

入門書

『ゼロから始めるガラス細工』



目次

1.	はじめに	1
2.	必要な道具のリストと費用（軟質ガラス細工用）	2
3.	設置と操作方法	5
4.	ガラスの種類と性質について	9
5.	細工の基礎	11
	ガラス管の持ち方	
	ガラス管の切り方	
	ガラス管の曲げ方	
	ガラス管の接合	
	玉吹き	
	ゴム止めの作製	
	駒込ピペットの作製	
	T字管の作製	
6.	一歩進んだ道具の紹介（ホウケイ酸ガラス細工用）	22
7.	細工の応用	24
	トラップの作製	
8.	おわりに	25
9.	参考文献	26

1. はじめに

一般の人が「ガラス細工」と聞くと融かしたガラスを長いパイプの先に付けておき、くるくると回しながら膨らませて加工する吹きガラスの手法を思い浮かべると思えます。ガラス細工の手法には吹きガラスの他にも様々な手法があります。ここで紹介する「ガラス細工」はフレームワークと呼ばれるバーナーによる加工技術で、複雑なガラス製理化学器具の作製に用いられる技術のひとつです。

ガラス細工を始めるにはある程度の知識と道具が必要です。本書では知識も道具もない状態からガラス細工を始めようとする人や埼玉大学で実施している講習会に参加した後に本格的にガラス細工を始めようとする人の一助と成るようにしています。

平成 27 年 3 月 齋藤由明

2. 必要な設備のリストと費用（軟質ガラス細工用）

ガラス細工を始めるにあたって必要最低限の道具を紹介します。



2-1 細工バーナー（エアーバーナー）

都市ガス用、プロパンガス用、天然ガス用があるのでご自分でお使いのガスの種類に応じて購入してください。

価格：14,000 円前後



2-2 エアーポンプ

金魚飼育用のポンプです。1.7～2.5L/分（出力が弱いと、よい炎が作れません。）

価格：2,000 円前後

商品名：エアーポンプ・アズワンβ90

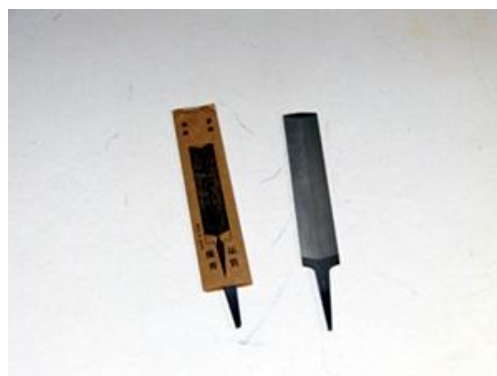


2-3 目立てヤスリ

長さ 15cm 程度。

価格：1,000 円前後

※ヤスリはグラインダーにより両端が平らになるように削っておくと角が出て傷を入れやすい(手折法参照)。



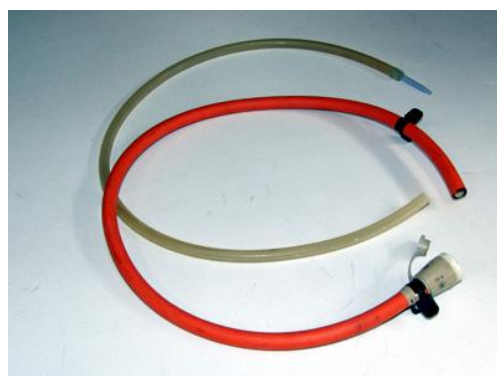
2-4 ホース類

ガス用と空気用のホースが必要です。特に空気用のホースは黒ゴム製よりも熱に強いシリコンゴム製で肉厚のもの（折れにくい）をおすすめします。

長さ 50cm～1m 程度。

価格：ガス用 1,000 円前後

空気用 1,000 円前後



2-5 耐熱ボード

60cm×40cm×5mm 程度。

価格：1,000 円前後



2-6 ピンセット（ステンレス製）

全長 210～300mm 程度

価格：1,000 円前後

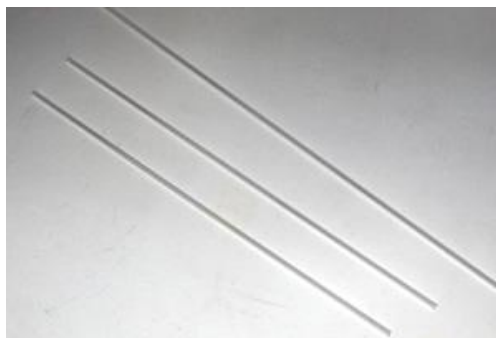


2-7 ガラス管

軟質ガラス

8mm φ × 1200mm × 1mm (厚み)

