、「げんたつ500」はシステムの特長を十分に発揮し、建造時の目的である生物資源の調査を有効に行えることが解った。

ここでは「げんたつ500」システムの概要と、運用面の安全性から行われた機器の改良について報告する。

キーワード：UROV, 光ファイバー, 光ファイバー通信, 油漬ニッカド電池

Seafloor Surveying Results with a Practical Expendable Optical Fiber Cable ROV "GENTATSU 500"

Satoshi TSUKIOKA*³ Taro AOKI*³
Yoshio KASUTANI*⁴ Naoto IETSUGU*⁴

This paper presents a practical expendable optical fiber cable ROV "UROV500" system which is modeled from the prototype "UROV2000" and the successfully conclusion that been obtained from practical surveying. Only one small diameter optical fiber cable is tied between the underwater vehicle and the onboard control

-
- * 1 深海開発技術部
 - * 2 福井県水産試験場
 - * 3 Deep Sea Technology Department
 - * 4 Fukui Prefectural Fisheries Experimental Station

system. Therefore, UROVs can move freely without restriction. In particular, the "UROV500" has many equipments such as CCD cameras, that are most suitable for underwater ecological surveying

Key words : UROV, Optical fiber, Optical fiber communication,
Oil immersed battery

1 はじめに

無人潜水機は大別して有索型と無索型に分けられるが、いずれも基本的に遠隔操作で運用されている。有索無人潜水機は支援母船とケーブルで結ばれるが、ケーブルには電力の供給と各種信号の伝送の2つの目的がある。支援母船から電力供給を受ける場合、無人潜水機は時間制限を受けずにマニピレーター作業などを連続して行うことが可能である。しかし、電力を供給するケーブルは供給電力に応じて太くなる。仮に供給電圧を上げ、ケーブルに流れる電流を小さくしたとしても、絶縁体の断面積が大きくなりケーブルを一意的に細くするのは難しい。このため、無人潜水機が移動するときに引き回したケーブルに無人潜水機自体が拘束されたり、繰り出したケーブルに十分な余裕がないと無人潜水機が母船に引きずられ操縦が困難になることがある。また、電力供給の他にも船上のオペレータが制御装置を介して無人潜水機に与える指令や、海中の無人潜水機で得られた各種センサーのデータを相互に通信するため、電力線と複合ケーブルにする必要がある。

一方、無索無人潜水機はケーブルがないので、ケーブルからの拘束は受けないがエネルギーの補給や、母船と無人潜水機間の観測データなどの情報伝達が難しい。この他にも、母船からの指令に代わり無人潜水機を操縦する人工知能を応用した自律機能が未だ研究途上にあり、観測用の無人潜水機として実用に耐えるものは期待できない。これに対して細径ケーブル無人潜水機は、エネルギー源として2次電池を内蔵し、船上の制御装置からの制御信号と無人潜水機からの画像信号などのデータを、双方向に光伝送する1本の光ファイバケーブルで結ばれている。この光ファイバケーブルは、直径1mmの細径であるが信号の高速伝送や

多重化に向き、かつ、一般に用いられるケーブルに比べ無人潜水機の運動に与える影響がなく、無人潜水機は自由に行動できる利点がある。また、利用した光ファイバケーブルは海中で用いる目的に作られた製品ではなく大量生産が可能であること、補強を行わず光ファイバ心線のみ構造とし1回使用した光ファイバケーブルは再使用しないことが前提のためコストが安い。これにより先に述べた有索無人潜水機と無索無人潜水機の間に位置づけられデータの高速・高密度伝送と、ケーブルの拘束を受けないというそれぞれの無人潜水機の長所を備えた無人潜水機が実用となった。ただし、運用時間はケーブルから無制限に電力が供給される有索無人潜水機と異なり、内蔵されたバッテリーの容量で制限されてしまう。

