

教育用スターリングエンジン

(本文無し)

大分大学工学部助教 加藤義隆

連絡先 : 〒870-1192 大分県大分市大字旦野原 700 / 大分大学工学部 機械教室 / 加藤義隆 / E-mail: ykato@oita-u.ac.jp / 電話 & FAX (097) 554-7766

はじめに

本文書は，一般社団法人日本機械学会の講習会「非常用エネルギー供給源としての携帯型スターリングエンジン（高速模型エンジン組立実習付）」（<http://www.jsme.or.jp/event/detail.php?id=2960> ，2014年8月4日開催）の講習「教育用スターリングエンジン」のテキストとして計画されたものから，一部を抜粋したものです．2014年8月4日の講習会は教材のみの申込みも可能です．2014年6月に現在の形に作成されました．スペースの都合で講習会のテキストには本文のみが掲載されています．本文と図・表・式が揃わないと，内容の理解は困難です．図・表・式および一部本文は2014年10月まで，<http://machls.cc.oita-u.ac.jp/kenkyu/netu/kato/stirlingengine/toy2.html> をリンク元に <http://machls.cc.oita-u.ac.jp/kenkyu/netu/kato/stirlingengine/sample2014.pdf> に掲載されます．

低温度差スターリングエンジン競技会・発表会（<http://www.jsme.or.jp/tsd/kouen/index.html>）を日本機械学会主催で2014年10月13日に大分で開催するので，参加して頂ければ幸いです．日本機械学会技術と社会部門ニューズレター No.30（<http://www.jsme.or.jp/tsd/news/newsletter30/no8.pdf>）に，2013年度のこの競技会・発表会の模様が報告されています．

数が限定されますが，小中高校生対象にスターリングエンジンの工作教室や冊子の提供が無償で行われます．冊子には高校生向けの内容が含まれますが，小中学生でも工作は可能です．希望者はカバーページに記載の連絡先に問合せてください．また9月7日に東京電機大学で日本機械学会2014年度年次大会市民対象行事「工学教育・技術教育のための教材開発や行事企画運営」でも手作りのスターリングエンジンについて講演があります．よろしくお願ひします．

目次

はじめに	1
第 1 章 余計なお世話	5
● 1 - 1 現実には教科書ほど単純じゃない	5
● 1 - 2 それ勉強しなくて良い！良い？	6
● 1 - 3 一生懸命遊ぶ	6
● 1 - 4 決して輝いては見えない	7
第 2 章 動力の発生に関わる理論	8
● 2 - 1 温度差がピストンを往復動させる仕組み	8
● 2 - 2 エネルギーの使い勝手	10
第 3 章 手作り模型スターリングエンジンの工作	13
● 3 - 1 製作方法の概要	13
● 3 - 2 材料と工具	18
● 3 - 2 - 1 工具リスト	18
● 3 - 2 - 2 材料	21
● 3 - 3 掃除に関する御願い	23
● 3 - 4 基本的な部品加工の作業方法	23
● 3 - 4 - 1 ドリルで穴をあける方法	23
● 3 - 4 - 2 複数の部品の穴の位置を合わせる	28
● 3 - 4 - 3 塩化ビニル板を凹に切り出す	29
● 3 - 4 - 4 $\phi 3.0\text{mm}$ を超える穴あけとチューブの固 定	30
● 3 - 5 シリンダヘッド部とシリンダ部の製作	33
● 3 - 5 - 1 作業の概要	33
● 3 - 5 - 2 アルミトレイの穴あけ加工	34
● 3 - 5 - 3 食品保存容器からの部品の切り出し ..	40
● 3 - 5 - 4 食品保存容器のふたの加工	44
● 3 - 5 - 5 接着	48

● 3 - 5 - 6	気密のチェック	55
● 3 - 5 - 7	フタから作った部品の交換	56
● 3 - 6	ディスプレイサの製作	57
● 3 - 6 - 1	作業の概要	57
● 3 - 6 - 2	型紙	58
● 3 - 6 - 3	発泡ポリスチレンパネルの円盤の製作	59
● 3 - 6 - 4	ディスプレイサロッドの製作	64
● 3 - 6 - 5	ディスプレイサとロッドの取り付け	67
● 3 - 7	ベローズの製作	68
● 3 - 7 - 1	作業の概要	68
● 3 - 7 - 2	円形の板の加工	69
● 3 - 7 - 3	ベローズの組立て	72
● 3 - 8	機構部の製作と全体の組み立て	76
● 3 - 8 - 1	作業の概要	76
● 3 - 8 - 2	型紙の製作	76
● 3 - 8 - 3	硬質塩化ビニル板の加工	83
● 3 - 8 - 4	クランク軸と軸受けの加工と組立て ..	85
● 3 - 8 - 5	リンク機構の組み立てと本体の組み立て	98
● 3 - 9	調整と補修	109
● 3 - 9 - 1	試運転前の準備	109
● 3 - 9 - 2	自立運転しない場合の対応	110
● 3 - 9 - 3	経時変化と経年変化への対応	114
● 3 - 10	追加部品	115
● 3 - 10 - 1	シリンダヘッドの断熱	115
● 3 - 10 - 2	糸巻き	117
● 3 - 10 - 3	位相差の違いを試す機構の概要	122
第4章	手作り模型スターリングエンジンの設計	134

● 4 - 1	計画と企画と準備のための準備	134
● 4 - 1 - 1	具体的な目的	134
● 4 - 1 - 2	作業の洗い出しで課題を明確に	135
● 4 - 2	試行錯誤は気合と根性で失敗の山を築く	136
● 4 - 3	熱力学的な検討	136
● 4 - 3 - 1	容積の比が検討対象	136
● 4 - 3 - 2	先行事例との熱力学的な相似	137
● 4 - 3 - 3	高校物理を使う熱力学的な設計	137
● 4 - 3 - 4	高校物理を使う熱力学的な実験	140
● 4 - 4	リンク機構の設計	141
● 4 - 4 - 1	位相差を予備実験で定めた	141
● 4 - 4 - 2	方向性と限定事項	141
● 4 - 4 - 3	計算に用いるベクトルと三角関数	143
● 4 - 4 - 4	クランクとオフセットクランクの概算	144
● 4 - 4 - 5	ベクトルと三角関数による詳細な計算	145
● 4 - 4 - 6	ロス・ヨーク機構の近似は相似を探す	147
● 4 - 4 - 7	絵で部品や工具の干渉をチェック	149
● 4 - 5	フライホイール	151
● 4 - 5 - 1	設計は微分積分を使うかも	151
● 4 - 5 - 2	具体的なフライホイールの効果	155
● 4 - 5 - 3	次元や単位をバカにしない	160
● 4 - 5 - 4	分からないと判断するまで時間をかける	162
	おわりに	164

第 1 章 余計なお世話

● 1 - 1 現実には教科書ほど単純じゃない

表 1-1-1-1 考えないと暗号のような対数の計算

<p>計算に時間がかかるの試験対策では覚える式</p>	<p>考え方</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px; display: inline-block;"> <p>定義 : $M = a^{\log_a M}$</p> <p style="text-align: right;">真数 底 (てい)</p> </div>
<p>$\log_a a = 1$</p>	<p>$a^1 = a$</p>
<p>$\log_a 1 = 0$</p>	<p>$a^0 = 1$</p>
<p>$\log_a M^P = P \log_a M$</p>	<p>$M^P = (a^{\log_a M})^P = a^{(\log_a M) \times P} = a^{P \log_a M}$</p> <p>$M^P = a^{P \log_a M}$ ← 一緒</p>
<p>$\log_a M + \log_a N = \log_a MN$</p>	<p>$MN = a^{\log_a MN}$ ← 一緒</p> <p>$MN = M \times N = a^{\log_a M} \times a^{\log_a N} = a^{\log_a M + \log_a N}$</p>
<p>$\log_a M - \log_a N = \log_a \frac{M}{N}$</p>	<p>$\frac{M}{N} = a^{\log_a \frac{M}{N}}$ ← 一緒</p> <p>$\frac{M}{N} = M \times (N^{-1}) = a^{\log_a M} \times a^{\log_a N^{-1}} = a^{\log_a M - \log_a N}$</p>
<p>$\log_a M = \frac{\log_b M}{\log_b a}$</p>	<p>$M = a^{\log_a M}$ ← 一緒</p> <p>$M = b^{\log_b M} = b^{\frac{\log_b a}{\log_b a} \log_b M} = b^{\log_b a \times \frac{\log_b M}{\log_b a}} = (b^{\log_b a})^{\frac{\log_b M}{\log_b a}} = (a)^{\frac{\log_b M}{\log_b a}}$</p>

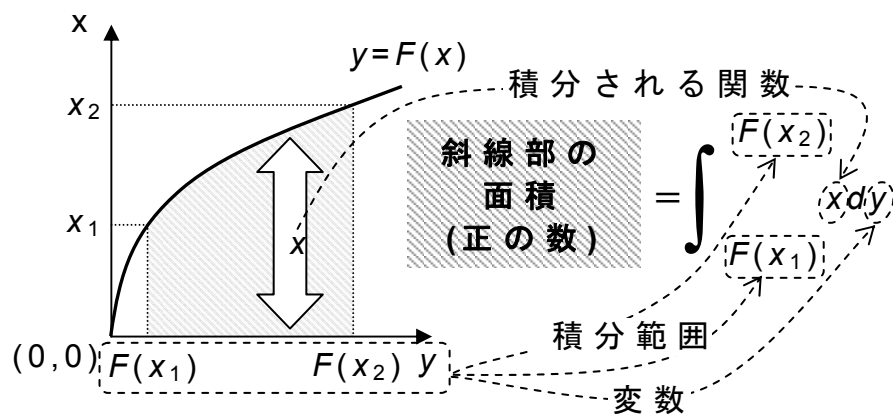


図 1-1-1-1 高校の教科書に具体的な説明は無いかもしれないが，読み取って認識すべき，積分における式と図の関係

● 1 - 2 それ勉強しなくて良い！良い？

● 1 - 3 一生懸命遊ぶ

- 1 - 4 決して輝いては見えない

第 2 章 動力の発生に関わる理論

● 2 - 1 温度差がピストンを往復動させる仕組み

スターリングエンジンは温度差から動力を発生させる!

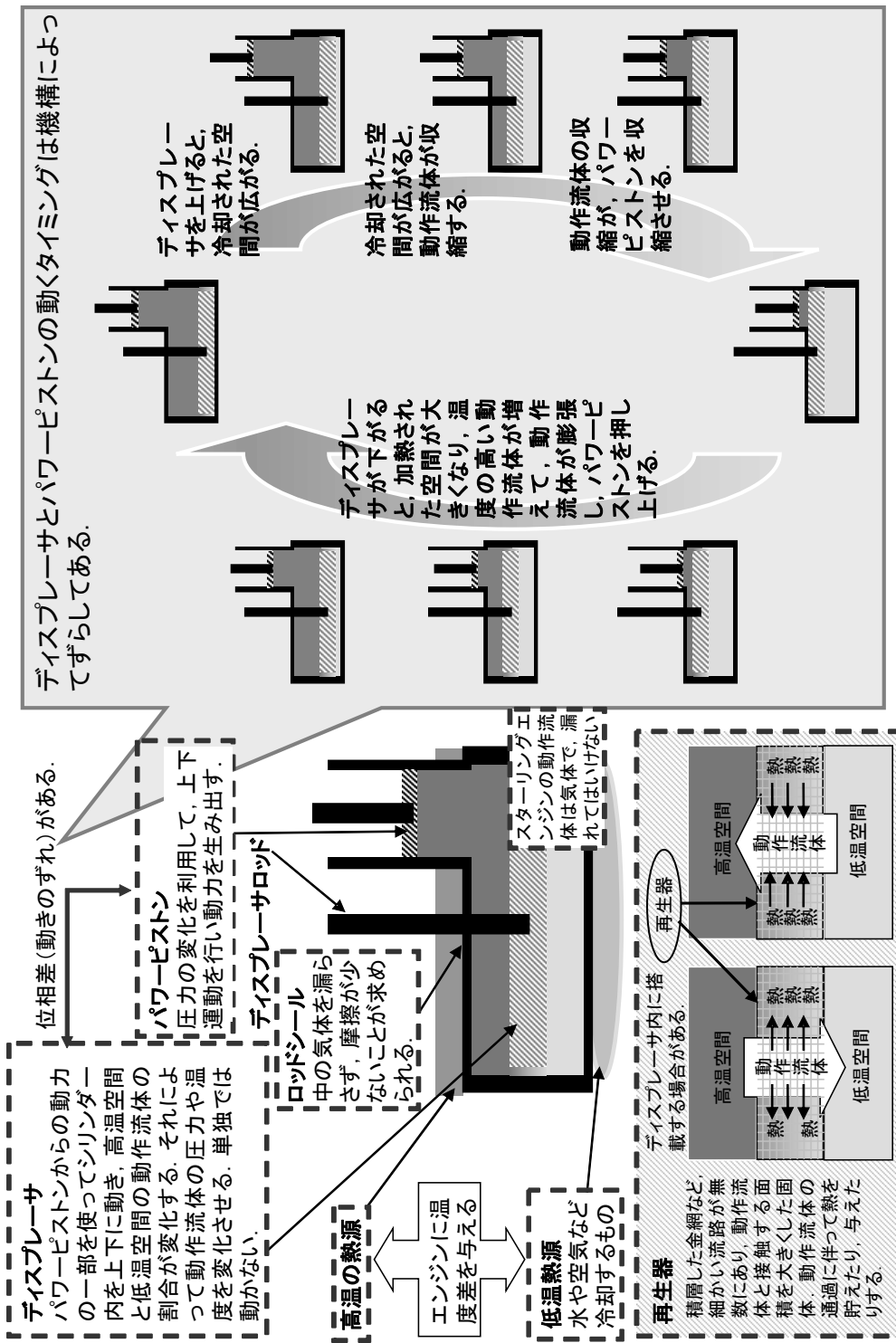


図 2-1-1-1 スターリングエンジンの仕組み

● 2 - 2 エネルギーの使い勝手

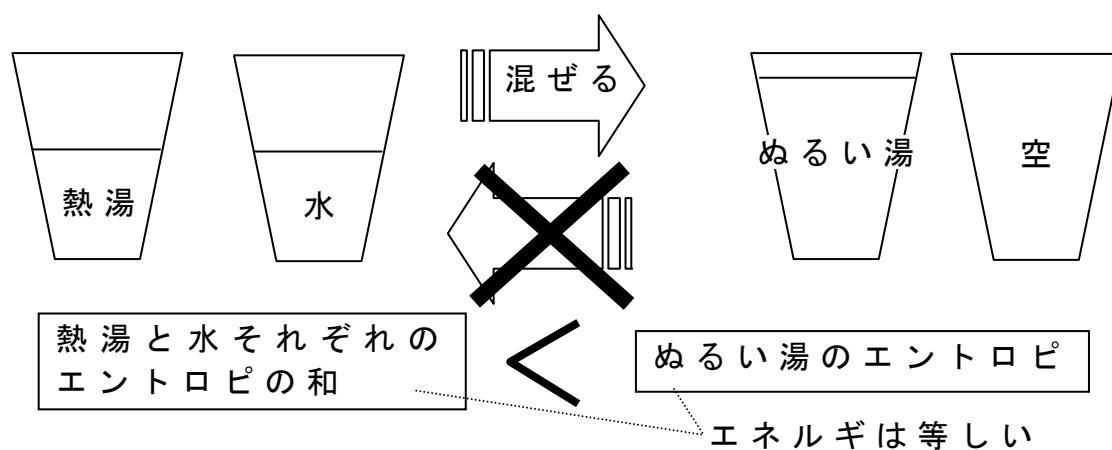


図 2-2-1-1 エントロピーの変化による不可逆の評価

$$dS = \frac{\delta Q}{T} \quad (2-2-1-1)$$

第 3 章 手作り模型スターリングエンジンの工作

ここで説明する手作り模型スターリングエンジンは、お湯の熱で毎分約 20 から 60 回転する。真夏の暑いときは保冷剤で冷やすだけでも動く。力強さはないが、糸巻きを設けて、軽いものを引き寄せることも可能である。また機構部を入れ替えると、位相差と圧縮比を変えられる。

手作り模型スターリングエンジンの特徴を下記に記す。

- 三つの制約「材料や工具は広く大分県内で購入可能なものに限る」「加工に工作機械や電動工具を使用しない」「駆動のための熱源に火炎を使用しない」の下で試作された。
- 材料の購入費用が 4000 円で、製作期間が最低 3 日程度かかる。工具は約 9000 円になる。
- 高校課程の数学や物理によって設計されている
- 組立てた後も分解組み立てが可能

● 3 - 1 製作方法の概要

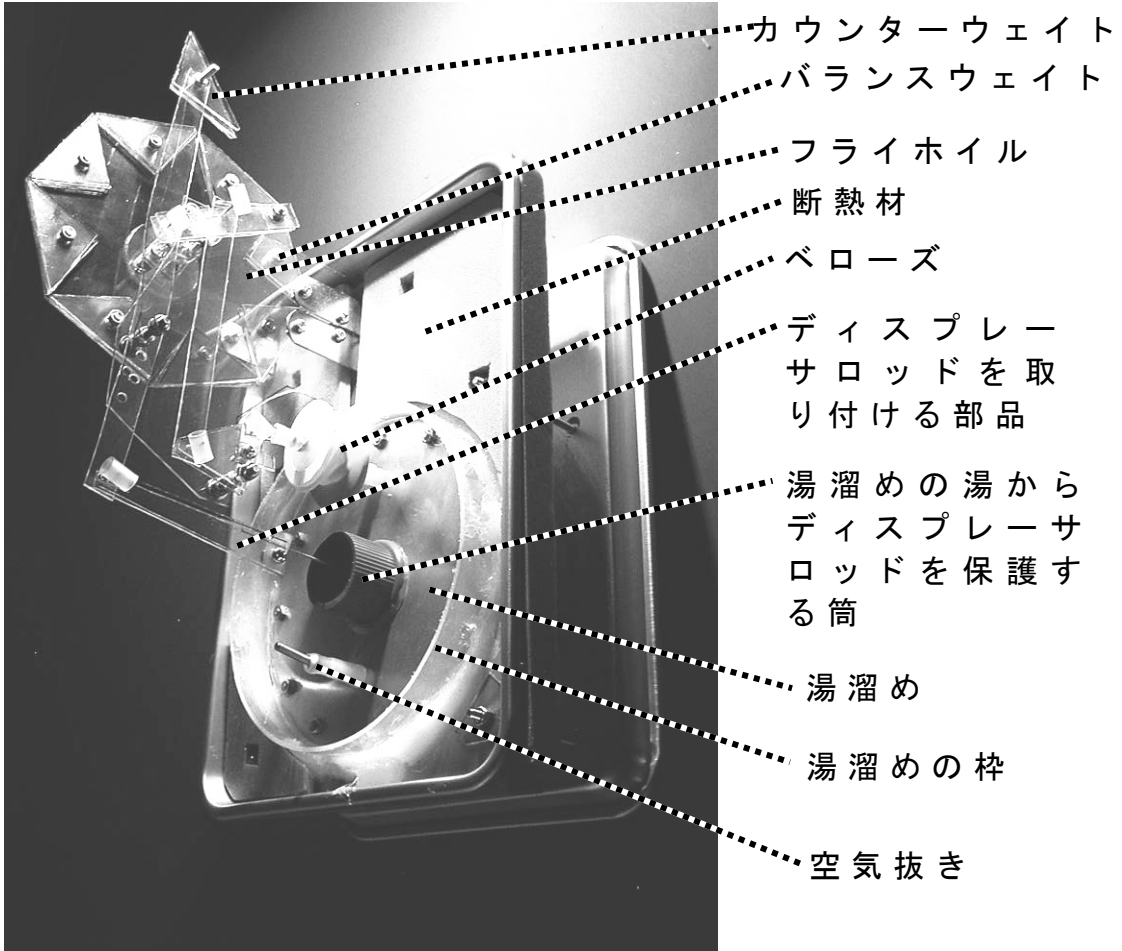


図 3-1-1-1 各部の名称 1

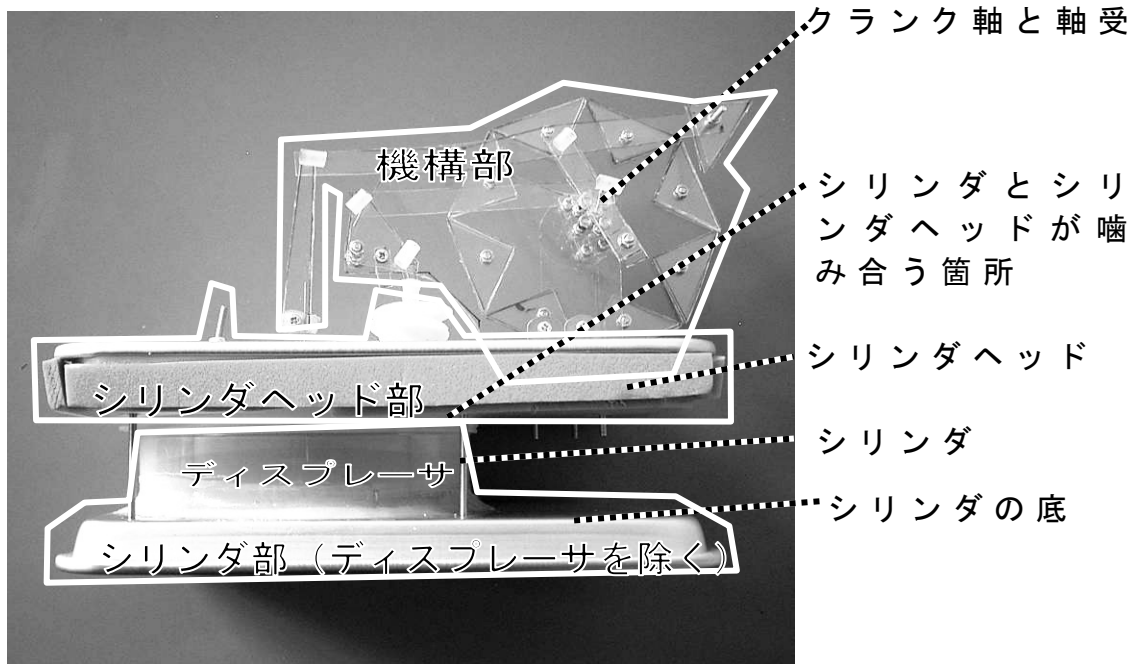


図 3-1-1-2 各部の名称 2

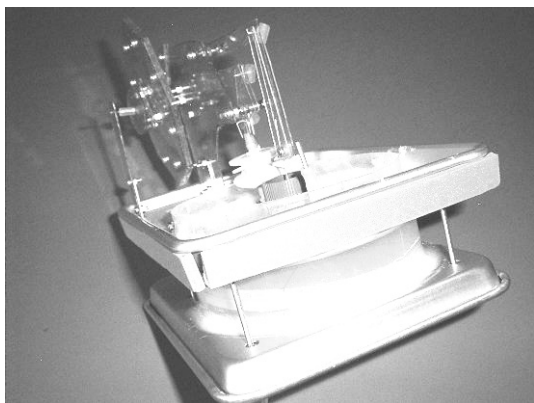


図 3-1-1-3 側面左から

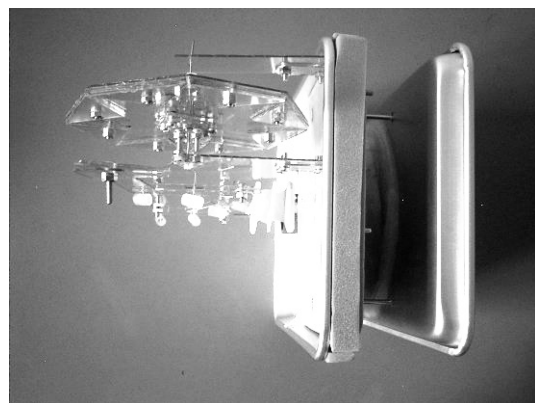


図 3-1-1-4 側面右から

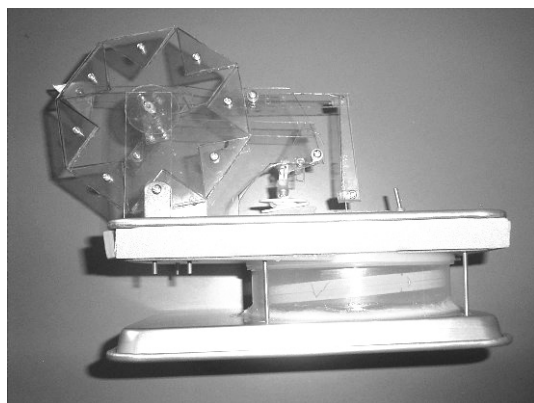


図 3-1-1-5 背面から

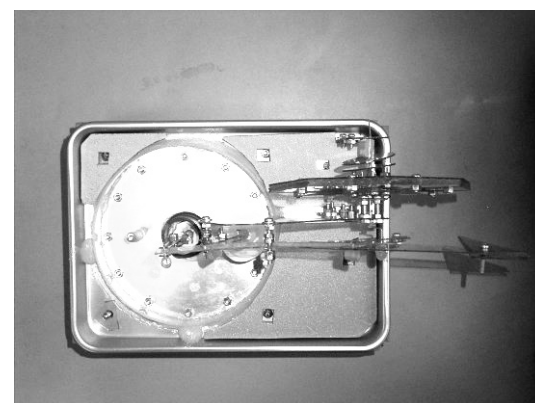


図 3-1-1-6 上から

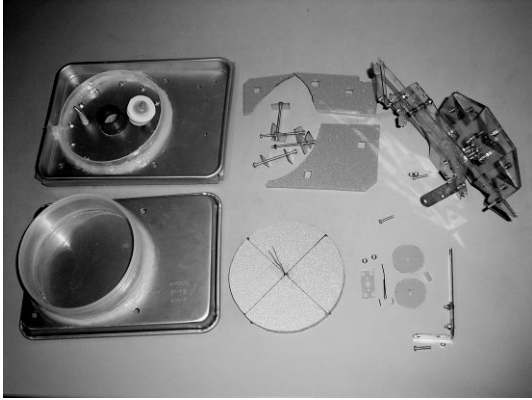


図 3-1-1-7 分解した状態

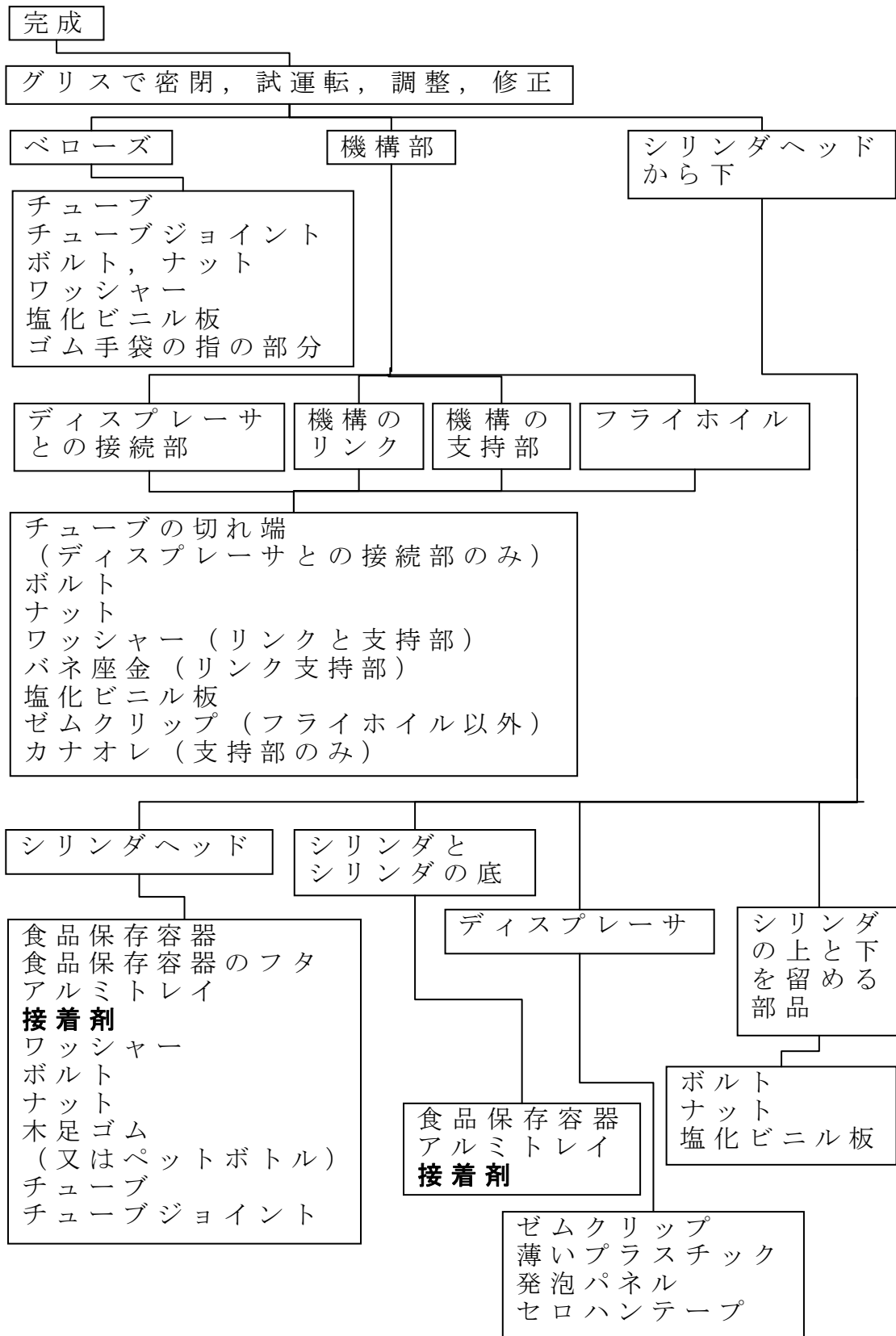


図 3-1-1-8 作業の分解と各作業で使用する材料

● 3 - 2 材料と工具

● 3 - 2 - 1 工具リスト

工具の写真を図 3-2-1-1 に示す. また工作に使うもののリストを以下に挙げる.

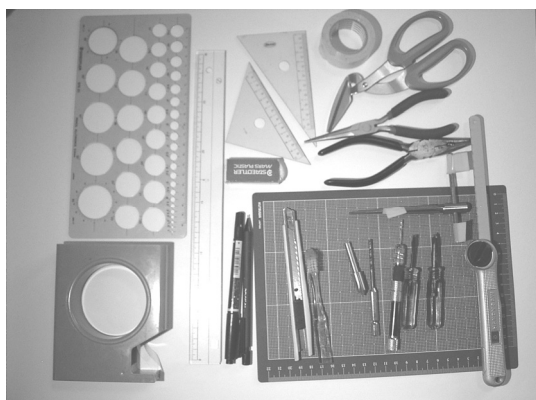


図 3-2-1-1 使用した工具

- ティッシュペーパー
- 新聞紙等, 作業場所に敷いて使い捨てにできる紙
- ガムテープや粘着シート: 掃除用
- セロハンテープ
- ビニルテープ: 油性ペンと異なる色が望ましい. 布のガムテープでも可
- ドライバー (M3 のボルトを締めたり緩めたりするためのもの)
- マイナスドライバー (バスコークやグリスを取り扱う)
- カッター
- カッターナイフの新しい刃 (古いと発泡パネルがきれいに切れない)
- 金鋸 (刃にビニルテープを巻いたものでも可)
- ラジオペンチ (一つで十分だが, 二つあると楽)
- ニッパー (クリップを切断できれば, ラジオペンチについている物で良い)

- はさみ（ペットボトル切断用が望ましい）
- ピンバイス
- $\phi 1.0\text{mm}$ のドリル（鉄鋼用もしくはピンバイスの付属したもの）
- $\phi 3.0\text{mm}$ のドリル（六角軸ドリルの鉄鋼用もしくは模型用のピンドリル）
- リーマ（ $\phi 3.0$ から 6.0mm をカバーするもの）
- 面取り用のテーパドリル
- シャーペン（普通のもので良い）
- 消しゴム（普通の物）
- 油性ペンの細い物と極細（ 1mm くらい？）でかけるもの
- 三角定規（小学生が使うような小さい物）
- コンパスもしくはテンプレート（最大 $\phi 32\text{mm}$ の円がキレイに描けるような道具）
- 30cm 物差し
- 方眼紙
- 白い紙（型紙として使う他，透光った材料に油性ペンで記入した穴の位置や部品の形状を確認するために使う）
- 霧吹き：切屑の飛散を抑えるために水を撒く．

また，あった方が望ましいものと無くてもなんとかなるものを以下に挙げる．

- 整理用の小物類や箱（ねじ・ナット・切り出した小さい部品・組み立てた物・材料などを整理しておくためのもの）
- 卓上を掃除する道具（雑巾は不可．ブラシや掃除機か粘着シート，ウェットティッシュなど）
- 加工中の部品から切り屑を払うブラシ：使用済みの歯ブラ

シなど

- カッターマットなど
- 径が 6mm のストロー(材料で使う観賞魚用のホースがピッタリはまるもの. 息を吹き込む時に直接ホースに口を付けないで, ストローを介して息を吹き込める.)
- パンチで穴を開けた紙など: リーマで開ける穴の大きさを比較する.
- パソコンとプリンター: 型紙に大きな円を描くときに利用する.
- 電工ペンチ: M3 のボルトを自分で切断して, 長さを整える場合は必要になる. 必要な長さのボルトを購入できる場合は必要がない.
- 水に 220mm×160mm×高さ 60mm の物体を沈められる大きさの容器: 気密が破れている箇所を探す時に, 中に息を吹き込みながら, スターリングエンジンを水に沈める. 気密が破れている箇所を探す方法は, 石鹼水を吹きかけて中に息を吹き込む方法もある.
- PU ゴムのクッション: 詳細は基本的な部品加工の作業方法の項で説明する.
- 工業用アルコール

電動工具を使うと, 楽で作業時間も短くなるが, 仕上がりは悪い. 切断面が融けて生じる凹凸, バリ, 傷や材料の歪みを生じることが多い. また工具が粗悪だと作業は大変になる.



図 3-2-1-2 はさみが部品の形状に与える影響

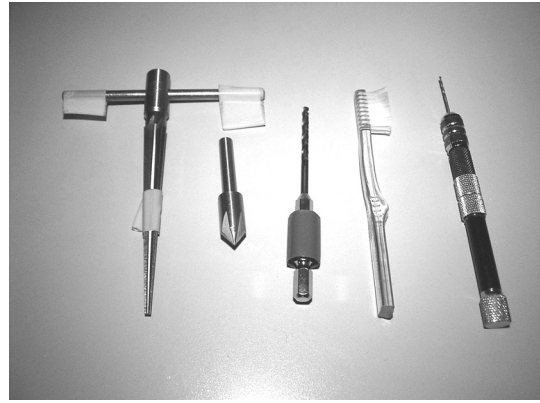


図 3-2-1-3 使い易くしたドリルとリーマなど

● 3 - 2 - 2 材料

表 3-2-2-1 材料のリスト

商品名の例	必要数	1個当たり価格の目安(と購入単位)	備考
アルミのお盆	2枚	327	外寸法221×160×17
スプリングワッシャー(M3)	6個		
ワッシャー(M3)	16個		
ナット(M3)	71個		
ボルト(M3×8mm)	32本		必要数は目安と考え、ナット、ワッシャー、ボルトM3×8mm、ボルトM3×15mmは余分に買うことが望ましい。ボルトはなべ小ねじ、ステンレスの必要は無く、メッキされた鉄が良い。旧JISは似ているが、規格が違うので要注意。「スプリングワッシャー」と「ワッシャー」はそれぞれ、「ハネ座金」「平座金」とも言う。
ボルト(M3×15mm)	11本		
ボルト(M3×25mm)	2本		
ボルト(M3×50mm)	4本		
硬質塩化ビニールシート厚さ1mm	300×300	378 (300×300×1)	色は構わないが、透き通っていること、サイズ300×300で足りる。(必要数と購入単位はmm単位の縦、横、厚さ)
発泡樹脂ボード	300×300	399 (300×600×5)	厚さ5mm程度のもの。(必要数と購入単位はmm単位の縦、横、厚さ)
極薄手ゴム手袋	指一本分	395 (50枚入り1箱)	天然ゴムでできたもの。「ノグス」で測ると厚さが0.1mmくらい。
観賞魚用のチューブ	少々	112 (数m入り一袋)	外形6mm。弾力があり、簡単に指で潰れて、手を離せば元通りになる。
観賞魚用チューブのジョイント	3個	49 (3個入り1袋)	ニッソーのビニールホースのような硬いものは使えない。
丸い食品保存容器	1個	126	上記のホースを両端に接続できるもの。
シリコン系充填材(コーキング剤)	50gで十分	297 (50g入り)	円く、直径125mm前後で寸胴なもの。 ガラスの水槽・鏡 防水シール、湯と水の温度に耐えられるもの。
金折れ	2個 (+1個)	87 (4個1セット)	M3のボルトで留められる穴があり、一边が3.5cm程度で、厚さ1mm程度の力を込めれば少し曲がりそうなもの。金折れは直角に曲がっていないので、剛性の高いものは、機構部を垂直に取り付けられることができない。適当な金折れがなければ、L字金具が使える可能性がある。スターリングエンジン本体は2個使い、追加で取り付ける糸巻きに更に1個必要になる。
両面テープ	少々		
セロハンテープ	少々		
木足ゴム、24mm	1個	194 (4個入り)	中に金属の入っていないもの。無ければペットボトルで代用可
ゼムクリップ	数個	101 (1箱)	真直ぐな箇所が2cm程度あるもので、表面が金属でメッキされたもの。
プラスチックの薄い板	少々	59 (10個入り)	スーパーやコンビニの弁当・惣菜の容器の透明なフタで良い。
グリス	少々	300 (50g)	模型の歯車などに使うようなものでも可

● 3 - 3 掃除に関する御願い

● 3 - 4 基本的な部品加工の作業方法

● 3 - 4 - 1 ドリルで穴をあける方法

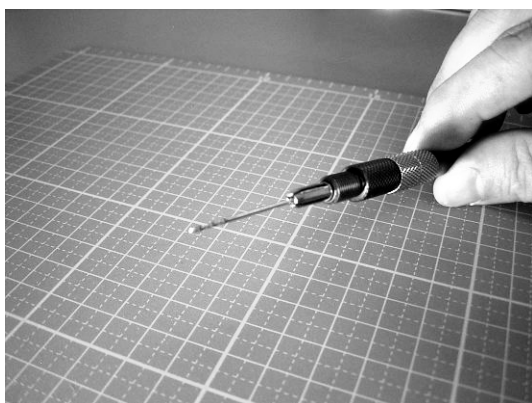


図 3-4-1-1 コレットチャックを外したピンバイスにコレットを入れ、コレットにドリルを入れる



図 3-4-1-2 コレットチャックを締め、ドリルが緩まないようにする



図 3-4-1-3 目印の中心にドリルの先端を添える

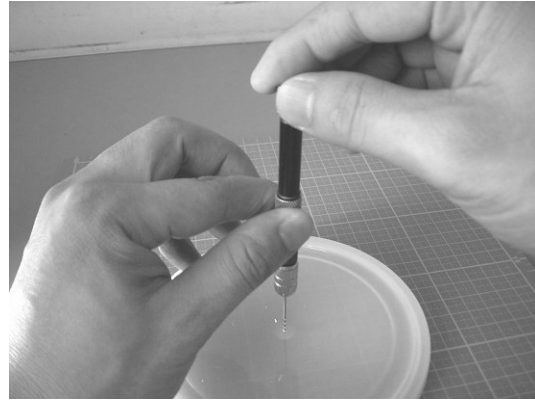


図 3-4-1-4 ピンバイス中ほどのゆるく回転するところを保持して適度な力で材料に押し当て、ピンバイス端部を持って時計回りに回す



図 3-4-1-5 力加減が強過ぎる時の切り屑

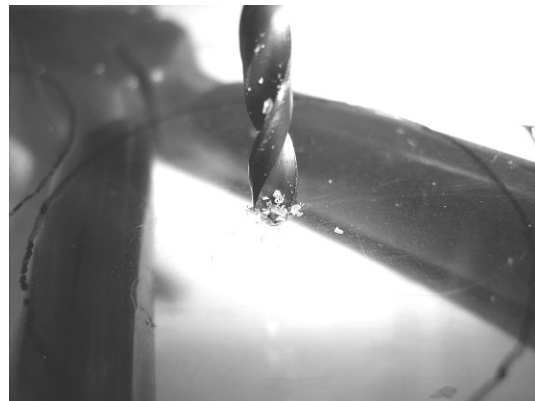


図 3-4-1-6 良い力加減の切り屑は細かい

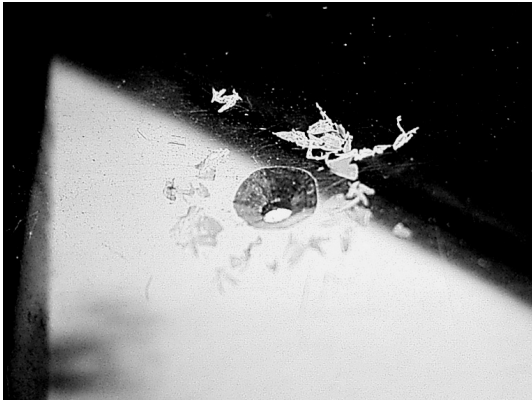


図 3-4-1-7 まだ掘り進めるべき状態

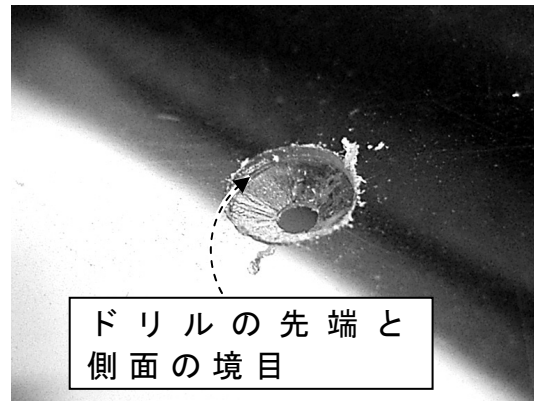


図 3-4-1-8 面取り用ドリルを用いずに $\phi 3.0\text{mm}$ の穴あけ加工で大きなバリを出さないようにするには、加工部分がドリルの径と同じ大きさに削られ、ドリルの先端に削られている面と側面の境が見えるこのタイミングで、裏側から穴あけ加工をする

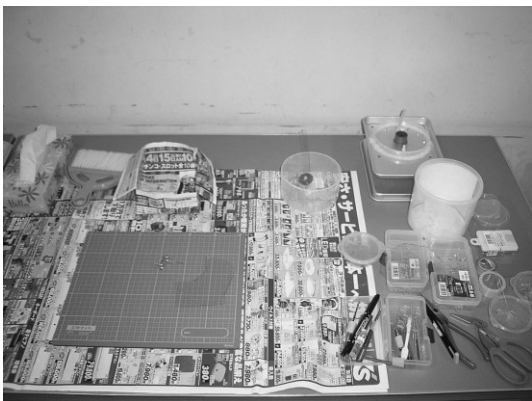


図 3-4-1-9 カッターマットの下に捨てても良い紙を数枚重ねて敷き、右手前に工具類、左奥にごみ入れと掃除道具とティッシュペーパーを配置した作業環境の例

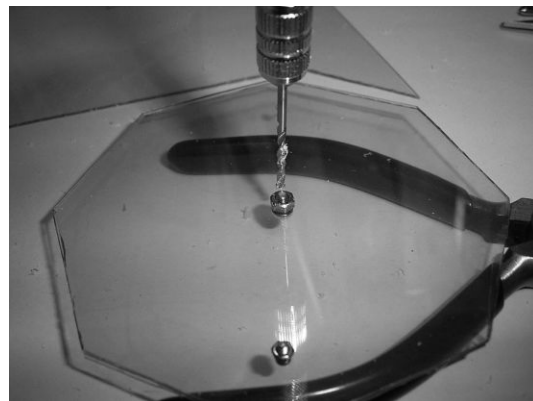


図 3-4-1-10 穴あけ加工する硬質塩化ビニル板はラジオペンチのグリップで支えられる



図 3-4-1-11 穴あけ加工する硬質塩化ビニル板を支える道具を作った方が便利

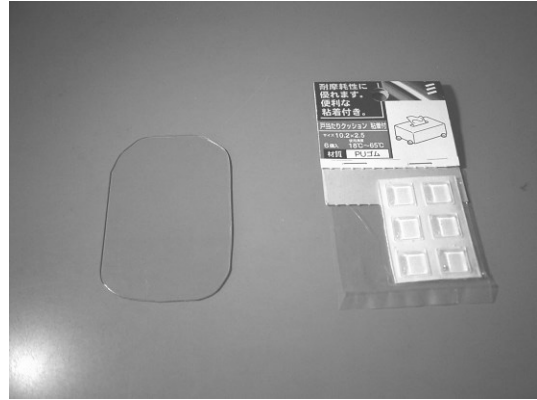


図 3-4-1-12 硬質塩化ビニル板を支える道具の材料は、部品を切り出す硬質塩化ビニル板の残りや PU ゴムのクッションだが、硬質塩化ビニル板の切り出しはスターリングエンジンの部品のレイアウトに配慮が必要



図 3-4-1-13 PU ゴムの枠の部分も使うので丁寧に外し、PU ゴムのクッションを硬質塩化ビニル板の表側、四隅と V 字型の隙間を形成する中央付近二箇所張り着ける

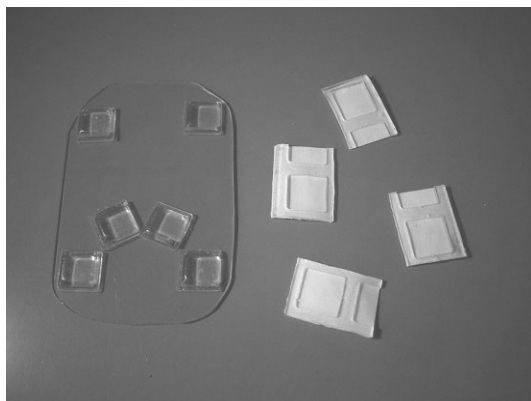


図 3-4-1-14 PU ゴム枠を 4 つに分割する

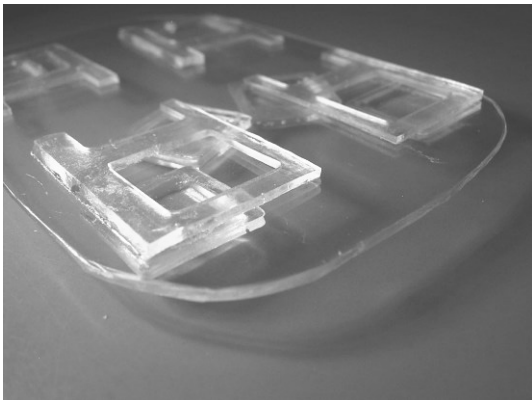


図 3-4-1-15 4分割した PU ゴムの枠を、PU ゴムのクッションを張った硬質塩化ビニル板の裏側の四隅に張り着ける

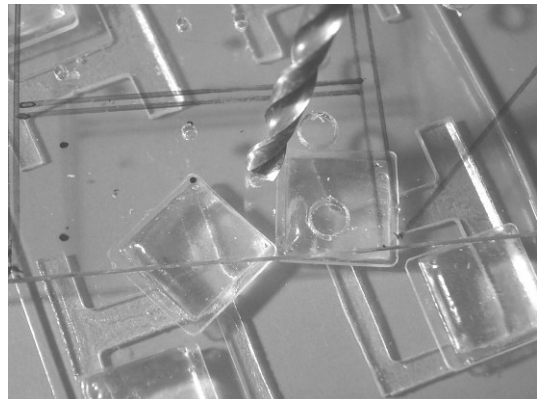


図 3-4-1-16 穴を開ける部分が PU ゴムのクッションにはさまれた隙間に位置するように配置して使う

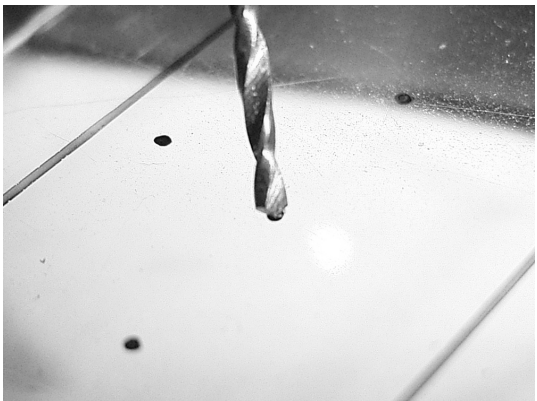


図 3-4-1-17 下穴を開けるドリルは、先端の尖ったところを目印の中心にあてる

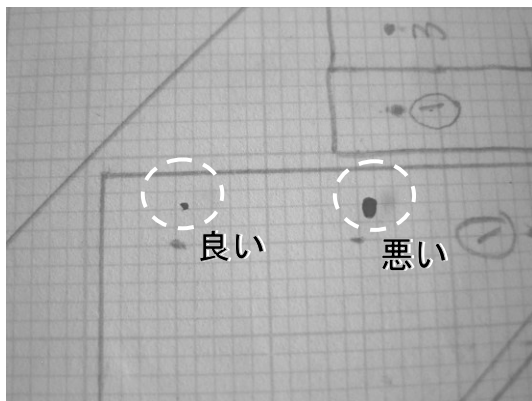


図 3-4-1-18 良い目印は細い油性ペンで軽く一度触れるように小さく描かれ、悪い目印は方眼紙の 1mm のマスと遜色ない大きさに描かれる

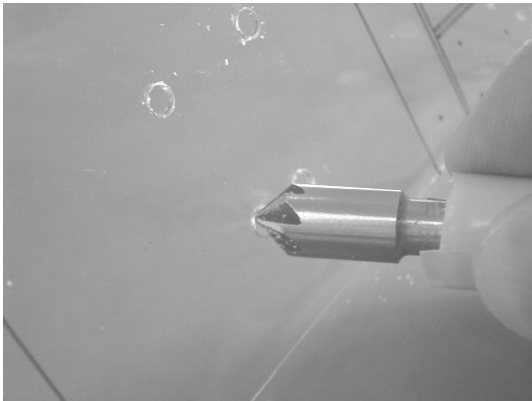


図 3-4-1-19 穴を開けた後のバリは面取り用ドリルを押し当てて回すと処理できるが、 $\phi 1.0\text{mm}$ の穴は $\phi 2.0\sim 3.0\text{mm}$ のドリルで代用できる

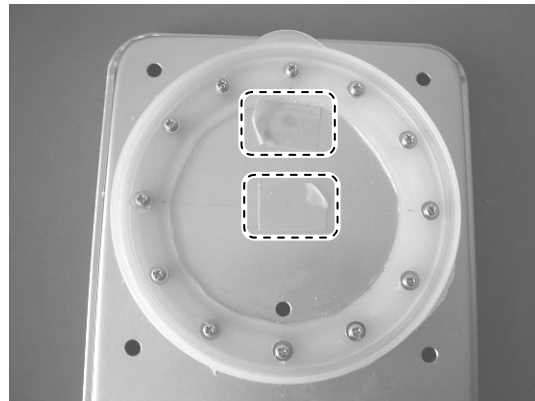


図 3-4-1-20 拡大しない穴は粘着テープでふさぐと、誤って他の穴と一緒に大きくしてしまうことを防げる

● 3 - 4 - 2 複数の部品の穴の位置を合わせる

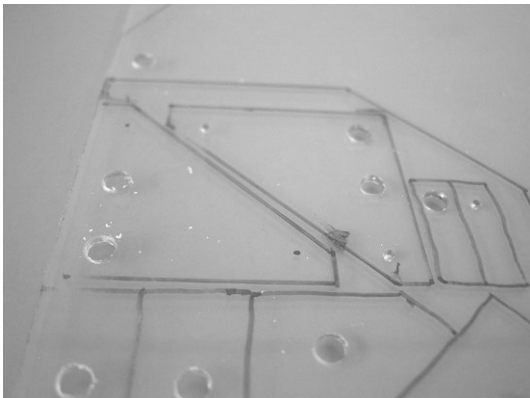


図 3-4-2-1 ボルトを通す $\phi 3.0\text{mm}$ の穴とその他の $\phi 1.0\text{mm}$ の下穴があいた方をマスターとし、その他のコピーする部品はボルトを通す穴以外は目印が残る

