

ツナ缶を用いた低温度差スターリングエンジンの作り方

1. 材料

一台の製作に最低限必要な部品を以下に示す。

- 缶詰の空き缶：2個
ツナ缶などによく使われる缶で、直径が約 75mm、高さが 29mm くらいのもを用いる。
- 厚さ 5mm のカラー発泡パネル
直径 66mm の円が 2 枚取れる大きさが必要になる。
- ゼムクリップ (大)：4 個
普通のゼムクリップのやや大きいものを用いる。線の直径は 1mm 未満で、直線部分が 2cm 程度あるものを使う。緩やかなカーブと直線だけで形作られているものがあれば、その方が望ましい。
- 幅が 20mm 程度のセロハンテープ：少々
- 幅が 10~15mm の両面テープ：少々
ナスタックという商品名の両面テープで成功した実績がある。
- ポリエチレンのポリ袋の切れ端：1 辺が 4cm の正方形
指で押しこんで伸ばすことができるものを使う。
- 輪ゴム：2 本
あまり大きくないものが望ましい。
- 透き通った厚さ 0.5mm の硬質塩化ビニル板：15cm × 30cm の長方形
実際は 24cm × 10cm の長方形 1 つと斜辺が 4cm の直角二等辺三角形 16~20 個分の面積があれば良い。
- グリス：少々
- ミニステー NI MS-43：2 個
株式会社八幡ねじの製品で 2011 年の段階で東急ハンズ Yahoo ショップでの取り扱いがある。MS-43 はコの字型の金具で、2 個入りで販売されている。
- ミニステー NI MS-24：1 個
MS-24 は L 字型の金具である。2 個入りで販売されている。
- 皿小ネジ M2 × 10mm：4 本
- なべ小ネジ M2 × 25mm：2 本
長さ 20mm でも可。
- バネ座金 (スプリングワッシャー) M2：8 個
- ナット M2：8 個
- 平座金 (ワッシャー) M2：8 個

2. 工具

下記の道具以外に、清掃用具やカッターマットなどが必要になる。

- 油性ペンの細いもの
- 消しゴム
- カッターナイフ
- ハサミ
- 普通の三角定規
- ラジオペンチ
- ニッパー
ラジオペンチに付いていればそれで良い。
- プラスドライバー
- ピンバイス
- ドリル φ 1.0 mm
- ドリル φ 2.0mm

図 2-1 の上のような支える道具があると塩ビ板の穴あけ加工がし易い。この道具は図 1 の下にラベルが示されているゴム製クッションと厚さ 1mm の硬質塩化ビニル板で作られている。カラー発泡パネルの切れ端の上で、塩ビ板を手で押さえながら穴あけ加工することも可能である。



図 2-1 穴あけ加工の道具と材料のラベル

3. 外観

外観の写真を図 3-1 から 3-5 に示す。

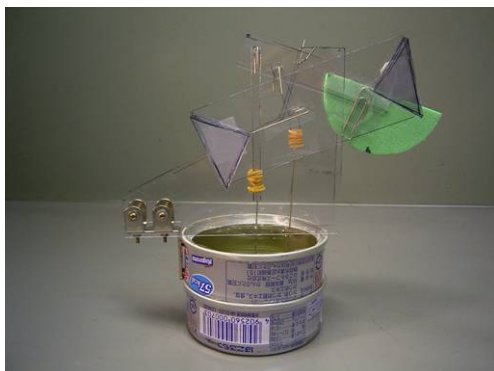


図 3-1 フライホイール側からの外観



図 3-2 カウンターウェイト側からの外観

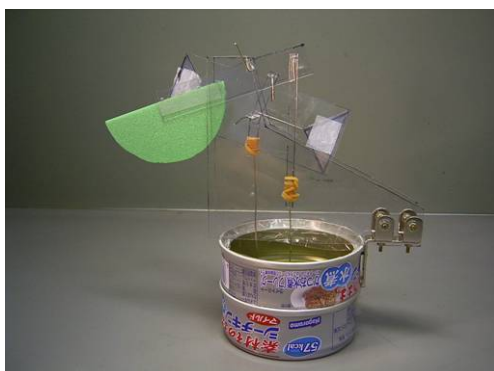


図 3-3 フライホイールの反対側からの外観

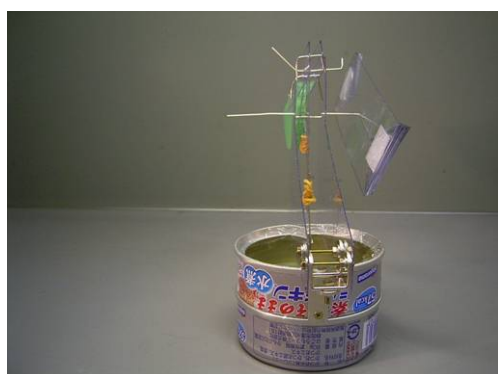


図 3-4 ミニスプリング側からの外観

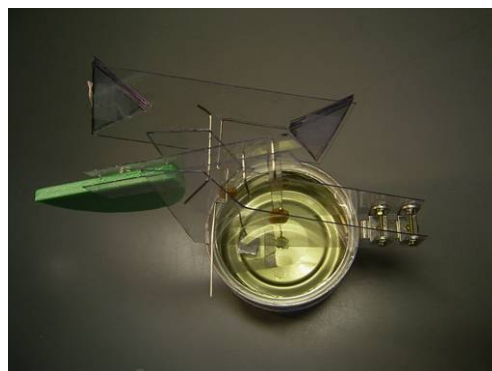


図 3-5 上方からの外観

4. 製作方法

4. 1. 空き缶の加工

図 4-1 のように、空き缶二つを重ねた状態で上の缶に L 字型のミニスプリングを載せ、金具の穴の中心の位置を細い油性ペンで印す。



図 4-1 金具の取り付け位置を印す



図 4-2 間の切り口の処理

図 4-2 のように印しをつけた缶の切り口にセロハンテープを張り、指などを切らないようにする。ミニスプリングを取り付けるための印しを入れた箇所にはセロハンテープを張らない。



