

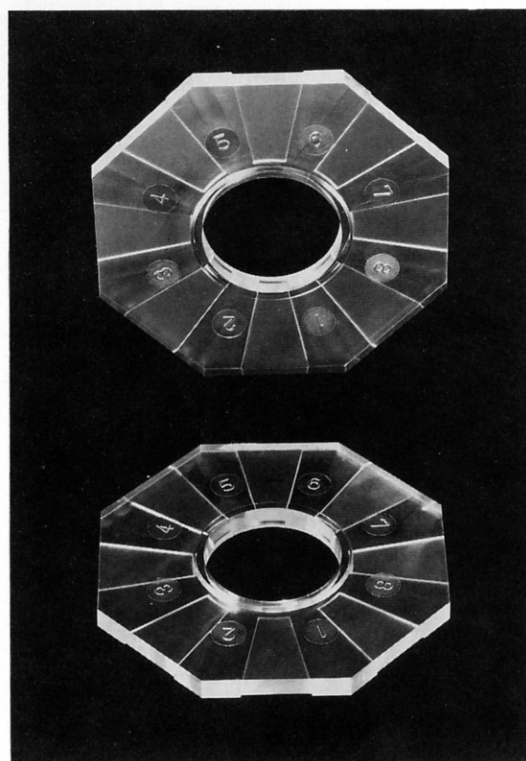
高精度樹脂成形技術

High Precision Plastic Molding Technology

村越和彦

事務機事業本部

生産技術研究センター



Abstract:

In tomorrow's business machines, multi-function, high precision plastic parts will be essential in lowering cost, reducing weight, achieving compactness, and boosting performance. Among such precision plastic parts are the polygonal mirrors used in digital plain paper copiers, laser beam printers, bar code readers, and other applications. Through the analysis of molds by flow and cooling simulation techniques, Konica has developed a combined vacuum cavity/injection compression molding of producing precision plastic parts.

Murakoshi, Kazuhiko

Production Engineering Research
Center

Business Machines Headquarters

1

まえがき

複写機やプリンター等のOA機器において、プラスチック部品に要求される耐熱性、剛性、及び精度等が、高くなってきた。この背景には、部品の複合化及び高機能化によるコストの低減と精度の向上や、部品の軽量化と小型化による製品重量の低減とコンパクト化、等が挙げられる。それらを達成する為の構成要因としては、樹脂材料、金型、成形機械、及びそれらを実際に利用する成形技術がある。樹脂材料に関しては、各メーカーより、耐熱性、剛性、成形性等の向上が計られ、新機能材料が毎年の様に発表されている。また、成形機械に関しては、近年の電子技術の進歩に伴い、フィードバック制御等による動作精度の向上や、PID制御によるシリンダ温度の安定化、等が計られている。しかし、高精度化を実現する為には、成形技術の開発が必要不可欠であり、また、この技術は製品開発においても必要となる重要な要素技術でもある。

そこで、生産技術研究センターでは、高精度部品のプラスチック化の1つとしてポリゴンミラーを取り上げ、高精度化を実現する成形技術の開発を行って来た。まず第1ステップとして、CAE(Computer Aided Engineering)

