

ピストン・バラスト装置の開発

2016.10.20

吉川 博樹

1. ハイパワーサーボモーターを使用

シリンダーの材料としては真鍮製の排水パイプが最適ですが、一般的に外径がφ32mmで大径でもφ38mmしかありません。径が小さいとストロークで稼がなくてはなりません。サーボに長いホーンを付けると嵩張り収納が難しくなります。そこで今回は外径φ45mm、肉厚1.5mmのステンレスパイプを使用してみました。内面研削のものが欲しかったのですが手頃な物がなく、シーム管しか手に入らず継ぎ目の突起をステンレス用の六角軸付き砥石で削り落として使用しました。作業はボール盤で回転する砥石を上下させながら目視及び触って確認しながらの作業です。最後に内面をフラップホイールで磨いて完了です。写真の左側が加工前、右が加工後です。



片方の端面をφ6mmの真鍮パイプを付けた真鍮板で蓋をします。ステンレスの半田付けは大きめの鋺でフラックスさえ付ければ極めて容易に付きます。半田付け後フラックスを綺麗に洗い流さないと錆が来るので注意して下さい。



ピストンはABS製で、旋盤で現物合わせで削ります。最初にガタなくスムーズにシリンダーに入る外形に仕上げ、次にOリングの溝を突っ切りバイトで削りました。OリングはP35.5(太さ3.5mm×外径42.2mm)を使用しました。材料を旋盤から外さずOリングを装着しアタリを見ながらの作業です。

Oリングの溝が完成したら所定の長さで突っ切って、啞え直して反対側に凹部を掘り込み旋盤作業は完了です。最後にサイドにピストンピンが入る穴を開け完成です。



サーボモーターは BlueBird の BMS-860 を使用しました。このサーボは標準サーボと同じ大きさですが、6V で 24.7kg・cm という強大なトルクを発生します。但し、大電流が必要なため直接受信機から電源を取ることができません。そこで、サーボのプラス線をカットしレギュレータ（TURNIGY 3A UBEC）を接続しました。



サーボホーンは CNC の Alloy Servo Arm Long (Futaba) を使用しました。31mm の穴を使用し、その先はカットしています。

コンロッドは t=3mm の真鍮板製でピンの軸受けは内径φ3mm×外径φ8mm のフランジ付きステンレス製ミニチュアボールベアリング（NSK 製 F693HZZ）を両端に使用しています。ピストンピンはφ3mm の真鍮棒でコンロッドをピストンの中央に配置できるように 4mm の真鍮パイプをスペーサーにしています。



シャーシは t=3mm のガラスエポキシ板製で必要最小限の大きさとし、シリンダーの取り付けも M3 のステンレス製ロングビス 4 本で行い、出来る限り外法寸法を抑えるようにしました。



