

琉球ガラスのプレス成形技術に関する研究

技術支援部 花城可英
開発研究部 棚原 靖 國吉 和男
山田 徹* 喜屋武昌哲*

1. 緒 言

琉球ガラスは沖縄の代表的な工芸の一分野であり、おおらかで素朴な形状と南国をイメージする鮮やかな色彩を特徴としている。

琉球ガラスの成形技法には、「宙吹き法」と「型吹き法」がある。これらはパイプの先に熔融したガラスを巻き取り、息を吹き込んで成型する方法で、限られた時間内に処理しなければならぬので熟練した技術が必要となる。加飾技法としては、主にガラス素地を重ね合わせる「被せガラス」、特別に調合されたガラス原料を直接つける「斑紋溶着ガラス」、金銀などの金属箔を使用する「箔溶着ガラス」、発泡剤を使用する「泡ガラス」、ガラスを直接カットする「カットガラス」や砂を吹き付ける「サンド・ブラスト」などがある。

琉球ガラスは手造りであるため単品生産であり、数百個単位の注文に即応できない状況にある。また耐熱性に問題を抱えている。そのため琉球ガラスは観光土産品中心であり、需要拡大が望める家庭用品、業務用食器などへの展開が図られていない。

そこで今回地域コンソーシアム研究開発事業「地域工芸品向けリバースエンジニアリングシステムの研究開発」の一環として、琉球ガラスの用途拡大、中量産化、多品種化を目的として金型を用いたガラスのプレス成形技術に関して研究を行い、いくつかの知見を得たので報告する。

2. 実験方法

2-1 新規琉球ガラス素地とその物性

(1) 新規琉球ガラス素地の配合

ガラスの場合、耐熱性を上げるためには熱膨張率を小さくする必要がある¹⁾。このため既存琉球ガラスの配合から熱膨張因子の大きいソーダ分を減らし、その因子が小さいホウ酸を加え、熔融した。なおホウ酸配合量は5.6% (B5)、8.0% (B8)、10.2% (B10) とした。

(2) 新規琉球ガラス素地の熱膨張率

新規琉球ガラス素地の熱膨張率を真空理工社製縦型熱膨張計(DL7000RH)を用いて測定した。測定時の昇温速度は10℃/minとした。熱膨張率は100℃と400℃における試料長さから求めた。また熱膨張曲線からガラスの転移に伴い熱膨張率の変化する温度(転移点)と軟化に伴い見かけ上熱膨張が止まる温度(降伏点)を求めた。

(3) 新規琉球ガラス素地の粘度

新規琉球ガラスの粘度を(株)モトヤマ製硝子平行板粘度測定装置(GM-30S)を用いて測定した。

特定の粘度に対応する温度は特性温度としてガラスの成形、加工の目安として実用上広く用いられている。このうち粘度が 4.5×10^7 poise ($\log \eta = 7.65$) の時の温度(軟化点)と成形作業の目安となる粘度が 10^5 poise ($\log \eta = 5$) の時の温度(流動温度)を求めた。ガラスの成形作業に適した粘度は 10^4 poise付近(作業点)から軟化点までの範囲である²⁾。このためこの温度範囲を

脚注：*琉球ガラス工芸協業組合

作業温度範囲として求めた。

(4) 新規琉球ガラス素地の耐熱性試験

今回熱湯を使用しても割れない製品を目標として、取っ手付きのコップ状とぐい飲み状の試験体について耐熱性試験を行った。試験体10個を沸騰する湯に浸漬し、その後氷水に投入することにより、急冷で割れないかを観察した。

2-2 プレス成形試験

プレス成型時のエッジの形状、深さ方向の成形性をみるため図1、図2に示すくさび形試験片、丸突起型試験片をプレス成形した。なお成型機は図3に示すエア式プレス機を使用した。