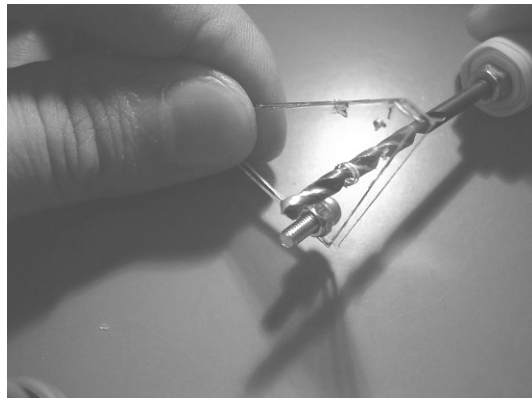


図 3-4-2-2 穴の位置をコピーする部品の側からボルトを通してマスターの部品と締結し、二つ目のボルトが通るようにドリルで穴を広げる

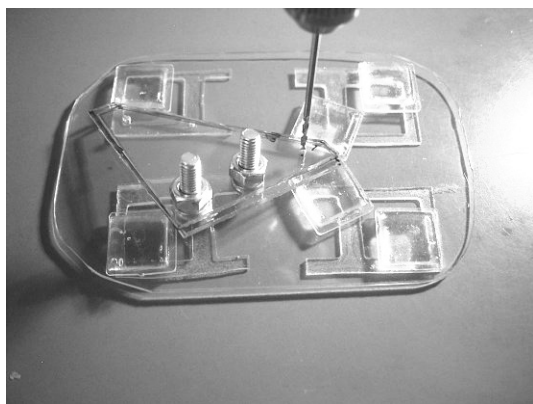


図 3-4-2-3 2つのボルトで締結したら、マスターの部品を上にして置き、マスターの下穴を通して $\phi 1.0\text{mm}$ のドリルで加工していく

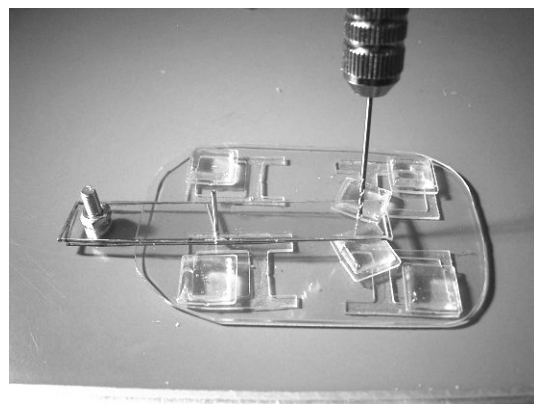


図 3-4-2-4 ボルト2本ではなく、一つをゼムクリップから切り出した金属線にして位置合わせをするときは、金属線が傾かないようにする

● 3 - 4 - 3 塩化ビニル板を凹に切り出す

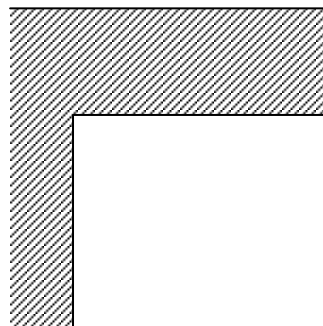
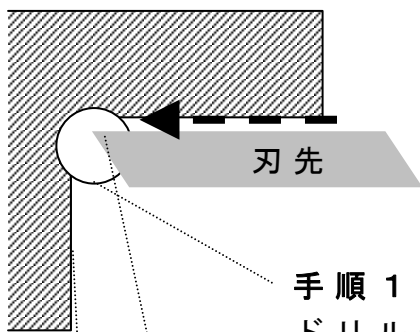


図 3-4-3-1 硬質塩化ビニル板からはさみだけでは切り出すことが困難な凹形状



手順 1

ドリルやリーマで穴を開ける。

手順 2

はさみの刃元を使って、点線に沿って矢印の方向に穴のそばまで切り進める。

手順 3

はさみの刃先を使って、穴のそばの切り残した箇所を断ち切る。刃先が穴の反対側に届かないようにする

手順 4

残りの辺も手順 2 と手順 3 によって切る。

図 3-4-3-2 塩化ビニル板から凹形状を切り出す手順

● 3 - 4 - 4 ϕ 3.0mm を超える穴あけとチューブの固定

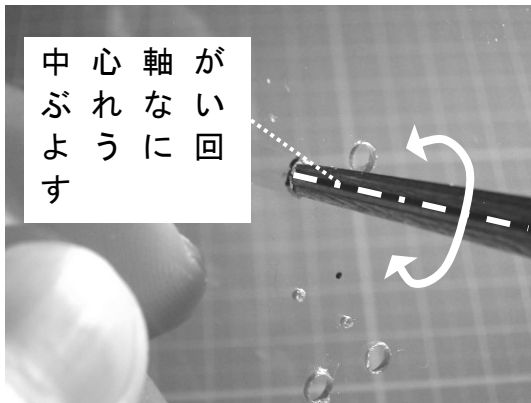


図 3-4-4-1 穴に先端を通したリーマを、軽く押しながら、中心軸がぶれないように注意しつつ、左右に回転させる

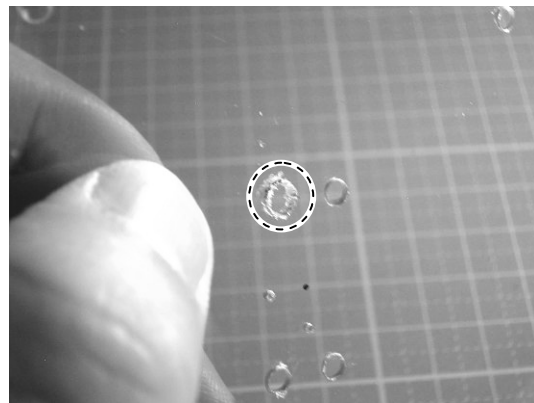


図 3-4-4-2 リーマを使うと大きなバリがでる

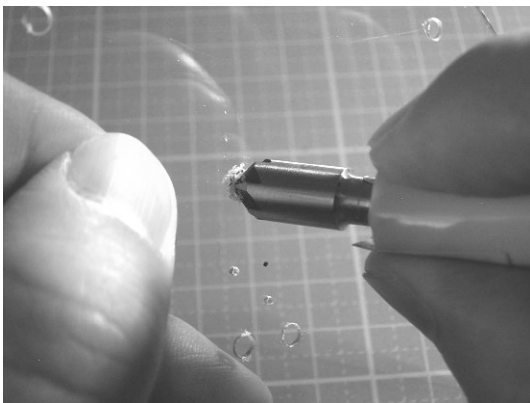


図 3-4-4-3 バリは面取り用のドリルで処理するが、これも穴が大きくなることがある

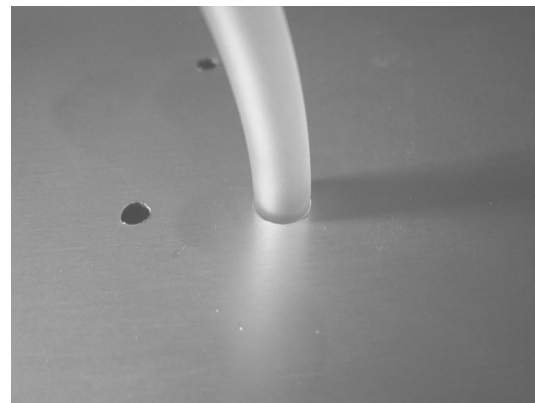


図 3-4-4-4 チューブを固定する穴は、チューブが丁度通る大きさになるまで、面取り用ドリルの仕上げと大きさのチェックを繰り返しながら、少しずつ穴を大きくする



図 3-4-4-5 チューブジョイント固定の手順1では，短く切ったチューブを穴に挿す

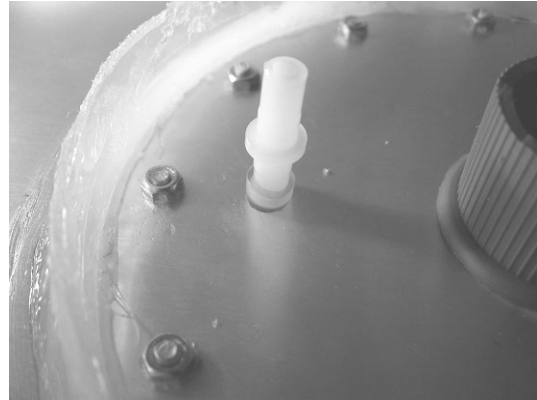


図 3-4-4-6 チューブジョイント固定の手順2では，チューブにチューブジョイントの先端を挿し入れる



図 3-4-4-7 チューブジョイント固定の手順3では，裏側からチューブを押さえた状態で，チューブジョイントを押し込む

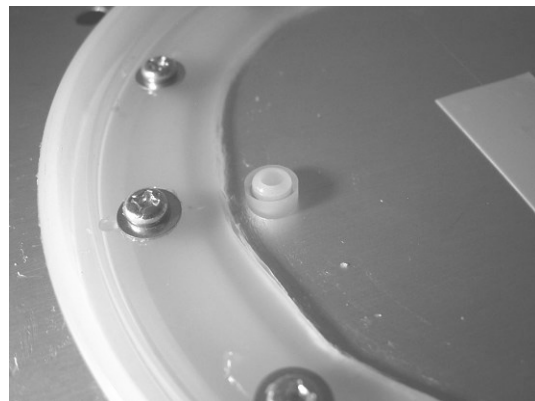


図 3-4-4-8 チューブジョイントを固定した面の裏側

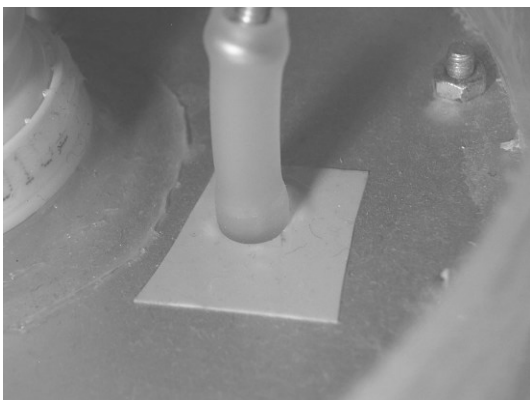


図 3-4-4-9 チューブが固定できても気密が確保しきれない緩い穴は，パンチで穴をあけたビニルテープを貼ると，気密が確保できる場合がある

● 3 - 5 シリンダヘッド部とシリンダ部の製作

● 3 - 5 - 1 作業の概要



図 3-5-1-1 シリンダヘッドの裏には食品保存容器のフタから切り出した部品がボルトで留められ，アルミトレイとの隙間がバスコークで埋められている

● 3 - 5 - 2 アルミトレイの穴あけ加工

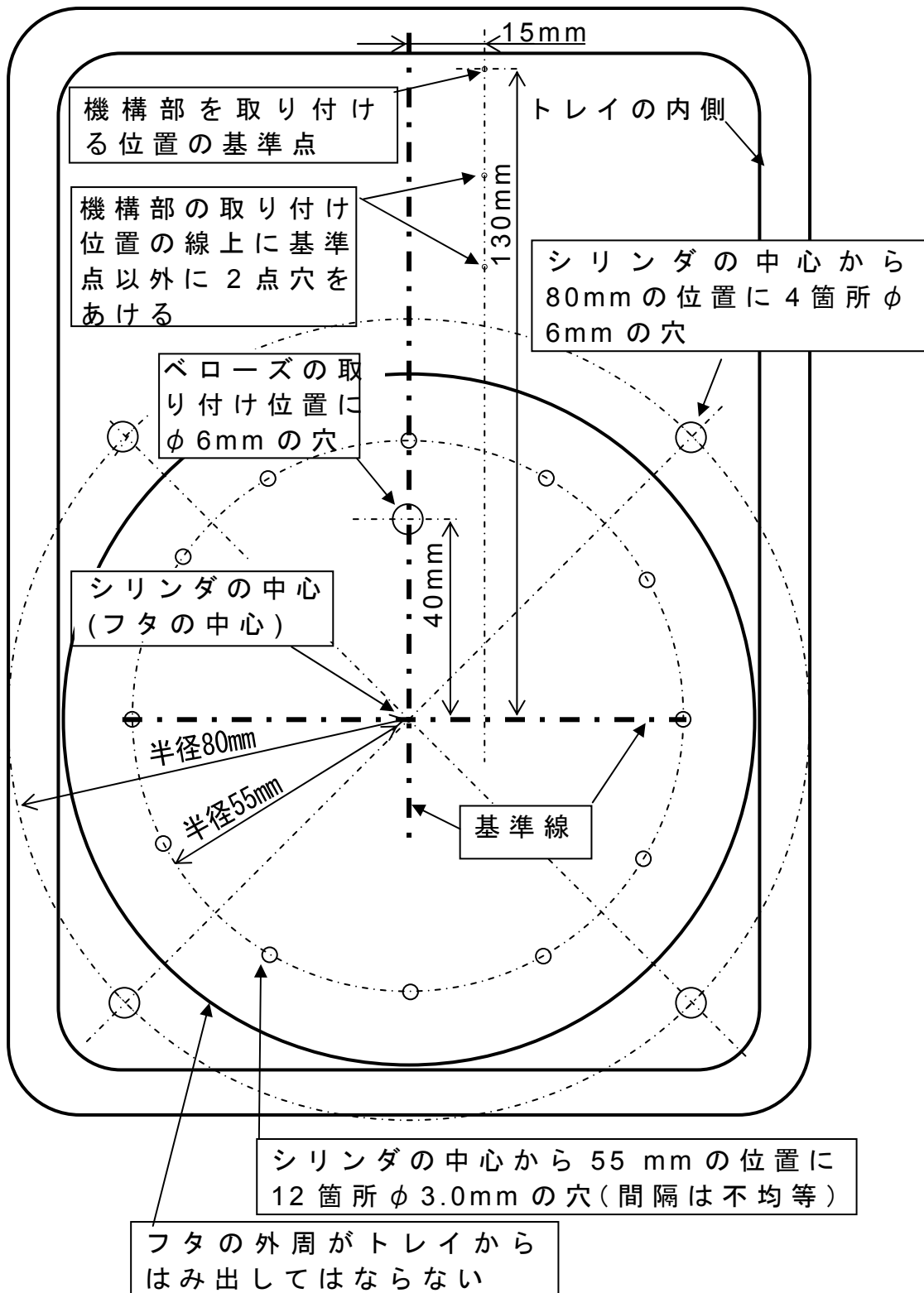
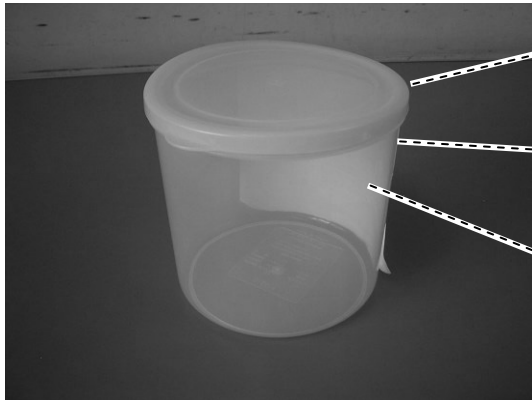


図 3-5-2-1 アルミトレイ上の目印は適宜使用する材料によって変更する必要がある



フタは加工してシリンダヘッド部に取り付ける

胴体の開口部から 35mm はシリンダになる

シリンダを切り出した残りから湯溜めの枠を切り出す

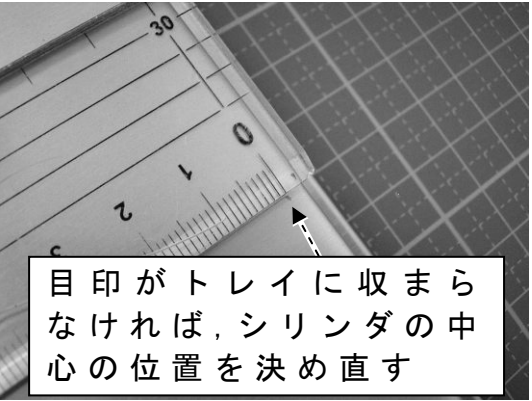
図 3-5-2-2 食品保存容器



図 3-5-2-3 アルミトレイに目印を入れる際に使う $\phi 1.0\text{mm}$ の穴をフタの中心にあける

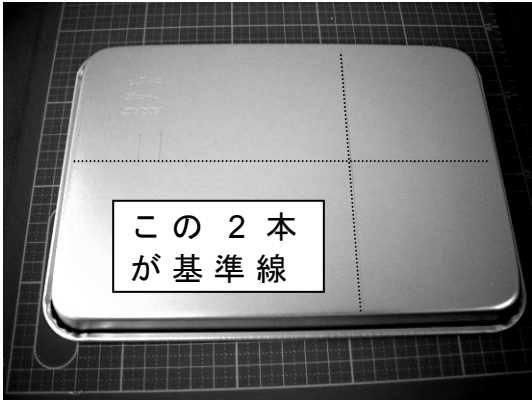


図 3-5-2-4 裏返したアルミトレイに裏返したフタをトレイからはみ出さないように載せ、フタの中心の穴を通してシャープペンシルでアルミトレイに目印を入れる



目印がトレイに収まらなければ、シリンダの中心の位置を決め直す

図 3-5-2-5 フタの中心に合わせた位置が、シリンダの中心で、ディスプレイサロッドが通るが、その位置から 130mm の位置に目印をつける



この 2 本が基準線

図 3-5-2-6 シリンダの中心と新たな目印を直線で結び、この直線と垂直な線をシリンダの中心から描く

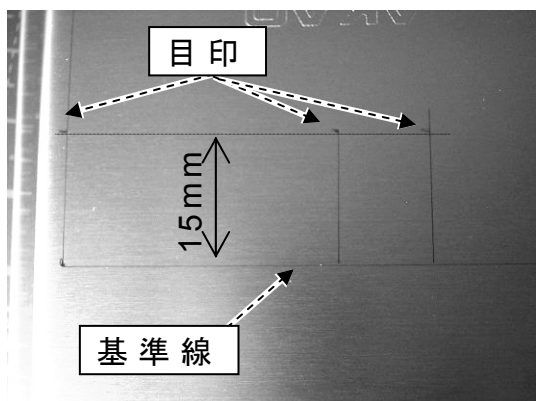


図 3-5-2-7 機構部を取り付ける位置の基準点および、シリンダの中心を通る線から15mm離れた点の目印を描く

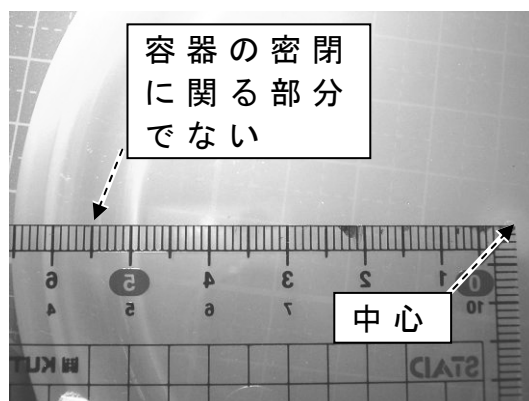


図 3-5-2-8 フタに、中心から55mmの位置で穴があけられることを確認する



図 3-5-2-9 シリンダの中心で直角に交わる2直線をカッターナイフでなぞる

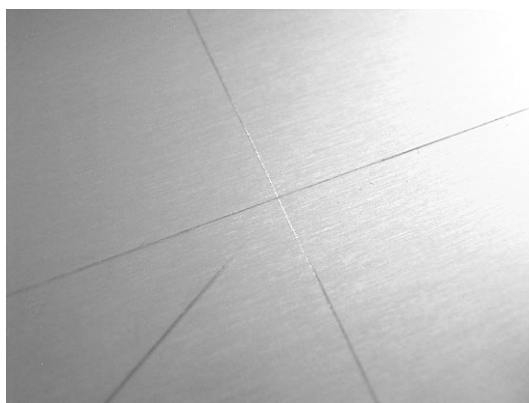


図 3-5-2-10 カッターナイフでなぞった2本の目印の交点を基準に、シャーペンでφ3.0mmの穴の位置を決めるが、三角定規の30度の角を利用しつつも意図的に不均一な間隔の目印も一つ以上入れる

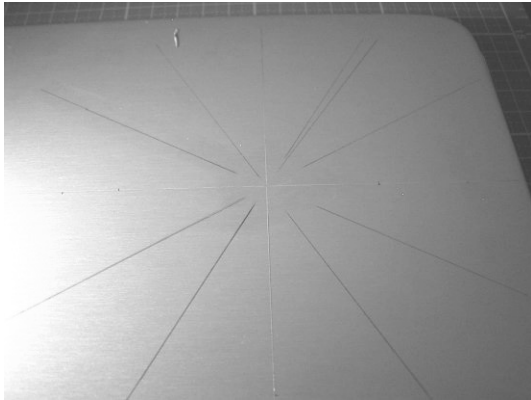


図 3-5-2-11 シリンダの中心を通る二本の基準線と穴の中心で交差する目印以外はシャープペンで描く

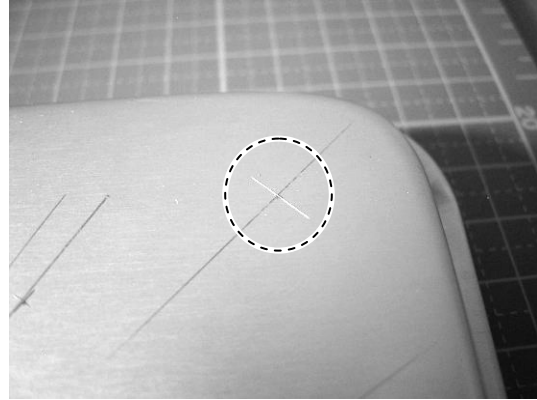


図 3-5-2-12 穴の中心の目印は、ドリルが載り易いように、カッターナイフで刻んだ線の交点で表す

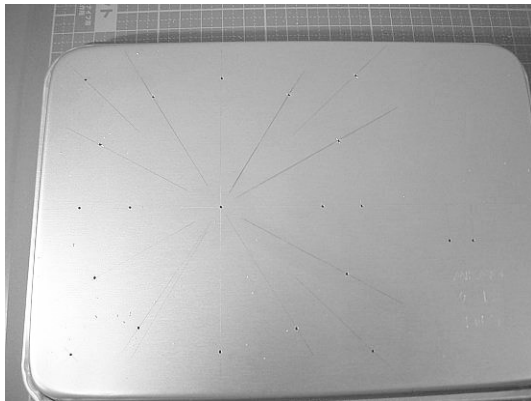


図 3-5-2-13 全ての穴の目印に $\phi 1.0\text{mm}$ のドリルで穴をあける（小さい点が穴）



図 3-5-2-14 新しいアルミトレイを裏返して置き、その上に目印を入れて下穴をあけたトレイを載せ、トレイの下面同士を合わせ、シリンダの中心から 80mm の距離にある $\phi 6\text{mm}$ の穴4つとシリンダの中心を写す

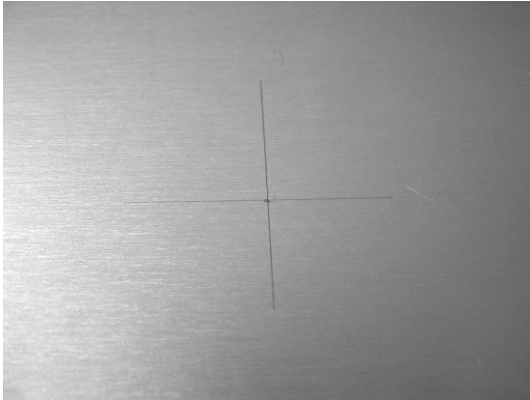
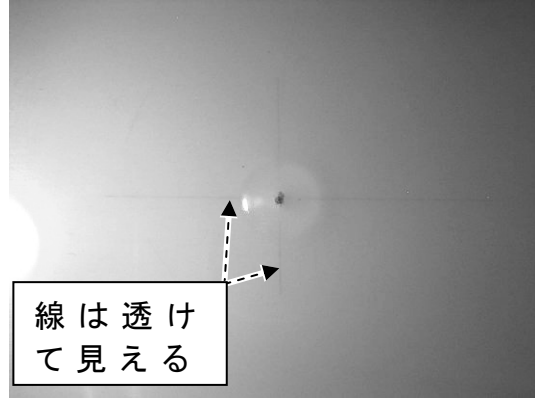


図 3-5-2-15 新しいトレイに，写したシリンダの中心の目印で交差する2直線を描く

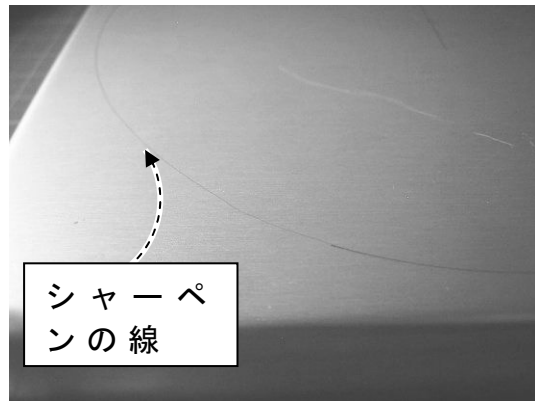


線は透けて見える

図 3-5-2-16 新しいアルミトレイに描いた直線の交点の上に，フタの中心を合わせて載せる



図 3-5-2-17 目印を合わせた状態でフタの周りをシャープペンでなぞる



シャープペンの線

図 3-5-2-18 シリンダの底では，アルミトレイからフタがはみ出してなければ良い



この加工はチューブジョイントを挿す穴をあける練習になる

図 3-5-2-19 底になるアルミトレイに， $\phi 6\text{mm}$ の穴を4つあけるが，その位置にmm単位の厳密さは求められない

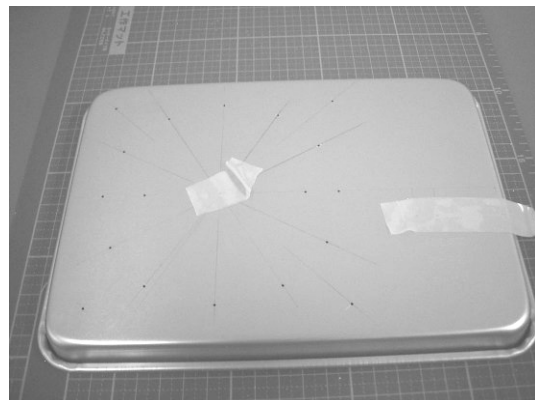


図 3-5-2-20 シリンダヘッドの加工を再開する際， $\phi 1.0\text{mm}$ のままで良い穴は，誤って $\phi 3.0\text{mm}$ に拡大しないようにテープなどでふさぐ

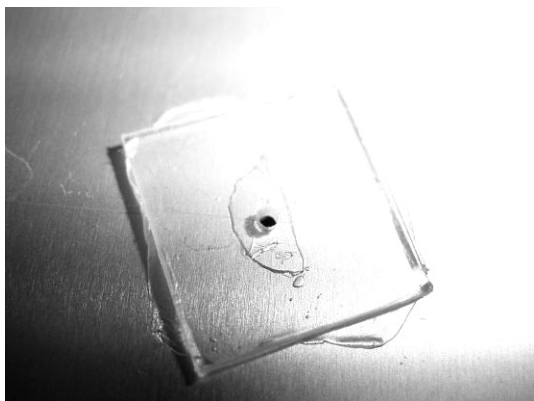


図 3-5-2-21 誤って穴を拡大してしまった場合は、φ 1.0mm の穴をあけた塩化ビニル板をバスコークで接着して補修する事も可能

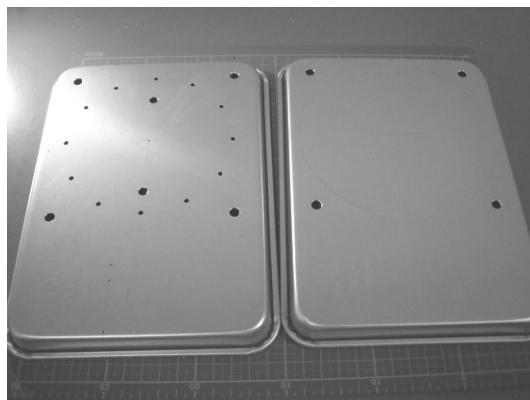
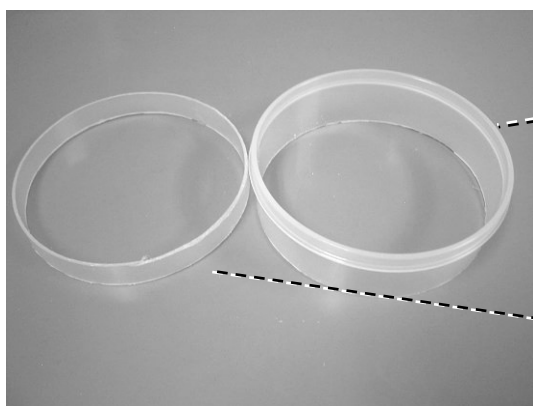


図 3-5-2-22 穴あけ加工の第一段階が済んだシリンダヘッドとシリンダの底

● 3 - 5 - 3 食品保存容器からの部品の切り出し



開口部から 35mm のところで切り出した「シリンダ」。内側に傷をつけないように注意して切り出す。

シリンダを切り出した残りから切り出した「湯溜めの枠」

図 3-5-3-1 食品保存容器から切り出した部品

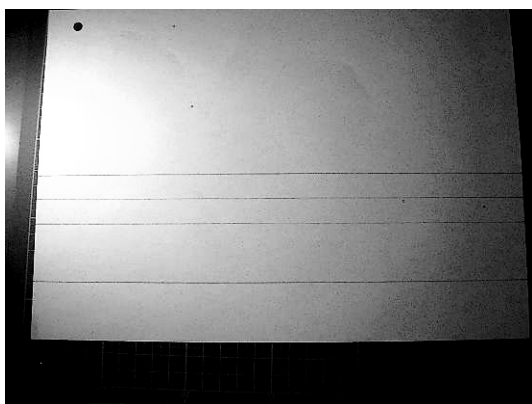


図 3-5-3-2 幅 35mm と幅 15mm の紙の帯を切り出す線を描くが、A4 用紙の場合は長い辺に沿って 2 枚ずつ切り出す必要がある

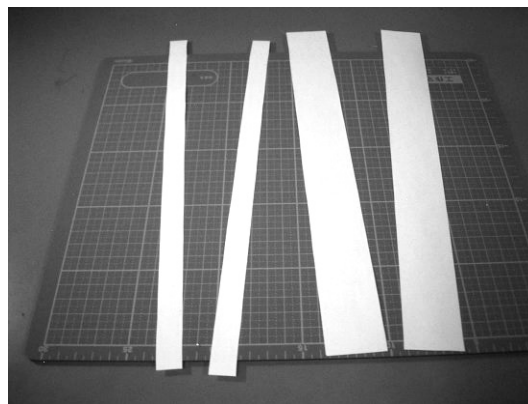


図 3-5-3-3 型紙を切り出す

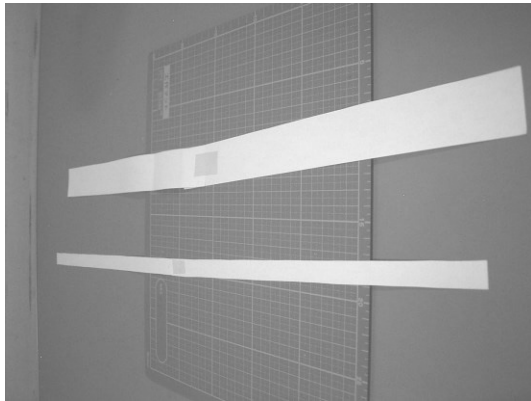


図 3-5-3-4 切り出した幅 35mm と幅 15mm の型紙をそれぞれ張り合わせて長くする

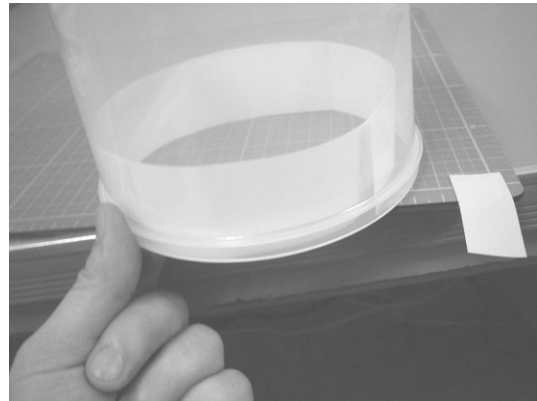


図 3-5-3-5 幅 35mm の型紙を食品保存容器の中に入れ，平板に食品保存容器の口と型紙を合わせ，隙間から手を入れて型紙を食品保存容器の内側に粘着テープで留める

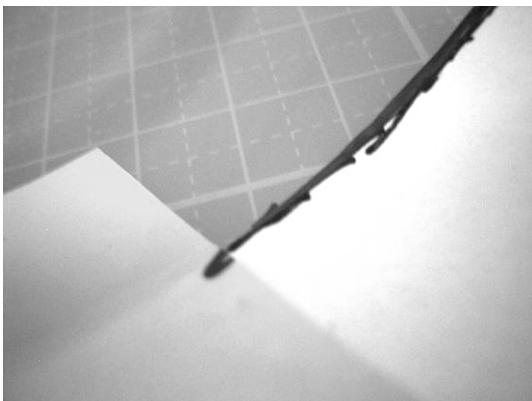


図 3-5-3-6 型紙との境を型紙ごと油性ペンでなぞり，食品保存容器の内側に型紙の位置を写す

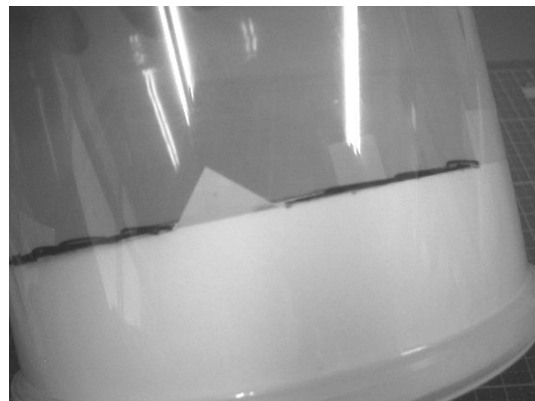


図 3-5-3-7 型紙の位置が描き写された食品保存容器を外側から見ると，型紙を留めたテープの位置は目印がない



図 3-5-3-8 型紙の位置にあわせて，外側から不透明な粘着テープを張る

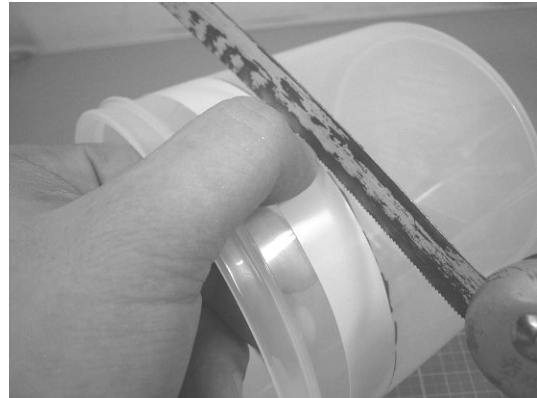


図 3-5-3-9 型紙をはずし，食品保存容器を手で押さえ，粘着テープの縁に沿って鋸で切切るが，このときに食品保存容器の内側や粘着テープを傷つけないように丁寧に作業する

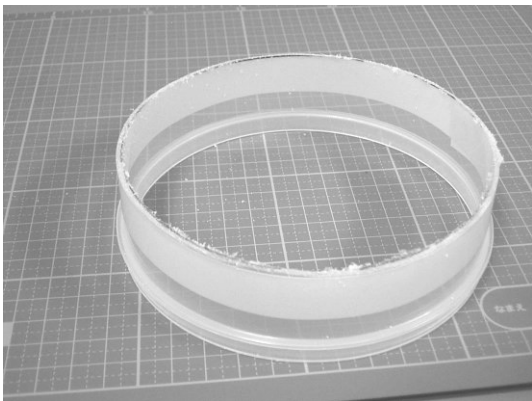


図 3-5-3-10 切り落とした部分がシリンダになる

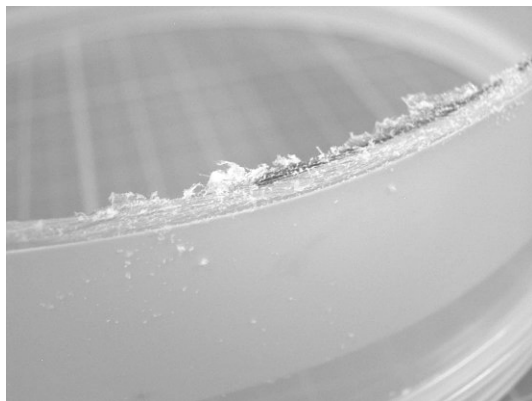


図 3-5-3-11 切り口にはバリや油性ペンの目印が残る



図 3-5-3-12 油性ペンの目印は切り落とす場所なので，バリと共に油性ペンの目印もカッターナイフで落とす

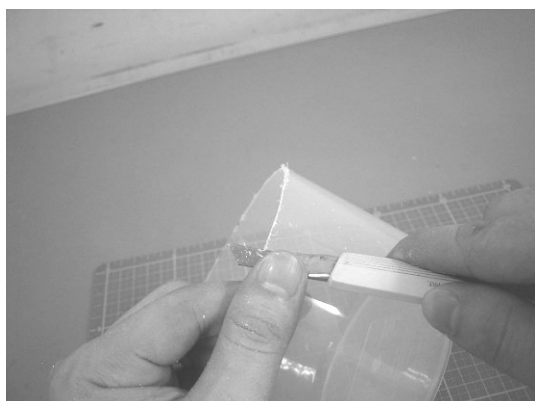


図 3-5-3-13 シリンダにならない方もバリを落とすが，多少の凹凸は見栄え以外に問題がない

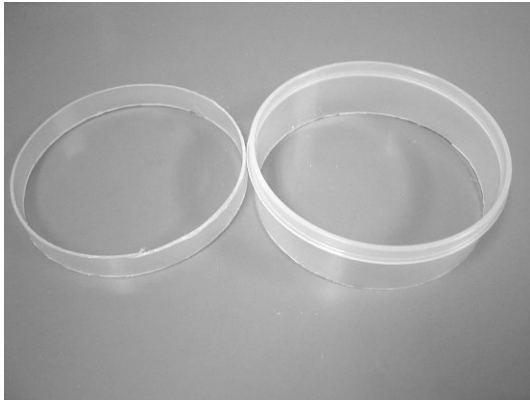


図 3-5-3-14 湯溜めの枠も，幅 15mm の型紙で目印を描き，同様の方法で切り出す

● 3 - 5 - 4 食品保存容器のふたの加工

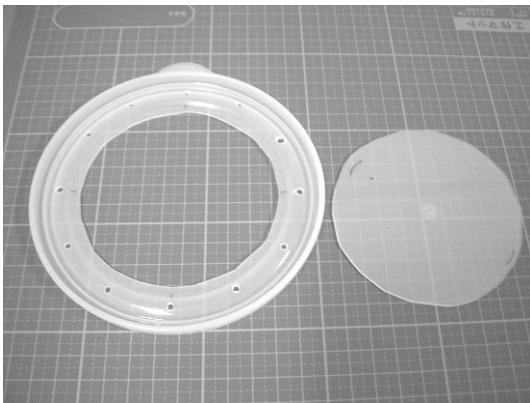


図 3-5-4-1 食品保存容器のフタから切り出す，シリンダヘッドの一部とベローズの材料

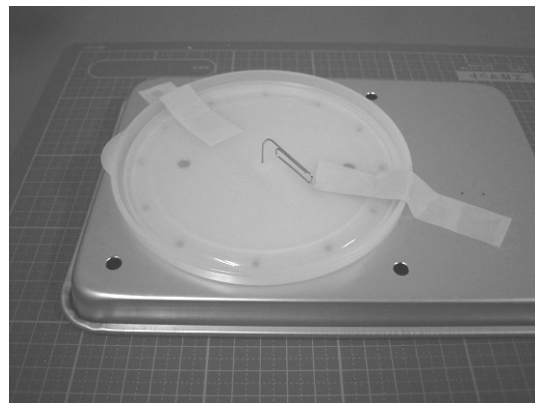


図 3-5-4-2 シリンダヘッドのアルミトレイの下面とフタの外側を合わせ，伸ばしたゼムクリップを使い双方のシリンダの中心の目印を揃え，取り付けるフタの向きも決め，粘着テープで仮留めする

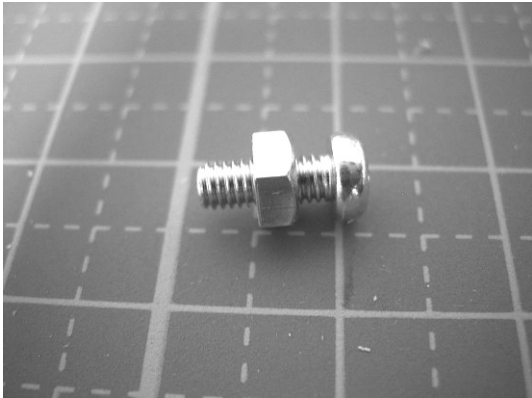


図 3-5-4-3 フタにあける穴の位置決めでは，ナットのついた M3 のボルトをアルミトレイの穴に当てる

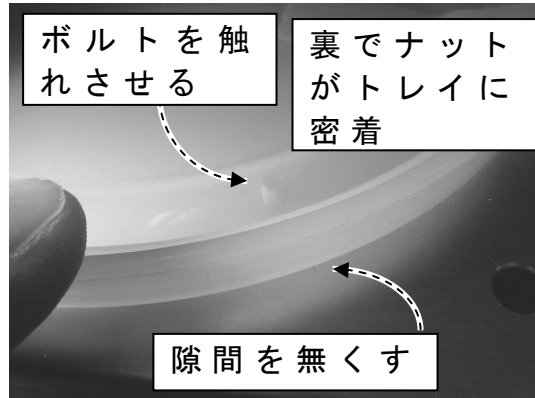


図 3-5-4-4 ナットの位置によってはフタが浮くので，ボルトがフタに触れる状態に調節する

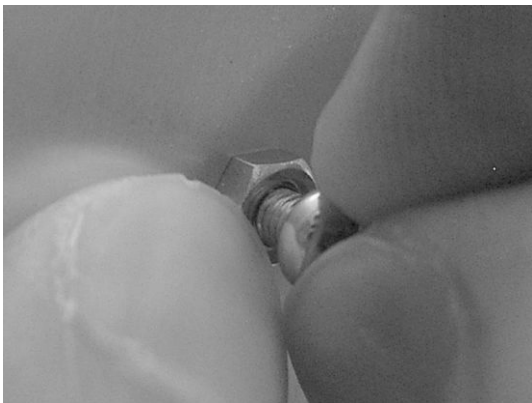


図 3-5-4-5 ナットをアルミトレイに密着させ，ボルトを回して突き出すボルトの長さを調節する



図 3-5-4-6 透けて見えるボルトを参考にして，油性ペンで中心の目印を入れる



図 3-5-4-7 アルミトレイ上の
の $\phi 3.0\text{mm}$ の穴と同じ位置に
2つだけ穴をあける

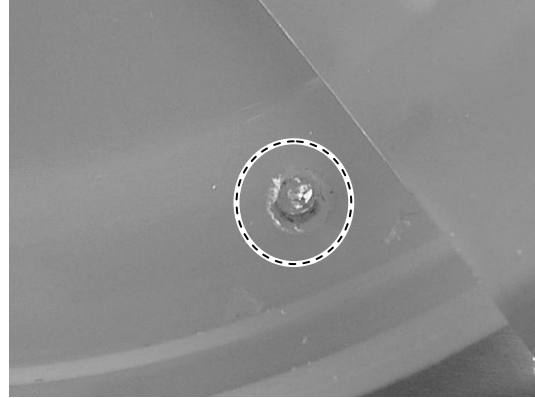


図 3-5-4-8 フタの穴は，丸く
ない上に，アルミトレイの穴
とずれることもある

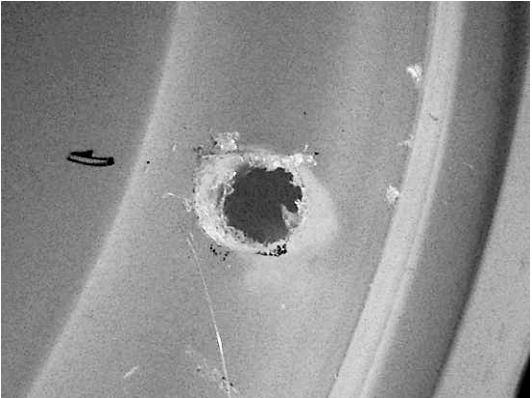
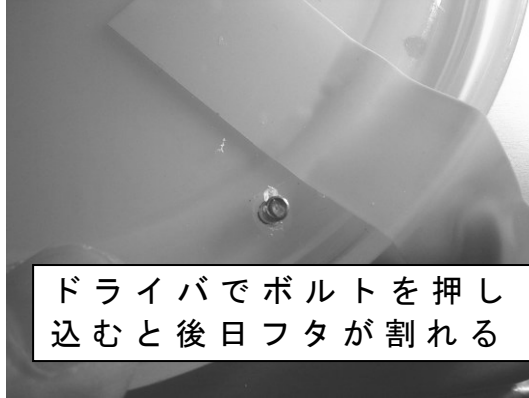
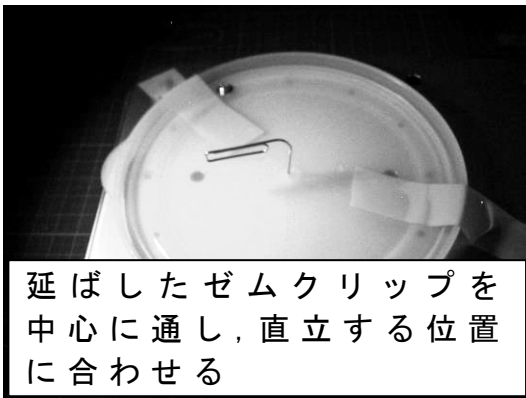


図 3-5-4-9 リーマによる穴
の修正では，単に大きくする
のでなく，ボルトが干渉する
位置に力を加えるように穴を
大きくする



ドライバでボルトを押し
込むと後日フタが割れる

図 3-5-4-10 M3のボルトが
無理なく手で通せるまで，リ
ーマでフタの穴を大きくする



延ばしたゼムクリップを
中心に通し，直立する位置
に合わせる

図 3-5-4-11 シリンダの中心
に通しているアルミトレイと
フタの位置を合わせ，二組の
ボルトとナットで締結する

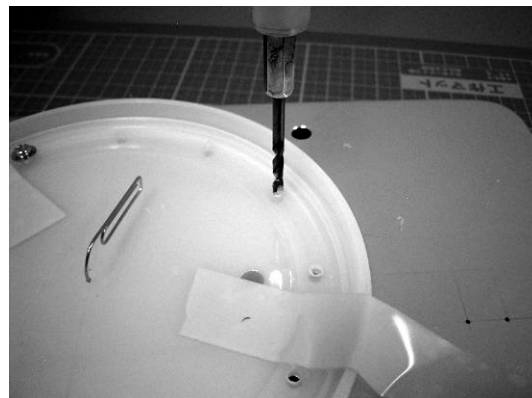


図 3-5-4-12 改めて目印を入
れなおして，残りのボルトの
穴をあける

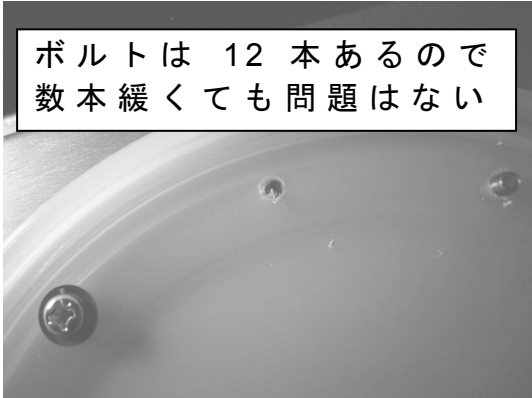


図 3-5-4-13 穴のずれはリママで修正する

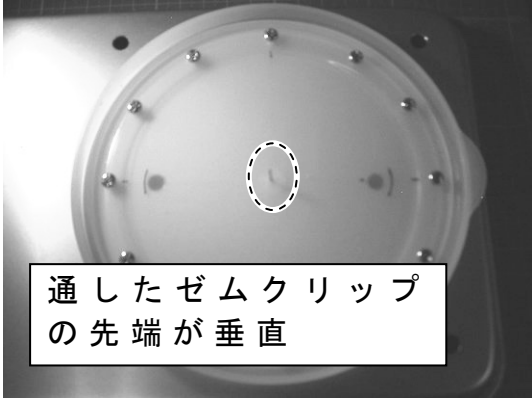


図 3-5-4-14 全部のボルトが簡単に通り，なおかつ伸ばしたクリップが中心でおおむね垂直になることを確認する

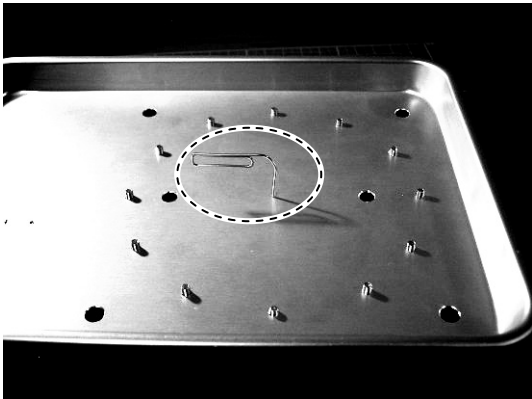


図 3-5-4-15 両面で確認する

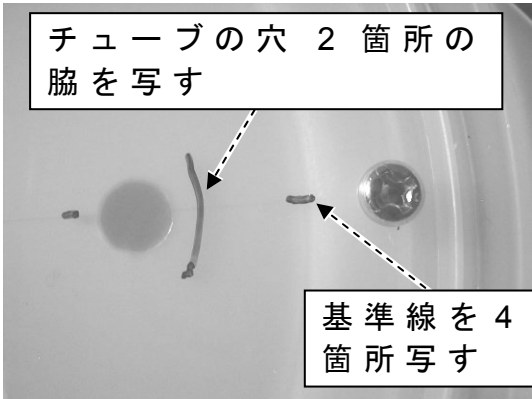
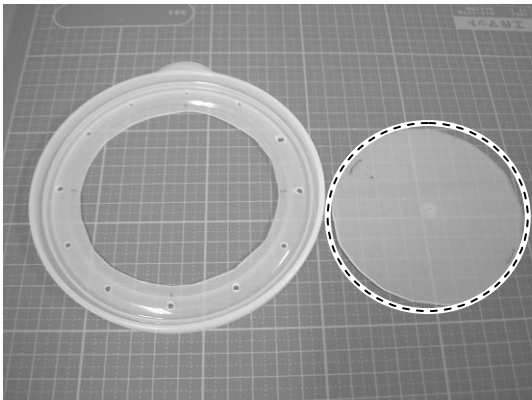


図 3-5-4-16 シリンダの中心で交差する 2 本の基準線を写して軽くカッターナイフでなぞり，また中をくりぬく際にチューブの穴をふさがないための目印をいれる



くりぬいた部分で
つくる部品は硬質
塩化ビニル板でも
代用できる

図 3-5-4-1 平らな面を残しつつ中心の穴を大きくすることを優先し，フタの中をくりぬく

● 3 - 5 - 5 接着



図 3-5-5-1 コーキング剤を使う時の作業環境



図 3-5-5-2 木足ゴムを切る

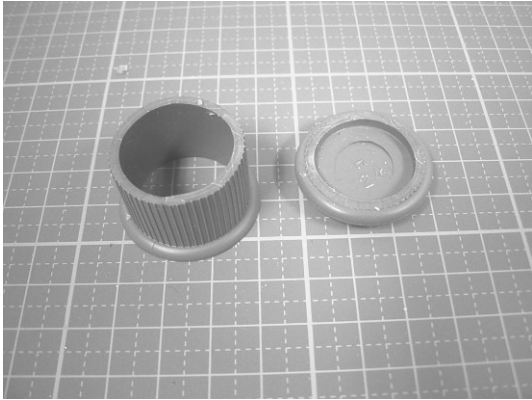


図 3-5-5-3 どちらも部品として使う

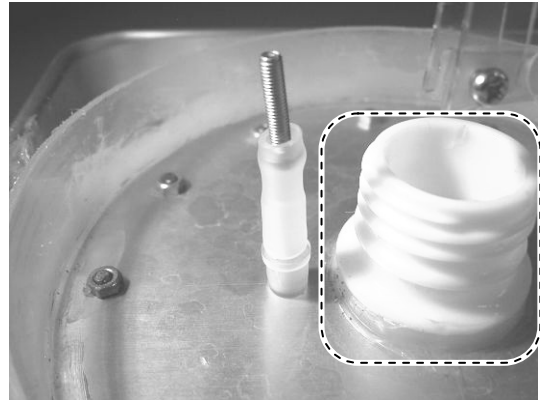


図 3-5-5-4 木足ゴムではなくペットボトルの口でディスプレイサロッドシール部をお湯から保護した例



この作業では切り口を上になっている

図 3-5-5-5 シリンダの切り口にバスコークを塗る



図 3-5-5-6 シリンダの底の線に合わせて、バスコークを塗った切り口を載せる



図 3-5-5-7 バスコークを隅に押し付けながら盛る

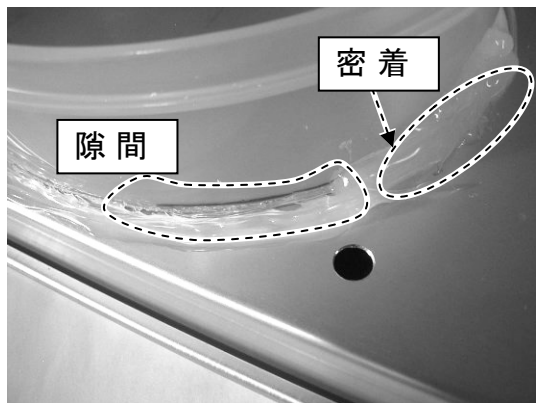


図 3-5-5-8 隙間があり，修正が必要な状態

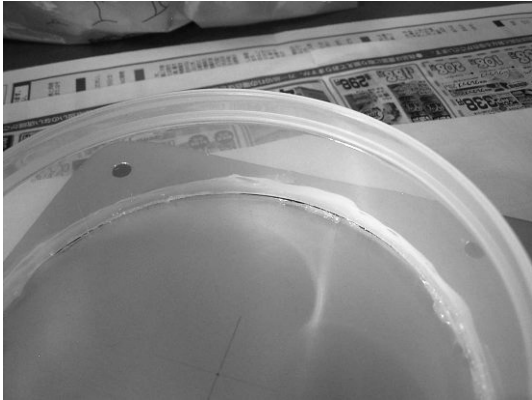


図 3-5-5-9 バスコークを一
周させたら，シリンダー一周全
体に密着していることと，シ
リンダーを切った際の切り口の
凹凸が塞がれていることを内
側から目視で確認する

