

水中ビークルの浮力調整方式の考察

2017.2.19

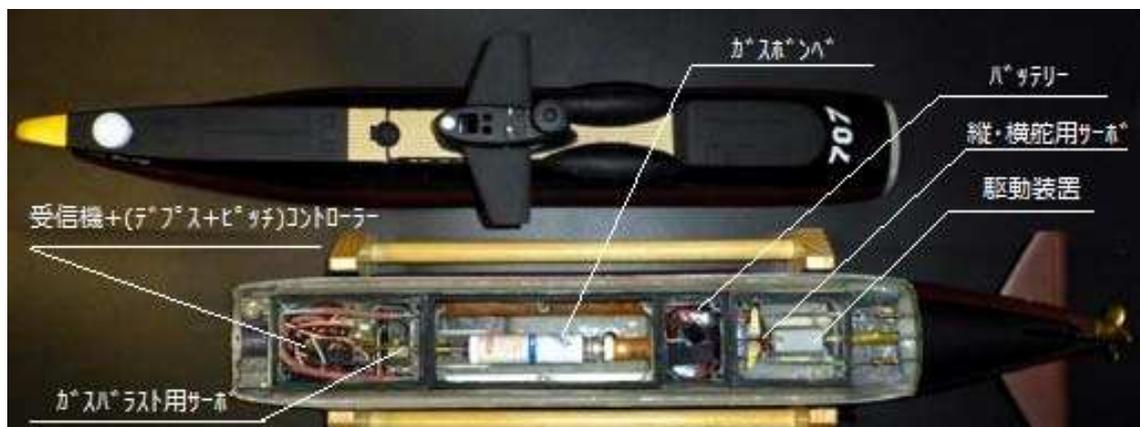
吉川 博樹

水中ビークルは水上船と異なり水中に潜って航行します。一番簡単なものはダイナミック・ダイブ方式と言って、防水処理を施した艦の喫水線を水面ぎりぎりに設定し、下げ舵で自力で潜航させます。この方式は簡単ですが、水中で静止できないといった課題があります。水中で静止させるには、耐圧容器内に水タンクを設け中性浮力になるまでタンク内に注水する機構が必要になります。今回全長 730mm 程度の水中ビークルで、各種潜水方式を試したので報告します。

1. ガス・バラスト方式

ガス・バラスト方式とは、耐圧容器内に設置した水タンクにベント弁を開いて注水することにより潜り、ベント弁閉じガスボンベからガスを放出して排水することにより浮上するシステムです。

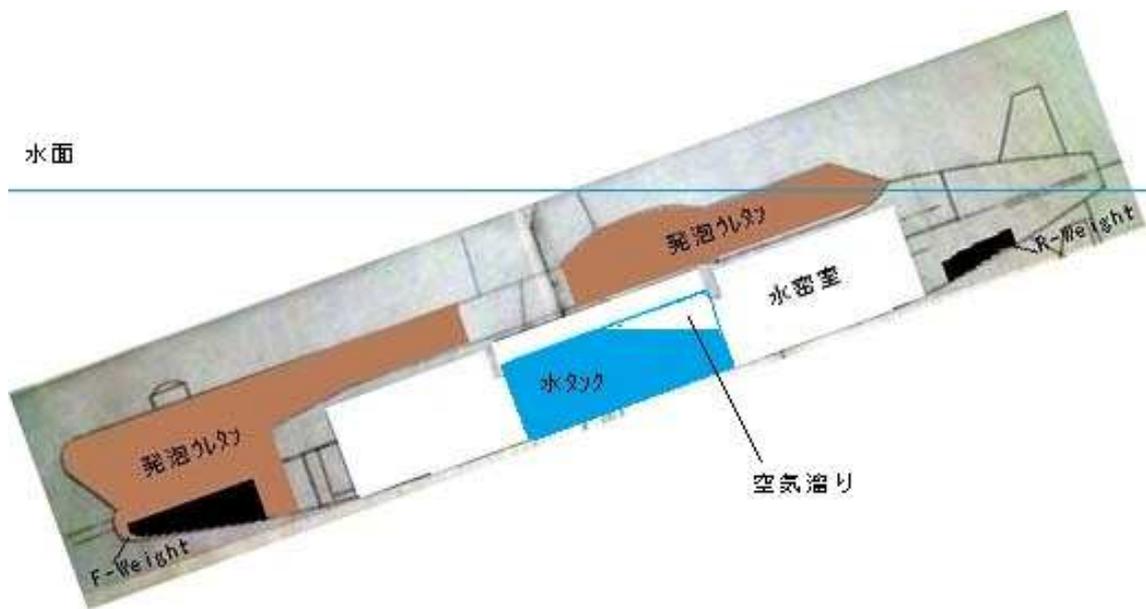
ガス・バラスト方式を採用した自作の「1/120 サブマリン 707」の全体の配置を下に示します。



