

## 水中ビークルの潜航方式の考察 2

2017.07.30

吉川 博樹

昨年 11 月に「水中ビークルの潜航方式の考察」と題し報告させて頂きましたが、今回新たに更に優れた方式を教えて頂いたので、以下に纏めてみました。

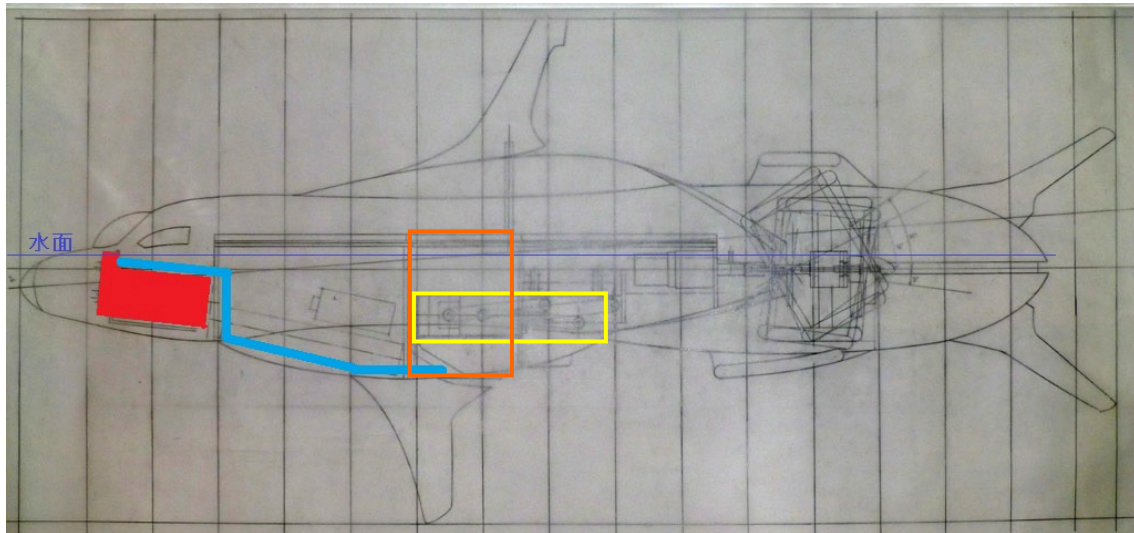
### 1. 原理

2016 年 12 月から OVA 作品「青の 6 号」に登場する潜水艦「りゅうおう」を作っております。潜航方法はシュノーケルを用いた喫水線までのバラストとそこから更に沈めるためのピストンバラストを加えた 2 段階方式としています。ピストンバラストの役目は、シリンダから排水し喫水を上げることで水タンクのシュノーケルを水上に出し、ポンプで水タンク内の排水を可能にすることにあります。当初、容積型ポンプ・バラスト+ピストン・バラスト方式を採用することに決め計画図を画いておりましたが、HIRAO MODEL さんの新しい潜航方式（軸流型ポンプを使用）を目の当たりにして、何とか真似できないものかと思いトライしてみました。

