

Elementary Glassworking

ガラス細工の初歩



ガラス工場

目 次

1	はじめに	1
2	道 具	1
3	ガラスの洗淨	2
4	切 断	3
5	熱加工	4
	1) 引き伸ばし	6
	2) ゴム止め	6
	3) 曲げ	6
	4) 接合	7
	5) 口作り	8
	6) 底作り	8
	7) 封じ込み	8
6	ひずみ	9
7	研 磨	10
8	金属とガラスの封着	11
9	ガラスの成分と特性	12
10	おわりに	14

1 はじめに

化学実験を行ううえでガラス器具は不可欠である。それは、ガラスが化学的に安定でフッ酸以外のものにはほとんど侵されず、また容器内での化学反応を観察することができる等の利点をもっているためである。

現在では多くの種類のガラス器具が市販されており、それらを組み合わせることによってほとんどの化学実験を行うことができる。しかし、ガラス製真空装置を使つてのNMRやESRの試料の調製、酸素と反応しやすい物質を取り扱う場合などの実験では研究者自身がガラス細工を行わなければならない。また、ガラス器具の簡単な修理や改良などを研究者自身が行える方が便利であるし、とくにガラス技術者のいない研究機関ではそれが不可欠となる。そこで、研究室でのガラス細工について、初歩的な技術を簡単に述べてみたい。ここでは、おもにホウケイ酸ガラス(Pyrex[®], Duran[®]-50等)の加工をとりあげる。ホウケイ酸ガラスはソーダ石灰ガラスと比べて急激な温度変化に耐え、アルカリ溶出度が少ないなどの理由から、最近の実験用器具はほとんどその素材を使うようになっている。また、熱加工時のひずみによる破壊が少ないために、加工は比較的容易である。

2 道具

ガラス細工に必要な道具をまずあげておこう。

1) バーナー

ガラス細工用のバーナーは、可燃性ガスに酸素または空気を混合して燃焼させ、ガラスを加熱のに用いる。バーナーは作るもの形、大きさを考慮し、細工に適した炎が得られ、簡単に操作できるものを選ぶ。

2) ヤスリ

目立てヤスリ・ガラス切りで、ガラスを切断するためにガラス表面に傷をつける。

3) ピンセット

溶融したガラスの末端をつまみ引き伸ばすときに焼き取り、また口開きなどに使用。以上3つの道具と都市ガスなどの可燃性ガスおよび酸素があればガラス細工は行える。



図 2-1 道具

左から目立てヤスリ、ヤリ、ピンセット、コテ、物差し、ノギス、タングステン棒

しかし、作るものによりそれに応じた工具を使用すると便利である。次にその一部を示す。

4) ヤリ

ステンレス鋼等の棒（φ3mm 位）の先端を三角状に平らにしたもの。口開きや穴の拡大等に使用。

5) コテ

ステンレス鋼やカーボン等の板。ガラスの肉寄せや平らにする場合に使用。

6) ゴム管

置き継ぎや取り付け、長尺の加工物に空気を吹き込むときに使用。

7) 物差し

長さや直径等を測るときに使用。

8) タングステン棒

タングステン棒（φ2~3mm 位）の先端を針状にしたもの。ガラスに小穴を開けるときの穴を塞ぐために肉寄せするとき使用。

9) 油類（ひまし油等）

ピンセット、ヤリ、コテ等の工具にガラスが溶着しないように塗る。

その他に、石綿、コルク栓、ヤットコなどを用いる。細工に直接使うわけではないが、ガラス屑を入れる金属製の屑箱も用意する必要がある。

3 ガラスの洗浄

ガラス表面に汚れが付いたままで熱加工をすると、それが部分的な結晶化、変質、ピンホールなどの原因となる。したがって、加工前に必ずガラスの表面の洗浄を行わなければならない。新しいガラス管を洗うには、外側は柔らかい布等でこすりながら水で洗い、内側は布・紙等の小片を濡らしてから管の一端に詰め、水道の圧力で押し出して洗う。太い管やフラスコ等をブラシで洗うときには金属部で内側に傷を付けないように注意する必要がある。

一度使用した器具の再加工や修理の際の洗浄方法を次に述べる。

- 1) 洗剤で洗う。――水洗を十分に。
- 2) 有機溶剤で洗う。――有機溶剤の蒸気が残らないように注意。
- 3) 酸・アルカリで洗う。――水洗を十分に。アルカリに長時間浸すとガラス表面が侵される。
- 4) 電気炉で加熱する。
- 5) フッ化水素酸水溶液でガラス表面を溶かす。――フッ化水素酸を皮膚に付けないよう、蒸気を吸わないよう注意。

4 切 断

市販のガラス管の長さは 150mm 程度であるが、長いままでは細工しにくいだけでなく、けがの原因にもなるので、作る物の大きさに合わせてガラス管を切断しなければならない。また、熱加工後不要になった足場（6 ページ参照）を切り取るなど、切断はガラス細工の基本的な操作の一つである。切断の方法にはガラスが引張り応力に弱いことを利用した方法、熱衝撃による方法、機械的な方法がある。

1) 手折り法

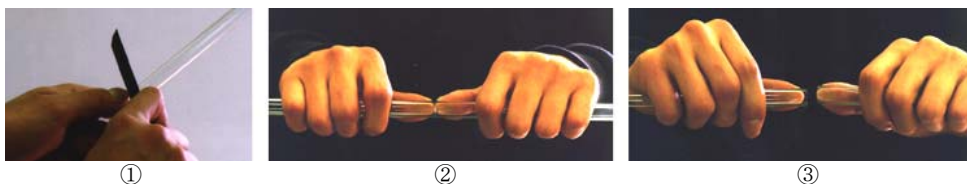
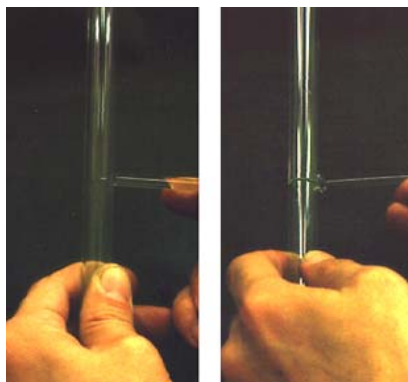


