

UDC : 666.1.035.2

3. ガラスプレス成型法と離型現象の伝熱工学的検討 - 離型力とガラス・型界面温度の関係の成型法による比較 -

Study on Separation Behavior of a Press-Formed Glassware from a Thermal Engineering Viewpoint -Correlation of Separation Pressure to the Interface Temperature in Comparison with Press Forming Method-

若月 博*・佐藤 勲**
Hiroshi Wakatsuki and Isao Satoh

This paper deals with the separation behavior of a press-molded glassware from the pressing mold surface. Since the separation of the glass from a mold surface affects the transcription of the glass shape from the mold, it is desirable to control the separation behavior in the practical press-molding of glassware. In this paper, paying attention to that the separation or sticking of the glass is mainly influenced by thermal pressing conditions in practical molding, separation forces during the demolding process between glass and mold were measured under various pressing conditions. The results showed that, under the certain conditions, the glass sticks on the pressing surface of the mold even after the mold is removed from the pressed glass, and that the separation (sticking) force increases with rising initial temperature of glass and mold, increasing the pressing pressure, and with elongation of pressing duration. In order to translate the obtained results, the separation forces were correlated to the interface temperature between glass and mold at the end of pressing process. The correlation showed that the sticking force becomes evident when the interface temperature exceeds a certain temperature for whole experiments. Under the experimental conditions, the threshold temperature was about 660 °C, and is slightly lower than the "softening temperature" of the glass used. In addition to this results, effects of the interface temperature in the isothermal pressing method was examined to compare with direct pressing method. The max separation pressure also increases the interface temperature in the isothermal pressing as same as in the direct pressing. From these results, it was concluded that the separation behavior of a press-molded glassware is dominated by the interface temperature between glass and mold at the end of pressing process.

1. 緒 言

ガラスの代表的な成型方法であるプレス法は、カメラレンズや光ピックアップレンズに代表される光学部品用ガラスやブラウン管（CRT）用ガラスや食器など、主として高い透明性と高精度の形状を必要

とするガラス製品の成型に利用されている。一般的に光学部品のような製品の小物成形は、ガラスと金型の温度が同じ状態で成形する等温プレス法（Isothermal Pressing Method）が用いられ、CRTや食器などの製品は高温のガラスをその温度よりやや低い温度の金型に供給して成形する非等温プレス法

*中央研究所 **東京工業大学工学部

(Direct Pressing Method) が用いられる。どちらの成形方法でも問題となるのは形状のひずみで、求められるガラス製品においてわずかなひずみが生じても成型欠点と捉えられ、何らかの対処が求められる。

ガラスの非等温プレス成型法の概要をFig. 1に示す。すなわち非等温プレス成型とは以下のようなプロセスである。(1) 高温のガラス塊 (Gob) を下型 (Bottom Mold) に投入する。(2) 上型 (Plunger Mold) によって附形を行うと共に型への熱移動によってガラスを冷却する。(3) 次のガラス塊を附形を維持しつつ更に成型品を冷却する。(4) 成型品がある程度冷却された後、下型から取り出し、徐冷工程へ移送する。

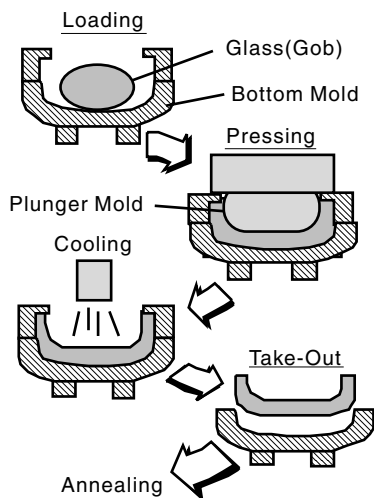


Fig. 1 Direct Press forming of glass products.

このようにこの成型法では、軟化点以上に温度を上げたガラスに金型で圧力を加えることでガラスを金型形状を転写させる作用と、金型をガラスから離型させた後、製品に変形が生じない温度までガラスを冷却固化させる作用の2つの作用を同時に行っている。したがって高精度な製品を成型するためには、温度を上げてガラスの粘性を下げたり、プレス圧力を高めるといった金型への転写特性を向上するための成型条件と、金型内で冷却保持時間を延長するといった、金型内で製品を十分に冷却し離型後に変形しないようにするための成型条件を同時に満足することが必要とされる。しかし金型への転写性を向上させることを重視しすぎると、金型と成型品が固着して離型ができなくなったり、成型品に割れが発生する等の問題が生じる。Fig. 2、Fig. 3は本研究で行った成型実験において観察された上型離型時の不良現象の一例である。Fig. 2は上型と成型品が固着し、離型にともなって成型品の一部が破断した例であり、Fig. 3は同様に上型と成型品が固着し、上型離型時に成型品内部が十分に冷却されていなかったため、固着部分が上型に引き伸ばされるように変形した例である。いずれも実験における極端な例であるが、実際の成型においても成型品の表面が型形状に



Fig. 2 An example of glass stuck on plunger mold.