仕様

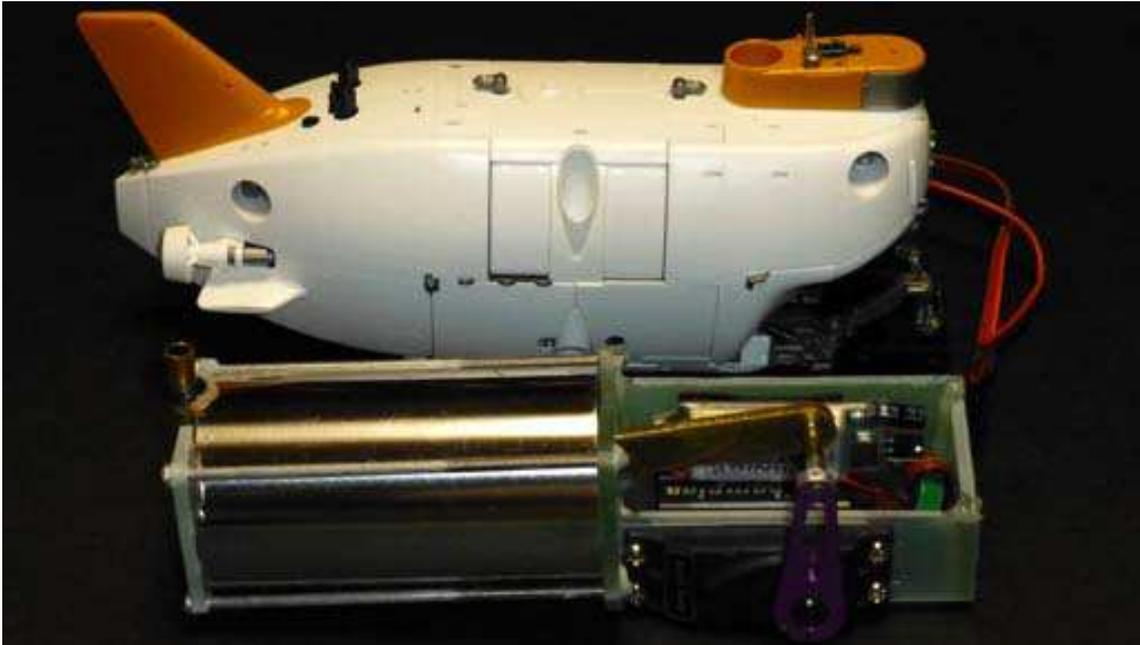
シリンダー内径：42mm

ストローク：52mm

注水量：72cc

外法寸法：L167mm×H52mm×W45mm

従って、JAMSTEC のプールの底 3.3m の深さでは、 $4.57\text{kg} + \text{friction} < 24.7/3.1 = 7.97\text{kg}$ となるので摩擦が大き過ぎなければ十分使い物になると考えます。下に 1/48 の「しんかい 6500」のプラモと一緒に写した写真を示します。



2. 3Dプリンター用 M8 多条ネジを使用

(1) ピストン駆動用ネジ

ピストンを駆動するネジは多条ネジが有利です。ピストンを押す(引っ張る)場合、大きな力が必要となりますが、その力を受ける雄ネジと雌ネジの接触面を小さくするためピッチを大きくすると効果的です。同じ幅のナットでも並目より細目の方が締めるときの抵抗が大きいことで判ります。ネジを2条、3条と多条ネジにすることで、同じナット長で許容力を2倍、3倍にする事が出来ます。今回は、「3Dプリンタ T8 300mm Z軸送りねじ 8ミリメートルねじピッチ for 3D printer」をAmazonで購入しました。ステンレス製でM8で4条ネジが切っており8mm/回転のピッチです。



(2) ギヤダウンユニット

ギヤダウンユニットには下左の写真に示すタミヤの遊星ギヤを使用します。モーターは下右に示す(株)鈴商のRC-280RA-20120を使用する予定です。このモーターは最大負荷状態で7.2V、1.1A、8330rpmで回ります。遊星ギヤのギヤ比を100:1に設定すると1.39rpsで回ることになります。ネジのピッチが8mmなので11.1mm/sのピストン速度が得られます。これは、100mm移動させるのに9秒と言うことになり丁度良い速度だと思います。

タミヤの遊星ギヤの出力軸はφ4mmです。継ぎ手を使うと全長が伸びるので、ネジの中央にφ4mmの穴を掘り、直接接続することを考えています。3DプリンタZ軸送りねじにはM5もあり