図 4-1 手折り法

直径 15mm 程度までの管を切断するのに用いられる。手順は、①管の外壁にヤスリで傷を付ける。②管を図 4-1②で示すように両手でにぎり親指を傷の反対側にそえる。③両側に引くようにして折る。

2) 急熱法

①ガラス管にヤスリで傷を付ける。②細いガラス棒あるいは金属棒の先端を強く熱し、図 4-2 に示すようにヤスリ傷の先端から 3~4mm はなれたところに押しあてる。急熱されることによりひびが伸びる。③太い管の場合には一度でひびが全体に入らないので、できたひびの先に②の要領で加熱した棒をあててひびを伸ばす。ひびの伸びる方向を加熱したガラス棒等で誘導するので誘導切りともよばれる。ソーダ石灰ガラスの瓶を切るときは、ヤスリ傷の上に電流によって赤熱したニクロム線等をあてて一周させて切ることができる。



(1)熱した棒をヤスリ傷から 3~4mm はなして押し当てる。

(2)ひびが伸びる。

図 4-2 急熱法

3) 急冷法

①ガラス管にヤスリで傷を付ける。②細いガラス管を回転させながら強く細い炎でヤスリ傷の上を加熱する。ニクロム線を巻いて電氣的に加熱してもよい。③加熱後直ちに濡らした布等で冷やす。

4) 機械的切断法

小型のものはダイヤモンドやカーボランダム等の粒子を付けた円盤を高速回転させ、それにガラスを押し付けて切断する。工場等で大型のガラスブロックなどを切断するときには帯鋸式のダイヤモンドソー等が使われる。



図 4-3 小型カッター

5 熱加工

ガラスの粘度は温度が高くなるにしたがって減少する。その粘度の温度による変化を図 5-1 に示す。ガラスの成形に適した粘度は $10^4 \sim 10^{7.6}$ ポアズで、ソーダ石灰ガラスでは $690 \sim 1000^\circ\text{C}$ 程度、ホウケイ酸ガラスでは $820 \sim 1250^\circ\text{C}$ 程度のときにその粘度となる。したがって、ソーダ石灰ガラスの細工には都市ガス等に空気を混合させた炎を用い、ホウケイ酸ガラスの場合では酸素を混合させた炎を用いる必要がある。ホウケイ酸ガラスの細工を行う場合、ガラスを炎の中で $1200 \sim 1300^\circ\text{C}$ 程度に加熱し、炎から出して成形する。成形している間に

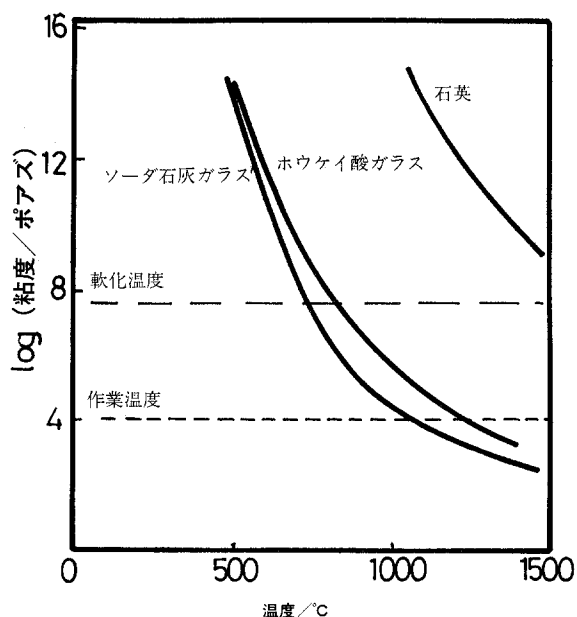


図 5-1 ガラスの温度による粘度の変化

ガラスの温度は下がり、 820°C 以下になると硬くなる。そこで温度が下がりすぎないように細工を手早く終えなければならない。細工に適した加熱を行うための炎の使い方やガラスの持ち方、また炎から出して成形を行い硬化するまでの間合いの取り方などは、細工を行ううえで特に重要なことである。

細工を行うための加熱方法について簡単に述べる。ガラスを急激に加熱すると熱衝撃のためにガラスが壊れることがある。そのため、酸素の混合割合を少なくした炎(15 ページ・図 1) でゆっくりと予熱する。ついで、酸素の割合を増した炎 (15 ページ・図 2) で細工に適した温度まで加熱する。この炎の内炎と外炎の境がもっとも高温となる。そこで、局部的に加熱したいときには炎を小さくして内炎の先端で加熱し、広範囲に加熱したいとき

には炎を大きくして内炎の先端より少し上で加熱する等の工夫が必要となる。ガラスが軟化温度近くまで加熱されると炎の色が変化する。そのときの炎を 15 ページ・図 4 に示す。ガスの量を少なく、酸素をより多くすると針状の炎 (15 ページ・図 3) ができる。この炎は前述した急熱法による切断の際にガラス棒を焼くときや、ガラスに小穴を開けるときに用いられる。

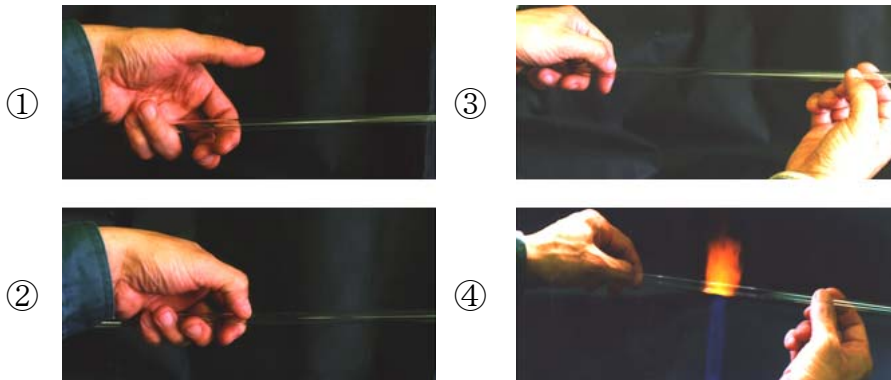


図 5-2 ガラス管の持ち方

ガラス管を均一に加熱するために炎の中でガラス管を回転させる。ガラス管をスムーズに回転させるため図 5-2 に示したような持ち方をする。①左手の小指と薬指でガラス管を支え、②親指と人差指で回転させる。③右手の中指の爪の上にガラス管のをせ、親指と人差指で回転させる。基本的には以上のような持ち方をするが、接合するときなど、図 5-2 -④のような持ち方をすることもある。ガラス管を回転させるとき、両手の動きのバランスがとれていないと、ガラス管が溶け出したときにねじれたり曲がったりすることになる。ガラス管を回転させるのはガラス管を均一に加熱するためだけでなく、ガラス管が溶け出したときに垂れ下がるのを防ぐためでもある。したがって、ガラス管を炎から出しても、軟化温度以下になるまで回転を続けなければならない。大径のものを加工するときはガラス旋盤を用いて回転を与え細工する。