図 4-3 ミニステータ取り付け部の穴あけ

図 4-3 のように、穴あけ加工を行う。穴あけ加工は、仮に $\phi 2.0\text{mm}$ の穴をあける場合でも、 $\phi 1.0\text{mm}$ のドリルで印しに合わせて下穴をあける。缶の穴あけ加工ではドリルを缶に直接当てても滑る。穴をあける部分にセロハンテープを張ってからドリルを当て、図 4-3 のように指でガイドにすると位置が落ち着く。

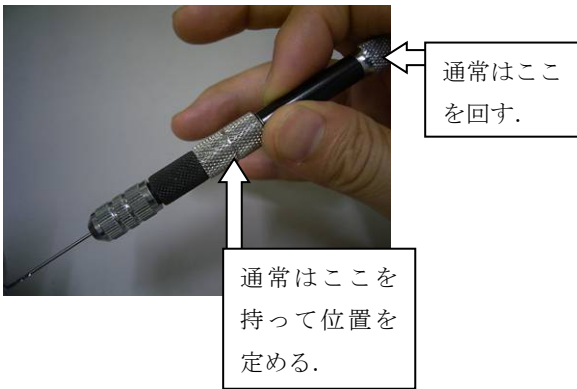


図 4-4 変則的なピンバイスの持ち方



図 4-5 $\phi 2.0\text{mm}$ のドリルによる加工

図 4-3 の加工では片方の手で材料を押さえる必要があるため、ピンバイスを図 4-4 のように保持する。M2 のボルトを通すため、缶側面の二つ穴は $\phi 2.0\text{mm}$ のドリルで

穴を大きくする。 $\phi 2.0\text{mm}$ のドリルで穴をあけるときは、軽く当てることを心掛ける。

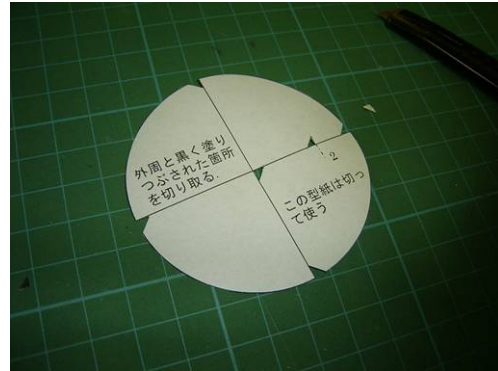


図 4-6 缶とディスプレイサの型紙

缶の底に次の手順で二つの穴をあける。まず型紙から図 4-6 のような丸い型紙を切り出す。



図 4-7 缶の底の印し



図 4-8 バリの処理

図 4-7 のように缶の底から型紙を当て、缶の中心と中心から 23.5mm 離れた箇所が分かるように印をつける。小さな直角二等辺三角形の 90 度の角がそれぞれ穴をあける場所になる。それぞれ $\phi 1.0\text{mm}$ のドリルで穴をあける。

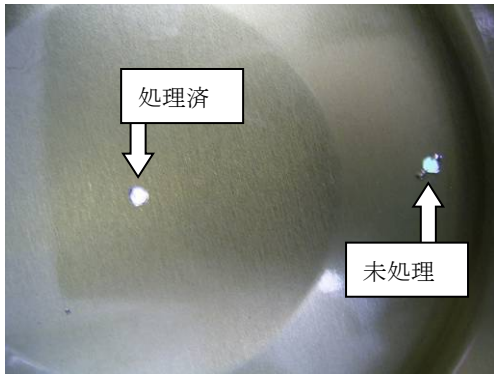


図 4-9 バリの処理の比較

缶の中心にはφ2.0mmのドリルを図4-8のように当て、軽く1回転させる。この作業は図4-9に示すようにバリが取れる。



図 4-10 穴の拡大

缶の底は、中心ではない方の穴をφ2.0mmに図4-10のように拡大する。

4. 2. カラー発泡パネルの加工

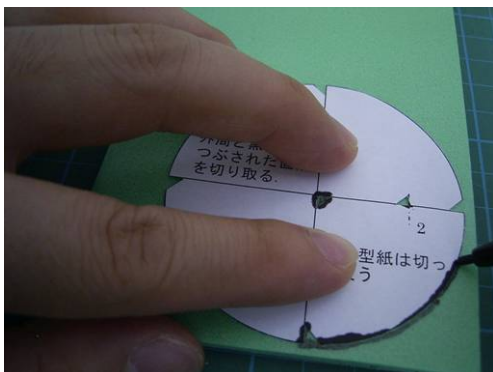


図 4-11 型紙の使い方

カラー発泡パネルから「ディスプレイサ」とカウンターウェイトを切り出す。

文書作成：大分大学 加藤義隆（2011年9月）
本文書の無断転載を禁じます。

カラー発泡パネルに図4-11のように型紙を載せ、型紙の形が残るように油性ペンで塗る。塗った後の状態が図4-12である。

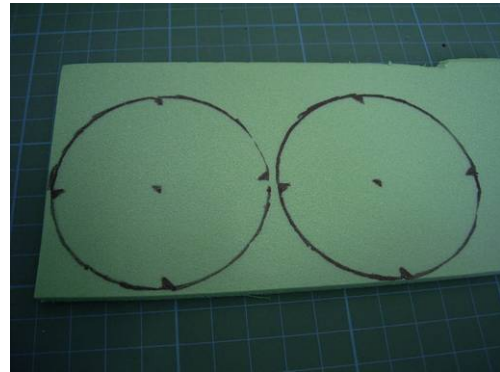


図 4-12 型紙の形を写したカラー発泡パネル

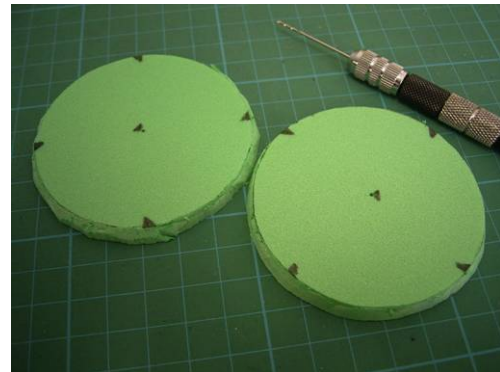


図 4-13 切り出したカラー発泡パネル



図 4-14 カラー発泡パネルの切り出し

図4-13のように形でカラー発泡パネルを切り出す。周囲の丸い形は油性ペンの印が残らないようにする。円周上の直角二等辺三角形は残す。中心の直角二等辺三角形は90度の角の部分φ1.0mmのドリルで穴をあけておく。なお外周を切り出すときは、印しの無い面に向かって外周が大きくなるように、図4-14のように斜めにして切り込む。