ますが、これが今回 M8 を選択した理由です。



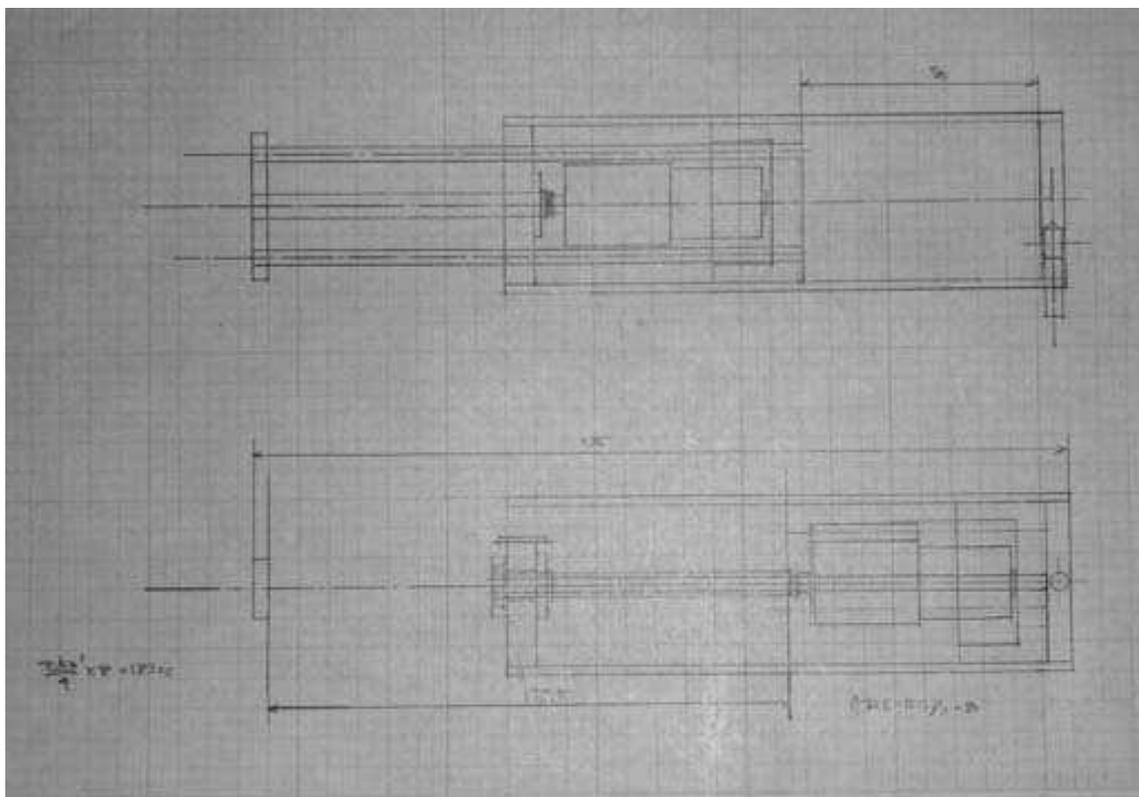
(3) シリンダ

シリンダは透明アクリルパイプで作ります。径 $\Phi 60\text{mm}$ 、肉厚=3mm の押し出し材としました。

(4) ピストン他

ピストンはABSで作ります。その他の構造物を含め、全部 $\Phi 60\text{mm}$ の丸棒から削り出します。

小物を除いて部品が集まったところでセクションペーパーに簡単な図面を引いてみました(下図)。



設計のポイントは、

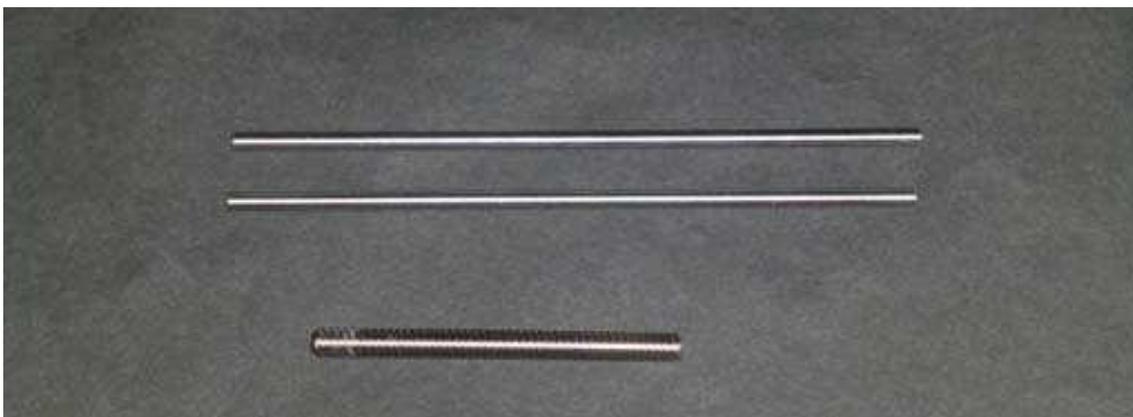
- (1) 駆動部（遊星ギヤ+280 モーター）はピストンに固定する。
- (2) ピストンの回り止めとしてΦ5mm のステンレス丸棒を 2 本設ける。
- (3) 給水口はΦ6mm 真鍮パイプとし、t=8mm の隔壁に埋め込む。
- (4) 軸受けは NSK の SMF148ZZ とし、t=5mm の ABS 板内に埋め込む。

以上の長さの短縮化策にも係わらず、遊星ギヤと 280 モーターの長さが長い最大長さ=275mm では 80mm の移動距離しか稼げませんでした。アクリルパイプの内径が 54mm なので注水量は 183cc になります。

以下、リニヤ駆動のピストンバラストシステムの製作に入ります。M8 の多条ネジとΦ5mm のステンレス丸棒を所定の長さにカットします。M8 の多条ネジは下の URL から購入できます。

https://www.amazon.co.jp/s/ref=bl_dp_s_web_86731051?ie=UTF8&node=86731051&field-brandtextbin=%E3%82%B8%E3%82%A7%E3%83%8D%E3%83%AA%E3%83%83%E3%82%AF

Φ5mm のステンレス丸棒は長さ=186mm にカットします（2 本）。



遊星ギヤの出力軸に接続するため、M8 の多条ネジの端面にΦ4mm の穴を開けます。旋盤で開けますがドリルはステンレス用のショートドリルを使います。センタードリルでセンターをキリモミしておくとはブレません。次に、端面から 3.5mm の位置に M3 のタップを立てます。遊星ギヤの出力軸にスプリングピンを入れる穴が開いていますが、穴の位置を合わせ一緒にタップ立てをします。こうすることにより止めネジを多条ネジの谷部より低くねじ込む事ができます。