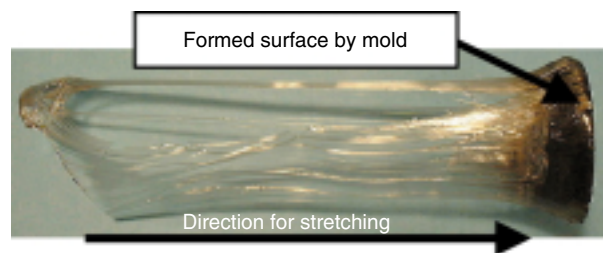


Fig. 3 An example of stretched glass due to demolding.

比較して凸なるひずみが見られ、同様な現象が生じていることがうかがえる。

一方、離型後の成型品の変形を抑止するために、成型品と金型を長時間接触させておくことは生産性の低下を招くため、工業的に好ましくない。このため高精度な製品を生産性良くプレス成型する成型条件を見出すためには、プレス中に金型とガラスの間に起こる熱移動と固着の2つの現象について同時に理解をすることが重要であるといえる。

成型時のガラスの振る舞いに関してはこれまで、ガラス内部の温度分布の内部輻射を考慮した実験解析¹⁾、金型とガラスの接触熱伝達についての研究²⁽³⁾、ガラスのプレス中の伸展の解析⁴⁾、金型とガラスが離型後に発現する「ひけ」についての実験解析⁵⁽⁶⁾等が報告されている。またプレス成型の上型離型時に生じる現象、特に成型品と型との固着に関する現象についてはごく限られた知見⁷⁽⁸⁾しか得られていない。そこで筆者等はガラスのプレス成型プロセスの離型時に生じる現象について基礎的な知見を得ることを目的として、型とガラスとの固着現象を主に伝熱工学的な見地から検討した⁹⁾。具体的には非等温プレスにおいてガラス、金型の温度をそれぞれ制御してプレスし、それらを離型する際のガラス・金型の温度分布や成型力・離型力等を測定して現象を考察した。本論文はこの非等温プレスにおいて観察された離型現象を再確認すると共に、光学用ガラス部品等に用いられる等温プレスにおいても同様の実験を実施し、非等温プレス実験で得られた知見と比

較検討した。

2. 実験装置および実験方法

本研究で用いた実験装置をFig. 4に示す。通常のプレス装置は下型を固定し上型を降下させる方式のプレス動作を行うが、本実験装置は上型を固定し、るつぼ内で溶解したガラスを空気圧駆動の油圧シリンダーで持ち上げることによってプレス成型を行う。上型とるつぼ内のガラスはそれぞれ独立したSiCヒーターで加熱し、個別に温度制御が可能である。上型およびガラス内部の温度分布はこれらの内部に挿入したシース熱電対（Kタイプ、シース径0.5～1.0mm）によって計測した。計測位置は、上型下面（プレス面）から1mm、2mm、ガラス上面から1mm、2mm、3mmならびに型・ガラス界面で、いずれも原則として型、ガラスの中心線上である。プレス成型時の成型力あるいは離型力は、シリンダーの上部に取り付けたロードセルまたはひずみゲージによって測定した。型とガラス表面の相対距離は、レーザー変位計で計測した。金型とガラス内の温度分布とロードセル等の力の出力、レーザー変位計の出力を、同時に10msの間隔でデジタル計測し、コンピュータで処理をすることで、現象を把握した。

上型は、Table 1中に示すような表面処理をしたマルテンサイト系ステンレスを使用した。これはCRT用ガラスのプレス成型金型としては最も一般的に使用されている材料である。金型表面は、ガラスとの反応性の低いNi系メッキを採用し、表面は鏡面研磨し、ガラスとの接触時のばらつきを排除した。

実験に使用したガラスは、CRTパネルに用いられるCPZと呼ばれるガラスで、Table 2のような組成となっている。金型および供試ガラスの物性値をTable 3に、供試ガラスの温度と粘性の関係をFig. 5に示す。Table 4に基本的な実験条件を示す。るつぼに投入するガラスの重量は65gで統一し、プレス時間や温度、圧力を変化させて実験を行った。なおプレス時間とは、ガラスへの加圧からシリンダーの圧

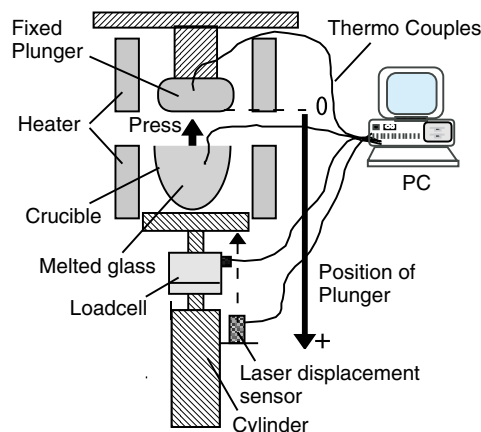


Fig. 4 Schematic diagram showing experimental system.

Table 1 Conditions of the Plunger Mold.

Diameter (mm)	36 or 40
Thickness (mm)	10
Contents of Coatings (wt%)	Ni:70, W:20, Mo10
Thickness of Coatings (μm)	9 to 11
Surface Roughness (Ra: μm)	Less than 0.04

Table 2 Chemical Contents in wt% of the CRT Glass Used in This Study.

SiO ₂	60%
SrO	10%
BaO, Na ₂ O, K ₂ O	7%(Each)
Ca, Al, Ti, Ce, Sb	Less than 1%(Each)

Table 3 Thermal Properties of Plunger Mold and Glass Used in This Study.

