

(別添)

水中ビークル・フリーミーティング

成果報告

平成22年7月5日

水中ロボコン推進会議

アクアモデラーズ・ミーティング

これまで水中ロボコン推進会議及びアクアモデラーズ・ミーティングが開催してきた水中ビークル・フリーミーティングの平成22年4月11日までの成果を以下のとおり報告いたします。

1. 開催目的

子供の理工ばなれが懸念されているなか、さまざまなロボット教育が各方面で取り組まれているが、水中ロボットについては日ごろ手軽に利用可能なプール等が得られにくく、また水中ロボットの指導者も少ないため、高校等での取り組みはごく限られている。

このため、水中ロボコン推進会議（議長：浦 環）及び市民グループ「アクアモデラーズ・ミーティング」（AMM）は JAMSTEC の潜水訓練プールのほか、横浜プールセンター及び本牧市民プールのオフシーズンでの利用もあわせ、月1回の頻度で水中ビークル・フリーミーティングを定期開催するに至っている。

開催に当たっては、水中ロボコン推進会議（別添1）から JAMSTEC に後援名義使用、使用料金減免、JAMSTEC からの現場責任者の立会い、JAMSTEC 公式サイトでの開催周知等の協力を申請し、減免された料金を AMM が負担することによって、学生及び教師は無料参加できるようになっている。また(財)横浜市スポーツ振興財団からも特段の便宜を図っていただき、学生の入場料を AMM で負担することとしている。

2. これまでの開催状況

本ミーティングは、平成14年3月以来、運営形態の変更を経て、平成21年5月17日の第61回目の開催から現行の運営形態となっている。

本ミーティングを開催する一方、成果を還元するため、14年度以来、JAMSTEC 一般公開で子供向け体験操縦を行っており、17年度からの水中ロボコン in 辰己でも子供向け体験操縦を実施している。

本ワークショップにおける潜水訓練プールの安全衛生責任者は、推進会議からの依頼を受けて JAMSTEC の職員が担当している。現在は JAMSTEC（総務部）が制定した水中ビークル試験実施マニュアルにしたがって危険防止措置を講じ、万一の場合の緊急時対応を行うこととして

いる。これまでの開催状況は下表のとおり。

年度	開催日	備考
平成 13 年度	#1 : 3 月 31 日	
平成 14 年度	#2 : 5 月 11 日 (JAMSTEC 一般公開)、#3 : 11 月 24 日	
平成 15 年度	#4 : 4 月 6 日、#5 : 5 月 10 (JAMSTEC 一般公開) -11 日、#6 : 8 月 31 日、#7 : 11 月 30 日、#8 : 2 月 1 日	
平成 16 年度	#9 : 4 月 25 日、#10 : 5 月 15 日 (JAMSTEC 一般公開)、16 日、#11 : 9 月 11 日、#12 : 12 月 4 日、#13 : 2005 年 3 月 27 日 (船の科学館)	
平成 17 年度	#14 : 5 月 7 日、#15 ; 5 月 14 日 (JAMSTEC 一般公開) -15 日、#16 : 9 月 4 日、#17 : 10 月 23 日 (本牧)、#18 : 11 月 20 日 (本牧)、#19 : 12 月 11 日 (追浜)、#20 : 1 月 15 日 (本牧)、#21 : 2 月 12 日	海上技術安全研究所が参加
平成 18 年度	#22 : 4 月 30 日 (追浜)、#23 : 5 月 14 日、#24 : 5 月 20-21 日 (JAMSTEC 一般公開)、#25 : 7 月 2 日 (追浜)、#26 : 9 月 10 日 (追浜)、#27 : 10 月 15 日 (本牧)、#28 ; 11 月 12 日 (根岸合同)、#29 : 12 月 2 日、#30 : 12 月 17 日 (追浜)、#31 : 1 月 14 日 (追浜)、#32 : 2 月 11 日 (根岸)、#33 : 3 月 11 日 (追浜)、#34 : 3 月 24 日 (辰巳)	大阪府立大学が参加 JAMSTEC 一般公開、その事前調整及び撤収については安環室・応用技術部が主催。
平成 19 年度	#35 : 4 月 15 日 (横浜)、#36 : 5 月 6 日 (追浜)、#37 : 5 月 12 日 (JAMSTEC 一般公開) -13 日、#38 : 7 月 1 日 (追浜)、#39 : 8 月 5 日 (追浜)、#40 : 9 月 9 日 (本牧)、#41 : 10 月 14 日 (追浜)、#42 : 11 月 18 日 (本牧)、#43 : 12 月 9 日 (追浜)、#44 : 1 月 13 日 (根岸)、#45 : 2 月 10 日 (追浜)、#46 : 3 月 9 日 (根岸)	同上
平成 20 年度	#47 : 4 月 13 日、#48 : 5 月 3 日、#49 : 5 月 10 (JAMSTEC 一般公開) -11 日、#50 : 6 月 8 日 (追浜)、#51 : 7 月 13 日 (追浜)、#52 : 8 月 24 日 (追浜)、#53 : 9 月 28 日 (本牧)、#54 : 10 月 19 日 (追浜)、#55 : 11 月 16 日 (本牧)、#56 : 12 月 7 日 (本牧)、#57 : 1 月 11 日 (本牧)、#58 : 2 月 8 日 (根岸)、#59 : 3 月 8 日 (根岸)	
平成 21 年度	#60 : 4 月 12 日 (根岸)、5 月 10 日 (一般公開事前調整)、5 月 10 日 (JAMSTEC 一般公開)、#61 : 5 月 17 日 (追浜)、#62 : 6 月 14 日 (追浜)、#63 : 7 月 12 日 (追	東大、信州大、海洋科学技術高校が参加