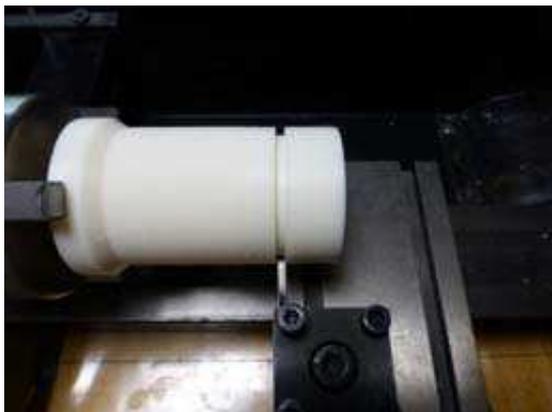
下の写真は 380 モーターとタミヤの遊星ギヤを組み立てたものに多条ネジを取り付けた状態を示します。止めネジが多条ネジの谷部より低いので、ナットを遊星ギヤの端面まで移動させることができます。



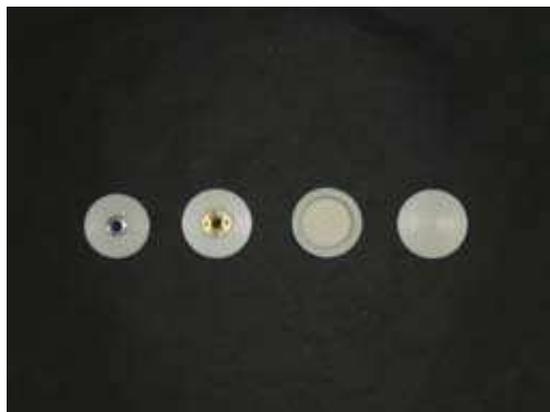
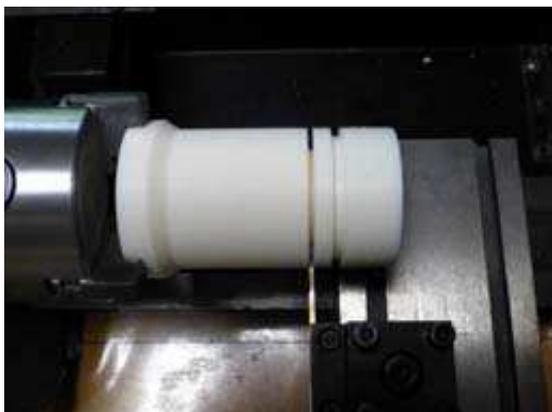
次に $\Phi 60\text{mm}$ のアクリルパイプを長さ=190mm にカットします (下左写真)。
次に $\Phi 60\text{mm}$ の ABS 丸棒からピストンを削り出しますが、このアクリルパイプにスムーズに入る程度に外径を仕上げます (下右写真)。O リングを入れるので余り気にする必要はありませんが、ガタが大きいとセルフロックの可能性が出てくるので注意します。アクリルパイプの内径は長手方向に誤差があるので現物合わせで行ないます。



次に O リングの溝を掘ります。O リングは、最初 NOK の P48 運動用 (D=54mm) を使う積もりでしたが、P46 (D=52mm) を引き伸ばして使った方が滑りが良く、漏れも少なそうなので変更しました。太さが $3.5 \pm 0.1\text{mm}$ なので、突っ切りバイトで幅 3.5mm、深さ 3.4mm 程度の溝を掘りますが、ここもやはり現物合わせで削ります (下左写真)。往復運動をさせるため余り固くては駄目ですが、緩過ぎても漏れるので適当な固さにします。端面に太目の穴を開け、中ぐりバイトで $\Phi 41\text{mm}$ まで広げていきます (下右写真)。