	Plunger Model	Glass
Material	SUS420j2 (at 500°C)	CPZ (at 1000°C)
Thermal Conductivity (W/mK)	24.1	1.97*
Specific Heat (kJ/(kgK))	0.461	1.256*
Density (kg/m ³)	7730	2799

* Predicted values at room temperature.

Table 4 Experimental Conditions.

Parameter	Experimental condition
Initial temperature of a plunger mold (°C)	550 ~ 600
Initial temperature of melted glass (°C)	800 ~ 900 (at 1mm from surface)
Weight of glass (g)	65
Pressing time (sec)	10 ~ 50
Pressing pressure (MPa)	0.3 ~ 0.5

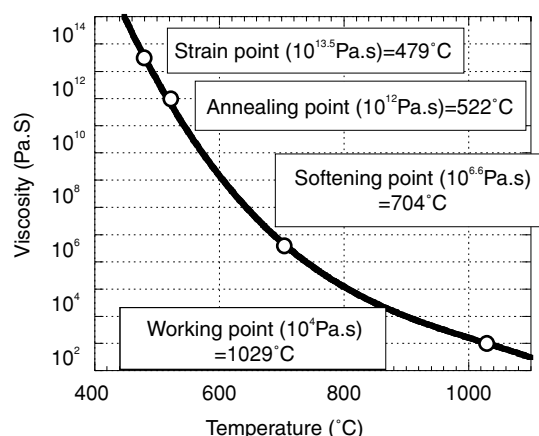


Fig. 5 Viscosity of CPZ glass.

力解放までの時間で、圧力解放後もガラスと上型が固着している場合はその時間は除いてある。

3. 実験結果と考察

3.1 るつぼ内のガラスの成型挙動

実験結果の一例をFig. 6、Fig. 7に示す。Fig. 6はプレス工程中の上型ならびにガラス内部の温度の経時変化を示している。時間はプレス開始時間を0とした。Fig. 6中には上型の位置の経時変化を、型・成型品の接触面を0として図示してあるが、この曲線に見られるように、プレス時間(30sec)終了後上型はスムーズに上昇せず、約15sec程の時間をかけて離型が終了している。このことは、この条件においては成型品表面と上型とが固着を生じていることを示している。これにともないプレス時間を越えても

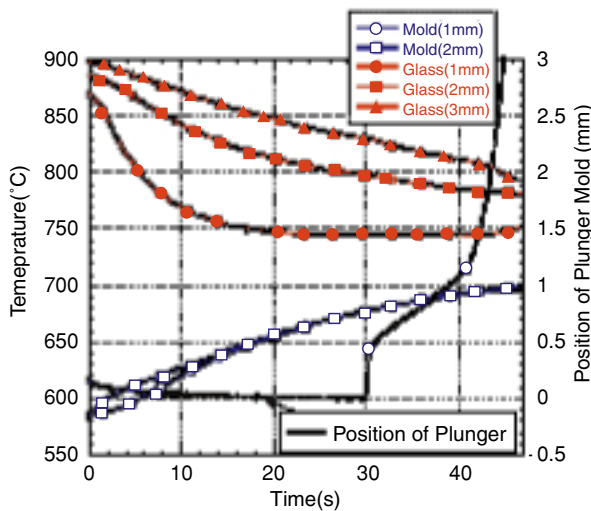


Fig. 6 Time-dependent temperature of the glass and plunger mold; pressing time = 30 s, pressing pressure = 0.5 MPa.

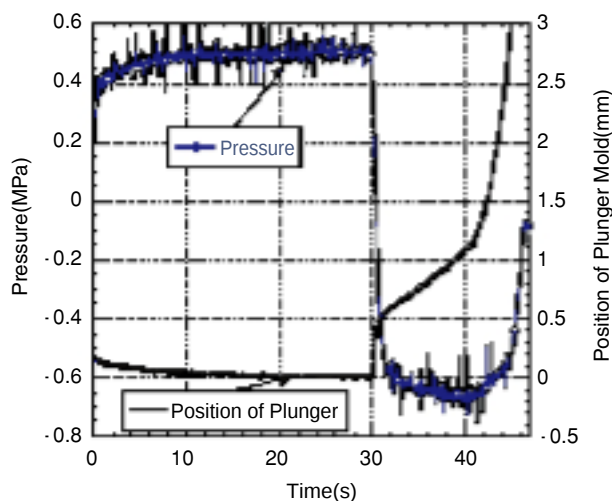


Fig. 7 Time-dependent forming and separation pressure; initial temperature of glass = 870°C, initial mold temperature = 580°C.

