

教育用ミニROV模型の開発

吉田 弘^{*1} 青木 太郎^{*1} 鷲尾 幸久^{*2}
竹内 久美^{*2} 大嶋 真司^{*3} 大橋みさき^{*2}

2002年に神戸で開催されたテクノオーシャン2002における青少年に対する普及活動の一環であるテクノオーシャン・ユースにおいて、高校生が水中機器の製作体験をできるような、教育用ミニROV模型を開発したので報告する。ミニROV模型はTVカメラを備えたROV本体、コントローラ、液晶パネルの3つで構成し、真水中を無線で約10mの距離まで操作できるように設計し、水中画像を手元で見るために、本体と液晶パネルを直径1.5mmの同軸ケーブルで接続して使用するようにした。製作体験のためには、本体の投光用発光ダイオードのはんだ付け、鉛バラストの調整、本体の組上げ等を現地で行えるようにし、達成感を体験できるようにした。テクノオーシャン・ユースでは26名の高校生が参加し、4~5名のグループで1台の製作に挑み、完成後は室内プールにて実験を行い、実際のROVの操作を体験する事ができた。

キーワード：海洋教育, 製作体験, ROV模型, 水中無線

A Mini-ROV Model for the Implementation of a Education Program

Hiroshi YOSHIDA^{*4} Taro AOKI^{*4} Yukihiisa WASHIO^{*5}
Hisayoshi TAKEUCHI^{*5} Shinji OSHIMA^{*6} Misaki OHASHI^{*5}

JAMSTEC has developed a Mini-ROV model for the implementation of a education program involving high school student in Techno Ocean 2002. The ROV model consists of a body equipped with a TV camera, a controller, and a LCD monitor. The body in freshwater is remotely controlled by radio. Images taken with the TV camera are transmitted to the LCD monitor via a thin coaxial cable. The model has been designed as semifinished product because the students can do soldering, assembling, and visual designing themselves. In Techno Ocean 2002, twenty-six students had participated the program and had been divided into groups. Each group had tried the assembly of the ROV model, operated the ROV in an indoor swimming pool.

Keywords : Education program, ROV assembly experience, ROV model, Radio communication in the water

*1 海洋技術研究部第2研究グループ

*2 総務部普及・広報課

*3 総務部総務課

*4 Marine Technology Department

*5 Public Relations Division

*6 Administration Department Administration Division

1. はじめに

2002年に神戸にて開催されるテクノオーシャン2002の青少年向けの新しい企画として、学生参加型のROV模型の製作が海洋科学技術センター(以下センターという)総務部普及・広報課にて提案された。当初、外部への発注も考えられたが、少ない予算でROV模型を10台程度製作するのは困難であった。そこで、海洋技術研究部がこのROV模型設計・試作を行い、日本海洋事業(株)が小量産を手がけることで開発を開始した。

ROV模型は、学生達が自ら組立て体験できる組立てキット式であることと、組立て完成後は実際にプールにて操作ができる様な実用機レベルの完成度であることが要求された。機能として、前後、左右、上下の移動ができるようなスラスタ構成とそのリモコン、水中の物体を認識できるようなテレビカメラの実装、ならびにオペレータが画像をモニターできるようにテレビ画面が要求された。以上の要求を満足するようなROV模型を1台10万円前後で製作する必要がある。

本ROV設計にあたっては、廉価に製作するために、機

械・電気・ソフトウェアの設計のほとんどをセンターで行い、一部市販品を利用したほうが安価となる部品については、既製品を購入し改良して用いた。また、小量産した場合に個体差が生じないように、一つの機能を提供する部分をモジュール化することで信頼性を高めた。

以下では、ROV模型の設計、実験データ、テクノオーシャン2002での利用結果を紹介する。

2. 試作と実験

2.1. システム設計

図1にミニROV模型のシステム構成を、図2に全体の写真を示す。前出の要求を満たすために、システムはROV本体、リモートコントローラ、画像表示機からなるようにした。ROV本体の遠隔制御は無線を用い、ROVが重いケーブルを引き回して航行しなくとも良いようにした。ただし、テレビカメラで撮影した映像は情報量が多く、微弱電波による無線で伝送することが困難であったために、本体と表示機の間を外径1.5mmの同軸ケーブルで接続した。本システムの仕様を表1に示す。