利用できるガスボンベとして 100 均の自転車用空気ボンベがありますが、流石に大き過ぎて使えないので一回り小さい 16cc のもの（中身を出して、内部を揮発性の洗浄剤で洗浄）を使用しました。制御用のサーボは 1 個で、引いてベント弁を開け押ししてガスを放出するように設定しています。注水容量が 390cc と大きいため下の写真のように一応甲板を水面上に出すことが出来ました。



本システムの課題は、潜りながら（下向きで）注水すると、ベント弁が注水室の平らな蓋の真ん中に付いている関係で、注水室の空気が完全には抜けず空気溜りができてビークル後部を空中に突き出してしまうと言うものです（下写真）。



こうなると稼動部が全て空中と言うことでビークルをコントロールすることが全く出来ません。注水室の蓋をピラミッド状にしてベント弁をその頂点に配置すれば空気溜りが出来なくなり、このようなトラブルはなくなります。今回のような小型ビークルではそのスペースがなく操縦には注意が必要です。

また、ガス・バラスト方式は当然のことながらガスポンプが必要になります。満充填時と空の時ではポンプの重さが変わるので、微妙な浮力調整が必要になります。水タンク内の水量の微調整もやり辛く、ガス・バラスト方式だけでは安定した水中静止の実現は容易とは言えません。

2. ハイパワーサーボを使用したピストン・バラスト方式

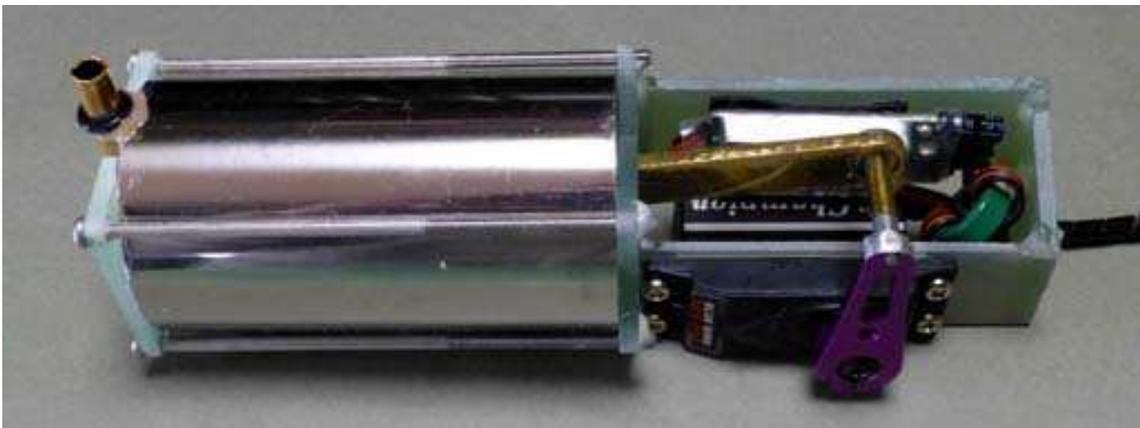
下に今回製作したハイパワーサーボを使用したピストン・バラスト装置の写真を示します。作り方は前回記した「ピストン・バラスト装置の開発」を参照して下さい。