図 5-3 ガラス旋盤

次に熱加工の手順の主なものについて簡単に述べる。なお、図では炎で加熱する箇所を矢印↑で、切断する所は破線で示した。

1) 引き伸ばし

- ① ガラス管を回しながら平均に溶かす。
- ② 炎から出してまわしながらゆくりと引っ張る。完全に硬化するまで回す。

太い管を細工するときには太いままでは回転させにくいいため、管を細く引き伸ばし持つところを作る。その部分を“足場”という。足場はそこを持ってガラス管を支えられるだけの太さと長さがあり、その軸がガラス管の軸と合っていないと合っていない。回転のさせ方が悪いと溶け方が不均一となり軸が合わなくなる。軸が合わないときには肩の所を加熱して修正する。足場を作るとき、加熱後炎から出して回転させながら少し冷め加減になるのを待って引っ張った方が太い丈夫な足場ができる。

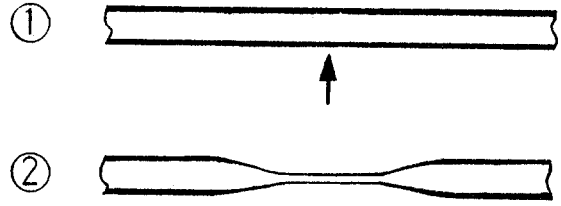


図5-4 引き伸ばし

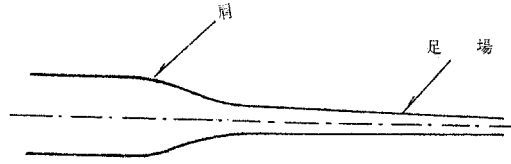


図5-5 足場

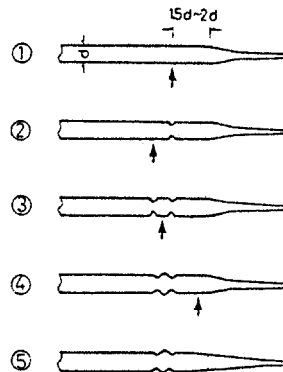


図5-6 ゴム止め

2) ゴム止め

- ① 足場を作りその足場の肩から管径の1.5~2倍のところを細い炎で回しながら加熱し、少し引っ張りくぼみを作る。
- ② ①のくぼみから少し離れたところを加熱し①と同様にくぼみを作る。
- ③ その中間を加熱し少し両側から押し縮めるか、空気を入れてふくらませる。
- ④ 肩を加熱し、引っ張ってなだらかにする。
- ⑤ 足場を切り取り、切り口を焼く。

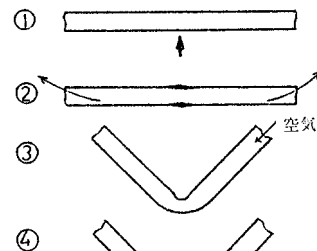


図5-7 曲げ

3) 曲げ

- ① 曲げる部分を大きな炎で回しながら均一に加熱。このとき少し押すような感じで肉溜めをする。
- ② 炎から出して円を描くような感じで曲げ、
- ③ すぐに空気を入れて整形する。ガラス管を固定し、

大きな炎でゆっくり加熱してガラス管を自重で曲げる方法もある。

4) 接合

4-1) 同径接合

①接合する部分を少し斜めにして回しながら加熱する。②炎から出し両方の切り口を押し合わせる。③継ぎ目全体をよく焼き溶かし、④空気を入れて整形する。

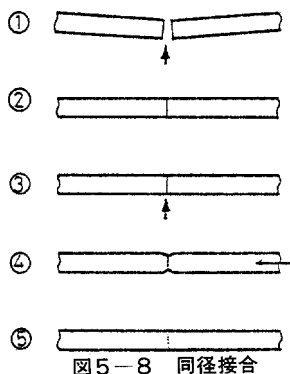


図5-8 同径接合

4-2) 異径接合

①太い管を引き伸ばす。②肩の部分を焼き、細い管と同径にしぼり、③を切る。④4-1) 同径接合と同様に接合する。

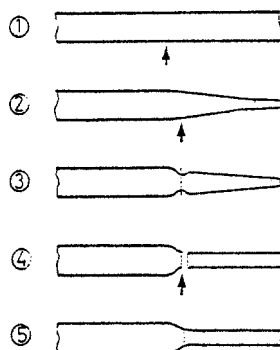


図5-9 異径接合

4-3) 側管接合

①側管を付けるところを小さな炎で加熱し空気を入れて側管と同径に吹く。②頂点のみを小さな炎で加熱し、側管と同径に吹き破る。③側管を4-1)の要領で接合する。曲げた管に側管を接合するとY字管ができる。

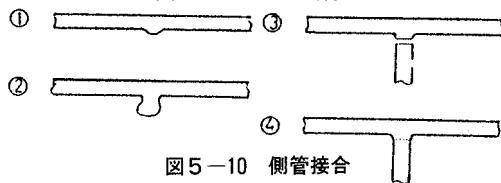


図5-10 側管接合

接合を行ううえで重要なことは二つの管の径を同じにすることと、接合部をよく溶かし合わせることである。管径が異なるものをそのまま接合すれば、穴が開いたり肉が溜まりすぎたりする。図5-11のように溶け合い方が不十分なものは細工後に破壊が起こりやすい。図5-12に示したように、継ぎ目が見えなくなるまで十分に溶かす必要がある。接合する管が太くて回しながら加熱(回し焼き)し整形するのが困難な場合、接合部をいくつかの部分に分けて加熱(部分焼き)し整形を繰り返す方法もある。