図 4-15 ゼムクリップの直線部分に印し

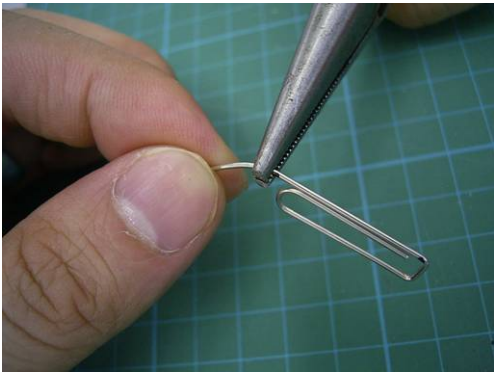
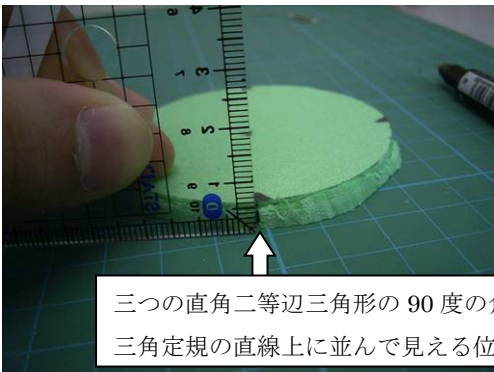


図 4-16 印しの間は曲げないし触らない

図 4-15 のように、ゼムクリップの真直ぐな部分の両端に記しをつける。このゼムクリップを伸ばしていくが、図 4-16 のようにこの印しの間はペンチでも触れないし、曲げるような力をかけないよう気をつける。



三つの直角二等辺三角形の 90 度の角が、三角定規の直線上に並んで見える位置

図 4-17 カラー発泡パネル側面の印しの入れ方

切り出したカラー発泡パネルそれぞれの側面 4 箇所油性ペンで印しをする。図 4-18 に示すように、2 枚のカラー発泡パネルの印しが無い面を合わせる。この時、中心の穴にはクリップの直線部分を通し、側面の 4 箇所の印しが合うようにする。セロハンテープなどで軽く押さえておいた方が作業がし易い。図 4-19 のように、側面を平らにし

ていく。平らな面を新たに切らないように心掛け、図 4-20 のような状態にする。2 枚のパネルを押さえているセロハンテープは途中で位置を変えるし、側面の印しも入れ直す。

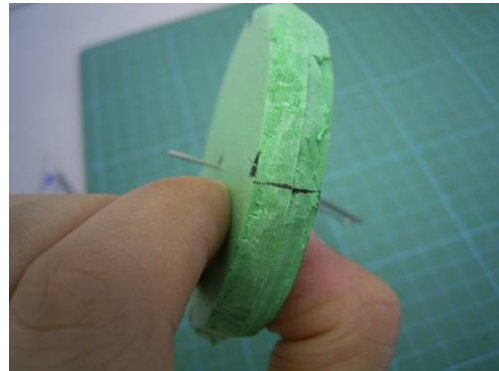


図 4-18 2 枚のカラー発泡パネルの裏を合わせる



図 4-19 2 枚のカラー発泡パネルの側面をならす



図 4-20 側面をならしたカラー発泡パネル

4. 3. ディスプレーサとディスプレイサロッド

切り出したカラー発泡パネルの 1 枚をディスプレイサという部品にする。そこにゼムクリップで作ったディスプレイサロッドを取り付ける。

カラー発泡パネルを加工するときに用いたクリップを真直ぐに伸ばす。二つの印しの上に傷や曲がりがないければ、その他の部分が少々曲がっていても良い。伸ばしたクリッ

プに図 4-21 に示すように、新たな印しをつける。

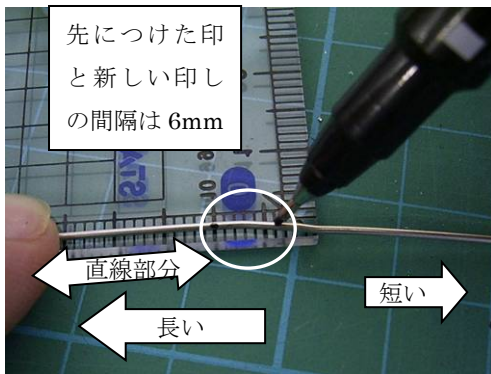


図 4-21 ディスプレーサロッドの加工

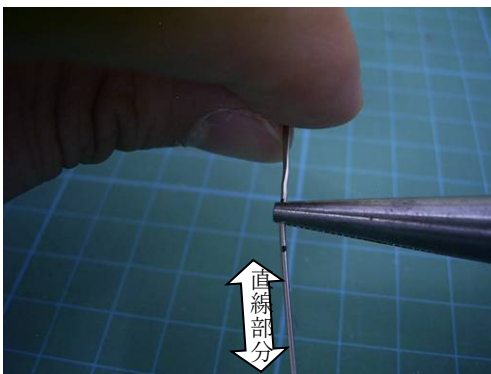


図 4-22 ゼムクリップの曲げ方

新しい印しの部分で、伸ばしていたゼムクリップを直角に曲げる。曲げる時は、図 4-22 のように、印しのすぐ隣をラジオペンチで押さえ、反対側を手で曲げる。直線部分の側を持たない。図 4-23 のように直角な線の上に乗せて、直角に曲がっているかを確認する。直角に曲がるまで辛抱強くやり直す。



図 4-23 ディスプレーサロッド

ゼムクリップで作ったディスプレイサロッドの長い部分をカラー発泡パネルで作ったディスプレイサの中心に通

す。図 4-24 はカラー発泡パネルの下側でクリップの短い部分を押し込んでいる。カラー発泡パネルから突き出た部分が垂直になるように位置を調整しながら、図 4-25 のようにセロハンテープでディスプレイサロッドを固定する。