価格：180 円／本前後



2-7 保護メガネ

価格：1,000 円前後



2-8 ライター

価格：100 円前後



以上の価格を合計すると 22,280 円前後となり、約 2 万円で軟質ガラスの細工を始めることができます。

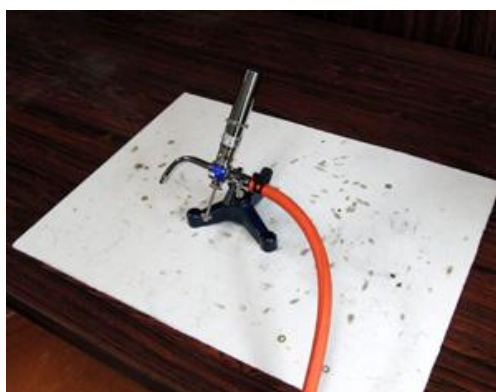
3. 設置と操作方法

3-1.設置方法

- ・机の上に耐熱ボードを置きます。



- ・耐熱ボードの上にバーナーを置いてガスホースを接続します。



ノズルの角度は耐熱ボードから垂直に近く（若干自分より離れる角度）なるように調節します。



- ・エアープンプとバーナーを接続します。



3-2 操作方法

3-2-1 点火方法

- ・ ガスコックが閉じていることを確認しておきます。

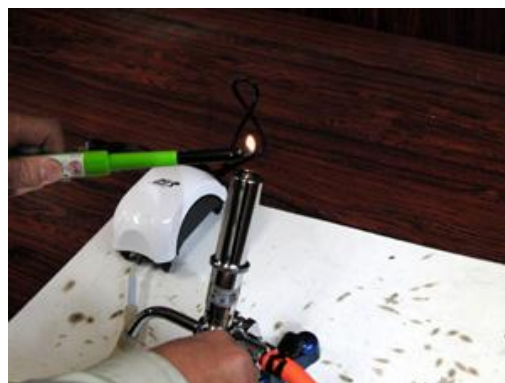


閉



開

- ・ ガスの元栓を開き、ライターをバーナーのノズルに近づけ、火を付けます。



- ・ バーナーのガスコックをゆっくり開いて火を付けます。



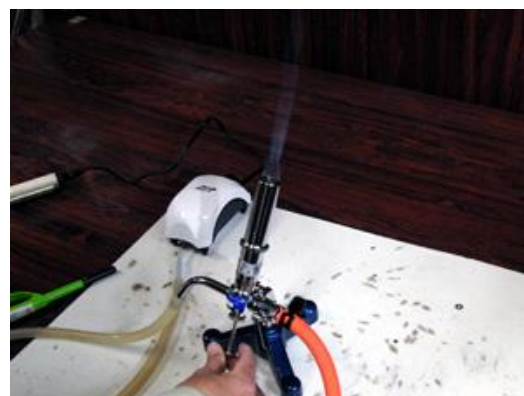
- ・バーナーのニードルバルブを閉じておき、エアーポンプのスイッチを入れます。



- ・ガスの量を調整したあと、ニードルバルブを調整して適切な炎の状態を作ります。

※ニードルバルブの調整は針を閉じた（上に上げた）状態からゆっくりと開いて（下に下げて）いきます。針を下げすぎてしまうと空気の量が過剰になり炎が乱れます。

（上記右の写真は閉じたニードルバルブを写すために外側の外枠（？）を下げたものです。通常は針が隠れる程度に上げて使用します。）



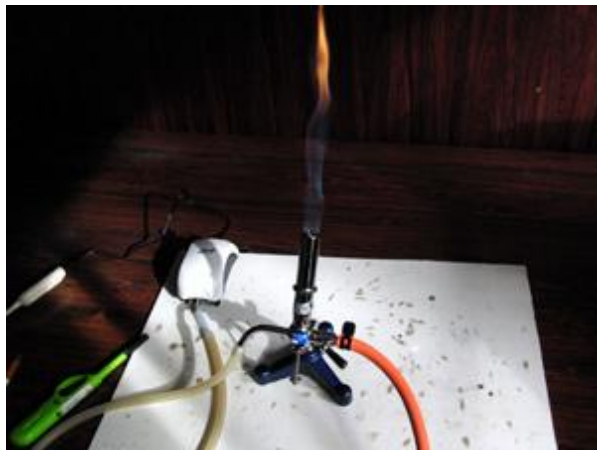
3-2-2 消火方法

点火と逆の手順で実行します。すなわち、

- ・ニードルバルブを閉じてポンプを止めます（コンセントを抜く）。
- ・ガスのコックを閉じて元栓を閉めます。

3-2-3 炎の使い方について

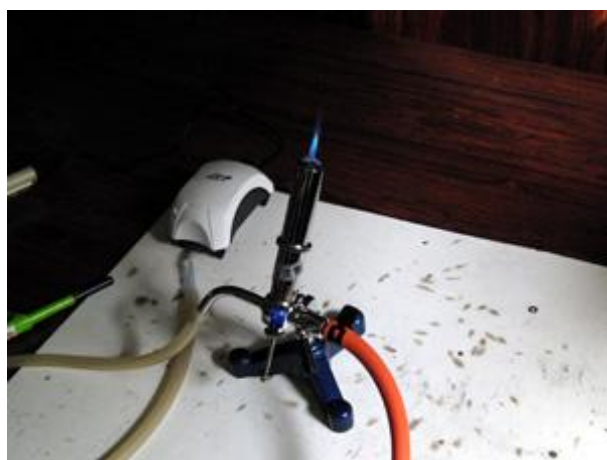