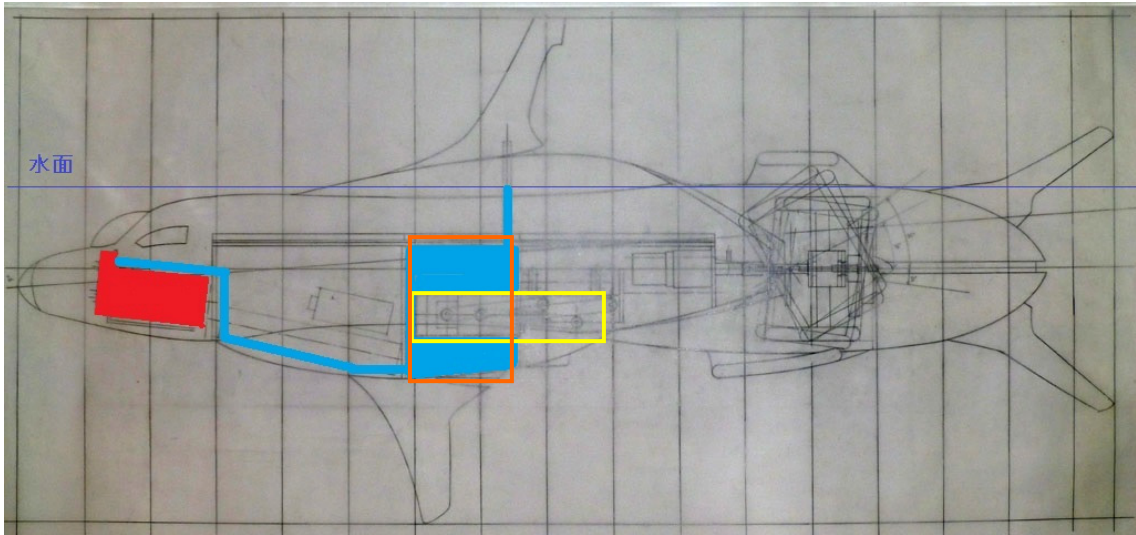
両者の比較をして見ます。

#### 1. 1 注・排水を容積型ポンプで行なう方式（当初の計画）

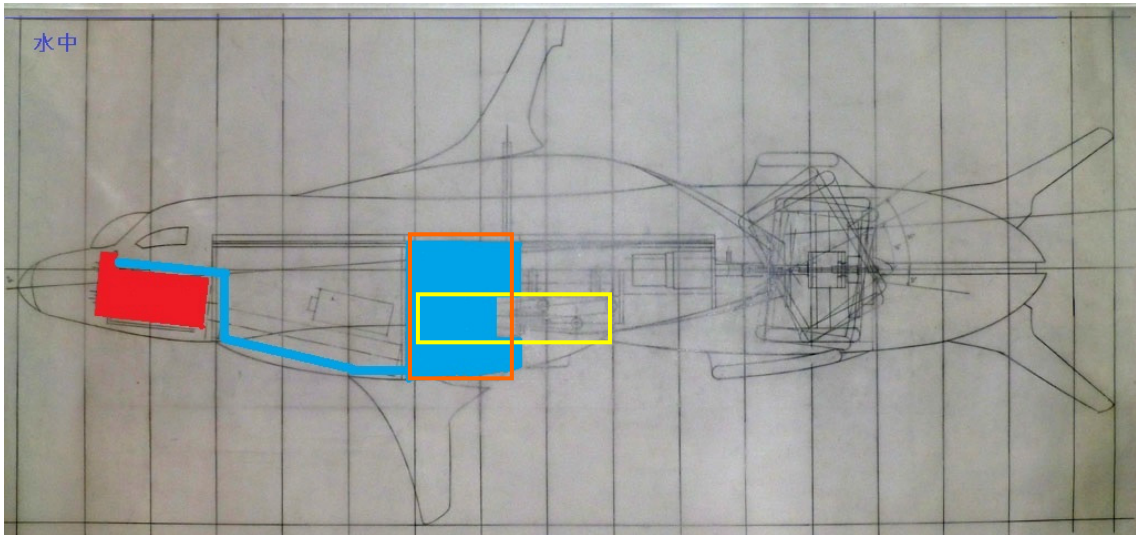
(1) 注・排水可能な容積型ポンプ（赤色で示す）を水密室の外に設置。シュノーケルの付いた水タンク（オレンジ枠で示す）を浮力点付近に設置し、ピストンバラスト（黄色い枠で示す）のシリンダは艦外から給水できるようにする。