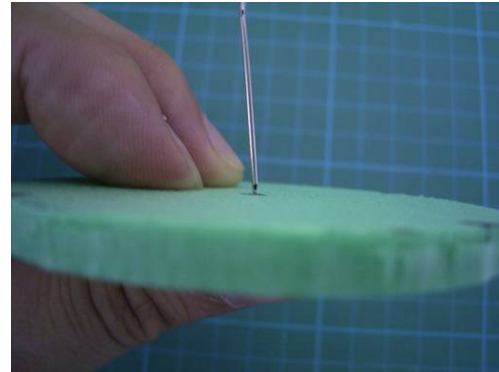


図 4-24 ディスプレーサロッドの取り付けが曲がった状態

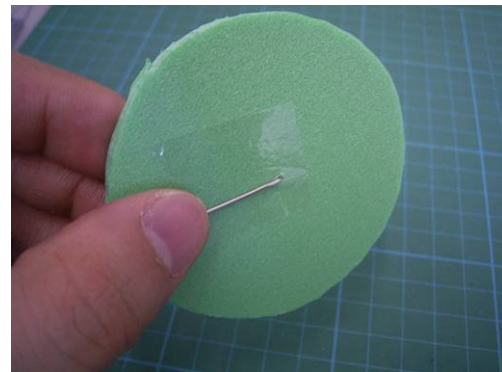


図 4-25 ディスプレーサロッドの固定

4. 4. ディスプレーサチャンバの組立て

全く加工していない缶の中に、図 4-25 でディスプレイサロッドを取り付けたディスプレイサを、図 4-26 のように入れる。



図 4-26 ディスプレーサチャンバとディスプレイサ



図 4-27 組み立てたディスプレイサチャンバ

図 4-26 で突き出ているゼムクリップを加工した空き缶の中心の穴に通し，二つの缶を図 4-27 のように重ねる．重ねた缶の継ぎ目をセロハンテープで隙間無く一周以上張る．この時にセロハンテープが側面の穴を塞ぐ場合は，図 4-28 のように穴を通しておく．



図 4-28 セロハンテープに穴をあけておく



図 4-29 L 字型のミニステーの取り付け

空き缶の側面の穴を使って，L 字型のミニステーを取り付ける．図 4-29 のように，ボルトは皿小ねじを使う．缶の内側からバネ座金とナットをねじにはめる．ねじにナットを入れるのが大変な場合は図 4-29 のようにねじをテープで固定したり，図 4-30 のように L 字型のミニステーを
文書作成：大分大学 加藤義隆（2011 年 9 月）
本文書の無断転載を禁じます。

下に向けて缶を保持するなどの工夫で，作業が円滑になる．



図 4-30 ナットのはめ方



図 4-31 取り付け終わったミニステー

コの字型のミニステーは皿小ねじを使って図 4-31 のように取り付ける．平座金，バネ座金，ナットの順番でボルトに通し，バネ座金が若干つぶれる程度までねじを締める．コの字型のミニステーは力を加えると動くが，その程度の力加減で良い．

4. 5. 硬質塩ビ板の切り出し



図 4-32 硬質塩化ビニル板の穴あけ加工

型紙に硬質塩化ビニル板を載せて，書き写す．穴をあける一点鎖線の交点は，交点の点だけを硬質塩化ビニル板に

移す。実線はしっかりと写す。硬質塩化ビニル板やプラスチックの三角定規に油性ペンのインクが付着しても消しゴムで消す事ができる。

穴をあけてからハサミで型紙を切り出す。穴あけ加工には図 4-32 のような板を押さえる道具があれば便利だが、なければ、カラー発泡パネルの不要な切れ端の上に硬質塩化ビニル板を載せてカラー発泡パネルごと穴をあければ、穴あけ加工中に硬質塩化ビニル板がたわんで穴の位置がずれることを防げる。ただしカラー発泡パネルの上では硬質塩化ビニル板が滑るので注意を要する。

4. 6. 出力部の製作と取り付け



図 4-33 ポリエチレンの袋を切り出す



図 4-34 ポリエチレンの袋を伸ばす



図 4-35 ポリエチレンの袋を指で伸ばす

ポリエチレンの袋を図 4-33 のように正方形に切り出す。一辺の長さは 4cm 以上あれば良い。正方形の中心をペンチの柄の部分などを使って、伸ばす。図 4-34 であれば、右側の親指と人差し指で引っ張るようにして伸ばす。ポリ袋の切れ端を 90 度ずつ回しながら少しずつ伸ばしていく。図 4-35 のように適当なところでペンチの柄を指にして、90 度ずつポリ袋の切れ端を回しながら引き伸ばし図 4-36 のような形にしていく。穴を開けないように気をつける。



図 4-36 引き伸ばしたポリ袋の切れ端

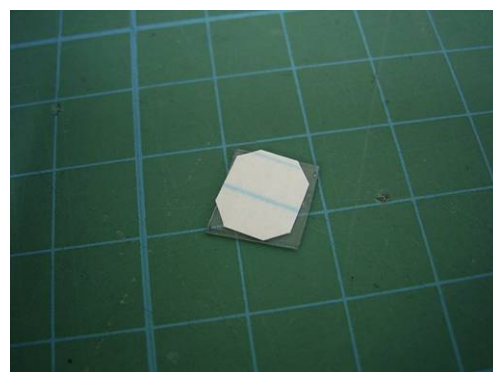


図 4-37 八角形の両面テープと 1cm 四方の正方形の硬質塩化ビニル板

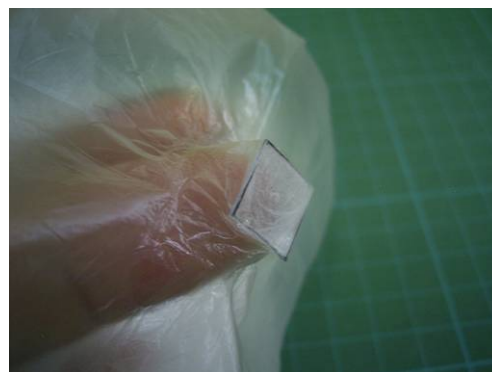


図 4-38 指を入れた状態で貼り付ける

切り出していた 1cm 角の正方形の硬質塩化ビニル板に、図 4-37 のように八角形に切った両面テープを貼り付ける。この部品を図 4-36 のポリ袋の切れ端に指を入れた状態で、図 4-38 のように貼り付ける。位置が気に入らなかった場合は、注意深くはがしてやり直すことができる。破らないように注意しながらしっかりと貼り付ける。この状態で図 4-39 のように高さが 12mm 程度は欲しい。図 4-40 のように均一にポリ袋の切れ端が伸びてないときや高さが不足するときは、図 4-41 のようにふくらみに指を入れつつ、貼り付けた板を押さえ、反対側の手で少しずつポリ袋の切れ端を伸ばしていく。なお、伸ばしすぎてもいけない。