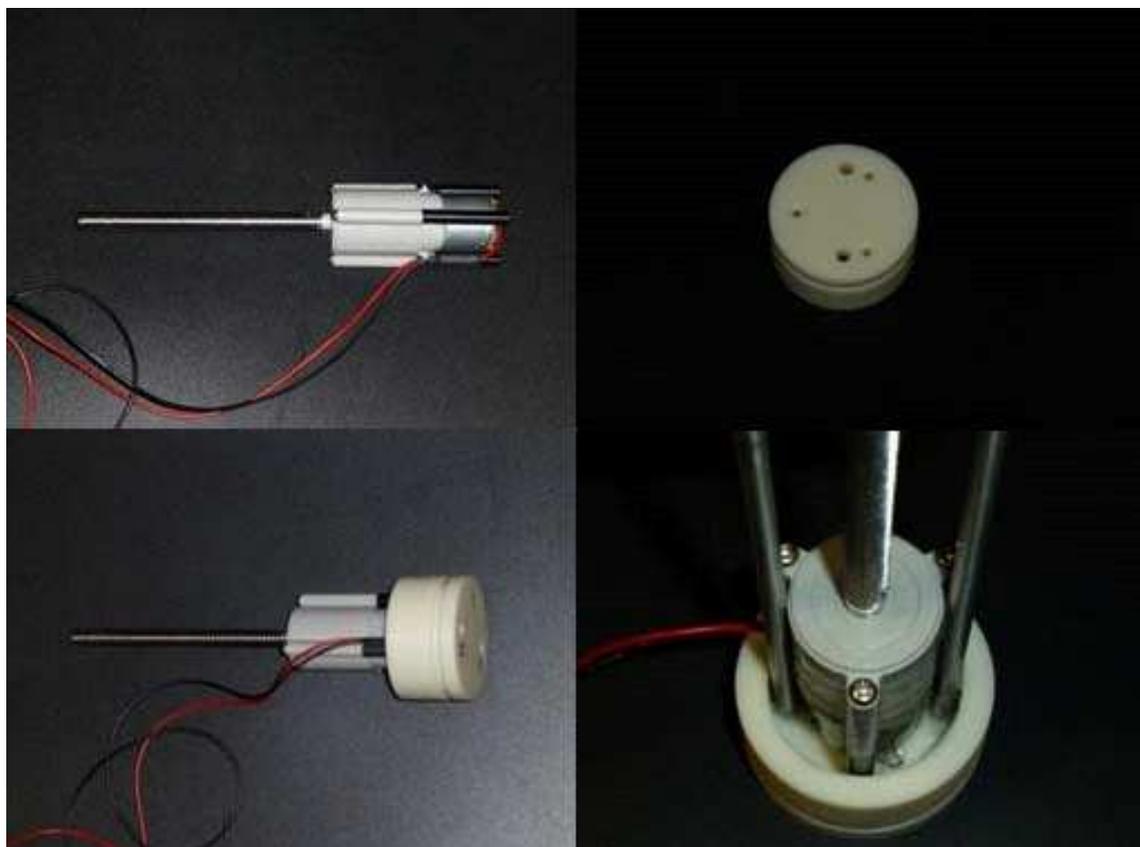


最後に突っ切りバイトで突っ切ります (下左写真)。切断後のピストンを下右の写真の右から 2 つ目に示します。同様に他の部品も作ります。写真の一番右はアクリルパイプ製のシリンダの端面用で $t=8\text{mm}$ の円盤です。左から 2 つ目はシリンダのもう一方の端面で多条ネジのナットを取り付けます。一番左は多条ネジの端面を支える板で中心に NSK マイクロプレジジョンのフランジ付ミニチュアステンレス玉軸受け SMF148ZZ をは嵌め込みます。



ABS 丸棒から削り出した部品に追加工をして組み立てます。断りがない限り、全ての部品はステンレス製です。下の写真の左上は 280 モーターと遊星ギヤの組品で、ナットの代わりに両端に M3 ネジが切つてあるプラ製のスペーサーで固定しています。モーターの配線は熱収縮チューブでスペーサーに固定しました。モーターは嵌め込んであるだけなのでセメダイン EP001N で接着しました。右上はピストンです。駆動ユニットを固定するための $\Phi 3 \times 3$ 個の穴 (皿揉みを施してあります) と $\Phi 5\text{mm}$ のステンレス丸棒を差し込むための

Φ5×2個の穴をあけました。左下の様に M3×12mm の皿ネジで固定します。右下はガイド用の Φ5mm のステンレス丸棒を挿し込み、水漏れ防止のため内側からセメダイン EP001N を流しているところです。セメダイン EP001N は外側にも盛りました。