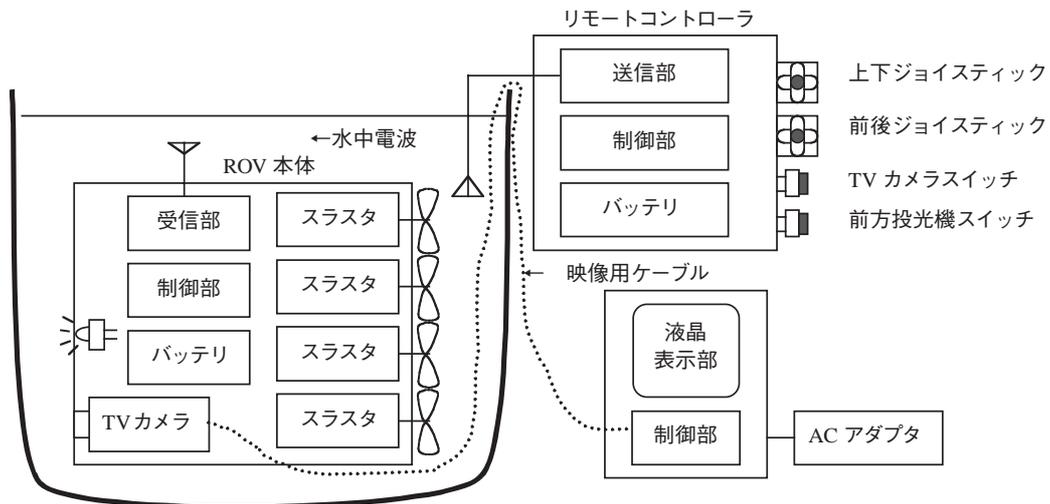


図1 システム構成図

Fig. 1 System configurations.



図2 全体写真

Fig. 2 A whole view

表1 システム仕様

Table 1 System specifications

項目	仕様
構成	ROV本体+リモートコントローラ+画像表示機
深度	3m以上
通信方式	微弱電波による無線制御(真水)
制御範囲	半径5m以内
駆動装置	前後スラスタ 2基 上下スラスタ 2基
使用時間	1時間以上
観測装置	カラーTVカメラ (NTSC方式)
使用環境	0℃~40℃
その他	組立てキットであること

ROV本体は水中を航行する潜水機であり、ボディ、スラスト、テレビカメラ、制御部、受信部、アンテナ、バッテリーで構成される。リモートコントローラはROVを遠隔制御する制御装置で、ケース、ジョイスティック、制御部、送信部、アンテナ、バッテリーで構成される。画像表示機はROV本体で

撮影した水中画像を表示する表示機で、ケース、液晶表示部、液晶制御部、ACアダプタで構成される。各装置は表2.1から表2.3の仕様で設計した。図3にミニROV本体の外観を示す。

表2.1 ROV本体仕様
Table 2.1 Specifications of the ROV.

項目	規格	単位	備考
外形	220 x 200 x 90	mm	突起物含まず
重量	900	g	電池含まず
電源	定格4.8	V	単3型ニッケル水素電池 x 4
消費電流	最大120	mA	
アンテナ	防水型1/4λホイップ		
周波数	40	MHz	
受信感度	-110	dBm	
駆動装置	前後スラスト 2基 上下スラスト 2基		タミヤ製水中モータ改造
TVカメラ出力	NTSC, 75Ω		25万画素カラー
筐体	アクリル削りだし		

表2.2 リモートコントローラ
Table 2.2 Specifications of the remote controller.