図 4-42 取り付けよう両面テープの貼り付け

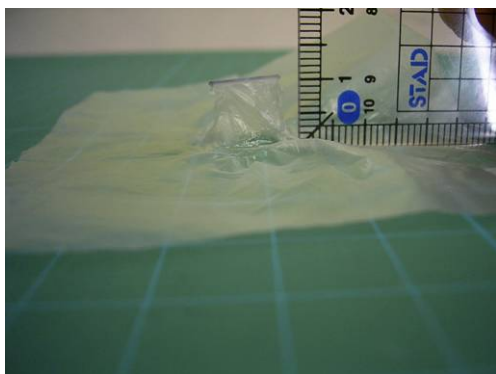


図 4-39 高さがやや足らない

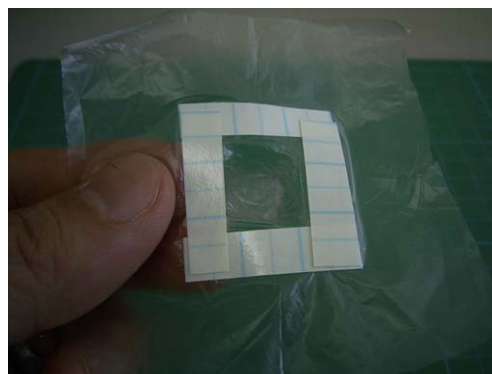


図 4-43 両面テープを貼った状態



図 4-40 形が悪い

それなりの形になったら、硬質塩化ビニル板を貼った側の裏側に図 4-43 のように両面テープを貼り付ける。両面テープはあらかじめ程々の幅と長さで切っておく。貼る時は、図 4-44 のようにポリ袋の切れ端を軽く引っ張ってたわみの無い状態にしておき、両面テープを載せるように貼る。図 4-43 の状態を裏から見ると図 4-45 のような状態で、ポリ袋の切れ端は両面テープの上で空気漏れを起こすようなシワができていない。



図 4-41 形や高さの修正



図 4-44 たわまないように両面テープを貼る

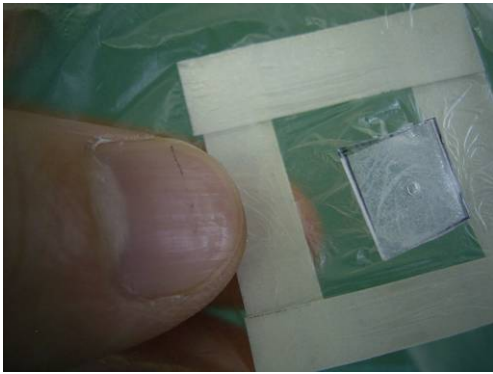


図 4-45 図 4-43 を裏側から見た様子

図 4-46 のように両面テープの外側を切り落とす。両面テープも少し一緒に切り捨てる。四隅は両面テープと両面テープの間に剥離紙が挟まっているので、図 4-47 のように間に挟まった剥離紙を少しはがして、両面テープ同士が張り付くようにする。組み立てたディスプレイサチャンバにあわせる。貼り付けた硬質塩化ビニル板の中心の下にφ2.0の穴が来るようにする。図 4-49 のように貼り付ける。空気が漏れないように、隙間無く貼り付ける。くぼみなどに注意を要する。両面テープの部分のシワはしっかりと貼り付けてしまえば空気が漏れない。

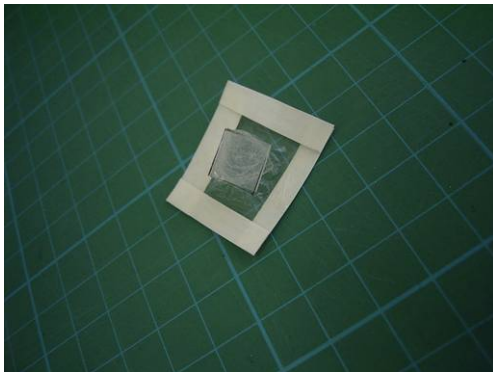


図 4-46 不要な部分を切り落とす



図 4-49 貼り付け



図 4-47 四隅の両面テープを重ねる

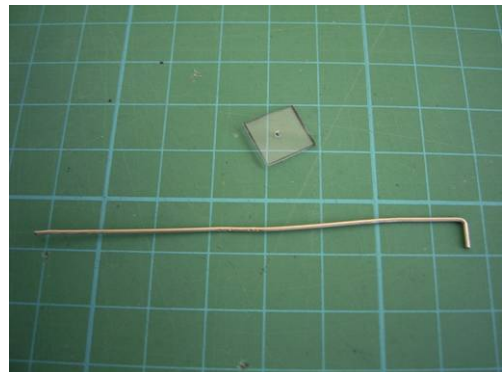


図 4-50 出力部に取り付ける部品

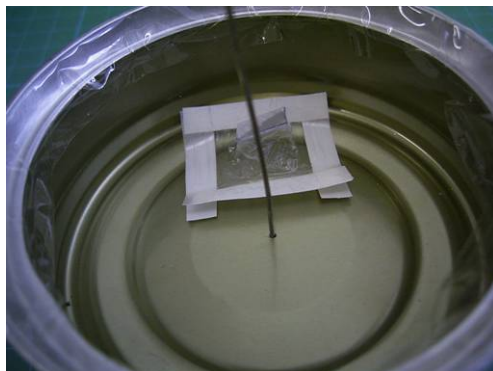


図 4-48 位置の確認

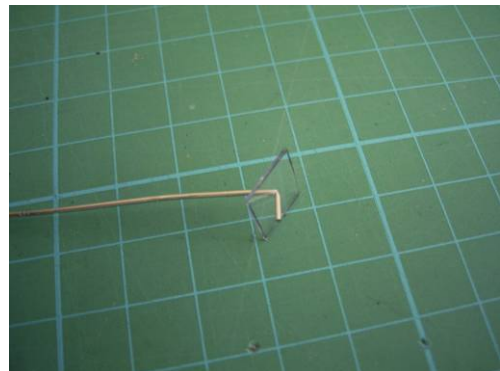


図 4-51 穴にクリップを通す

1cm 角の硬質塩化ビニル板と図 4-50 のような形にしたゼムクリップを用意する。このゼムクリップはディスプレイサロッドと違い、キズや曲がり気を気にする必要は無い。この部品を図 4-51 のように硬質塩化ビニル板の穴に通し、図 4-52、4-53 のように両面テープで固定する。