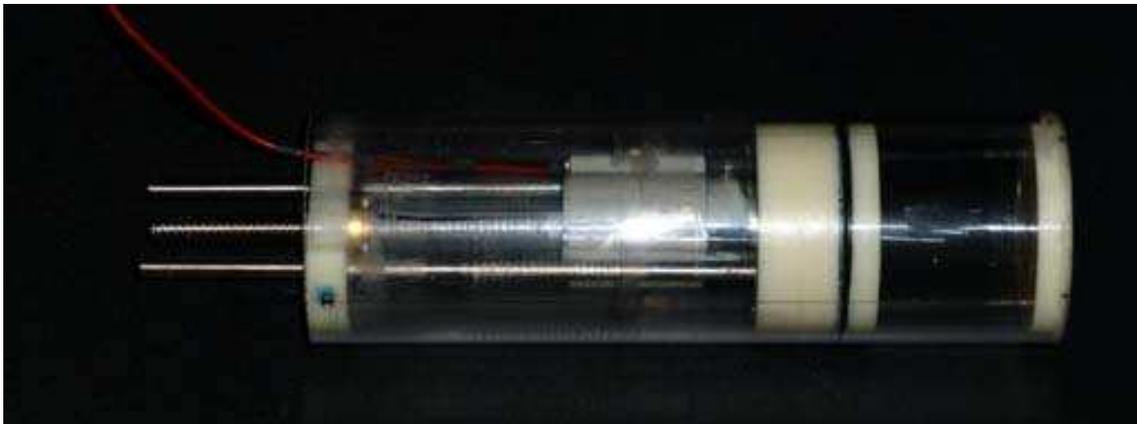


多条ネジのナットは下左の写真のように加工した板に取り付けます。板にはタップを立てネジを固定します。ナットは厚さが増すので使いません。ガイド用の Φ5mm のステンレス丸棒が入る穴は、摺動させるため Φ5.3 の穴にしました。



ピストンに O リングを嵌め、O リングの駆動側にシリコングリスを塗ってアクリルパイ

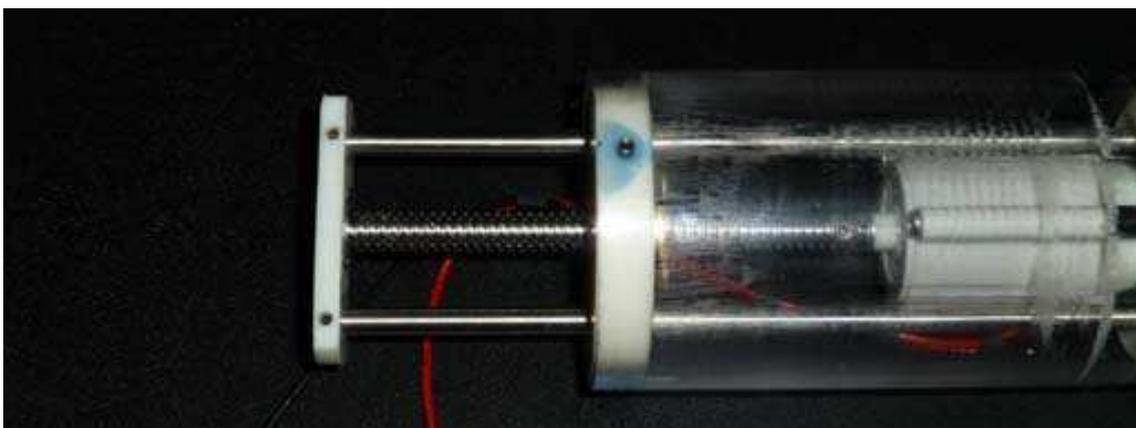
プのシリンダーに嵌め込みます。更に、多条ネジのナットを止めた板をシリンダの出口に止めネジで固定します。シリンダーの反対側の出口には吸い込み口を兼ねたシリンダーヘッドを接着します。



吸い込み口はΦ6mmのドリルで開けますが、アクリルパイプを割らないようドリルの切れ刃は殺してあります。ここで失敗が、内側の穴を開けておくのを忘れました。仕方が無いので外側から貫通させ（下左写真）、外側は蓋をしました（下右写真）。