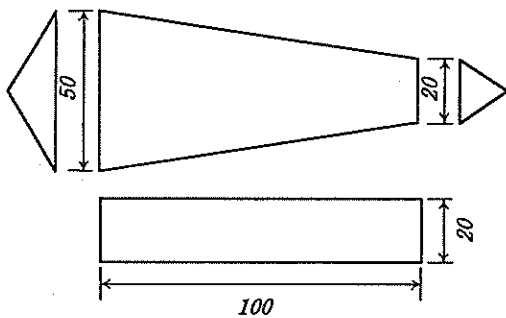


図1 くさび形試験片の形状

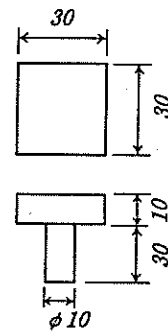


図2 丸突起型試験片の形状

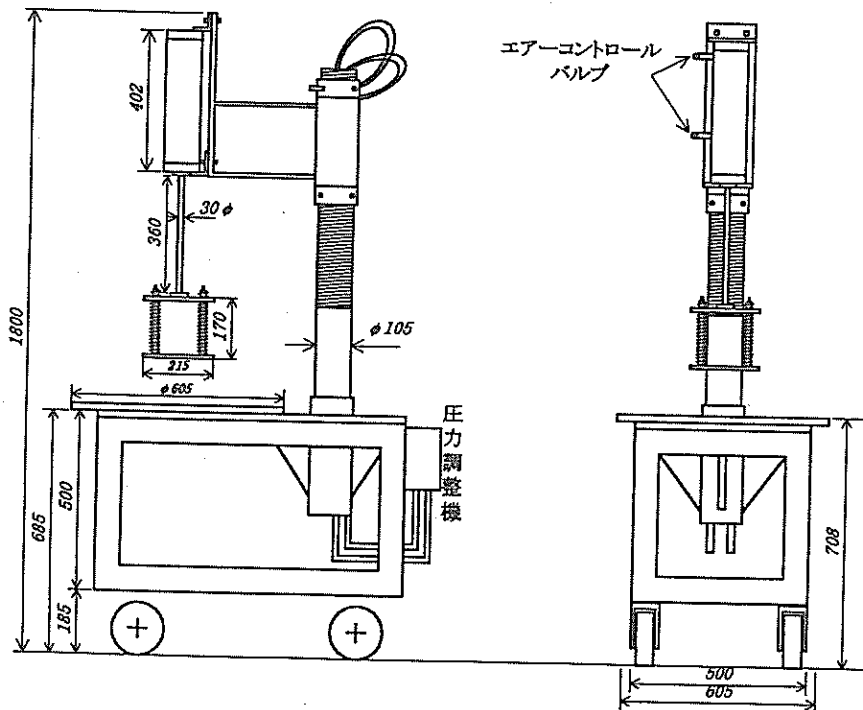


図3 エア式プレス成型機

プレス成形時の金型の初期温度は300、350及び400℃とし、ガラス素地の温度はガラス素地の粘度から、1,030～1,110℃と920～990℃の二段階とした。なおガラス素地の温度は放射温度計で測定した。また金型の温度は金型に熱伝対を入れ測定した。

成形した試験片はエッジやはだの状態から成形の良否を判断した。また東京精密社製形状測定装置(コンタレコード40型)によりくさび形試験片のエッジ部の形状を測定した。

3. 試験結果及び考察

3-1 新規琉球ガラス素地とその物性

(1) 新規琉球ガラス素地

ホウ酸を加えると既存ガラス素地と比較して軟化点が高くなり、熔融温度及び除冷温度が高くなることが予測される。琉球ガラス工芸協業組合の既存ガラス製造設備を使用するという制約があるため、ホウ酸量は10%程度までとした。そしてガラス化状態及びガラスの発色などから以下の3配合についてガラス熔融試験を行った。新規琉球ガラス素地のホウ酸量とガラスの発色状況、泡の状況を表1に示す。