2 UROV500 システムの概要

写真1及び図1に、UROV500の外観とシステムの概要を示す。支援母船と無人潜水機は光ファイバを介して結ばれ、支援母船上にはUROV



写真1 UROV500の外観
Photo 1 UROV500

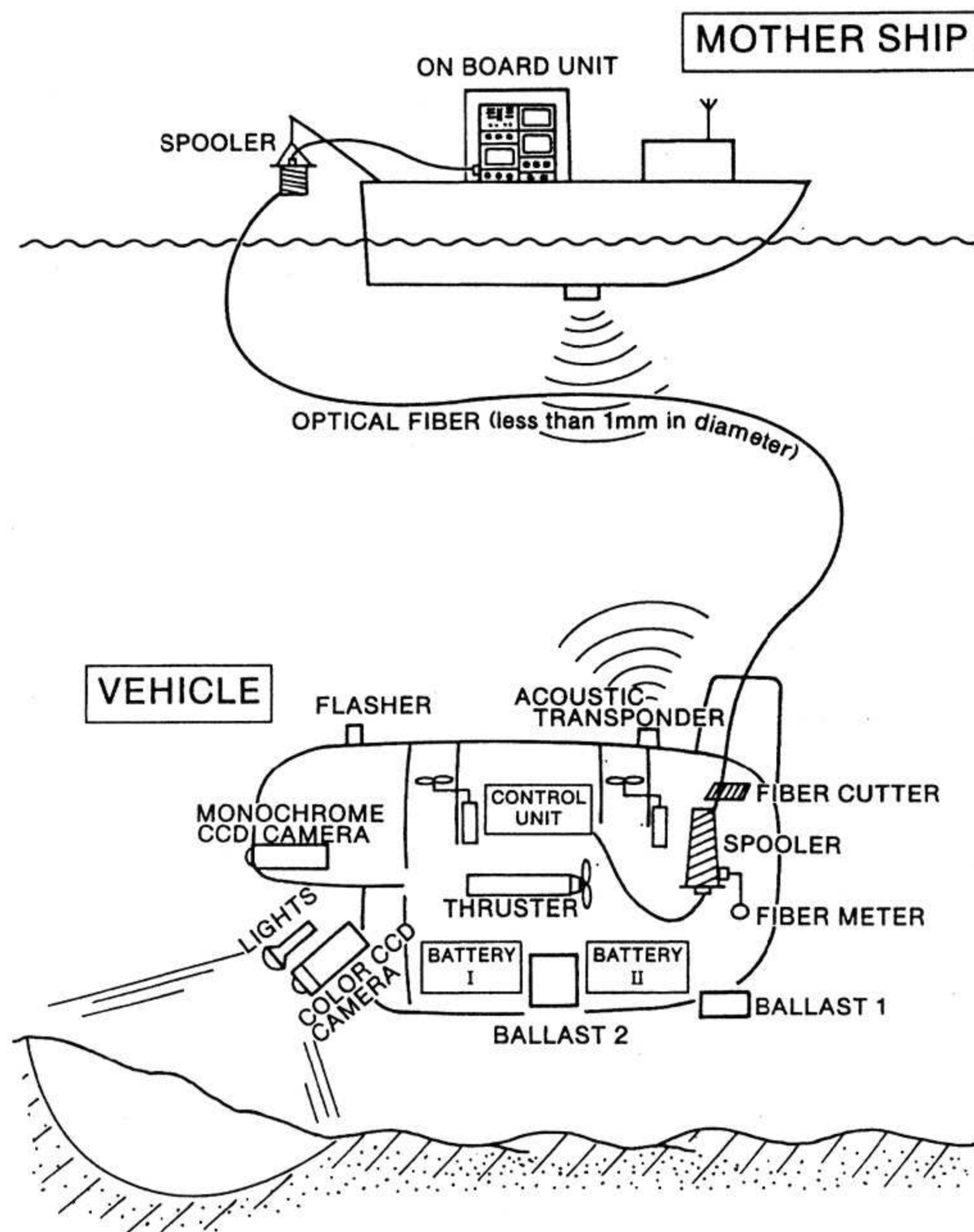


図1 UROV システムの概要
Fig. 1 Outline of UROV500 system

500 システムの船上制御装置と、無人潜水機を測位するための SSBL 方式の音響測位装置などが装備される。直径が 1mm の細径ケーブルを使用しているため、調査に必要な長尺のケーブルでも、小型軽量の糸巻型の無回転繰り出し装置（光ファイバースプーラ）に収納できる。アーマードケーブルを使用するシステムでは、支援母船上にケーブルウィンチ、油圧装置などの大型機器が必要となるが、UROV システムでは着揚収のためのクレーンが必要なくらいである。支援母船は福井県水産試験場の所有する排水量 147 トンの漁業資源調査船「福井丸」である（写真 2）。後部甲板上に「げんたつ 500」と船上制御装置を艀装すると他の機器を備える甲板の余裕はなく、無人潜水機システムをコンパクトに設計することの重要性がうかがえる。

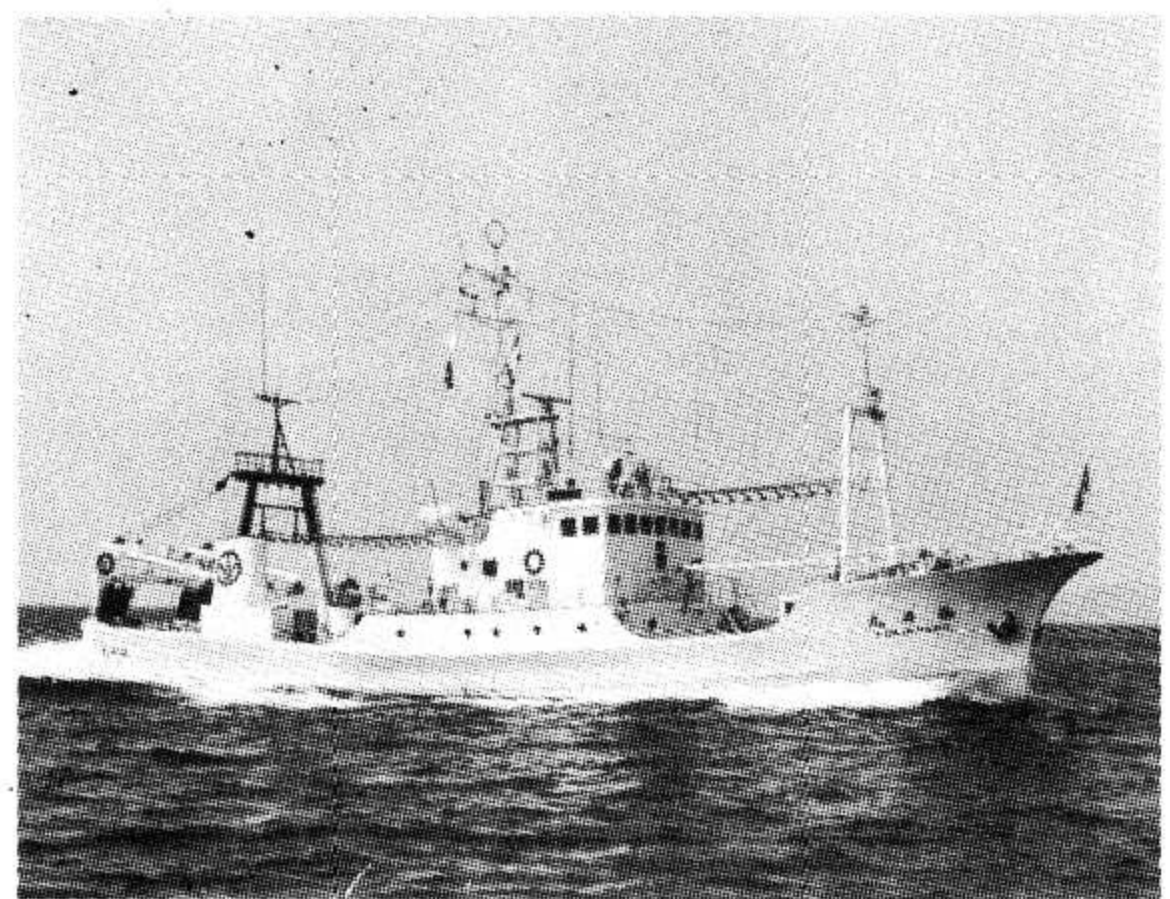


写真 2 支援母船「福井丸」
Photo 2 Mother ship "FUKUIMARU"