初期温度約 870 のガラスはその表面から上型への熱移動によって順次冷却され、逆に上型は初期温度約570 からしだいに温度上昇している。なお、上型の位置曲線がプレス終了時間(30sec)において約0.4mmジャンプしているのは、シリンダー駆動部のバックラッシュによるものである。

Fig. 7はFig. 6の条件における上型に印加された成型力・離型力の経時変化を示したものである。成型力・離型力は成型品プレス面あたりの圧力の形で表示した。この図に見られるようにプレス時間内($t=0 \sim 30\text{sec}$)では上型は約0.5MPaの一定の力でるつぼ内のガラスを押し付け附形を行うが、プレス時間終了とともに上型が離れようとする、逆に約0.6MPaの圧力でそれに抵抗する様子が見える。

本研究では、上型をガラス表面から引き剥がすときに生じるこの抵抗を「離型圧力」(Separation Pressure)、この離型応力の最大値を「離型強さ」(Maximum Separation Pressure)と定義し、成型品と金型間の固着現象を検討することにする。

Fig. 7の結果では、約0.7MPaの離型圧力が発生しており、この値は離型が完全に終了する約12secの間にはほとんど変化しない。この間上型は緩やかに上昇していることから、プレス面近傍のガラスが上型に固着し追従して動いている事が分かる。これがガラスの変形量に相当する。Fig. 7の例では30~42secの間で約0.8mmガラスが変形し、その後離型している事が分かる。

以下では、同様の検討をさまざまなプレス成型条件においてくりかえし、離型強さと成型条件の関係を検討する。

3.2 離型強さの成型条件による変化

3.2.1 離型強さのプレス時間依存性

Fig. 8にプレス時間を変化したときの離型強さの変化を示す。ガラス、金型の初期温度はそれぞれ880、550でありプレス圧力は0.5MPaで一定とし

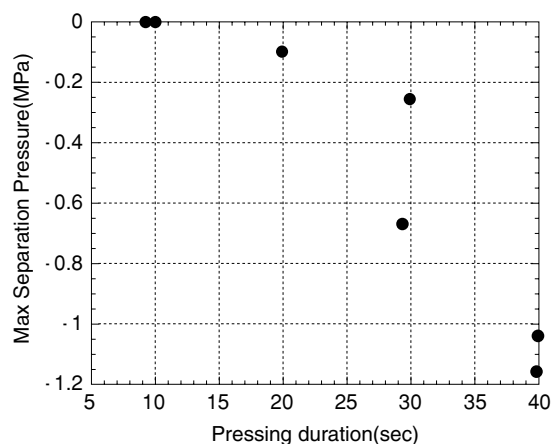


Fig. 8 Effect of pressing time on the maximum separation pressure; initial temperature of glass = 880°C, initial mold temperature = 550°C, forming pressure = 0.5 MPa.

た。プレス時間を延長していくと離型強さはしだいに増加していき、プレス成型圧力を上回る離型力を印加しないと離型しない場合も見られる。Fig. 8の条件では、プレス成型時間を40s以上とすると、離型に伴って成型品が破損したり、成型品と上型が固着して離型不能に陥る現象が生じた。

3.2.2 離型強さのプレス圧力依存性

Fig. 9にプレス圧力と離型強さの関係を示す。プレス時間を30secに固定し、他の条件はFig. 8と同様である。プレス圧力の増加に伴い、離型強さも増加していく様子が分かる。

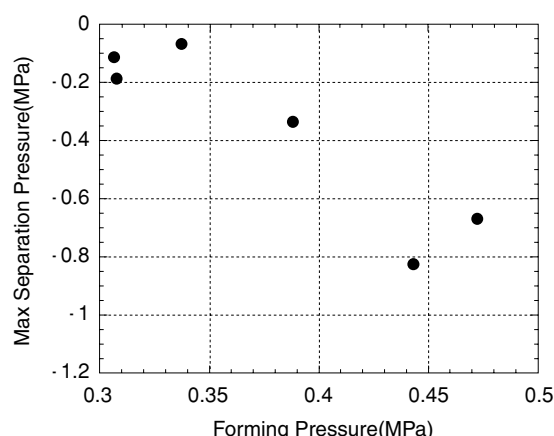


Fig. 9 Effect of pressing pressure on the maximum separation pressure; initial temperature of glass = 880°C, initial temperature of mold = 550°C, pressing time = 30 s.

3.2.3 離型強さの金型初期温度依存性

Fig. 10に金型初期温度と離型強さの関係を示す。プレス時間30sec、プレス圧力は0.5MPaとし、ガラスの初期温度は880 で一定とした。この図に見られるとおり、上型の初期温度を高くするにつれて、

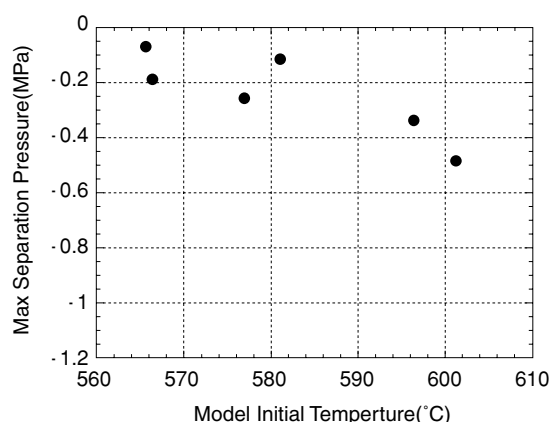


Fig. 10 Effect of initial mold temperature on the maximum separation pressure; initial temperature of glass = 880°C, pressing pressure = 0.5 MPa, pressing time = 30 s.