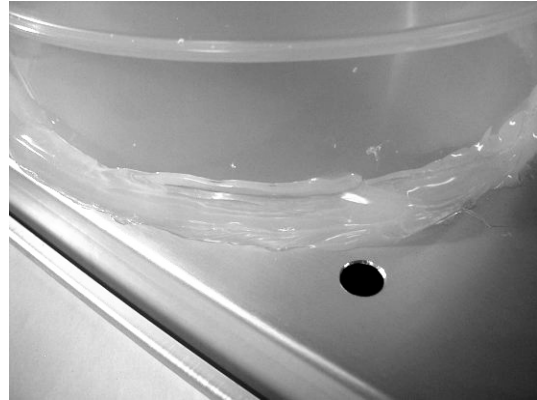


図 3-5-5-10 シリンダーヘッド
とシリンダーの底を留める穴は
塞がない

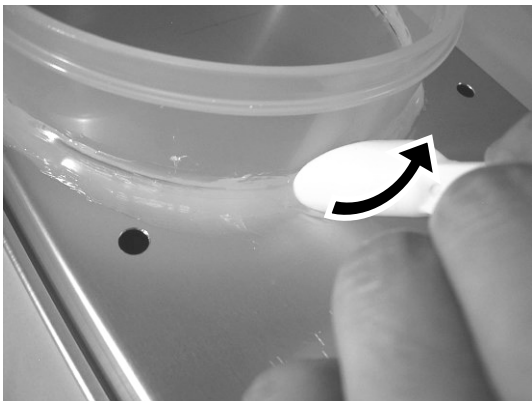


図 3-5-5-11 バスコークに付
属するヘラを矢印の方向に動
かし，アルミトレイおよびシ
リンダーにバスコークを密着さ
せるように撫で着ける

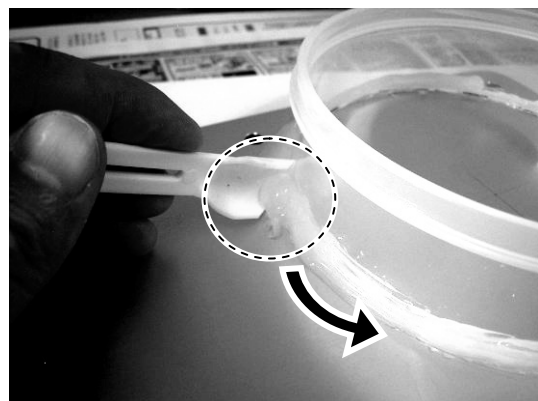


図 3-5-5-12 ヘラの内側に溜
まるバスコークは，作業の区
切りの良いところでティッシ
ュでぬぐい，ゴミ袋に捨てる

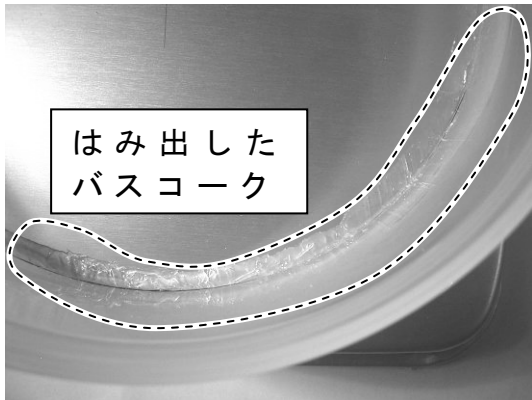


図 3-5-5-13 シリンダの内側にはみ出したバスコークは、乾く前に、マイナドライバなどですくい取り、残りをティッシュでぬぐう

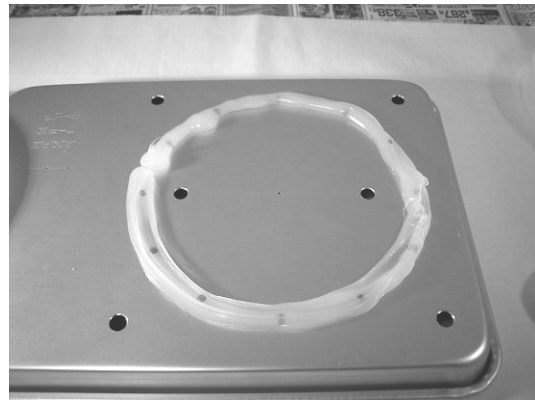


図 3-5-5-14 シリンダヘッド下側の $\phi 3.0\text{mm}$ の穴を目安にバスコークを「置く」



図 3-5-5-15 ナットとワッシャーに通した M3×8mm のボルトを用意しておく

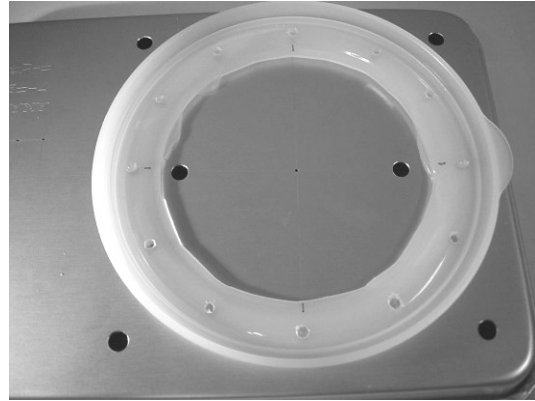


図 3-5-5-16 向きを合わせて中をくりぬいたフタを置く

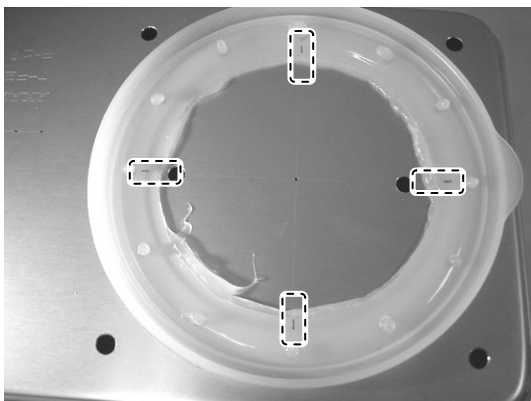


図 3-5-5-17 目印と穴の位置を合わせてフタを押し付け、ネジ穴および内周と外周の全体からバスコークをはみ出させるが、バスコークが足りない時は一度フタをはがしてバスコークを追加する

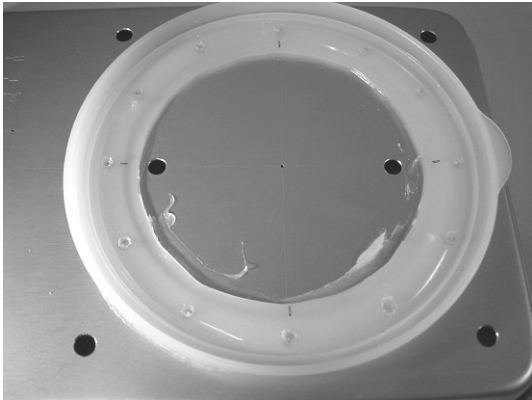


図 3-5-5-18 作業中の粗相を減らすために、はみ出たバスコークを大雑把に除去するが、まだきれいにしても無駄なので程々で構わない

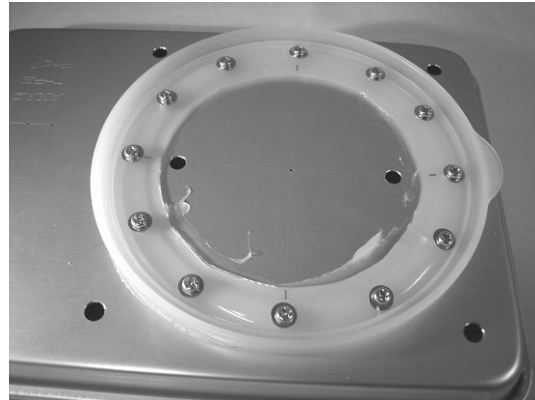


図 3-5-5-19 ワッシャーに通して準備していたボルトを12本通すが、中に気泡が残るなら、トレイとフタの間を一度開いてバスコークを注入する

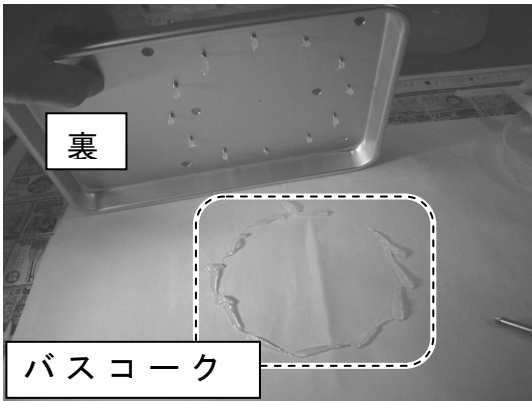


図 3-5-5-20 利き手と反対の手でアルミトレイを保持し、敷いていた紙を捨てる

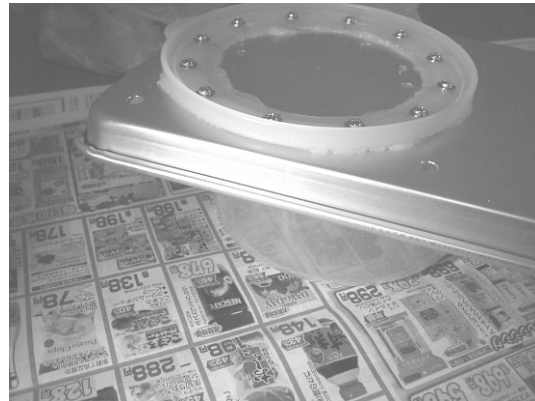


図 3-5-5-21 アルミトレイを保持する手を離すときは、部品を取った後の食品保存容器の上に置く

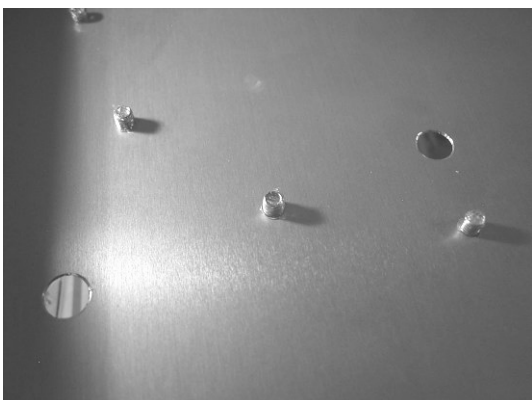


図 3-5-5-22 ボルトの先端に付着したバスコークをマイナスインドライバで除去する



図 3-5-5-23 ナットを締めるが、締め過ぎは厳禁で、手締めが良い

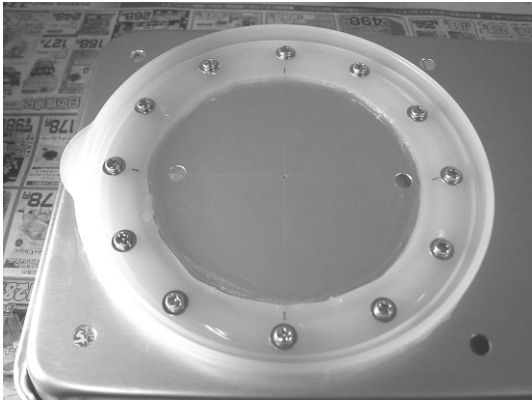


図 3-5-5-24 ボルトの役目はフタがアルミトレイからはがれないようにすることなので、締め込み加減はフタが変形せずボルトとナットが浮かない程度で、締める順番は時計の文字盤に置き換えると12, 6, 3, 9, 5, 1, 8, 2, 10, 4, 7, 1である

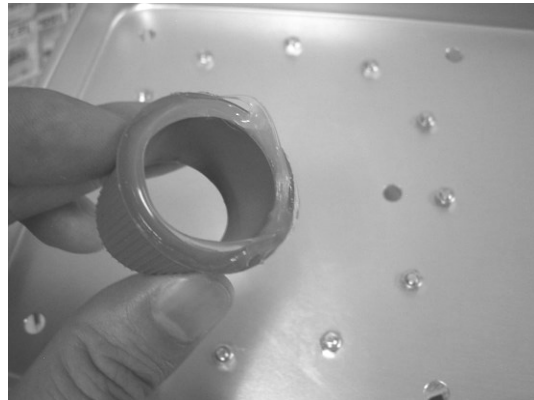


図 3-5-5-25 木足ゴムから切り取った円筒の平らな面にバスコークを塗るが、このとき部品を取った食品保存容器の残骸の上などにシリンダヘッド部を置いて作業する

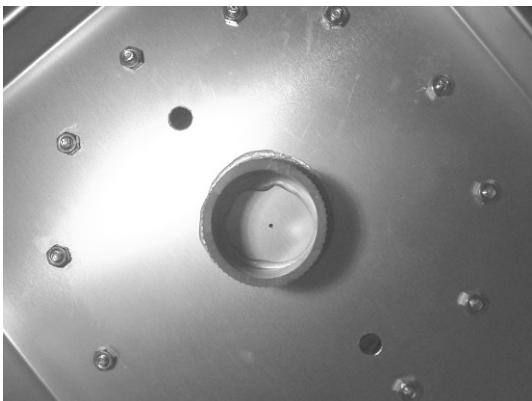


図 3-5-5-26 シリンダヘッド上面に、接着面の全周からバスコークをはみ出させ、なおかつシリンダの中心を塞がないように、円筒を接着する



図 3-5-5-27 湯溜めの枠にも、シリンダ同様にバスコークを最初に塗る

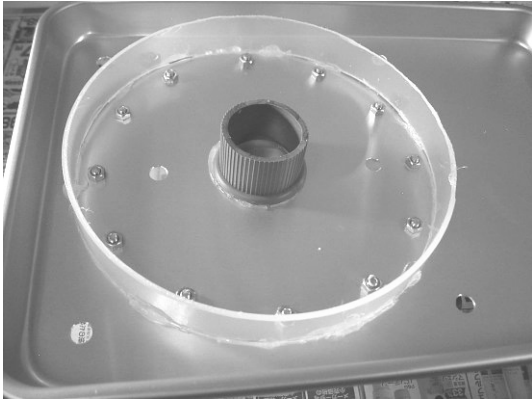


図 3-5-5-28 ボルトやナットと干渉しないように，アルミトレイに載せる

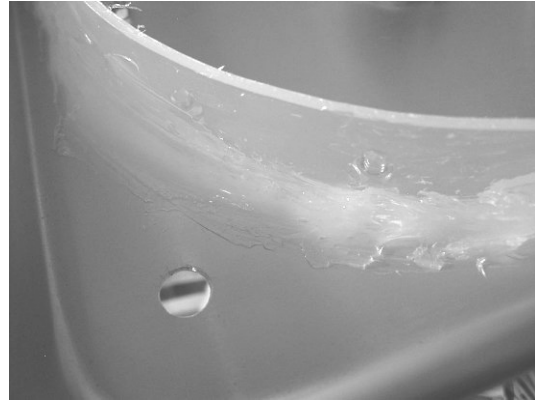


図 3-5-5-29 シリンダの接着と同様の作業であり，狭い箇所では仕上がりが汚いが，お湯が漏れるような隙間が無ければ良い

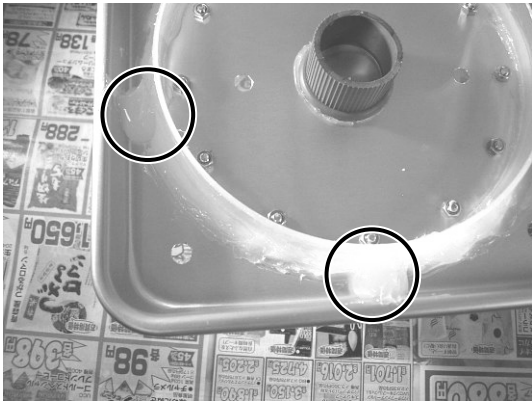


図 3-5-5-30 湯溜めの枠とトレイの縁の間をバスコークで埋めると，お湯を捨てる時の注ぎ口にできる

● 3 - 5 - 6 気密のチェック

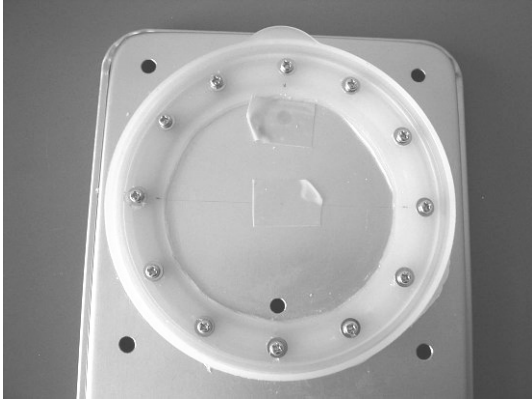


図 3-5-6-1 シリンダの中心の穴と、空気抜きの穴を粘着テープで塞ぐ

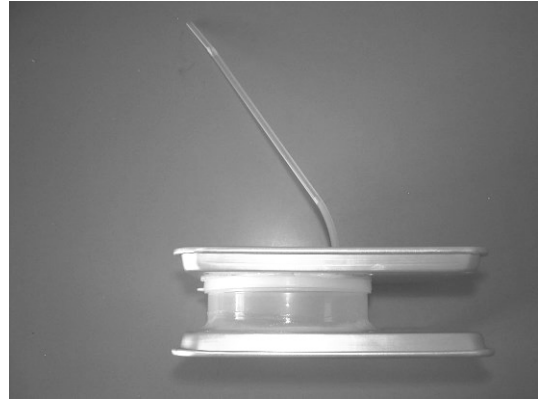


図 3-5-6-2 残った穴にチューブジョイントを挿し、そのチューブジョイントにチューブを挿した太さ 6mm のストローを接続する

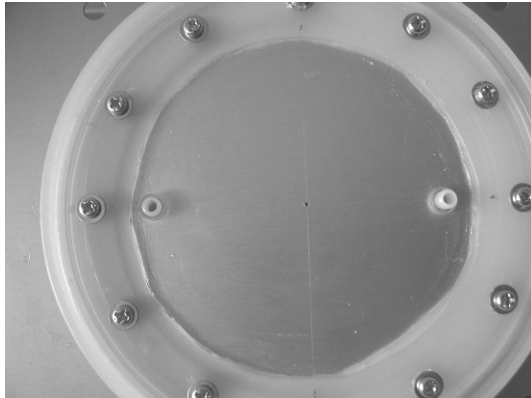


図 3-5-6-3 気密が確認できたら、シリンダヘッドの裏の粘着テープを除去する

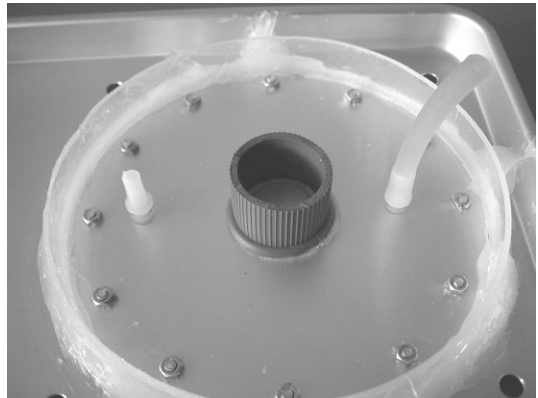
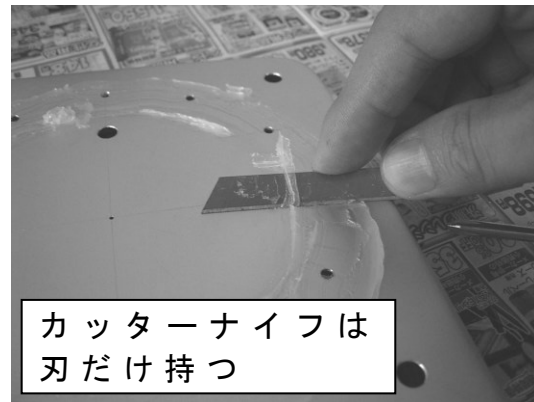


図 3-5-6-4 空気抜きの穴にチューブジョイントを挿し、チューブを接続する

● 3 - 5 - 7 フタから作った部品の交換



図 3-5-7-1 フタの亀裂



カッターナイフは
刃だけ持つ

図 3-5-7-2 残ったバスコークをはがす

● 3 - 6 ディスプレーサの製作

● 3 - 6 - 1 作業の概要

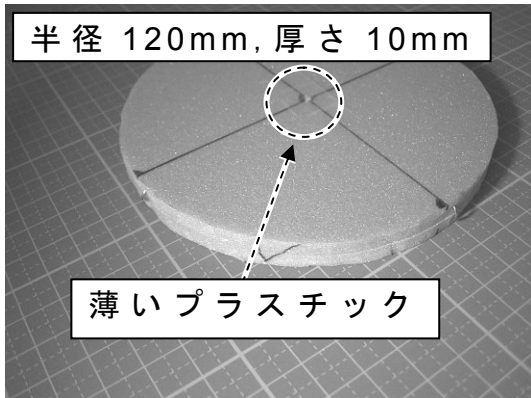


図 3-6-1-1 ゼムクリップから切り出した部品が，側面の4箇所を2枚の円盤を留め，またシリンダ内壁との接触面積を小さくする

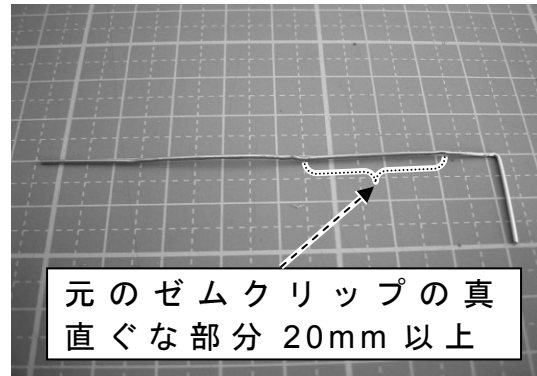


図 3-6-1-2 ゼムクリップで作ったディスプレイサロッド



図 3-6-1-3 薄い樹脂の板

● 3 - 6 - 2 型紙

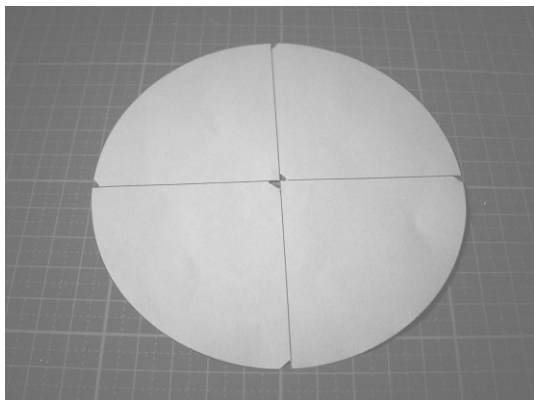


図 3-6-2-1 型紙の全体図

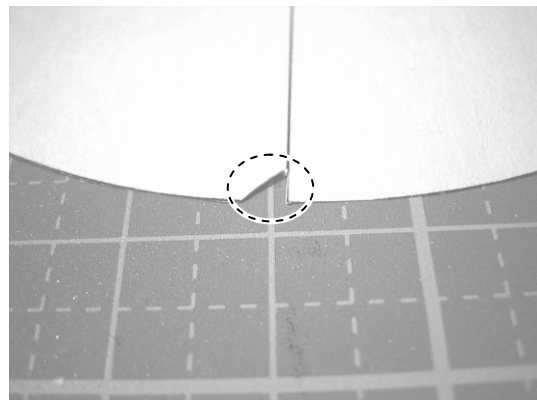


図 3-6-2-2 中心で交わる2直線と外周の交点を示す切り欠き

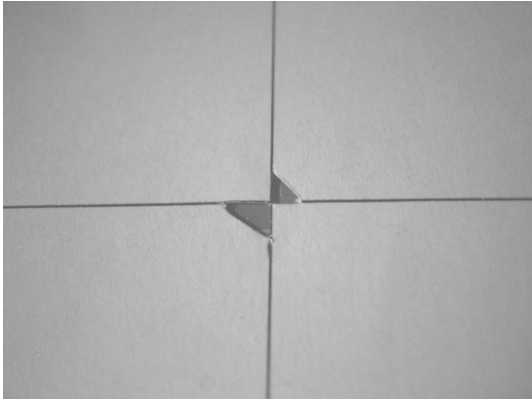


図 3-6-2-3 中心を示す切り欠き

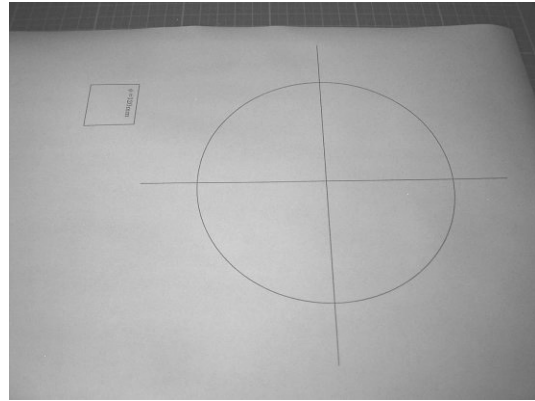


図 3-6-2-4 型紙は直径 120mm の円と、その中心で直角に交わる 2 本の線分を PC で描き、印刷したものを切り出す

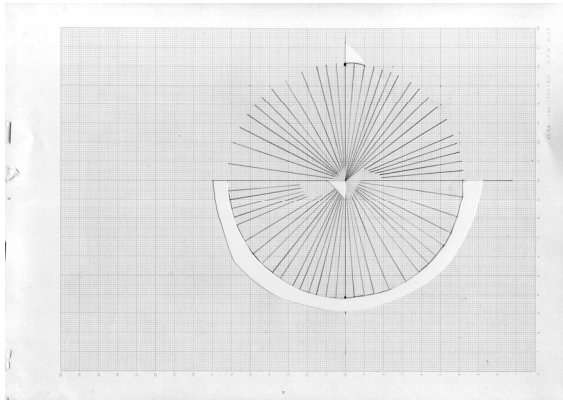


図 3-6-2-5 代替となる型紙は、直交する 2 本の線分の交点を中心とし、物差しで中心から放射状に長さ 60mm の線分を多数描き、その端点を順に結ぶことで、円に近い多角形を描く事ができる

● 3 - 6 - 3 発泡ポリスチレンパネルの円盤の製作

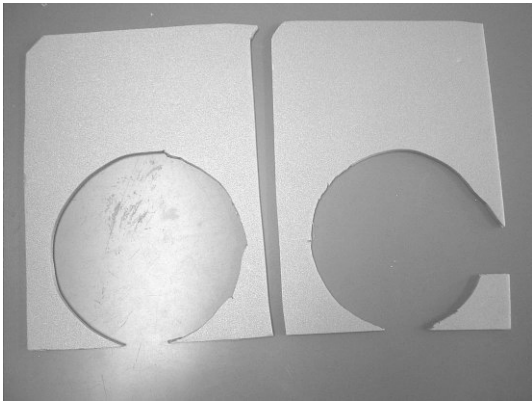


図 3-6-3-1 円盤を切り出した材料の残りは、シリンダヘッド部の断熱材になる

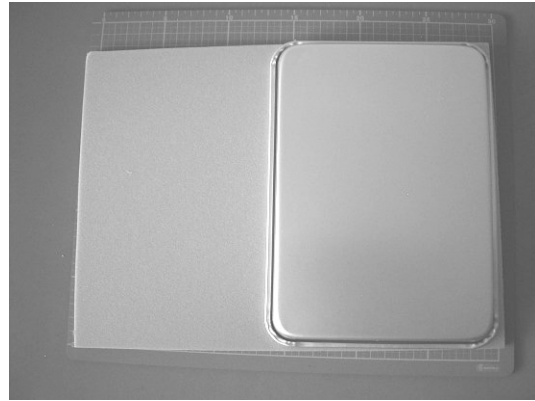


図 3-6-3-2 アルミパネル 2 枚分の大きさの発泡ポリスチレンパネルを切り出す

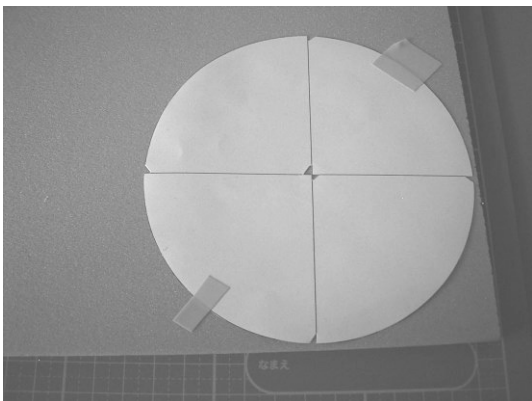


図 3-6-3-3 型紙を張る

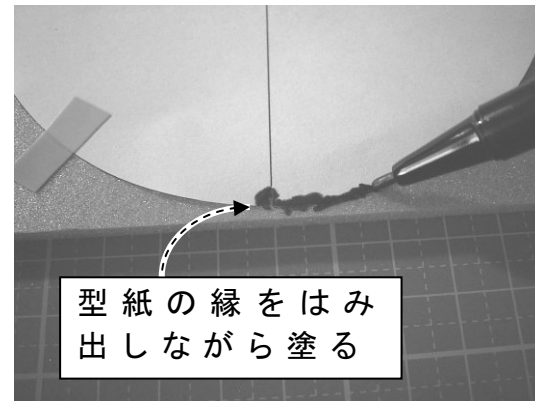


図 3-6-3-4 油性ペンで、型紙の形を写す

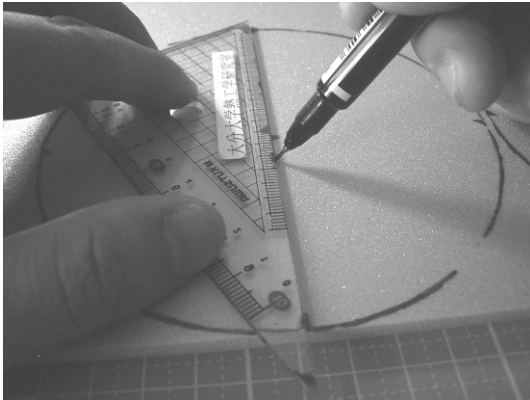
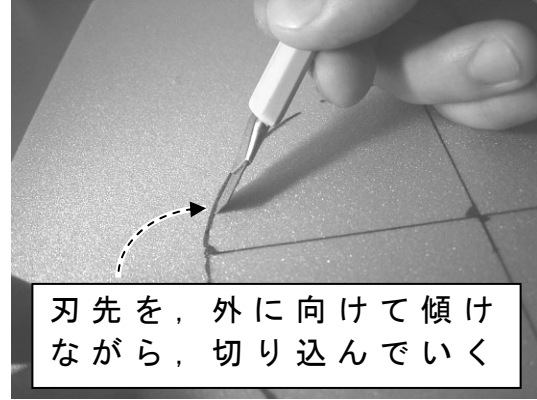


図 3-6-3-5 写した切り欠きの形を目安に，中心で交差する 2 本の線を描く



刃先を，外に向けて傾けながら，切り込んでいく

図 3-6-3-6 油性ペンに沿って切り出す

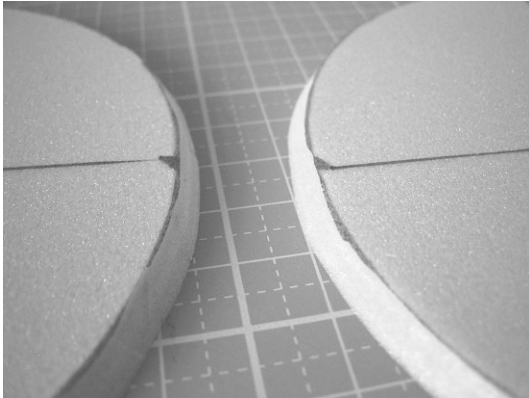
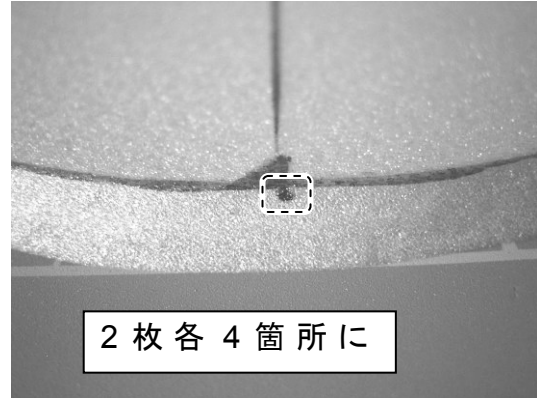


図 3-6-3-7 最初は，型紙の形を写した面の裏が広がるように，2 枚の円盤を切り出す



2 枚各 4 箇所

図 3-6-3-8 中心で交わる線分と外周の交点を側面に写す

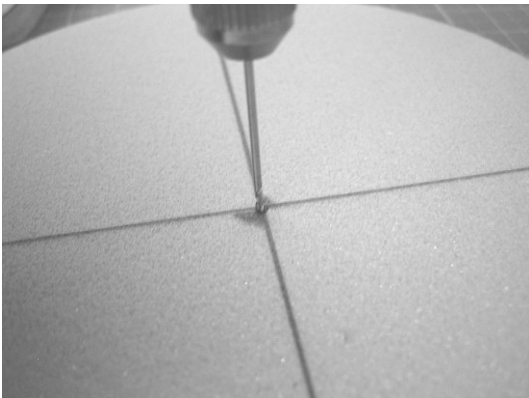


図 3-6-3-9 2 枚の中心にそれぞれ，ドリルで， $\phi 1.0\text{mm}$ の穴をあける

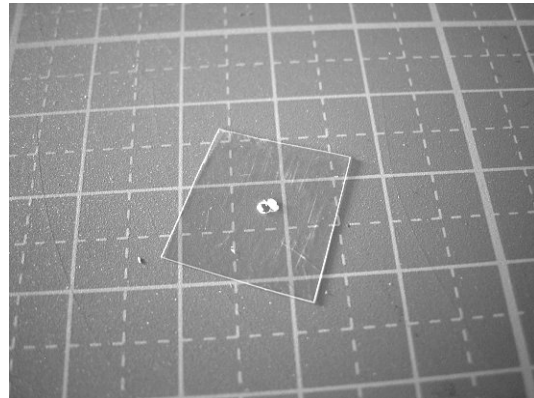


図 3-6-3-10 $\phi 1.0\text{mm}$ の穴をあけた薄いプラスチック板を 2 枚用意する

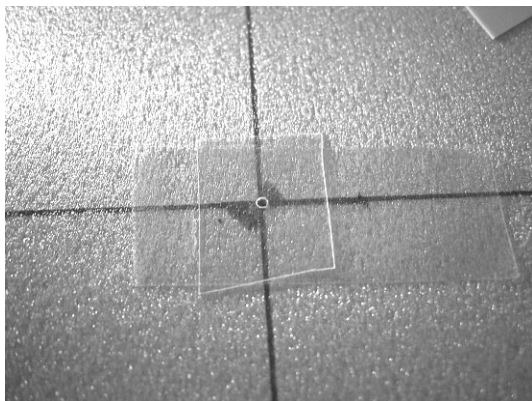


図 3-6-3-11 穴の位置を合わせて，2枚の円盤の目印のある面に，薄いプラスチック板をセロハンテープで張る

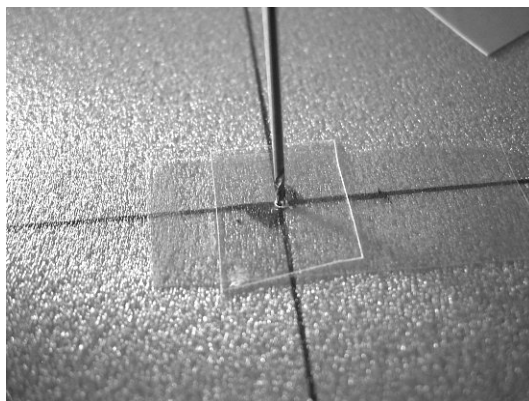


図 3-6-3-12 穴の位置でセロハンテープに穴をあける

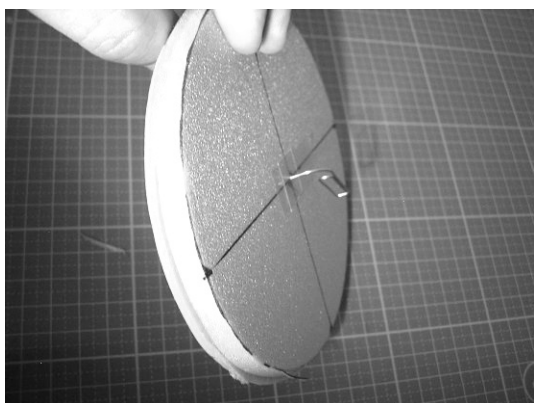


図 3-6-3-13 目印のある面を外側にして2枚円盤を重ね，伸ばしたクリップを中心に通す

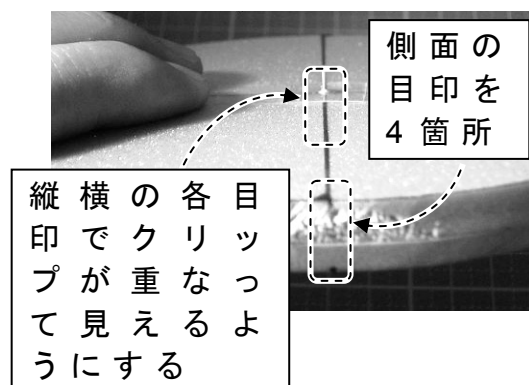


図 3-6-3-14 側面の目印同士が合い，突き出たゼムクリップが2本の線とそれぞれ重なって見えるように，円盤の位置を合わせる



図 3-6-3-15 二枚の円盤を粘着テープで仮留めし，側面をカッターナイフで削る



図 3-6-3-16 仮留めの粘着テープを着けたまま作業する

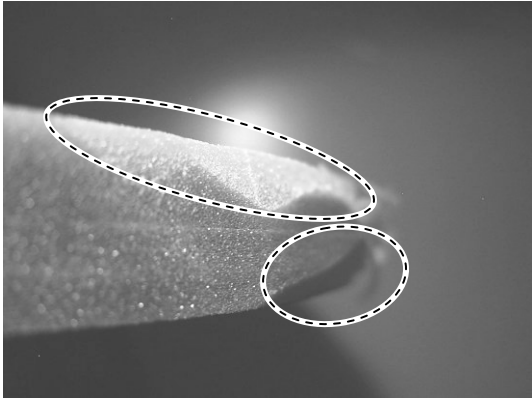


図 3-6-3-17 側面を斜めに削いだ悪い例

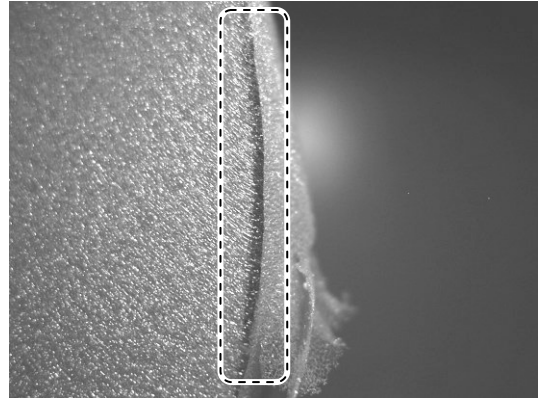


図 3-6-3-18 型紙を写した油性ペンの目印が残る悪い例

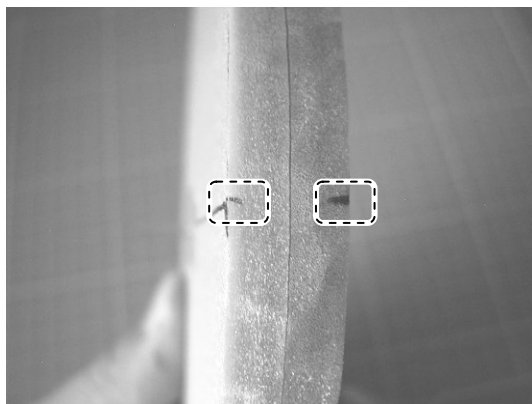


図 3-6-3-19 側面を削り直したら，目印の2直線の位置を側面に描き入れる

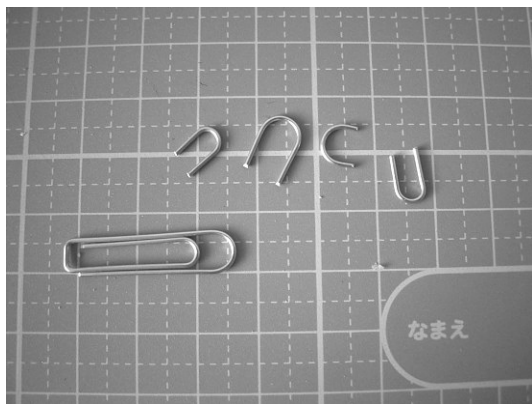


図 3-6-3-20 ゼムクリップからU字の部分を4つ切り出す



図 3-6-3-21 U字の部品を2つの線分と外周の交点の近傍の側面に深く差し込む

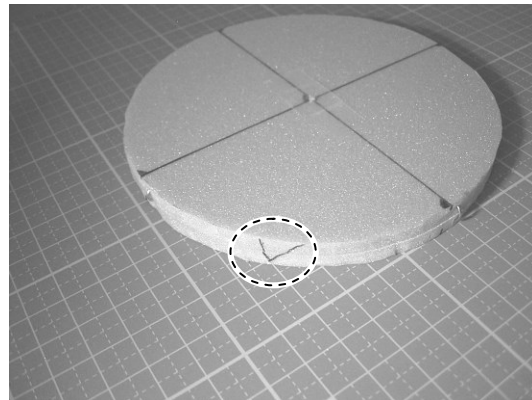


図 3-6-3-22 側面に位置合わせの目印としてV時のマークを入れ，常に組む時はこのマークを合わせるようにする

● 3-6-4 ディスプレーサロッドの製作

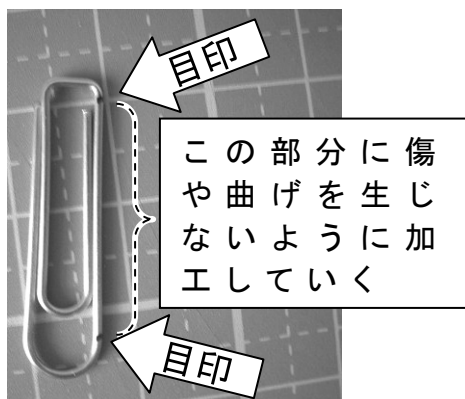


図 3-6-4-1 ゼムクリップの直線部分の始まりと終わりに目印を入れる

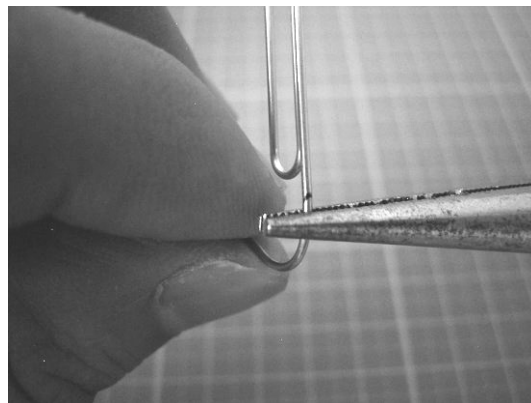


図 3-6-4-2 二つの目印の外側をラジオペンチで押さえ、その外側を指で掴んで伸ばす

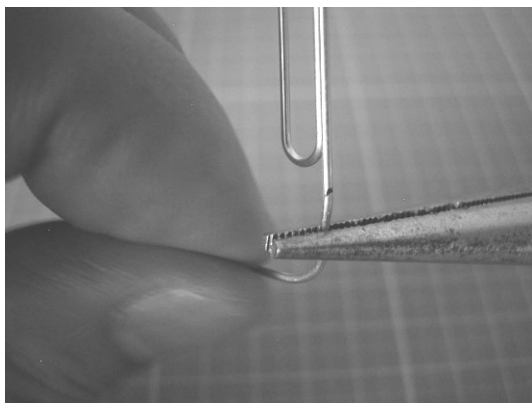


図 3-6-4-3 ラジオペンチで押さえる位置を徐々に外側にずらし

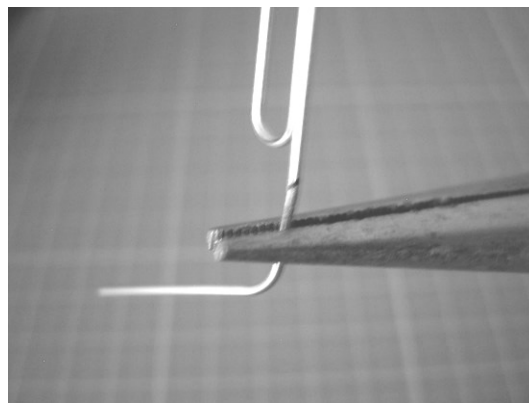


図 3-6-4-4 曲線部分を真直ぐに近づける

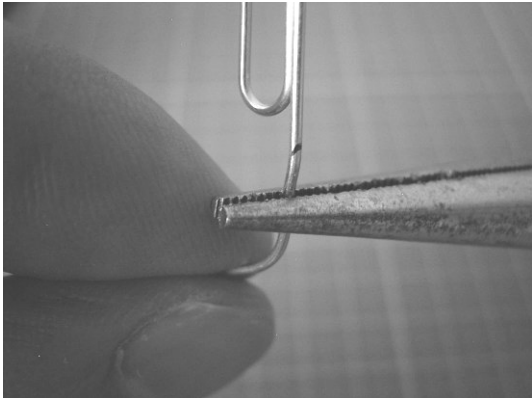


図 3-6-4-5 曲線部分をのぼす作業の続き 1

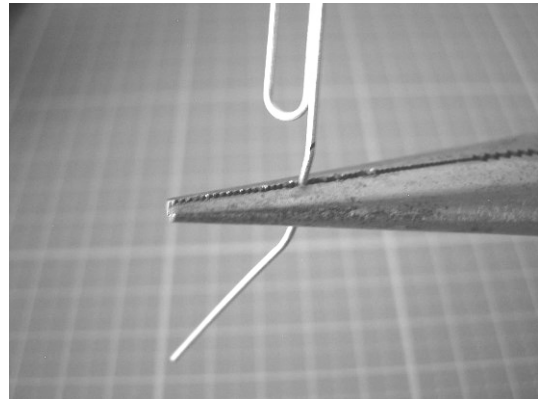


図 3-6-4-6 曲線部分をのぼす作業の続き 2

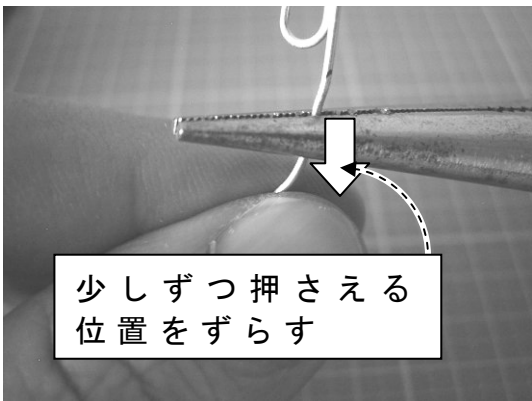


図 3-6-4-7 曲線部分をのぼす作業の続き 3

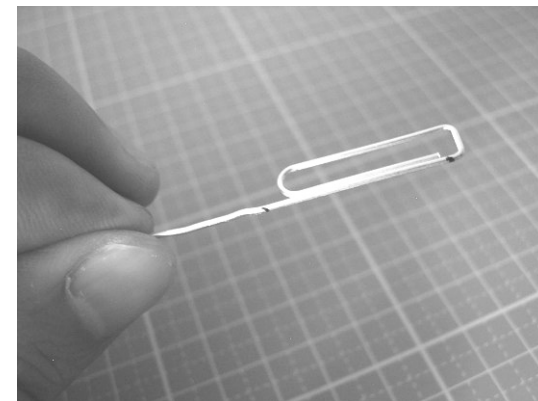


図 3-6-4-8 曲線部分をのぼす作業の続き 4

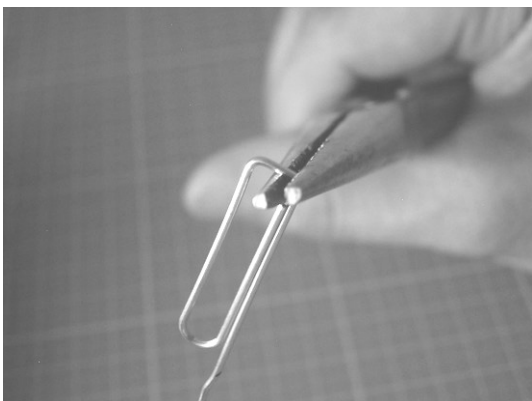


図 3-6-4-9 角（カド）になっている部分をのぼす時はラジオペンチで斜めにつかみ

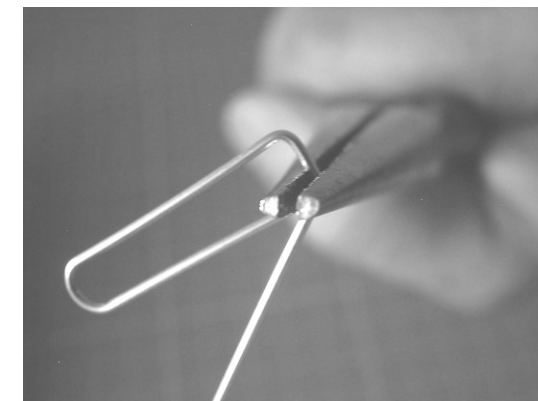


図 3-6-4-10 強く握り締める

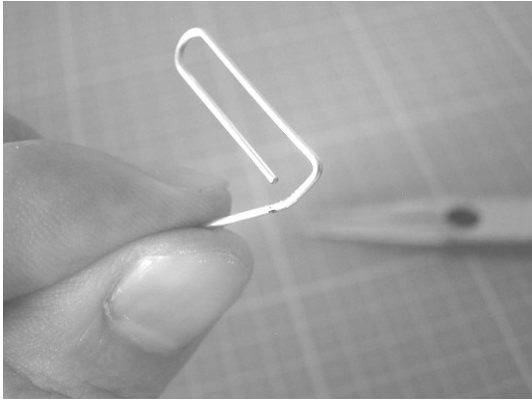


図 3-6-4-11 ラジオペンチで掴みなおして，再度強く握る

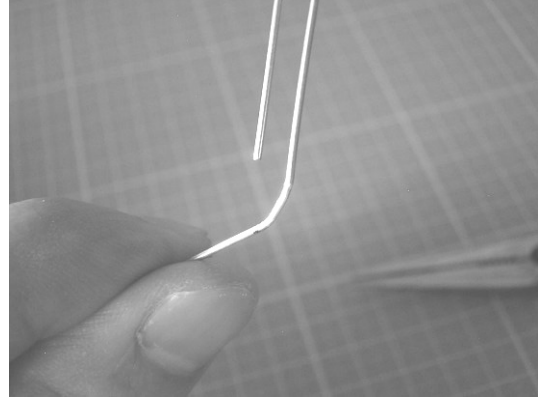


図 3-6-4-12 別の角（カド）も同様に対応する

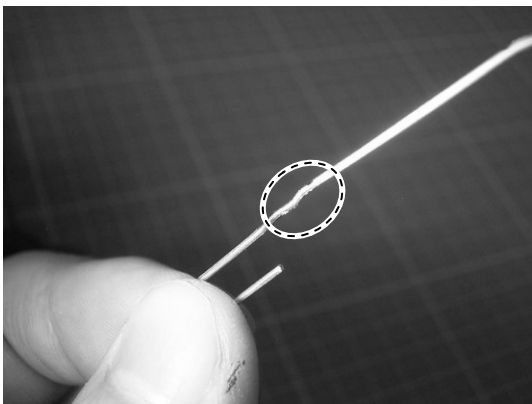


図 3-6-4-13 カドがあった箇所は，きれいに延びない

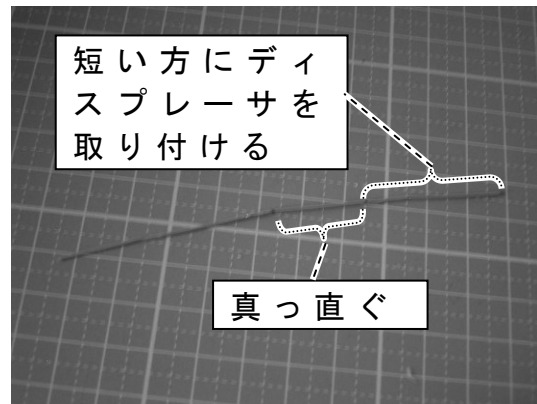


図 3-6-4-14 ゼムクリップ全体を一度のぼす

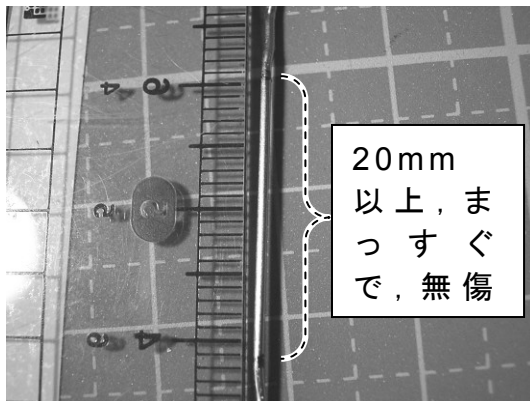


図 3-6-4-15 傷も曲がりも無い，真っ直ぐな箇所が 20mm を超えてなければ，新しいゼムクリップでやり直す

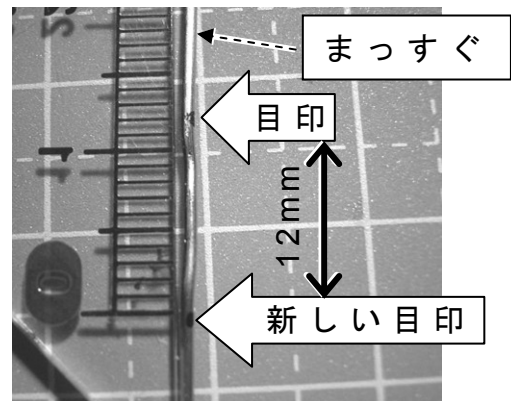


図 3-6-4-16 油性ペンでつけた印と端点までの距離の短い方を，ディスプレイサと接する側とし，ディスプレイサの面から 2mm 上で直線部分が始まるように，短い側の目印から先端の方に 12mm のところで新たな目印を入れる