2.1 無人潜水機の概要

図2のように無人潜水機は主としてアルミニウムパイプで組み立てられたフレームに、観測機器と制御装置などを取り付けている。観測装置は表1で示すように白黒テレビカメラ、チルト機能を持つカラーテレビカメラ、スチルカメラなどの撮影用の機器と、温度・圧力センサーなどである。推進装置は直流モータとプロペラからなるスラストで、水平・垂直方向の推力を発生するためにそれぞれ2基、合計4基を備える。無人潜水機の移動、観測機器の制御は耐压殻に収納された電子装置により行われ、それらに電力を供給するためのバッテリー、水中で中性浮力を得るための浮力材としてガラスマイクロバルーンを用いたシタックティックフォームから構成される。また、運用を支援するための装置として音響測位のためのトランスポンダ、海面に浮上したとき無人潜水機的位置を確認するためのラジオビーコン、フラッシャーを備える。バッテリーはUROV2000ではニッケ

ル亜鉛電池を用いたが、UROV500は実用機であり不特定多数の人が操作することを想定し、エネルギー密度は劣るが、安全性・耐久性と保守性に優れる油漬ニッカド電池を採用した。

2.2 船上制御装置の構成

船上制御装置は写真3のように19インチの標準ラック2本に収納される。ここには無人潜水機の運動を制御する操縦桿（ジョイスティック）などの各指令装置と、無人潜水機で得られた海中の映像をモニタできるテレビモニタなどの観測装置、映像の記録のためのビデオテープレコーダが収納される。UROV500システムは無人潜水機の操縦と観測機器の操作のため、2名のオペレーターにより運用される。操作性を良くするため、無人潜水機の運動を制御する操縦桿、主として観測装置の制御を行うスイッチボックスは、無人潜水機に取り付けられた白黒テレビカメラ、カラーテレビカメラの画像を映す2台のテレビモニタの前に置かれ、無人潜水機の周囲環境を観察しながら操作

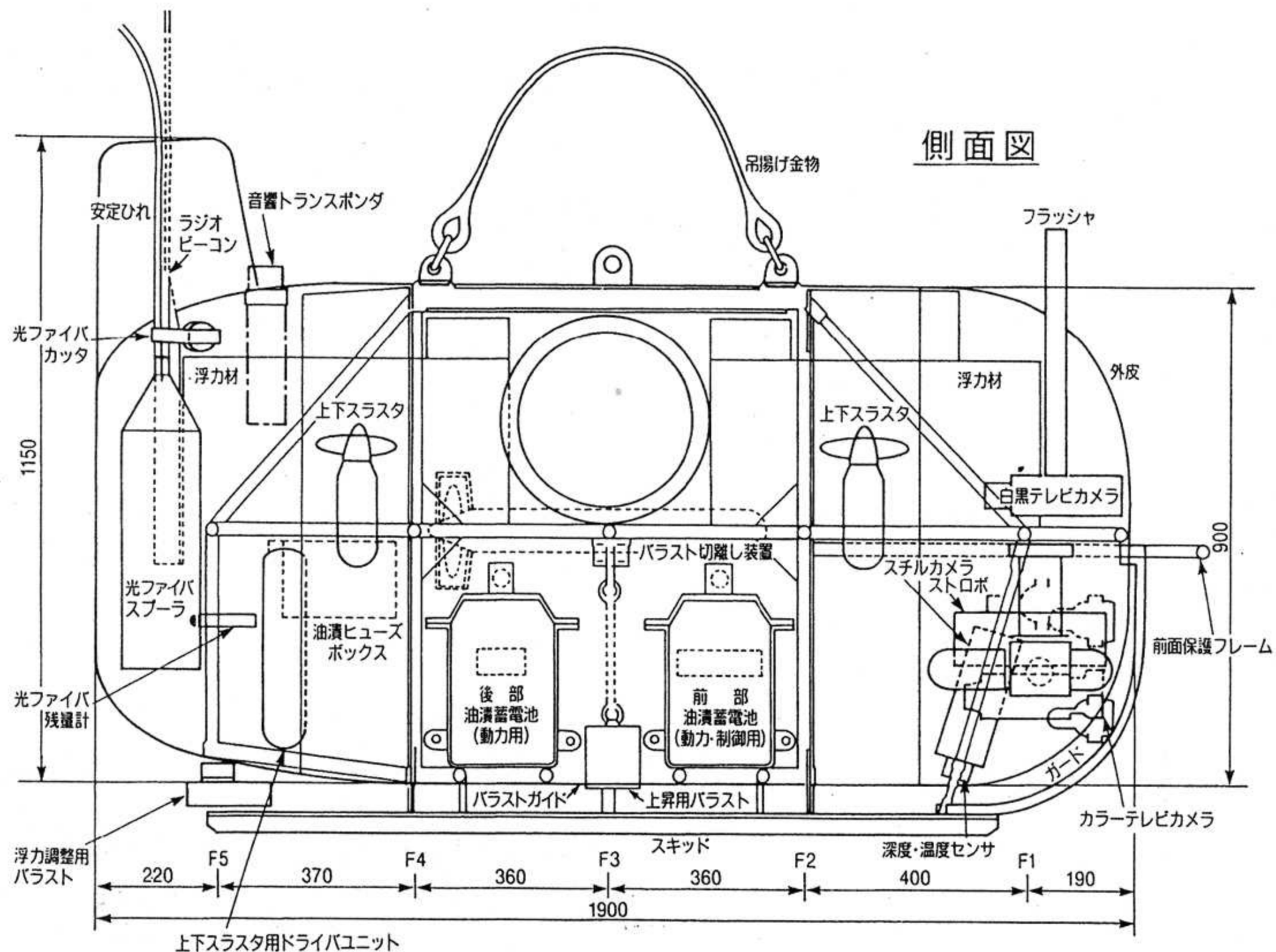


図2 UROV500の構造
Fig. 2 Structure of "UROV500"

表1 UROV500の仕様
Table 1 Specification of "UROV500"

項目	UROV500 実用機「げんたつ500」
重量	約500Kg (空中)
寸法	約1.9(L)×0.8(w)×0.9(H)m
最大使用深度	500m
速度	1 knot (Max. 2knot)
航法時間	2時間(1knot巡航)
電源	Ni. Cd2次電池, 100V20AH, 24V20AH
推進器	直流ブラシレス油漬モータ500W×2, 250W×2
光通信	3光波多重
観測機器	1/2インチCCDカラー-TV 8倍ズーム f=8.5-68mm F1.4 マクロ機能 1/2インチCCD白黒TV f=8mm F1.6, 35mm スチルカメラ&ストロボ
その他装備品	音響測位用トランスポンダ, 重錘切離装置, フラッシャー, ラジオビーコン, 水温計