離型強さは大きくなる傾向を見せる。特に本実験では上型温度が610 以上になると成型品と型とが固着して離型できない、あるいは成型品が破断する状況が見られた。一方上型初期温度が580 より低い場合、離型力は約0.1MPaの低い値となる傾向があることが分かる。

3.2.4 離型強さのガラス初期温度依存性

初期ガラス温度と離型強さの関係をFig. 11に示す。金型初期温度を550 で一定とし、その他はFig. 10と同じである。初期ガラス温度が高い方が離型強さが大きくなる傾向が分かる。特にガラス初期温度が850 を越えると急激に離型力が大きくなること がうかがえる。

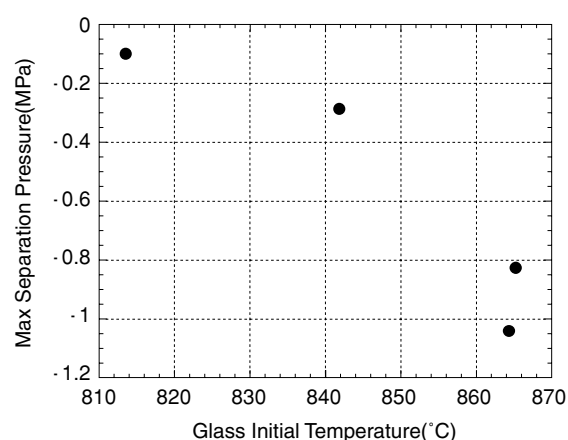


Fig. 11 Effect of initial glass temperature on the maximum separation pressure; initial temperature of mold = 550°C, pressing pressure = 0.5 MPa, pressing time = 30 s.

3.3 離型強さの型・成型品界面温度による整理

これまでの実験結果より、ガラスと上型の初期温度が高く、プレス圧力が大きく、プレス時間が長い程、離型時の離型強さが大きくなる傾向が示された。このような傾向は、実際のガラスプレス成型品の生産ラインでは、定性的に把握されているものと一致している。

この現象を、より定量的に普遍的に評価するために、本研究では成型品と上型との接触界面の温度に注目し、これと離型強さの関係を検討した。

上型とガラス成型品が接触しているときの界面温度の計測は容易ではない。本研究では上型を貫通してシース熱電対を設置し、その先端を上型下面（プレス面）から0.1～0.2mm突出させてガラス内の界面近傍温度を実験的に評価した。Table 3に示す上型の材料である金属とガラスの熱物性値の関係から、型・ガラス接触時にはガラス内により強い温度勾配があることが予測され、上型下面から突出させた熱電対の位置のばらつきは、測定結果に大きな誤差を生じさせると考えられる。そこで熱電対の突出量は

ダイヤルゲージを用いて慎重に管理した。

Fig. 12にこのようにして測定された界面温度の経時変化を示す。界面温度は上型とガラスが接触し始めるプレス開始（ $t=0\text{sec}$ ）直後に一旦上昇した後、わずかに低下し、その後ゆっくりと上昇していく。これはこの温度が界面近傍のガラス内の温度であるためである。したがって真の界面温度は同図中に示した型温度（型下面から1mmの位置の温度）とこの界面温度の間にあると考えられる。また界面温度が接触時間の経過と共に上昇するのは、本実験で用いた上型が小さく、熱容量が小さいことに加え、積極的な冷却を行っていないためである。すなわち、初期温度の異なる半無限体を接触させたときの界面温度 T_i は、非定常熱伝導の解析解¹⁰⁾より、

$$T_i = \frac{\sqrt{\rho_g C_g \lambda_g T_g} + \sqrt{\rho_m C_m \lambda_m T_m}}{\sqrt{\rho_g C_g \lambda_g} + \sqrt{\rho_m C_m \lambda_m}}$$

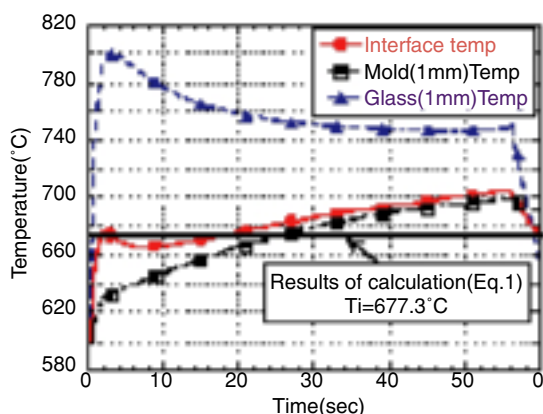


Fig. 12 Typical interface temperature between glass and mold as a function of time; initial temperature of mold=595°C, initial temperature of glass = 951°C, pressing time = 30 s.