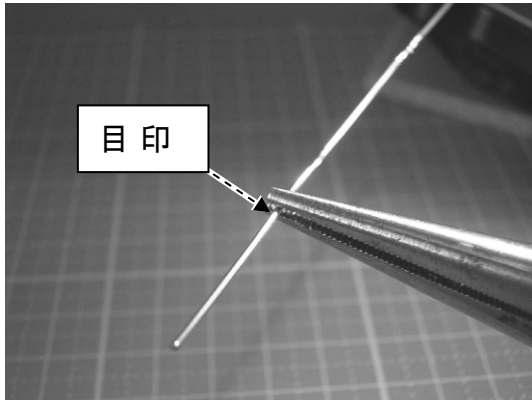


図 3-6-4-17 新しい目印のところで曲げる

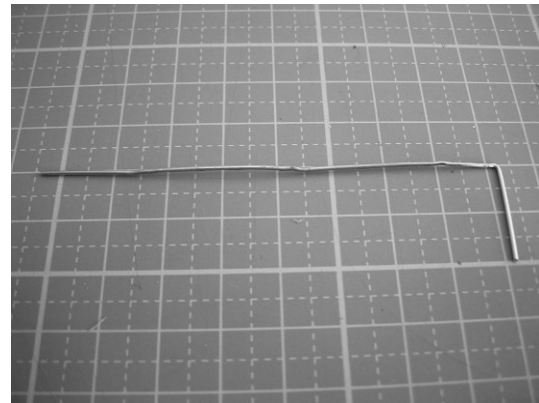


図 3-6-4-18 直角になるまで、曲げ具合を調整する

● 3-6-5 ディスプレーサとロッドの取り付け

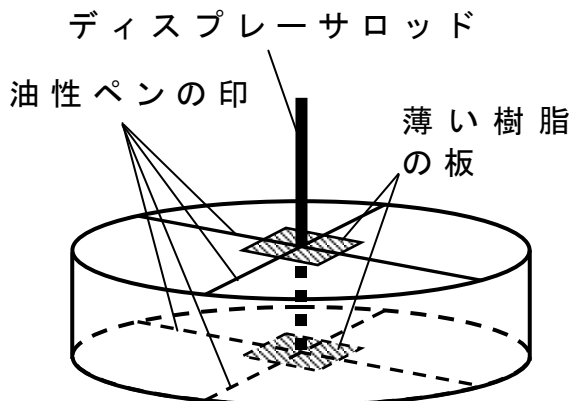


図 3-6-5-1 ディスプレーサの固定の方法

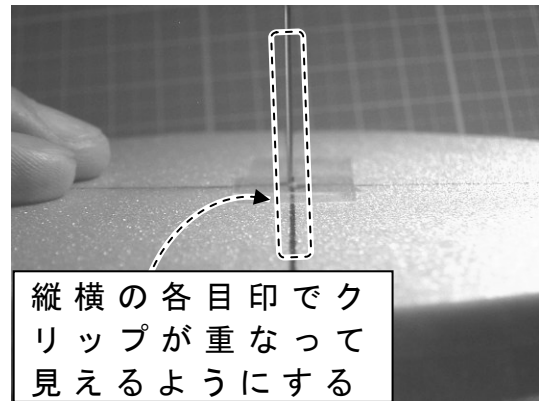
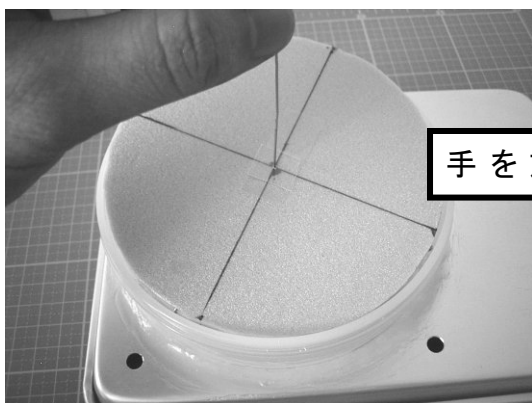
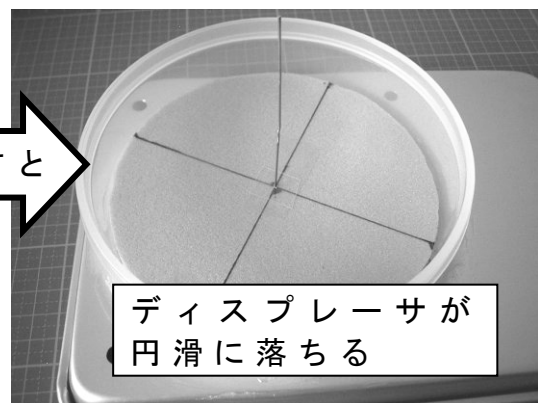


図 3-6-5-2 裏側でディスプレイサロッドの曲がった部分をセロハンテープで貼り付ける



手を放すと



ディスプレイサが円滑に落ちる

図 3-6-5-3 ディスプレーサがシリンダ内で引っかかる場合は修正する

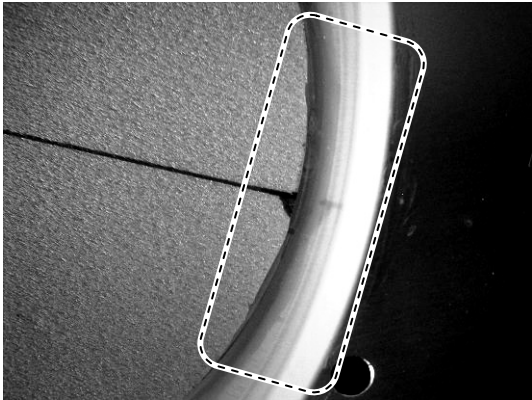


図 3-6-5-4 正常な状態ではディスプレイサとシリンダの間に隙間がある

● 3-7 ベローズの製作

● 3-7-1 作業の概要



図 3-7-1-1 ベローズ

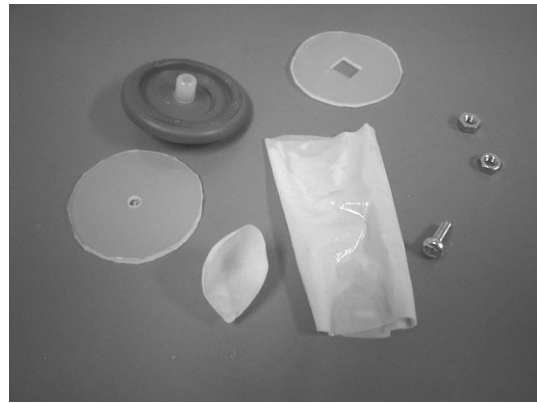


図 3-7-1-2 構成する部品

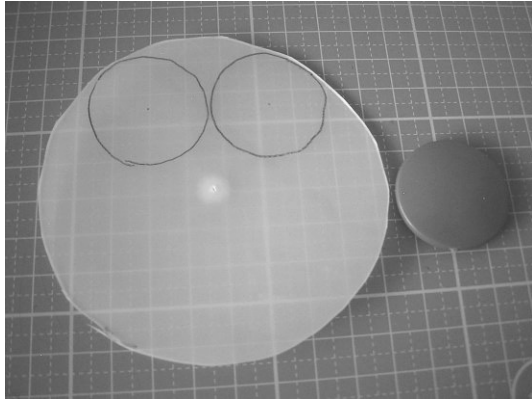


図 3-7-1-3 食品保存容器のフタを切り出した板と、木足ゴムから円筒を切り離した残りが無ければ、硬質塩化ビニルの円盤で良い

● 3 - 7 - 2 円形の板の加工

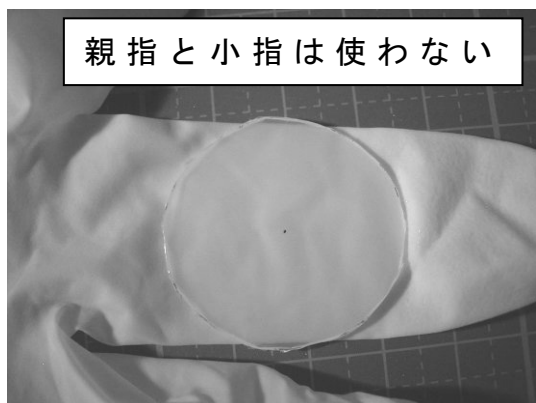


図 3-7-2-1 円盤の直径は二つ折りにしたゴム手袋の指の幅より若干大きい

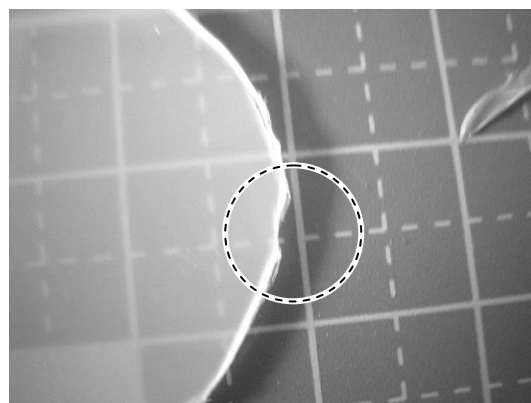


図 3-7-2-2 外周の窪みから空気が漏れるので修正する

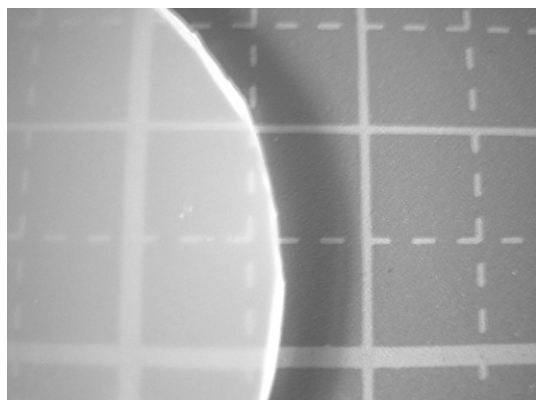


図 3-7-2-3 少々丸くなくても、外周の窪みを無くす

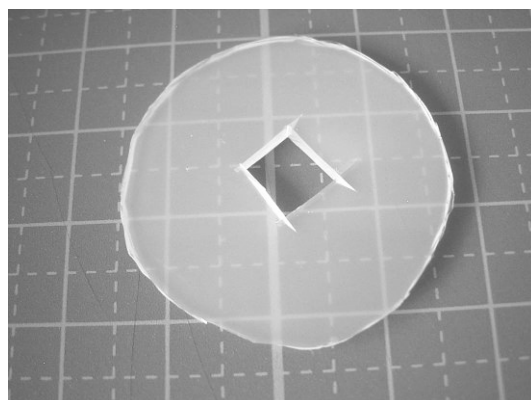


図 3-7-2-4 中に入る板の穴は丸でも丸でなくても良い

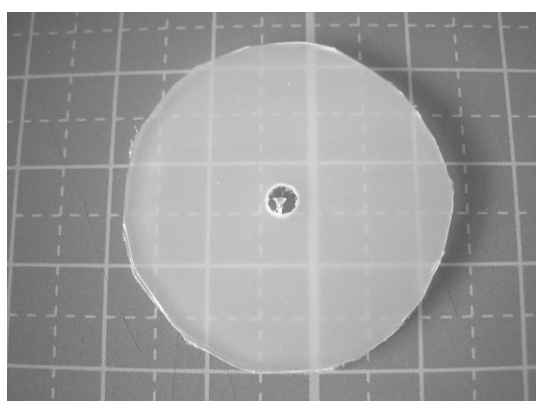


図 3-7-2-5 ボルトを取り付ける板には $\phi 3.0\text{mm}$ の穴



図 3-7-2-6 木足ゴムから切り取った材料の中心に下穴をあける

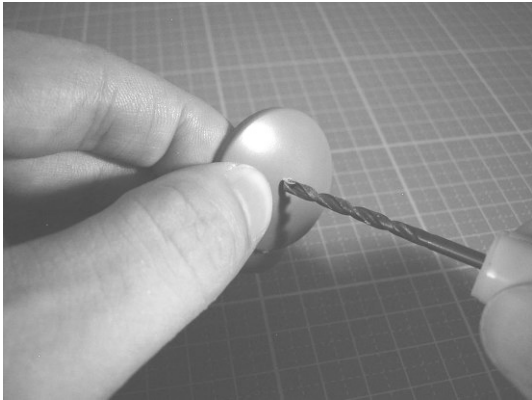


図 3-7-2-7 穴をφ3.0mmにする

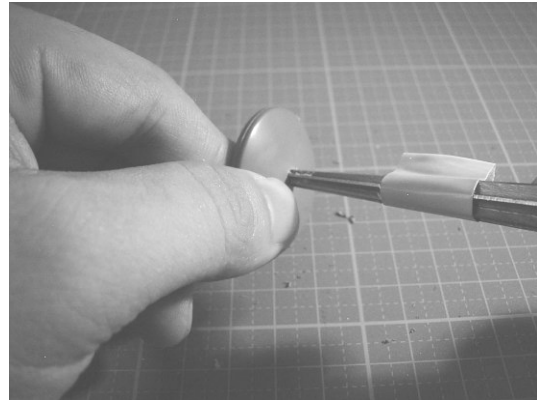


図 3-7-2-8 穴を少しずつリーマで大きくする

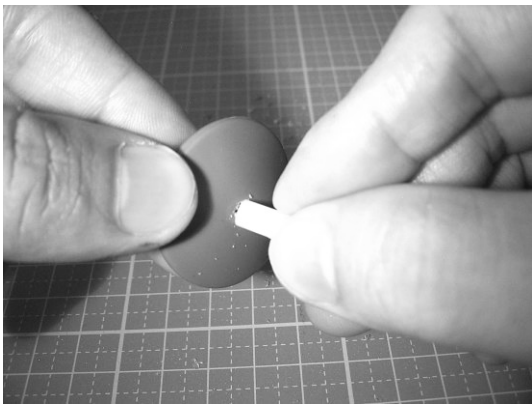


図 3-7-2-9 チューブジョイントを押し込んでも入らなければ、リーマの作業を続ける

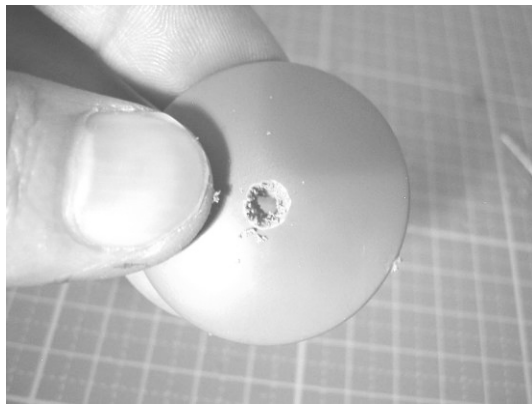


図 3-7-2-10 アルミや塩ビと異なり、面取りしても無駄



図 3-7-2-11 チューブジョイントを挿入する

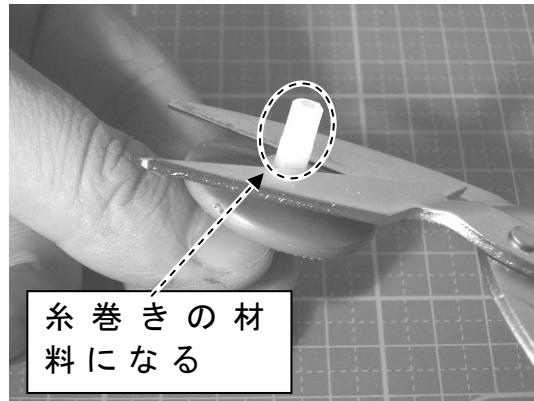


図 3-7-2-12 大きく出っ張ったチューブジョイントをハサミで切り落とす



図 3-7-2-13 できた部品の上側



図 3-7-2-14 でき上がった部品の下側

● 3 - 7 - 3 ベローズの組立て



図 3-7-3-1 ゴム手袋の人差し指，中指，薬指のいずれかの指先と指を切る

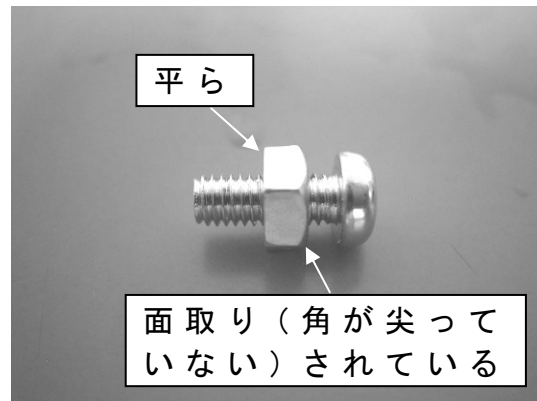


図 3-7-3-2 M3×8mm のボルトを途中まで，向きに注意してナットに通す

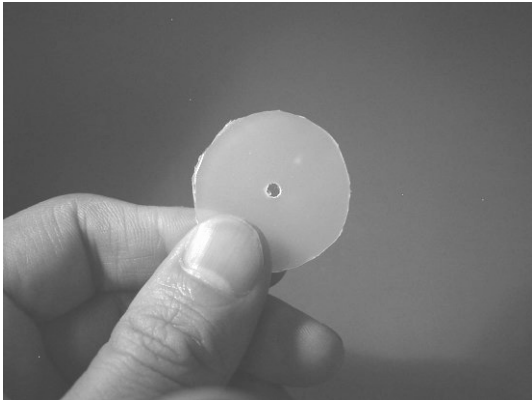


図 3-7-3-3 中心に $\phi 3.0\text{mm}$ の穴がある円盤

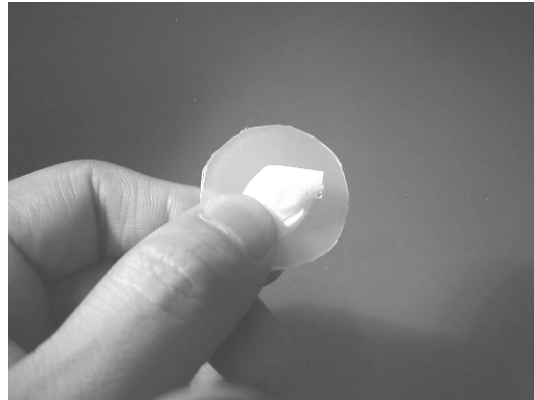


図 3-7-3-4 穴にゴム手袋の切れ端を合わせる

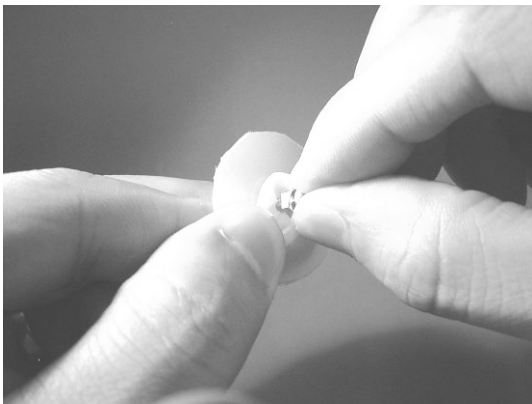


図 3-7-3-5 ゴム手袋の切れ端の上からナットを通したボルトを穴に押し込む

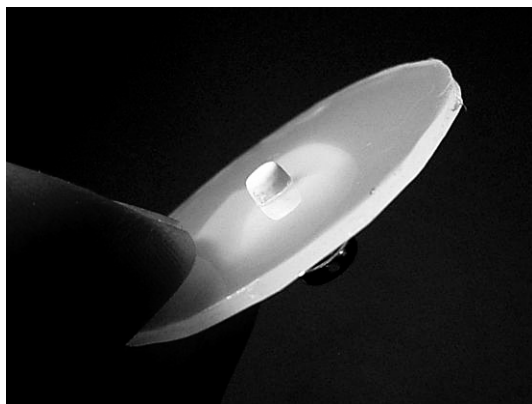


図 3-7-3-6 穴の反対側に突き出たボルトがゴムの切れ端に包まれている

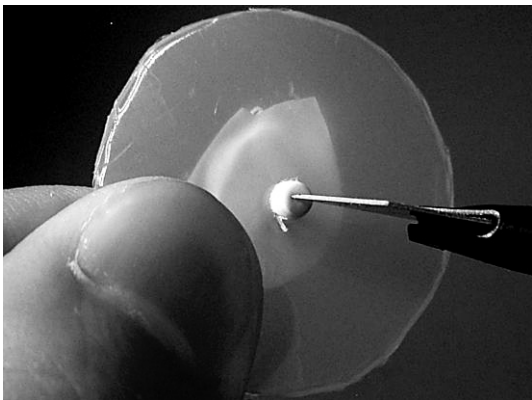


図 3-7-3-7 先端部分のゴム手袋にカッターナイフで軽く切れ目を入れる

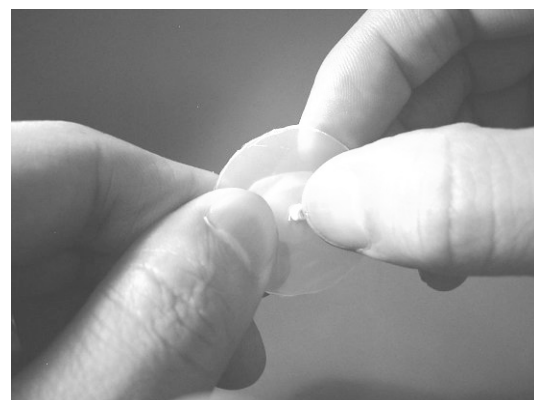


図 3-7-3-8 うっすら入った切れ目を広げる

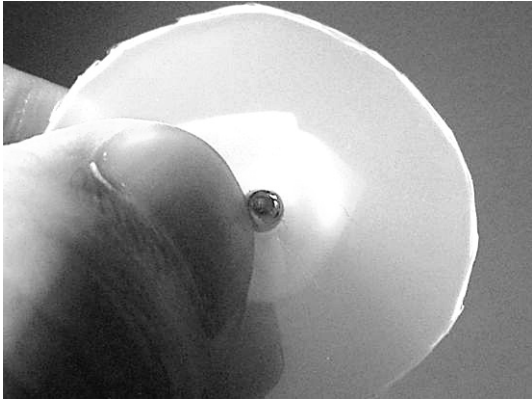


図 3-7-3-9 ボルトの先端が全部見えるまで、ゴムをむく



図 3-7-3-10 ナットをはめる

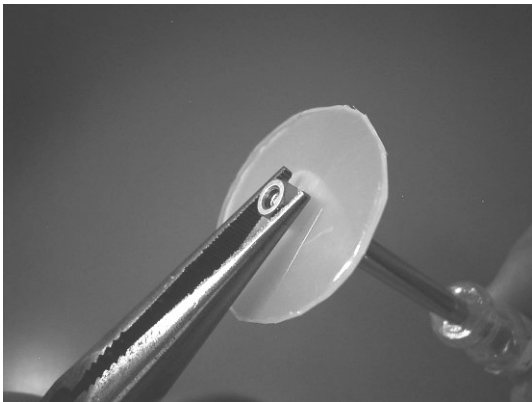


図 3-7-3-11 工具を使って、後からはめたナットにボルトを通していく

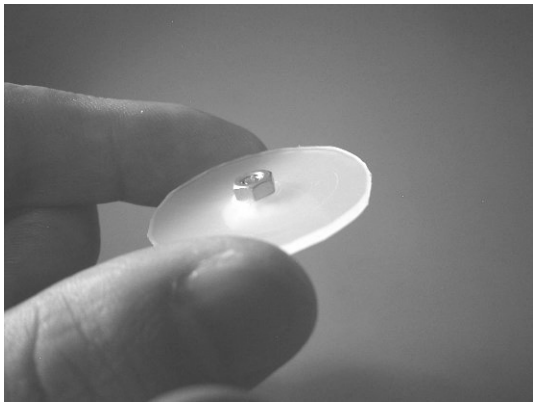


図 3-7-3-12 ボルトは後からはめたナットを突き出さないようにする



図 3-7-3-13 最初にボルトに通していたナットを締めて、円盤を二つのナットではさむ

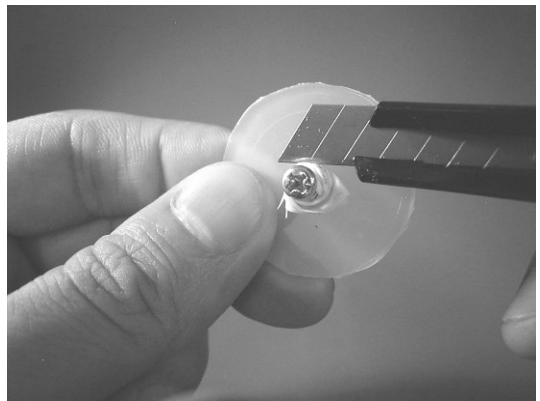


図 3-7-3-14 はみ出したゴムの切れ端を切る



図 3-7-3-15 ゴムの切れ端が残っていても構わないが、ボルトのついた円盤の完成



チューブジョイント
は外側に突き出る

図 3-7-3-16 ゴム手袋の指を切り出した筒状のゴムを水洗いし、中にチューブジョイントのついた円盤を入れる



図 3-7-3-17 筒状のゴムの反対側から、穴のあいた円盤を入れる

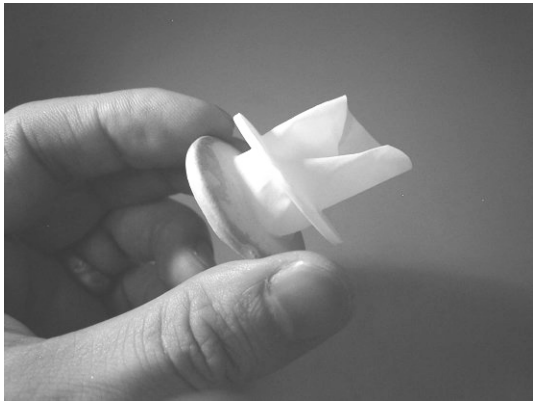


図 3-7-3-18 円盤同士は 7mm 程度の間隔をあけて平行にする

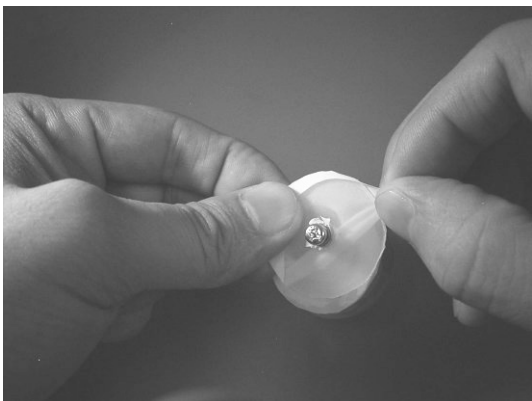


図 3-7-3-21 ボルトの頭が外になるように 3 つ目の円盤をゴムの筒に入れる



図 3-7-3-22 円盤の位置を調節し、膨らみがチューブジョイントを塞いだ状態で維持できるまで、一連の作業をやり直す



図 3-7-3-23 突き出したチューブジョイントを, 長さ 1cm 程度に切り出したチューブに差し込み, ベローズが完成

● 3 - 8 機構部の製作と全体の組み立て

● 3 - 8 - 1 作業の概要

● 3 - 8 - 2 型紙の製作

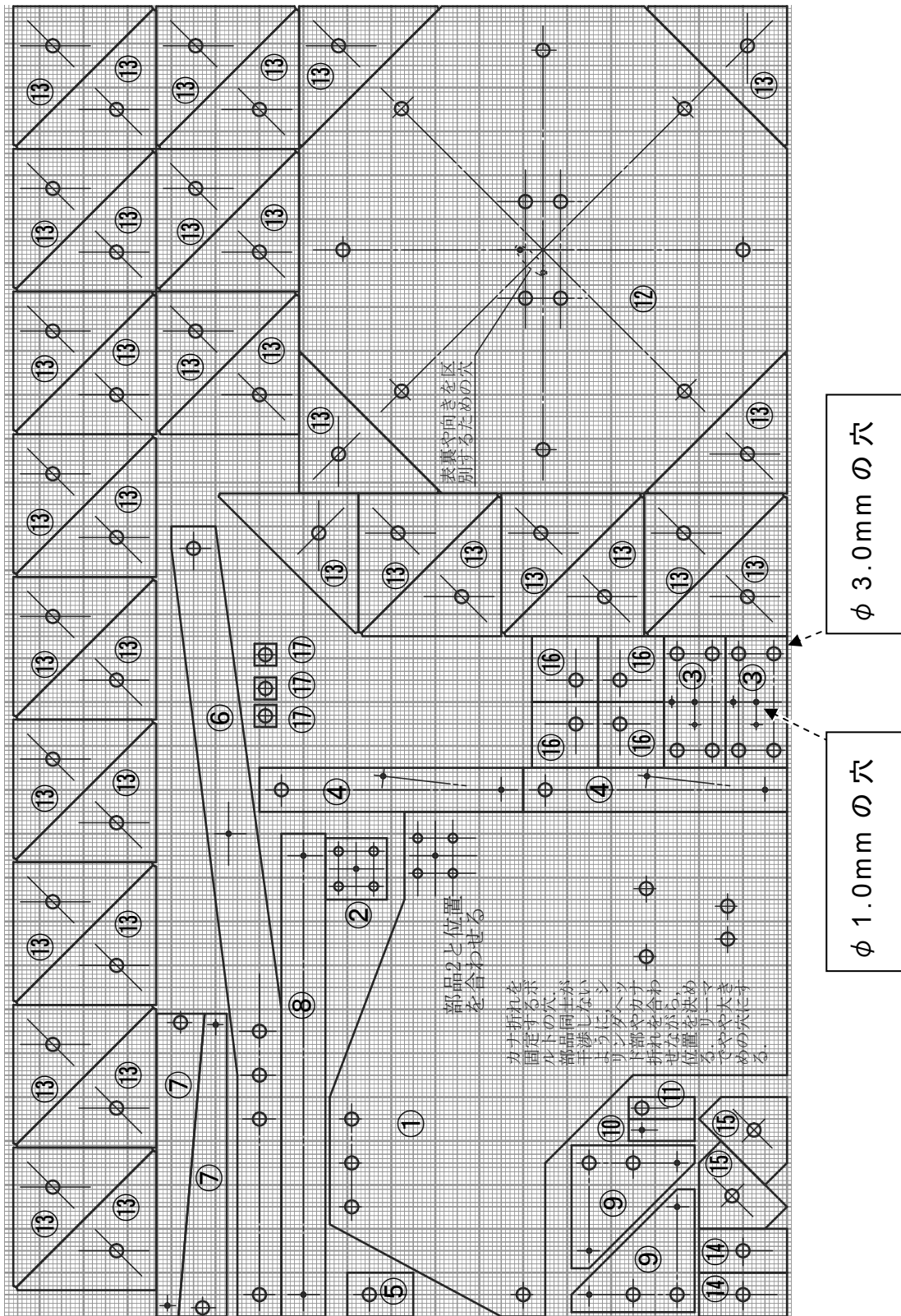


図 3-8-2-1 硬質塩化ビニル板から切り出す部品を1マスが1mmの方眼紙に配置した図だが、本物はA4サイズの方眼紙2枚に分かれ、丸囲いの数字で示す部品番号やコメントもなく、穴も中心も点で示される

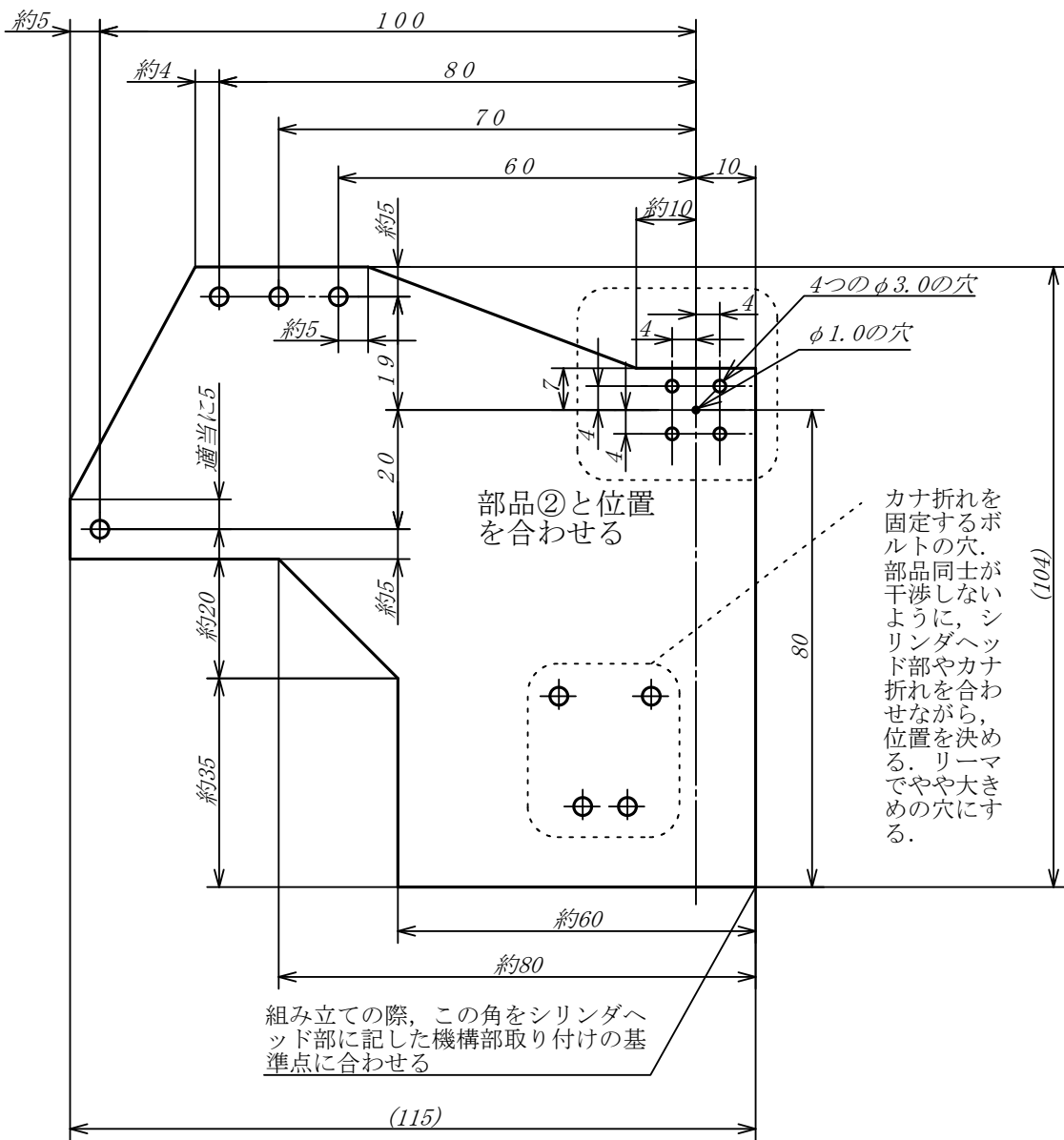


図 3-8-2-2 部品①の詳細図

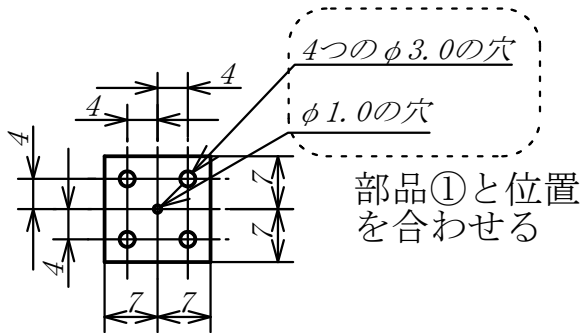


図 3-8-2-3 部品②の詳細図

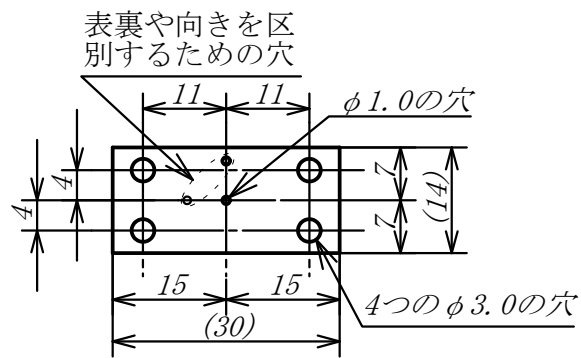


図 3-8-2-4 部品③の詳細図

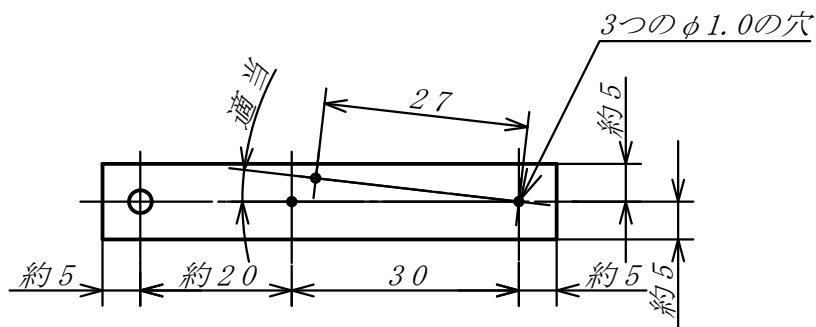


図 3-8-2-5 部品④の詳細図

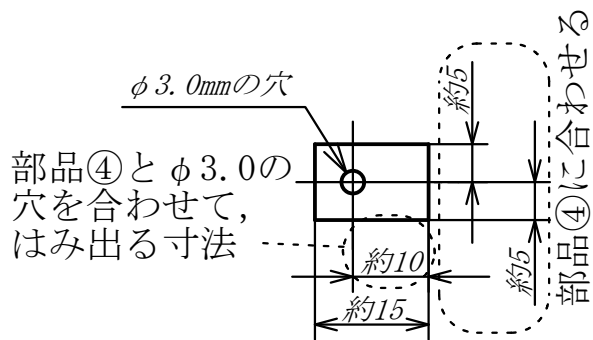


図 3-8-2-6 部品⑤の詳細図

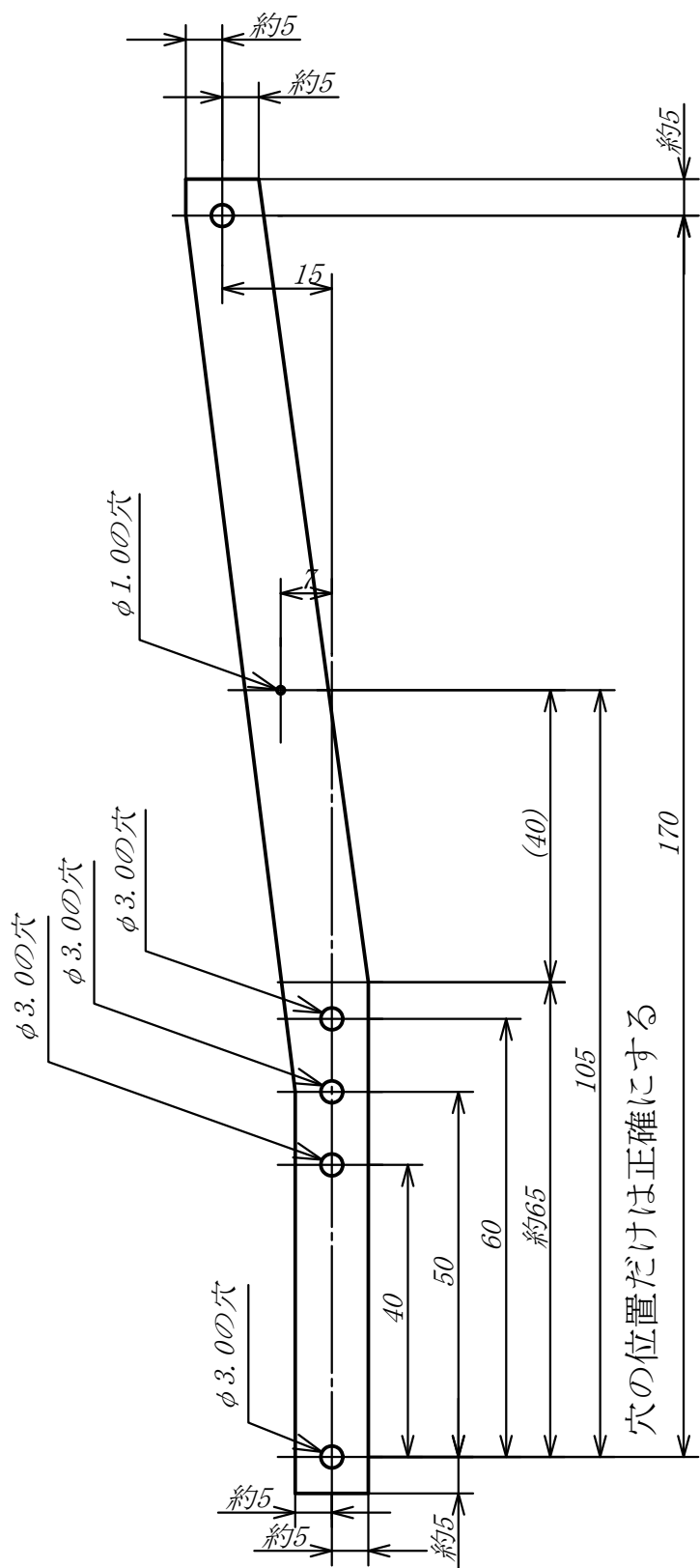


図 3-8-2-7 部品⑥の詳細図

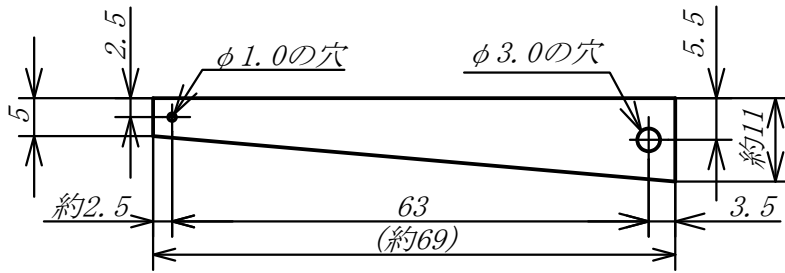


図 3-8-2-8 部品⑦の詳細図

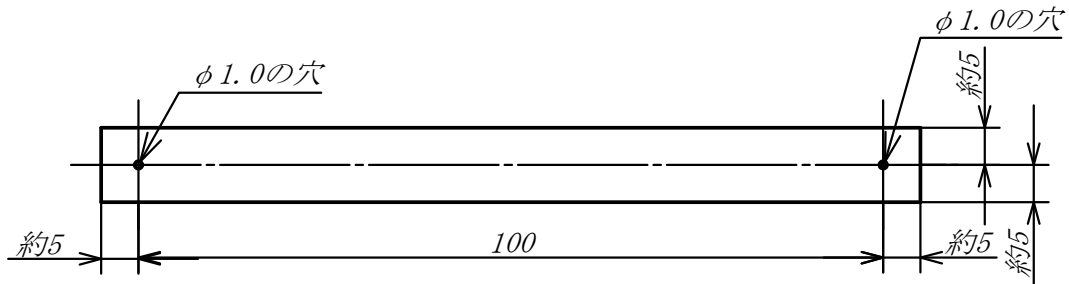


図 3-8-2-9 部品⑧の詳細図

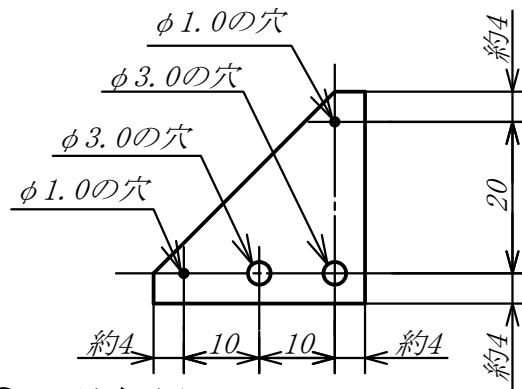


図 3-8-2-10 部品⑨の詳細図

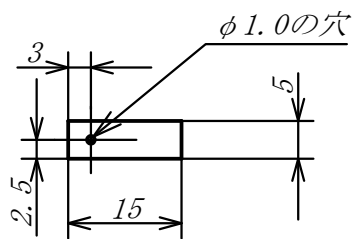


図 3-8-2-11 部品⑩の詳細図

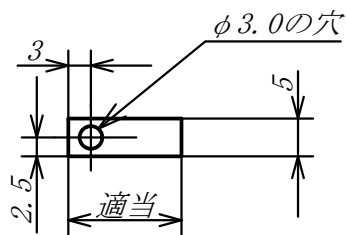
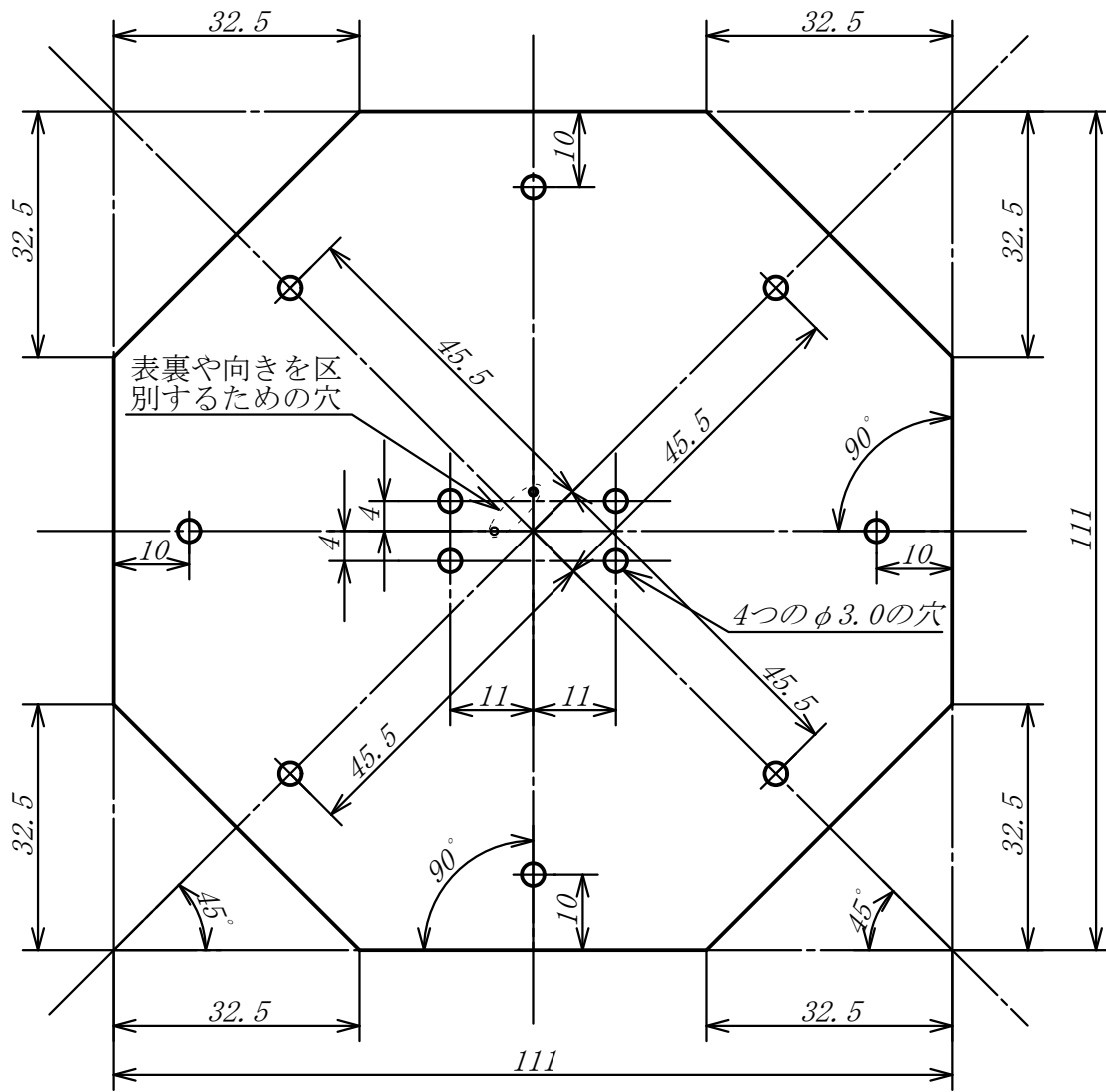