	浜)、#64：8月9日（追浜）、#65：9月13日（根岸）、 #66：10月11日（追浜）、#67：11月8日（根岸）、#68： 12月13日（追浜）、#69：1月10日（根岸）、#70：2 月14日（追浜）、#71：3月3日（根岸）、3月13-14 日水中ロボコン開催に協力、#72：4月11日	
--	--	--

以上のほか、特筆すべきこととして、2010年3月13-14日にJAMSTEC潜水訓練プールで初の水中ロボコンが開催された。韓国、上海、台湾、ハワイからの参加者を含め16機関が参加し、AUV競技等が行われ、各部門の優秀作品が選ばれた。しかしながら高校からの参加は2校に限られ、引き続き、本ミーティングなどにより裾野を広げる取り組みが必要である。

3. 成果

参加者それぞれのレベルに応じて、以下の技術資料を取りまとめた。

- (別添1) ものづくりについて（一設計社から思うこと）
- (別添2) 水中ラジコン電波の可能性について
- (別添3) 2c h仕様ラジコン潜水メカの改良（中高生向け工作課題）
- (別添4) プラモ改造の実例
- (別添5) 水中ビークルの形状と運動性能の関係
- (別添6) 初心者向けパーツ及び技術の提案
- (別添7) 灯油ポンプを改造した水中ポンプ（製作が難しいギアボックス、水密貫通軸、プロペラが不要）
- (別添8) ペットボトル製水中グライダー（工作教室の開催に必要な標準化がほぼ完了し、8キットを製作して2009年5月16日JAMSTEC一般公開で実演教室を行った）
- (別添9) ラジコン潜水艦について（2009年、設計工学、第44巻第6号）
- (別添10) アクア・スタント（水中での航空機のマニューバ）
- (別添11) アクア・スタント（2）

そのほか以下の成果があった。

(1) 無線

- ① 通常の汎用ラジコン送受信装置は、空中同志のみならず空中から淡水中への制御の伝送にも使え、水面直上近傍から送信すれば、水深3.5m位までは十分FMやAM電波による制御情報が届く。水深5mについてはメカによっては操縦可能。
- ② 水中ではPPM(FM)よりPCMの方がより安定していることを実感した。プール内にはノーコンとなるポイントがあり、PCMでもその場所に来ると駄目。
- ③ 受信機の差、アンテナの張り方の差で水中での受信感度が変わる。水中でのアンテナは水上(地上)とは違い垂直に立てておく必要はない。
- ④ 送受信機のメーカーを統一しないと、ノーコンが発生する。