表1 新規琉球ガラス素地のホウ酸量とガラスの状態

ガラス素地	ホウ酸量	発色	泡
B5	5.6%	△	△
B8	8.0%	△	○
B10	10.2%	△	×

凡例 ○：良好 △：一部良好 ×：不良

各新規琉球ガラス素地とも緑色、青色の発色は既存琉球ガラスとほとんど変わらず、良好である。しかし、茶色、水色の発色は薄くなり、赤色の発色は悪い。琉球ガラスは鮮明な色彩を特徴の一つとしているため、今後ガラスの着色に関して改良を加えていく必要がある。

B8ガラス素地は泡切れがよく、B5、B10ガラス素地は泡切れに難があり、泡が残っている。

(2) 新規琉球ガラス素地の熱膨張率

B8ガラス素地と既存琉球ガラス素地の熱膨張曲線を図4に、また新規琉球ガラス素地の熱膨張率、転移点、降伏点を表2に示す。

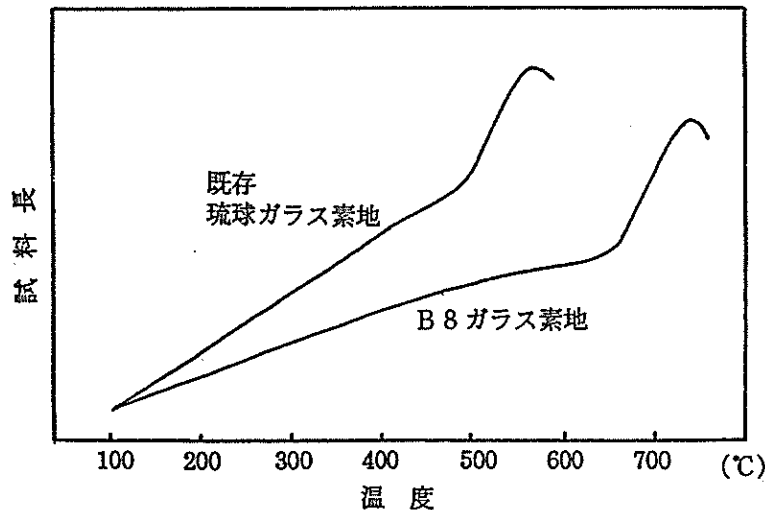


図4 B8ガラス素地と既存琉球ガラス素地の熱膨張曲線

表 2 新規琉球ガラス素地の熱膨張率、転移点、降伏点

ガラス素地	熱膨張率 (cm/cm/°C)	転移点	降伏点
B 5	5.9×10^{-7}	663°C	748°C
B 8	6.6×10^{-7}	654°C	740°C
B10	5.7×10^{-7}	593°C	682°C
既存ガラス(青)	1.01×10^{-7}	502°C	577°C

図 4 に示すように B 8 ガラス素地は既存琉球ガラスに比較して熱膨張曲線の傾きが小さくなり、降伏点は高温側になっている。

既存琉球ガラス素地の熱膨張率は約 100×10^{-7} cm/cm/°C であるが、新規琉球ガラス素地はホウ酸を加えることにより、熱膨張率が 66×10^{-7} cm/cm/°C 以下となっている。J I S 規格では耐熱ガラス製食器の熱膨張率を 65×10^{-7} cm/cm/°C 以下としており、この規格をほぼ満たしている。

新規琉球ガラス素地の転移点は 593~663°C、降伏点は 682~748°C と既存琉球ガラス素地より高くなっているため、ガラス成形後の除冷温度を高くしなければならない。またガラス成形時には既存ガラスより高温でガラス素地を取り扱わなければならない。

ホウ酸量の増加に伴い、熱膨張率は小さくなると思われたが、ホウ酸を 5.6% 配合した B 5 ガラス素地より、ホウ酸を 8.0% 加えた B 8 ガラス素地の方が若干熱膨張率が高くなっている。また転移点、降伏点は若干低くなっている。これはソーダとホウ酸量が熱膨張率や降伏点などの特性値に与える影響には、極小値があるため³⁾、ホウ酸量の増加に対応して熱膨張率が減少しなかったと考えられる。