図 3-8-2-12 部品⑪の詳細図



一辺111mmの正方形とその対角線の交点を基準に寸法を決める。

図 3-8-2-13 部品⑫の詳細図

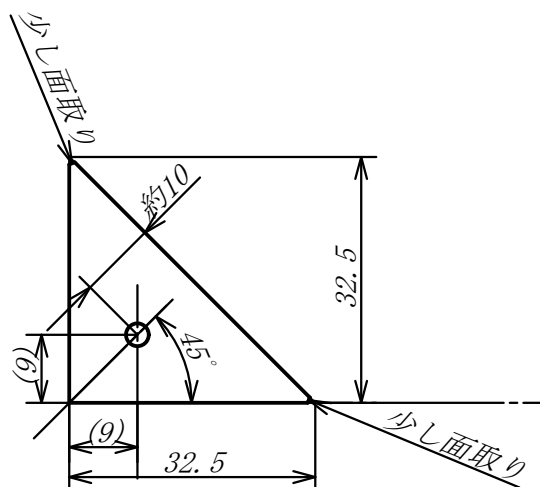


図 3-8-2-14 部品⑬の詳細図

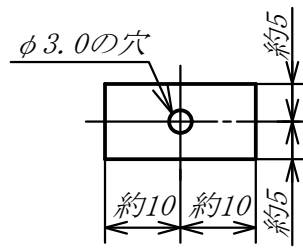


図 3-8-2-15 部品⑭の詳細図

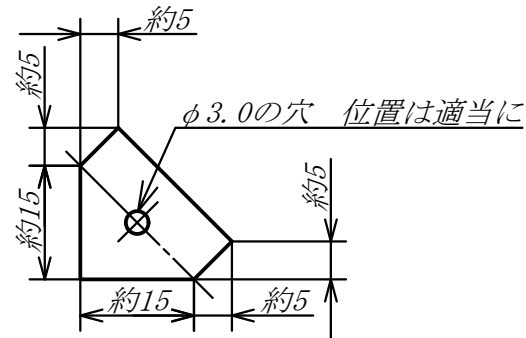


図 3-8-2-16 部品⑮の詳細図

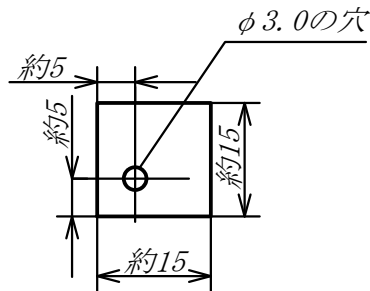


図 3-8-2-17 部品⑯の詳細図

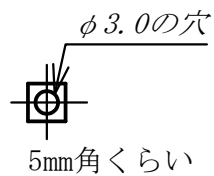


図 3-8-2-18 部品⑰の詳細図

● 3 - 8 - 3 硬質塩化ビニル板の加工

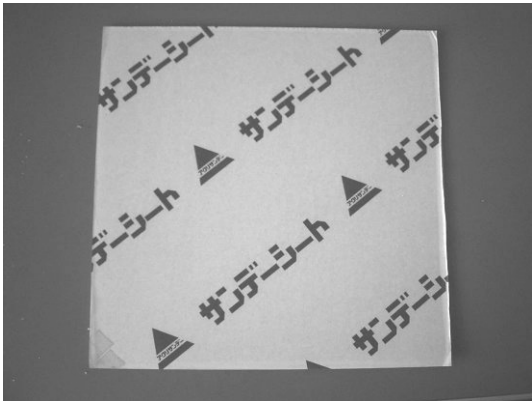


図 3-8-3-1 硬質塩化ビニル板は両面がシートに保護されて販売されている

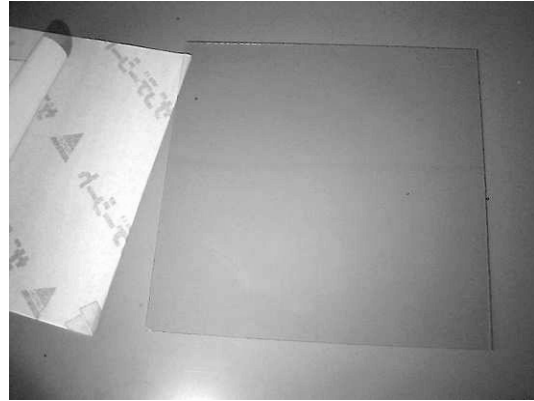


図 3-8-3-2 保護シートを両面はがす

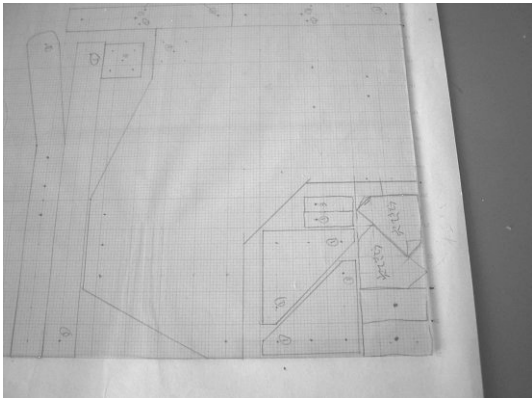


図 3-8-3-3 型紙の上に塩化ビニル板を載せて、真上から極細のサインペンで穴の位置や切断する位置を記入する

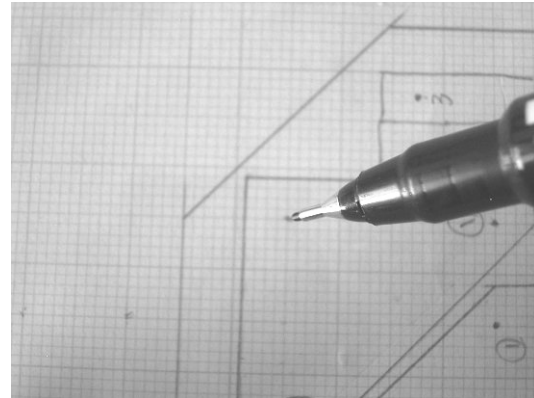


図 3-8-3-4 真上から片目で作業し、一連の作業が終わるまで使う目を変えない

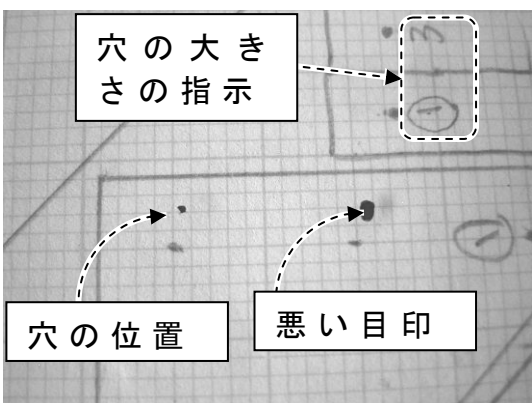


図 3-8-3-5 失敗しても、塩化ビニル板に油性ペンで描いたものは消しゴムで消える

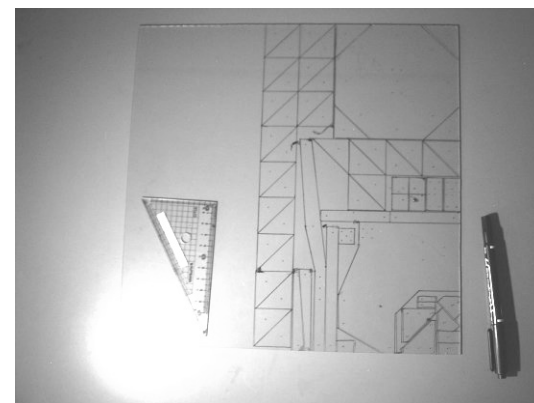


図 3-8-3-6 プラスチックの定規も油性ペンの汚れは消しゴムで消えるので、定規も使える

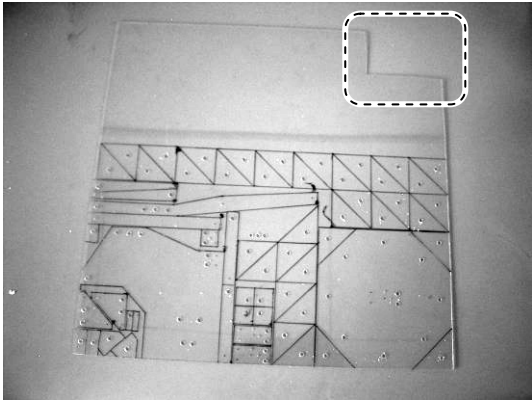


図 3-8-3-7 この段階で，穴あけ作業を補助する道具の材料を取っても良い

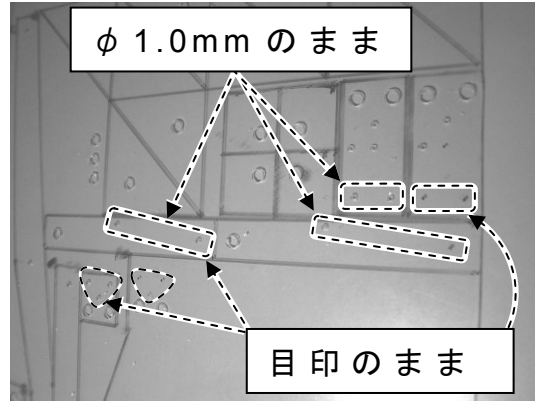


図 3-8-3-8 穴の位置を合わせる箇所以外は，所定の大きさの穴をあける

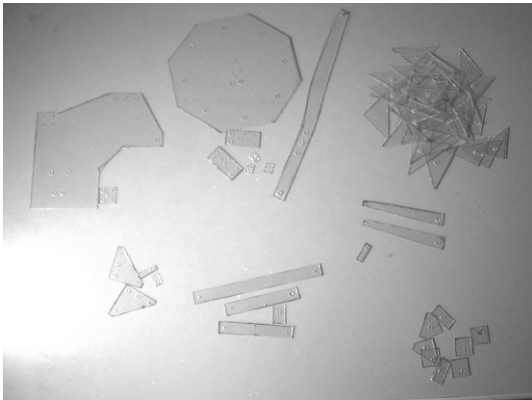


図 3-8-3-9 全部の部品を切り出し，穴の位置を合わせる部分は穴の位置を合わせる加工をする

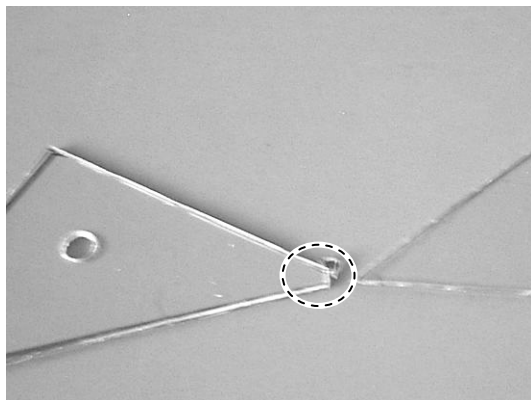


図 3-8-3-10 部品 13 は鋭角な角を全部切り落とす

● 3 - 8 - 4 クランク軸と軸受けの加工と組立て

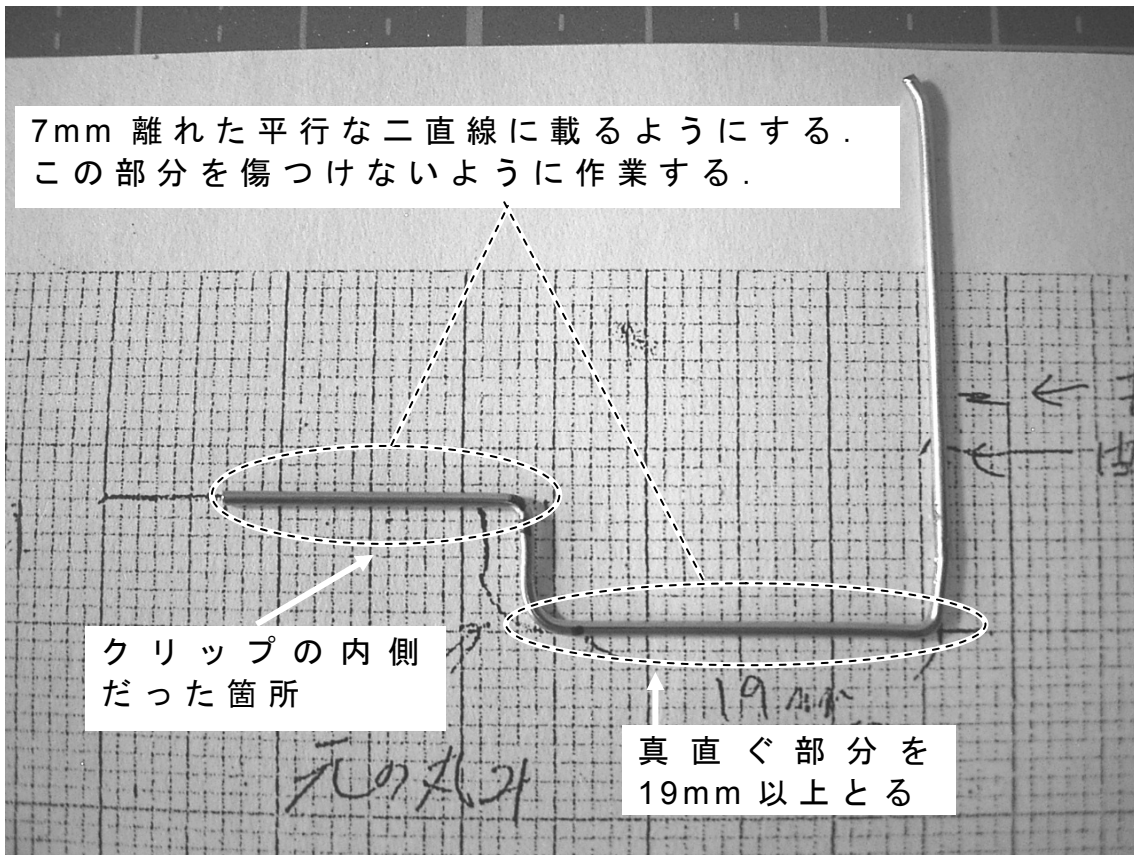


図 3-8-4-1 クランク軸を作る第一段階

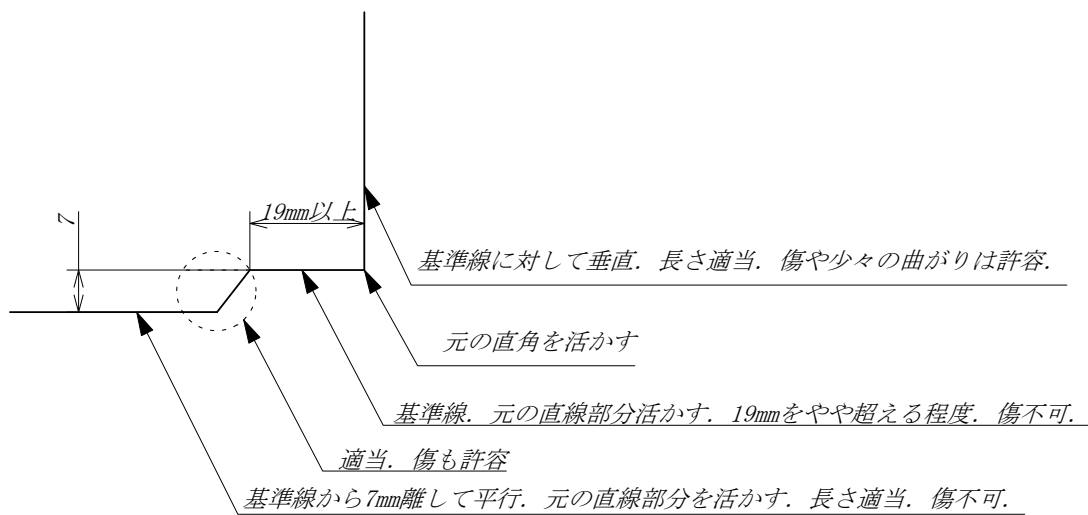


図 3-8-4-2 ゼムクリップからクランク軸を作る際の要点

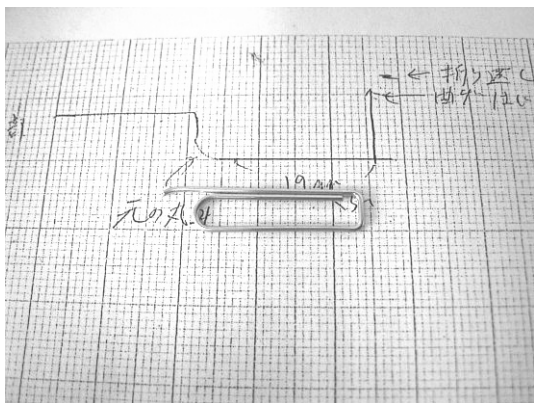


図 3-8-4-3 ゼムクリップの真直ぐな部分の両端に目印を入れ，型紙と並べる

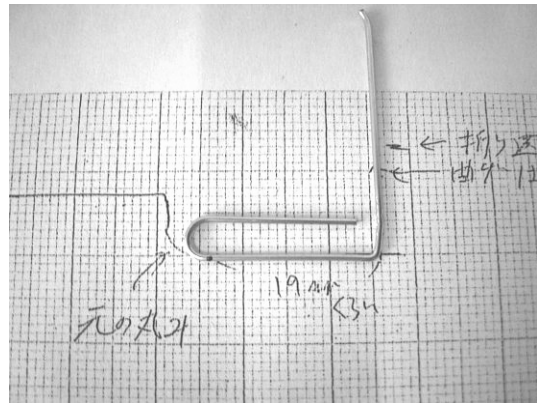


図 3-8-4-4 外側をのぼし，垂直な部分は 3cm 程度残して切り落とす

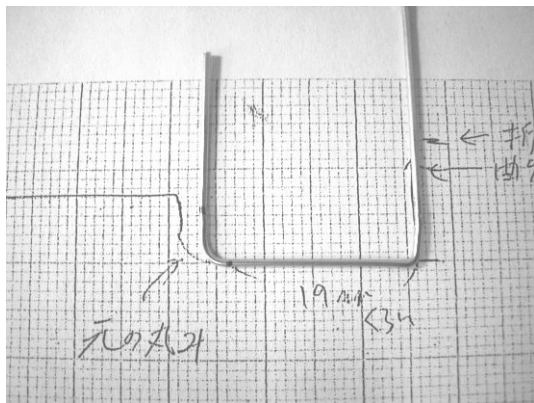


図 3-8-4-5 ゼムクリップの内側だった真直ぐな部分を垂直に立てる

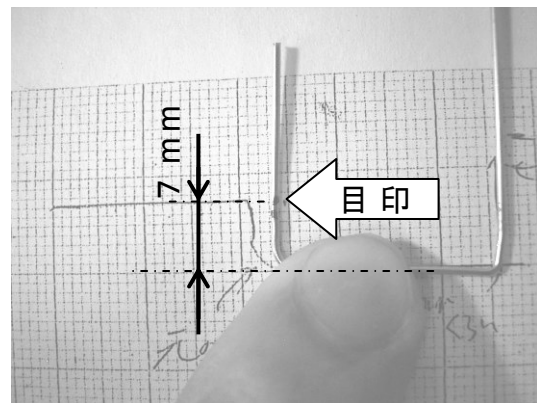


図 3-8-4-6 7mm の位置に油性ペンで目印をいれる

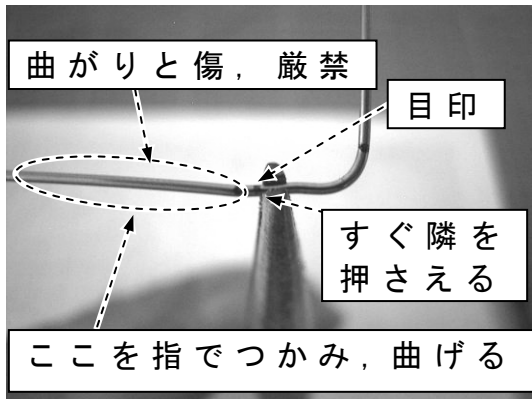


図 3-8-4-7 目印の隣をラジオペンチで押さえ、曲げる

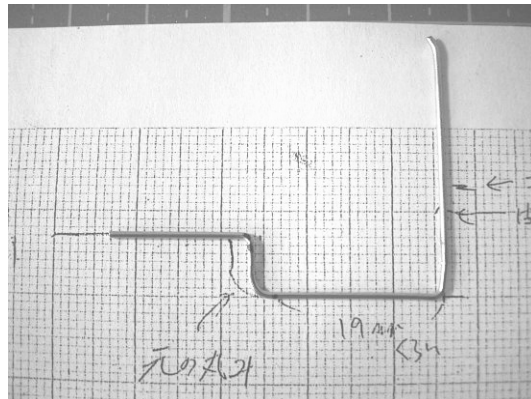


図 3-8-4-8 型紙から浮かないように作り、7mmの平行な箇所が合うまで作り直す

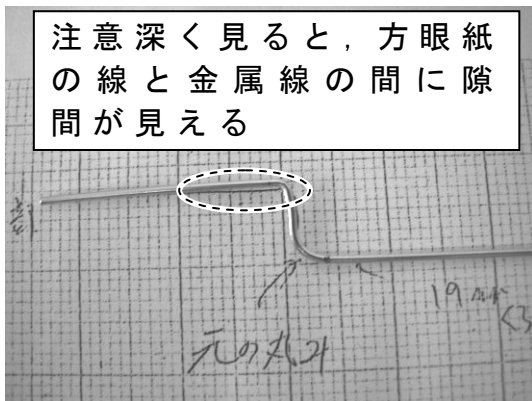


図 3-8-4-9 大丈夫のように見えるが、後で不具合が出て機構部の分解とクランク軸の作り直しが必要なこともある

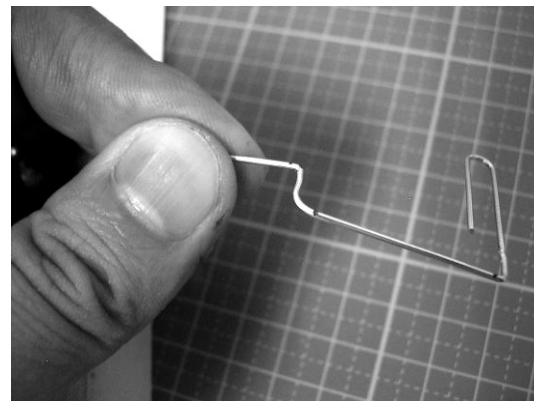


図 3-8-4-10 よじれたものは、型紙に載せて形をチェックできるまで指でねじり修正するか、または廃棄する

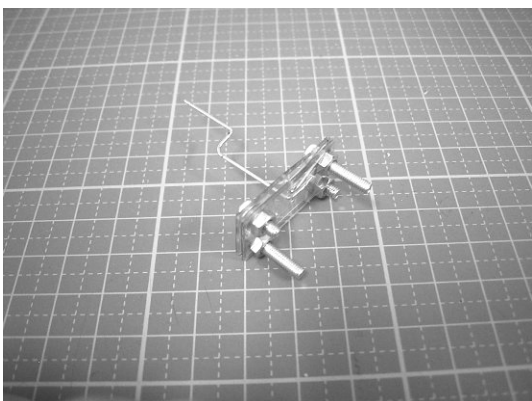


図 3-8-4-11 フライホイールを取り付ける部品が設けられたクランク軸

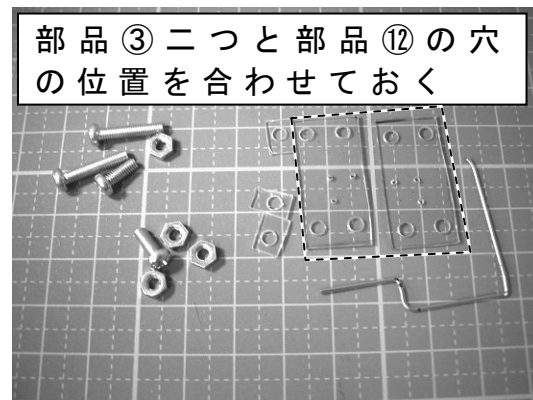


図 3-8-4-12 ゼムクリップを加工した部品、部品③×2、部品⑫×3、ナット4、ボルト15mm×2、ボルト8mm×2を用意する

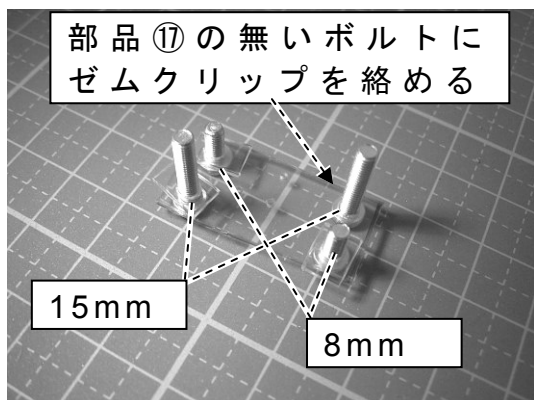


図 3-8-4-13 部品③にネジを通すが，対角に配置されるボルトの長さを揃え，そのうち3本のボルトを部品⑰に通す

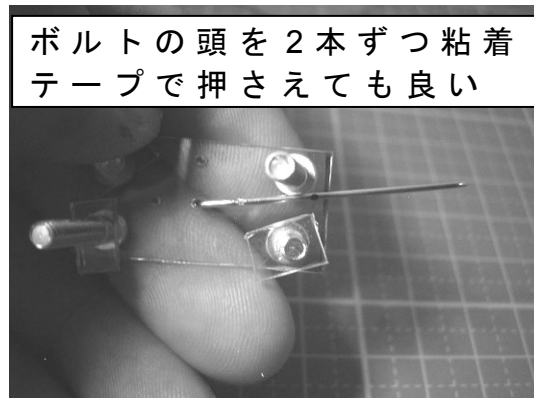


図 3-8-4-14 ゼムクリップを加工した部品を部品③の中心穴に通し，部品⑰を通していないボルトのねじ山に長い部分を当てる

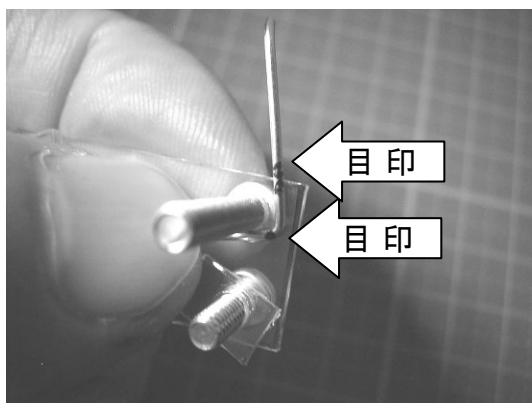


図 3-8-4-15 油性ペンで目印を入れながら，金属線をボルトに引っ掛けていく



図 3-8-4-16 金属線の先端を4本のボルトの内側に納める



図 3-8-4-17 目印を参考にして部品の向きや表裏を合わせ、もう一つの部品③をはめ、ナットを締める

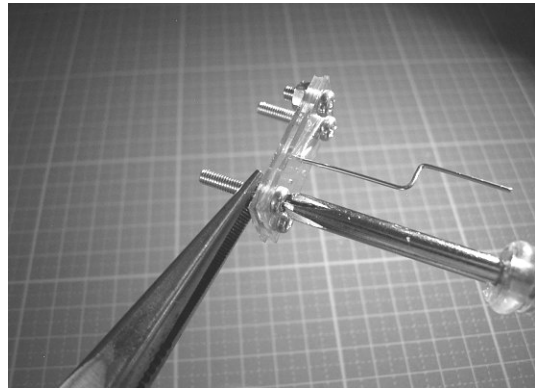


図 3-8-4-18 4箇所へのナットが緩まぬよう、工具を使ってしっかり締める



図 3-8-4-19 目印を合わせて部品⑫と円滑に組み合わせることを確認する

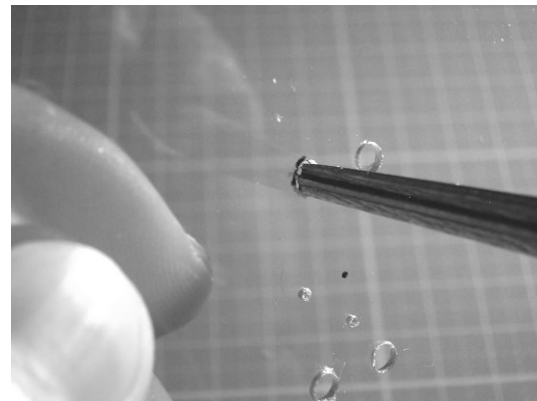


図 3-8-4-20 部品⑫でボルトが合わない穴をリーマで少し大きくする



図 3-8-4-21 面取り用ドリルでバリを取り、再びボルトが通るかチェックし、円滑に組み上がるまで穴の拡大とバリ取りとチェックを繰り返す。

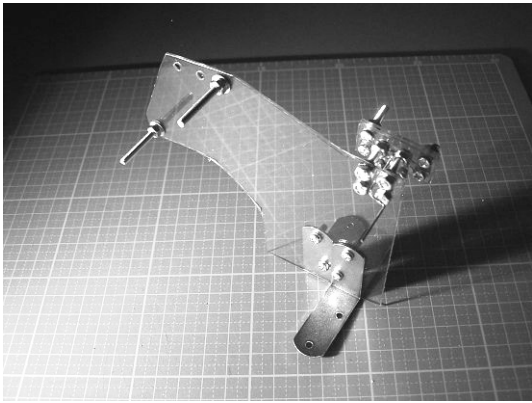


図 3-8-4-22 シリンダヘッドに組み付ける前のクランク軸と軸受けを組み立てた部品

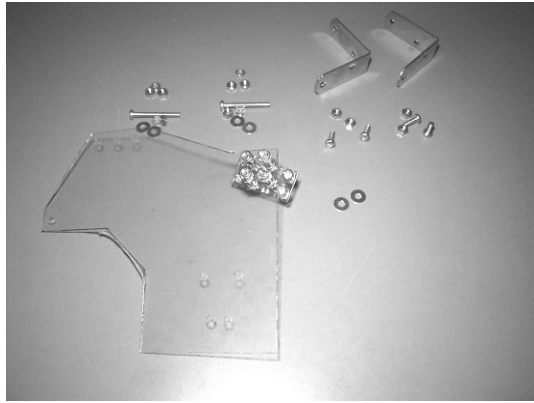
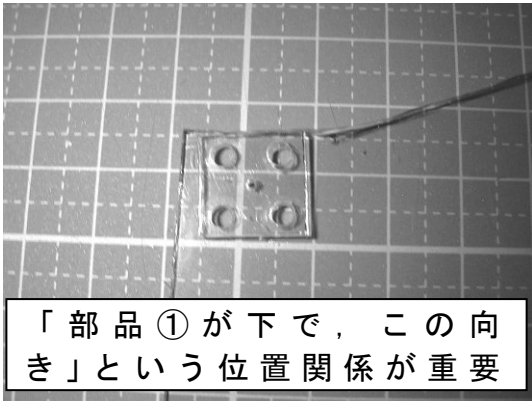


図 3-8-4-23 部品①, 部品②, 組み立てたクランク軸, 金折れ 2 個, ボルトやナットの類



「部品①が下で, この向き」という位置関係が重要

図 3-8-4-24 部品①に部品②を乗せ, 穴の位置が合う向きを確認

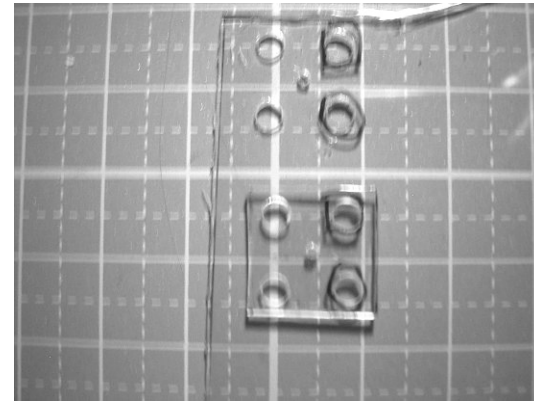


図 3-8-4-25 向きと表裏が分かるように目印を入れる

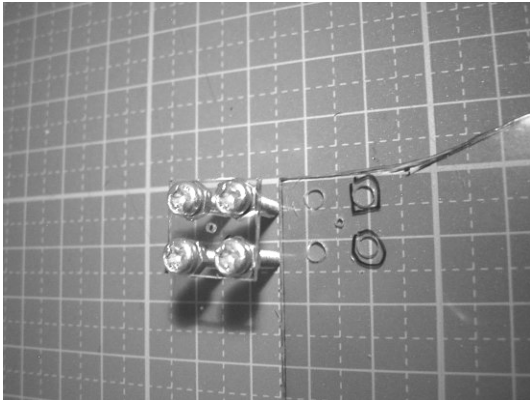


図 3-8-4-26 部品②に 15mm のボルト 4 本を通すが，前述の部品①との位置関係および向きに注意する



図 3-8-4-27 ナットをしっかりと締める

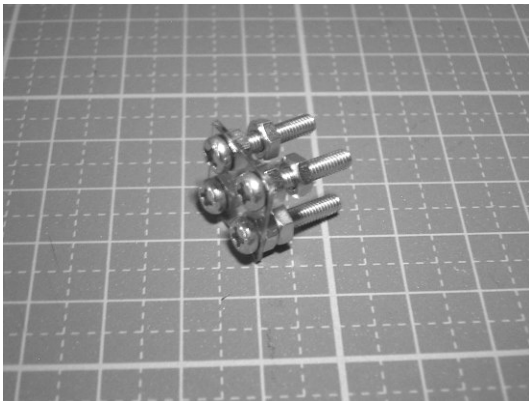


図 3-8-4-28 ナットを追加し，4 本のボルトの中程にはめる

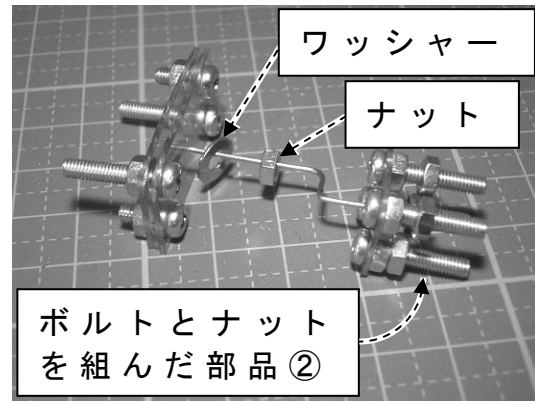


図 3-8-4-29 組立てたクランクの先端を，ワッシャーとナットボルトとナットをつけた部品②に順番に通す

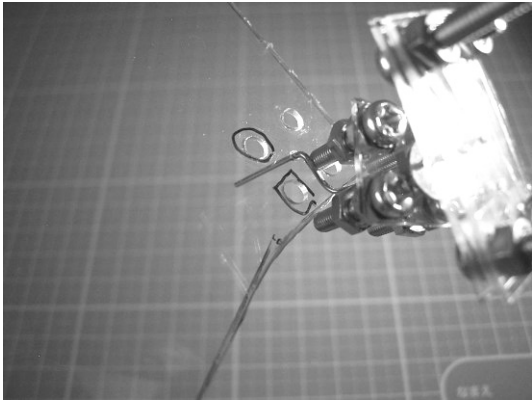


図 3-8-4-30 部品①と部品②の位置関係に注意しながら、部品①のφ1.0mmの穴にクランクを通す

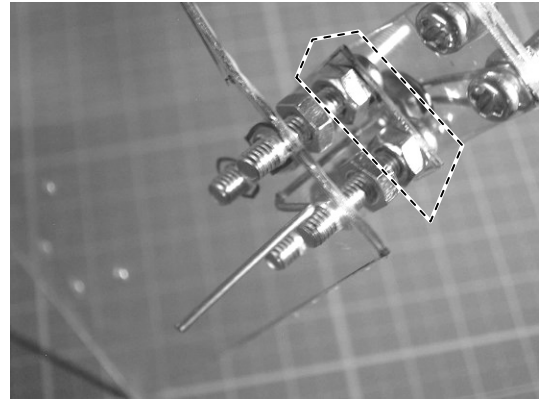
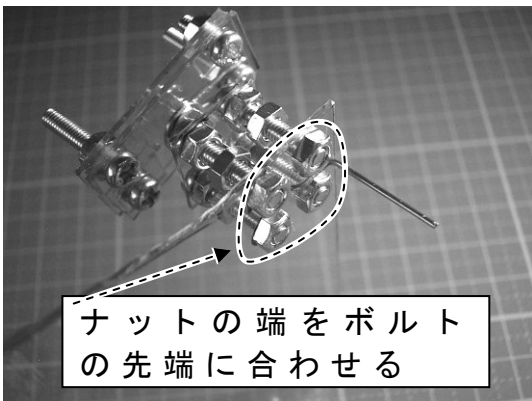


図 3-8-4-31 クランクを曲げないように注意しながら、部品②の4本のボルトを部品①の穴に通すが、うまくいかない時は部品②に固定した点線の位置のナット4個を緩めてボルトを通す



ナットの端をボルトの先端に合わせる

図 3-8-4-32 部品①に通したボルト4本にナットをはめる



緩めていれば、この作業の後で締め直す

図 3-8-4-33 ボルトの中程にあったナットで部品①を締めつける

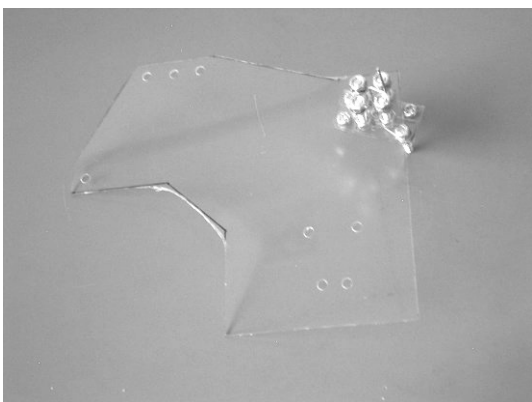


図 3-8-4-34 クランク軸と軸受けが組み上がった状態

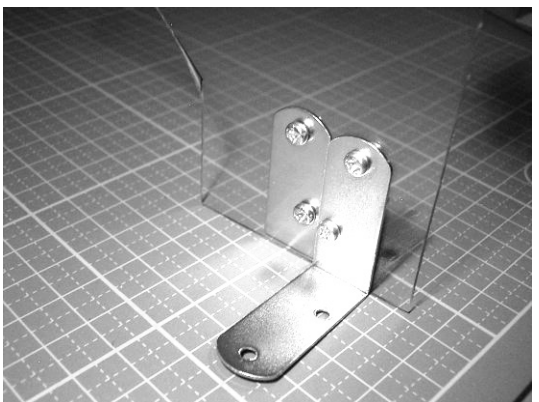


図 3-8-4-35 部品①に8mmのボルトで金折れをとりつける

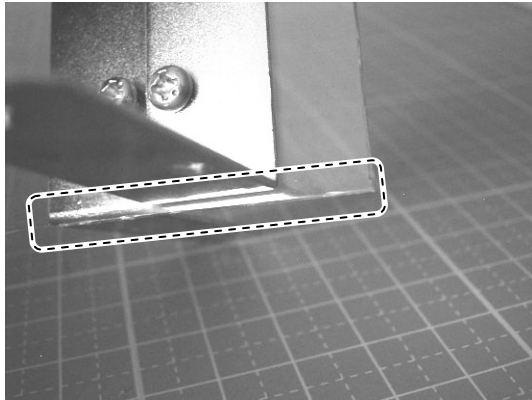


図 3-8-4-36 取り付けした金折れの下に硬質塩化ビニル板がはみ出したら修正する

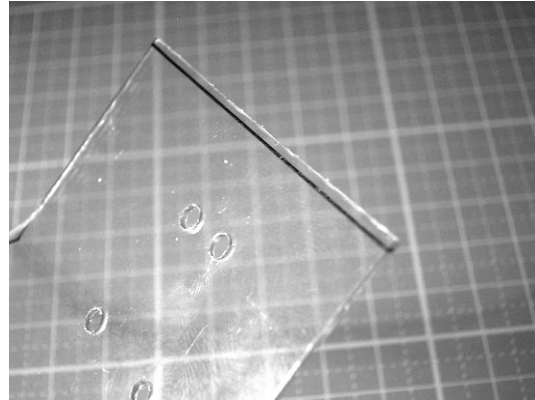


図 3-8-4-37 硬質塩化ビニル板の下部を切り落とすのも修正方法の一つ

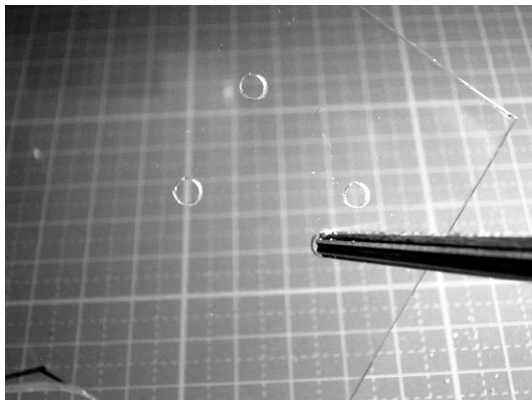


図 3-8-4-38 リーマによる穴の拡大は、金折れが取り付けられないときだけでなく、位置の微調整にも効果が有る

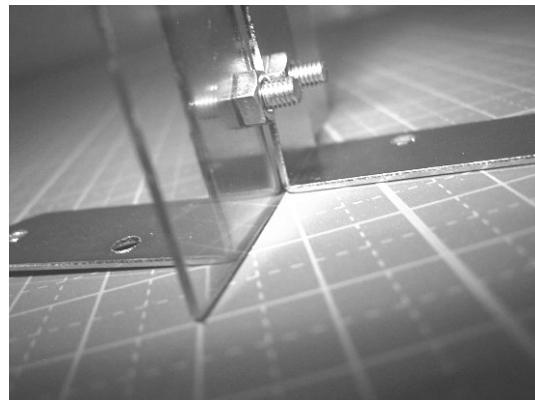


図 3-8-4-39 適正な状態は、2つの金折れをしっかりと固定した状態で、作業台の面に、片方の金折れは密着し、もう一方は角だけが接する

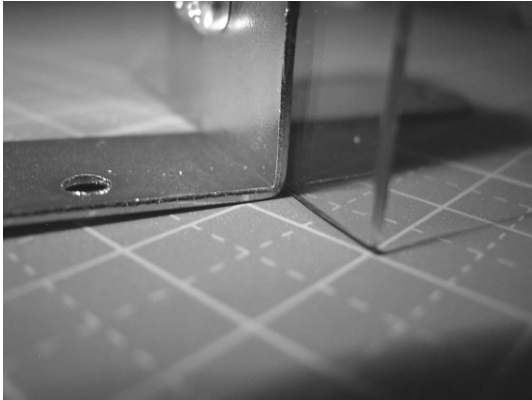


図 3-8-4-40 この段階で金折れが両方同時に床に密着することはない

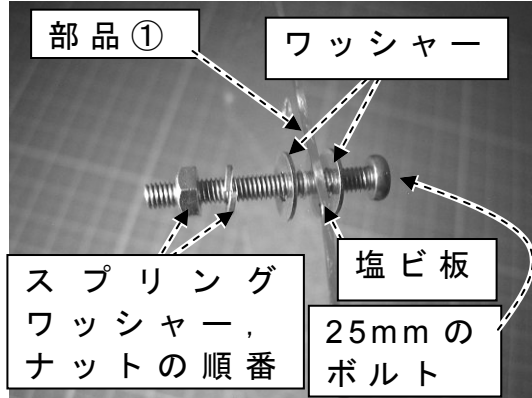


図 3-8-4-41 部品①に 25mm のボルトを通すが，位置と向きは図 3-8-4-22 の通り



図 3-8-4-42 スプリングワッシャーがつぶれるまでナットを締める



図 3-8-4-43 シリンダヘッド部をはずし，組立てている機構部を乗せる

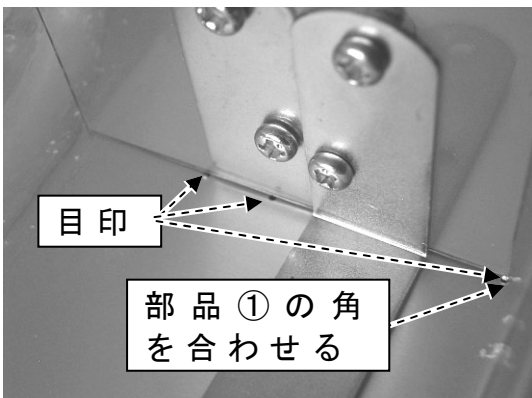


図 3-8-4-44 機構部の角をシリンダヘッド部の目印の穴に合わせる

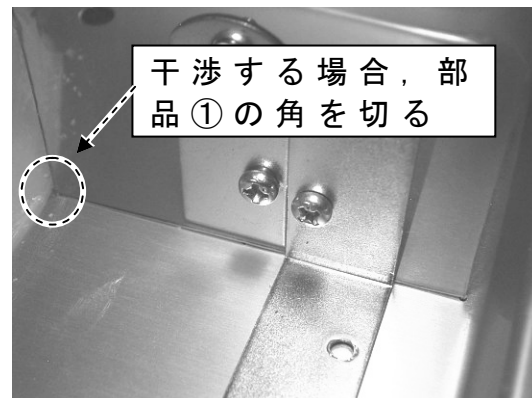


図 3-8-4-45 位置を合わせると目印は見えなくなる



図 3-8-4-46 シリンダヘッド部の目印に合わせて機構部を乗せ，金折れ外側の穴の位置が分かるようにシリンダヘッドに油性ペンで目印を入れる

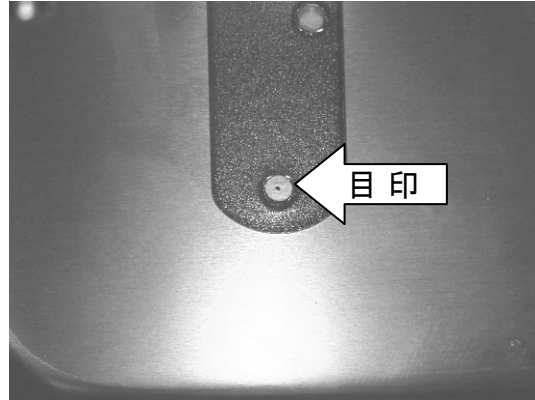


図 3-8-4-47 一つ目の目印

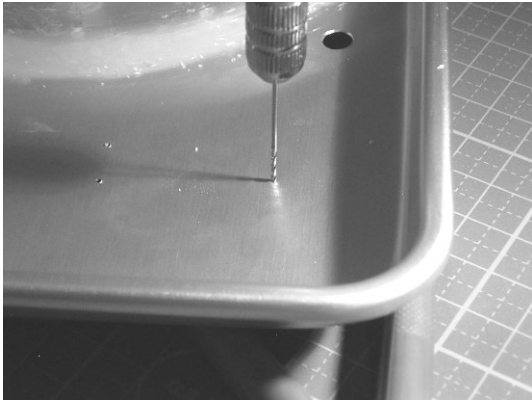


図 3-8-4-48 目印に合わせて下穴をあけるが，シリンダヘッド部が揺れないように下に物をはさんで作業をする

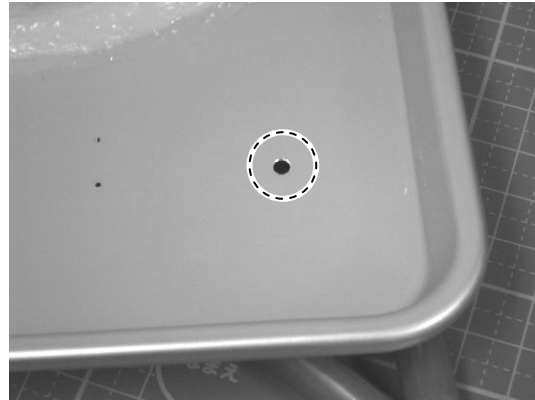


図 3-8-4-49 一つ目の穴をφ3.0mmのドリルであける

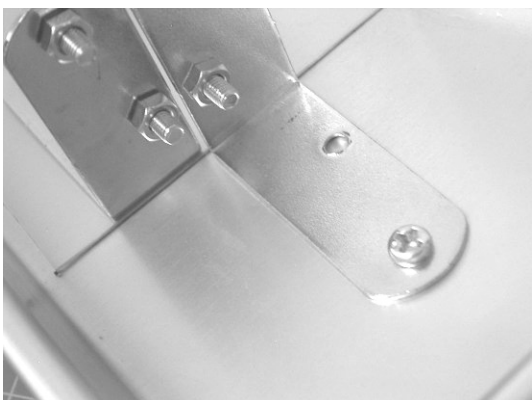


図 3-8-4-50 一つ目の穴で機構部を仮留めするが，強く締めない

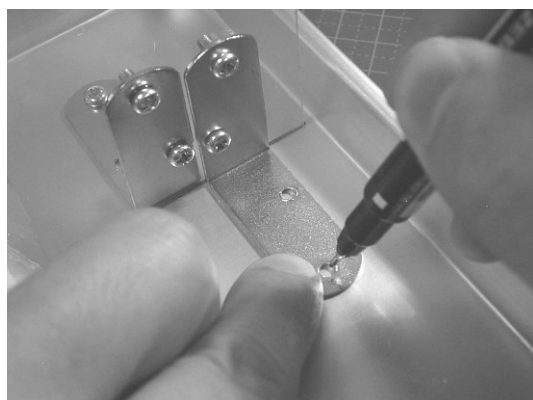


図 3-8-4-51 反対側の金折れでも作業は同様だが，目印を入れる際に金折れを押さえる

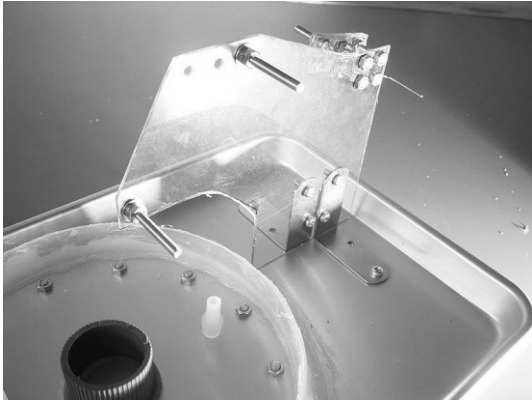


図 3-8-4-52 穴が 2 つあいたら、シリンダヘッド部の目印に合わせて機構部を、15mm のボルトとナットで固定する

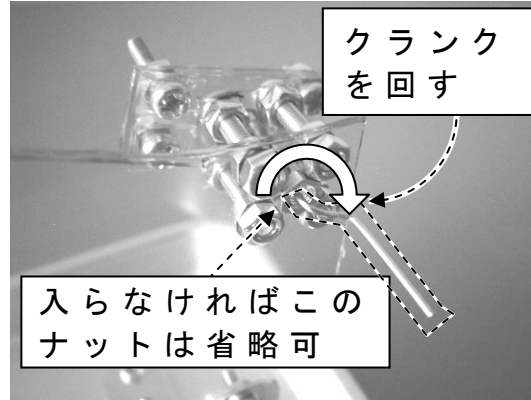


図 3-8-4-53 クランクが部品②を留めるナットの間にはまらないようにして、クランクの軽く滑らかな回転を確認する

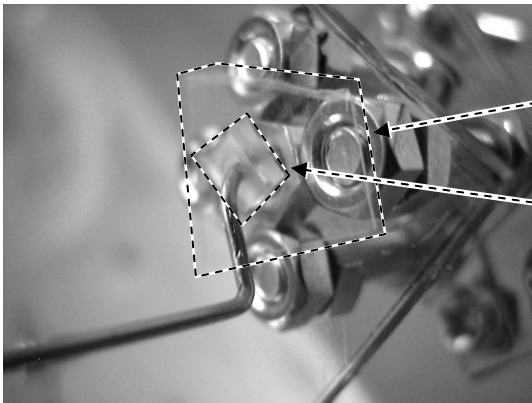


図 3-8-4-54 4つのナットを覆う大きさの薄いプラスチック板に $\phi 1.0\text{mm}$ の穴をあけ、クランク軸を奥まで通し、チューブの切れ端で外れないようにする