仕 様

駆動電圧 : 6V

注水量 : 72cc

外法寸法 : L167mm×H52mm×W45mm



本装置を組み込んだのは「1/120 サブマリン 707」です。下にその組み込み状態を示します。



本システムの課題は、浮上時水面に出ている部分の質量が 72g と小さいことで、下の写真のように甲板は完全に水没しています。水中静止は出来ませんが水上航行時の状態がダイナミック・ダイブ方式と変わらず美しくありません。



3. 3Dプリンター用 M8 多条ネジを使用したピストン・バラスト方式

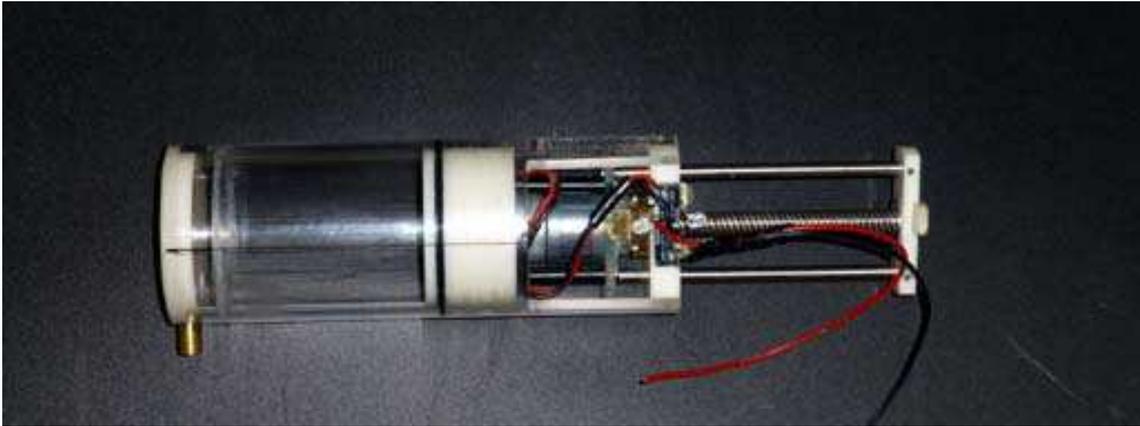
下に今回製作した3Dプリンター用 M8 多条ネジを使用したピストン・バラスト装置の写真を示します。作り方は前回記した「ピストン・バラスト装置の開発」を参照して下さい。