- ・大きな炎：加工部分を除歪したり、管をゆっくり曲げたりするときに使用します。



- ・中間の炎：軸だしなどの加工に使用します。



- ・針状の炎：局部を集中的に溶かすときに使用します。



※細工は温度が一番高い内炎の先端（上記写真では濃青色の少し上の部分）で行います。

4. ガラスの種類と性質について

- 張力に弱い：無傷の表面を持つガラスは $350\sim 850\text{kg/cm}^2$ の張力が働くと切れ（割れ）ます。耐圧力は抗張力の約 10 倍といわれています。電球や丸底フラスコを真空ポンプで減圧しても割れないのは一様に圧力を受けているからです。
- 熱の不良導体：ガラスは炎に当たった所付近しか熱くなりません。
- 歪み取り（アニーリング、焼きなまし）：軟化点未満のある範囲の温度で長時間加熱しておくことで細工中に生じた歪みを取ることが出来ます。

除歪温度と膨張係数

	下限除歪温度 ($^{\circ}\text{C}$)	上限除歪温度 ($^{\circ}\text{C}$)	膨張係数 ($\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)	細工に最適な 温度 ($^{\circ}\text{C}$)
軟質ガラス	389	425	92	450~500
硬質ガラス	486	521	36	—
パイレックスガラス	503	555	32	750~1100
石英ガラス	1020	1120	5.8	1750~1800

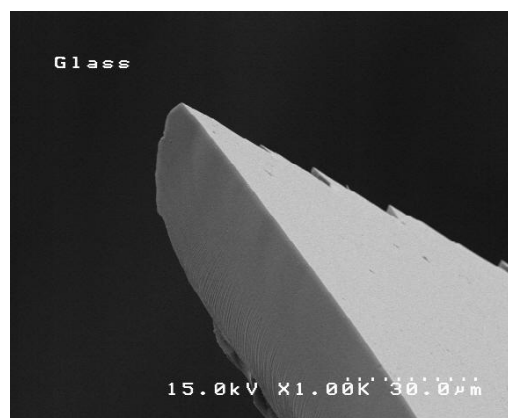
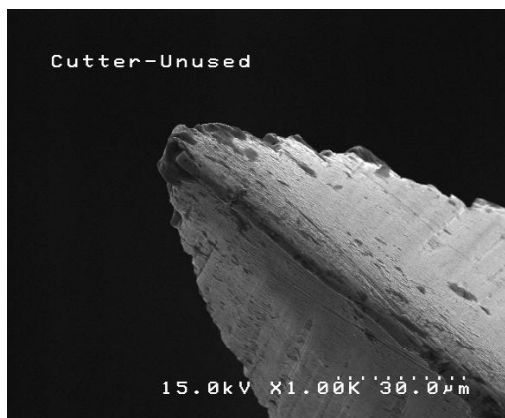
- 失透：ガラスを加熱すると、ある温度（軟化点付近）から急に粘度が低下します。また、高温で長時間加熱すると結晶ができ透明ではなくなります。この現象を失透といいます。炎の温度、加熱時間を調節し、最適なガラス加工温度を把握することが大切です。
- 最も純粋なガラスは水晶を溶かして得られた石英ガラスです。この石英ガラスに色々な元素やその酸化物を熔融して目的に合ったガラスが作られています。従ってその種類は多種多様となります。ここでは基本的な種類と組成を以下の表にまとめてみました。