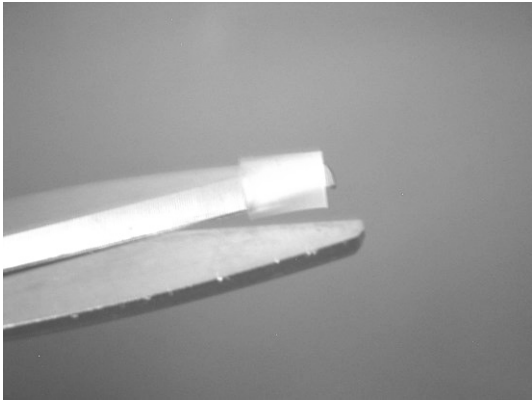


図 3-8-4-55 適当な長さのチューブを切り開く

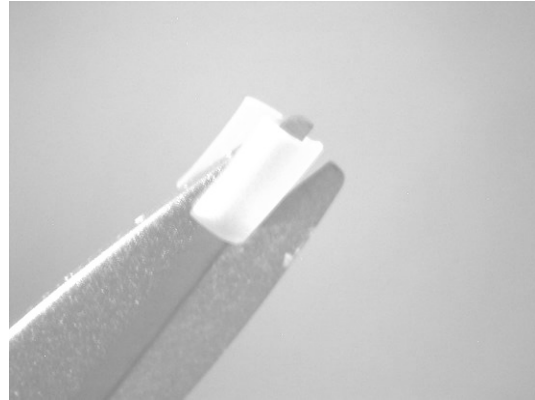


図 3-8-4-56 チューブを縦に割る

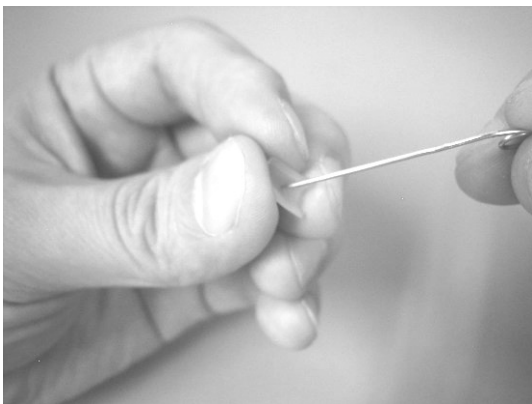


図 3-8-4-57 割ったチューブにゼムクリップの切断面を押し当てる

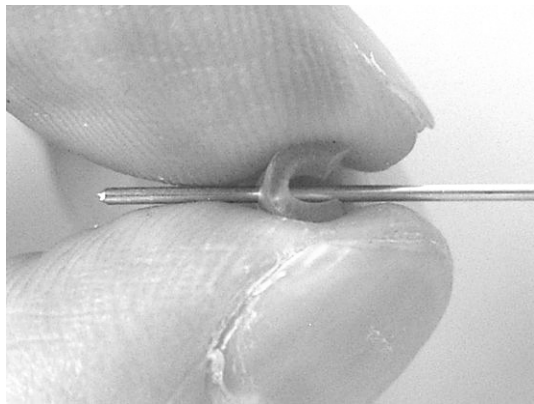


図 3-8-4-58 手を突き刺さないように注意しながら、突き通し，穴の周囲の余分な部分を切り落とす

● 3-8-5 リンク機構の組み立てと本体の組み立て

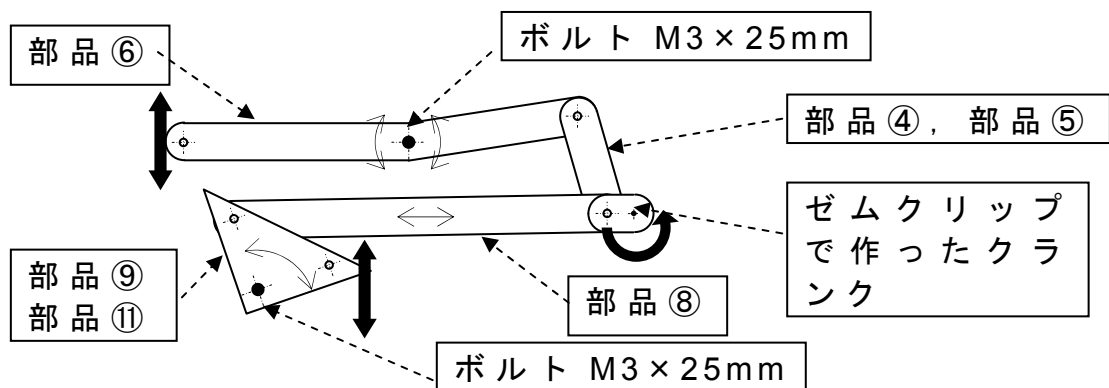


図 3-8-5-1 リンク機構の構造と動作の概要および部品の対応

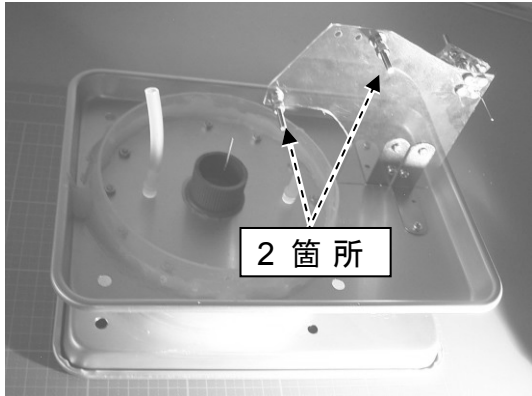


図 3-8-5-2 支持部の 25mm のボルト 2 本にナット・スプリングワッシャー・ナットをそれぞれ追加する

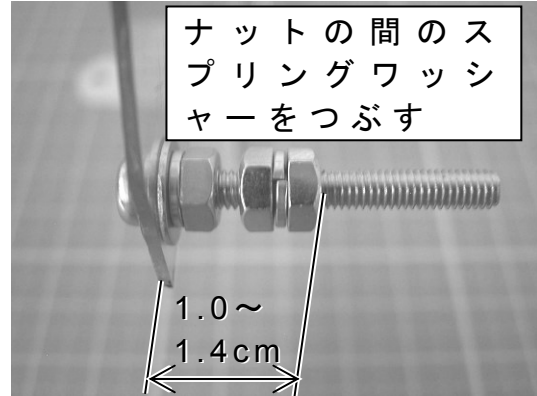


図 3-8-5-3 M3×25mm のボルト 2 本にそれぞれ追加したナットとスプリングワッシャーの拡大図

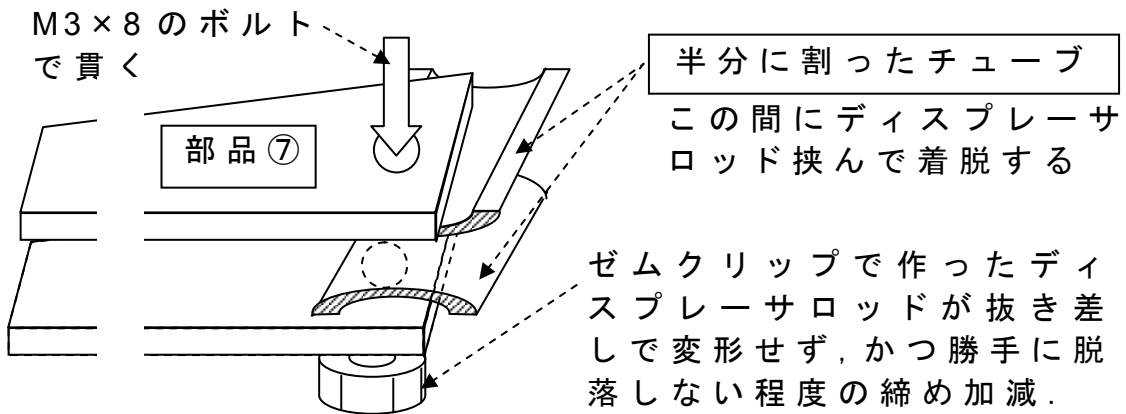


図 3-8-5-4 ディスプレーサロッドを取り付ける部品の構成

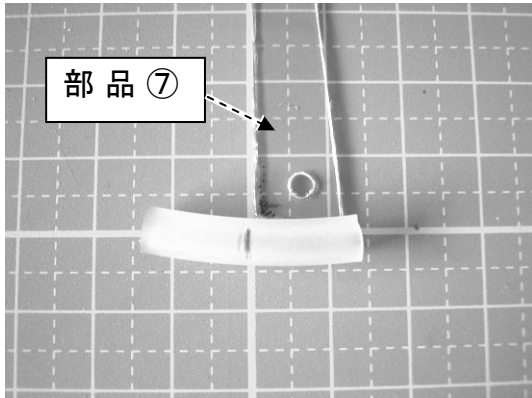


図 3-8-5-5 ディスプレーサロッドを取り付ける部品の組み立て手順 1, 部品⑦の幅を参考にチューブを切る

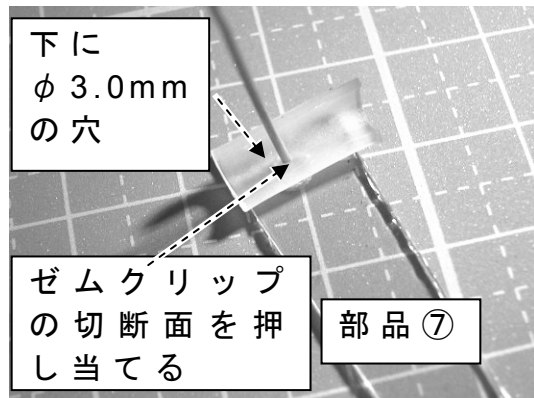


図 3-8-5-6 ディスプレーサロッドを取り付ける部品の組み立て手順 2, チューブを縦に割り, ボルトを通す位置に小さな穴を貫通させる

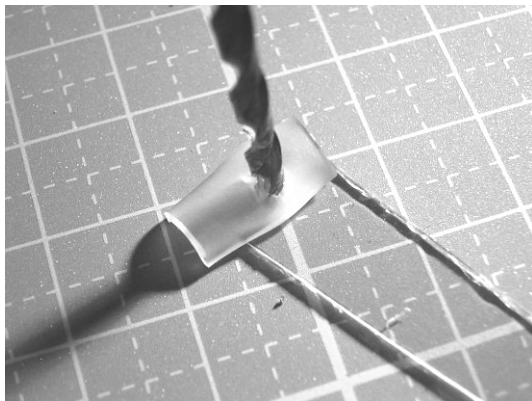


図 3-8-5-7 ディスプレーサロッドを取り付ける部品の組み立て手順 3, 小さな穴に φ 3.0mm のドリルを通す



図 3-8-5-8 チューブの穴にドリルが通った状態で, 穴は丸くない

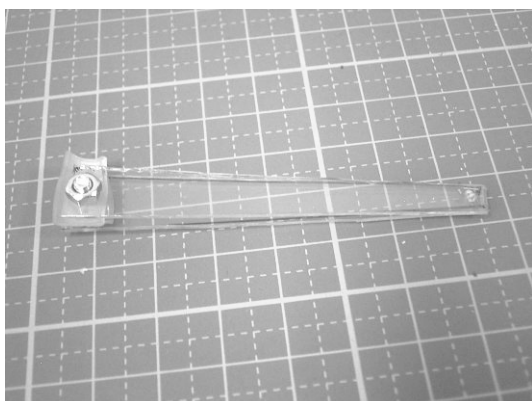


図 3-8-5-9 部品を揃えて, ディスプレーサロッドを取り付ける部品の組み立てた状態

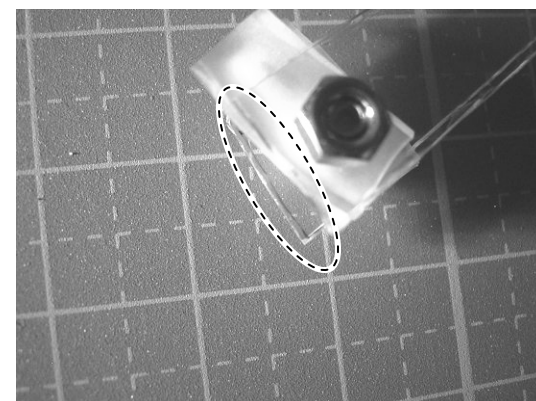


図 3-8-5-10 割ったチューブの下がはみ出していたら, 部品⑦を修正する

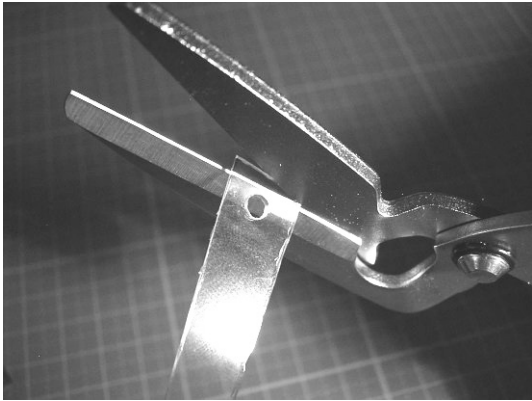


図 3-8-5-11 部品⑦が割ったチューブの下からはみ出していたら、ボルトの穴に近いところで切り落とす

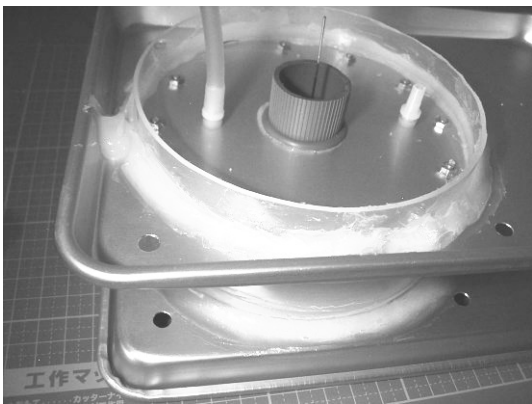


図 3-8-5-12 中にディスプレイサを入れ、シリンダヘッド部に空気抜きのチューブとベローズを接続するチューブが挿入されていることを確認し、異物が挟まないように注意しながら、シリンダ部とシリンダヘッド部を組み合わせしておく

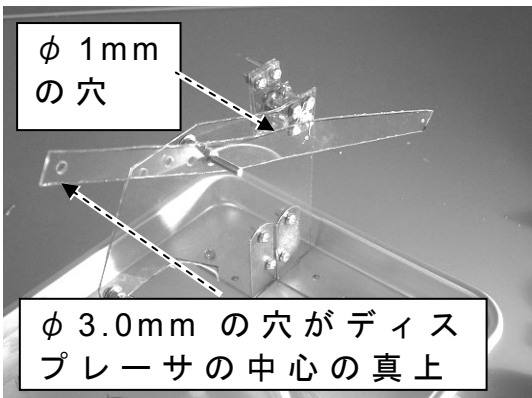


図 3-8-5-13 上の M3×25mm のボルトに部品⑥をはめる

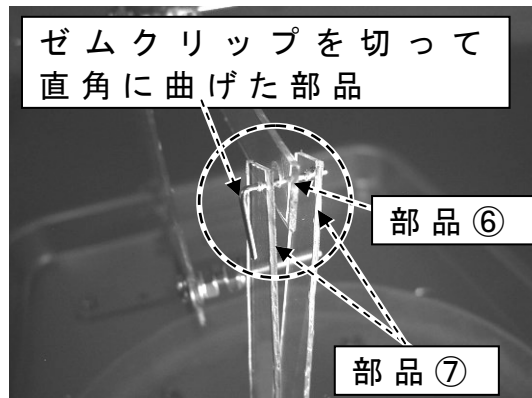


図 3-8-5-14 ディスプレーサロッドを取り付ける部品のφ1.0mmの穴の辺りを開き、間に部品⑥を通し、ゼムクリップから切り出して直角に曲げた金属線を三つの穴に通す

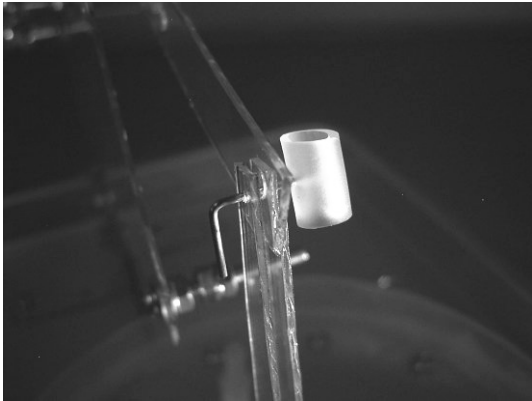


図 3-8-5-15 ゼムクリップを切って直角に曲げた部品が脱落しないように，先端を短いチューブに挿し込むが，チューブにはあらかじめ穴をあけておく

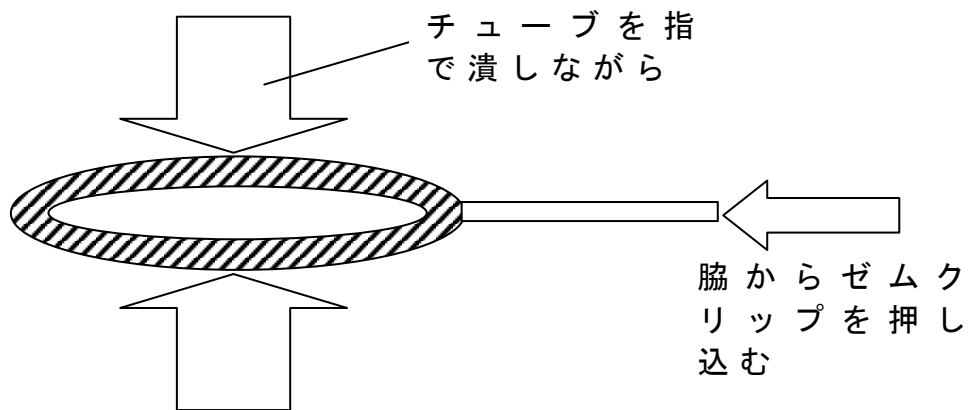


図 3-8-5-16 チューブにゼムクリップの切断部を差し込む方法

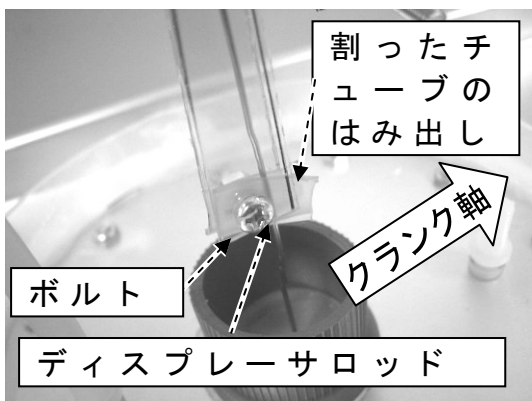


図 3-8-5-17 機構部とディスプレイサロッドを接続する

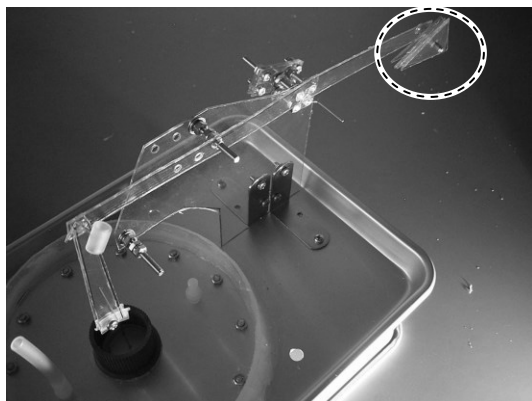


図 3-8-5-18 ディスプレーサに対するカウンターウェイトとして部品⑥の端に取り付ける部品⑬の数を決める



図 3-8-5-19 カウンターウェイトの数を決める手順 1 : 部品⑥の端に 15mm のボルトをナットで固定する

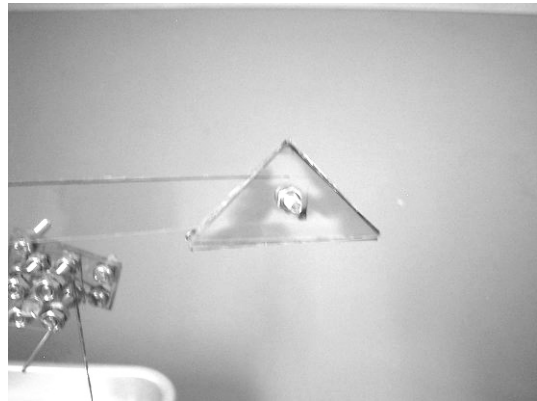


図 3-8-5-20 カウンターウェイトの数を決める手順 2 : 固定したボルトに部品⑬をはめて、おおまかにバランスがとれる数を見積もる

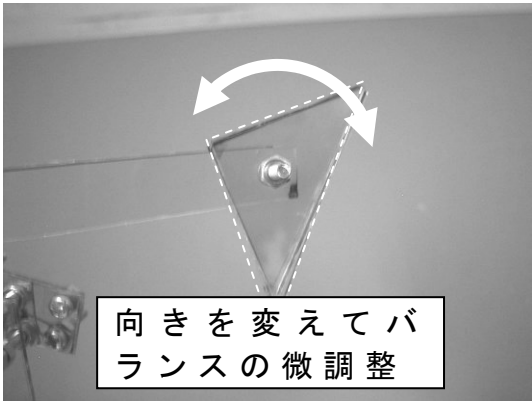
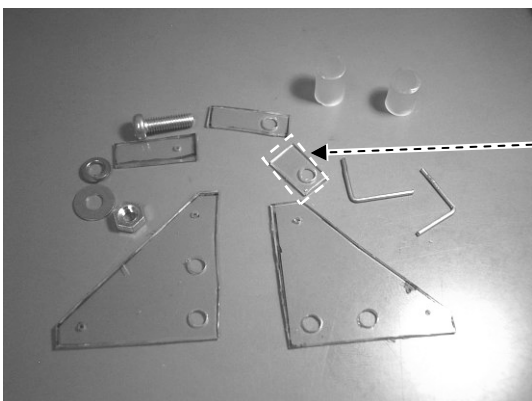


図 3-8-5-21 ナットを留め直して部品⑬の向きを変えると微調整ができるが、バランスが取れると手を離れた位置でディスプレイサが止まるようになる



ここではワッシャー 2 枚に換えて部品⑰に類似した部品を用意した

図 3-8-5-22 リンクを作る部品として、部品⑨ 2 個，部品⑩，部品⑪，切断したゼムクリップを曲げた部品と短いチューブ各 2 個，8mm のボルト，ナット，スプリングワッシャー，ワッシャー 3 枚を用意する

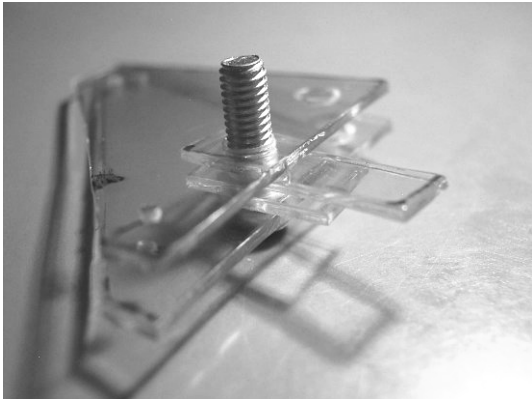


図 3-8-5-23 部品⑨の間に部品⑪とワッシャー3枚をはさみ，8mmのボルトを通すが，このボルトの向きが後々良い

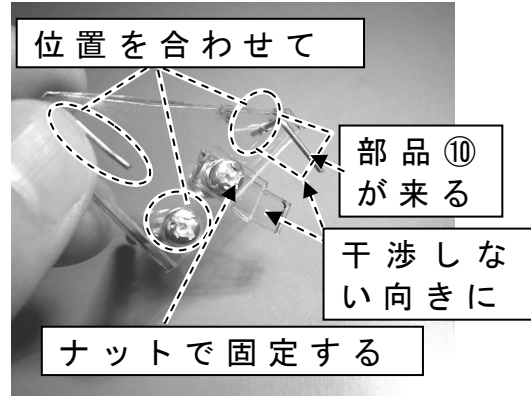


図 3-8-5-24 穴の位置を金属線やボルトで合わせ，ナットで部品⑨2枚と部品⑩を固定する

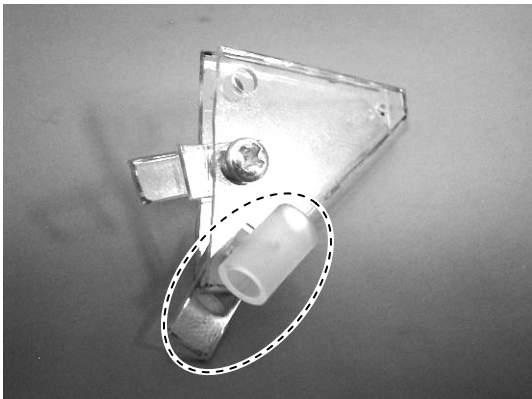


図 3-8-5-25 位置あわせの金属線やボルトをはずし，部品⑩を，ゼムクリップを切断して直角に曲げた金属線とチューブで取り付ける

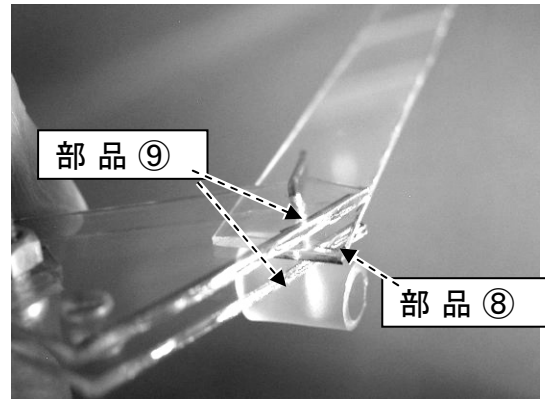


図 3-8-5-26 部品⑨の間に部品⑧を入れ，ゼムクリップを切って直角に曲げた部品で3つの板のφ1.0mmの穴を貫き，チューブで留める

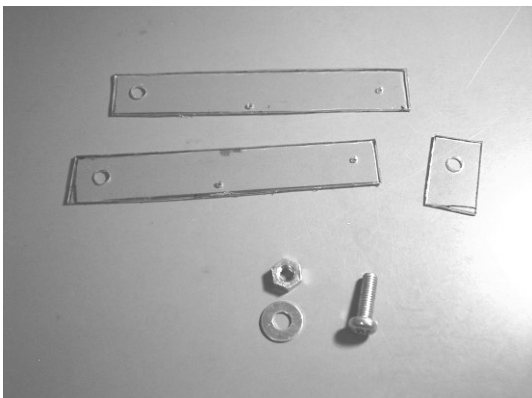


図 3-8-5-27 部品④2個，部品⑤，8mmのボルト，ナット，ワッシャーでリンクを作る

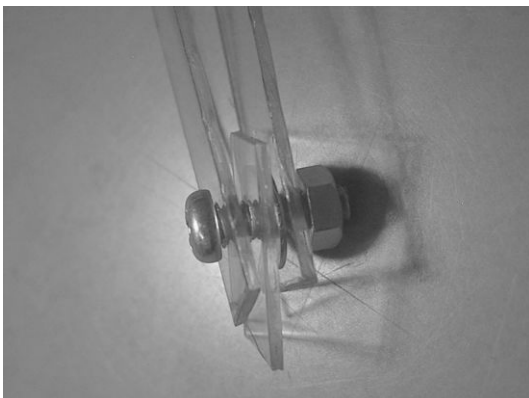


図 3-8-5-28 ワッシャーと部品⑤を部品④ではさみ，長さ8mmのボルトを通す

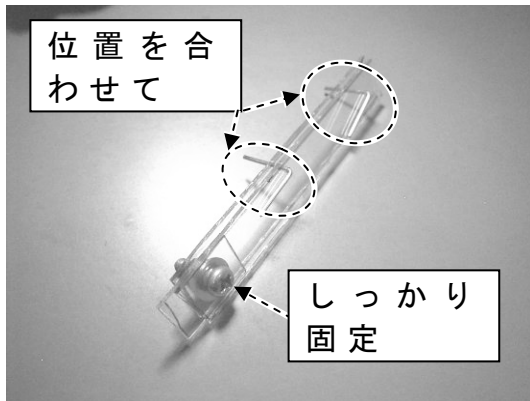


図 3-8-5-29 $\phi 1.0\text{mm}$ の穴 2 つの位置を合わせた状態で，ナットをしっかりと締めて固定する

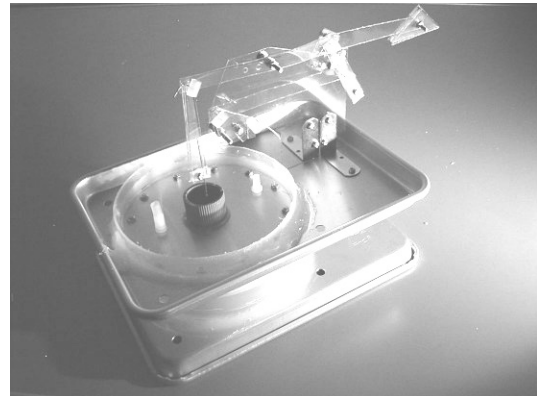


図 3-8-5-30 各リンクの組立てと加工が終わった後に，リンク機構の組立てで目指す状態

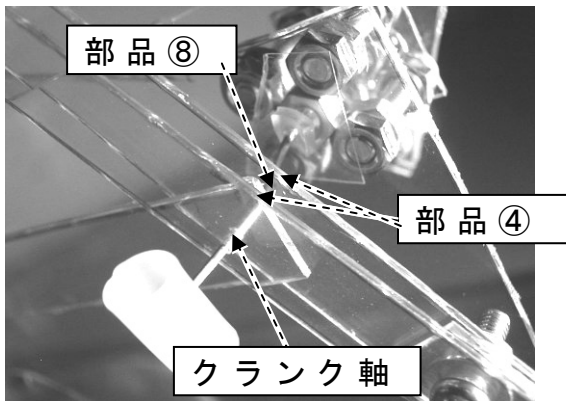


図 3-8-5-31 部品④と部品⑧の $\phi 1.0\text{mm}$ の穴にクランク軸を通すとき，部品⑧は部品④ 2 個の間に入る

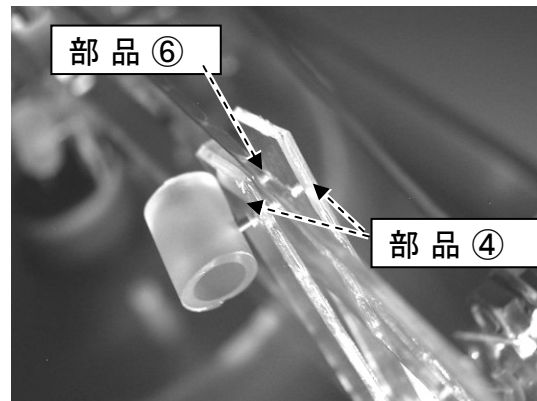


図 3-8-5-32 部品⑥も $\phi 1.0\text{mm}$ の穴で部品④とつなぐ際に，部品④ 2 個の間に入る

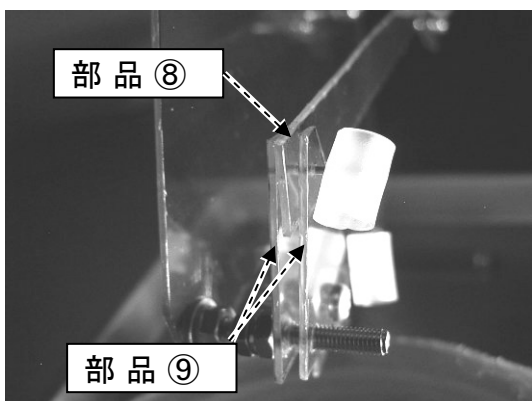


図 3-8-5-33 部品⑧も $\phi 1.0\text{mm}$ の穴で部品⑨とつなぐ際に，部品⑨の間に入る

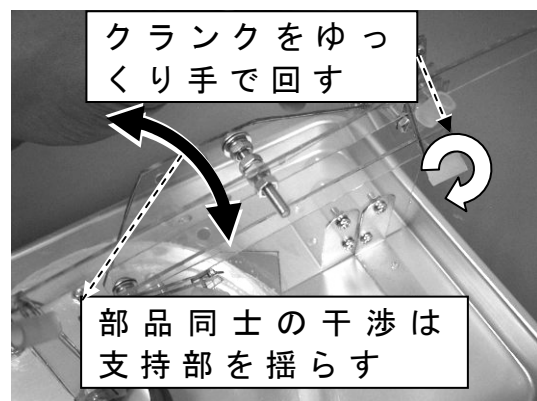
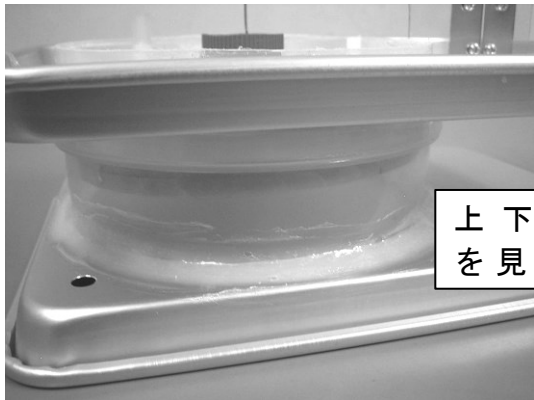
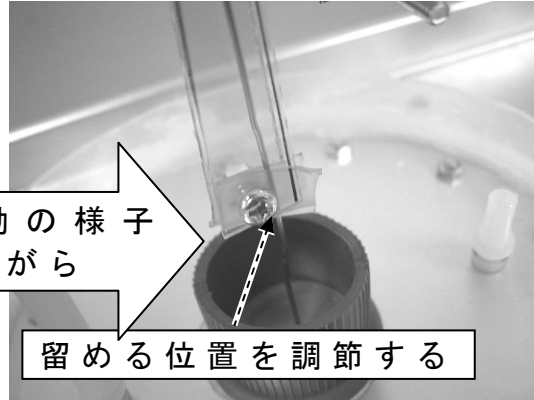


図 3-8-5-34 リンク機構をつないだら，クランク軸を手で回し，機構の干渉を確認する

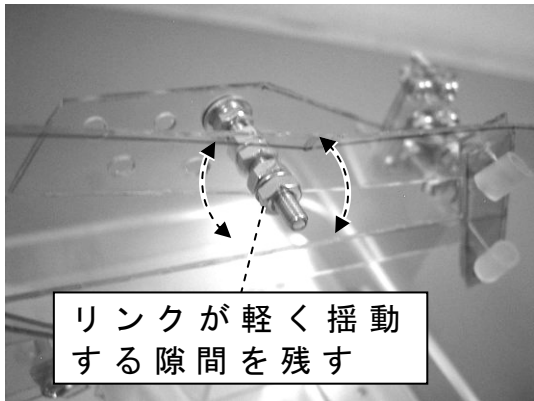


上下動の様子
を見ながら



留める位置を調節する

図 3-8-5-35 ディスプレーサロッドの取り付け位置は，ディスプレイサの動きを見て調節するが，全くうまくいかない時はクランク軸の半径やディスプレイサの上下動が 20mm を超えていないか物差しで計る



リンクが軽く揺動
する隙間を残す

図 3-8-5-36 機構部の支持部に取り付けられた M3×25 のボルト 2 本それぞれにスプリングワッシャーを挟んだ二つのナットを取りつけ，リンクの脱落を防ぐ



図 3-8-5-37 部品⑨のリンクを留めるボルトも同様に，ナットの間のスプリングワッシャーはつぶすが，リンクを締め付けすぎないように加減する



図 3-8-5-38 空気抜きの穴のチューブをボルトでふさぐ

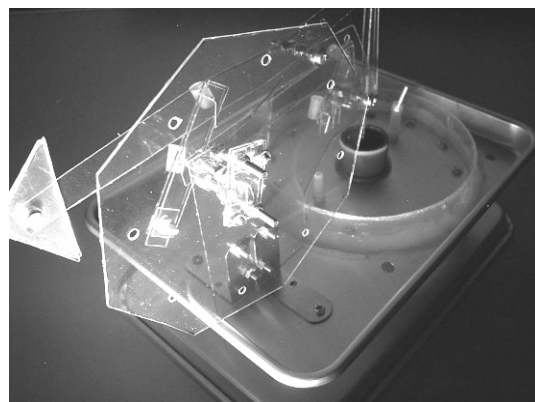


図 3-8-5-39 部品⑫をクランク軸に取りつけ，表裏を確認

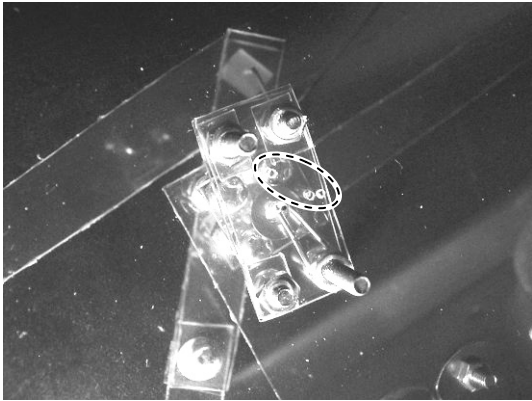


図 3-8-5-40 部品⑫の表裏の確認では、部品③と部品⑫の目印を合わせる

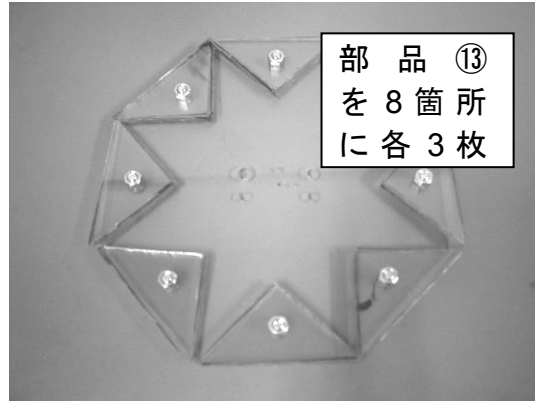


図 3-8-5-41 部品⑫に、8mmのボルト8本を支持部の反対側から挿し込み、支持部側の面に部品⑬24枚を取り付けてナットで固定し、フライホイールを完成させる

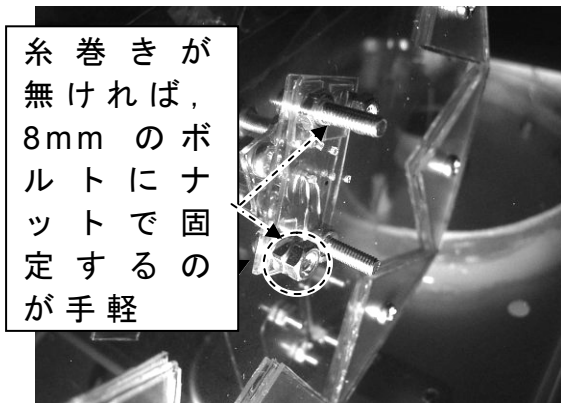


図 3-8-5-42 組立てたフライホイールをクランク軸に取り付け、ナットで固定するが、ナットは対角上の2個で十分

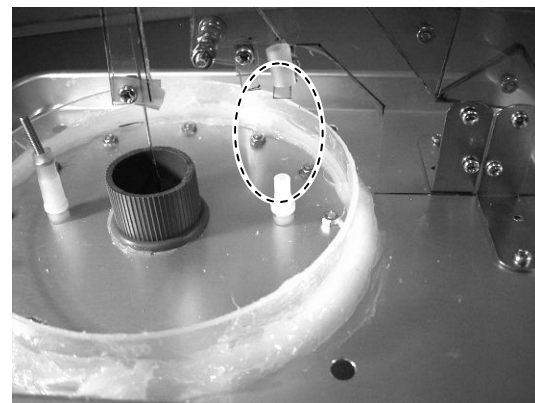


図 3-8-5-43 機構部を組立てた後、ベローズを取り付ける

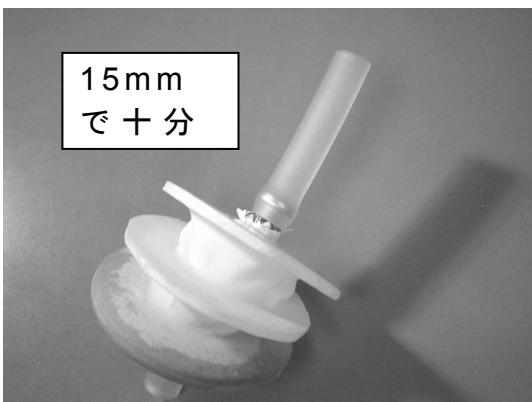


図 3-8-5-44 ベローズのボルトにチューブを取り付ける

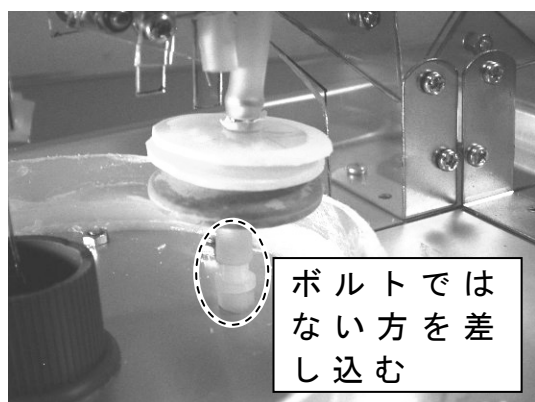
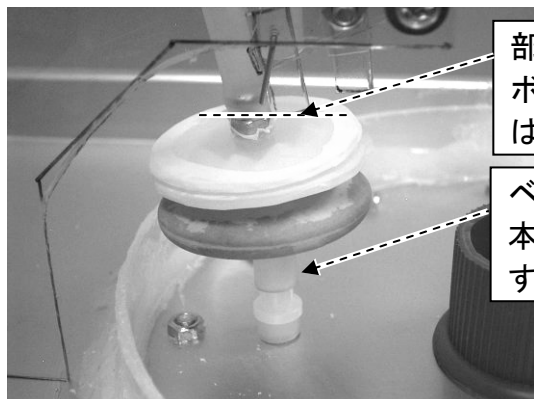


図 3-8-5-45 本体にベローズを取り付ける



部品⑩が下がると、ベローズのボルトのてっぺんより下がるのは、取り付け位置が高過ぎる。

ベローズの位置が高い場合は、本体との間を短くするが、短くする長さを確認する

図 3-8-5-46 ベローズが最も短く、部品⑩が最も下がるときの位置を確認する

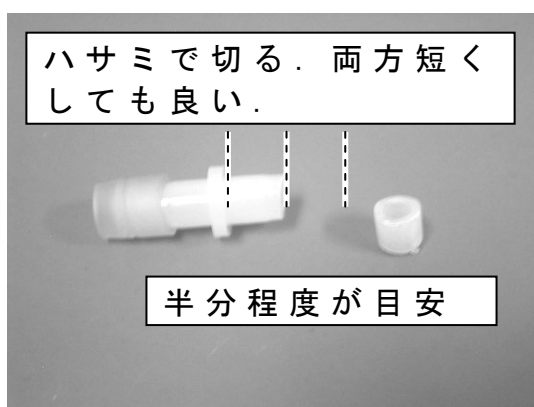


図 3-8-5-47 チューブを短くするだけで不足する場合は、シリンダヘッド上のチューブジョイントを短くする

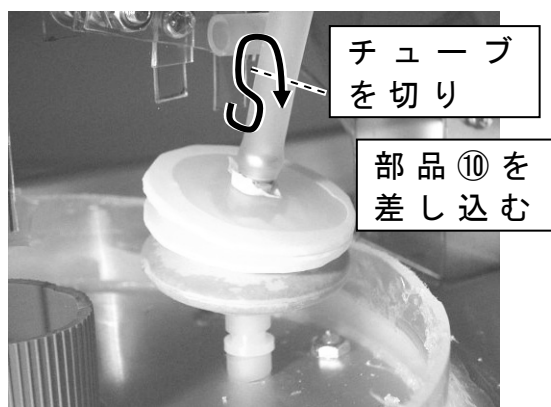


図 3-8-5-48 ベローズを取り付け、部品⑩とベローズを下げた状態で長さを調節し、ベローズと部品⑩を接続する

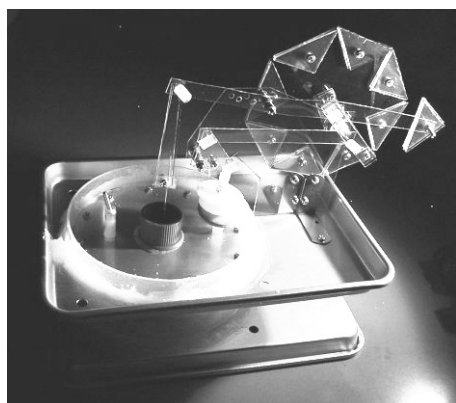


図 3-8-5-49 スターリングエンジンの形ができ、調整が必要な状態

● 3 - 9 調整と補修

● 3 - 9 - 1 試運転前の準備

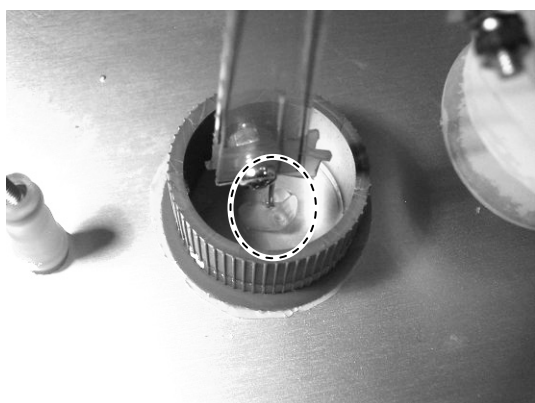


図 3-9-1-1 ディスプレーサ
ロッドが通るφ1.0mmの穴を
グリスで埋める

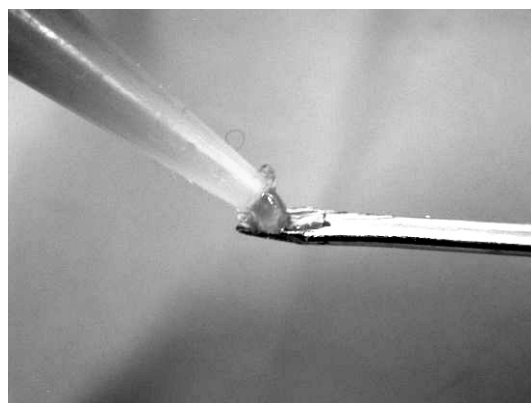


図 3-9-1-2 グリスを狭いと
ころに塗るときに，マイナ
スドライバを使うこともあ
る

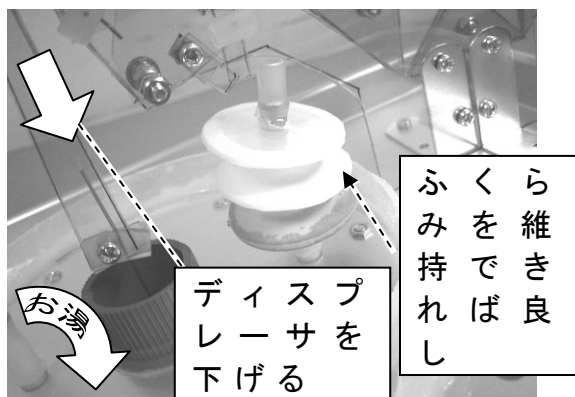


図 3-9-1-3 お湯を入れ,ディスプレイを下げた時に,ベローズが伸びたままでいらねば,気密がとれていないので不具合を探す

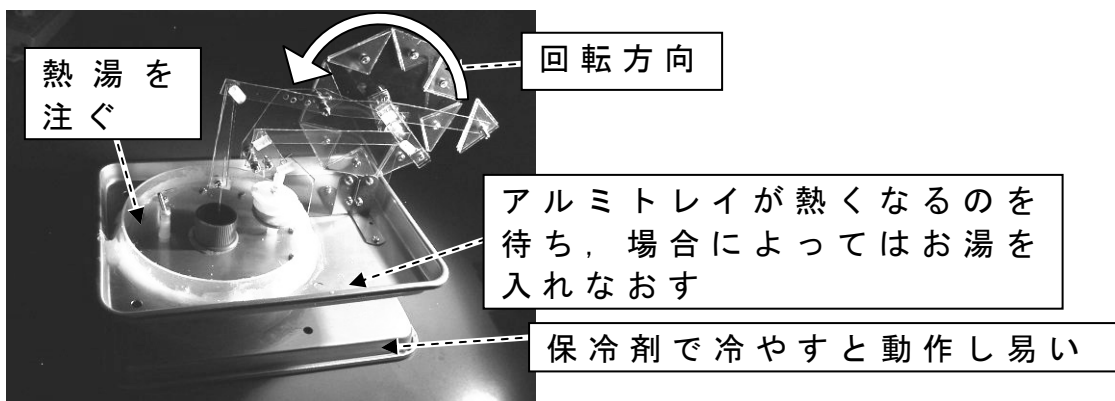


図 3-9-1-4 改めて機構部とベローズをつなぎ,試運転をする

● 3 - 9 - 2 自立運転しない場合の対応

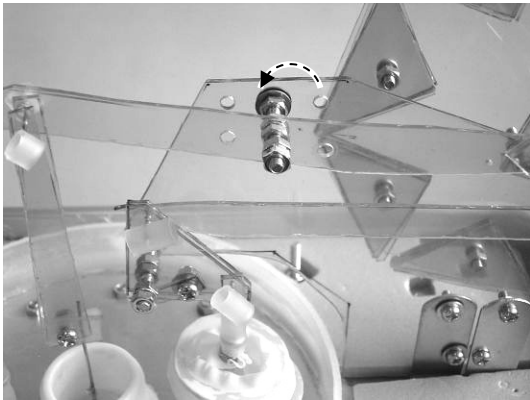


図 3-9-2-1 支点の変更

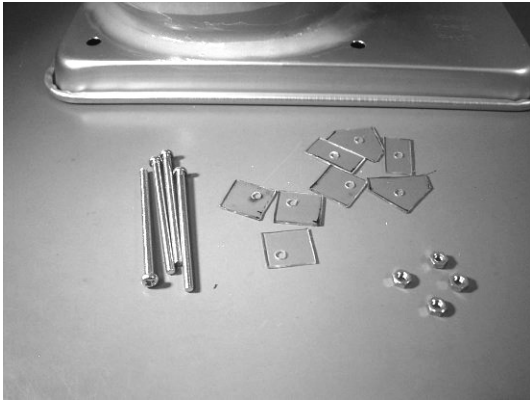


図 3-9-2-2 シリンダヘッド部とシリンダ部の締め付けに使うボルト，ナット，部品⑭，部品⑮，部品⑯

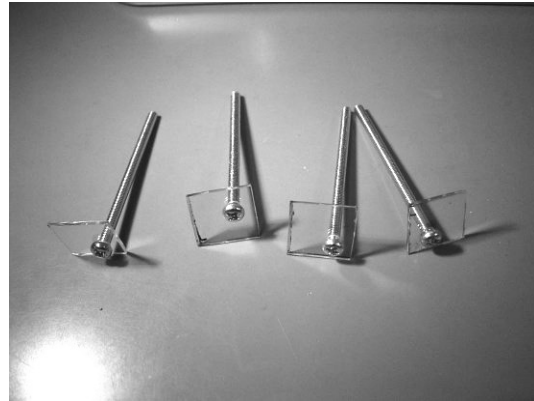


図 3-9-2-3 部品⑯にボルトを通す



図 3-9-2-4 部品⑯に通したボルトを，シリンダの底から通すが，この時点でシリンダヘッド部とシリンダ部の噛み合い部分はゴミが無いように掃除し，シリンダ部とシリンダヘッド部を閉じておく

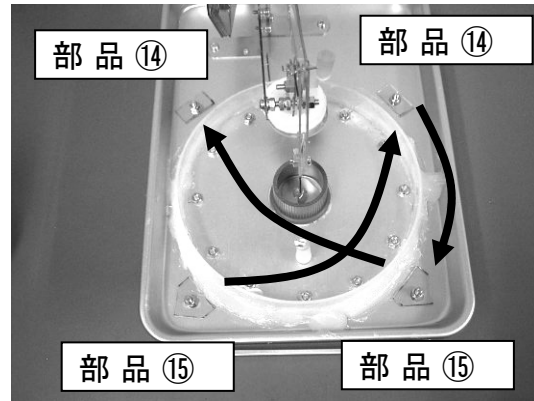
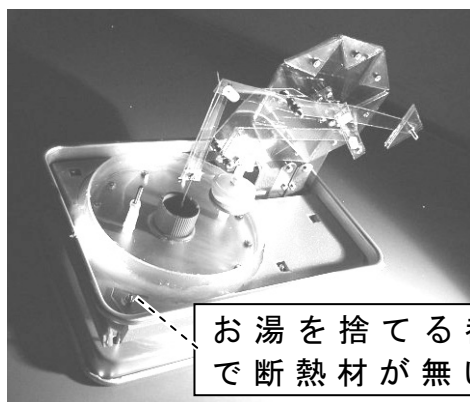


図 3-9-2-5 アルミトレイが簡単に歪むのでボルトとナットを締める力は加減し，また矢印で例示される「対角締め」という順番で締める

● 3 - 9 - 3 経時変化と経年変化への対応

● 3-10 追加部品

● 3-10-1 シリンダヘッドの断熱



お湯を捨てる都合
で断熱材が無い

図 3-10-1-1 シリンダヘッド
部を断熱する

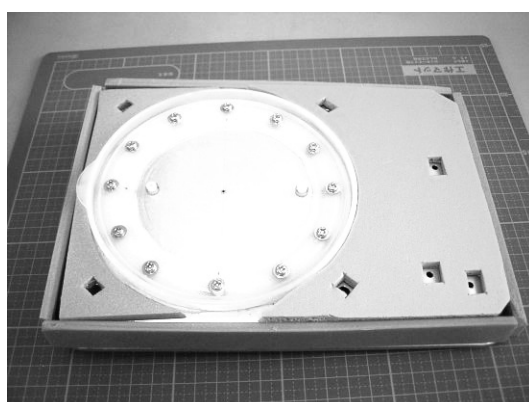


図 3-10-1-2 シリンダヘッド
部の裏側

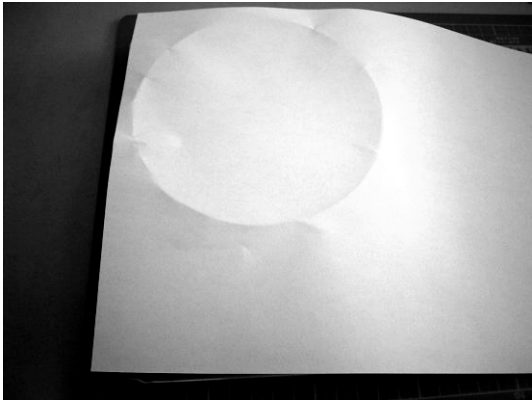


図 3-10-1-3 シリンダヘッド部裏側に紙を乗せてこする

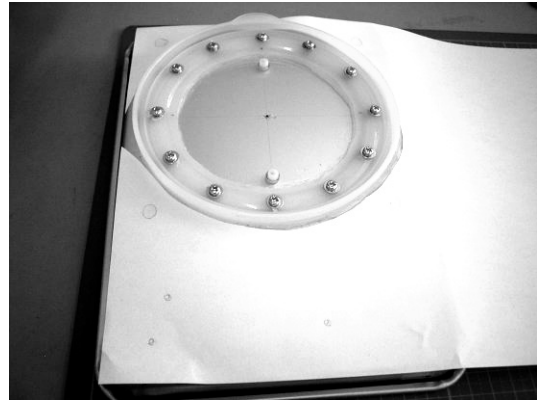
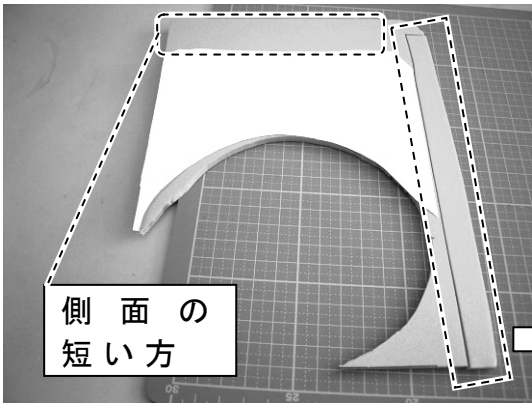