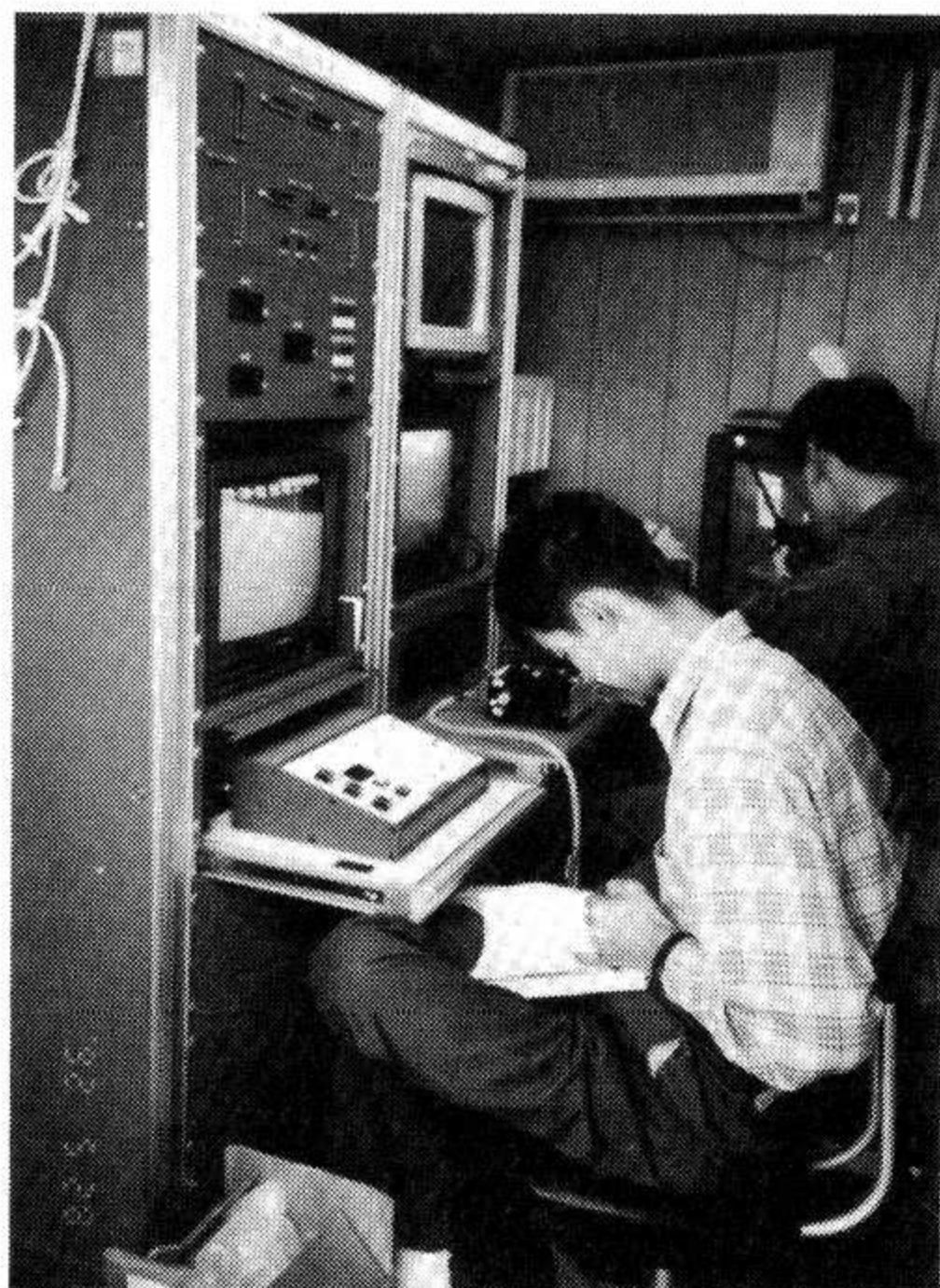


写真3 船上制御装置
Photo 3 Onboard control console

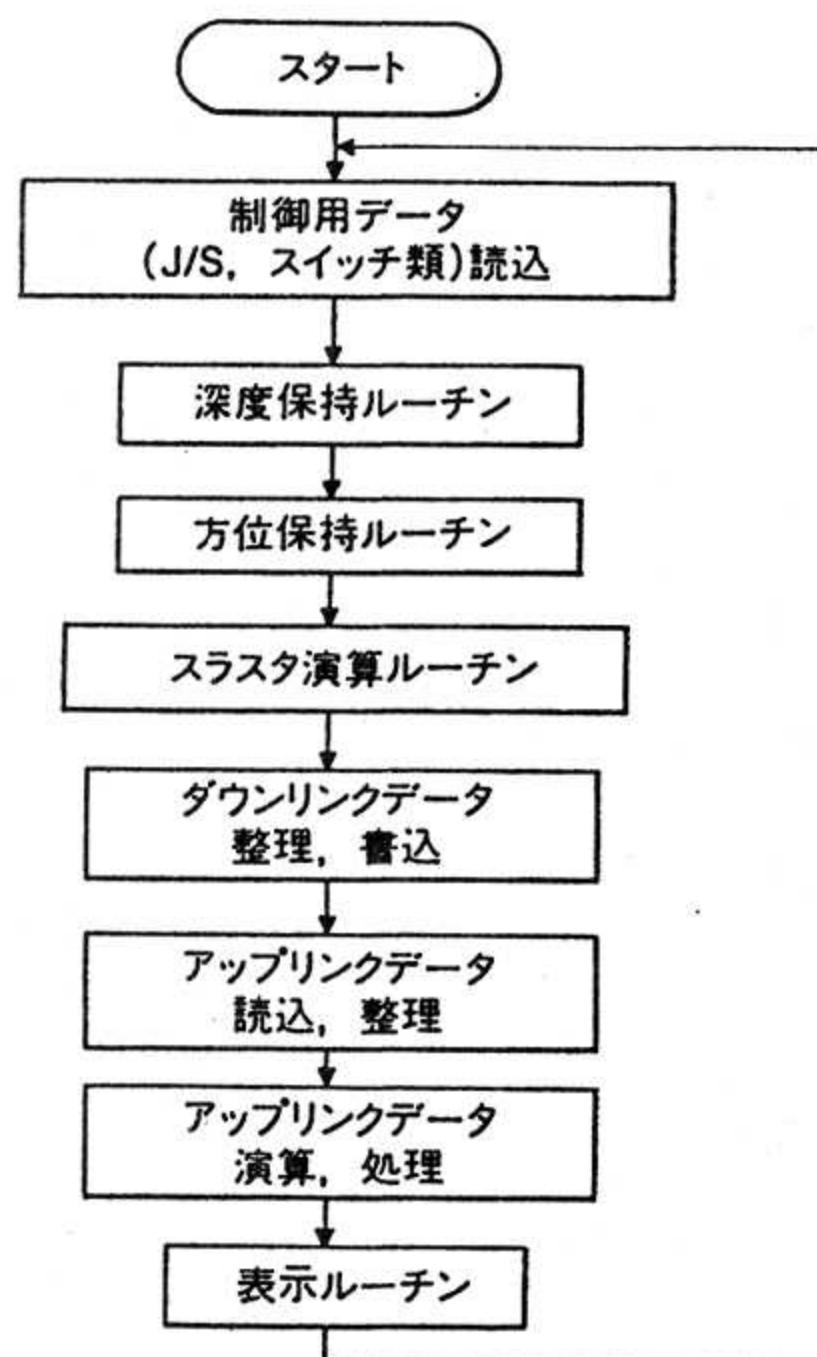


図3 制御のフローチャート
Fig. 3 Flow chart of control system

できるように配置している。また、無人機の音響測位装置による測位データは、ラックの上部に設置されたテレビモニタに座標系で表示され、母船と無人潜水機の相対位置が把握できる。無人潜水機から得られる深度・方位などのデータ、バッテリー残量などの無人潜水機の状態をあらわすデータは、ラック上部のパネルにデジタル表示される。

船上制御装置は、マイクロコンピュータにより入出力されるデータの演算と管理を行う。図3は制御装置で行われる制御の流れである。操縦桿で入力される制御データはスラスト演算ルーチンで、水平・垂直の各スラストの指令値に変換する演算を行い、観測機器等の制御を行うスイッチボックスのデータとあわせて、光伝送のためのシリアル変換を行う。一方、無人潜水機から送られるスラスト回転数などのパラメータと観測機器のデータは、演算処理を施したのち表示パネルに表示する。また、深度保持もしくは方位保持が行われているときは操縦桿の入力データをもとにスラスト指令値を演算せず、無人潜水機から送られる方位、深度データからスラスト指令値を演算する。

これらの装置は可搬型のコンテナ（高2.4m×幅2.4m×奥行3.0m）に備えつけられ、UROV500を運用する際、無人潜水機とコンテナを「福井丸」の甲板に設置すれば艀装は終了する。

2.3 光通信システムの概要

UROV500の光データ伝送システムの構成を図4に示す。水中部から船上部には白黒とカラーカメラの画像信号、観測機器のデータとスラスト回転数などの無人潜水機の状態を示す信号を光伝送する。ビデオ信号は高帯域であるので、カラー・白黒それぞれの信号について異なる波長で光伝送した。また、観測機器のデータは必要に応じてデジタル化され白黒画像信号に多重化されて船上部へ伝送される。これに対し、船上制御装置から水中部には操縦桿で入力されたスラスト指令値や、各観測機器を制御するためのデータが光伝送される。

3 バラスト投下器の改良

浮上用の第1バラストは、約20kg重の直方体の鉄の塊にフックを取付け機体内の投下装置に装着する方法であった。バラストの装着は、UROV500のスキッドの前後に高さ約40cmの台を当て機体を浮かした状態で機体下部のバラスト投下口から2名の作業員により行われた。しかし、この作業は支援母船上で行うもので、特に海象条件が悪いときは安全性に問題があること、バラストの形状から加工費が高価であること、また投下されたバラストが底引き作業中の網を傷めうるとい