成分表

ガラスの種類	化学成分 (%)							膨張係数 ($\times 10^{-7}/^{\circ}\text{C}$)
	SiO_2	B_2O_3	PbO	Al_2O_3	CaO	Na_2O	K_2O	
軟質ガラス	63.1	—	20.2	0.2	0.9	7.6	5.5	92
硬質ガラス	73.0	16.5	6.0	—	—	4.5	—	36
パイレックスガラス	80.5	12.9	—	2.2	—	3.8	0.4	32
石英ガラス	100	—	—	—	—	—	—	5.8

- ガラスの破片は鋭利です。

下の写真を見比べてください。左の写真は未使用のカッターの刃を電子顕微鏡で1000倍に拡大し、撮影したものです。右はガラスの破片を同様の角度・倍率で撮影したものです。



カッターの刃は1000倍に拡大すると丸くなっているのに対し、ガラスの破片はこの倍率でも角が出ています。従ってガラスの破片はカッターよりも鋭くよく切れます。

5. 細工の基礎

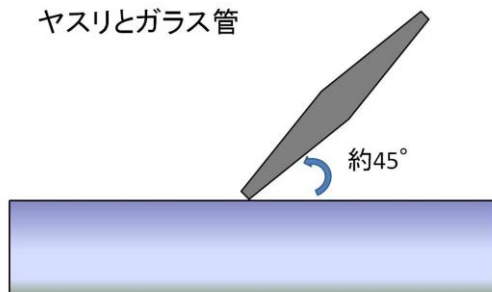
1. 手折り法

比較的、細いガラス管（直径 15mm程度）を切断する場合にこの方法を用います。

・目立てヤスリを右図のように持ち、ガラス管に対して約45°の角度で押し当て、手前に引きながら 5mm程度の長さ（8mmφ管の場合）の傷をつけます。



ヤスリとガラス管

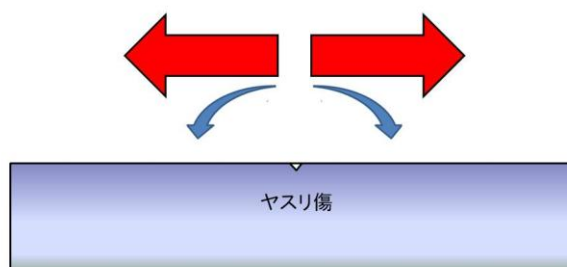


・傷を上に向け傷から 1cm程離れたところに両手の親指を宛がうようにしてガラス管を握ります。

・弓の弧をイメージしてガラス管を引っ張りながら、傷を開くように折ります。

※折る力よりも、引く力を強くすると上手く切断できます。

手折り法：横に引く力(赤い矢印)を70~80%。
残りの力(青い矢印)でヤスリ傷を開く(弓の弧を描くイメージ)