(3) 新規琉球ガラス素地の粘度

B 8 ガラス素地と既存琉球ガラス素地の温度と粘度の関係を図 5 に、粘度測定から求めた新規琉球ガラス素地の軟化点、流動温度、作業点、作業温度範囲を表 3 に示す。

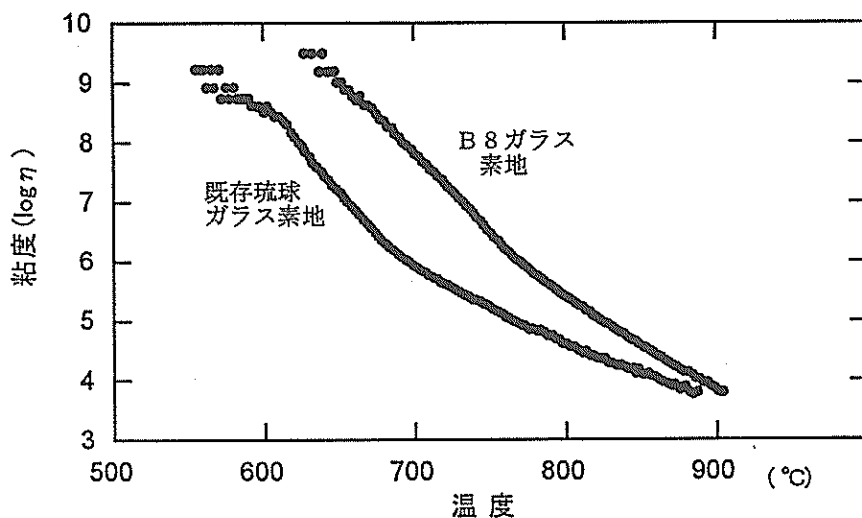


図 5 B 8 ガラス素地と既存琉球ガラス素地の温度と粘度の関係

表3 新規琉球ガラス素地の軟化点、流動温度、作業点

ガラス素地	軟化点 ($\log \eta = 7.65$)	流動温度 ($\log \eta = 5$)	作業点 ($\log \eta = 4$)	作業温度範囲
B 5	715℃	846℃	916℃	201℃
B 8	708℃	824℃	890℃	182℃
B10	708℃	829℃	891℃	183℃
既存ガラス (青)	629℃	776℃	885℃	256℃

図5に示すようにB8ガラス素地は既存琉球ガラス素地に比較して粘度低下が始まる温度が高く、急激に粘度が低下している。既存琉球ガラス素地は軟化点が低く、作業温度範囲の広いガラスであり、温度の変化に伴う粘度変化の小さい手造りに適したガラスである。これに対し、新規琉球ガラス素地は軟化点が700℃以上あり、作業温度範囲がやや狭くなっている。このため新規琉球ガラス素地を使用する場合、より高温でガラス素地を取り扱い、作業を素早く行う必要がある。

金型を使用してプレス成形する場合、ガラスが所望の寸法に成型された後に、 10^3 poise相当温度から 10^7 poise相当温度まで冷却される時間が短かく、早く型から取り出すことができ、しかも変形を起こさないことが生産性を高めるために重要である。その意味で、新規琉球ガラス素地はより高温でガラス素地を取り扱わなければならないという欠点を持つが、既存琉球ガラス素地に比較してプレス成形に適したガラス素地と言える。

B8、B10ガラス素地の粘度はほとんど違いはみられない。これに対しB5ガラス素地は軟化点、作業点が高く、作業温度範囲はやや広がっている。

(4) 新規琉球ガラス素地の耐熱性試験

耐熱性試験結果を表4に示す。

表4 新規琉球ガラス素地の耐熱性試験結果

ガラス素地	ホウ酸量	取っ手付き	ぐい飲み
B 5	5.6%	×	△
B 8	8.0%	△	○
B10	10.2%	○	○

凡例 ○：破損なし △：一部破損 ×：破損

表4に示すようにB5ガラス素地の取っ手付き試験体は加熱の段階で10%が割れ、急冷時にはほとんどが破損している。これに対し、B8ガラス素地の取っ手付きは急冷の時一部(10%)が破損し、ぐい飲みの破損は見られない。B10ガラス素地の試験体は破損が無く、耐熱性試験で良好な結果を示している。このようにホウ酸量が多い新規琉球ガラス素地ほど耐熱性は良好な結果を示している。