⑤ アンテナ長、アンテナの巻き方による受信感度の違い

i) こんなフレキシブル・アンテナを使用。

http://www5e.biglobe.ne.jp/~askyhoby/okaimono/antena/asky_antena.htm

40MHzだと大体7.5mの波長になると思われるがさすがに7.5mのアンテナは使えず、概ね1/4波長程度のアンテナが装着されていると思われる。このフレキシブルのアンテナはコイル状になっていて実質のアンテナ長は長く効率が良いようである。何m有るのか分からないがこれに変えてから快調。

ii) アンテナを延長して外に出していたのを、今回はノーマルの長さで水密箱の中に這わせたが、これもよかったのかもしれない。ただ、中央付近のプール底に着底してしまうとノーコンになってしまうのが難点。

iii) アンテナ長について、ヤマトのアンテナを前回の4倍から6倍に延長してみたが、プール底でノーコンになってしまい、4倍ならプールのどこでもノーコンにならないという前回の結果が一番よいという結果になった。

エンタープライズは円盤部を一周していたアンテナを2周にして試したが、効果は変わらず、水中窓からの操縦はやはりできなかった。これはフタバの受信機の性能なので仕方がないようだ。こちらの方の次期モデルにはアンテナブースターを入れて窓からの操縦を復活させたい。

214潜水艦にはR156Fを載せており、アンテナ長を4倍に伸ばしている。この状態で走行させていたが、ほとんどノーコンはなかった。何分か走らせていてノーコンになったが、これは浸水による影響であった。

一方、以前より気になっていたアンテナの巻き方による受信感度の違いについてテストした。使用した受信機はフタバのR156FとJETI REX 5 Plusである。20cmほどの直線で往復させて張った状態と、直径8mmほどのパイプに巻きつけたものと、サーボの誤作動がどのように起こるかを見てみた。

結果としては、細いコイル状に巻くよりも直線で往復させた方が感度がよかった。また、R156Fは直線往復で張っても、ある程度距離が離れるとサーボのびくつきがあった。

REX 5はコイル状に巻いた状態でも、それなりに安定していたが、直線往復で張った場合、プールを挟んだ距離でも誤動作がほとんどなかった。

コイル巻きにした場合は、インダクタンス成分も絡んでくるので色々と検証が面倒だなと思っていたが、今回小径で巻いた場合の利得の低さ（耐ノイズ性の悪さ）が分かった。巻く芯方向を水平に倒しているのも、指向性も結構出ているはず。潜水Qのように、アンテナを垂直に立てている場合にはコイル巻きでもある程度は感度が稼げるはず。

コイル巻きにした時にフェライトの芯を入れたらどうなるのかも興味深い。

以上の結論として、根拠未詳ながら、アンテナはコイル状よりも直線状に張ったほうがよく、アンテナの張りはフタバの受信機を使うならアンテナ長を4倍に延ばせば問題なく使えることが分かった。

iv) これは私見だが、受信性能が一番劣るフタバでも、A型の円盤部の大型円形アンテナのおかげで受信性能が上がり、ヤマトも前回からのテストで延長して船体内を2週することで受信性能が上がり、D型にいたっては円盤部に4倍長の4重巻きの円形アンテナのおかげか、まったくもって問題ない。受信側のアンテナ形状などでの受信能力の差が出ているのが原因ではないかと思われる。

竹内先生の言うように送信アンテナを水中に入れることで性能が上がるなら、2.4Gのプロポが使えるようになるととても助かるが。

⑥ 各種受信機の比較

i) 受信機をフタバの **R156F** に乗せ換えたところ、かなり安定して走るようになった。6割～7割のスロットルで走らせている分には問題ないようである。

ii) エンルートの Neko ブランド FM 受信機 40MHz を使用した。

http://www.enroute.co.jp/store/index.php?main_page=product_info&Path=188_11_57&products_id=2439

フタバ専用とのことだが、サンワのクリスタルでも問題なく作動した。

iii) 受信機については R156F よりも **JETI REX 5** の方が優れている。

iv) **フタバ R113IP** (27MHz) 9ch 改造受信機

バッテリーの劣化や浸水など、船体側のトラブルで十分なテストとは言えなかったが、同じ受信機 (40MHz) との使用感の違いは感じられず、追浜のプールで走らせる分には問題ないように見えた。