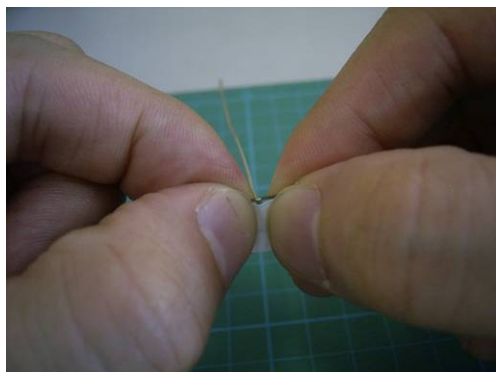


図 4-52 両面テープをしっかりと押さえる

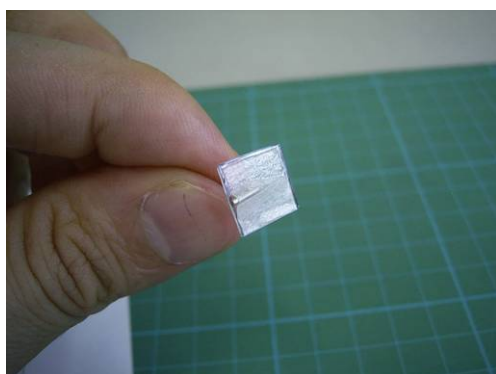


図 4-53 剥離紙をはがす



図 4-54 硬質塩化ビニル板同士を貼り合わせる

図 4-53 の部品を図 4-54 のように貼り合わせる。ここでこの部品が垂直に上下動する長さが 10mm あることを確認する。この上下動の長さが不足する場合は、組み立て続けても作業がやり直しになる。上下動する長さの確認方法は、図 4-55 のように、缶の上に渡した三角定規の上にもう 1

つの三角定規を立てて持ち、反対側の手でポリ袋の切れ端につながったクリップを上下動させる。上下動した時の最高値と最低値の差が上下動する長さになる。

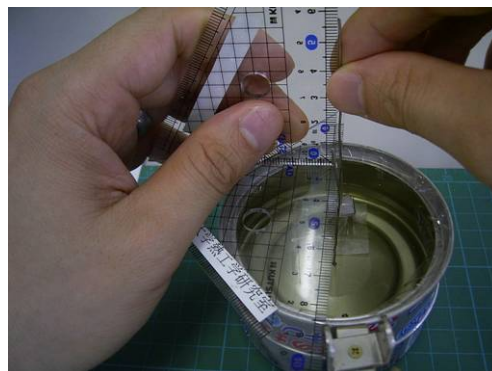


図 4-55 上下動する長さの確認

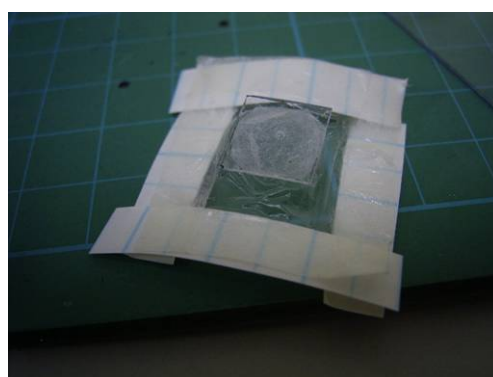


図 4-56 長さの再調整

ポリ袋の切れ端をさらに伸ばす必要がある場合は、丁寧に缶から両面テープをはがして図 4-41 のように少しずつ伸ばす。先にはがしていた両面テープの剥離紙を図 4-56 のように貼りなおした方が作業しやすい。破れたりグチャグチャになってしまったら、いさぎよく図 4-33 の状態からやり直す。

4. 7. 気密のチェック



図 4-57 グリスによるロッドシール

缶の穴とクリップの隙間を図 4-57 のようにグリスで塞ぐ。下から湯で温めた状態で、ディスプレイサロッドを上下動させたときに、ポリ袋で作った出力部が動くことを確認する。ディスプレイサロッドの動きを止めても、ポリ袋で作った出力部の形が変化する場合は空気が漏れている。両面テープと缶の間に隙間がないか、グリスに隙間が無いのか、缶と缶をつないでいるセロハンテープに隙間がないか、などを確認し、問題があればやり直す。

お湯はディスプレイサチャンプの底面に接触する状態が確認に適している。同じサイズの缶詰の空き缶をお湯の容器にすると、上に載せたスターリングエンジンが落ち着き易い。

4. 8. クランク軸



図 4-58 直角部分に印し

クランク軸はゼムクリップから作る。図 4-58 のように直角部分に油性ペンで印しをつける。この部分は曲げ伸ばしを繰り返すと折れる。



図 4-59 直角部分の伸ばし方

直角な部分は図 4-59 のようにラジオペンチで保持したあと、ラジオペンチを握ると真直ぐな状態に近づく。

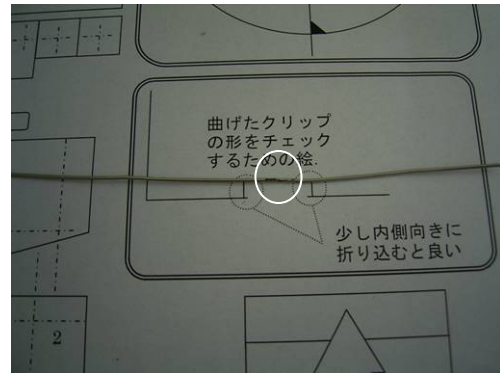


図 4-60 ゼムクリップの位置取り

真直ぐにしたゼムクリップを型紙に載せる。図 4-58 でつけた印は図 4-60 の白丸の位置になる。型紙の線に沿って曲げていく。図 4-61 のように振じれてしまったときは、図 4-62 のような持ち方でねじれを戻す。