(2) 容積型ポンプで水タンクに注水（空気はシュノーケルから外気に放出）することにより喫水線を上げる。

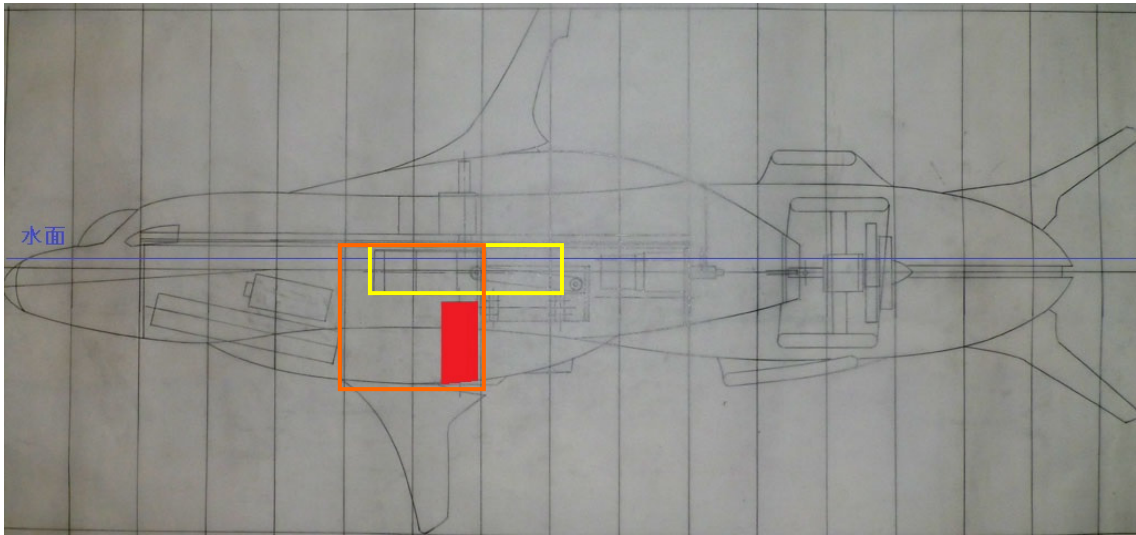


(3) ピストンバラストに艦外から注水し、完全に潜る。

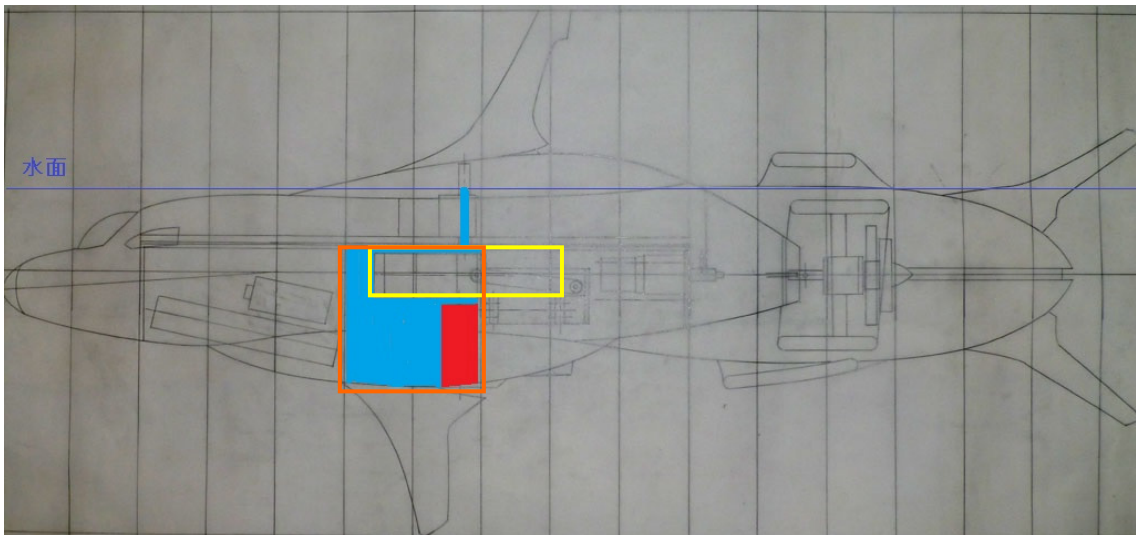


## 1. 2 排水を軸流型ポンプで行なう方式 (HIRAO MODEL さんの方式)

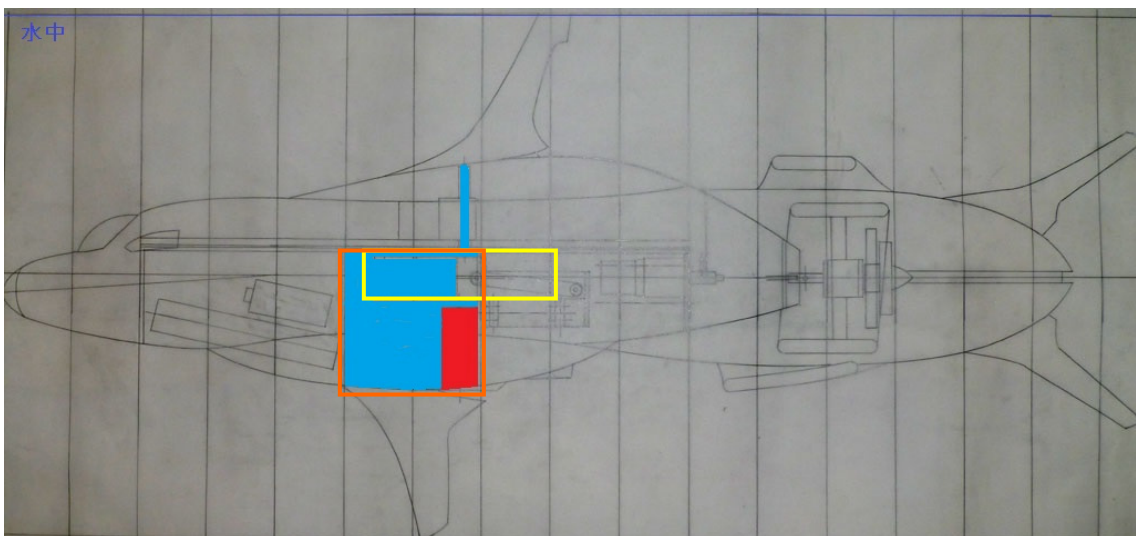
(1) 排水のみが可能な軸流型ポンプ (赤色で示す) を水タンク内 (オレンジ枠で示す) に設置。ピストンバラストのシリンダは水タンク内から給水できるので水タンク内に開口。



(2) 電磁弁を開きシュノーケルを外気と連通させると軸流型ポンプの吐出口から水タンク内に水が逆流し喫水線を上げる。



(3) ピストンバラストに注水し、完全に潜る。





### 1. 3 両方式の比較

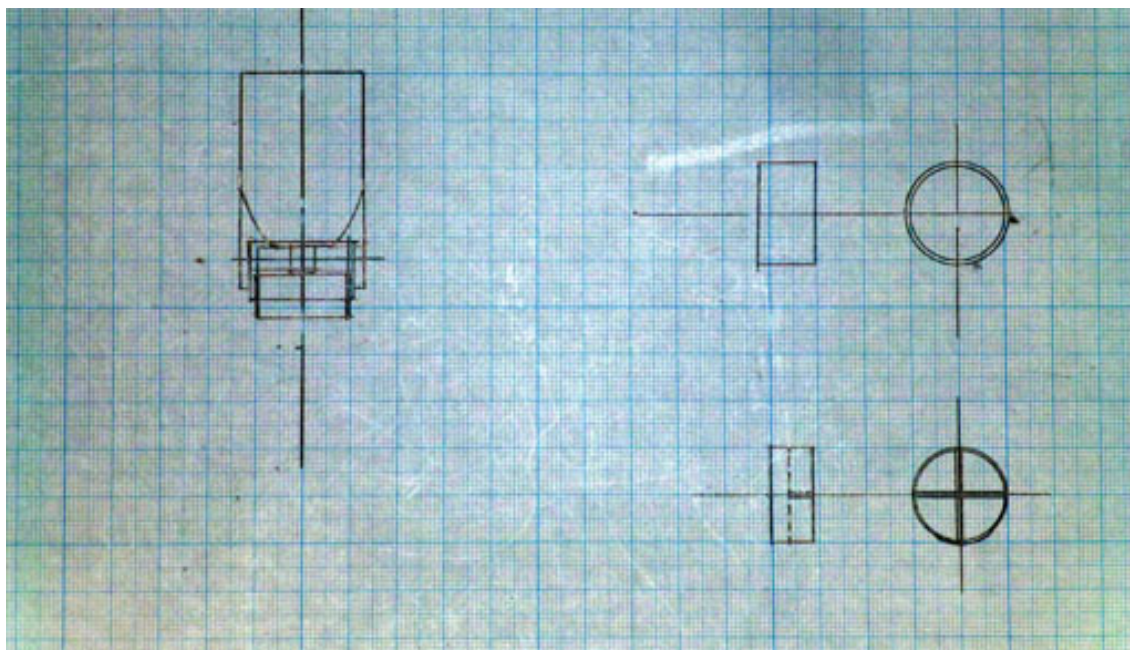
纏めると以下ようになります。

	当初計画	HIRAO MODEL方式
ポンプ	容積型 →水漏れを考慮し水密室外に設置	軸流型 →水タンク内に設置
シューケル	常時開	電磁弁で開閉
ピストン・バラスト部	艦外部から吸水 →構造複雑	水タンク内から吸水 →構造簡単
注水時間	60秒/1000cc	15秒/1000cc
排水時間	60秒/1000cc	30秒/1000cc
課題	ポンプ内の若干の水漏れにより喫水が変化	小型の軸流型ポンプの自作

上記注・排水時間は、容積型はアエロナウト社 714050 ウォーターポンプ、及び軸流型は以下に示す自作小型軸流型ポンプによる測定値です。

### 2. 小型軸流ポンプの製作

小型の軸流型ポンプを作りますが、水タンク内に設置するためモーターを防水構造にする必要があります。市販で簡単に入手できるモーターの防水構造としては 280 モーターの工進の石油ポンプ EP-105 と 130 モーターのタミヤ水中モーターがあります。寸法的に前者は無理がありますので後者を採用することにしました。セクションペーパーに簡単な計画図を引いてみます。