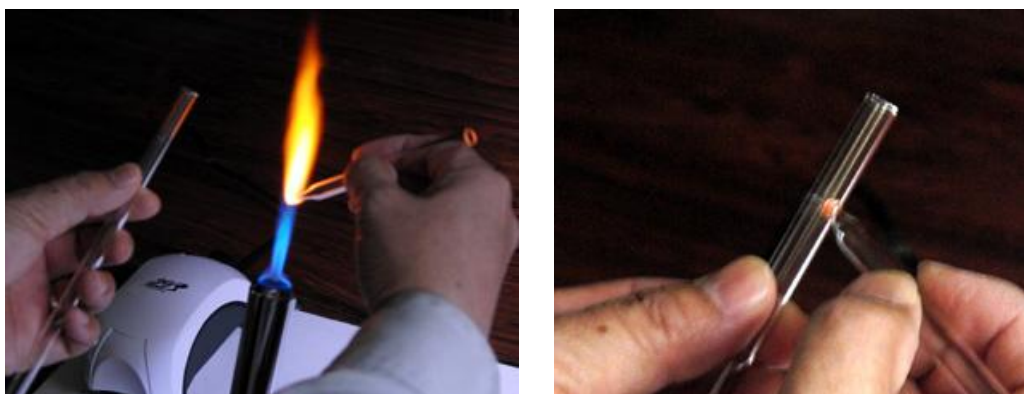


2. 焼玉法

・バーナーを用いてガラス管を融かし、細く引いて、焼き切っておきます。



・手折り法と同様のヤスリ傷を付け、細く引いたガラス管の先端をバーナーの炎で赤熱させ（焼玉）、ヤスリ傷の端から 1mm程離れた個所に押し当てます。



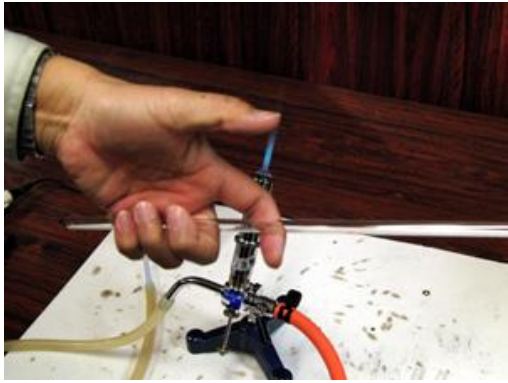
※焼玉の熱によりガラス管が膨張し、傷を開くように力が加わりヒビを入れることができます。

コツは両方の管を短く持って焼玉を狙った場所に素早く押し当てることです。また、押し当てた焼き玉はヒビが入るまで離してはいけません。

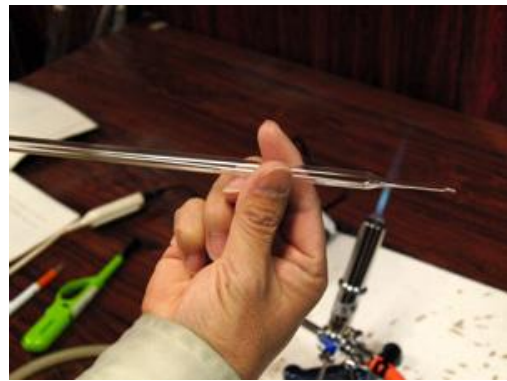
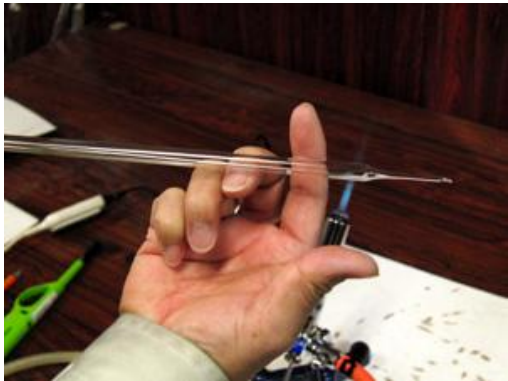


3. ガラス管の持ち方 (右利きの人を前提に解説しています。左利きの方は左右を読み替えてください。)

- ・ガラス管を左手で上からわしづかみにします。
- ・小指、薬指、中指の3本の指でガラス管を支え、親指と人差し指の2本の指でガラス管を回転させます。

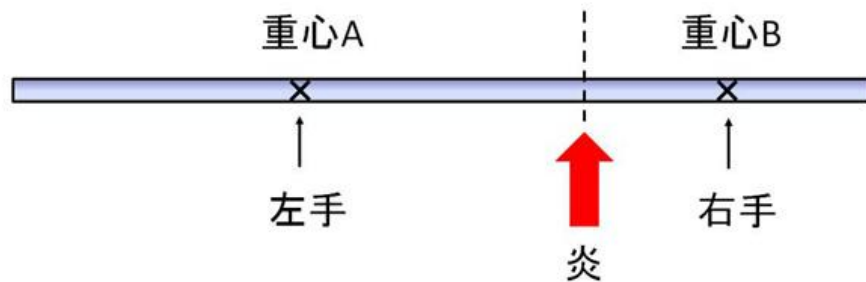


・右手は親指と人差し指でガラス管を下側から摘むように支えます。このとき、曲げた中指の爪の上にガラス管を乗せるようにします。



※バーナーによるガラス細工では、基本的に左手でガラス管を取り扱い、右手は細かい作業や道具を使った加工を行います。

管を持つ位置は炎で加工する部分で切断した場合のそれぞれの重心付近を持つと回転時の管のぶれを少なくすることができます。



4. 軸出し

・「ガラス管の持ち方」で説明したようにガラス管を持ち、炎の中でガラス管を回転させます。

※管を回転していると温度が高い中央部から融けていきます。このとき、ガラス自身が収縮し融けたガラス（肉）がたまっていきます。回転中に左右からガラス管を僅かに押す気持ちで回転すると外径が太くなり内径が細くなります。これを肉寄せと言います。