で時間によらず一定である。ここで ρ 、 C 、 λ はそれぞれ密度、比熱、熱伝導率であり、添え字 g と m はそれぞれガラスと上型を表す。また T_g と T_m はそれぞれガラスと上型の初期温度である。Fig. 12中には、本実験条件において（1）式で予測される界面温度を示してあるが、実測された界面温度は、接触開始直後は比較的良く一致しているものの、その後（1）式より高く、時間と共に上昇する。このことは本研究で用いている型、ガラスが、この図のこの時間範囲で半無限体とは見なせないことを示している。

さてFig. 12に示されたような上型、成型品の界面温度から、プレス終了時の界面温度を評価し、これを先に述べた様々な成型条件における離型強さとの相関を調べてみる。Fig. 13は前節で述べた全ての成型条件における離型強さを、プレス終了時の界面温度に対してプロットしたものである。この図に見られるように、多少のばらつきはあるものの、離型強

さはプレス終了時の界面温度に対して一つの曲線上にまとまることがわかる。すなわち、ガラスのプレス成型における離型強さは離型させようとするときの型・ガラスの界面温度に支配されているといえる。離型強さが急に大きくなる界面温度は、本実験条件において概ね660 であり、供試ガラスの軟化点704 よりやや低い。したがって、型と成型品との間の固着現象は、界面温度がガラスの軟化点をやや下回る温度を超えると発生するといえる。

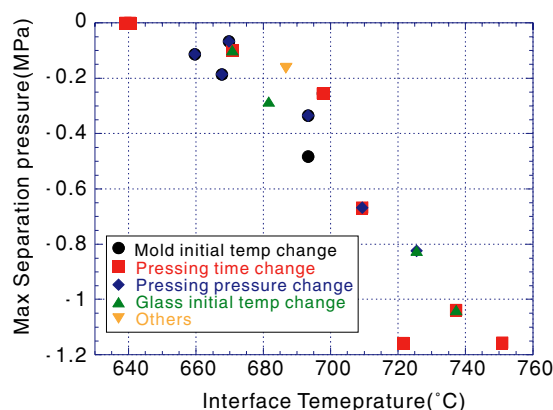


Fig. 13 Correlation of the maximum separation pressure to the interface temperature.

Fig. 14はプレス終了後、上型が成型品表面から離型するまでのガラスの変形量（上型の移動量）をFig. 13と同様に界面温度に対してプロットしたものである。ガラスの変形は界面のみならずガラス内部の「やわらかさ」にも影響されるため、Fig. 13の結果ほどにはまとまっていないが、大きな離型力が発生する660 以上の条件で変形が顕著になることがわかる。このことから、プレス成型品の成型精度を高く保つためには、プレス終了時の型・成型品界面温度をガラスの軟化点温度よりやや低い温度に抑えることが不可欠であるといえる。

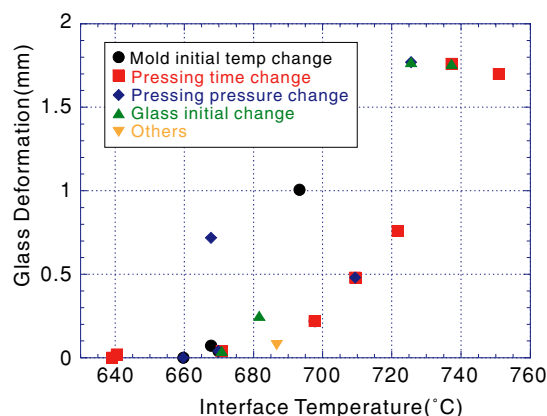


Fig. 14 Effect of the interface temperature on glass deformation occurring on the pressed surface.

3.4 等温プレス成型法における離型現象の整理

Fig. 13、Fig. 14は、ガラスと金型の温度が異なる成型法（非等温プレス成型法）で得られた知見であり、金型とガラスの離型現象は、型—ガラスの界面温度に大きく影響を受けることを示している。この成型法ではプレス開始より、型—ガラス間で非定常熱伝導が生じる中での現象であり、プレス成型時の離型現象と界面温度の普遍性を考察するために、ガラスと金型の温度が同じ場合である成型法（等温プレス成型法）でも同様の実験を行い検討した。

Fig. 15に等温プレス法の概要を示す。すなわち等温プレス成型とは以下のようなプロセスである。あらかじめ成型品の形状および体積になるように研磨等のプロセスを用いて制御された常温のガラスを金型内にセットし、上下の金型と組み込まれた状態で主に炉内で所望の温度まで同時に加熱される。型とガラスの温度が同一となった条件化において、加圧成型および型内で冷却されてから離型して製品が取り出される。したがってこのプロセスでは一般に型とガラスの接触時間が長くまた温度が同一で推移するため、固着しやすい傾向にある。Fig. 13およびFig. 14のような知見がこのプロセスでも適用できるのであるかを検討した。

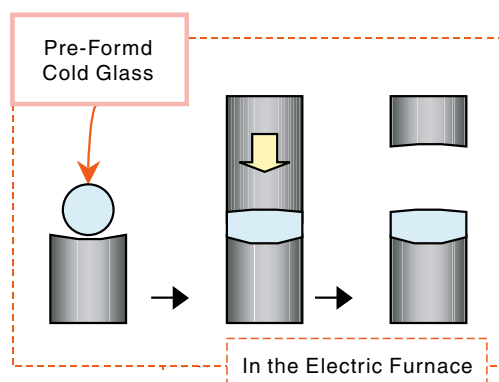


Fig. 15 Isothermal press forming of glass products.