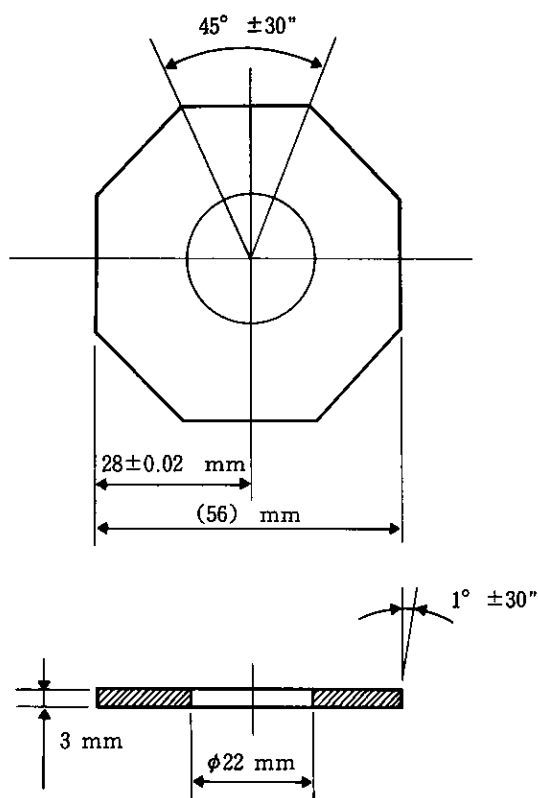


Fig.1 Plastic polygonal mirror

や型内真空成形等、次に第2ステップとして、射出圧縮成形の技術開発を行ってきた。ここに、その高精度成形技術について報告する。

2

プラスチックポリゴンミラー

ポリゴンミラーは、デジタル複写機や、レーザープリンターの書き込み系で使用されている。現在は、アルミの切削により製作されている。今回プラスチック化の研究に当たり、基本仕様は、アルミのポリゴンミラーと同等にした。Fig.1にその形状及びTable 1にその要求精度を示す。アルミのポリゴンミラーと異なる点は、ミラー面に、勾配を付与している点である。これらの要求精度は、今までの射出成形技術だけでは、実現不可能なレベルである。その中で、成形技術上の主要な課題は、ミラー面の平面度と表面粗さの達成である。

3

第1ステップ

まず、ミラー面の平面度と表面粗さを達成する手段として、以下に述べるような技術開発を第1ステップとして行った。

3.1 CAEの利用

(1) 樹脂流動及び、金型冷却シミュレーションの利用

今までのプラスチック部品では、実際に成形を行い、金型の修正を行うトライアンドエラーによるものが、一般的であり、それを数回行ってきた。数年前より、射出成形のプロセスをシミュレートする試みが、行われてきた。射出成形のプロセスとしては、溶融樹脂を金型内に充填する充填工程、溶融樹脂の冷却に伴う収縮を補う保圧工程、及び、樹脂を固化して取り出すまでの冷却工程、に大別される。この中で実用段階のものは、充填工程の樹脂流動、及び、冷却工程の金型冷却のシミュレーションである。今回、金型設計時に、これらのシミュレーションを利用した。これらにより、金型製作前の検討を充分に行う事が出来た。また、金型修正回数の削減により開発期間の短縮と、開発費用を削減出来た。

(a)樹脂流動シミュレーション

Fig.2に充填時間操作による末端応力の変化を示す。この図より、充填時間を末端応力が最下限となる時間にする

Table 1 Specifications of plastic polygonal mirror

Number of faces	8
Surface roughness	Less than 0.02 μ m Rmax
Surface flatness	Less than 0.2 μ m
Tilting angle error	1 \pm 30'
Dividing angle error	45° \pm 30'