図5-11 溶着不十分



図5-12 溶着完了

5) 口作り

①切り口をよく加熱し、肉を溜める。このとき、口が平らでなければコテで叩いて平らにする。②ピンセットを差し込んで形を整える。このとき管を回し、ピンセットを動かさないようにする。③口を拡げるときはピンセットを斜めにする。

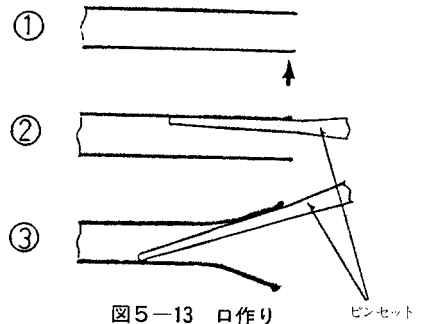


図5-13 口作り

6) 底作り

①足場の肩を加熱し、足場を取る。②先だけを加熱し、ピンセットで肉を取る。③底を加熱し空気を入れて整形する。底を平らにするときは、④底を加熱し、底にコテを当てて平らにし、空気を入れて整形する。

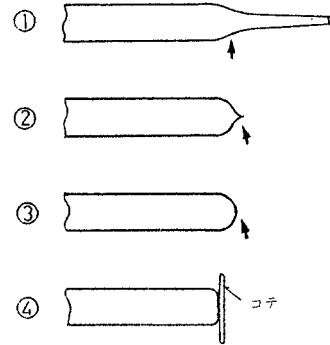


図5-14 底作り

7) 封じ込み

7-1) 一端封じ

①封じ込む内管を加熱してソロバン球のような小球を作る。②外管をしぼり内管の小球に合わせて吹き破る。③外管と内管を組み合わせ接合する。④接合部が鋭角にならないように十分に溶かし、空気を入れて整形する。内管が中心にくるように注意する。

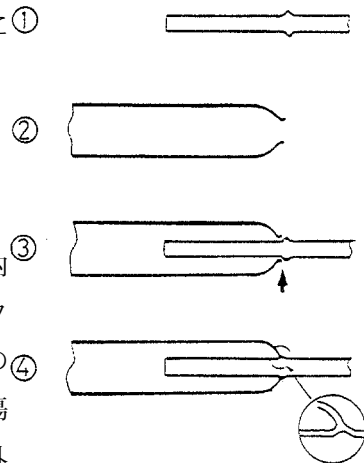


図5-15 一端封じ

7-2) 両端封じ

①内管の両端を口作りの要領で少し開く。②外管を内管と同径にしぼる。③内管をガラス管等で支え、コルク栓等を使い外管と組み合わせる。このとき外管と内管の間に空気が通じるよう、また支えのガラス管で内管に傷を付けないように注意する。④外管と内管を接合し、外管の足場を切る。⑤ガラス管を接合する。他端も同様に封じる。

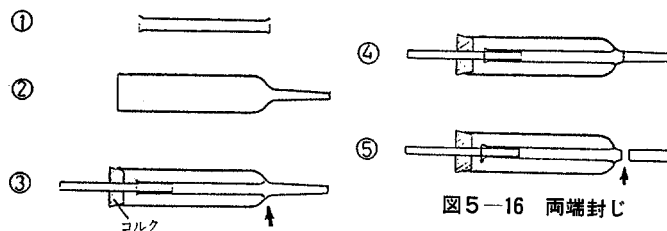


図5-16 両端封じ

以上の基本操作を組み合わせて種々の器具を作ることができる。トラップ・コンデンサーの例を次にあげる。

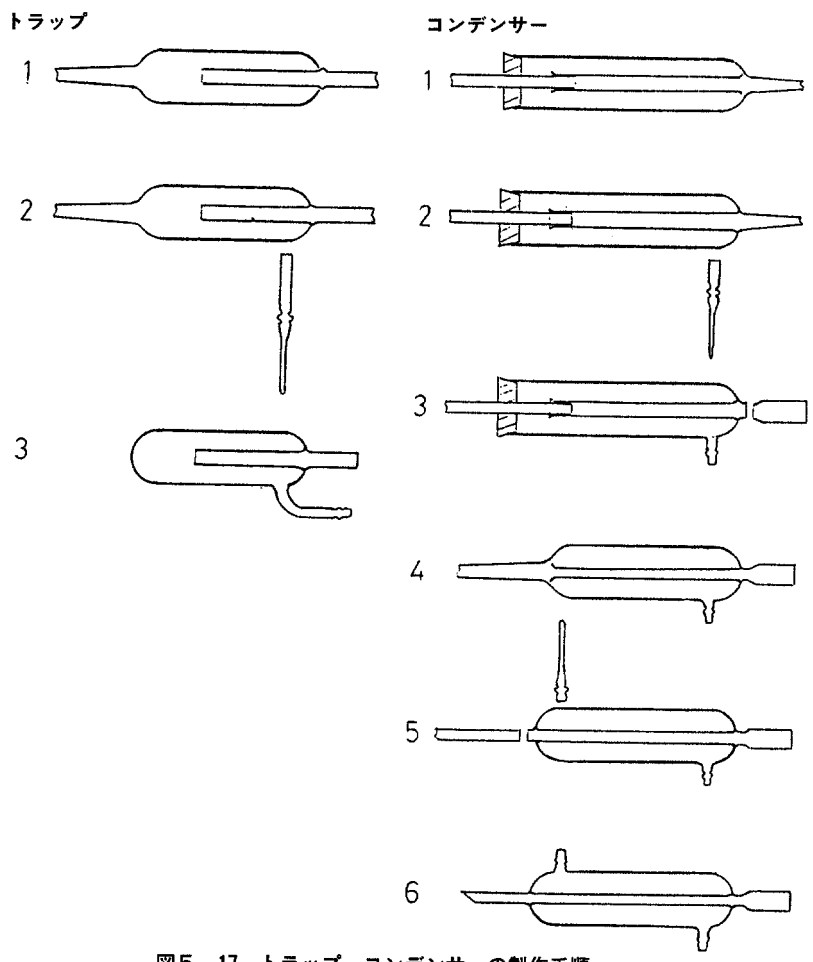


図5-17 トラップ、コンデンサーの製作手順

6 ひずみ

ガラスの熱加工後放置しておく、1～2日たってからひびが入ることがある。これはひずみによるものである。ガラスの一部をガス炎等で熱加工するときには、加工部が高温の流体となるがその周囲は室温の固体のままである。熱加工後冷却されるとき、加工部が軟化温度以下の固体になり、熱収縮しようとしても周囲に固体の部分があるために収縮できず、ひずみが生じる。ひずみは偏光を利用したひずみ検査器で観察することができる。ガラス細工を行ったときにできるひずみを15ページ・図5に示す。ひずみがかかってい