仕 様

駆動電圧 : 6V

注水量 : 183cc

外法寸法 : L275mm × φ 60mm



「1/120 サブマリン707」に本ピストン・バラスト装置を組み込んだ写真を下に示します。水密室の大半を本ピストン・バラスト装置が占めているのが分かります。



注水量が72ccから183ccと2.5倍になったので、浮上時甲板は辛うじて水上に出ました。水中静止は容易です。

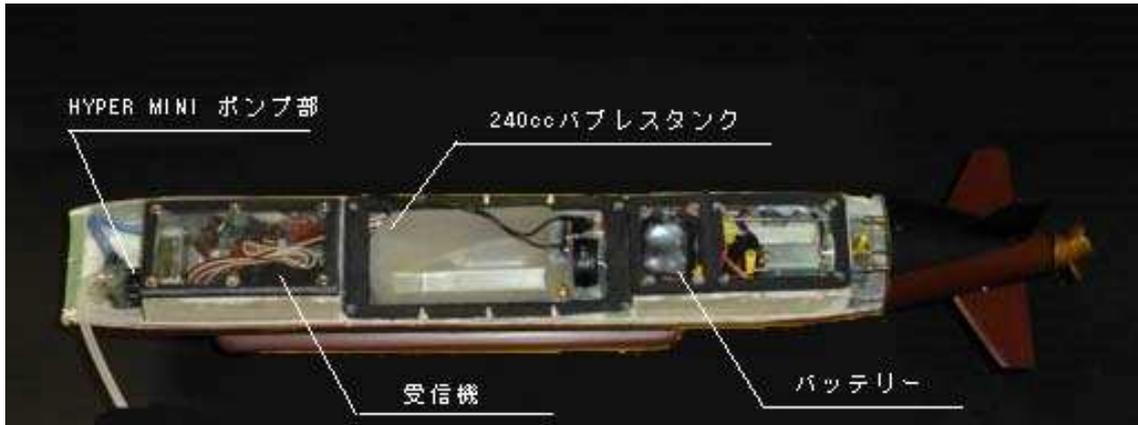


4. ポンプ・バラスト方式

模型用エンジンを使用したラジコン飛行機の燃料タンクとしてバブレスタンクというも

のがあります。タンクの内側にシリコン製のバルーンを設けた特殊な燃料タンクで、バルーン内の空気を排除して安定な燃料供給を可能にするものです。これを水タンクに使用すればタンク内の水の偏りが無くなり、ガス・バラスト方式のようなタンク内の空気溜りが原因のビークル後部を空中に突き出してしまうという不都合が改善されると思われます。

「1/120 サブマリン 707」に本ポンプ・バラスト装置を組み込んだ写真を下に示します。



下に浮上状態の写真を示します。写真で分かるように甲板を水面上に出すことが出来ました。



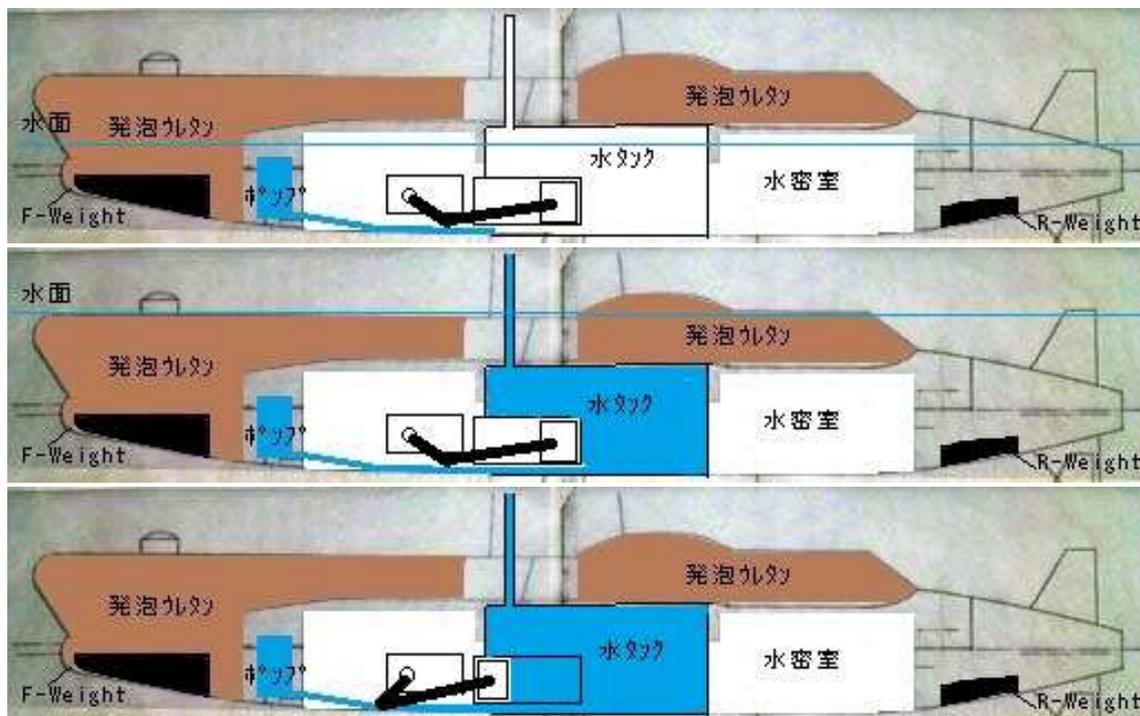
ポンプバラストシステムを搭載することにより、浮上時に甲板を水上に出すことが出来、更にどのような動きをしても常に水平を保つことが出来る「サブマリン 707」を手に入れることが出来ましたが、潜航までの時間が長いこと（約 1 分）とポンプの漏れで静止状態で同じ深さに留まれないと言った課題が残りました。電磁弁を付けるスペースは無いので、この辺りは我慢するしかありません。また密閉室の内容積が 1300cc 程度であるのに対し、比較的大きな 240cc のタンクは最大密閉室内を 18%程度加圧します。水密室の蓋は外圧に対しては押し付けられる方向であり水密を保ち易いですが、内圧に対しては弱く漏