図 3-10-1-4 こすってできた折れ目を目安に，食品保存容器のフタを避ける型紙を作り，アルミトレイの形が写るように紙をこする



側面の
短い方

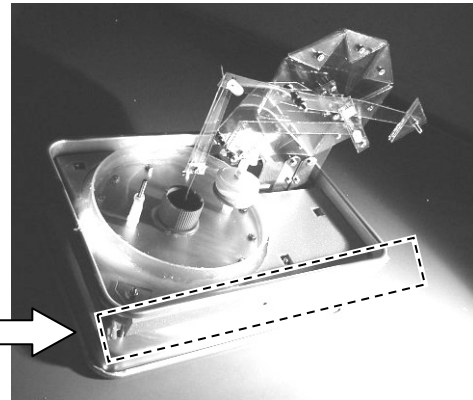


図 3-10-1-5 型紙で残すべき形を確認しながら，アルミトレイ側面の長手方向に張る部品を取り出す

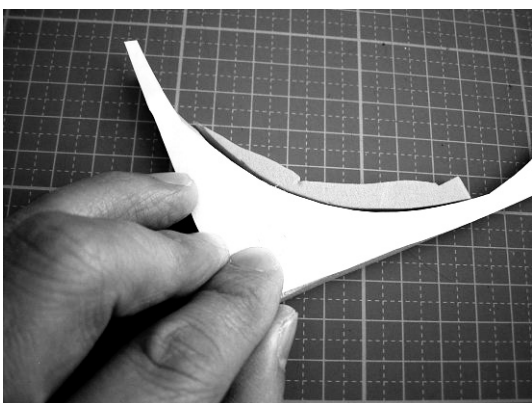


図 3-10-1-6 アルミトレイ上で $\phi 6.0\text{mm}$ の穴の位置も型紙に写し，型紙に合わせて発泡ポリスチレンパネルを切る

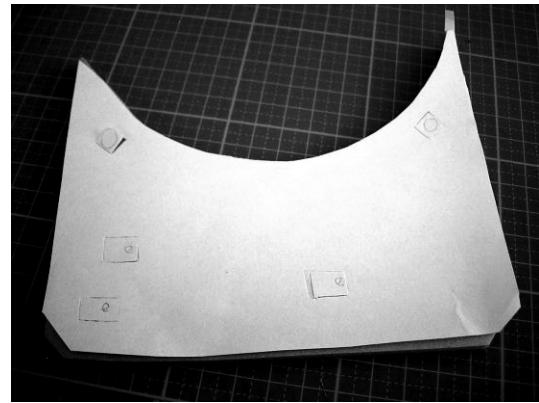


図 3-10-1-7 シリンダヘッド部裏側のパネルは，分割でも良く， $\phi 3.0\text{mm}$ の穴の脇に指が入る隙間をあけ， $\phi 6\text{mm}$ の穴には余計な隙間は不要

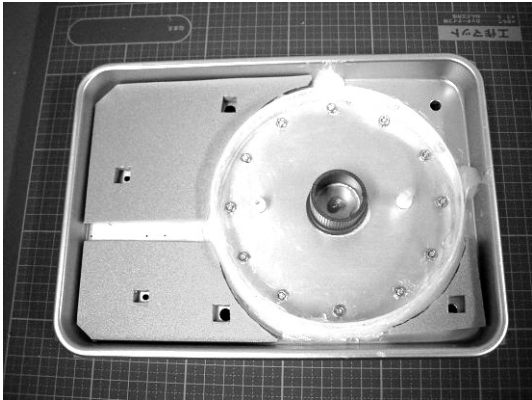
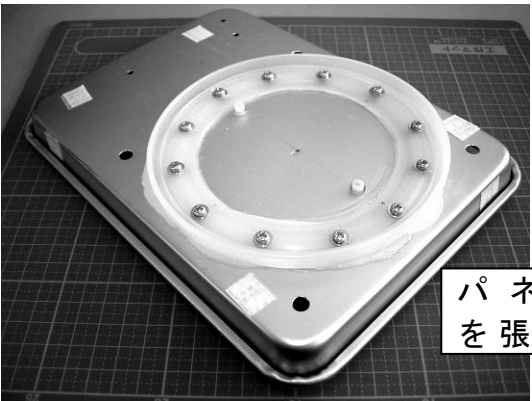


図 3-10-1-8 上側のパネルは、機構部とナットを避ける形に切り出され、設置は載せるだけである



図 3-10-1-9 お湯を捨てる際に脱落し易いパネルは、50mmのボルトと硬質塩化ビニル板の部品を追加して抑えられる



パネルを張る

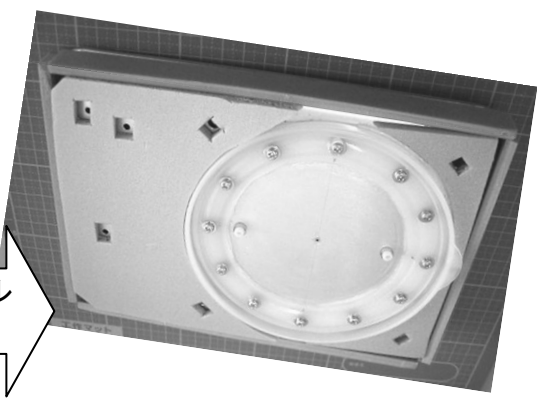


図 3-10-1-10 裏側と側面のパネルは両面テープで張るが、脱着を考慮して小さなテープにする

● 3 - 1 0 - 2 糸巻き

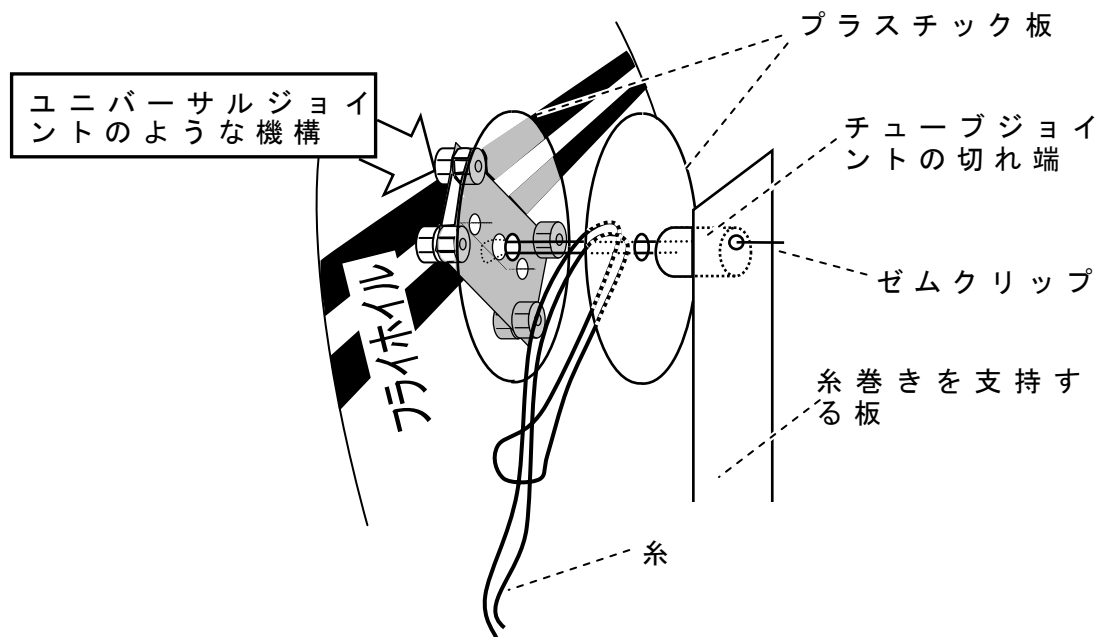


図 3-10-2-1 手作り模型スターリングエンジン用糸巻き

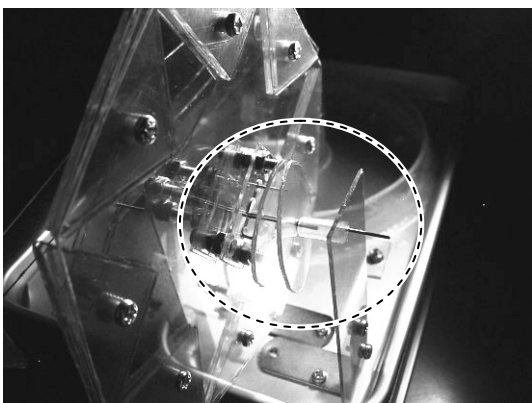


図 3-10-2-2 実際の糸巻き

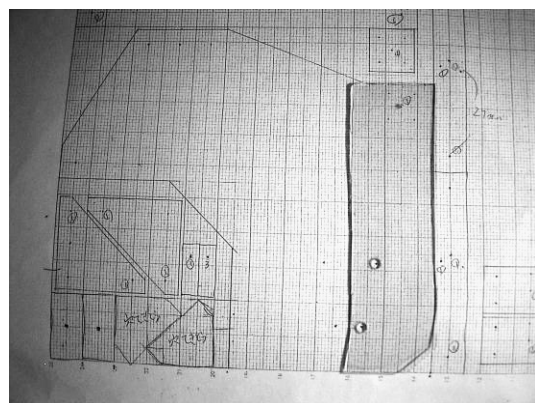


図 3-10-2-3 部品①の型紙に合わせ、クランク軸受けと金折れ1個の位置を合わせた部品を作るが、下の角はアルミトレイの縁に当たるので切る

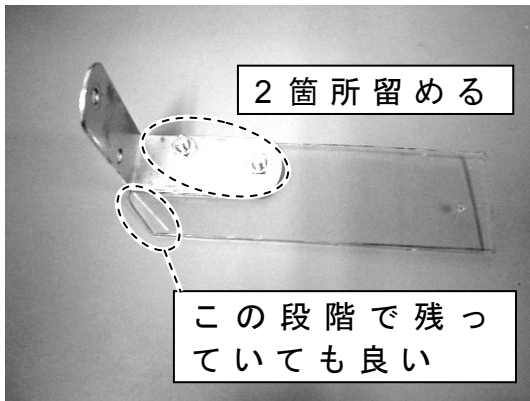


図 3-10-2-4 切り出した部品に金折れを取り付ける

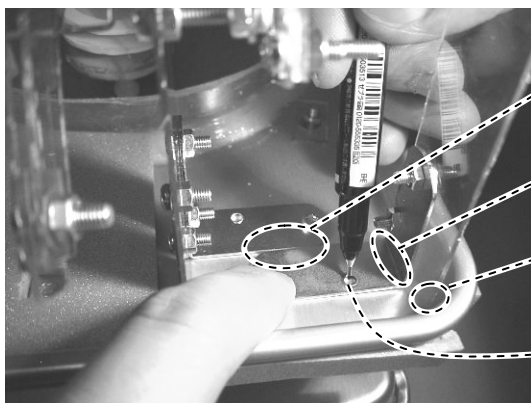


図 3-10-2-5 位置合わせ

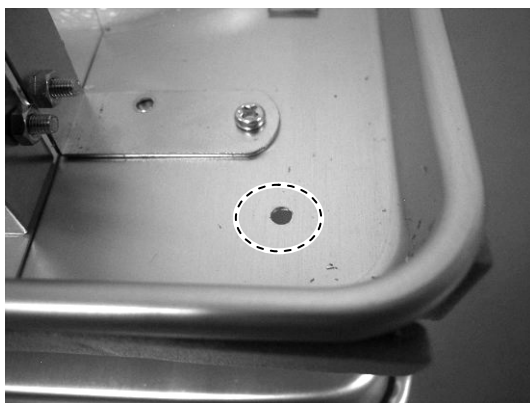


図 3-10-2-6 穴をあける

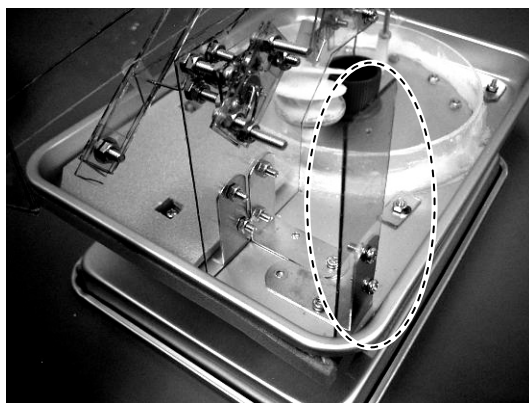


図 3-10-2-7 シリンダヘッド部に取り付ける

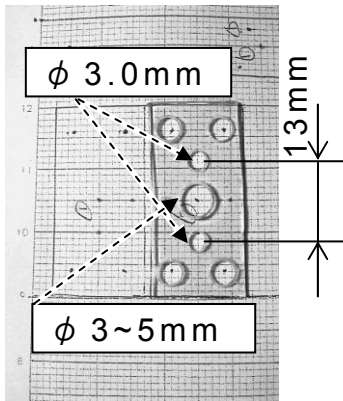


図 3-10-2-8 部品③の型紙をつかって一つ作る

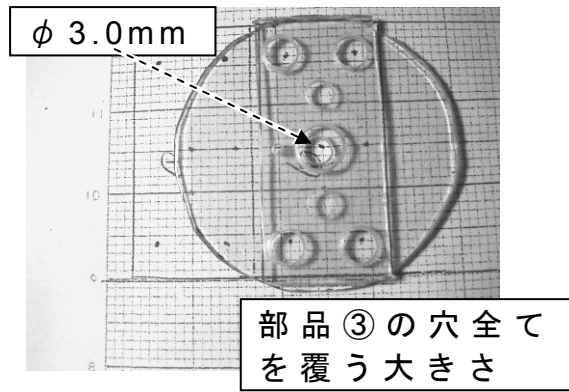


図 3-10-2-9 中心に穴のある円盤を2つ作る

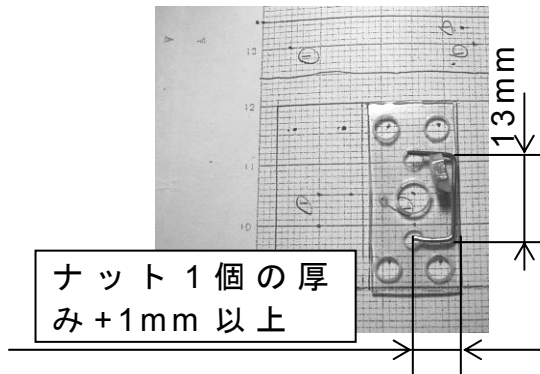


図 3-10-2-10 ゼムクリップでコの字型の部品を一つ作る

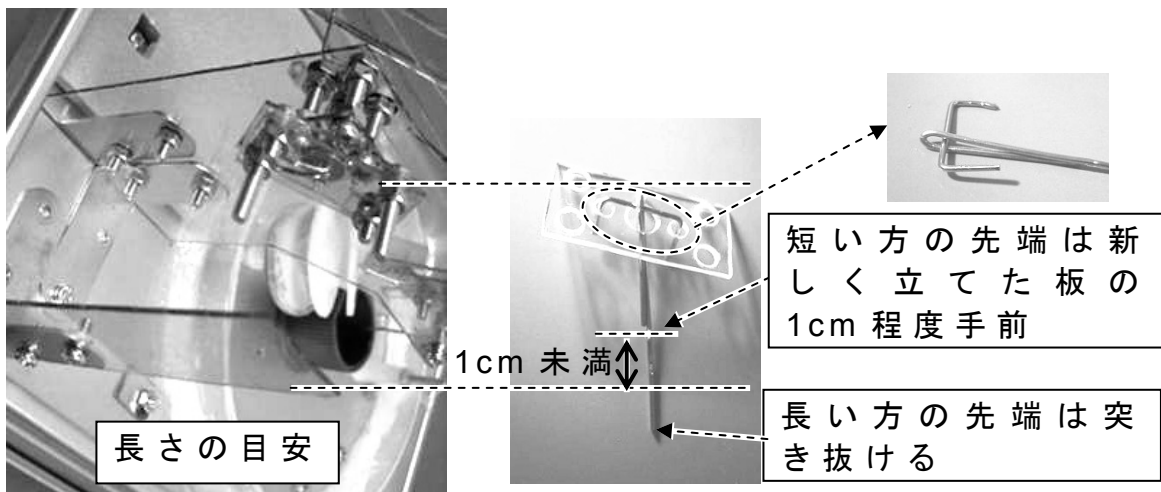


図 3-10-2-12 ゼムクリップで細長いη型の部品を作り，部品③に似た部品およびコの字型の部品と組み合わせる

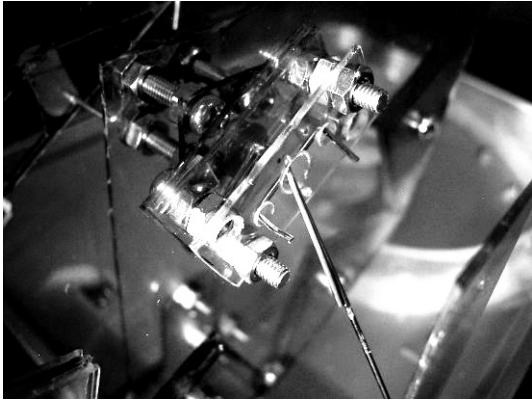


図 3-10-2-13 フライホイールを4つのナットで留め，図 3-10-2-12 で組んだ部品を上から被せ，2つのナットで留める

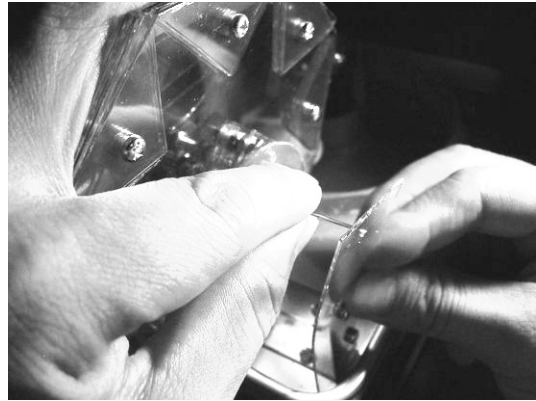


図 3-10-2-14 細いη型の金具を，穴のあいた2枚の円盤と短く切ったチューブジョイントに通し，新たな支持板を曲げながら支持板の穴に通す

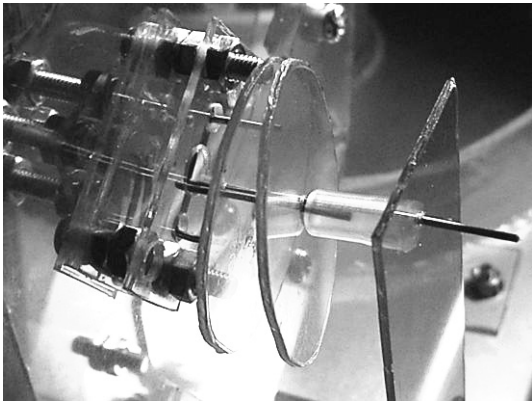


図 3-10-2-15 糸巻きを取り付けた状態

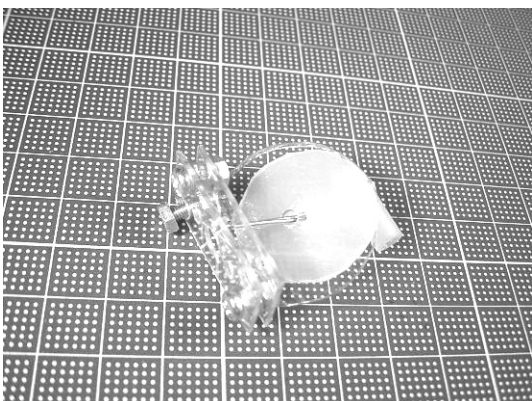


図 3-10-2-16 取り外した糸巻きの保管

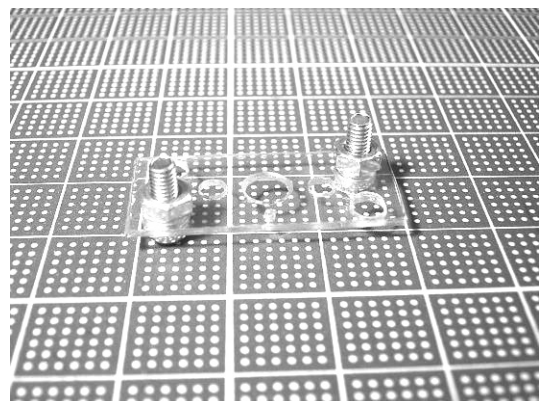


図 3-10-2-17 糸巻きを保管する道具

● 3 - 1 0 - 3 位相差の違いを試す機構の概要

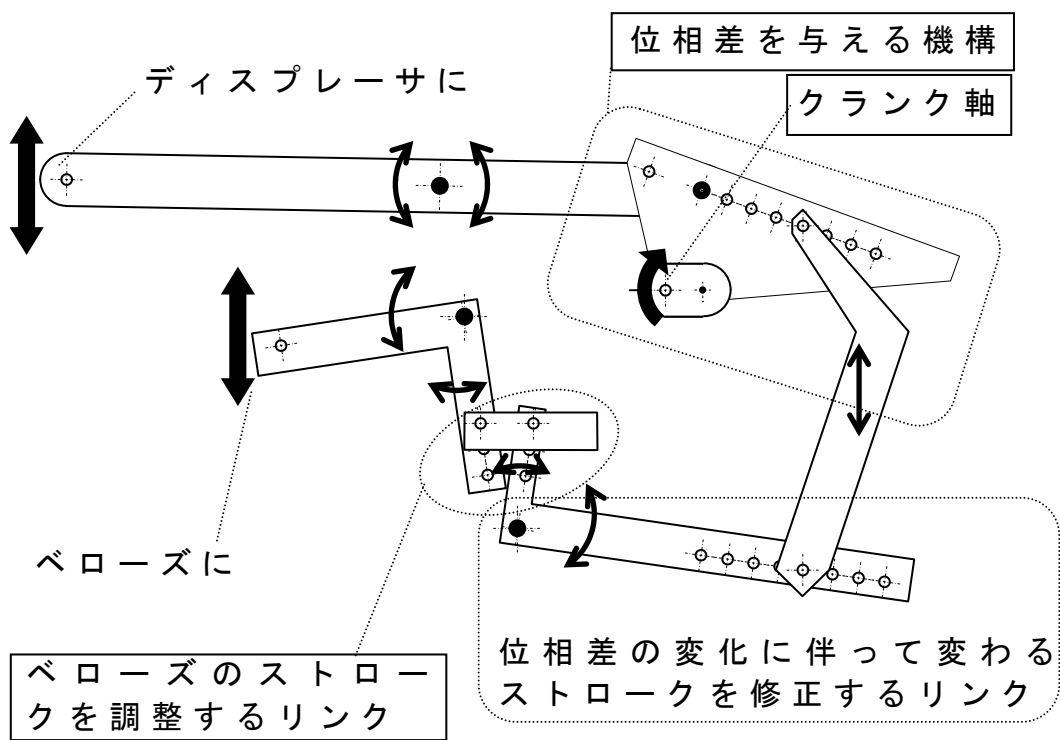


図 3-10-3-1 位相差を 120 から 180 度で試す機構

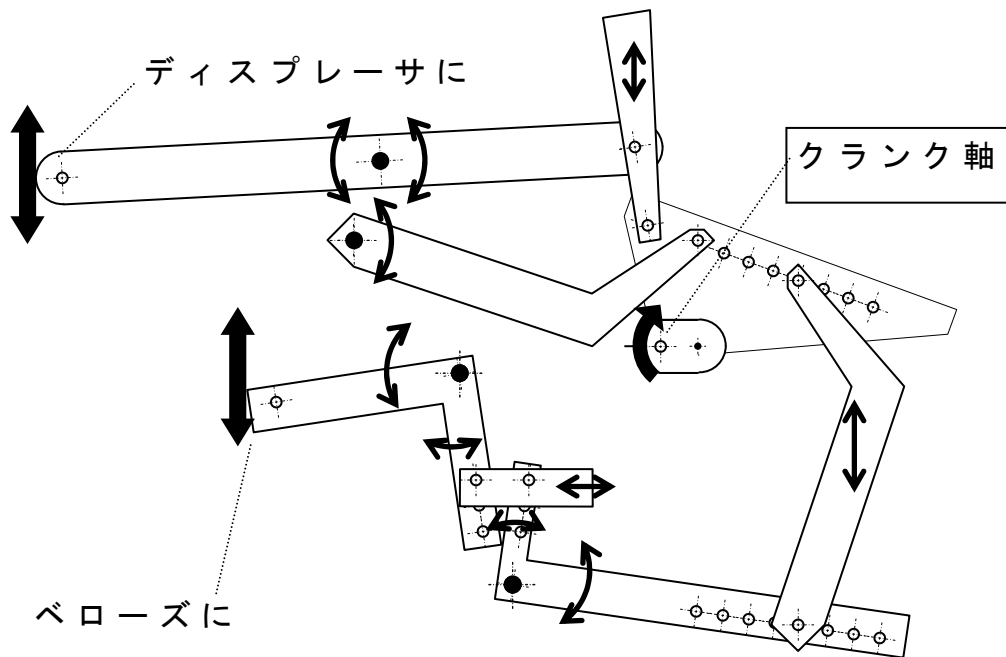


図 3-10-3-2 位相差を 90 から 150 度で試す機構

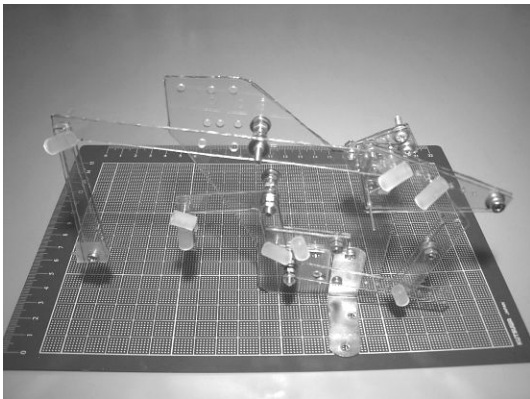


図 3-10-3-3 120 から 180 度の位相差を試す機構

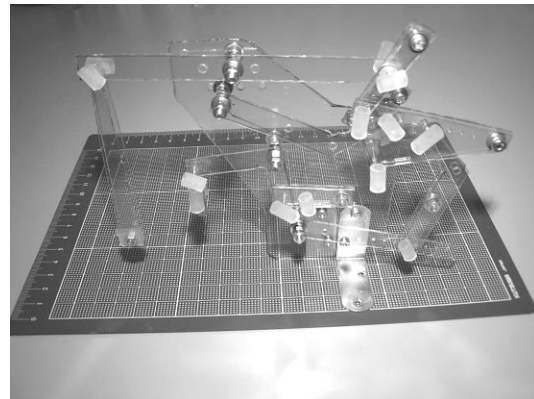


図 3-10-3-4 90 から 150 度の位相差を試す機構

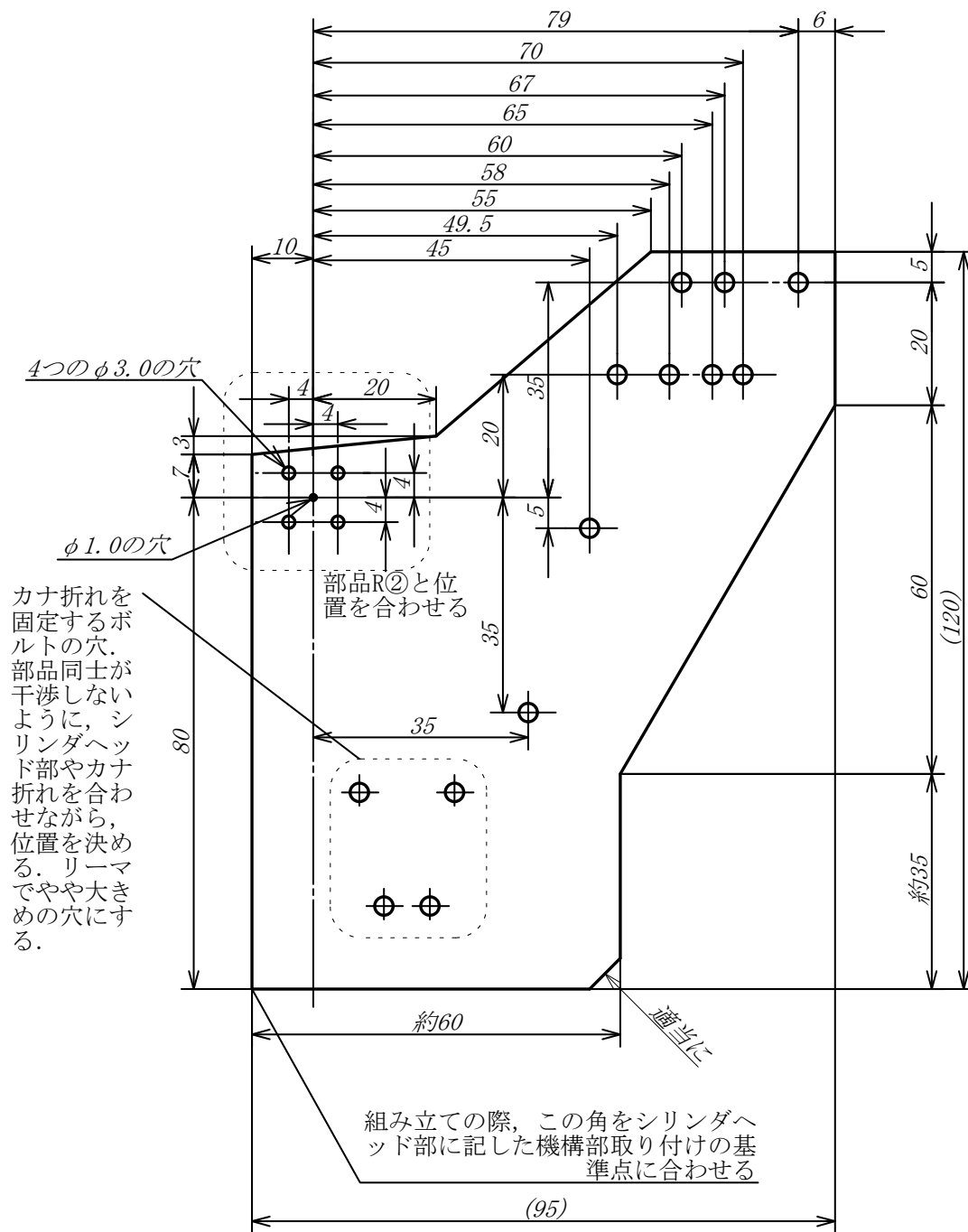


図 3-10-3-5 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R①)

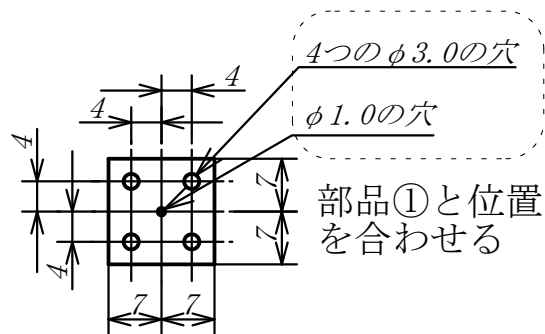


図 3-10-3-6 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R②)

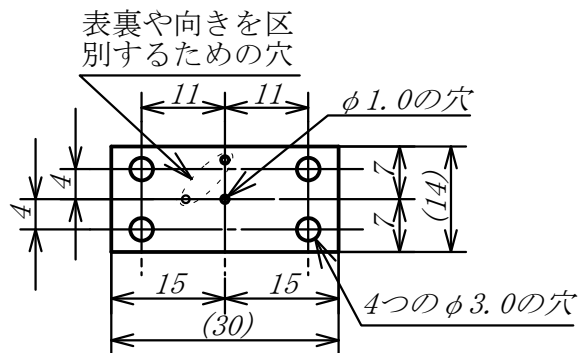


図 3-10-3-7 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R③ : 2 個)

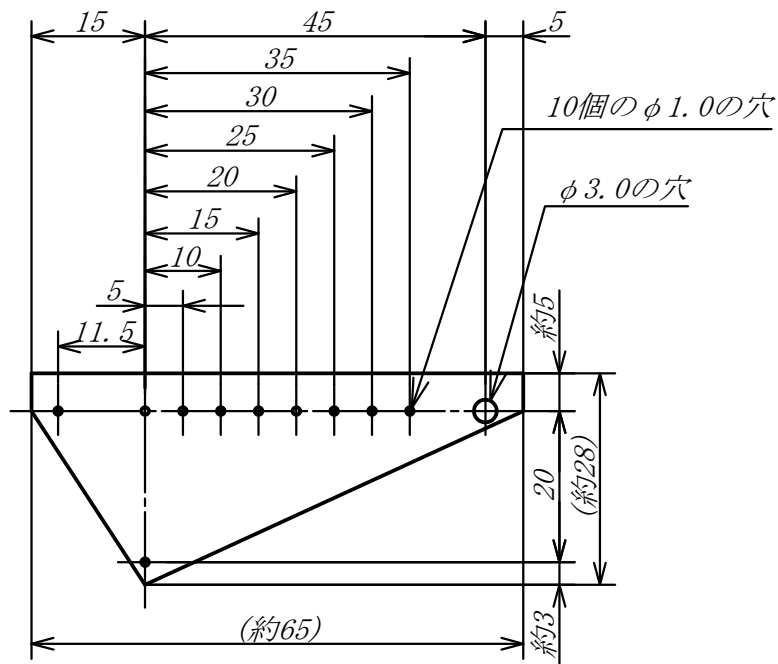


図 3-10-3-8 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R④ : 2 個)

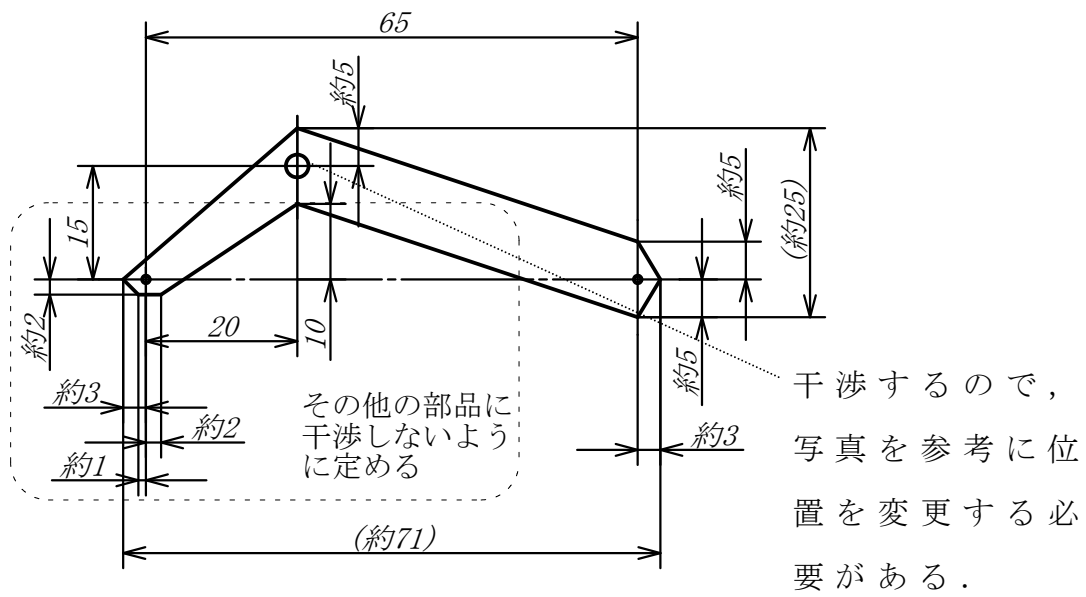


図 3-10-3-9 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R⑤ : 3 個)

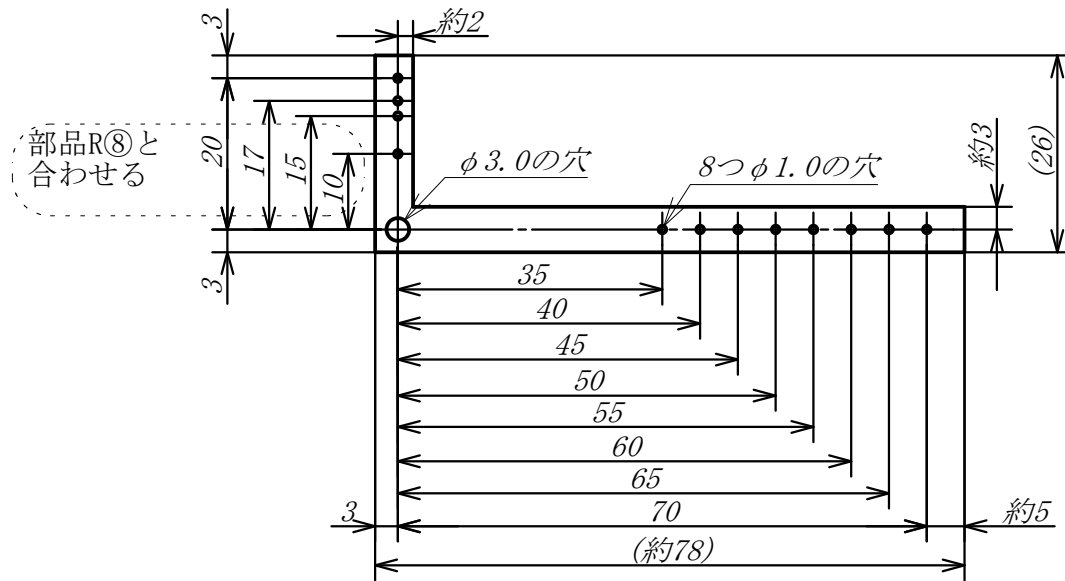


図 3-10-3-10 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R⑥)

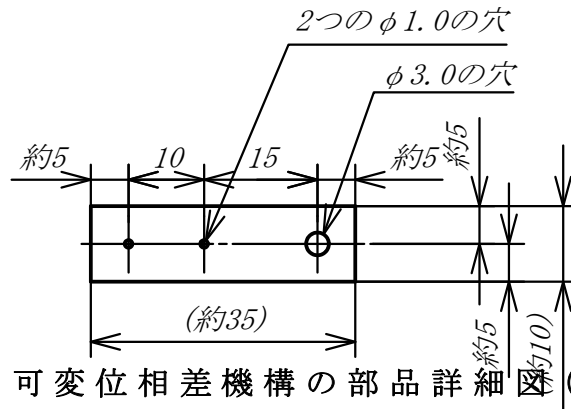


図 3-10-3-11 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R⑦ : 2 個)

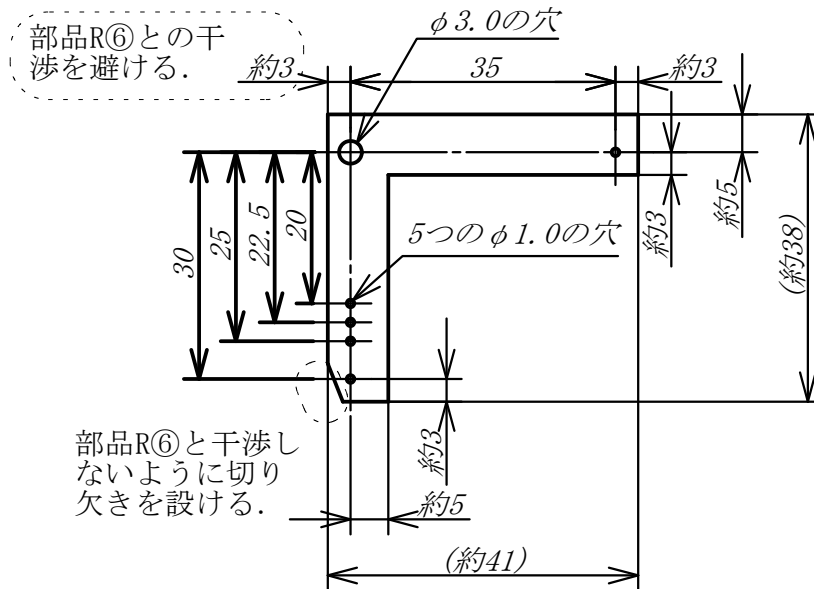


図 3-10-3-12 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R⑧)

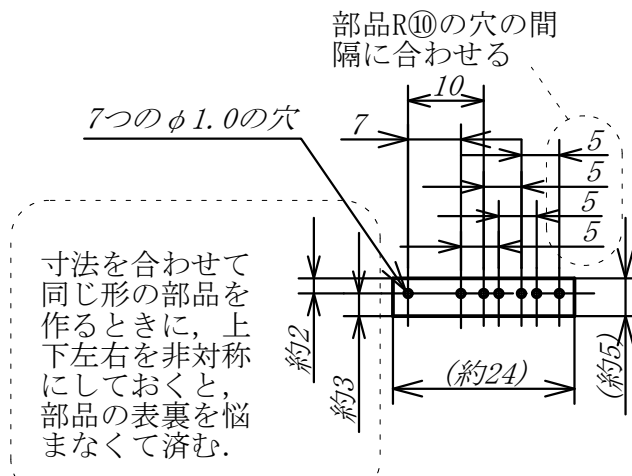


図 3-10-3-13 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R⑨ : 2 個)

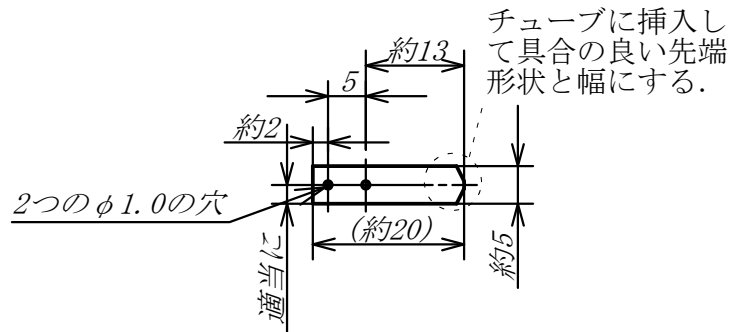


図 3-10-3-14 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R⑩)

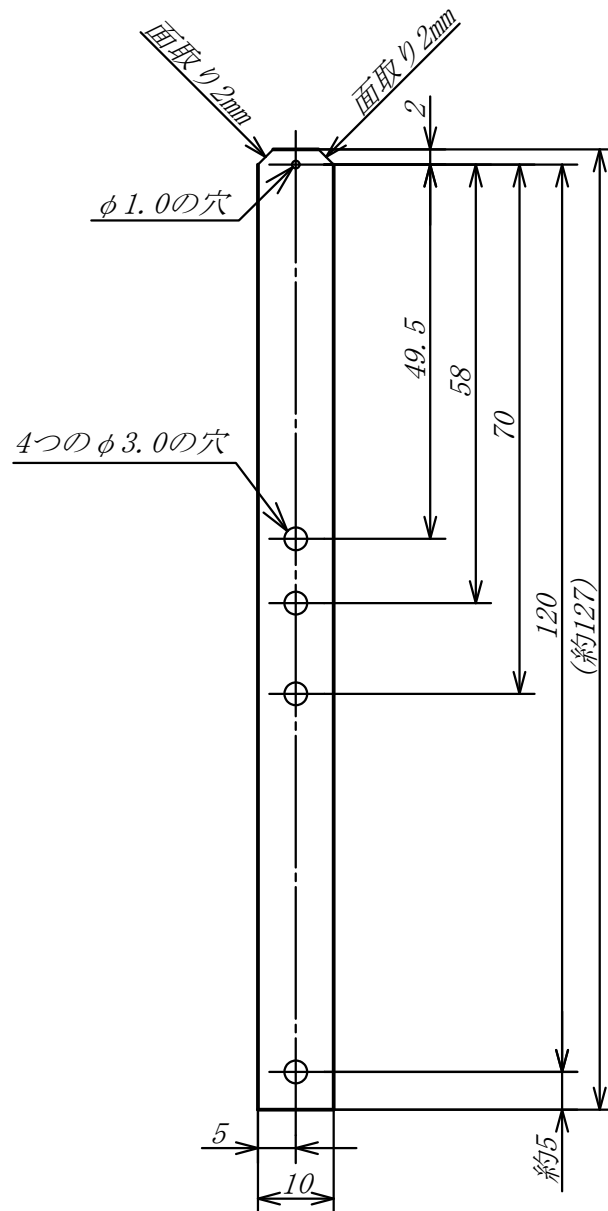


図 3-10-3-15 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R⑪)

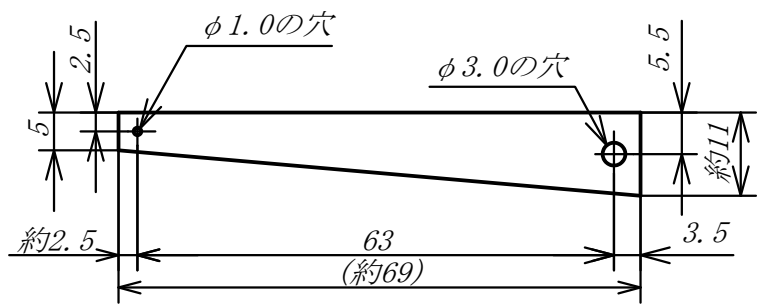


図 3-10-3-16 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R^⑫ : 2 個)

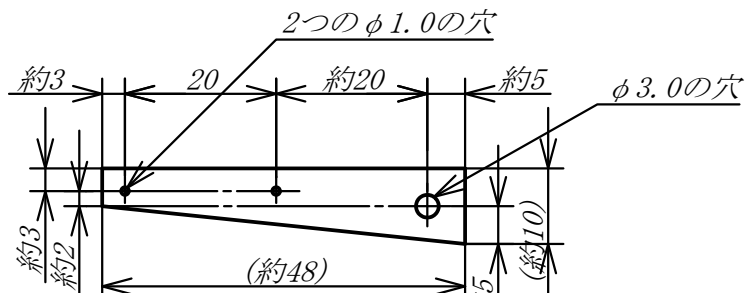


図 3-10-3-17 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R^⑬ : 2 個)

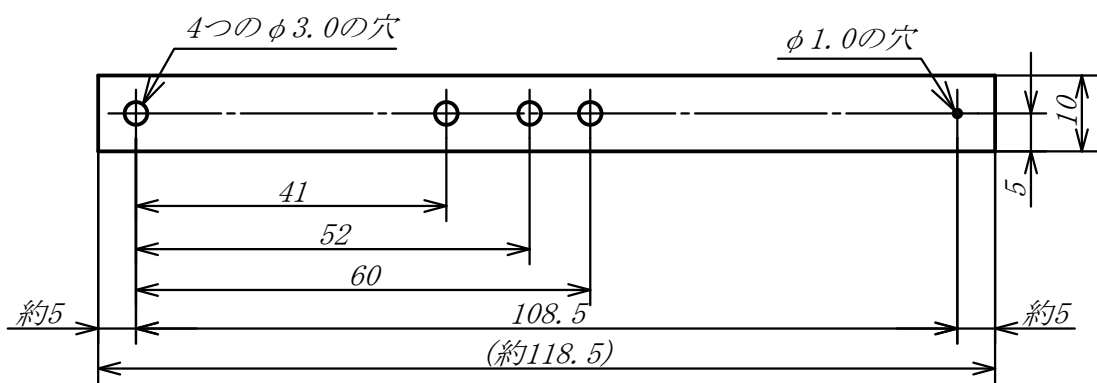


図 3-10-3-18 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R^⑭)

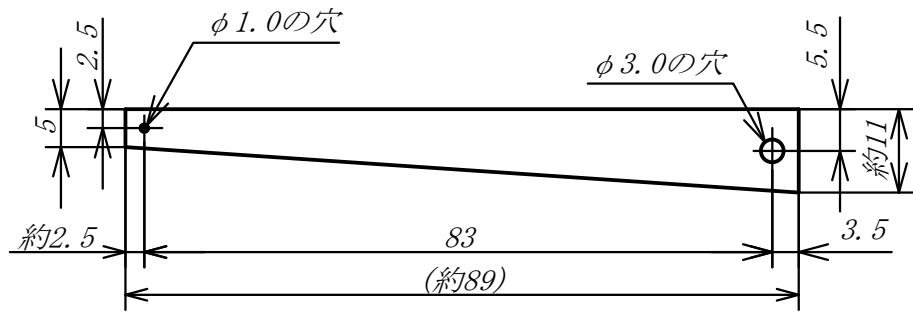


図 3-10-3-19 可変位相差機構の部品詳細図 (部品 R^⑮ : 2 個)