次は送信機のモジュールがナローバンド化以前の物なので、隣り合ったバンドに混信が起きないかテストしてみたい。

前から動作が怪しかったタマゾーの **TS-1004** をフタバの **MS-1** (1,000円) に換装した。MS-1 はマイクロコネクタなのが難点だが、マイクロコネクタの受信機 R124F (1,200円) も購入した (いずれも秋葉原のフタバ産業)。受信感度が JETI より劣るようで、水深 3m エリアの中央付近で多少不安定になるものの、特に問題はなさそう。

なお、⑧及び⑨に関し、実際にアンテナの特性を調べるなら、それなりの機材 (電界強度計や SWR 計など) や環境 (電波暗室) を用意したうえで計測・測定したほうがよいが、今回は日頃ノーコンが出ている環境下で、どのような機材ならノーコンになりにくいかを比較実験したもの。受信専用なので、極端なインピーダンスのミスマッチはトライ&エラーで潰している状況である。

v) GWS と CORONA RS610II

GWS の 6ch と **CORONA** の **RS610II** というやはり 6ch の 2 つの受信機を比較した。アンテナの巻きは 30cm ほどの往復巻きのみ。コイル巻きでは感度が落ちることが前回実証済みなので、今回は行わなかった。

結果から言うと、GWS の受信機はノイズの影響を受けることなく安定して動作していた。CORONA の受信機は、アンテナ長は GWS のちょうど 2 倍あるが、ノイズの影響か、ち

よくちよくぴくついていて安定しなかった。前回と今回の結果からすると、ノイズに強い小型のFM受信機はJETIとGWSのシリーズといえそう。

vi) GWSにフタバのクリスタルを延長ソケットで使用したものをテストしたが、午前午後とも終始安定していた。3mゾーンでテストしたが、ちゃんと反応していたので、GWSは結構優秀だと思われる。今回、A型はフタバ、ヤマトはREX5、D型はGWS6chと、全部別の受信機を使用したけど、すべて安定していた。

安定している時はともかく、今回のように何らかの電波障害がある時には受信機の受信性能とアンテナ形状が影響するのではないかと。すべて同一条件でのテストではないが、フタバ<GWS≤REX5のような気がする。サイズや使用しやすさでREX5の勝ちだと思うが、入手しやすさや安さや6chという要素を考えるとGWSという選択もありだと思う。

⑦ マイクロクリスタル

GWSなどの小型受信機に使われるマイクロクリスタル(型番:BRG-XP40**0、**はバンド)は、地上バンド用のものをクリッパーとAir Craftで扱っている。

<http://clipper.nobody.japan/techo/nichimo-asagumo/11-20/asagumo-20.htm>

<http://aircraft-japan.com/shopdisplayproducts.as@p?id=80&cat=radio+-+CRYSTALS>

GWSの6chは専用クリスタルのソケットになっているため、専用ソケットを作ってそこに配線するなど、何らかの形で通常クリスタルをつなぐ方法が必要になる。フタバのクリスタルで問題なく動作する(実験済み)ので実用上問題ないが、値段の安さはその手間分引いてあると考えると考えたほうがいいのかもかもしれない。

海外では40MHzの陸用クリスタルもあるそうだが、取り寄せなどの方法を考えるよりフタバを流用するほうが手っ取り早い。

(2) 運動性能

① ある程度のスピードはあった方が、普段はゆっくり走らせていても万が一の時回避しやすい。

② 舵は面積、切れ角度共に大きい方が効きが良いが、面積をスケール通りに作成しても切れ角を大きくすることで小回りは効く。ただし、スピードが上がると抵抗になるだけで、艦尾を横滑りさせるベクトルは小さい。

③ 下反角付き水中翼の効果

高速で走航する水中モデルでは旋回時に内側へ強く傾く(バンク)が、これは浮心点が重心点より上にある以上、重い船体下部が慣性により外側への力が働き、船体に回転モーメントを与えてしまうからで、この傾きを抑えるため航空機でも見られる下反角の付いた翼を取り付ける事で、横スライドしながら旋回する際に翼上面に受ける水圧で内側への傾きを、ある程度抑えることができるのを確認。