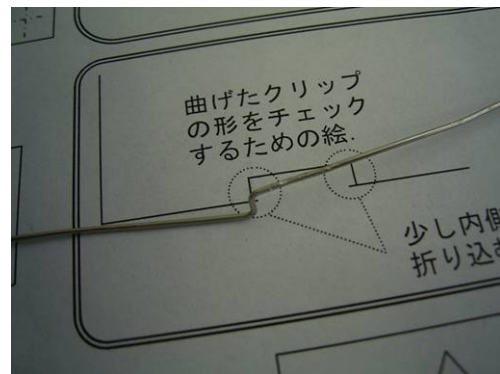


図 4-61 振じれた状態

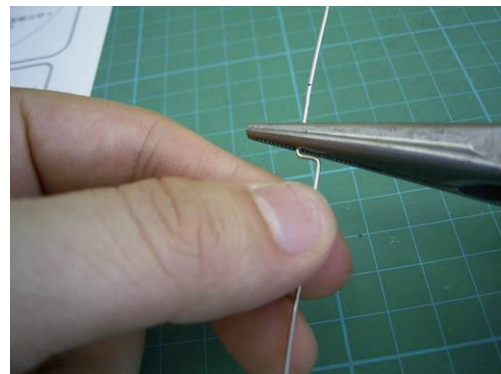


図 4-62 振じれを直すときの持ち方

図 4-63 の状態は型紙上の線がクリップに隠れていないため、修正が必要になる。修正した状態が図 4-63 である。この差はわずかなようだが、妥協したまま組み立てるとやり直しになる。振じれていると紙の上で収まりが悪くチェックできないので、振じれを押しながら形を調節する必要がある。

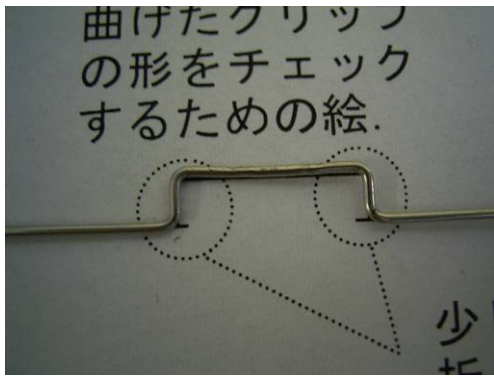


図 4-63 ずれている状態

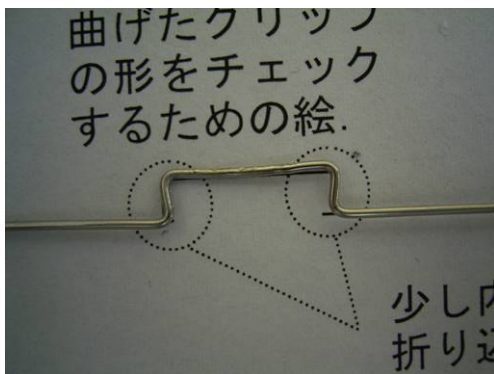


図 4-64 許容される状態

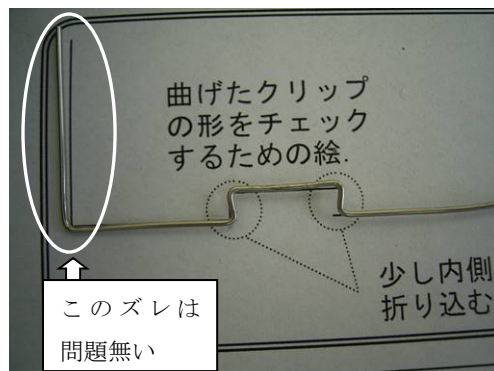


図 4-65 許容される状態

4. 9. 小さな部品の加工



図 4-66 カウンターウェイトの切断する位置

残っているカラー発泡パネルを円く切り出した部品を半分に切る。図 4-66 は切断面の印しを描き入れている。この部品がディスプレイサとの重さのバランスをとるカウンターウェイトとなる。図 4-67 では並んでいる穴に合わせて両面テープを貼り、図 4-68 のように半円形のカラー発泡パネルに貼り付け、図 4-69 のような部品にする。

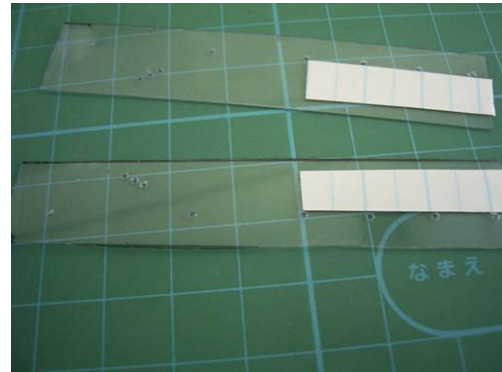


図 4-67 並んでいる穴に合わせて両面テープを貼る



図 4-68 位置あわせ

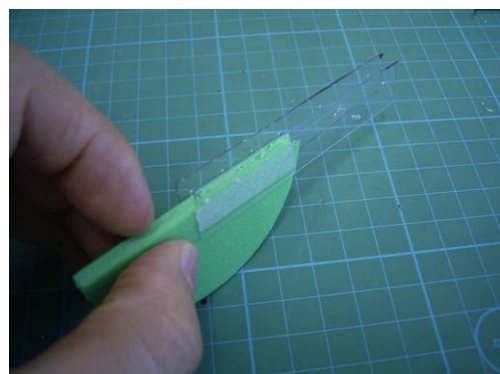


図 4-69 カウンターウェイトを取り付けた「てこリンク」

硬質塩化ビニル板から切り出した細長い部品が 3 つある。穴が 1 つしかない部品には、穴の無い側に図 4-70 のように輪ゴムをまく。後からクリップを抜き差しするのできつ過ぎず、緩過ぎずという状態で巻く。