実験方法は同様にFig. 4の実験装置でTable1、2、3、4の金型およびガラスを用いてテストを行い、上下ヒーターの温度を制御することで成型前の型とガラスの温度が所望の温度に同一になった後に、成型動作を行い離型強さの評価を行った。本実験では界面温度をできるだけ同じ温度に設定するための加熱条件を選定し、ガラスおよび型内にわずかに温度分布は存在すると考えられる。

Fig. 16に温度履歴の一例を示す。プレス時間11 sの場合の温度測定結果を示す。非等温プレス法で測定されたFig. 6あるいはFig. 12と同様の測定方法で計測された結果である。型とガラスのそれぞれ1mm内部の温度が650 で等しい場合の例である。成型スタート直前にガラス温度は、型と接触するために上昇し外気に触れるため10 程度低下してしまうが、成型動作開始と同時にわずかに型によってガラ

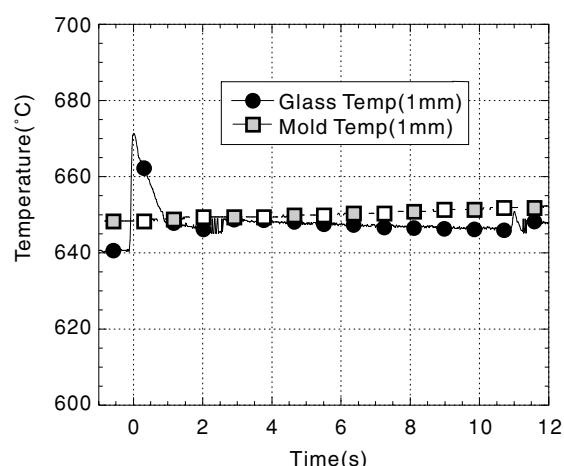


Fig. 16 Typical results in the isothermal pressing method of time-dependent temperature of the glass and plunger mold; pressing time = 11 s, pressing pressure = 0.5 MPa, Temperature = 650 °C.

スが流動するため、ガラスの測定点の温度が上昇すると考えられる。約1s後には型とガラス温度がほぼ同一となって成型動作が行われており、等温プレス法の実験であることがわかる。成型動作中のガラス温度がわずかに低下する傾向にあるが、成型動作中のつぼが外気に冷却される成型条件になっているためと考えられる。

Fig. 17にこのような等温プレス成型法において観察された離型強さを、プレス終了時に計測された界面近傍温度を界面温度とほぼ等しいと考えて⁹⁾整理した結果を示す。多少のばらつきはあるものの、離型強さは非等温プレス法の結果Fig. 13と同様にプレス終了時の界面温度に対して一つの曲線上にまとめることがわかる。そこでこの結果をFig. 13上に再プロットした図をFig. 18に示す。この図からプレス方法に関係なくガラスのプレス成型における離型強さは離型させようとするときの型・ガラスの界面温度に支配されていると考えられ、離型強さが急に大きくなる界面温度は、概ね660 であることも変わりが無いといえる。

またプレス終了後、上型が成型品表面から離型するまでのガラスの変形量（上型の移動量）をFig.14と同様に界面温度に対してプロットしたものをFig. 19に示す。Fig. 14と同様に界面温度の上昇に伴って変形量も増大している。この結果をFig. 14に重ね合わせた図をFig. 20に示す。Fig. 20から、660 以上の条件で変形が顕著になることが等温プレス成型法でもほぼ同一であることがわかる。このことから、プレス成型品の成型精度を高く保つためには、成型法に関わらずプレス終了時の型・成型品界面温度をガラスの軟化点温度よりやや低い温度に抑えることが不可欠であるといえる。

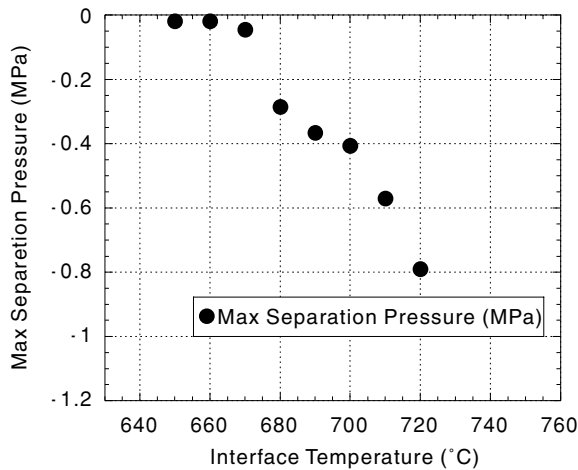


Fig. 17 Correlation of the maximum separation pressure to the interface temperature at the isothermal pressing method.

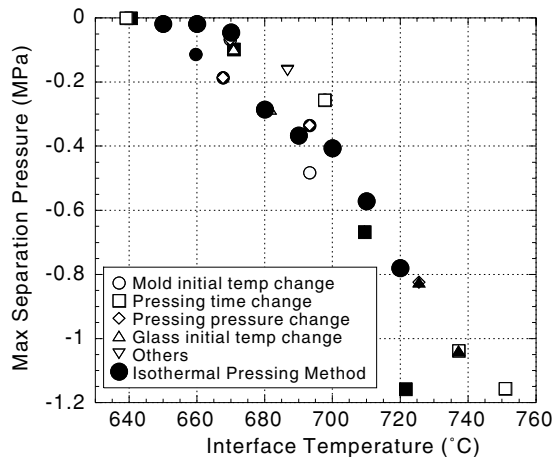


Fig. 18 Comparison the correlation of the maximum separation pressure to the interface temperature between the isothermal pressing method and the direct pressing.