・ガラス管が融けたら炎から出して、回転させながら引き伸ばします。このときに、速く引くほどガラス管は細くなります。また、長く引くためには大きな炎で広い範囲を融かすようにします。

※肉寄せしておくくと引き出した部分の肉厚が厚くなり頑丈な持ち手を作ることができます。

・回転にムラがあると、ガラス管を均一に融かすことができないため、軸がぶれてしまいます。軸が上手く出なかったときは、軸の根元を炎で軟化させて修正します。

※細工する際の持ち手を作るための大切な基本操作なので、練習して習得する必要があります。



5. ガラス管（直管）の接合

- ・一端を封じたガラス管を左手に持ち、接合するための管を右手に持ちます。
- ・ガラス管の接合する部分を斜め上から炎の中に入れ、回転させながら融かします。

※真横から炎に入れると、炎が接合部分だけでなく広い範囲に当たってしまうので修正が難しくなります。

- ・ガラス管が融けたら炎から出し、融けた部分を左右から押し当てて仮に接合します（このときは完全に熔融して接合されていません）。このとき接合した部分の肉が厚くなるので、すぐにかるく引いて溜まった肉を散らしてやります。

※管と管をつけるときにまず1点をつけ、融けた部分が冷える前に全体を接合して軽く引きます。

※封じていない一端を口にくわえて息を吹き込むことを「吹きを入れる」といいます。仮の接合ができていないと穴が空いた状態となります。

- ・炎を細くして、接合部分を回転させながら炎の中で融かします。融けて肉がたまってきたら炎から出し、ガラス管の端から元の管よりも少し太めになるように吹きを入れ、冷えて固化する前に元の管と同じ径、同じ肉厚になるように引いて形を整えます。

・一回できれいに接合できない場合は、融かして吹く操作を繰り返します。



・完全に接合することができたら、大きな炎の中で接合した部分の歪を除去（アニーリング、焼きなまし）します。

※強い炎で加熱しすぎるとガラスが軟化してしまうので、弱めの炎で接合部全体を軟化しない程度に加熱します。



6. ガラス管（直管）の接合（回転できない場合）

・回転させられないものや、細工に不慣れのためガラス管を上手く回せない場合には、部分ごとに加熱して加工します。

接合部分に細い炎を当てているとその部分が融けて肉がたまり縮まっていきます。ある程度、肉がたまったら炎から出して吹きを入れて元の径に近づけます。

同様の操作で全体を接合したら歪みを除去します。

※この方法では加工時間が長くなり、仕上がりもあまりきれいになりません。回転できるものはできるだけ回転しながら細工するように練習しましょう。



7. ガラス管（直管）の接合（異径管）

・径の異なる管を接合するには接合部分の径を合わせた後ガラス管（直管）の接合同様の操作を行います。

※径の合わせ方は細い管の端を広げる方法と太い管を引き延ばす方法があります。また、太い管の場合は一端を閉じて試験管の底のようにした後、中心を吹き破って細い管の径に合わせることもできます。



8. ガラス管を曲げる

・ガラス管の一端を封じておき、回転させながら曲げる部分を炎の中で融かします。融かすときに、両側から少し押すようにして肉をためます（肉寄せします）。

・ガラスが融けて肉が溜まったら炎から出して、元の管径よりも少し細くなるように引きながら曲げ、吹きを入れて元の管径にします。

※曲げる角度や曲げの半径、ガラス管の太さに合わせて炎の大きさを調節します。

※吹きを入れるタイミングや吹きの強さが適切でないと形が変形します。その場合は細い炎で部分的に加工して形を整えます。



9. ガラス管を曲げる（軟化曲げ）

・接合と同様に回転させられないものを曲げるときは、弱く大きな炎の中でガラスを軟化させて少しずつ曲げていきます。

※この方法の場合、曲げの半径が小さいと管の内側がつぶれて扁平になってしまふことがあります。もしも、つぶれてしまったときは、つぶれた部分を炎にあてて融かし、吹き出して形を整えます。