使えそうな部品を手持ちから掻き集めました（下写真）。

一番下の黒いパイプ（外径 22mm、内径 20mm）は市販の FRP パイプで「しんかい 6500」を作ったときの残り物です。

真鍮パイプは外径 20mm、内径 19mm、真鍮板は t=0.8mm です。

モーターは Amazon で購入しました。「JOHNSON 5 個 6W DC6V-12V 強磁性 130-12240」5 個で¥1150 でした。

モーターの仕様：15 \* 20 MM；高さ：25.3MM；シャフト：2mm；出力軸長：10.5mm

電圧：6V DC 電流:40mA（拘束 0.8A） 速度：6400RPM  
電圧：9VDC 電流:40mA（拘束 1.2A） 速度：9700RPM  
電圧：12VDC 電流:40mA（拘束 1.6A） 速度：13000RPM  
重量：20g

12V まで使えそうですが 7.2V で使うことにします。



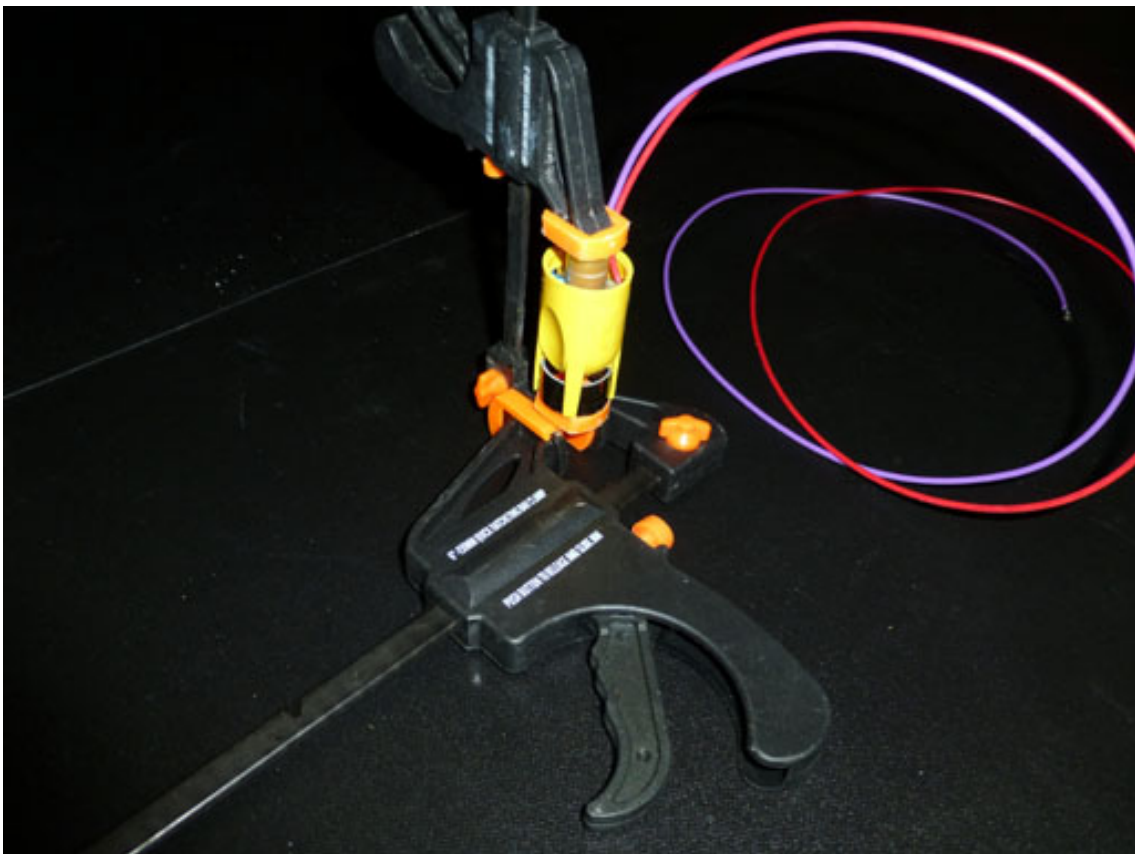
最初に水中モーターのモーターを納めるケースの余分な突起を削り落とし、更に 12mm の長さに切った FRP パイプが 4 本の足内にスムーズに収まる様足の内側も削ります。



中に納めるモーターは、雑音防止用のコンデンサを付けた後、ケースに開いた全ての穴をテープで塞いでおきます。シャフトには空転防止用の縦溝が切っております。



モーター前部とゴムパッキンにシリコングリスを付けてケース内に押し込み、エポキシ接着剤でケース内に接着します。この時、モーターをケースに押し付けゴムパッキンを潰します。水中モーターでは電池で押し付けて水漏れを防いでいますが、今回は後から押すものが無いので押し付けた状態で固着させます。接着剤が固まるまで下の写真ではφ10mmのアルミパイプを短く切ったものとクランプで押し付けています。