逆に、上反角を与えてしまうと旋回時に船体は大きく傾き、場合によっては背面状態になることもモデルで確認。

- ④ ダイナミカルダイブで正の浮力を持っているモデルでは、深く潜航した場合に浮力がバランス上強力となって、浮上する方向に運動開始するが、一旦船首が上を向いて浮上を始めてしまうと潜舵の効果だけでは浮上を制御できず水面から飛び出してしまう現象が経験された。
- ⑤ 深さのある水中では準無重力状態の再現が可能で、宇宙船や航空機等の3次元運動をシミュレートできる事が分かった。
- ⑥ 前方エルロン翼+推力偏向というシステムの水中機動をプールの中から見ることによって、船体の動きと翼や推力偏向システムの機動の相関関係を理解することができ、よって自由に操縦できるようになった。これに関しては深さがあり水中での操縦や水中窓画あったことによる恩恵大。
- ⑦ 水中グライダー
- ・前傾姿勢・水平性を安定させるには浮心・重心間の距離をある程度確保しなければならないこと、また水圧で圧縮されにくい安価な浮力材として、アクリサンデー (株) の FOREX が適していることがわかった。
 - ・非常に低速の平板翼グライダーでは、翼幅だけでなく、翼面積もある程度大きくなければ揚力が保てないことが分かった。
 - ・翼を胴体の上面に付けると、下面に付けるより大幅に揚力が低下することが分かった。
 - ・回収手段として、釣り糸とリールを用いる方法を見出した。釣り糸を操ることによって方向及びトリム角を制御して飛距離を伸ばせることも分かった。
- ⑧ 可変翼
- 全開、全閉、中間位置、1/3 開とすべて操縦性が変わる。飛行機の主翼と同じ役目を果たすわけではないが、船体と翼面積/角度の組み合わせで上下方向での反応の早さが変わる。(トムキャットの可変翼の意味が操縦で実感できる。)
- 当然全開が一番反応が早くなるが、操縦しやすいのは1/3 開状態が走行のイメージとしてベストとなっている。レーザーも可変翼にすれば操縦性自体を船体側でコントロールすることも可能だと思われる。
- ちなみに、レーザー1の羽根に関しても旋回方向に合わせて左右の角度を変えたセッティングを行うことによって、旋回時の小回りと安定性が増す。直線走行時には船体が見妙に傾くため速度に影響はするとは思いますが、今のところ一定方向に回るレギュレーションのため、旋回時優先のセッティングとしてはありだと思う。
- たまたまぶつけたときに羽の角度が微妙に変わっていたため気がつかなかったが、サーボを一個追加してエルロンミキシングをかけるより手軽で実用的。
- ⑨ 空中と海中との比較
- 水中機動は同じ3次元航行する空中モノ(飛行機)とは若干動き方が違う。前に進み続けることにより揚力を発生する飛行機とは違い、停止状態でも浮力を発生する水中モデルは停止状態と推進状態両方のバランスをとる必要がある。常に浮力中心と重心を合わせなければ水

中でバランスを崩してしまう。

姿勢の制御は飛行機等と同じでありロール・ループは可能。ロール制御については船尾に設置した水中舵で制御可能。しかし飛行機のように背面を続けることは浮力と重心が逆転しているのが難しい。また飛行機のアクロ系でナイフエッジ、コブラは水中抵抗が大きいため姿勢を持続するのが難しい。

飛行機と違い水中では抵抗が大きいため水中舵に掛かる力が大きくなるのでサーボのトルクには注意が必要!!