B5ガラス素地は熱膨張率が小さいにも関わらず耐熱性が劣っている。これは転移点が高いため除冷がうまくいかず、B5ガラス素地中に歪みが残っていたためと考えられる。

耐熱性試験結果がもっとも良かったB10ガラス素地は琉球ガラス工芸協業組合の既存生産設備を使用した場合、熔融に時間がかかり、ガラス中から泡が抜けにくかった。このためB10ガラス素地のプレス成形試験は行わなかった。

3-2 プレス成形試験

(1) B5 ガラス素地のプレス成形試験

B5 ガラス素地のくさび形試験体のプレス試験結果を表5に、その試験体のエッジ部の曲率を表6に示す。また丸突起型試験体のプレス試験結果を表7に示す。

表5 B5 ガラス素地のくさび形試験片プレス成形試験結果

試験片	金型初期 温度	ガラス素地 温度	形状	はだ
B5S400I	400℃	1090℃	○	△
B5H400I	400℃	970℃	○	△
B5S350I	360℃	1080℃	○	△
B5H350I	360℃	1020℃	○	△
B5S300I	300℃	1070℃	△	×
B5H300I	300℃	990℃	△	×

凡例 ○：良好 △：一部良好 ×：不良

表6 B5 ガラス素地くさび形試験片エッジ部の曲率

試験片	鋭角部	鈍角部
B5S400I	0.483mm	0.573mm
B5H400I	0.504	0.655
B5S350I	0.491	0.567
B5H350I	0.540	0.696
B5S300I	0.490	0.565
B5H300I	0.567	0.738

表7 B5 ガラス素地の丸突起型試験体のプレス成形結果

試験片	金型初期 温度	ガラス素地 温度	エッジ	曲率
B5S400II	400℃	1070℃	○	0.361mm
B5H400II	400℃	1030℃	○	0.354
B5S350II	360℃	1110℃	○	0.345
B5H350II	360℃	1000℃	○	0.339
B5S300II	310℃	1100℃	△	0.406
B5H300II	300℃	1000℃	○	0.382

凡例 ○：良好 △：一部良好 ×：不良

B5 ガラス素地は軟化点、作業点が高いガラス素地であるため、プレス成形時のガラス素地温度を1000℃以上とした。しかしガラス素地温度を1000℃以上に上げててもまだガラスの粘度が高いため、表5に示すように金型の温度が400℃においてもくさび形試験体の表面にしわができ、ガ

ラスのはだは不良である。

表6に示すようにエッジ部はガラス素地温度が高い条件でプレス成形した試験体の方が曲率が小さくなっており、成形精度が良くなっている。また鋭角部の曲率は金型の温度が高い方が曲率が小さくなっている。

表7に示すように丸突起型試験はすべて試験体が金型の端までガラスが届いておりエッジの状態も良く、試験条件による違いはほとんど見られない。丸突起型試験片は形状が小さいため、はだの良否は判断できなかった。

(2) B8ガラス素地のプレス成形試験

B8ガラス素地を使用したくさび形試験体のプレス試験結果を表8に、その試験体のエッジ部の曲率を表9に示す。また丸突起型試験片のプレス試験結果を表10に示す。

表8 B8ガラス素地のくさび形試験片プレス成形試験結果

試験片	金型初期 温度	ガラス素地 温度	形状	はだ
B8S400I	400℃	1060℃	○	○
B8H400I	400℃	960℃	○	△
B8S350I	350℃	1050℃	○	○
B8H350I	350℃	970℃	○	△
B8S300I	300℃	1060℃	○	△
B8H300I	300℃	960℃	○	△