ステーターとの間隔を狭めるため、スクリューは先端をカットしボス部分の長さを6mmにしました。



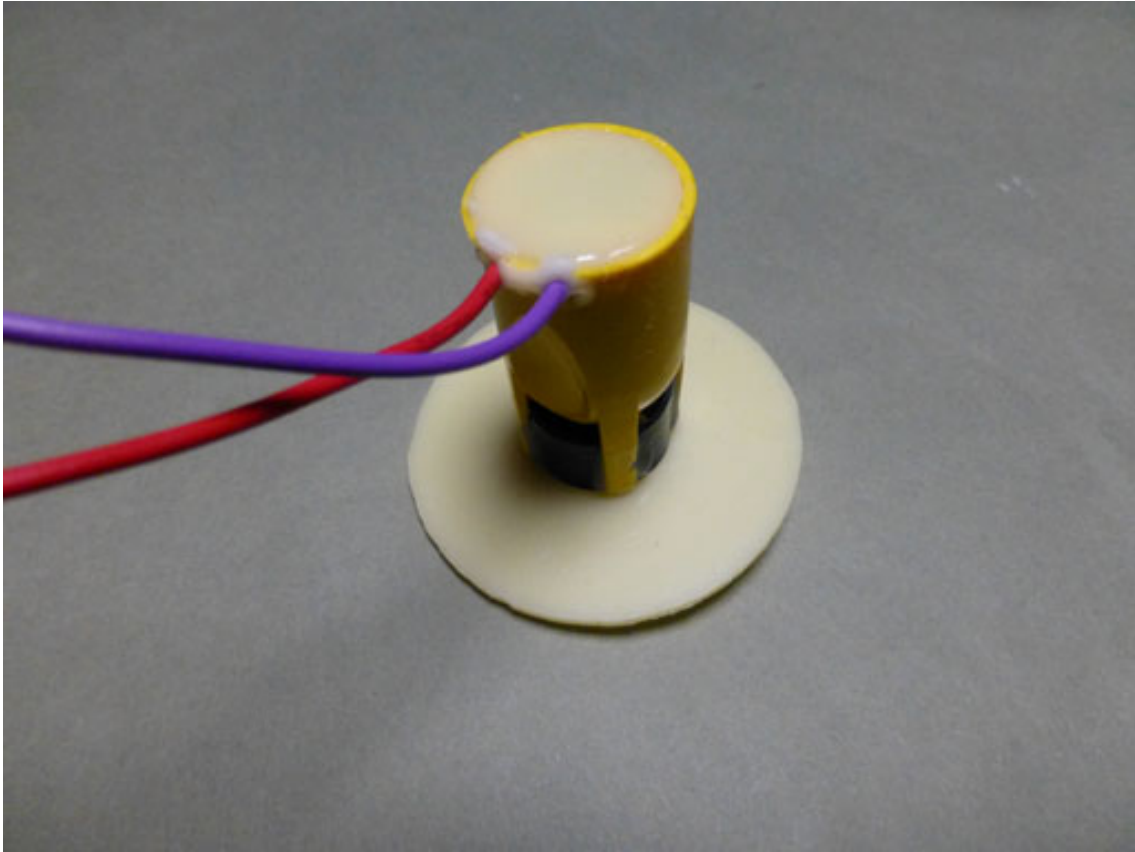


ステーターは外径 20mm、内径 19mm の真鍮パイプを高さ 9mm にカットし、 $t=0.8\text{mm}$  の真鍮板で作った羽（高さ 5mm）を十文字に入れて作りました。スクリューの旋回流を真っ直ぐにするにはスクリューと逆のピッチにするのがセオリーですが、面倒なのでピッチは付けていません。



モーターケースと FRP パイプの接着はエポキシ接着剤ですが、材質的に接着しないのでケースにノッチを入れ接着剤で固めて抜け止めとしています。

$t=3\text{mm}$  の ABS 板で蓋をして、セメダイン EP001N で水漏れしないよう接着します。



### 3. シュノーケルの開閉

シュノーケルの開閉は電磁弁で行ないます。電磁弁は [ebay](#) で調達しました。

12V DC 1/8" 2Way Normally Closed Pneumatic Aluminum Electric Solenoid Air Valve  
で US\$4.46/個、仕様は以下の通りです。

Service Media : Air, Gas, Liquid, Water

Operation Model : Direct Acting

Valve Type : 2 Way

Operating Pressure: 0-0.8Mpa (can be operated at 0 PSI (Vacuum))

Operating Temperature: -10 to 65°C

Coil Voltage : DC 12V

Body Material: Aluminum

Seal Material: NBR (Buna N)

Armature Tube Material: Brass

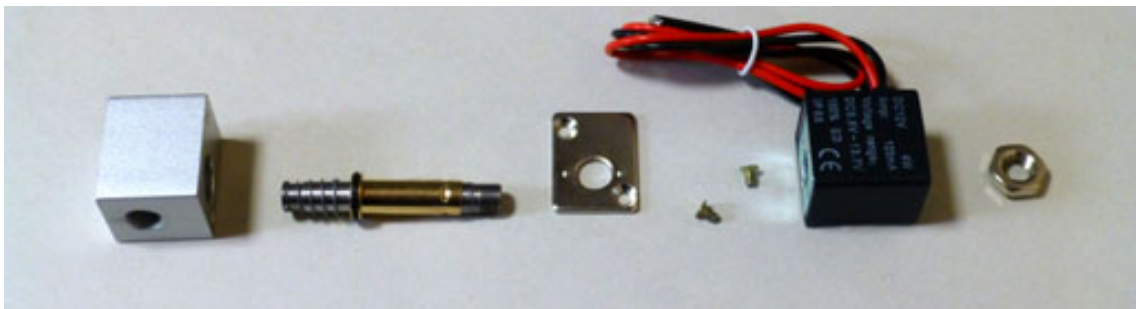
Plunger & Spring Material: Stainless Steel

Port Size : 1/8" NPT Female Port

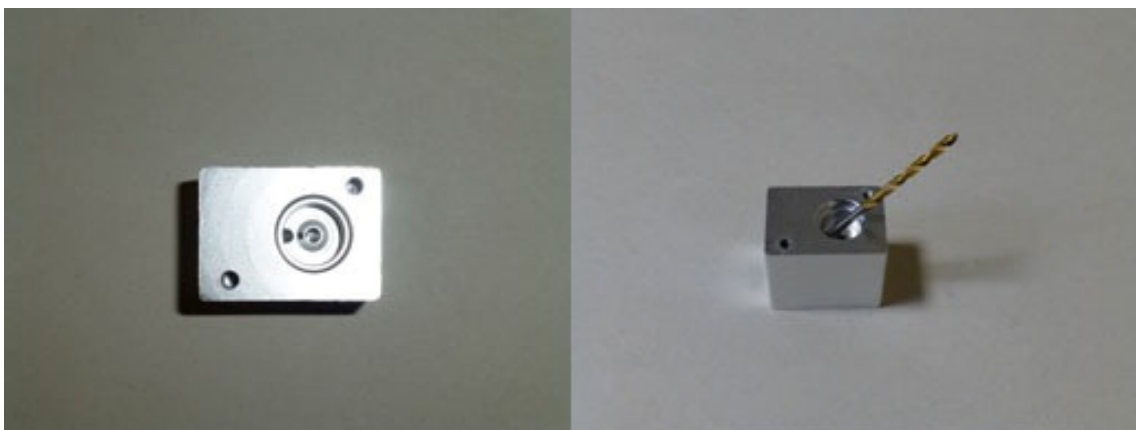




動作電圧が 12V ですが、 $5\text{kg/cm}^2$  の背圧時でも動作させるため、今回のように圧力が掛からない状態なら 7.2V でも十分動作しました。バルブとソレノイドの間の鉄製の部品だけ塗装しておけば、水中でも使用できると思われます。下の写真は電磁弁を分解したところです。