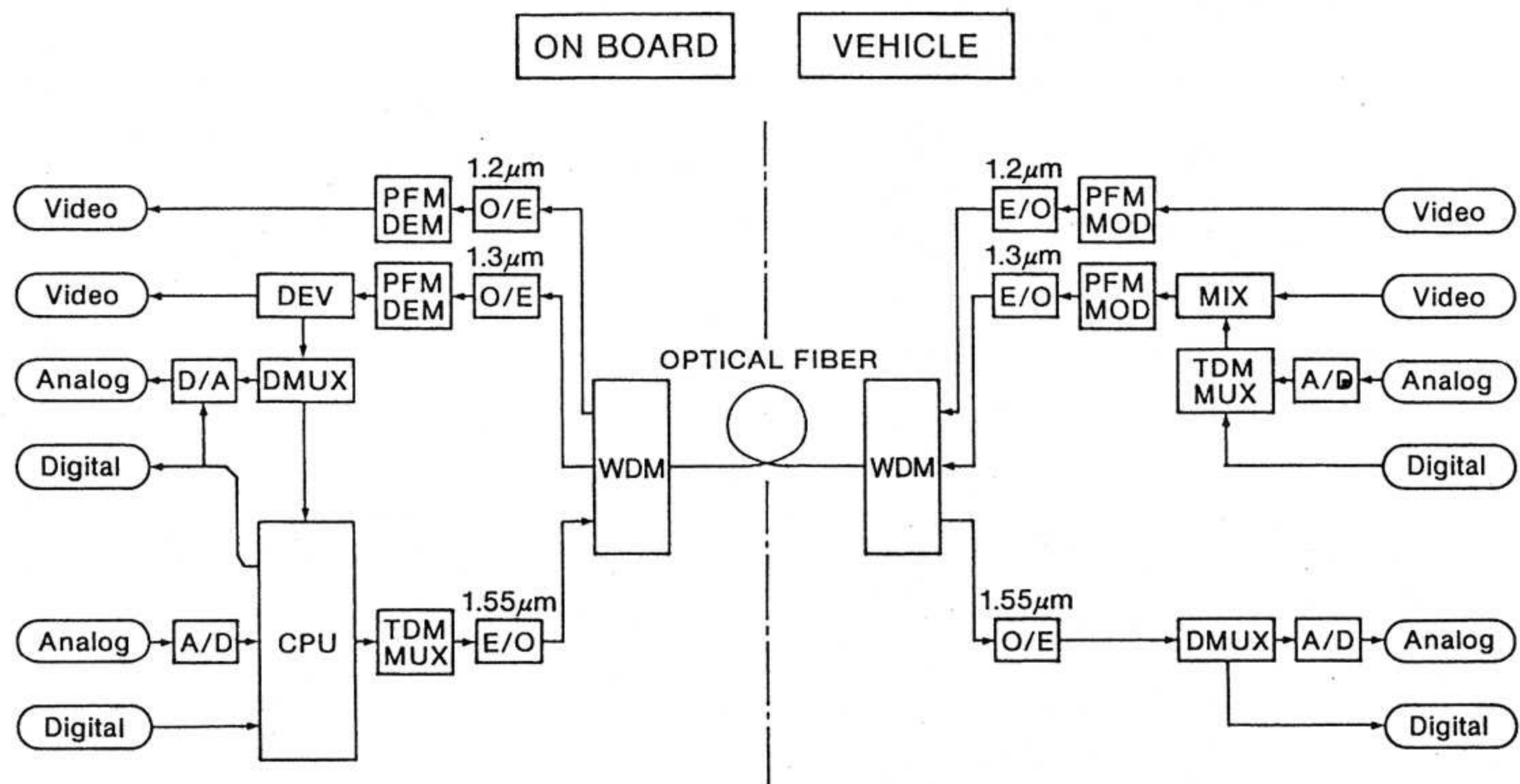


図4 光ファイバー通信システムの概要
Fig. 4 Optical fiber communication system

うことから、福井県水産試験場と協議した結果、「しんかい2000」で使用されているショットバラストに改めることにした。ショットバラストは、工業製品の表面研磨に使用する鉄の粒をバラストとして使用する。粒径は規格化されているが、今回は2mmの粒径のものを利用した。規格品のため1回の潜航に必要なバラストのコストは従来より安くなった。バラストを保持するホッパーを機体内に取付ける必要があったが、機体の改造が必要最低限で済むように、それまでのバラストが収納されている空間にホッパーと切離し装置が収まるよう設計を行い、平成4年7月に、福井県水産試験場にて改造工事を実施した。また、バラストの装填は機体上部のカバーまでホッパーからパイプを通じ、このパイプを介してバラストをホッパーに充填する。その際、バラストは海中で無人潜水機が中性浮力となるよう所定の重量をあらかじめ計測しておき、機体上部の2つのバラスト投入口から写真4のように漏斗を用いて投入する。これによりバラスト装着時にビークルに台をかませるなどの危険な作業や、ビークルをクレーンで吊っ