項目	規格	単位	備考
外形	190 x 150 x 50	mm	アンテナ含まず
重量	450	g	電池含まず
電源	定格4.8	V	単3型ニッケル水素電池 x 4
消費電流	最大80	mA	
アンテナ	1/4λスリーブアンテナ		
周波数	40	MHz	
送信出力	微弱電波の範囲		
操作装置	2軸ジョイスティック x 2		スイッチ x 2
筐体	市販品改造		プラスチック成型品

表2.3 画像表示機
Table 2.3 Specifications of the image display.

項目	規格	単位	備考
外形	190 x 140 x 70	mm	
重量	1	kg	
電源	DC12	V	外部ACアダプタ付属
消費電流	最大250	mA	
表示部	5.4インチ パッシブLCD		
液晶制御部入力	NTSC, 75Ω		
筐体	板金塗装		アルミ

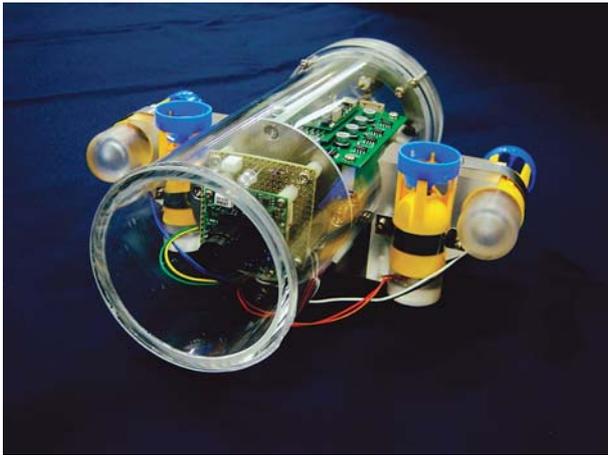


図3 ROV本体概観
Fig. 3 A photo of the ROV

2.2. ミニROV

2.2.1. ボディ

ROVモデルは組立てキットであることから、内部をすぐに確認できるように透明のボディとした。複数台を製作することから、多少コストがかかっても再現性の良い仕上がりとするために、加工性の良いアクリルを用いた。ボディの構造図を図4に示す。ボディは電気部を収納する円筒の防水容器と、スラスタを搭載するスラスタ台座の2つからなる。防水容器は、容易に開閉できるように、胴体部と蓋部に分け、Oリングにより水密を完全にした。蓋部には、スラスタ、アンテナ、TVケーブル用に多治見無線の防水コネクタを設けた。ただし、このコネクタは実際には長時間の水密性が良くなく、最終的にはシリコンゴムと自己融着テープによる防水加工が必要となった。さらに蓋部には制御部、無線部、電源、カ

メラを搭載するためのマウントユニット(内筒)が取付けられるようになっており、組立て、保守が容易であるようにした。

スラスタの固定には専用の台座をアクリルで製作し、すべてのスラスタが一つのユニットとなるようにした。このユニットの位置を自由にスライドさせ、トリムを変更できるようにした。

2.2.2. スラスタ

スラスタ部には、低価格に抑えるために、市販品の「タミヤ水中モータ」を利用した。水中モータには通称「マブチ130モータ」(FE-130)が用いられているが、このモータは廉価な模型工作用に設計されたモータで、雑音放射特性が著しく悪く、無線制御に妨害を与える。そこで、CR-ROMドライブなどで実績の有る、同社のほぼ同形状のモータFF-130SHを替わりに用いた。図5に二つのモータの雑音特性を比較する。全周波数帯域で、FE-130は背景雑音より20dB程度高い雑音輻射があるが、FF-130SHでは輻射雑音が測定環境の背景雑音より低下している。背景雑音を低減させて、FF-130SH自身の輻射雑音を測定するためには、EMI(電磁干渉)測定施設を使用する必要があるが、今回の目的では省略した。モータを変更することで、防水パッキンの当たり方が変わり水密が取れなくなったため、新たにパッキンを製作して対応した。また、FF-130SH等のブラシ型接点のモータでは、水密用グリースにシリコングリースを用いると、時間経過とともに接点に被膜が形成され、導通がなくなるため、専用のグリースをマブチモータから入手して使用した。