れ易いので注意が必要です。強度アップと留めネジの間隔を小さくする等の対策が必要になります。今回は漏れが止まらないので、最終的に真ん中のセクションの FRP 製の蓋はセメダイン EP001 で接着してしまいました。

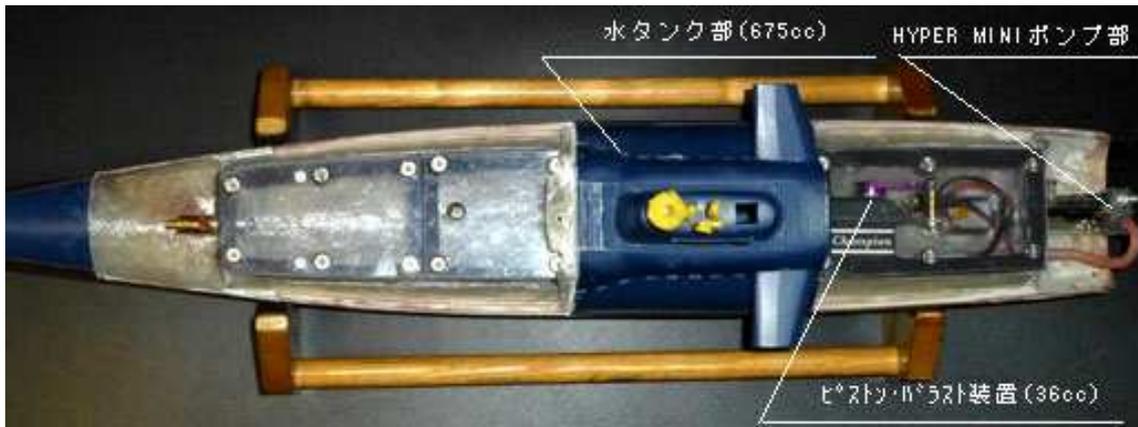
5. シュノーケルタイプのポンプ・バラスト+ピストン・バラスト方式

以上、「サブマリン 707」を使って潜水方式の検討を行なってきましたが、水上走行時の喫水深さの点で満足の行くものは出来ませんでした。「ガス・バラスト」+「ピストン・バラスト」両方を装備すれば、双方の利点を兼ね備えることが出来ますが、1/120 の小型艦に「ガス・バラスト」+「ピストン・バラスト」両方を装備することは不可能です。しかし、「ガス・バラスト」では無く「シュノーケルタイプのポンプ・バラスト」を装備すれば小型ビークルでも搭載可能になります。

下の図を参照して下さい。一番上の図が水タンク、シリンダとも排水した状態で喫水線を確認します。真ん中の図が水タンクにポンプで注水した状態で、喫水はセールの位置まで上がります。シュノーケルの先端は水上なので、この状態からでもポンプで水タンク内の水を排水し、一番上の状態に戻すことが出来ます。一番下の図はシリンダ内にも注水した時で完全に潜った状態になります。



このシステムを検証するため、以前作った 1/120 の「青の6号II」を改造することにしました。改造中の写真を下に示します。



ポンプで注水し沈めて行きますが、水タンクが満水になる前に水没！水密室の容積が1000cc程度しかないのに、水タンクの容積が675ccも有ると言うアンバランスから当然と言えば当然ですが、実際やってみるまで気付きませんでした。仕方が無いので、通常水に浸からない喫水線の上に浮力材を詰めました（下写真）。