(3) 推進

① モーター 2 ローターの遠心ポンプ式ウォータージェット

モーターの回転をギアで 2 軸に振り分け 2 基の遠心ポンプを駆動した。これだと 2 個のモーターを使った時に比べ左右の噴射量に大きな差が出ない。噴射口が左右に大きく離れたモデルには有効な方法。

② 噴射ノズルへの V テールミキシングの応用

リンケージを複雑にすることなくラダー、エレベーターのコントロールが出来る。

③ ヒレ推進のテスト

ヒレだけで推進と方向の制御が出来る様にタミヤのメカ・フグを改造。ひれの形状を色々変えてテストの予定。

ヒレ推進の研究のために、簡単なバタ足ロボットの走行実験を行った。大型のモデル製作はこれからの課題である。

④ 遠心軸流推進の効果

通常のスクリュープロペラにダクトを被せただけの軸流推進では効率が悪く、ノーマルプロペラほどの推力が望めないが、スクリュープロペラの回転による遠心力が加わった水流がぶつかるダクト内面に円錐状の斜面を設置することで、その水流は後方へ押し出されて推力低下を防ぎ、ダクト噴射口に発生する水圧に対して適切な整流、口径の絞込みによって水流速度を上げる事で推力を上げることができる。

⑤ 通常のモーターによる推進方法を比較すると、船外に装備したプロペラの推進力が最も大きい。

⑥ 推力偏向ノズルでの航行方式を確立。ノズル自体も進化させてきた。

⑦ ポンプモーターは、定期的に整備・交換しないと故障が発生する。

⑧ ポンプジェット式の潜水艇の速度は、水流の確保とモーターの KV 値及びバッテリーの性能の組み合わせによる。

⑨ ウォータージェット推進

ウォータージェット推進のスクリュープロペラを RC 飛行機用のモノを流用してみた。水中と空中ではレイノルズ数が違うため流れの剥離・乱流が懸念されたが、特に使用上の不具合は見られず。

フルスロットル時に船体の傾きが見られるが、これは反トルクの影響でありセッティングで回避は可能。

水と空気の違い＝流体の密度が異なるため飛行機用のペラでは効率が悪い or トルクが必要と懸念したが、バッテリーの持ち、推進力ともに満足できるレベルであり特に問題の発生はない。模型レベルのペラであれば差が発生しないと推測される。

(4) 水密性・耐圧性

① 定期的に水密の確認をし、FRP とゴムパッキンの接着はがれの補修をしないと、水漏れが発生する。

② 精密な WTC では、水深 1.2m であれば 3 ヶ月以上沈していても水漏れがない。

③ モーター、バッテリー、サーボ、受信機+アンプの個別防水モジュール化

これによりモーター、バッテリー、サーボが故障やモデルの変更時簡単に交換ができるようになった。

モーター：出力軸を Oリング それ以外は バスコーク で防水。

バッテリー：熱収縮する塩化ビニールチューブで被い端面を バスコーク で防水し、充電時に発生するガスを逃がす為ピンホールを開ける。この穴は走行時防水テープでふさぐ。

サーボ：出力軸を G 4 シール それ以外は バスコーク で防水。

WAYPOINT W-060

GWS PICO STD の 2 種類のサーボが改造可能。

以上 3 点共通：電源コードをセンターに穴を開けた 6 mm ポリカねじに通し、バスコークで固定。

受信機+アンプ：これだけ防水ボックスを作りこの中に収めた。これに 6 mm ナットを接着しここにモーター、バッテリー、サーボを接続する。

受信機のアンテナを 40 mm ほど残して切断し、残りのアンテナ線はボックス側に接着固定、これにコネクターを半田付けして再接続。これで長いアンテナの取り回しが楽になり浸水の可能性のある穴を一つ確実につぶせる。

④ 防水ケースの製作とメンテナンスを容易にするために、締め付けボルトの数を減らした (4 本のみ) 構造のテストを実施。しかし蓋をアルミアングル、黒檀等で強化したものの、20 センチを超えるネジ間においてはたわみを生じ、計画通りの防水性能は得られず改良中。現在の实用時間は 10 分程度である。