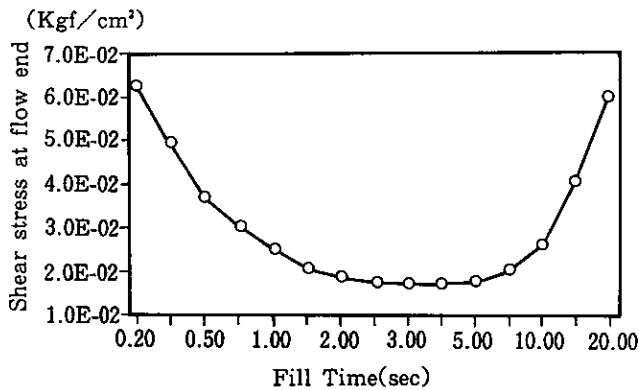


Fig.2 Optimum fill time

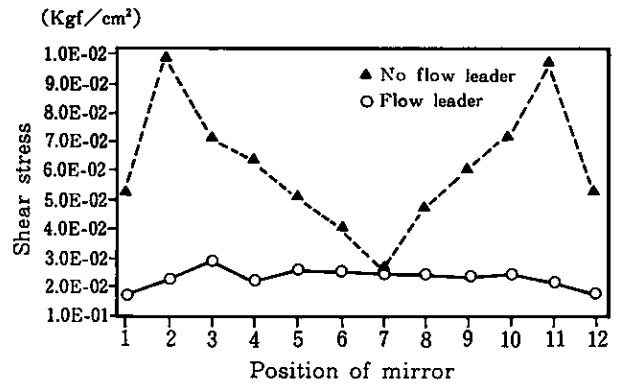


Fig.4 Effect of flow leader

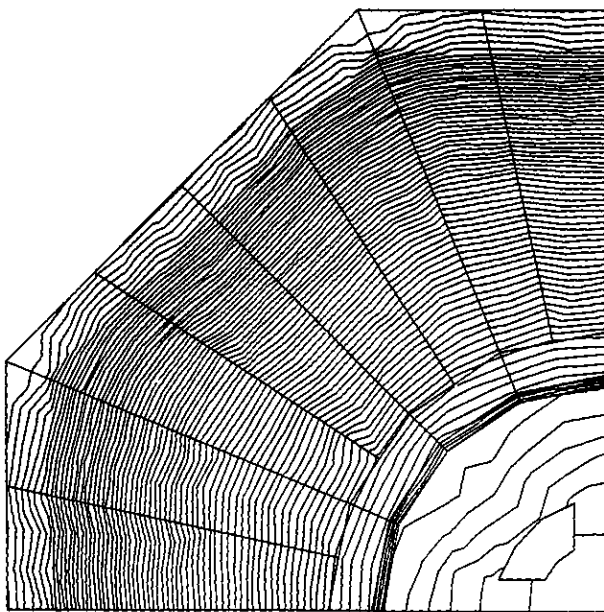


Fig.3 Time plot of melt front

事により、残留応力が最小となり、成形品精度（そり等）が最良となる事が予測でき、実際の成形条件の参考とした。また、スプルー、ランナー、及びゲートの寸法等の事前の最適化も行った。Fig.3に樹脂の流動パターンを示す。通常の均一肉厚のものでは、樹脂の流動パターンは、ゲートより同心円状になる。この時の問題点としては、ミラー面の中央部に先に樹脂が到達して、その後に、末端部に到達する事により、ミラー面に応力分布の不均一が生じて、その要因となる事である。この解決方法として、フローリーダーの考え方を導入した。これは、樹脂のフローパターンをミラー面と平行とする様に、均一肉厚とせず、各部に肉厚差を設定したものである。Fig.4にフローリーダーを付けた時と、付けない時のミラー面の応力分布を示す（充填完了後）。この図より、フローリーダー設定時の方が、応力分布が均一化されているのがわか

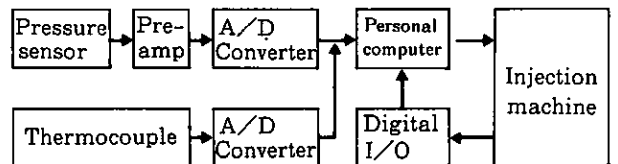


Fig.5 Data collection system

る。また、フローリーダー部の厚さの設定は、シミュレーションにおいて、トライアンドエラーで決定した。これは、実際に成形して金型を修正する方法に比べて、相当な期間の短縮となった。なお、フローパターンは、シミュレーションと実際の成形では良い一致を見た。

(b) 金型冷却シミュレーション

金型の冷却効率、及び温度分布は、最終的に成形品のそり等の精度への影響は大きい。温度分布と熱量分布の均一化を計る事により、成形品各部の収縮率を均一化して、成形品精度を向上させる事が出来る。しかし、実際の金型では、冷却管以外に、製品を金型から取り出す為のエジェクタピン等があり、理想的な冷却管のレイアウトは難しいが、温度分布等の状態を見ながら、検討を行った。上記以外には、各流路の流量等も計算され、金型温調機の能力も事前に検討出来た。

(2) 成形データ自動収集システム

上記の内容は、コンピューターによる計算であり、種々の前提条件の基に計算を行っている。それらは、例えば樹脂流動では、金型の温度分布を一定、金型内のエアの影響は考慮しない等である。そこで、実際の成形時のデータを取り、前記シミュレーションの結果と比較検証する必要がある。また一方で、成形データと成形品の精度を比較しながら検討する必要もある。そこで、1ショット毎に成形データを収集して記録出来るシステムを構成した(Fig.5)。成形機のモニタリング値はRS232Cを経由して転送される。また、圧力信号はプリアンプで増幅後、

アナライジングレコーダーで記録され、温度はハイブリッドレコーダーで記録される。そして、上記2台の計測器で記録されたデータは、GP-IBを経由して転送される。最後に、各転送されたデータは、パソコンにより1ショット毎の表示と記録が自動で行われる。また、成形データの一覧をTable 2に示す。なお、温度に関しては、金型内では、溶融樹脂が型内にはいると上昇して、その後下降