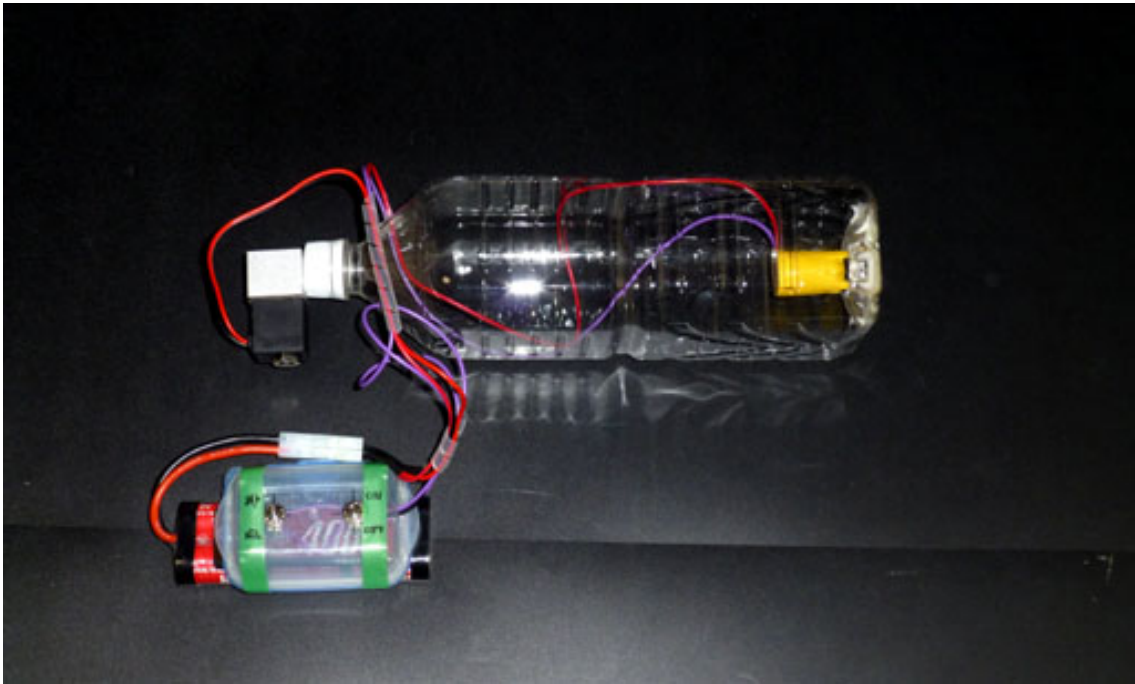


バルブの連通穴径は 2.5mm だったので、可能な限り広げることになりました。下写真のドリルの方向とバルブシート穴方向に  $\phi 3.2\text{mm}$  のドリルで広げました。

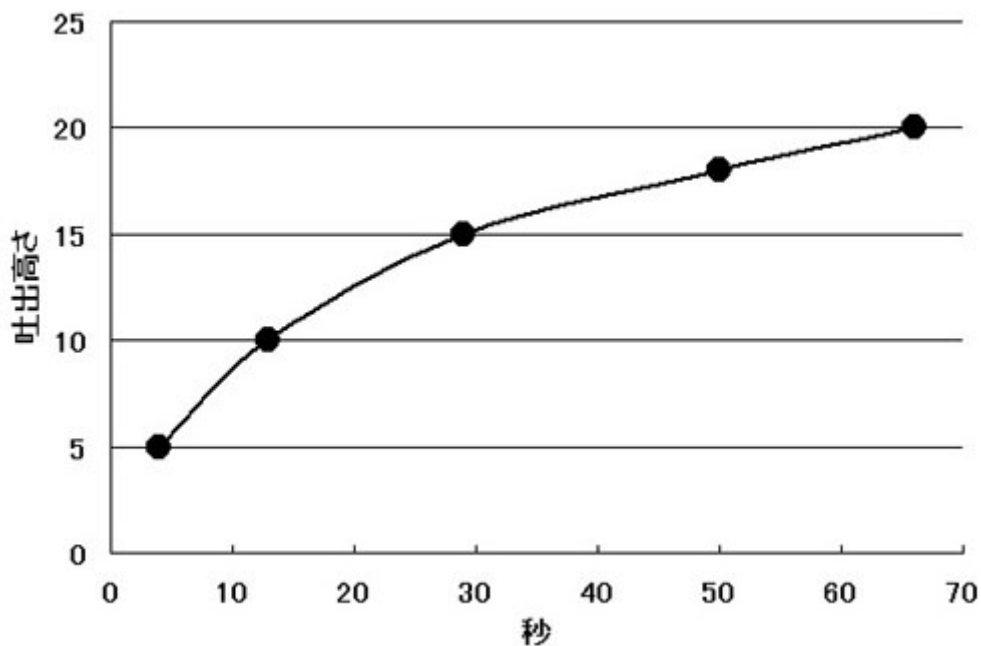


#### 4. 性能測定

自作の軸流型ポンプに  $\phi 65\text{mm}$  の ABS 板を取り付け、2 リットルのペットボトルの底にセメダイン EP001N で接着。更にペットボトルの蓋には  $\phi 9\text{mm}$  の穴を開け、 $\phi 9\text{mm}$  の真鍮パイプで電磁弁を接続しました。



電源は 7.2V のニッケル水素のストレートパックです。配線の途中に電磁弁は 1 個、ポンプは 2 個のスイッチをシリーズに入れてあります。ポンプ側を切った状態で全体を ON すると電磁弁だけ ON になり注水が始まり、OFF にすると電磁弁が OFF になり注水が止まります。ポンプ側のスイッチを入れた状態で全体を ON すると電磁弁とポンプが ON になり排水が始まり、OFF にすると電磁弁とポンプが OFF になり排水が止まります。風呂で注・排水時間を測定してみました。注水は 2 リットルのペットボトルを満水にするまで 30 秒掛かりました。排水は最初勢い良く行なわれますが、水頭が大きくなるにつれ勢いがなくなります (下図)。