⑤ 食品用レンジパックを防水ケースにした場合、潜航は 1 メートル前後なら問題なく行えたが、それ以上になると浸水が見られた。

⑥ 浸水対策のひとつとして、前後バランスの崩れを防ぐために重心位置に吸水シートを敷いてみたが、有効であった。

⑦ サーボモーターの水密改造を実施。信頼性については検証中である。

⑧ 水密サーボをやめてサーボを自作防水ケースに入れることで信頼性が上がり、3.3m 及び

5mの水圧でも十分信頼性のある防水サーボの製作技術が確立できた。

- ⑨ 防水の対策は3メートルと5メートルでは格段に違ってくる
- ⑩ 密閉された空間ではたとえ水の中でも熱に関する対策が必要である
- ⑪ **バスコーク**の充填では防水が不完全。防水用の EP001 の上からバスコークより**セメンダイン製スーパーシール**を塗ると作業が早い。屋外用の補修材なので耐候性は抜群だし、乾燥時間がバスコークよりかなり早く作業が楽。
- ⑫ Oリングの防水性低下時はシリコンスプレーを吹きかける。
- ⑬ 214型潜水艦に浸水があったため、帰宅後セミドライハル内を加圧して風呂桶で動かしていたが、浸水はなかった。たぶん、回転軸からの浸水とは思いますが、タミヤの**セラミックグリス**からAZの**汎用グリス**に替えたばかりで、まだ馴染んでなかったのかもしれない。他の**シャーシグリス**（カルシウム石けん基）や**ウレアグリス**（ジウレア基）なども試してみても、防水性・耐水性を調べてみたい。

ヨコモの緑色の**Oリンググリス**もよい。ヴォイジャーでリンケージロッドの水密に使っていたが、最近売っておらず、シリコングリスよりかなり粘度があり、Oリングを使用したグリス封入リンケージロッドを使うともものすごく強力な防水になる。今は手持ちがなかったのでシリコングリスを入れているが、これを使う方がメンテの間隔が倍ぐらい伸びる。量の割りに高いのが難点。

http://clipper1.nobody.jp/maker/yokomo/sd_bd-danper/sd_bd-danper.html

(5) 浮力調整

① 環境変化と浮力

・水圧による浮力変化

水面下で浮力がわずかにプラスの設定であっても、水深3mでは水圧による水密区画容器の収縮により浮力はマイナスになる。その浮力変化は水密区画容器の耐水圧強度で左右される。

・水温による浮力変化

自宅において水道水を貯めた水槽で浮力調整を行ったモデルは、潜水訓練プールでの水温の温度差による水密空間内の空気膨張、収縮で浮力と姿勢が変化する。また、走航中に発生するモーター、バッテリーの発熱で水密空間内の空気が膨張して浮力が変化するが、いずれにしても水密区画容器の強度によって浮力変化の影響は左右される。

・気泡付着

浮力調整機能を持たない艦は今までは水温の温度変化で浮力材の増減を調整していたが、今年は船体全体が気泡に包まれるという現象が起こり、潜らなくなってしまった。これに関しては現在対処法不明。

・バラストタンク排水後の浮力変化

バラストタンク搭載モデルで水深3mにおいて完全排水した後、浮上の際の水深変化と

共に水圧が弱くなり、水圧の掛かったバラストタンク内の空気（空間）が膨張し浮力が増して浮上速度が加速される。

② さまざまなバラスト方式

これまでバラストタンクへの注排水は**ベント弁とガス、ギアポンプ、ピストン**を用いた3方式があるが、ガス式バラストタンクは完全な注・排水が前提で、微調整が難しく、またガスの容量により潜行浮上の回数の制限がある。ギアポンプでは回数制限は無いが、ギアポンプを停止するとポンプの隙間から徐々に排水してしまう。ピストンはトルクの関係からあまり容量が確保できない。これらさまざまなバラスト方式について以下のとおり試みた。

・ガス式

浮力バランスは船体重量の1%前後のウェイト増減だけで変化があった。つまり1500gの船体に10gのウェイトでガラリと変わった。

特にガス式の場合はガスが気化することにより重量が減る＝バランスが変わることとなり、重量バランスで艦の性能が決定され、事前の微調整が不可欠。浮力と重力の関係を理科?物理?の観点から良く理解していないと性能のいい艦は作れない。

・ダイナミカルダイブ

浮力調整をうまくやると、故障の発生しない信頼性のある船となる。スクリューの推力で潜行するためそれほどバランス取りに神経質になる必要はないため、入門モデルとするには最適なシステムである。