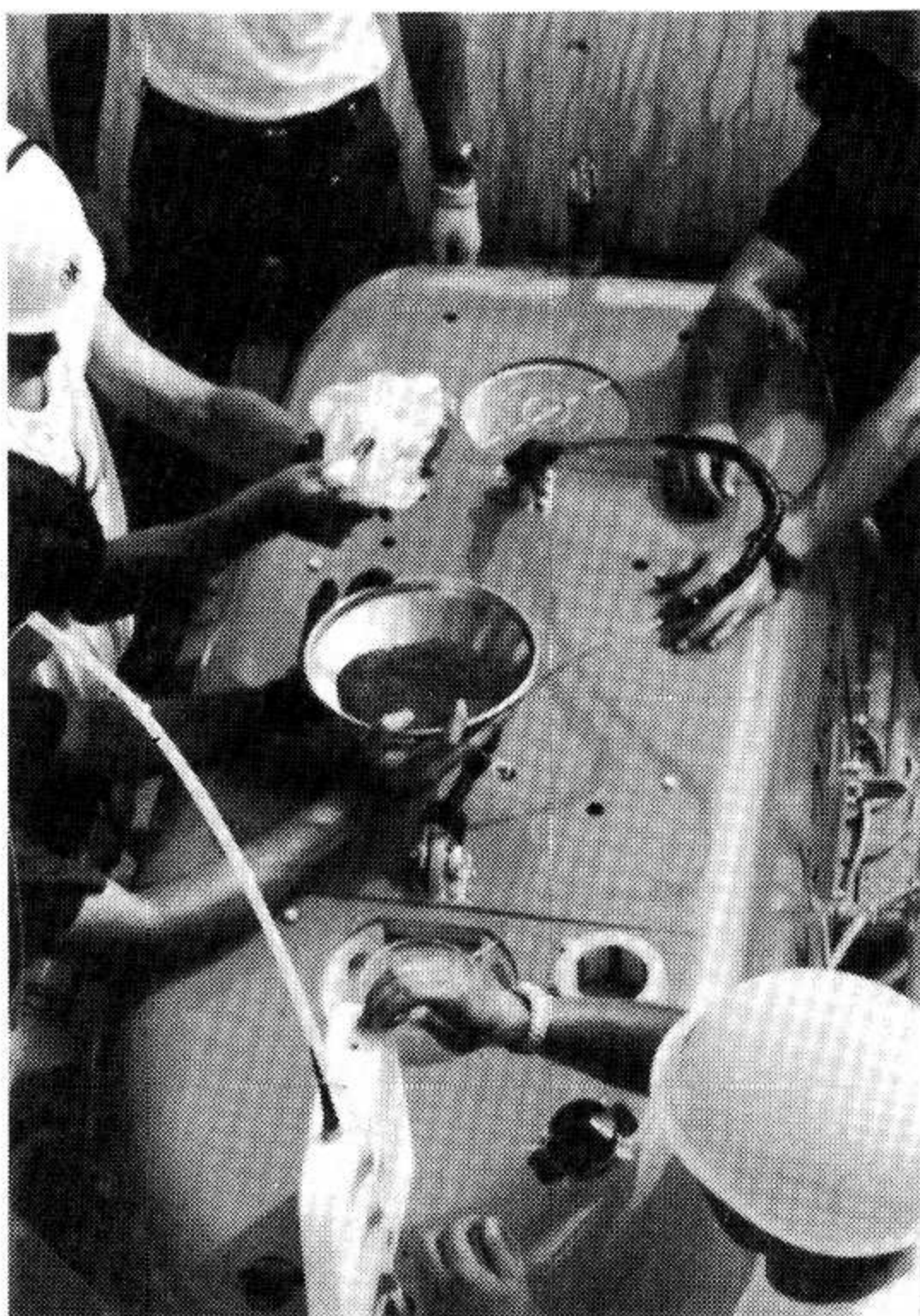


写真4 第2（上昇用）バラストの装填
Photo 4 Installation of No. 2 ballast

たときバラストの落下事故が与える危険性が小さくなった。

4 調査潜航について

運用は図5に示すように行われる。まず、① 支援母船上でバッテリーの充電、バラストの搭載、船上制御装置と無人潜水機のそれぞれのスプーラから出る光ファイバーケーブル同士の融着などの準備と動作確認を行なったのちクレーンを用いて着水させる。② 海底までの潜航はバラストにより負の浮力となる無人潜水機は自然に沈降する。③ 海底の確認はカラーテレビカメラを下方に向け、船上のモニタに映し出される映像によりオペレーターが判断する。これにより潜航は上下スラストで行われず、バッテリーのエネルギーが節約できる。調査を開始するとき中性浮力となるよう第1（浮力調整用）バラストを投下する。④ ここで中性浮力を得るためには、第2（上昇用）バラストの重量をあらかじめ調整しておく必要がある。⑤ 調査を終了し浮上を開始するためには第2バラストを投棄し、正の浮力を得て海面に浮上する。⑥ その際、無人潜水機に備えられたファイバーカッターで光ファイバーケーブルを切断するが、これは調査終了時にそれ以上の光ファイバーケーブルがスプーラから繰り出されるのを防止することが目的である。