図 4-70 穴の無い側に輪ゴムを巻く

直角二等辺三角形の部品は 8 枚ずつ重ねてセロハンテープで図 4-71 に示す状態にする。

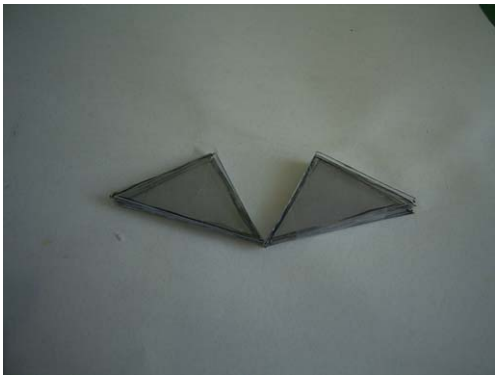


図 4-71 重り

4. 10. 組立て



図 4-72 ミニステアーへの取り付け手順 1

硬質塩化ビニル板から切り出した部品で最も大きい部品をミニステアーに取り付ける。一枚目は、図 4-72 に示されるように、平座金を通したなべ小ねじを外側から通し、コの字型のミニステアーの内側には平座金、バネ座金、ナットがある。コの字型のミニステアーの内側のナットを押さえ、ボルトをしっかりと固定した後、次の硬質塩化ビニル

文書作成：大分大学 加藤義隆（2011 年 9 月）
本文書の無断転載を禁じます。

板の固定をする。2 枚の板を固定し終わった状態が図 4-73 である。図 4-73 ではペンチでナットを回して固定している。なべ小ねじの長さが 20mm の場合は余裕が無いため、こちら側にはバネ座金を挿入しない選択も有り得る。



図 4-73 ミニステアーへの取り付けが完了した状態

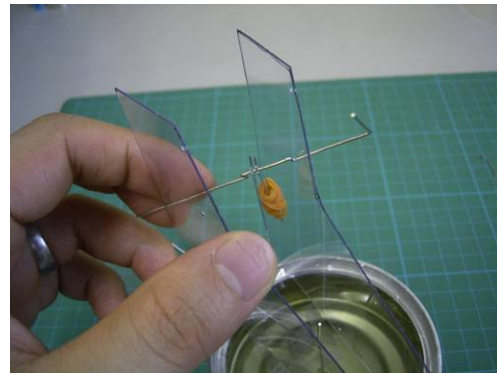


図 4-74 クランク周辺の組立て

図 4-70 に示した部品のうち短い部品 2 つとクランク軸を図 4-74 のように組立てる。



図 4-75 動作の仮チェック

クランク側の輪ゴムの付いた部品に、ポリ袋の切れ端で作った出力部から伸びるクリップの先端を通し、クランクが

円滑に回るように長さを調節する。またディスプレイサロッドには図 4-70 の一番長い部品を図 4-75 のように取り付ける。図 4-75 の状態で再びディスプレイサチャンバの底を湯で加熱し、ディスプレイサを上下動させるだけでクランクの一番下と一番上に、到達できるか確認する。到達できない場合は修正を要する。

修正が不要な状態になったら、両端に穴のある部品と図 4-69 の部品を図 4-76 のようにクリップの切れ端をつかって接続する。クリップの切れ端は図 4-77 のように、コの字型の片方の角が丸みを持った状態が取り付け易い。取り付けながら長さや曲げ方の調節を行う。

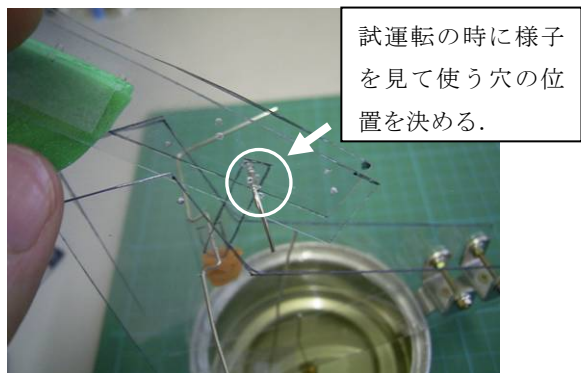


図 4-76 接続棒の接続

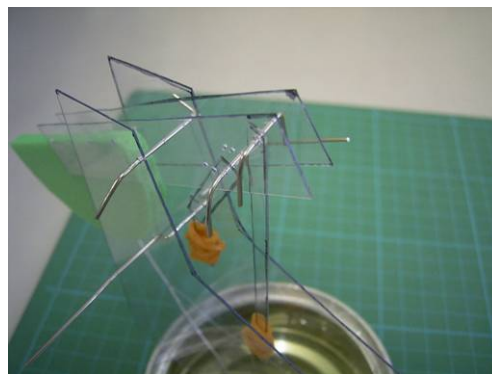


図 4-79 ディスプレーサロッドの長さ調節と取り付け



図 4-80 リンクを組み終わった状態



図 4-77 リンクの接続に用いる金具



図 4-81 クリップによるバランスの調節

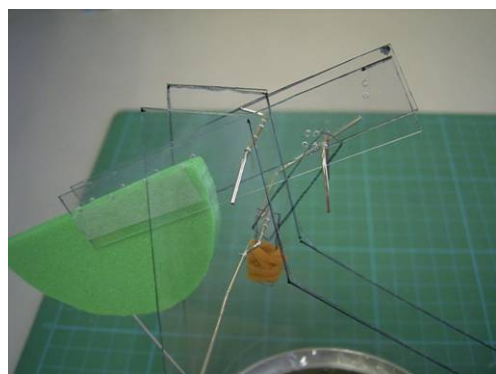


図 4-78 てこクランクの取り付け

図 4-78, 4-79 の作業を経て、図 4-80 の状態にする。この状態で図 4-81 のようにカウンターウェイト周辺にクリップを貼り付けて、ディスプレイサが宙吊りに近い状態になるようにする。

クランクシャフトの 90 度に曲がった開放端を、残っている長方形の部品の中心の穴に通し、セロハンテープで貼り付ける。この板の両端に図 4-71 の重りを取り付け、図 3-1 から 3-5 のような形状にする。

試運転が成功することを祈る。上の缶の内側に氷を少々載せないと全体がすぐに暖まってしまう。