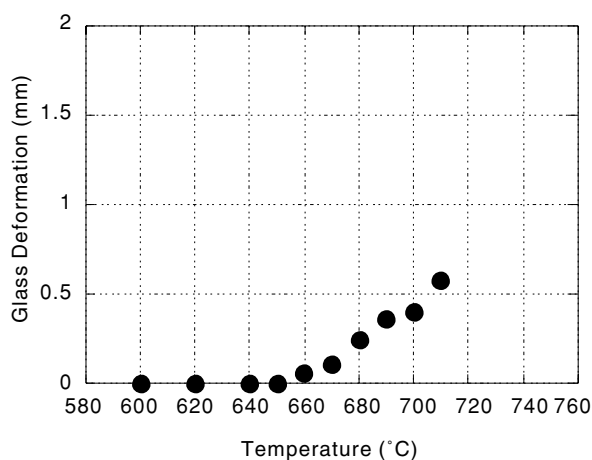


Fig. 19 Effect of the interface temperature on glass deformation occurring on the pressed surface at the isothermal pressing method.

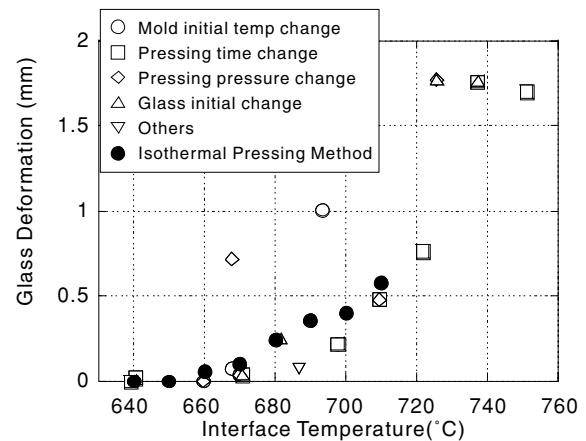


Fig. 20 Comparison the correlation of the glass deformation to the interface temperature between the isothermal pressing method and the direct pressing.

4. 結 言

ガラスのプレス成型において高精度な成型品を得る際に障害となる型と成型品の固着現象の発現を検討するために、金型と離れる際の抵抗力（離型力）を様々な成型条件下で実験的に求めた。その結果、離型に要する力は、ガラスと上型の初期温度が高く、プレス圧力が大きく、プレス時間が長くなる程強くなることがわかった。この結果をより定量的かつ普遍的に議論するために、プレス終了時の成型品と型との界面温度に着目し、離型力と界面温度の相関を評価したところ、本実験の範囲では、すべての成型条件における離型力が一つの曲線で表せることが示された。離型力が急激に大きくなる界面温度は、本実験条件下では等温プレス成型法、非等温プレス成型法どちらでも約660 であり、供試ガラスの軟化点（704 ）よりやや低い温度であった。またこの温度以上の界面温度で成型を行うと、成型品表面に離型にともなう変形が生じることを確認した。この現象も成型法に依存せず同様に生じることが示された。

この結果は、本研究で用いたプレス成型系と供試ガラスに対するものであるが、型と成型品との固着現象は、界面温度がガラスの「やわらかさ」に対応するある温度を境に急に発現すると結論づけられる。これは本研究で示されたように成型法に関係なくこの現象が観測されたことから普遍性が高い現象と推定できる。実際の工業的なガラスのプレス成型においては、本研究と同様の方法で型とガラスの界面温度を実測することは難しい。しかし型とガラスの間の熱移動を数値的に予測することはさほど難しくはなく⁽⁹⁾、これらの結果を用いれば、本研究で得られた知見をガラスのプレス成型品の高精度化に援用することが可能であると考えられる。なお、固着現象が発現し始める成型品と型の界面温度と、従来ガ

ラス工業で用いられている軟化点との対応は、今後更に検討を要するが、軟化点の定義自体がこのような現象論に基づくものではないことを考えると、固着現象を特徴づける新たなガラスの特性温度の設定が必要であると考えている。

- 参考文献 -

- (1) Farag, I. H.; Beliveau, M. J.; Curran, R. L., *Chem. Eng. Comm.*, **52**, 21 (1987).
- (2) Fellows, C. J.; Shaw, F., *Glass Technol.* 19-1, 4 (1978).
- (3) Howse, T.K.G.; Kent, R.; Rawson, H.: *Glass Technol.* 12-4, 84 (1971).
- (4) 林雅人, 長谷川達也, 大岩紀生, 機論, 61-591, B(1995-11), 4157-4162
- (5) 龍腰健太郎, 黒崎晏夫, 佐藤勲, 佐藤安雄, 機論, 62-596, B(1996-4), 1563-1569
- (6) 龍腰健太郎, 黒崎晏夫, 佐藤勲, 佐藤安雄, 機論, 62-600, B(1996-8), 3165-3170
- (7) Manns, P.; D, I, W.; Kleer, G.: *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.*, 68, **12**, 389 (1995).
- (8) Falipou, M.; Donnet, C.: *Glastech. Ber. Glass Sci. Technol.*, 70, **5**, 137 (1997).
- (9) 若月博, 佐藤勲, 機論, 66-650, B (2000-10), 2689-2696
- (10) Tredoux, L., 佐藤勲, 黒崎晏夫, 成型加工, 10-9, 732 (1998).