凡例 ○：良好 △：一部良好 ×：不良

表9 B8ガラス素地くさび形試験片エッジ部の曲率

試験片	鋭角部	鈍角部
B8S400I	0.486mm	0.606mm
B8H400I	0.504	0.640
B8S350I	0.487	0.691
B8H350I	0.527	0.592
B8S300I	0.458	0.596
B8H300I	0.518	0.659

表10 B 8 ガラス素地の丸突起型試験片のプレス成形結果

試験片	金型初期 温度	ガラス素地 温度	エッジ	曲率
B8S400I	400℃	1010℃	○	0.344mm
B8H400I	400℃	920℃	○	0.323
B8S350I	360℃	1020℃	○	0.351
B8H350I	360℃	960℃	○	0.350
B8S300I	300℃	1030℃	○	0.322
B8H300I	300℃	950℃	○	0.423

凡例 ○：良好 △：一部良好 ×：不良

B 8 ガラス素地はB 5 ガラス素地より軟化点、作業点が低いため、B 5 ガラス素地より低いガラス素地温度条件でプレス成形試験を行った。

表 8 に示すようにくさび形試験体の表面状態は金型温度350℃または400℃においてガラス素地温度の高い条件でプレス成形した試験体は表面に流れ等が見られずはだが良好である。金型の温度が300℃になるとはだに荒れが見られる。また表 9 に示すように鋭角部エッジの曲率はガラス素地温度の高い条件でプレス成形した試験片の方が小さい値を示し、成形精度が良好である。

以上の結果より、金型温度400℃、ガラス素地温度1060℃の条件でプレス成形した場合、ガラスはだが良好で、成形精度の良いプレス成形試験体を得られることがわかった。

表10に示すように丸突起型試験はすべての試験体が金型の端までガラスが届いておりエッジの状態も良く、試験条件による違いはほとんど見られない。

4. 結 言

琉球ガラスの高品質化として耐熱性の向上を目的に、熱膨張率の低い新規琉球ガラス素地を開発し、プレス成形条件を検討した。

ホウ酸を8.2%添加した新規B 8 琉球ガラス素地の熱膨張率は $66 \times 10^{-7} \text{ cm/cm/}^\circ\text{C}$ となり、ぐい飲み状の試験体では良好な耐熱性を示している。この新規琉球ガラス素地の軟化点は708℃となり、既存琉球ガラス素地より高い温度となっている。このため、成型時に既存琉球ガラス素地より高温側でガラス素地を取り扱わなければならない。

この新規B 8 琉球ガラス素地を用い、ガラス素地温度1,060℃、金型温度400℃でプレス成形を行うことにより、くさび状試験片のエッジ部の曲率の小さい、成形精度の高い、かつガラスのはだの良好な成形体を得ることができる。

新規B 8 琉球ガラス素地を使用して、プレス成形を行うことにより、熱湯使用に十分耐えることができる琉球ガラス製品が可能となる。この研究成果を琉球ガラス工芸協業組合へ技術移転し、新規琉球ガラス素地を改良していくことにより、家庭用品、業務用飲食器などへの製品展開が可能となり、琉球ガラス製品の生産拡大につながるものと考えている。

参考文献

- 1) 成瀬 省：ガラス工学、共立出版（1986）、p 271
- 2) 作花濟夫 境野照雄 高橋克明：ガラスハンドブック、朝倉書店（1975）、p 637
- 3) 同上 p 101

編 集 沖縄県工業技術センター

発 行 沖縄県工業技術センター

〒904-2234 沖縄県うるま市字州崎 12 番 2

T E L (098)929-0111

F A X (098)929-0115

U R L <https://www.pref.okinawa.lg.jp/site/shoko/kogyo/>

著作物の一部および全部を転載・翻訳される場合は、当センターに

ご連絡ください。