「水中モータ」は自身が電池を内蔵し、それ単体で動作する構造である。今回の目的では、モータに制御部から電源供給し回転数を制御するために、電池部分は余計である。そこで、専用のヘッドをアクリルで製作し、「水中モータ」と勘合できるように改造した(図4中のスラスタヘッド参照)。

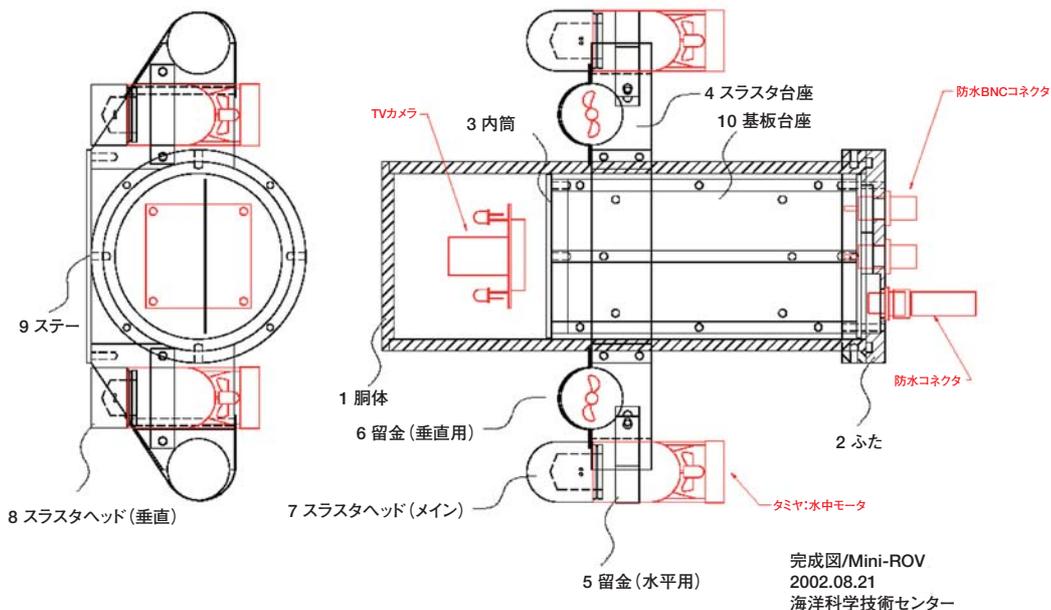


図4 ROV本体外形図
Fig. 4 An outline drawing of the ROV

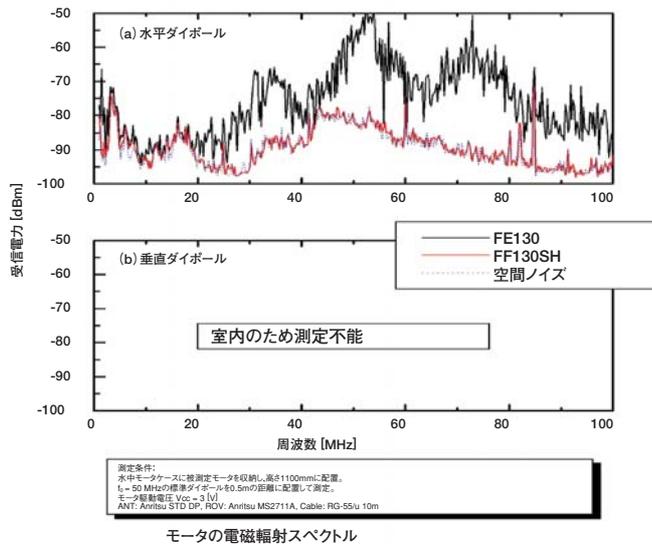


図5 モータの雑音放射特性比較
Fig. 5 Noise radiation spectra from motors. Black line: FE130 motor, red line: FF130SH motor, dotted line: background noise.