するサイクルを示すので、射出の時刻から一定時間後のサンプリングが、出来るようにした。出力記録の一例をFig.6に示す。本システムの構築により、成形データのリアルタイムの取り込みとデータの一元化の表示を可能として、成形品の品質と成形データの比較が容易になった。

3.2 型内真空成形

通常の射出成形では、溶融樹脂がキャビティに流入してきた時に、その中の空気や樹脂から発生するガス成分は、エアイベントによりキャビティの外へと追い出される。この時に、樹脂の流入速度がエアの流出速度より速い場合は、焼けやショート不良につながる。そこで、型内真空成形とは、樹脂を金型内に射出する前に、予めキャビティ内を真空ポンプ等で吸引して、射出する方法である。それにより、型内のエア等を除去して、金型への転写性を向上する。また、この効果の他の一面としては、同一充填時間で通常の射出成形と比較して、射出圧力を低く出来るので、成形品の残留応力の低減もある。しかし、その反面として、真空でキャビティを吸引することにより、通常の射出成形に比べて、エアイベントスリットの厚さは、小さくする必要がある。

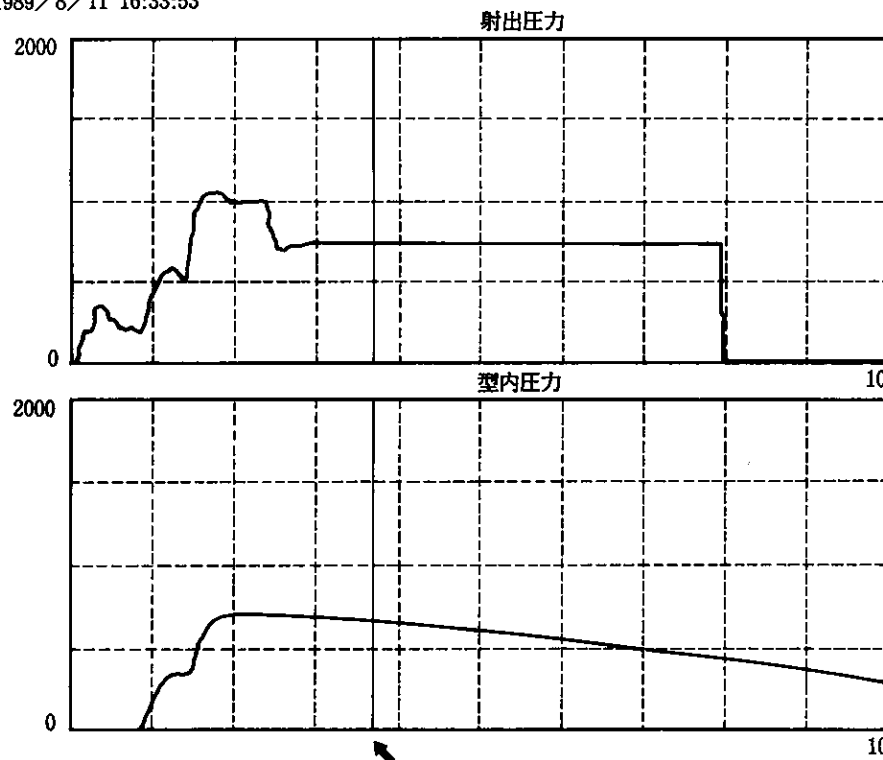
3.3 型内圧力保圧切り換え制御

一般のスクリーインライン方式の射出部を備えた射出成形機では、スクリーストロークの位置による充填工程から保圧工程への切り換えを行っている。それに対

Table 2 Data collection

Temperature	
Room	
Mold	
Coolant	
Heater	
Pressure	
Injection (hydraulic)	
Cavity	
Operation	
Screw position	
...Start	
...Shift	
...Cushion	
Screw speed	
Cycle duration	
...Filling	
...Charging	
...Removal	
...Full cycle	

1989/8/11 16:33:53



ショット番号	5
充填時間	0.95 sec
軽量時間	5.4 sec
取出時間	18.1 sec
サイクル時間	64.2 sec
クッション量	4.4 mm
切換位置	7.9 mm
軽量位置	29.8 mm
スクリーrpm	64 rpm
スタート zone	-13.3 %
ミドル zone	0.0 %
バック zone	48.2 %
ホールド	150.0 %
mold 3	119.7 °C
mold 4	119.9 °C
時間	3.700 sec
射出圧力	714.4kg/cm
型内圧力	626.4kg/cm