る所は色が濃くなっている。図からわかるように、ひずみは熱加工を行った周辺で一番強い。また、ガラス全体を高温にした場合でも、冷却時に表面が先に冷やされて内部との温度差ができるためにひずみが生じる。ひずみを取り除くためには、軟化温度よりは十分低い粘性流動を起こす温度（除歪温度）まで加熱し、部分的な温度差を生じないようにゆっくりと冷やす（除冷）必要がある。真空配管などのように炉に入れて除冷できないものは、大きな予熱に使う炎で加工部周辺を広く加熱し、強く集中しているひずみを分散させる。このとき強く加熱しすぎると新たなひずみが生じ、弱すぎるとひずみが残るので加熱のしかたに注意が必要である。

ひずみを利用したものに強化ガラスがある。強化ガラスは急冷あるいは化学処理することによりガラス表面に均一なひずみを作ったものである。17世紀頃から知られている強化ガラスにプリンス・ラパートの滴（Prince Rupert's drops・オランダの涙）がある。これは、ソーダ石灰ガラスの棒の先端を強熱し、溶けて自重で垂れ下がったガラス滴を水中に落として急冷して作る。できた滴は頭をハンマーでたたいても壊れないが、尾を折ると粉々になってしまう。

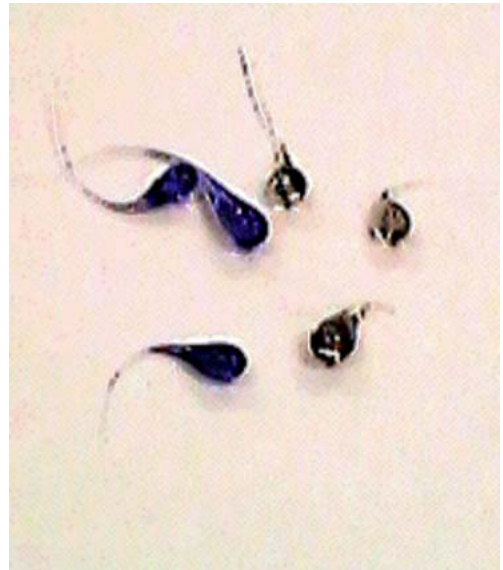


図 6-1 プリンス・ラパートの滴

7 研 磨

ガラス瓶などを誘導切りで切るとどうしても切り口がきれいな平面にならない。そこで切り口を研磨して平らにする。研磨法は回転している円盤上に水で濡らした研磨剤を置き、切り口を押し付けて削る。研磨剤は最初粗いものを用いだんだん細かくして仕上げる。鉄板あるいはガラス板上に水で濡らした研磨剤を置き、研磨したい物をこすり付けて研磨することもできる。

ジョイント・コック等のテーパの付いた摺り合わせを自作することはないと思われるので、使用法について述べる。摺り合わせは研磨剤を使って作られるので使用する前に十分洗うこと。研磨剤が残ったまま強くねじ込むと摺り面に傷が付く。ごみ・ほこり等でも傷が付くので注意が必要。ジョイントに $\text{D}29/32$ 等の記号が書き込まれていることがある。

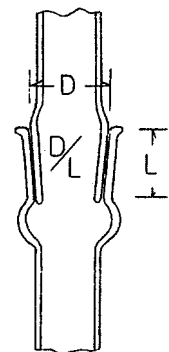


図 7-1 ジョイント

Ⓕは JIS 規格の Standard Taper つまり 1/10 のテーパーで互換性のあるジョイントであることを示している。29/32 等の分数は、図 7-1 に示すように分子が口径、分母が長さを示している。真空コック等は互換性がないため、組合せを間違わないように注意すること。ジョイント・コックの摺り面にすじが入るものは真空漏れを起こしたり、くい付いて動かなくなる原因となる。

8 金属とガラスの封着

金属とガラスを封着するには次のような条件を満足しなければならない。

1. 金属の融点がガラスの作業温度より高いこと。
2. 金属とガラスが互いに濡れること。
3. 金属とガラスの除冷温度以下の熱膨張係数が一致していること。

封着に用いられる金属とガラスの組合せを表 8-1 に示す。

金 属	熱膨張係数	封着用ガラス	
	$10^{-7}/^{\circ}\text{C}$	ガラスの種類	例 (コード番号)
白 金	94	鉛ガラス	0010,0112
タングステン	48	ホウケイ酸ガラス	3320,7720
コバル	45~51	ホウケイ酸ガラス	7652,7056
銅	177	リン酸ガラス	PM9

コバルは鉄・ニッケル・クロムの合金で、コバル封着用ガラスと広い温度範囲で熱膨張特性が似ている。銅は箔にするとすべてのガラスに封着することができる。次にタングステン線を例にとり封着法を簡単に述べる。①タングステン線をガス炎で焼き直ちに亜硝酸ソーダ水溶液に入れる。②ガス炎で軽く焼き灰黒色の酸化膜を作る。③ガラスの小管を溶着させる。④ガラスを巻き付ける。⑤一端封じの要領で封じ込む。