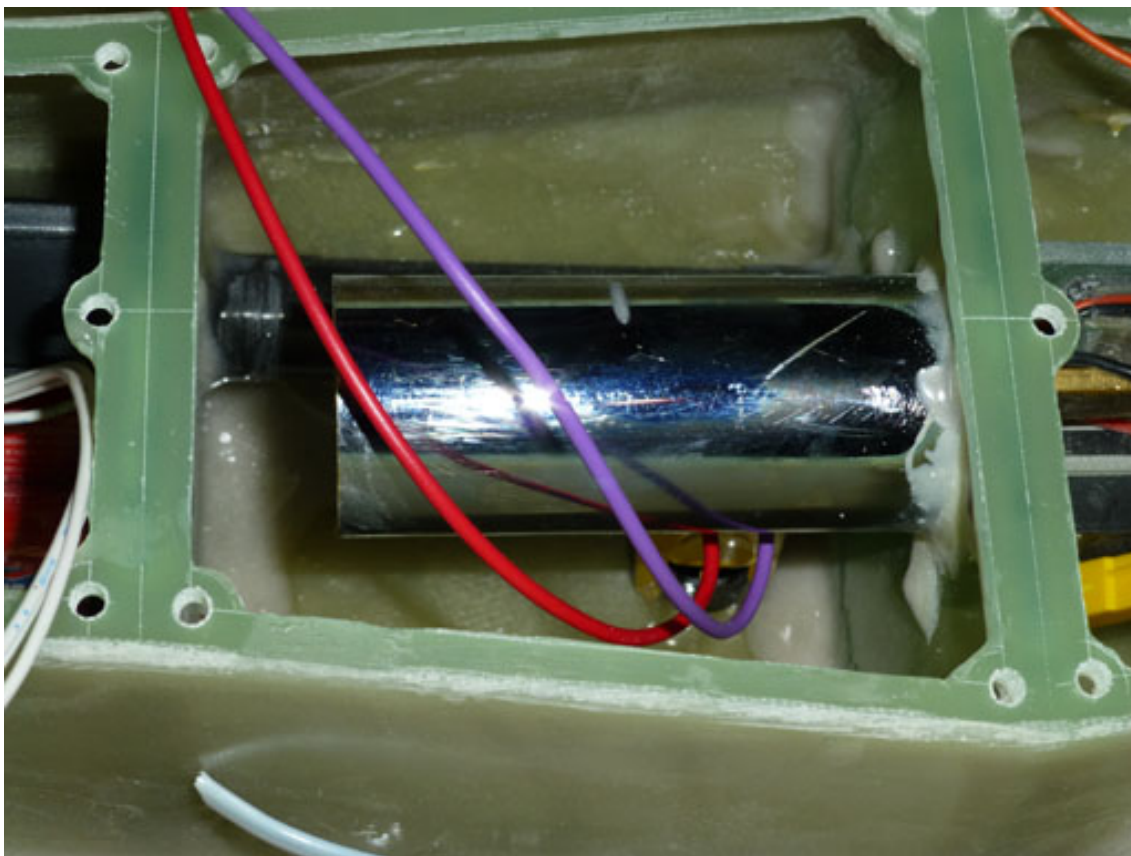


今回は最大 15cm くらいなので、7.2V でも略リニアな範囲で使うことができますが、モーターもソレノイドも 12V 仕様なので DD コンバータで 7.2V を 12V に昇圧してやれば更に