10. 玉吹き

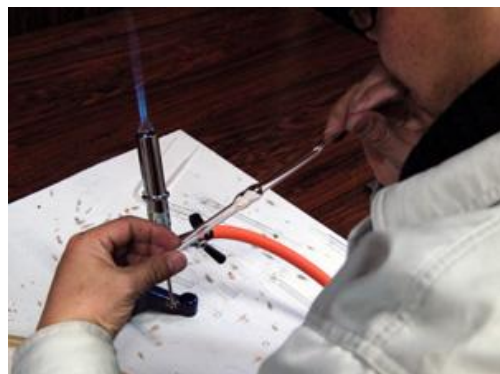
・両側に軸を出したガラス管の一端を封じておきます。

・吹きたい玉の大きさに合わせて炎の大きさを調節します。

・炎の中にガラス管を入れ左右から軽く押しながら（肉寄せしながら）回転させ、ガラスの肉を寄せて溜めます。

・肉が溜まったら炎から出し、回転させながら吹きを入れて玉を吹きます。

※一回で大きな玉を吹こうとせず、小さな玉を吹いて徐々に大きくしていくと、きれいな玉が吹けます。
また、二つ、三つと玉を合わせると、さらに大きな玉を作ることができます。



11. ゴム止めの製作

・ガラス管の一端を引き伸ばし、軸を出しておきます。



・左手でガラス管を回転させ、右手側の引き伸ばした部分から3 cm程度内側のところを細い炎で融かします。ガラス管が軟化したら炎から出して左右に軽く引き窪みを作ります。



・ガラス管の一方の肩の部分（元の管径から細くなる部分）を炎の中で軟化させ、左右から押してゴム止めの凸を作ります。



・もう一方の肩も同様に凸にします。

・炎を少し太くし、持ち手を下にして凸と持ち手の間を斜めに（温度勾配をつけるため）炎に入れ、回転させながら軟化させます。軟化したら炎から出して左右に引き、テーパーをつけます。



・細くなった部分から持ち手を切り落とし、切り口を炎の中でなまします。



12. 駒込ピペットの製作

・両側に軸を出したガラス管の一端を封じてきます。

・ゴム止めの製作と同様の操作で一端にゴム止めを作製します。

※このとき持ち手は切り落としません。

・ゴム止めの下に玉吹きと同様の操作で玉を吹きます。

・ゴム止めの反対側を引き延ばします。

※このときなだらかなテーパーを付けるには一度玉を吹いた後、引き延ばすと良い。

・両端を切り落とし、切り口を炎の中でなまします。



13. T字管の製作（枝管の接合）

・ガラス管の一端を封じておき、枝管を接合したい部分を細い炎で加熱します。

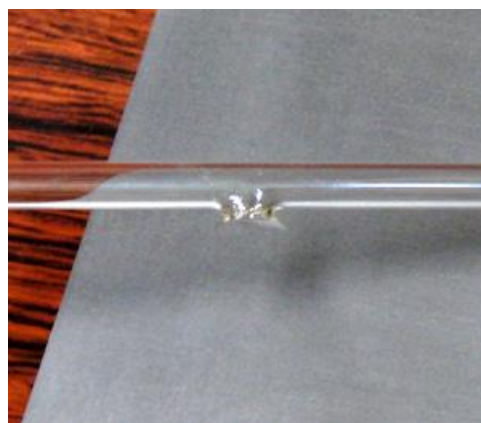
ガラスが融けたら吹きを入れ、融けた部分を膨らませます。



・膨らんだ部分の頂点をもう一度加熱し、枝管の直径に合わせてガラスを融かします。ガラスが融けたら炎から出して吹き破ります。



※吹き破るときは、穴の大きさが枝管の径よりも大きくなるように注意します。大きくなってしまったときは、枝管の切り口を融かしてグラファイトや鉄の箸などで広げて穴の径と同じにしてから接合します。



・吹き破ったガラス管（本管）の両端または枝管の一端を封じ、吹きを入れるようにします（枝管から吹きを入れた方が加工しやすい）。

・少し大きな炎の中で吹き破った部分と枝管の接合する部分を融かし、直管の接合のときと同様の操作で接合します。



※きれいに仕上げるコツは枝管側を融かし、本管の穴と反対側の部分は融かさないようにします。

6. 一歩進んだ道具の紹介（ホウケイ酸ガラス細工用）

6-1 細工バーナー（酸素バーナー）

空気の代わりに酸素ガスを添加して火力を上げます。ホウケイ酸ガラスを細工する場合に必要となります。

商品名：木下式小型ブルーバーナー
KBSS-120

価格：70,000 円前後



6-2 酸素ガス

価格：3,700 円前後

（ボンベを借り受ける場合）



6-3 圧力調整器

商品名：セフティゴールドⅢ

価格：15,000 円前後



6-4 カーボンコテ

価格：5,000 円前後

6-5 カーボン板

価格：3,000 円前後
約 15cm 角、厚さ 6mm
(写真)