金属によって前処理方法は異なるが、

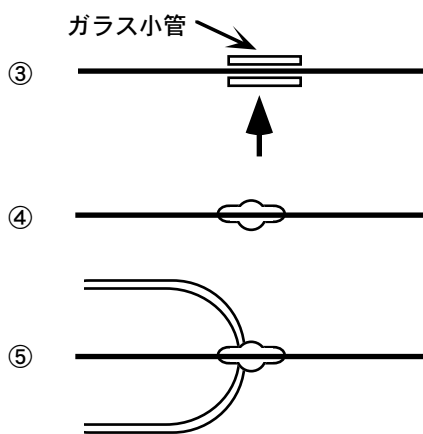


図 8-1 タングステンの封着

その目的は、金属表面を脱脂し、均一な酸化膜を作ることにある。ガラスへの封着方法はタングステンの場合とほとんど同じである。

9 ガラスの成分と特性

私達が目にするほとんどのガラスの主成分は SiO_2 である。 SiO_2 の他に B_2O_3 , P_2O_5 等が単独でガラスになる。しかし、化学的に熱的にも一番安定なものは SiO_2 であるため、特殊な物*を除いて、ガラスの主成分は SiO_2 と言うことができる。 SiO_2 は岩石の主要成分であり、そのクラーク数は O が 49.5 , Si が 25.8 である。したがってガラスの資源は無尽蔵であるといつてよい。

ガラスは SiO_2 に他のものを混合し加熱溶融して作る。ガラスの成分とそれらのガラスの性質に対する影響を次に示す。

ケイ酸 SiO_2

ガラスの網目構造を作る。軟化温度が高く、熱膨張係数が小さい。化学的に安定である。

ホウ酸 B_2O_3

ガラスの網目構造を作る。熱膨張係数や化学耐久性に変化を与えずに軟化温度を下げる。分相しやすい。

アルミナ Al_2O_3

結晶化を抑える。軟化温度を上げる。

酸化鉛 PbO

屈折率が高い。還元雰囲気では Pb になる。金属との濡れを良くする。

酸化ナトリウム Na_2O

軟化温度を下げる。熱膨張係数を大きくする。化学耐久性を減少させる。

酸化カリウム K_2O

Na_2O と同じ効果。 Na^+ より大きいので移動せず、化学耐久性は Na_2O より大きい。光沢を与える。

酸化カルシウム CaO

アルカリの移動を止めるためアルカリガラスの化学耐久性を増す。

以上のほか、 MgO , BaO などがある。これらがどのような割合で混合されるかによりガラスの性質が決まる。ガラスの成分による分類とその特性を表 9-1 に示す。理化学実験に用いられるガラスは主に石英ガラスとホウケイ酸ガラスである。

*たとえば、ナトリウム放電ランプ用ガラスの主成分は $\text{B}_2\text{O}_3 - \text{Al}_2\text{O}_3 - \text{BaO}$ で SiO_2 を含まない。

表9-1 ガラスの成分による分類とその特性

分類	成分	軟化温度 °C	熱膨張係数 10 ⁻⁷ /°C	使用例
石英ガラス	SiO ₂	>1500	5.5	測定用セル (UV, NMR等) 燃焼管, 光通信用
アルミノケイ酸ガラス	Al ₂ O ₃ , CaO	850~950	33~46	燃焼管, 高圧水銀燈, ストープ
ホウケイ酸ガラス	B ₂ O ₃	700~830	32~65	理化学実験用, 光学用 (クラウンガラス)
ソーダ石灰ガラス	CaO, Na ₂ O	550~700	90~110	ビン, 窓, 食器, 光学用 (クラウンガラス)
鉛ガラス	PbO	400~600	90~125	光学用 (フリントガラス), クリスタルガラス 金属封入用, 放射線遮蔽用

石英ガラスには(1)水晶を酸水素炎で溶融したもの、(2)水晶を電気溶融したもの、(3)SiCl₄を酸水素炎中で反応させたもの等がある。OH基による赤外部の吸収の少ないのは(2)法によるもので、紫外部の吸収の少ないのは(3)法によるものである。(3)法による合成石英を真空中で溶融する等によりOHを少なくしたものもある。理化学実験用のホウケイ酸ガラスの組成例を表9-2に示す。

表9-2 ホウケイ酸ガラスの組成例

No.	SiO ₂	B ₂ O ₃	Al ₂ O ₃	Na ₂ O	K ₂ O	備考
1	80.9	12.7	2.3	4		Pyrex ¹
2	81	13	2	4		Duran ¹ -50
3	70.7	7.4	4.4	13.8	ZnO 2.4	ビーカー
4	68.0	11.7	4.1	10.0	ZnO 4.7	試験管
5	73	14	1.7	4.4	PbO 5.7	タングステン封着ガラス

1,2のガラスは熱膨張係数が32×10⁻⁷/°Cでアルカリ溶出度が小さい。3,4は1,2に比べ熱膨張係数とアルカリ溶出度が大きい。5はPbOを入れ金属との濡れを良くしたものである。

石英ガラス(熱膨張係数5.6×10⁻⁷/°C)とPyrex^o(熱膨張係数32×10⁻⁷/°C)のように熱膨張係数の異なるガラスをつなぐ場合、熱膨張係数の少しずつ異なるガラス(中間ガラス)を何種か間にはさんで熱膨張係数の差によるひずみを緩和させる。ガラスの熱膨張係数がわからない場合は次のようにして調べる。接ぎ合わせたいガラスを重ね合わせ、加熱

し溶着させて引き伸ばす。冷却後、二つのガラス熱膨張係数が等しければ、補足引き伸ばされた部分は直線となり、等しくなければ、熱膨張係数の大きいガラスを内側にして弧を描いて曲がる。曲がり方の小さいときは二つのガラスを直接接合できるが、曲がり方の大きいときは間に中間ガラスを入れる必要がある。

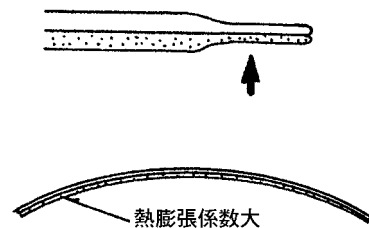


図9-1 熱膨張係数の調べ方

10 おわりに

ガラス細工はガスバーナーの火炎でガラスを高温にするために、バーナーの火で髪や衣服を焼いたり、完全に冷めていないガラスをつかんでやけどをしたり事故がある。火の取り扱いには特に気を付けてほしい。やけどをしたら流水で十分に冷やすこと。ガラス管にコルク栓を差し込もうとしてガラス管が折れ、手に突き刺したという事故がある。薄くて弱い足場も壊れやすい。事故を起こさないように十分気を付けてガラス細工およびガラス器具の取り扱いを行ってほしい。