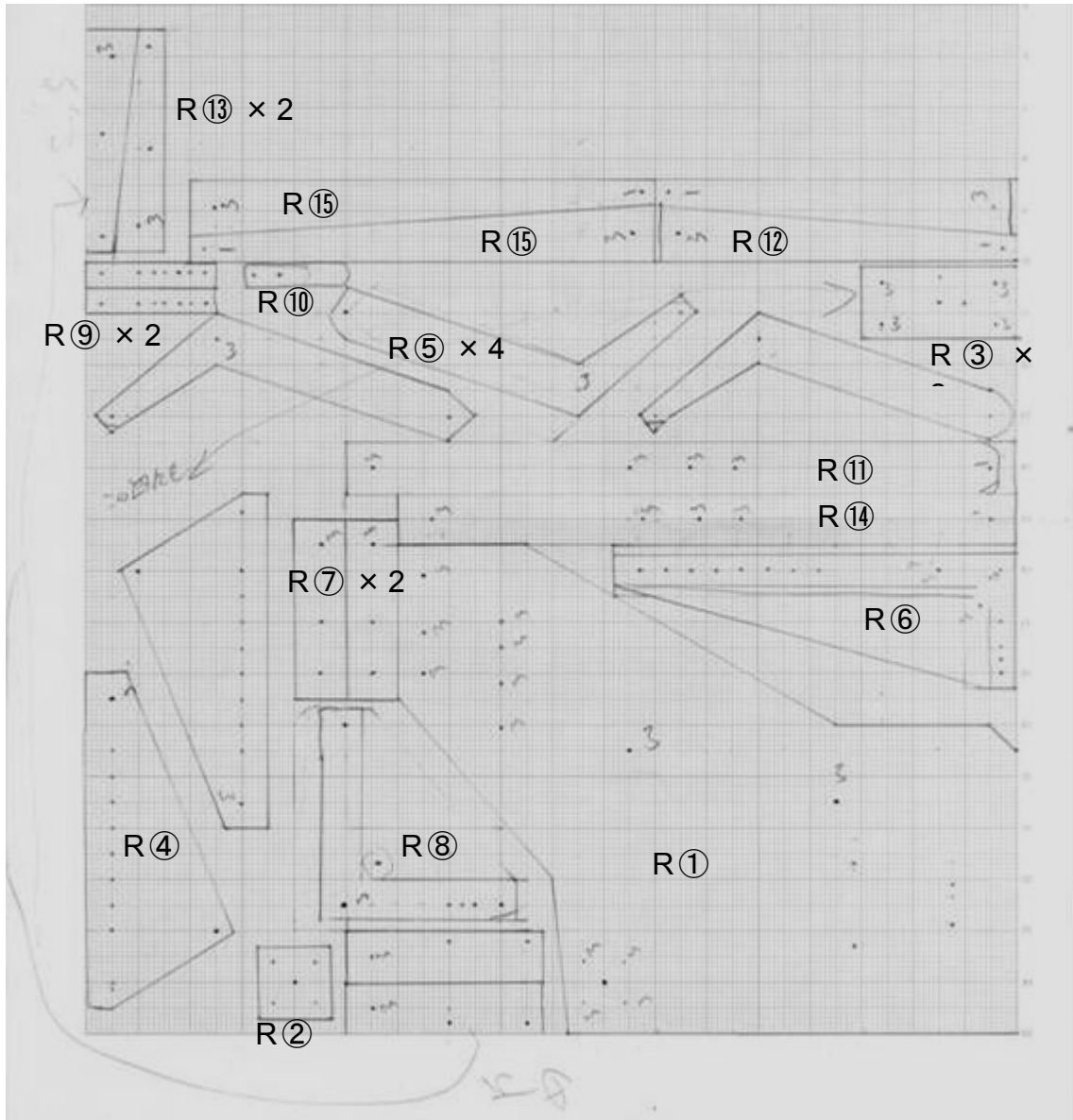


図 3-10-3-20 可変位相差機構の部品の型紙

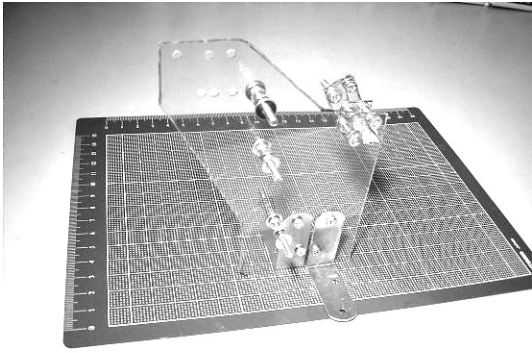


図 3-10-3-21 位相差可変機構の組み立て 1

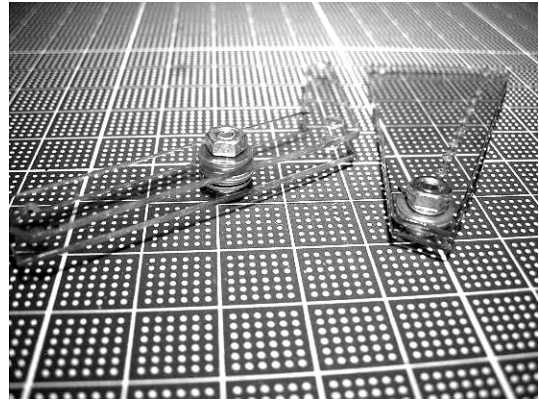


図 3-10-3-22 位相差可変機構の組み立て 2

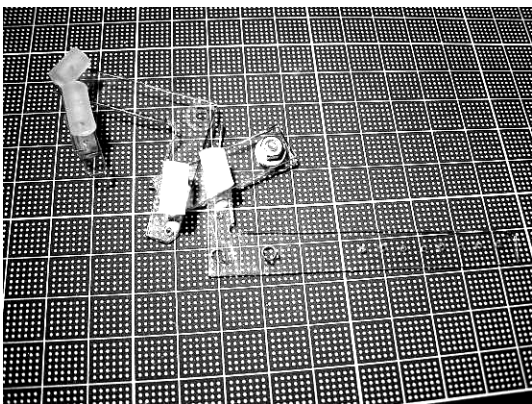


図 3-10-3-23 位相差可変機構の組み立て 3

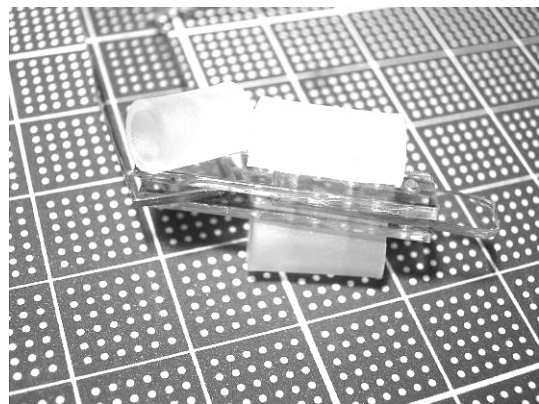


図 3-10-3-24 ペローズの取り付け位置の調整

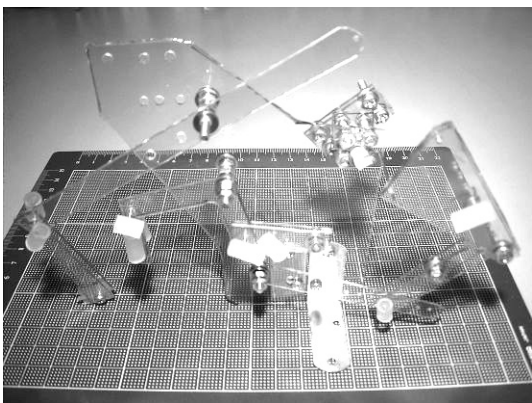


図 3-10-3-25 位相差可変機構の組み立て 4

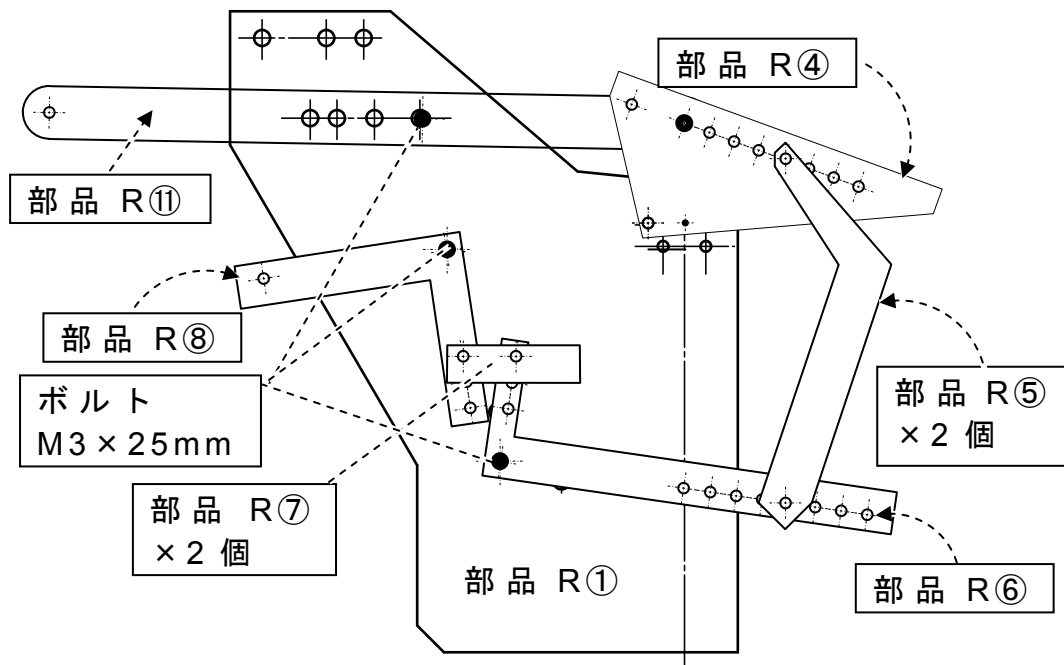


図 3-10-3-26 位相差 120 から 180 度の機構と部品の対応

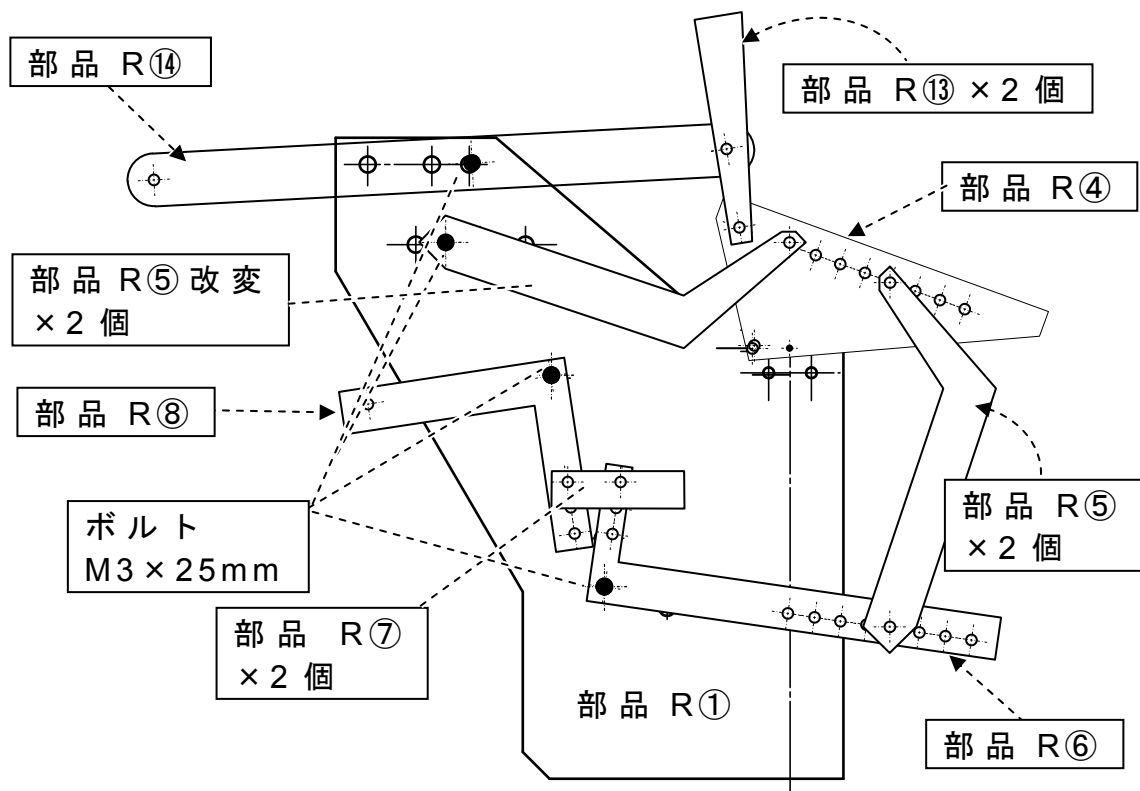


図 3-10-3-27 位相差 90 から 150 度の機構と部品の対応

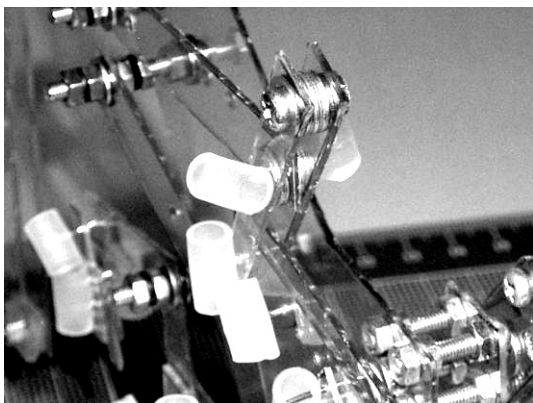


図 3-10-3-28 部品 R⑬ 周辺の組み立て

第 4 章 手作り模型スターリングエンジンの設計

● 4 - 1 計画と企画と準備のための準備

● 4 - 1 - 1 具体的な目的

● 4 - 1 - 2 作業の洗い出しで課題を明確に

● 4 - 2 試行錯誤は気合と根性で失敗の山を築く

● 4 - 3 熱力学的な検討

● 4 - 3 - 1 容積の比が検討対象

● 4 - 3 - 2 先行事例との熱力学的な相似

● 4 - 3 - 3 高校物理を使う熱力学的な設計

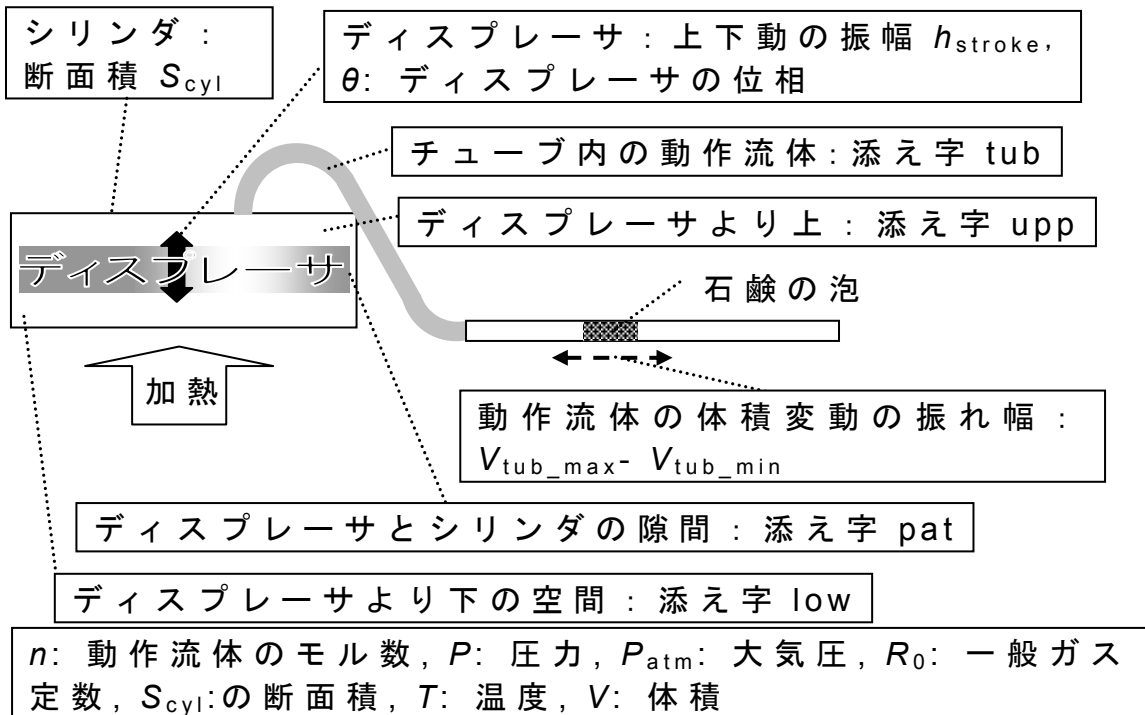


図 4-3-3-1 検討のモデルと記号の説明

$$\frac{P_{\text{tub}}V_{\text{tub}}}{R_0T_{\text{tub}}} + \frac{P_{\text{upp}}V_{\text{upp}}}{R_0T_{\text{upp}}} + \frac{P_{\text{pat}}V_{\text{pat}}}{R_0T_{\text{pat}}} + \frac{P_{\text{low}}V_{\text{low}}}{R_0T_{\text{low}}} = n \quad (4-3-3-1)$$

$$P_{\text{tub}} = P_{\text{upp}} = P_{\text{pat}} = P_{\text{low}} = P_{\text{atm}} \quad (4-3-3-2)$$

$$T_{\text{tub}} = T_{\text{upp}} \quad (4-3-3-3)$$

$$V_{\text{upp}} = S_{\text{cyl}}h_{\text{stroke}}\left(\frac{1 - \cos\theta}{2}\right) + D_{\text{upp}} \quad (4-3-3-4)$$

$$V_{\text{low}} = S_{\text{cyl}}h_{\text{stroke}}\left(\frac{1 + \cos\theta}{2}\right) + D_{\text{low}} \quad (4-3-3-5)$$

$$\begin{aligned} (V_{\text{upp}})_{\theta=\pi} - (V_{\text{upp}})_{\theta=0} &= -\frac{S_{\text{cyl}}h_{\text{stroke}}}{2}\{\cos\pi - \cos(0)\} \\ &= S_{\text{cyl}}h_{\text{stroke}} \end{aligned} \quad (4-3-3-6)$$

$$\begin{aligned} (V_{\text{low}})_{\theta=\pi} - (V_{\text{low}})_{\theta=0} &= \frac{S_{\text{cyl}}h_{\text{stroke}}}{2}\{\cos\pi - \cos(0)\} \\ &= -S_{\text{cyl}}h_{\text{stroke}} \end{aligned} \quad (4-3-3-7)$$

$$V_{\text{tub}} = T_{\text{upp}}\left(\frac{nR_0}{P_{\text{atm}}} - \frac{V_{\text{upp}}}{T_{\text{upp}}} - \frac{V_{\text{pat}}}{T_{\text{pat}}} - \frac{V_{\text{low}}}{T_{\text{low}}}\right) \quad (4-3-3-8)$$

$$\begin{aligned} V_{\text{tub_max}} - V_{\text{tub_min}} &= T_{\text{upp}}\left|\left(\frac{V_{\text{upp}}}{T_{\text{upp}}} + \frac{V_{\text{low}}}{T_{\text{low}}}\right)_{\theta=\pi} - \left(\frac{V_{\text{upp}}}{T_{\text{upp}}} + \frac{V_{\text{low}}}{T_{\text{low}}}\right)_{\theta=0}\right| \\ &= T_{\text{upp}}\left|\frac{(V_{\text{upp}})_{\theta=\pi} - (V_{\text{upp}})_{\theta=0}}{T_{\text{upp}}} + \frac{(V_{\text{low}})_{\theta=\pi} - (V_{\text{low}})_{\theta=0}}{T_{\text{low}}}\right| \end{aligned} \quad (4-3-3-9)$$

$$\frac{V_{\text{tub_max}} - V_{\text{tub_min}}}{S_{\text{cyl}}h_{\text{stroke}}} = \frac{|T_{\text{upp}} - T_{\text{low}}|}{T_{\text{low}}} \quad (4-3-3-10)$$

● 4 - 3 - 4 高校物理を使う熱力学的な実験

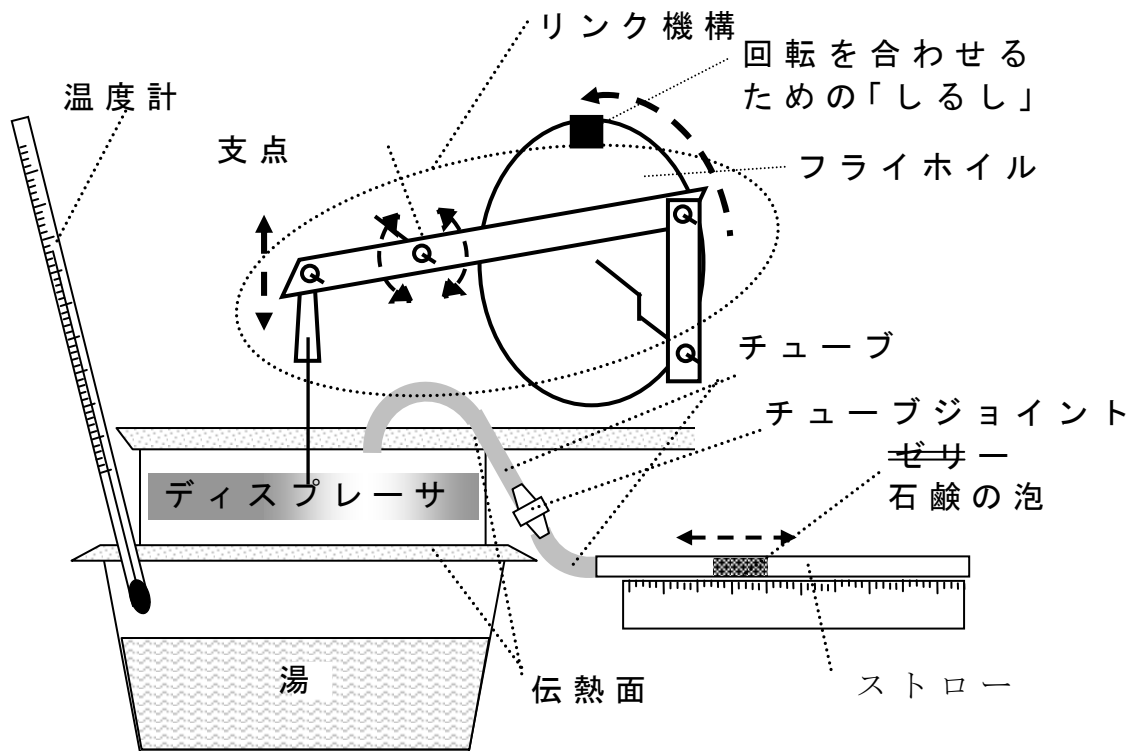


図 4-3-4-1 実験装置の概略図

● 4 - 4 リンク機構の設計

● 4 - 4 - 1 位相差を予備実験で定めた

● 4 - 4 - 2 方向性と限定事項

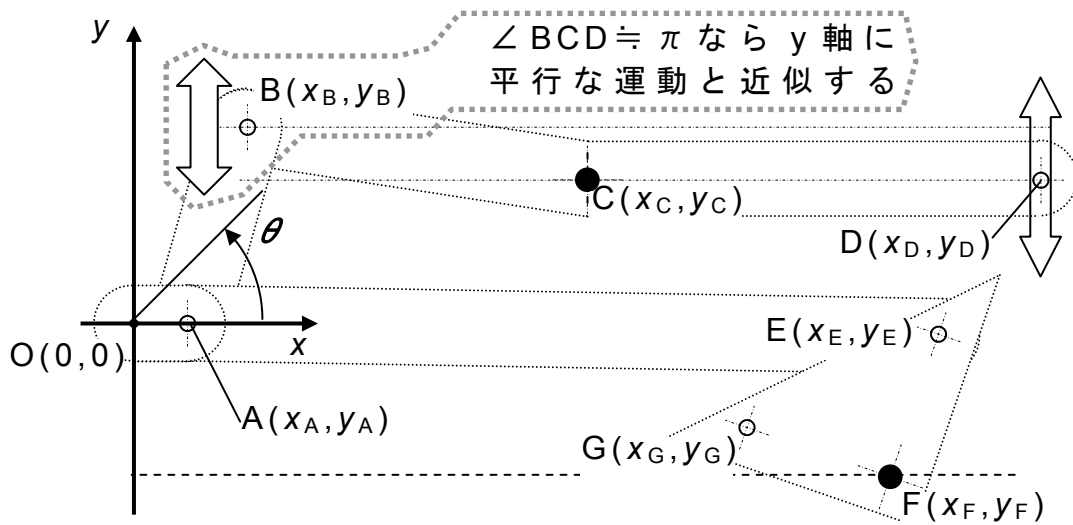


図 4-4-2-1 機構の軌跡を計算するための図

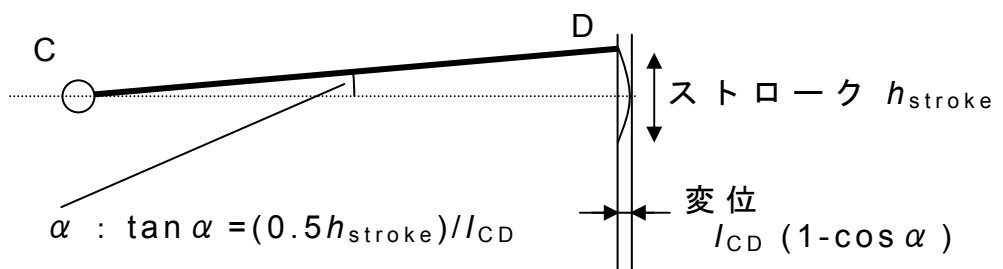


図 4-4-2-2 ディスプレーサロッドの変位

● 4-4-3 計算に用いるベクトルと三角関数

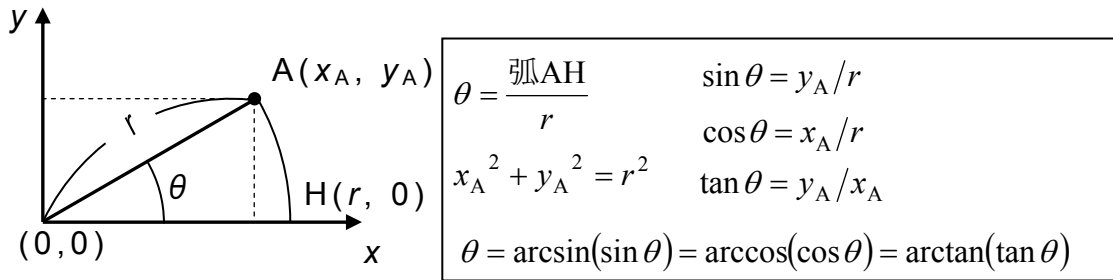


図 4-4-3-1 ここで使う基本的な三角関数の考え方

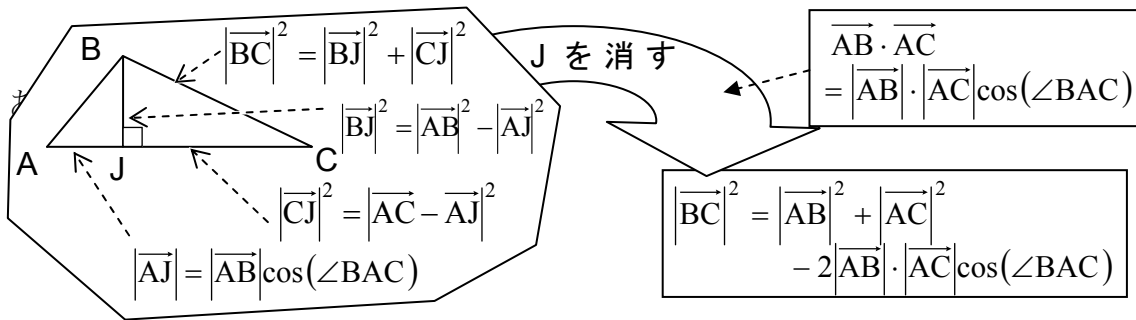


図 4-4-3-2 三角形と余弦

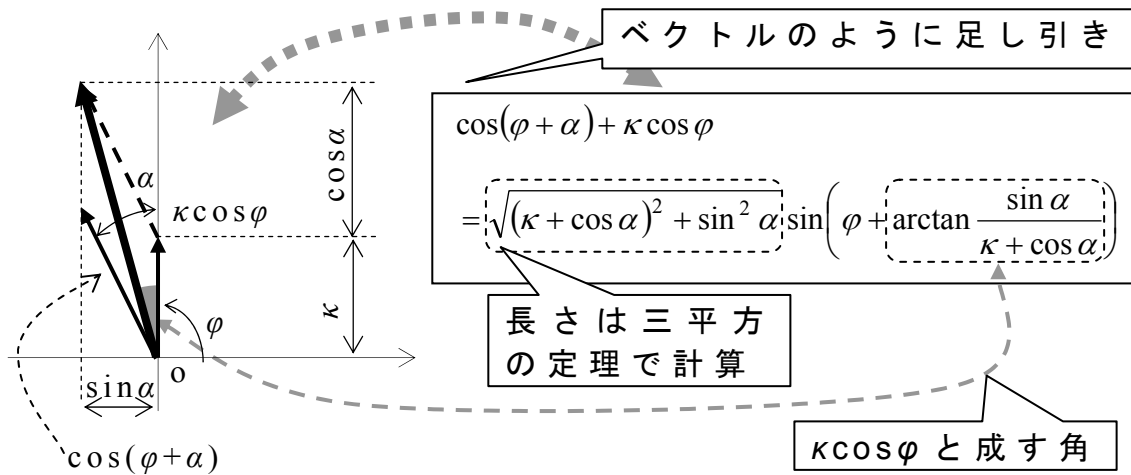


図 4-4-3-3 $\phi=90$ 度における $\cos(\phi+\alpha) + \cos\phi$ を例に図示した三角関数の和

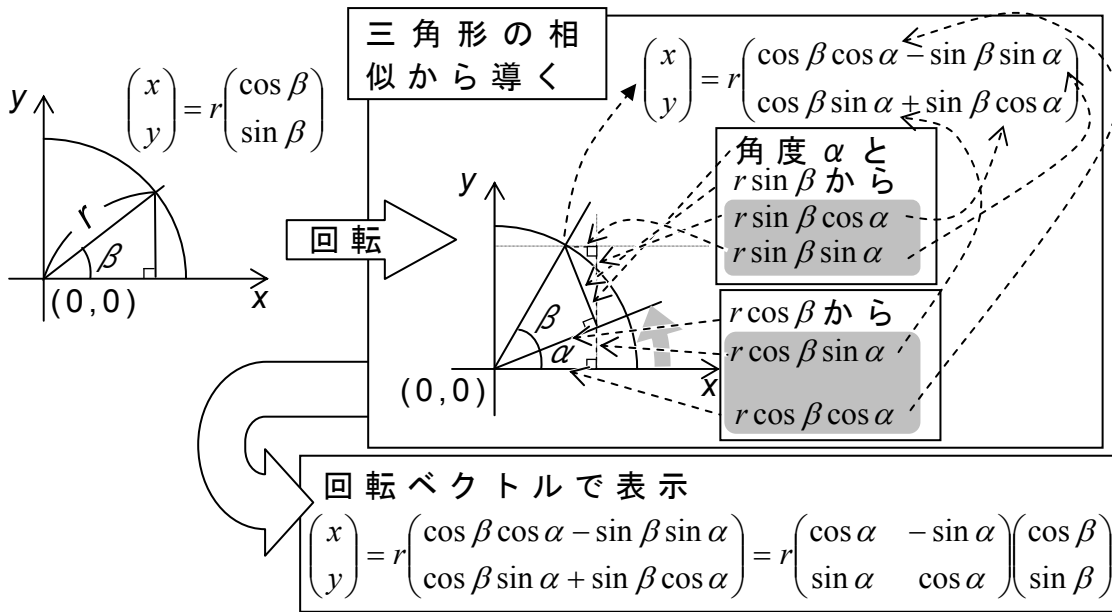


図 4-4-3-4 ベクトルの回転

● 4-4-4 クランクとオフセットクランクの概算

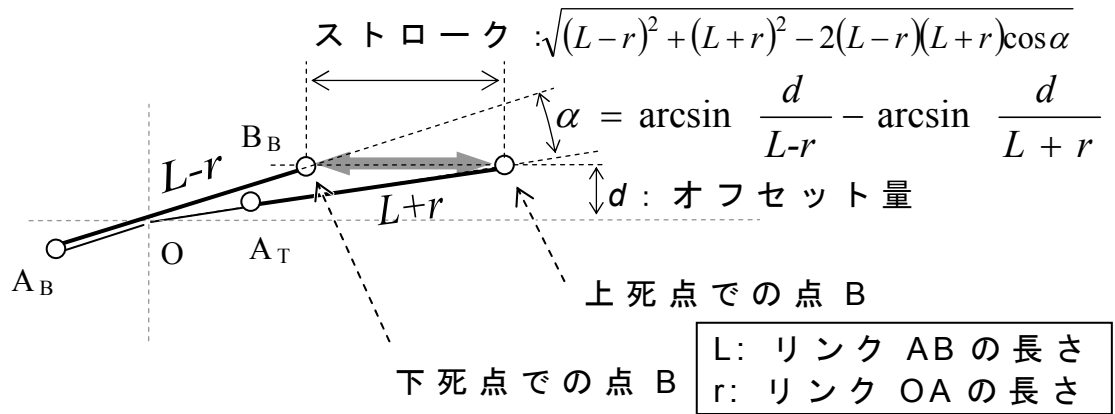


図 4-4-4-1 オフセットクランク機構の上死点と下死点

● 4-4-5 ベクトルと三角関数による詳細な計算

$$\overrightarrow{OA} = (r_{OA} \cos \theta, r_{OA} \sin \theta) \quad (4-4-5-1)$$

$$\overrightarrow{OC} = (x_C, y_C) \quad (4-4-5-2)$$

$$\overrightarrow{AC} = (x_C - r_{OA} \cos \theta, y_C - r_{OA} \sin \theta) \quad (4-4-5-3)$$

$$\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = |\overrightarrow{AB}| \cdot |\overrightarrow{AC}| \cos(\angle BAC) \quad (4-4-5-4)$$

$$|\overrightarrow{BC}|^2 = |\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2 - 2|\overrightarrow{AB}| \cdot |\overrightarrow{AC}| \cos(\angle BAC) \quad (4-4-5-5)$$

$$\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = \frac{|\overrightarrow{AB}|^2 + |\overrightarrow{AC}|^2 - |\overrightarrow{BC}|^2}{2} \quad (4-4-5-6)$$

$$\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} = x_{AB} \cdot x_{AC} + y_{AB} \cdot y_{AC} \quad (4-4-5-7)$$

$$x_{AB}^2 + y_{AB}^2 = l_{AB}^2 \quad (4-4-5-8)$$

$$\left\{ \left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right) - y_{AB} y_{AC} \right\}^2 + x_{AC}^2 y_{AB}^2 = x_{AC}^2 l_{AB}^2 \quad (4-4-5-9)$$

$$\left(x_{AC}^2 + y_{AC}^2 \right) y_{AB}^2 - 2 \left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right) y_{AC} y_{AB} + \left\{ \left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right)^2 - x_{AC}^2 l_{AB}^2 \right\} = 0 \quad (4-4-5-10)$$

$$y_{AB} = \frac{\left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right) y_{AC} - \sqrt{\left\{ \left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right) y_{AC} \right\}^2 - l_{AC}^2 \left\{ \left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right)^2 - x_{AC}^2 l_{AB}^2 \right\}}}{l_{AC}^2} \quad (4-4-5-11)$$

$$x_{AB} = \frac{\left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right) x_{AC} - \sqrt{\left\{ \left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right) x_{AC} \right\}^2 - l_{AC}^2 \left\{ \left(\overrightarrow{AB} \cdot \overrightarrow{AC} \right)^2 - y_{AC}^2 l_{AB}^2 \right\}}}{l_{AC}^2} \quad (4-4-5-12)$$

$$x_B = x_{AB} - x_A = x_{AB} - r_{OA} \cos \theta \quad (4-4-5-13)$$

$$y_B = y_{AB} - y_A = y_{AB} - r_{OA} \sin \theta \quad (4-4-5-14)$$

● 4 - 4 - 6 ロス・ヨーク機構の近似は相似を探す

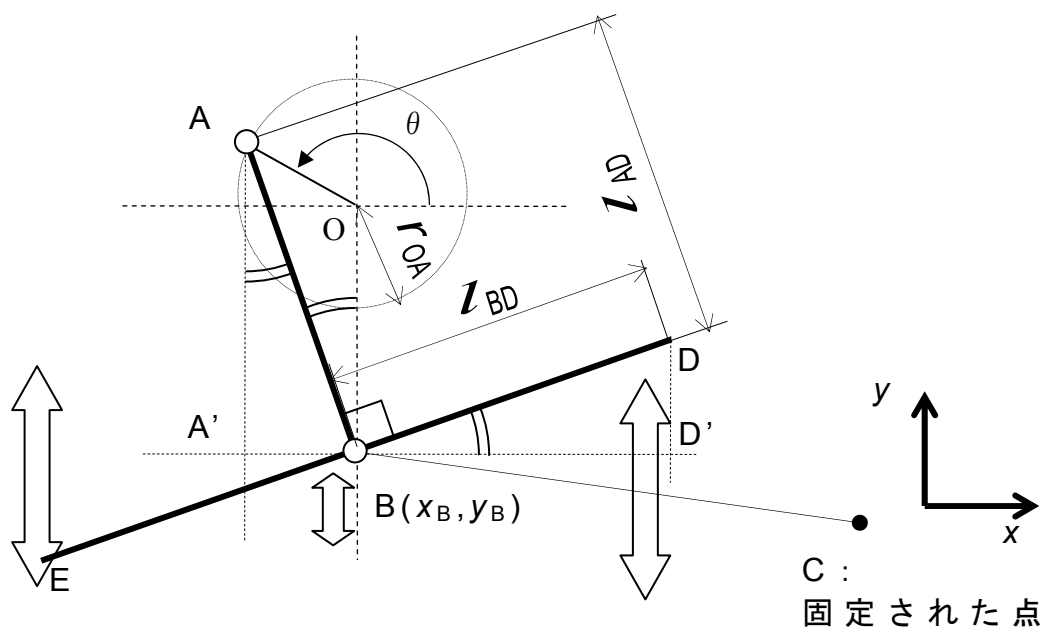


図 4-4-6-1 ロス・ヨーク機構の模式図

$$\frac{y_B - y_D}{l_{BD}} = \frac{r_{OA} \cos \theta}{l_{AB}} \quad (4-4-6-1)$$

$$y_D = y_B - r_{OA} \frac{l_{AD}}{l_{AB}} \cos \theta \quad (4-4-6-2)$$

$$y_B \cong r_{OA} \sin \theta - l_{AB} \quad (4-4-6-3)$$

$$y_D = r_{OA} \frac{l_{AD}}{l_{AB}} \sin \left[\theta - \arctan \left(\frac{l_{BD}}{l_{AB}} \right) \right] - l_{AB} \quad (4-4-6-4)$$

● 4 - 4 - 7 絵で部品や工具の干渉をチェック

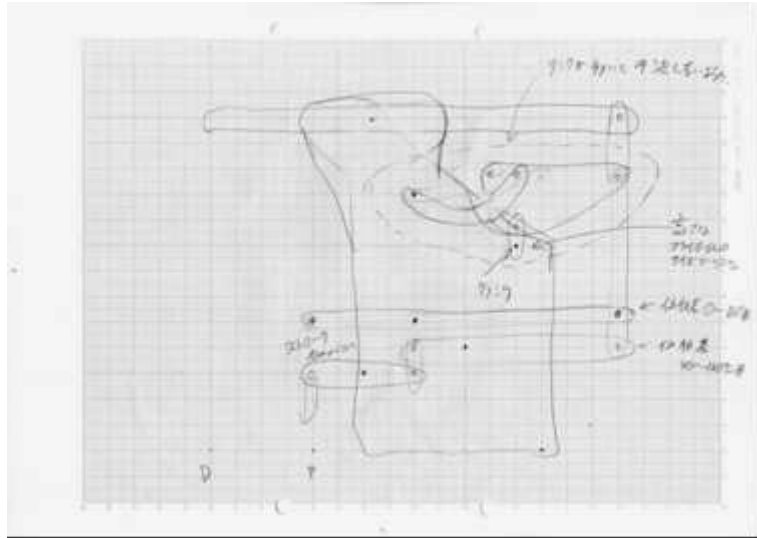


図 4-4-7-1 ロス・ヨークを用いた案のラフスケッチ

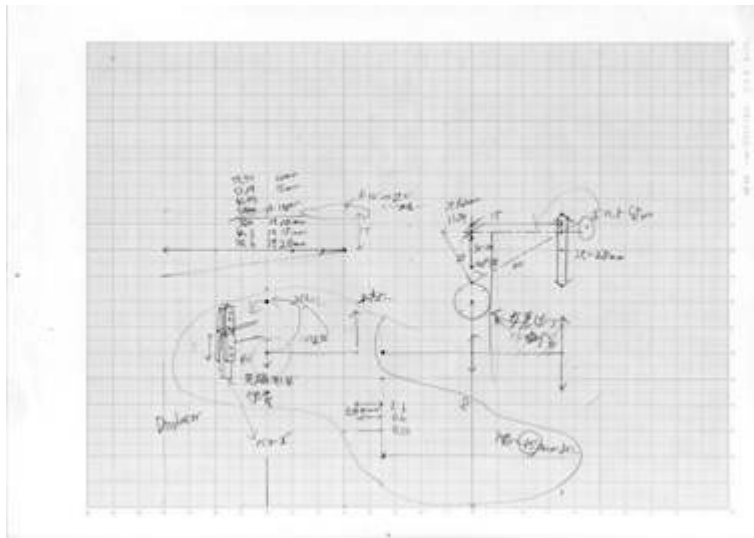


図 4-4-7-2 機構の構成部品の検討

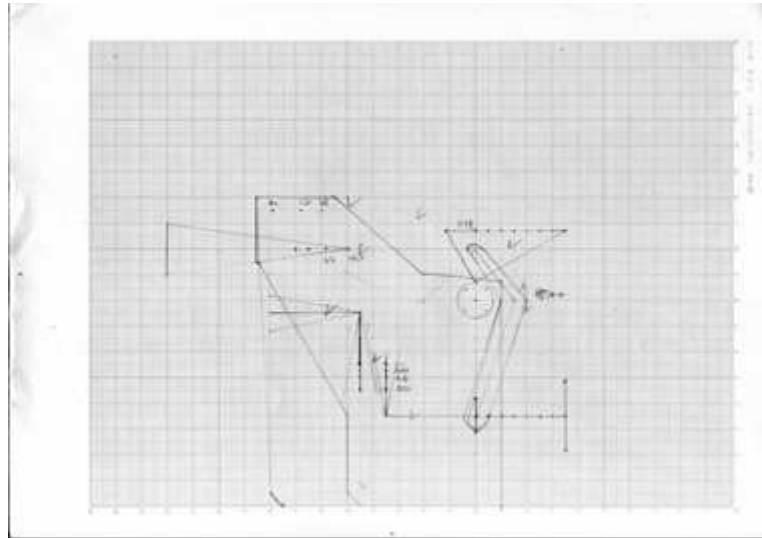


図 4-4-7-3 機構の稼働範囲と支持する板の形の検討

● 4 - 5 フライホイール

● 4 - 5 - 1 設計は微分積分を使うかも

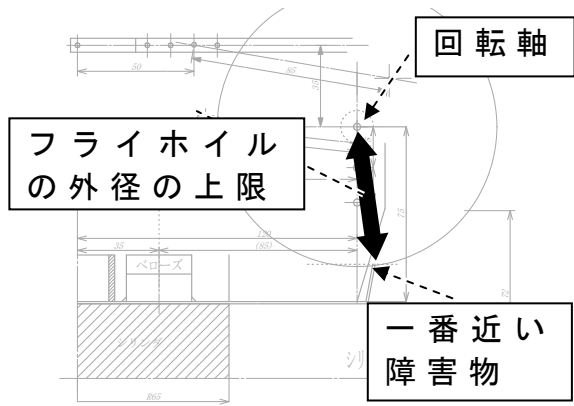


図 4-5-1-1 フライホイルの外径の上限

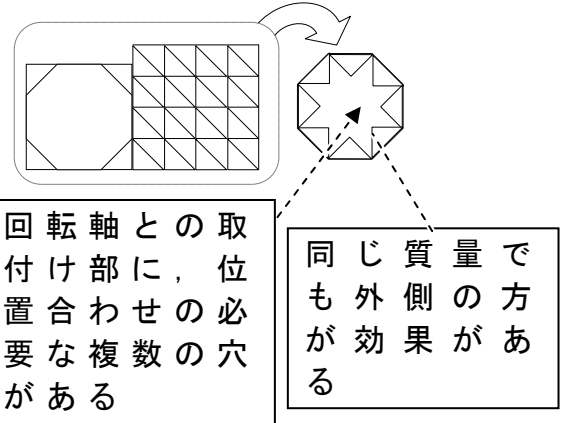


図 4-5-1-2 加工し易く，材料の無駄が少ない形状

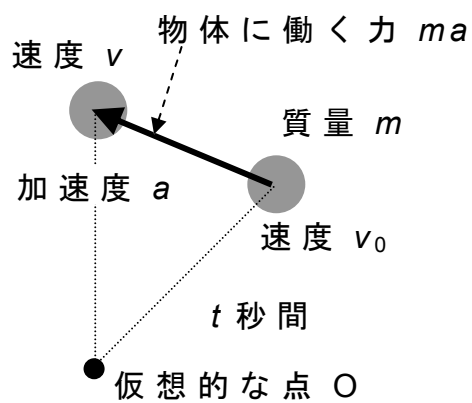


図 4-5-1-3 直線運動

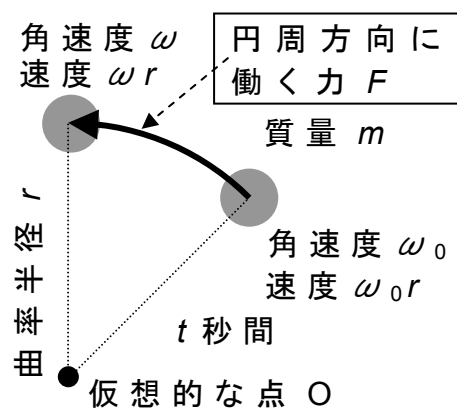


図 4-5-1-4 円弧上の運動

$$\frac{v - v_0}{t} = a \quad (4-5-1-1)$$

$$v = r\omega \quad (4-5-1-2)$$

$$r \frac{(\omega - \omega_0)}{t} \cong a \quad (4-5-1-3)$$

$$mr^2 \frac{\omega - \omega_0}{t} \cong mar \quad (4-5-1-4)$$

$$T = Fr \quad (4-5-1-5)$$

$$F \cong ma \quad (4-5-1-6)$$

$$mr^2 \frac{\omega - \omega_0}{t} \cong T \quad (4-5-1-7)$$

$$I = mr^2 \quad (4-5-1-8)$$

$$\frac{\omega_2 - \omega_1}{t_2 - t_1} \Rightarrow \frac{d\omega}{dt} \quad (4-5-1-9)$$

$$T' = -T \quad (4-5-1-10)$$

$$I \frac{d\omega}{dt} = -T' \quad (4-5-1-11)$$

● 4 - 5 - 2 具体的なフライホイルの効果

$$I = \sum mr^2$$

(4-5-2-1)

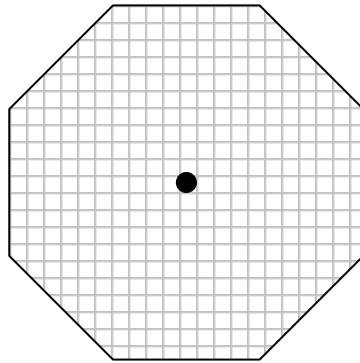


図 4-5-2-1 細かく要素に分割した均一な厚さの正八角形のフライホイール

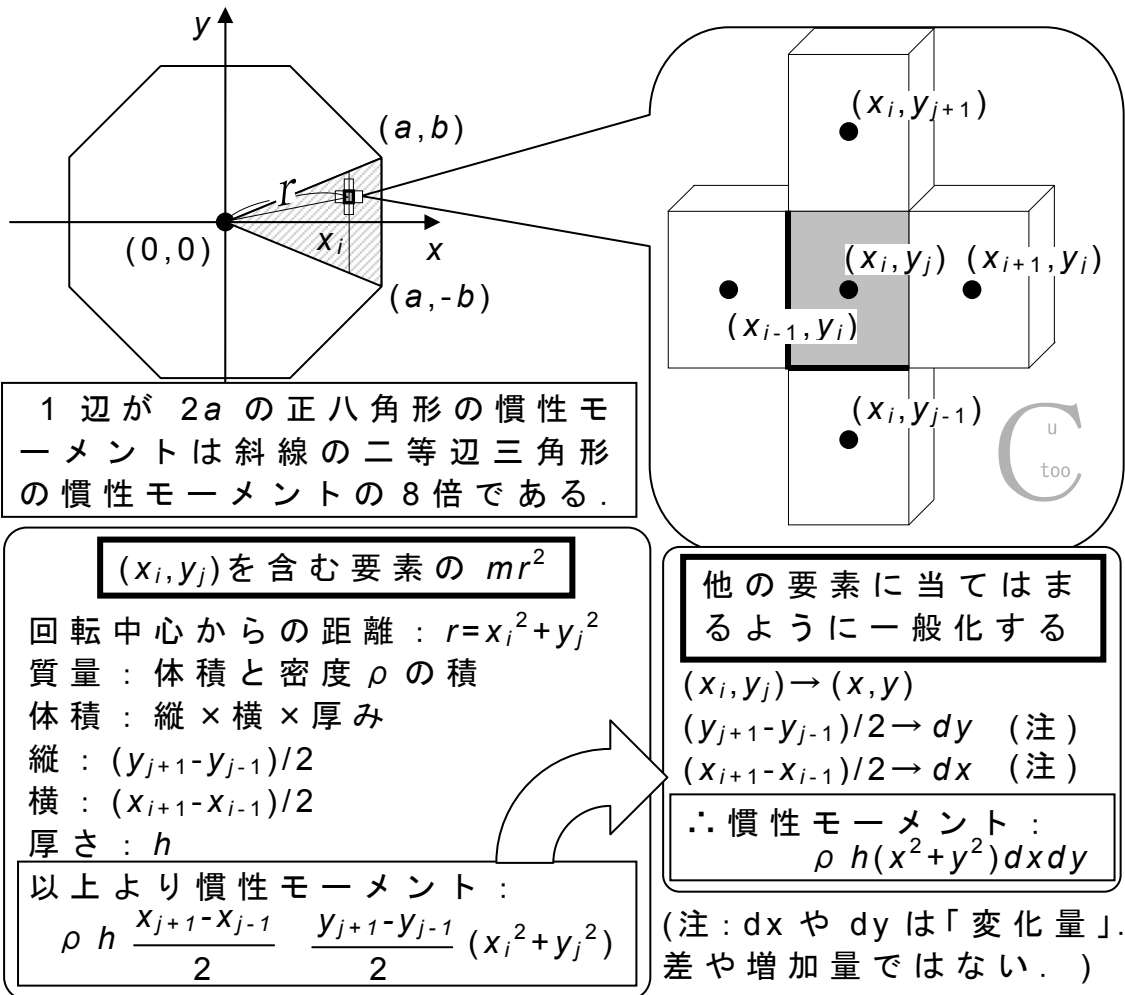
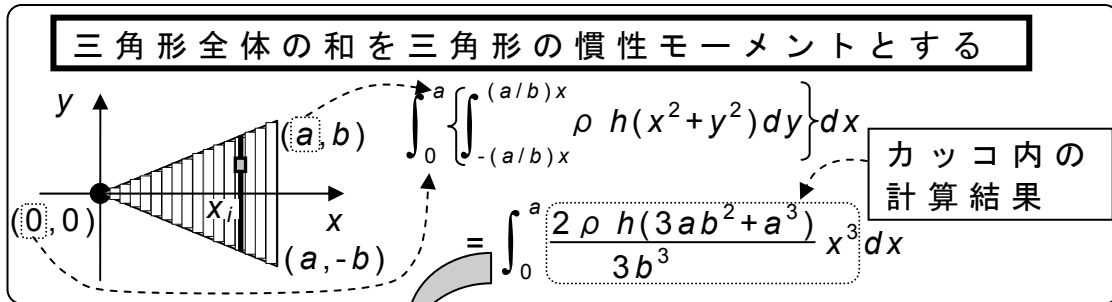
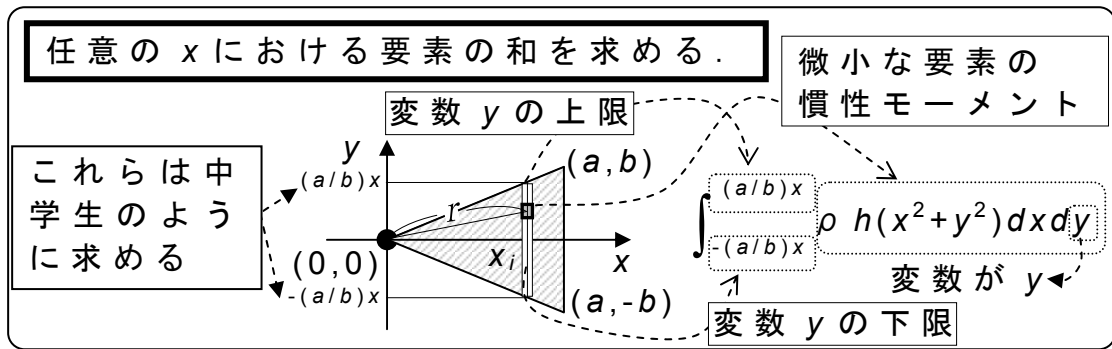


図 4-5-2-2 積分する関数を決める過程



正八角形の慣性モーメントは三角形の式を8倍し, $b/a = \tan(\pi/8)^*$ とする

正八角形の慣性モーメントは

$$\frac{4\rho a^4 h}{3} \left\{ 3\left(\frac{a}{b}\right) + \left(\frac{a}{b}\right)^3 \right\}$$

*: 「ラジアン」と「tan」が分かれば, 分かる.

図 4-5-2-3 積分範囲の決定と正八角形の慣性モーメント

$$\frac{b}{a} = \tan \frac{\pi}{8} \quad (4-5-2-2)$$

$$I_{\text{oct}} = \frac{4\rho a^4 h}{3} \left\{ 3\left(\frac{a}{b}\right) + \left(\frac{a}{b}\right)^3 \right\} \quad (4-5-2-3)$$

$$I_{\text{tri}} = \frac{\rho h}{3} b^2 \{ (a-b)^2 + 2a^2 \} \quad (4-5-2-4)$$

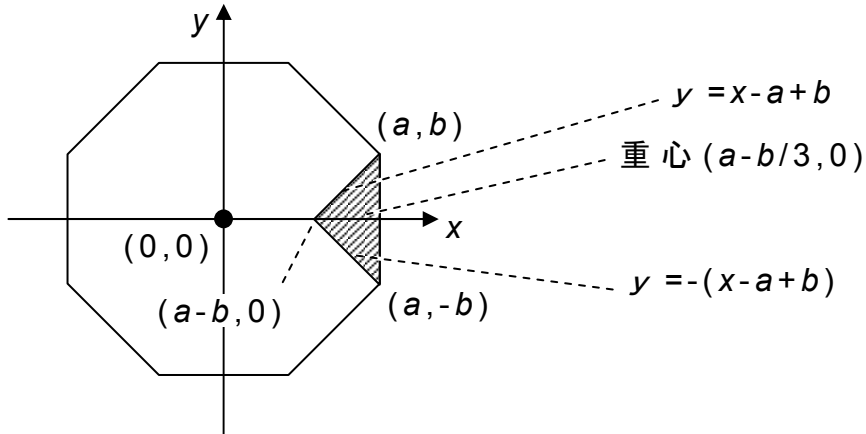


図 4-4-2-4 バランスウェイトの形状と設置する位置

$$\Delta E_{p\text{-tri}} = (\rho b^2) g \left\{ 2 \left(a - \frac{b}{3} \right) \right\} \quad (4-5-2-5)$$

$$E_{k\text{-T}} = \frac{1}{2} I \omega^2 \quad (4-5-2-6)$$

$$E_{k\text{-T}} = \int \frac{1}{2} (r\omega)^2 \rho h dx dy \quad (4-5-2-7)$$

$$E_{k-T} = \frac{1}{2} \varpi^2 \iiint (x^2 + y^2) \rho h dx dy dh \quad (4-5-2-8)$$

$$n(\Delta E_{p\text{-tri}}) = \frac{1}{2} (I_{\text{oct}} + mI_{\text{tri}}) \varpi^2 \quad (4-5-2-9)$$

● 4 - 5 - 3 次元や単位をバカにしない

$$[T] = [FL] \quad (4-5-3-1)$$

$$[F] = [ma] \quad (4-5-3-2)$$

$$[a] = [Lt^{-2}] \quad (4-5-3-3)$$

$$[T] = [maL] = [mL^2t^{-2}] \quad (4-5-3-4)$$

$$[I] = [mL^2] \quad (4-5-3-5)$$

$$\left[\frac{d\varpi}{dt} \right] = \frac{[d\varpi]}{[dt]} = \frac{[t^{-1}]}{[t]} = [t^{-2}] \quad (4-5-3-6)$$

$$\frac{d\varpi}{dt} = \frac{d\varpi}{dt} = \frac{\text{rad/s}}{\text{s}} = \frac{\text{rad}}{\text{ss}} = \text{s}^{-2}$$

$T = Fr = \text{N} \cdot \text{m}$

次元は時間の-2乗！

単位と変数は「同じ」ではないので「=」はNG

図 4 -5-3-1 不適切な表現による次元や単位の考え方

$$P = \frac{FL}{t} \quad (4-5-3-7)$$

$$F = T / r \quad (4-5-3-8)$$

$$\frac{L}{t} = \omega r \quad (4-5-3-9)$$

$$\begin{aligned} P &= (T / r)(\omega r) \\ &= \omega T \end{aligned} \quad (4-5-3-10)$$

● 4 - 5 - 4 分からないと判断するまで時間をかける

おわりに