6-6 耐圧チューブ

価格：500 円/m 前後
(10m 単位の販売もあるので注意)
8×13.5 (内径×外径)
(写真)

以上の価格を合計すると 97,200 円前後となり、軟質ガラス細工でも利用したヤスリやピンセットを含めても約 10 万円でホウケイ酸 (パイレックス) ガラスの細工を始めることができます。

※酸素ガスに関しては業者から 7m³ のボンベを借りる場合を想定しています。その他のボンベ (例えば 1.5m³) を購入する場合には別途費用が掛かります。

7. 細工の応用

1. トラップの製作 (外封じ込み)

- ・トラップ外管用ガラス管の両端を引き、軸を出しておきます。
 - ・一方の持ち手の根元に炎を当て、持ち手を取り去り、大きな炎で整形して試験管の底のようにします。
 - ・細い炎を用いて、底の中心を内管の径よりも少し大きめに吹き破ります。
 - ・吹き破った穴はガラスのバリを落とし、炎を当ててなましておきます。
 - ・吹きを入れた持ち手の端を封じます。
 - ・内管用のガラス管を炎の中で回転させ、軟化したら左右から押して、そばん玉のような圧縮輪を作ります。
 - ※この圧縮輪の大きさは外管に空けた穴よりも少し大きくしておきます。
 - ・内管を外管に空けた穴に差込み、内管の圧縮輪を外管の穴に密着させながら回転させ細い炎で熔着させます。
- 接合部の形が歪んだら、吹きを入れて形を整えます。この部分は歪みが残ると後からヒビが入りやすいので、除歪をきちんと実施します。
- ・T字管に穴を開ける要領で外管に枝管を付けるための穴を開けます (吹き破る)。T字管の製作と同様の方法により、外管に枝管を接合します。
 - ・枝管の端を封じてから持ち手を取り去り、底を作って完成です。



※今までの基礎を含めた動画があります。インターネット環境のある方は以下の URL にアクセスしてください。

<http://www.tsd.saitama-u.ac.jp/glass/movie/index.html>

8. おわりに

平成 18 年度に地域貢献の一環として始めた「ガラス細工技術講習プロジェクト」は今年度末で 9 年目を終了しました。以前からガラス細工に携わってきた私ですが、本格的に始めたのはこのプロジェクトがきっかけです。

およそ 10 年間で参加いただいた高校の理科系の先生、生徒さんの数はもはや数えられません（今年度の参加人数は 267 人でした）。また、ここ数年では埼玉県の「ものづくり技能フェスタ」に参加して一般の人にもガラス細工を楽しんでもらう機会を持っています。

こうした中、講習会に参加してくれた方々が、学校や職場でも気軽に細工をする環境が作れないだろうかを考えていました。実際に道具を揃えとなるとある程度の知識が必要となり、それを解説している専門書は数少ないことに驚きました。また、講習会で人に教えることの難しさが常に頭の中にあり、自分の知識を整理する意味も含めて応募した平成 26 年度科学研究費助成事業（科学研究費助成金）（奨励研究）で採択いただき、本書を作成することができました。

本書を作成するにあたり、写真を撮影してくださった総合技術支援センター・戸島基貴さん、様々な助言を頂きました同・大嶋正明総括技師をはじめとしたガラス細工技術講習プロジェクトのメンバーの方々に厚くお礼を申し上げます。

平成 27 年 3 月
埼玉大学研究機構
総合技術支援センター
齋藤 由明

参考文献

1. ガラス細工法－基礎と実際－ 飯田武夫（著） 廣川書店
2. CD-ROM を利用したガラス工作技術技術教育システムの開発 大嶋正明 平成13年度科研費奨励B
3. 映像を見ながら練習する科学系ガラス細工の基礎
(<http://www.tsd.saitama-u.ac.jp/glass/movie/index.html>)
大嶋正明 平成13年度科研費奨励B