ポンプを動かし喫水を下げて行きます。下に連続写真を示します。一番上が水タンクが空の状態です。徐々に水タンクに注水して喫水を下げて行きます。上から5番目が水タンクを満水にした状態です。セールの中程まで喫水が来ています。ピストン・バラスト装置のシリンダ容積から満水時の喫水がもう少し下でも可能ですが、浮力材を入れるスペースが無いのでこれでOKとします。写真の一番下が着底させた状態ですが、ここでもう一つの失敗が明らかとなりました。それはピストン・バラスト装置の給水口を水タンク内にしたことです。水タンクの開口部はセールの頂上で、ポンプで注水しないと水が入らない構造になっています。ピストンを動かして水タンクの容積を変えても、ポンプが動いていなければ水タンク内の水量は変わりません。実に馬鹿げたミスです。ピストン・バラストの給水口は耐圧容器の外部にする必要がありました。今回は仕方が無いので、ピストンとポンプを同時に動かすことにしました。



次に浮上状態で走行テストをしました。スクリューが派手に水を掻き上げ推力が得られない上に、縦舵が効かないと言う 2 つの欠陥が明らかになりました。スクリューがハルの中心にある現代の潜水艦では喫水を浅くすることが無意味であることが判りました。

今回の失敗から、本システムを実用化するには以下の設計ポイントをクリアする事が必要であることが解りました。

- (1) 水タンクは水密室と同じ高さにして必要以上に大きくしない（換わりにシュノーケルを付ける）。
- (2) ハル上部は出来る限り軽く作り、更に重量物は下部に設置してロールし難くする。
- (3) ピストン・バラスト装置の吸・排水口は艦底から外部に出す。
- (4) 本システムが有効なのは先の大戦時の可潜艦であり、スクリューがハルの中心にある現代の潜水艦では有効ではない。

今回数々の失敗がありましたが、上記写真の様に喫水近くまで浮上させることが出来ました。但し、時間は約 2 分掛かります。この 2 分間は些か興ざめなのでポンプの大型化が必要と考えます。

6. 考察

以上、全長 730mm 程度の水中ビークルで各種浮力調整方式を試した結果を次ページに表に纏めました。各々未熟な点があるので完璧ではありませんが、大まかな方向性は掴めたと考えます。

- (1) ガス・バラスト方式は小型ビークルでは欠点が増幅される。
- (2) 水中静止等微調整はピストン・バラスト装置が有効。
- (3) ポンプ・バラスト方式は小型ビークルでは内圧が上昇し過ぎ漏れが発生する可能性がある。また、電磁弁無しでは水中静止不可能。
- (4) 上記第 5 項で述べた課題を解決すれば、小型ビークルにはシュノーケルタイプのポンプ・バラストと小容積ピストン・バラストの複合型が最も有効と考える。

最後になりましたが、本考察に当たり潜水訓練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。

表. 1 各種潜水方式の比較

#	方式	パラスト量	注水時間	水中静止	浮上時喫水	課題
1	ガス・パラスト	390cc	10秒程度	△	○	注水室の空気溜りによる艦尾の空中突き出しの可能性あり ガスポンベの重さ変化
2	ハイパワーサーボを使用した ピストン・パラスト	72cc	1秒以内	○	×	浮上時の甲板の水没
3	M8 多糸ネジを使用した ピストン・パラスト	183cc	5秒	○	△	水密室の大半をピストン・パラスト装置が占める
4	ポンプ・パラスト	240cc	62秒	×	○	潜航までの時間が長い(約1分) ポンプの漏れで静止状態で同じ深さに留まらない
5	シユノーケルタイプの ポンプ・パラスト +ピストン・パラスト	675cc	約2分	○	○	潜航までの時間が長い(約2分) スクリュューがハルの中心にある潜水艦では有効ではない