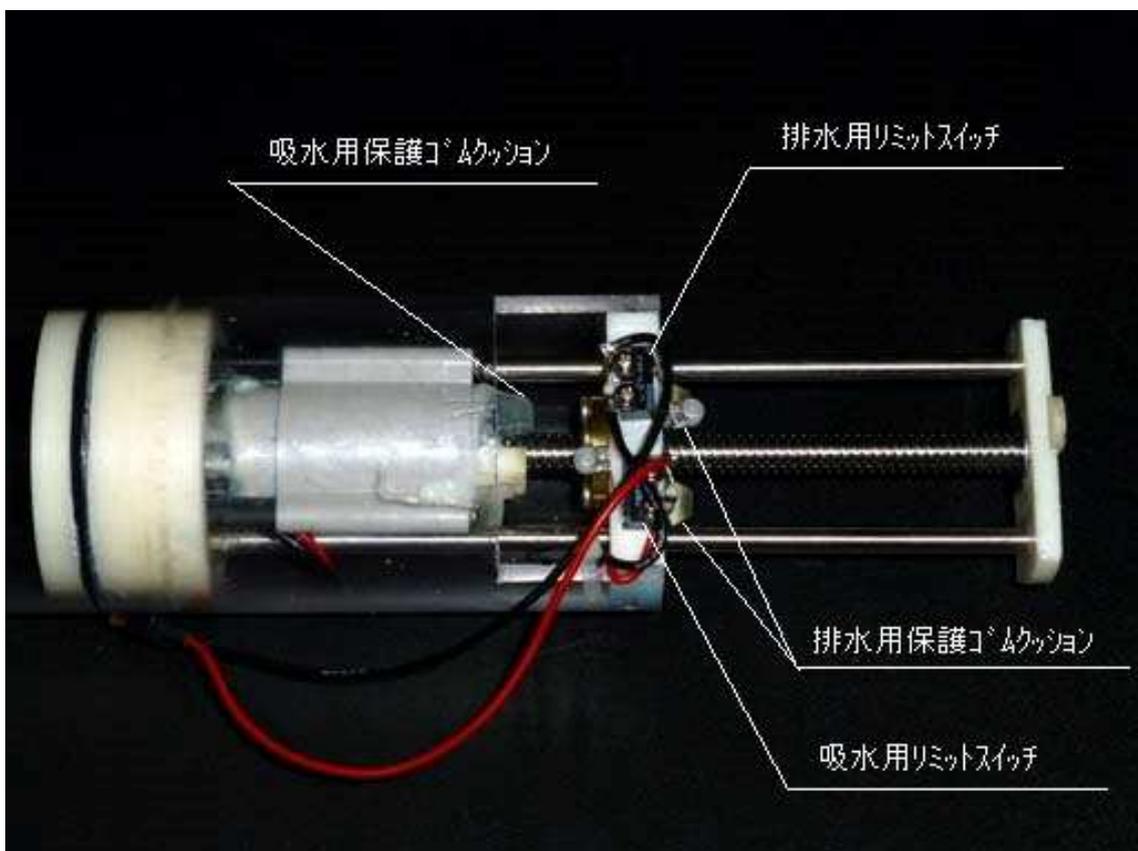
ガイド用のΦ5mmのステンレス丸棒の最終端は分解できるよう止めネジで固定しました。多条ネジの端部はミニチュアステンレス玉軸受けSMF148ZZで回転できるようにしています。



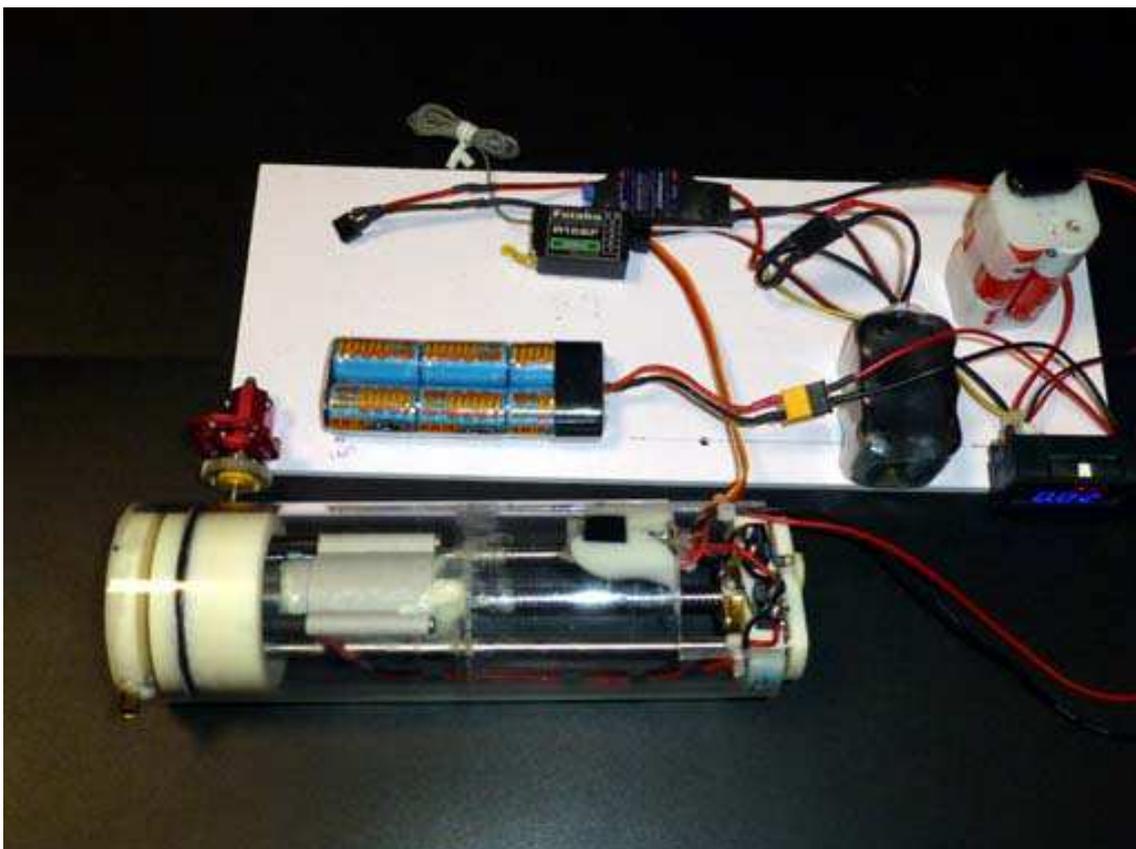
リミットスイッチを付けるため亚克力パイプをカットします（下写真）。リミットスイッチはオムロンの D2F-L2-D(DC30V,2A)です。