光ファイバーケーブルを切断しなければ海面に浮上した後も、支援母船上から無人潜水機を制御することが可能である。

音響測位装置はURO Vシステムに対して独立のシステムであるので、光通信が行われなくても無人潜水機の位置を測位できる。また、調査中に光ファイバーケーブルにトラブルが発生し、無人潜水機と船上装置の通信異常が生じると、無人潜水機はすべてのバラストを投棄して海面に浮上する。無人潜水機を揚収後に、海中に繰り出したままの光ファイバーケーブルを巻取り装置により回収する。

無人潜水機は1回の充電で約2時間の潜航ができ、急速充電を行うとバッテリーの全容量の90%であるが2時間で充電が完了する。このため効率的な運用法としては、午前中に1回の潜航を行い急速充電をした後、再度調査潜航が行え1日に計2回の潜航を実施することができる。

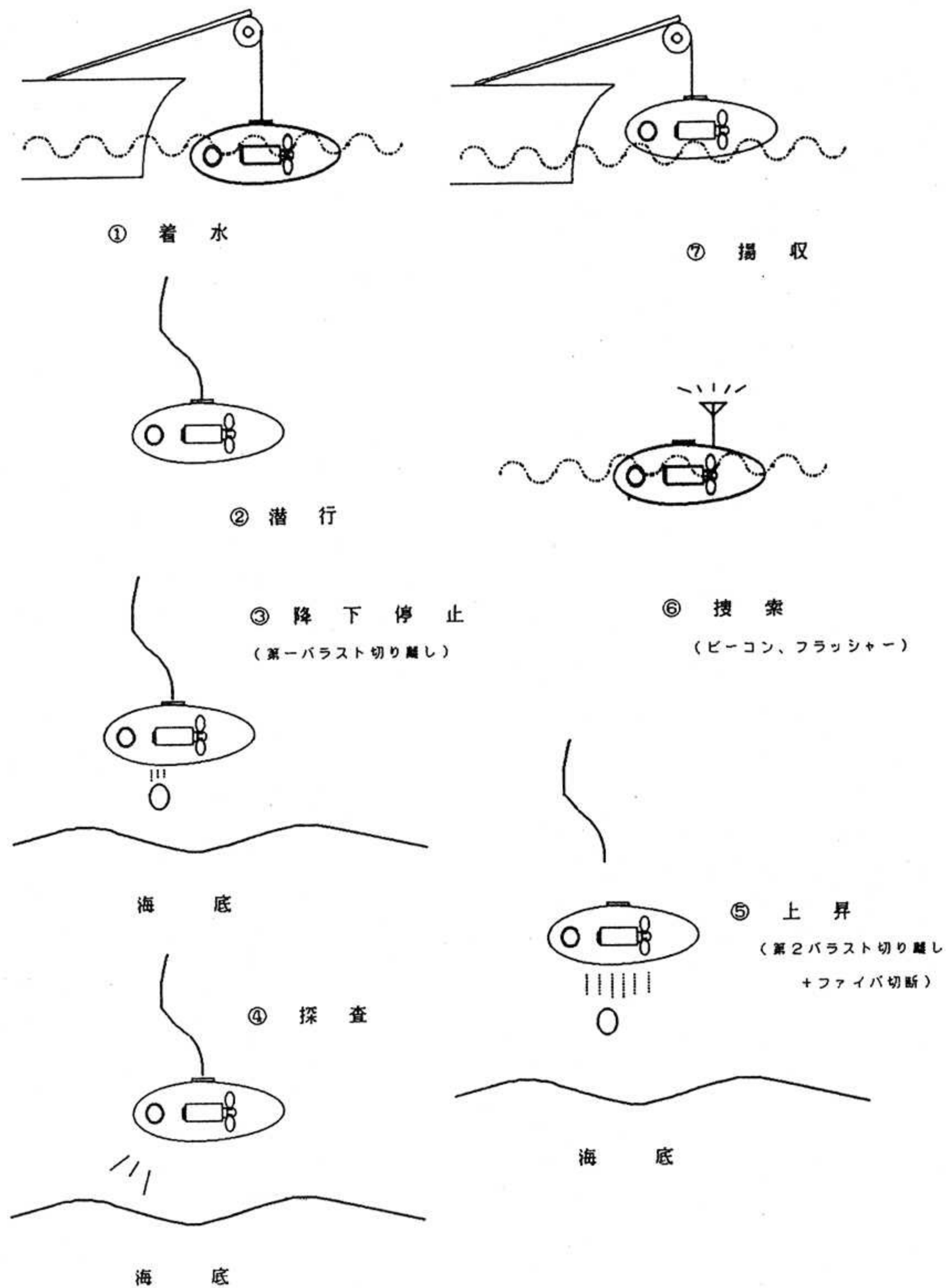


図5 運用
Fig. 5 Operation

写真5(a)と(b)は、平成4年7月の調査潜航で、スチルカメラにより450mの海底で撮影されたズワイガニとホッコクアカエビである。海底の底質は泥であり無人潜水機の上下スラストを不用意に動作させると泥を巻き上げ観測ができなくなる。