2.2.3. テレビカメラ・投光器

25万画素のレンズ付CCDカラーテレビカメラを用いた。出力はNTSC方式で、動作電源電圧は12Vである。バッテリー電圧が4.8Vであることから、DC-DCコンバータを用いて12Vまで昇圧している。リモートコントローラのスイッチ操作によりオン・オフできるようにした。

投光器には白色LEDを用いた。この部分は製作が容易であるため、LEDのはんだ付けを学生の課題として残した。

2.2.4. 制御部・受信部

制御部と受信部は、両方の回路を、専用のプリント基板を製作することによって一つのユニットにまとめて小型化し、高信頼性化した。受信部には市販の超小型無線ユニットを用い、制御部には小型のマイクロプロセッサ(MPU)、スラストドライバ、DC-DCコンバータを搭載した。受信部で受信された制御信号はMPUに書き込まれたソフトウェアによりデコードされ、スラストの制御、TVカメラのオン・オフ制御、前方投光器のオン・オフを制御する。ソフトウェアは無線ユニット供給メーカーのソフトを基本にして、海洋科学技術センターにおいてミニROV制御専用ソフトウェアとして設計し直した。このMPUは表3に示す仕様のマイコンを用いた。

2.2.5. アンテナ

1/4λホイップアンテナを製作した。水の誘電率を考慮し、水中での波長に共振するように設計した。ただし、受信アンテナなのでインピーダンス整合はしていない。水がエレメントに直接触れないように全体をコーティングして使用した。

2.2.6. バラスト

本ROVは全部品を搭載した状態で、浮力が200g程度大きく設計されている。従って、このままでは潜水しないため、

表3 MPUと開発環境

Table 3 MPU specifications and development environment for the MPU.

項目	内容
型名	PIC16F870
クロック	20MHz
RAM	128 バイト
ROM	2k バイト
開発言語	アセンブラ MPASM
開発環境	MPLAB-IDE

鉛によるバラストを搭載するようにした。また、スラストユニットを前後セットリムを調整する必要がある。これらの部分は、潜水機を学習するために重要な部分であるから、事前に決定せずに、学生達が調整出来るようにした。ただし、事前に適正なバラストを1つ製作し、それを見本とすることで、大幅な間違いが生じないようにした。

2.2.7. 組上げ

ROV部は上記のような各ユニットにて構成されており、各部をOリングやシール材により水密し、ビス止めにより組立てて、完成形とすることができる。教育的見地から高校生レベルであればこれらの作業は可能と判断し、Oリングの取付、コネクタ部の防水テープ巻き、そして全体の組上げを課題とした。

2.3. リモートコントローラ

2.3.1. ケースとジョイスティック

ケースとジョイスティックは価格を抑えるために、市販のリモコンケースを利用した。利用したケースは商品名が「Compact Flight Controller」という、プラスチック成型品で、ケース上面に2軸のジョイスティックが作りこまれている。このケースからパソコンにつながるケーブルと制御基板を取り外し、替わりに専用に設計・製作した制御部と送信部の一体化プリント基板とアンテナを取付けた。

2.3.2. 制御部・送信部

ROVと同様に、ジョイスティックとスイッチの制御部ならびに送信部を一つのプリント基板上に実装した。入力制御にはMPUを用い、無線部には既成品の無線ユニットを用いた。送信出力は専用のアンテナを用いた時に出力が微弱電波の規定に入るように調整した。

2.4. 画像表示機

表示部には5.4インチパッシブ液晶パネルを利用した。本品はパチンコ台用に大量生産されたもので、余剰品が廉価で市場に出回っていたのでそれを利用した。液晶の制御部には、秋月通商から組立キットとして販売されているNTSC変換機を入手して使用した。電源部は自作した。これら3つのユニットを一つの筐体に収めるため、専用のケースを設計・製作した。

以上のシステムを、初期設計費、製作工賃、材料費を合わせて、1台当たり約15万円程度で製作することができた。このうち1/3が初期設計費用、1/3が水中部のアクリル筐体の材料費であり、今後ケースを工夫することで大幅なコストダウンができると予想される。