・ピストンバラスト

トリムタンクとして小型のピストン式バラストを搭載することで、変化する浮力の調整ができ、低速でもスムーズな水中走航が行える。

ピストン式のバラストタンクには、かなりの水圧が発生し、バラストタンクの径とサーボのトルクやリンケージが極めて重要。

・ローラーポンプ(チューブポンプ)

ローラーポンプを用いたものは、ガス式、ギアポンプ式に比べると微調整が可能で、回数の制限も無く、ポンプを停止してもタンク内の水量は保持される。容量に関しては200cc程度のタンクで100cc以上の注排水が行えるので船体に気泡が付いて浮力バランスが崩れたような場合でも潜水することができる。

欠点としては注排水速度があまり大きくないことがあげられる。完全浮上状態から潜水するのに数十秒から1分程度かかる。しかし潜水艇など急速潜行、急速浮上を行わない船種であれば理想的なバラストシステムと考えられる。

・ギアポンプによるピストンバラスト

ポンプーピストンバラストをトラベルウォッシュレットでテストしてみた。

<http://www.youtube.com/watch?v=VKyvHsoGygg>

モーターはABCホビーの130モーターを使用しており、5Vで駆動している。注射器は

25mlのものになる。動画を見てわかるとおり、結構なスピードでピストンが動く。それにかなりの圧がかけられるようで、放っておくとピストンが勢いよく飛んでいく。また、シリンダーに水が入っている状態でピストンを押してもなかなか水が排出されない。よほど内圧が高くない限りは、水の逆流は考えなくてもよさそう。

⑤ デプスコントローラー

プログラムを再度改良したデプスコントローラーのテストの結果：

- 1) 小型艦では作動に問題なし。
- 2) おやしおに搭載（潜舵・横舵連動）では、イルカ運動が十分制御できず。
- 3) 特務艦はるしおによるテスト（横舵はメカニカルピッチコン、潜舵はデプコン操作）は良好な結果だった。

ということで、今回のプログラムを一応の完成バージョンとする。大型環への搭載は、横舵ーピッチコン&潜舵ーデプコンの搭載が必要だが、受信機のエレベーター c h に Y ハーネスで分岐して両方に使えば良さそうだ。

(7) その他

- ① 深海潜水艇の歴史上欠かすことのできないバチスカーフ トリエステ号をスケールモデルとしても通用するレベルで再現した。
- ② 空気中で大音量の音源（ソナー音）であっても水中で鳴らすと殆ど聞こえず、水中用発音体が必要な事が分かった。
- ③ 高校生向け工作事例として、2個のモーターで左右のペラの回転をコントロールして自転し、回転した船体に取り付けたフィンの働きで推力を発生して潜航浮上する構造を開発した。
- ④ 特定のメーカーのサーボの発熱が原因でトラブルが多発。検証の結果サーボ自体の特性と判明。以降このメーカーは使用しないこととした。
- ⑤ ニッケル水素のバッテリーでも、メモリー効果がでることが分かった。

4. 今後の課題

神奈川県において、水中ロボット試験のためのプールの利用機会が毎月開催できるようになったこと、社会人グループによる費用負担によって高校等の無料参加が可能となったことは大きな成果であり、これは貴機構及び横浜市に使用料金の減免を認めていただいた結果、社会人の参加人数が少なくても計画的に開催できるようになったのが大きい。

同時に、社会人の参加者数が常時十数人確保されるようになり、技術交流の場としても有意義な場になったと考えられ、高校等が参加するうえで環境が整ってきたといえる。

平成 21 年度より水中ロボコン推進会議とアクアモデラーズミーティングが主催、JAMSTEC が後援する運営形態となり、JAMSTEC 公式サイトによる案内、周辺高校へのポスター配布を始め、信州大学、科学技術高校等の参加という成果を得ている。

また、平成 22 年 3 月 13-14 日に初めて潜水訓練プールで水中ロボコンが開催され、JAMSTEC 海洋工学センターが共催したが、その継続と周辺高校等への参加呼びかけも期待したい。

もちろん、JAMSTEC 横須賀本部は土日に路線バスがないという問題があり、いずれ横浜研究所のように横須賀本部の休日公開とその時の路線バス運行が実現することも期待したい。