<https://www.omron.co.jp/ecb/products/sw/13/d2f.html>

リミットスイッチは多条ネジのナットを止めた端板に小型サーボ用の固定ネジで固定しました。リミットスイッチの動作範囲で止めるため、衝突防止用にゴムクッションを入れてイナーシャを吸収しています。リミットスイッチには、切れた後でも逆方向の電流は流れるようにダイオードを並列に入れておきます。

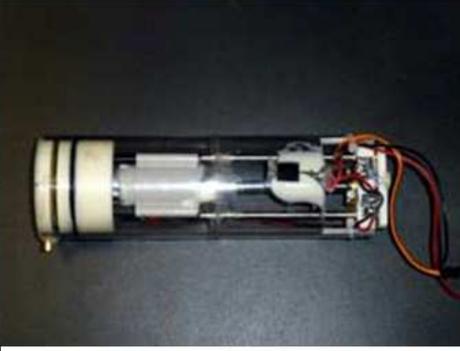


駆動用のスピードコントローラーは、KOG RC回路試作室さんの MC13 を使いました。初期設定、配線をしてアクリルパイプの内側にセメダイン EP001N で接着しました。下の写真は動作チェックをしているところです。設計は 9 秒/100mm なので 7.2 秒/80mm の管が行きも帰りも 5 秒でした。設計時の回転数が最大負荷時なので、吸水時に負荷が加われば 7~8 秒程度になると思われます。このときの動画を YouTube に UP しました。
<https://www.youtube.com/watch?v=auuQ26xnDMw&feature=youtu.be>



3. ピストン・バラスト装置の比較

今回駆動方式が異なる 2 種類のピストン・バラスト装置を作りました。ここで簡単にそれらの比較をして見ます。以下の表に各々のスペックを比較します。

	サーボモーター利用	多条ネジ利用
外観		
吸・排水量	72cc	183cc
外法寸法(容積)	L167mm × H52mm × W45mm (391cc)	L275mm × D60Φ (778cc)
吸・排水量/容積	18.4%	23.5%
無負荷 ピストン移動速度	1秒以内	5秒
ピストン荷重 at水深3.3m	4.57kgf	7.56kgf
ピストン駆動力 (摩擦を無視)	7.97kgf サーボトルク=24.7kg・cm ピストン駆動力=24.7/3.1=7.97	37.0kgf(ストール時、2.82A) ネジ締付トルク=580 × 135/16.6=4716g・cm(タミヤ、マフチカタログ より) 押上げる力P=2 × 0.04716/0.008=11.79kg リード角β : tan β = (2 × 4)/(8 × π) ピストン駆動力F=P/tan β = (11.78 × 8 × π)/(2 × 4)=37.0

- (1) サーボモーターの利用では、ピストンのストロークを決めるクランクの腕の長さが、装置の高さとピストンの駆動力の両者から制約を受けるので、ストロークを余り大きく出来ないと言う課題があります。今回のサーボは強大なトルクを発生しますが、それでも「ピストン駆動力 (摩擦を無視) / ピストン荷重 at 水深 3.3m=1.74」であり、摩擦での損失を考慮するとピストンの大径化も限界に近いと思われます。
- (2) 多条ネジの利用は、最大長さが 275mm と大きいですがサーボモーターの利用に比べ容積効率が良いという特長があります。また「ピストン駆動力 (摩擦を無視) / ピストン荷重 at 水深 3.3m=4.89」であり、スペースに余裕があれば更なるピストンの大径化も可能になります。

最後になりましたが、本製作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。