3. 動作

3.1. 操作方法

リモートコントローラの操作パネルを図6に示す。

スイッチ①は前方投光用のLEDスイッチで、押下中に点灯する。スイッチ②はテレビカメラ用電源スイッチで、一回押すごとにテレビカメラが交互にオン、オフする。スラスタの制御はジョイスティックで行う。左側のジョイスティックは前後スラスタ用で、+Y方向で前進、-Y方向で後進し、X方向に動かすことで左右に回頭する。右側のジョイスティックは垂直スラスタ用で、+Y方向で上昇、-Y方向で下降し、X方向に動かすことで左右にローリングする。垂直用ジョイスティックは位置保持が可能である。

テレビカメラの映像を使用しない場合、ミニROVは無線で制御できる。テレビカメラを使用する場合、ROVと表示装置の間を同軸ケーブルで接続して、有線で使用する。

3.2. 水中での実動作

前後進は非常にスムーズに行うことができた。しかし、スラスタのパワーが小さいために、回転数は常に最大で使用する必要があり、回転数制御は意味がなかった。運用深度は仕様の3m以上が満足できたが、深度が深くなると画像用の同軸ケーブルが長くなり、その重みでスラスタによる上昇性能が著しく低下した。

水中画像は良好にモニタする事ができた。ただし、表示装置にパッシブ型の液晶を利用したために、速い動きに対しては、若干画面が流れるように見えることがあった。

無線による遠隔制御は仕様を満たすことができたが、微弱電波の規定の中で、より遠距離の通信を行うためには、水中アンテナの最適化が必要である。また、TVカメラ用の

DC-DCコンバータをオンすると、その雑音によって、若干通信距離が低下することがあった。

4. テクノオーシャン・ユース

「テクノオーシャン・ユース」は、海洋の科学技術に関する国際コンベンションである「テクノオーシャン2002」の青少年イベントであり、2002年11月23日に神戸商船大学で開催された。高校生の参加者を開催地である兵庫県を中心に募った結果、10校26名の高校生が参加した。ほとんど電子工作経験の無い参加者でも、問題なく課題をこなせるように、予め、製作マニュアルを用意した。その上で4~5名を1グループとして1台の製作に挑み、協力して1台の模型を完成できるようにした。課題は、本体の投光用発光ダイオードのはんだ付け、鉛バラストの調整、本体の組上げとした。グループにより若干の格差があり、短時間で仕上げたグループがある一方で、時間いっぱい組み立てにかかるグループもあった。図7に製作体験の様態を示す。各グループともに、組み立てて完了後、大学内の水泳プールにて実際のROVの操作を体験する事ができた。この様子を図7, 8に示す。



図7 製作体験風景

Fig. 7 A scene in the education program. Assembling.



図6 リモートコントローラ操作パネル

Fig. 6 Front view of the remote controller.



図8 プールでのROV操作

Fig. 8 A scene in the education program. A test in a swimming pool.

5. まとめ

テクノオーシャン・ユース用にはじめて本格的なROV模型を製作することができた。模型は半完成の状態仕上げ、学生たちが自ら組み立てて、完成させることで、海洋電子機器の組み立て体験と、そのシステムについて学ぶことができたと思われる。さらに、ROV模型を水に浸けることで防水や、バラスト等の重要性を認識でき、かつ、実際に操船体験ができた。

今回は初めての企画で、ROV模型の性能が100%満足できるものでなかったり、準備にも若干の問題があったが、初めてとしては満足の得られる結果が得られたようである。

また、製作費用が当初計画より若干高めについてしまったことも反省点として挙げられる。今後、防水性にすぐれた推進能力の大きいスラスタを開発し、より機動性の富んだROVとし、製作だけでなく、ROVを利用したゲームなどが体験できるようにしたい。

謝辞

本ROV模型の小量産およびテクノオーシャン・ユースにおける製作体験の実施にあたっては、2Kチームならびにかいこうチームの多大なるご協力をいただきましたので感謝いたします。

(原稿受理：2003年8月19日)