参考図書

ガラス細工について

高木貞恵，硝子細工法，三共出版，1966

飯田武夫，ガラス細工法，廣川書店，1973

R.Barbour, Glassblowing for laboratory technicians, Pergamon Press, 1978

ガラスについて

成瀬省，ガラス工学，共立出版，1958

クリュチニコフ，ガラスの科学，東京図書，1967

土橋正二，ガラスの化学，講談社，1972

D.G.Holloway，ガラスの物理，共立出版，1977

その他

森谷太郎ほか編，ガラス工学ハンドブック，朝倉書店，1963

作花済夫ほか編，ガラスハンドブック，朝倉書店，1975



図1 予熱用の炎



図2 細工用の炎



図3 針状の炎



図4 ガラス管の軟化炎が Na^+ の色を示す

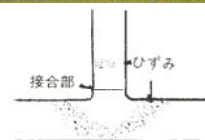
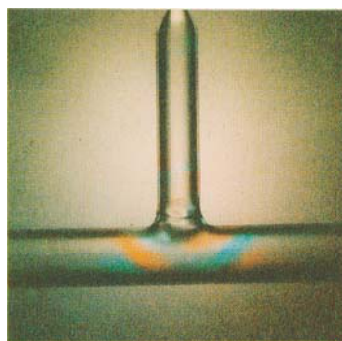
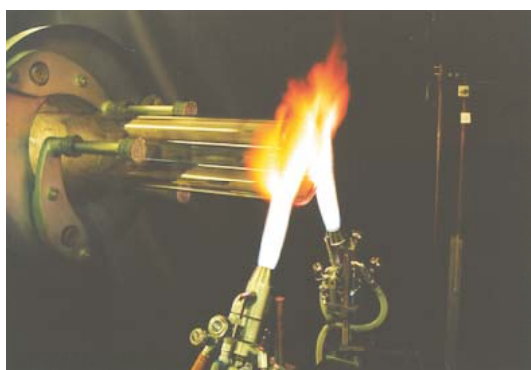