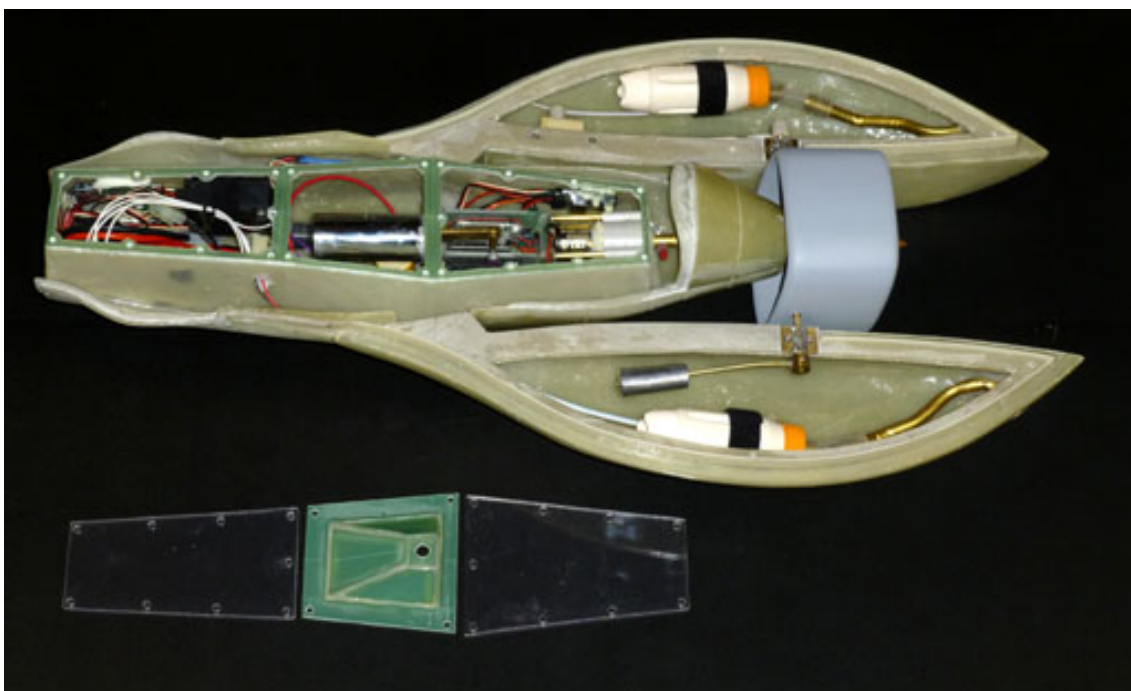
過酷な使用も可能になると思われます。

#### 5. 「りゅうおう」への組み込み

「りゅうおう」の水タンク室を作ります。ピストン・バラスト装置のシリンダーの下に外側からφ20mmの穴を開け、自作した軸流ポンプを取り付けます（下写真）。

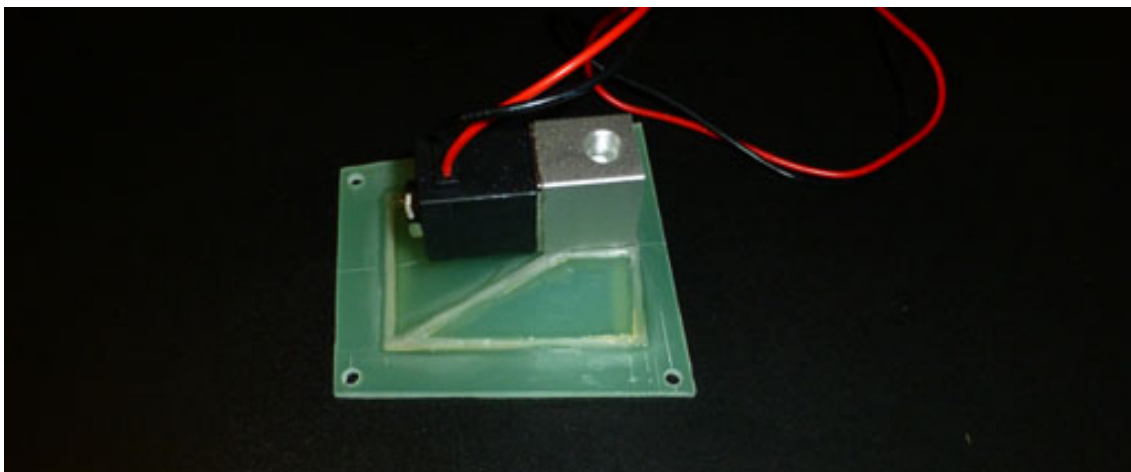


水タンク室の水密蓋は、ハルが傾いても空気が抜けるよう上方に膨らみを持たせた形状で3mm厚のFRP板で作りました。前後の水密蓋はいつもの通り4mm厚の透明塩ビ版です。





水タンク室の水密蓋の上部にφ9mmの穴を開け電磁弁を取り付けます。



以下、配線、防水、塗装等は省略します。興味のある方は私のブログ（以下の URL 参照）に製作記があります。

[https://blogs.yahoo.co.jp/yoshikawa\\_amm](https://blogs.yahoo.co.jp/yoshikawa_amm)

完成時の写真を以下に示します。



## 6. 潜水・浮上試験

風呂で行なった潜水・浮上試験の様子を以下に示します。

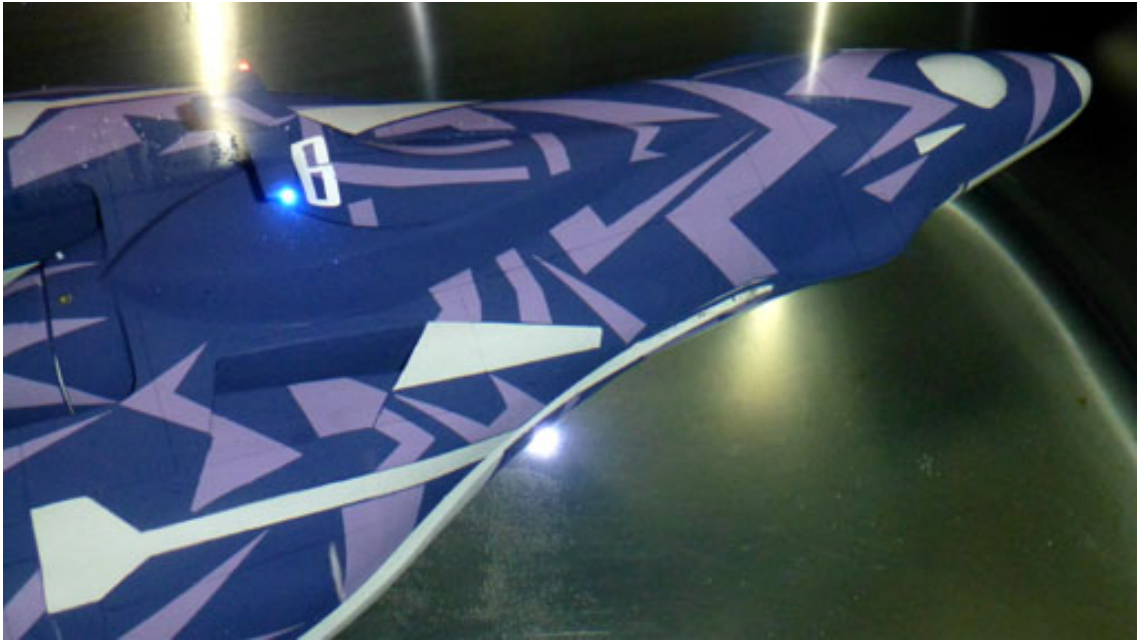
### (1) 浮上状態



(2) 水タンク注水完の状態（注水時間は 17 秒）



(3) ピストン・バラスト注水完の状態（完全に潜水）



(4) ピストンバラスト排水完の状態



(5) 水タンク排水完の状態 (排水時間は 18 秒)





## 7. 結論

以上、全長 860mm の中型ラジコン潜水艦で軸流ポンプ+シュノーケル付き水タンク方式を試した結果、

- (1) ガス・バラスト方式並の潜水・浮上性能を有する。
- (2) ガス・バラスト方式と異なり、ガス充填の手間が無く、ガスの減少によるバランスの狂いもない。
- (3) ピストン・バラスト装置を備えているので水中静止等微調整が簡単。

最後になりましたが、本考察に当たり多目的プールの使用を御許可下さった国立研究開発法人 海洋研究開発機構(JAMSTEC)殿に感謝の意を表します。