しかし、「げんたつ500」はわずかな推力で機体を動かすことが可能で、海底すれすれであっても泥を巻き上げずに海底に生息する生物の動きに合わせて微妙な操縦が行えた。



写真5 (a) ズワイガニ
Photo 5 (a) A crab

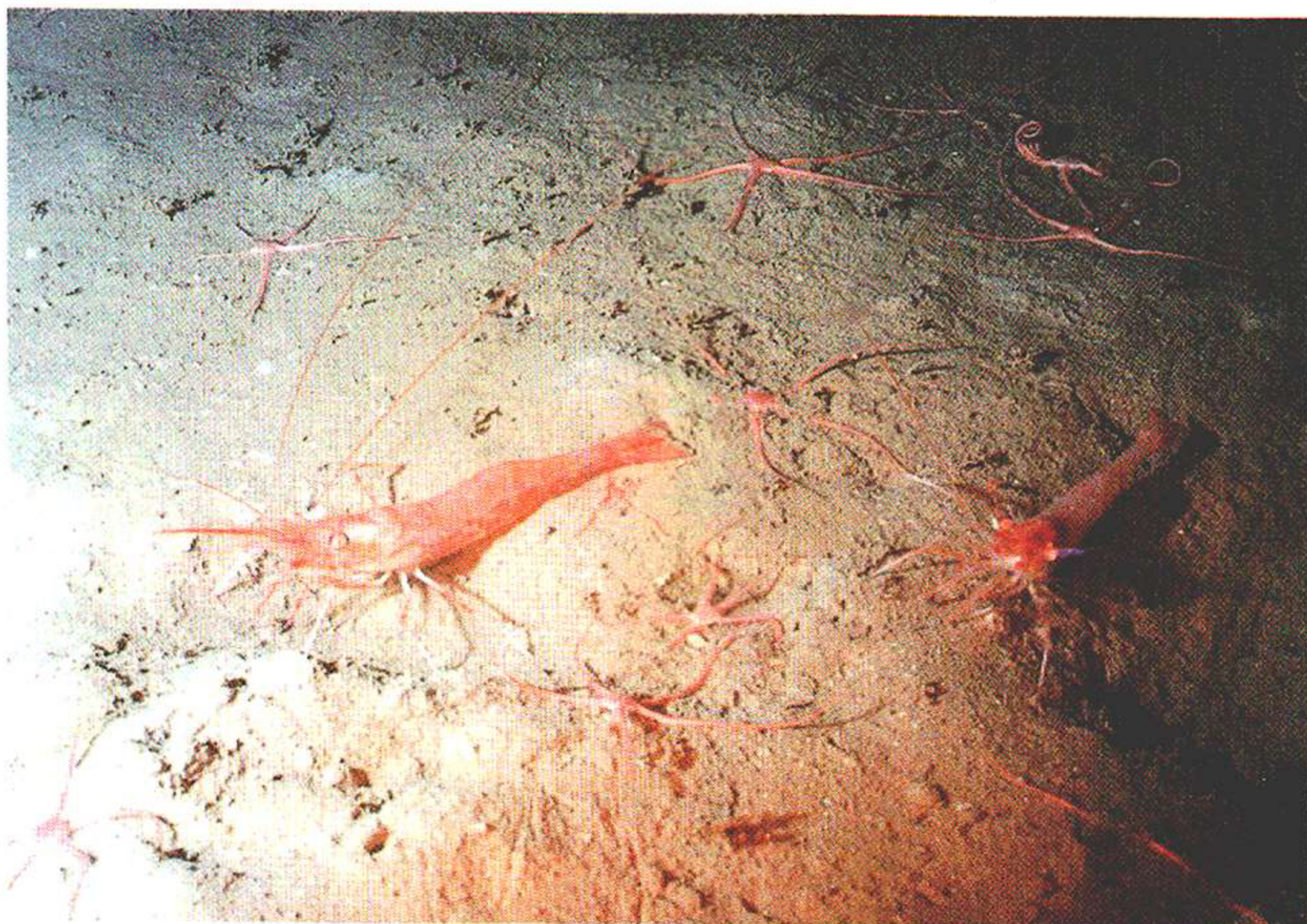


写真5 (b) ホッコクアカエビ
Photo 5 (b) Shrimps

5 まとめ

「UROV2000」は、昭和62年度より海洋科学技術センターと住友電気工業(株)、住友重機械工業(株)との共同研究により開発された無人潜水機で、試作機として細径ケーブル無人潜水機が技術的に実現できることを証明した。しかし、さまざまな海洋資源の調査を目的としたものではなく、バッテリーなどの保守や運用面で問題も残された。これらの問題点を解決し、かつ海洋資源の調査のためにより多くの観測機器を搭載した「UROV500」は、安定に動作し、運用に際して電子技術などの専門知識を持たなくても利用できるようになった。また、比較的小型であることや、ケーブルによる拘束から開放されたことで微妙な操縦が行え、今まであまり明らかにされることがなかった海底に生息する生物の生態調査に有効であることなど、無人潜水機システムとして実用性が極めて高いことが解った。今後、得られたデータの密度を高めるため、福井県水産試験場が「げんたつ500」に

よる調査において得た海域の位置データのロギングなどを行い、調査海域の管理ができるようなシステムにしていく予定である。

最後に、福井県水産試験場の安達研究員、支援母船「福井丸」の方々には、調査潜航などを通じて非常にお世話になりました。ここに深く感謝の意を表します。

参考文献

- 1) 青木太郎・月岡 哲・服部陸男・安達辰典・家持直人・伊藤哲二・中江俊博：細径ケーブル無人潜水機の研究開発. テクノオーシャン'92 第4回国際シンポジウム. (1992)
- 2) 古川晃平・益尾和彦・伊藤哲二・中江俊博：細径ケーブル無人潜水機システムの開発. 住友電気, No.141, (Sep. 1992)

(原稿受理：1992年11月4日)