図5 熱加工によるひずみ

第一表 ガラスの諸特性表

1 ガラス コード 番号	2 ガラスの種別	3 色	4 主用途	5 形状	6 熱膨脹係数 - / °C	7 最高使用温度				8 耐熱衝撃性 6×6"板			9 熱応力 抵抗 °C	10 粘 性				11 衝撃 摩擦 抵抗	12 密度 (比重)	13 ヤング 率 10 ⁵ kg/cm ²	13 ポアッ ソン比	14 体積抵抗 log ₁₀			15 誘電的性質 (IMC20°C)			16 屈折率 ND (5389Å)
						徐冷ガラス		強化ガラス		徐冷ガラス				歪点 °C	徐冷点 °C	軟化点 °C	作業点 °C					25°C	250°C	350°C	力率	誘電率	誘電 損失	
						常用	最高	常用	最高	1/8"厚	1/4"厚	1/2"厚																
						°C	°C	°C	°C	°C	°C	°C																
0010	ポタッシュソーダ鉛	透明	ランプ用管	T	91×10 ⁻⁷	110	380	-	-	65	50	35	19	395	430	626	970	0.8	2.85	6.0	-	17.+	8.9	7.0	.16%	6.7	1.%	1.539
0080	ソーダ・ライム	"	ランプ用バルブ	BMT	92×10 ⁻⁷	110	460	220	250	65	50	35	17	470	510	696	1000	1.2	2.47	7.0	0.24	12.4	6.4	5.1	.9	7.2	6.5	1.512
0120	ポタッシュソーダ鉛	"	ランプ用管	TM	89×10 ⁻⁷	110	380	-	-	65	50	35	17	395	435	630	975	0.8	3.05	5.7	-	17.+	10.1	8.0	.12	6.7	.8	1.560
1720	アルミナ珪酸	"	燃焼管	BT	42×10 ⁻⁷	200	650	400	450	135	115	75	29	670	715	915	1200	2.0	2.53	-	-	-	11.4	9.5	.38	7.2	2.7	1.530
1723	アルミナ珪酸	"	電子管	BT	46×10 ⁻⁷	200	650	400	450	125	100	70	25	670	708	912	1176	2.0	2.63	9.0	0.26	-	13.5	11.3	.16	6.3	1.0	1.547
1990	ポタッシュソーダ鉛	"	鉄封着	-	127×10 ⁻⁷	100	310	-	-	45	35	25	13	330	360	496	755	-	3.47	5.9	0.25	-	10.1	7.7	.04	8.3	.33	-
2405	硼珪酸	赤	一般用	BPU	43×10 ⁻⁷	200	480	-	-	135	115	75	36	505	540	770	1085	-	2.50	-	-	-	-	-	-	-	-	1.507
2475	ソーダ亜鉛	"	ネオンサイン	T	93×10 ⁻⁷	110	440	-	-	65	50	35	17	460	505	690	1040	-	2.59	7.0	-	-	7.8	6.2	-	-	-	1.511
3320	硼珪酸	ウグイス	タングステン封着	-	40×10 ⁻⁷	200	480	-	-	145	110	80	40	495	540	780	1155	-	2.29	-	-	-	8.6	7.1	.30	4.9	1.5	1.481
6720	ソーダ亜鉛	乳白	一般	P	80×10 ⁻⁷	110	480	220	275	70	60	40	19	495	535	775	1015	-	2.58	-	-	-	-	-	-	-	-	1.507
6750	ソーダバリウム	"	照明用器具	BPR	87×10 ⁻⁷	110	420	220	220	65	50	35	18	440	475	672	1040	-	2.63	-	-	-	-	-	-	-	-	1.513
6810	ソーダ亜鉛	"	照明用器具	BPR	69×10 ⁻⁷	120	470	240	270	85	70	45	23	490	530	768	1010	-	2.65	-	-	-	-	-	-	-	-	1.508
7040	硼珪酸	透明	コパール封着	BT	48×10 ⁻⁷	-	-	-	-	-	-	-	39	454	489	701	1080	-	2.24	5.9	0.21	-	9.6	7.8	.20	4.8	1.0	1.480
7050	"	"	封着用	T	46×10 ⁻⁷	200	440	235	235	125	100	70	34	460	500	703	1025	-	2.25	-	-	16.	8.8	7.2	.33	4.9	1.6	1.479
7052	"	"	コパール封着	BMPT	46×10 ⁻⁷	200	420	210	210	125	100	70	34	435	480	708	1115	-	2.28	6.0	0.22	17.	9.2	7.4	.26	5.1	1.3	1.484
7056	"	"	"	BTP	51×10 ⁻⁷	-	460	-	-	-	-	-	37	473	513	718	-	-	-	-	-	10.2	8.3	.27	5.7	1.5	1.487	
7070	"	"	低損失(電気用)	BMPT	32×10 ⁻⁷	230	430	230	230	180	150	100	70	455	495	-	1100	4.1	2.13	5.1	0.22	17.+	11.2	9.1	.06	4.0	.24	1.469
7250	"	"	オープン用器具	P	36×10 ⁻⁷	230	460	260	260	160	130	90	43	485	530	780	1190	3.2	2.24	-	-	15.	8.2	6.7	.27	4.7	1.3	1.475
7570	高鉛	"	半田ガラス	-	84×10 ⁻⁷	100	300	-	-	-	-	-	-	345	365	440	560	-	5.42	5.6	-	-	10.6	8.7	.22	15.	3.3	-
7720	硼珪酸	"	タングステン封着	BPT	36×10 ⁻⁷	230	460	260	260	160	130	90	45	485	525	755	1110	3.2	2.35	6.5	-	16.	8.8	7.2	.27	4.7	1.3	1.487
7740	"	"	一般用	BPSTU	32.5×10 ⁻⁷	230	490	260	290	180	150	100	48	520	565	820	1220	3.1	2.23	6.5	0.20	15.	8.1	6.6	.46	4.6	2.1	1.474
7760	"	"	"	BP	34×10 ⁻⁷	230	450	250	250	160	130	90	51	480	910	780	1210	-	2.23	6.4	-	17.	9.4	7.7	.18	4.5	.79	1.473
7900	96%珪酸	"	高温用	BPTUM	8×10 ⁻⁷	800	1090	-	-	1250	1000	750	200	820	910	1500	-	3.5	2.18	6.7	0.18	17.	9.7	8.1	.05	3.8	.19	1.458
7913	"	"	"	BPRST	8×10 ⁻⁷	900	1200	-	-	-	-	-	200	820	910	1500	-	3.5	2.18	6.7	0.18	-	-	-	.04	3.8	0.15	1.458
7940	石英ガラス	"	超音波	U	5.6×10 ⁻⁷	900	1100	-	-	1250	1000	750	290	1050-	approx	1500+	-	3.6	2.20	7.4	0.17	-	11.8	10.2	.001	3.8	.0038	1.459
8160	ポタッシュソーダ鉛	"	電子管	PT	91×10 ⁻⁷	110	380	-	-	65	50	35	18	395	435	627	975	-	2.96	-	-	-	10.6	8.4	.09	7.0	0.63	1.553
8161	ポタッシュ鉛	"	電子管	PT	88×10 ⁻⁷	-	390	-	-	-	-	-	-	403	432	596	862	-	4.02	-	-	-	12.0	9.9	.06	8.3	0.50	1.663
8363	高鉛	"	放射線遮蔽	LC	104×10 ⁻⁷	-	-	-	-	-	-	-	19	309	323	379	461	-	6.24	5.1	0.27	-	9.2	7.5	.19	17.0	3.2	1.97
8871	ポタッシュ鉛	"	キャパシター	-	103×10 ⁻⁷	125	360	-	-	55	45	35	15	356	385	527	770	-	3.84	5.8	0.24	-	11.1	8.8	.05	8.4	0.42	-
9010	ポタッシュソーダバリウム	灰	T.V.バルブ	P	89×10 ⁻⁷	-	-	-	-	-	-	-	18	412	444	649	1095	-	2.60	6.8	-	-	8.9	7.0	.17	6.3	1.1	1.507
9700	硼珪酸	透明	U.V.透過	TU	37×10 ⁻⁷	220	500	-	-	150	120	80	42	520	565	804	1195	-	2.26	6.7	0.2	15.	8.0	6.5	-	-	-	1.478
9741	"	"	U.V.透過	BUT	39×10 ⁻⁷	200	390	-	-	150	120	80	40	410	450	705	-	-	2.16	-	-	17.+	9.4	7.6	-	-	-	1.468

<p>第1列 #7910, #7911, #7905等U.V.用や赤外透過用もある。</p> <p>第5列 B-吹きもの M-マルチフォーム U-パネル</p> <p>第6列 0°Cから300°Cまでの平均熱膨脹係数</p>	<p>第7列 ここに掲げる数値は概略値である。熱衝撃をうける場合の使用限界については第8列を参照のこと。徐冷ガラスは最高使用温度において熱衝撃に対して弱い。この列に与えられる値は機械的な観点からのみ与えられるものである。</p> <p>第8列 これらの数値は近似的なものである。</p>	<p>第9列 加熱した後冷水の中に投げ込んで得られた値で110°Cに加熱して10°Cの水に投げ込んだ時割れない場合その耐熱衝撃度は100°Cにする。強化したガラスでは徐冷したガラスの二倍以上で、96%珪酸ガラスは強化できない。</p> <p>第9列 低温側の引張り応力が70kg/cm²になるような管或いは板の両面の温度差で表す。</p>	<p>第10列 この数値にはロットによる多少の変動がある。</p> <p>第11列 サンドブラストによる相対的な値を示す。</p> <p>第12列 単位 grams/c.c.</p> <p>第14列 25°Cの数値は高温における数値から外挿した値で近似値である。</p>
--	---	--	---



Elementary Glassworking

ガラス細工の初歩

ガラス工場

<http://tech-sec.tagen.tohoku.ac.jp/~glass>