Fig.6 Example of output data (computer)

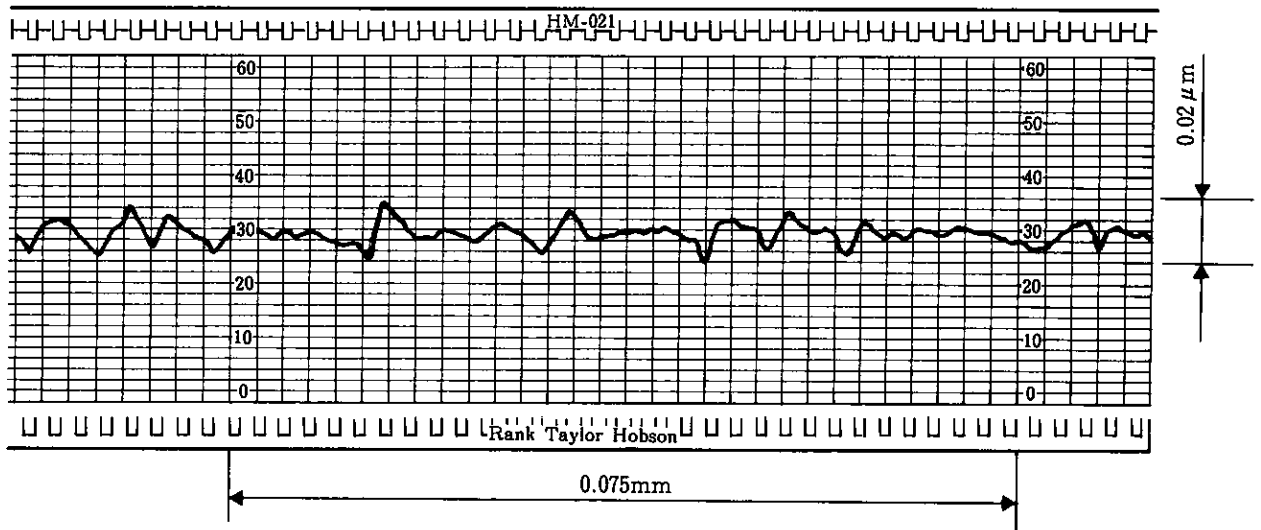


Fig.7 Surface roughness of mirror

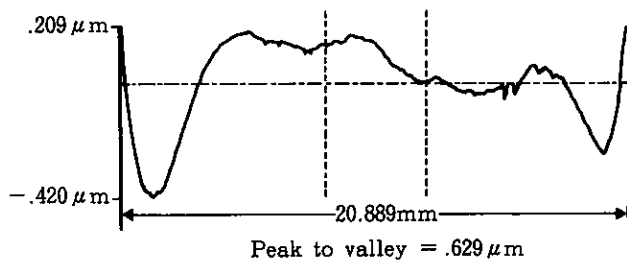


Fig.8 Flatness of mirror surface

して、型内圧力保圧制御とは、樹脂が金型内に充填された事を、圧力センサーにより検知して、保圧工程に切り換えるものである。この制御の利点は、計量のばらつきの補正効果、及び、保圧切り換え時のショック圧発生の防止効果が有る。

3.4 第1ステップのまとめ

上記の成形技術の適用結果を以下に示す。

①表面粗さ 0.02 μ m

②平面度 0.6 μ m

Fig.7に表面粗さ、Fig.8に平面度の測定結果を示す。表面粗さは、要求精度を満足するものとなった。また、平面度に関しては、要求精度の0.2 μ mは未達と成ったが、通常の射出成形では5 μ mが限界であるのに対して、約10倍の高精度化を達成できた。

4

第2ステップ

最近、射出圧縮成形法 (Injection Compression Molding、以下I.C.Mと記す) を利用したものが、種々発表されている。この効果としては、射出成形に比べてゲート付近の

応力集中を緩和して均一な応力分布になる事である。また、同じ樹脂材料でも収縮率を小さく出来るので、金型の転写精度を向上出来る。それらにより、成形品のそり、平面度等の精度を射出成形に比べて向上出来る。

そこで、I.C.Mの技術開発を行い第1ステップで開発した技術にそれを適用する事で、平面度向上を目指す事を第2ステップとして進めている。

4.1 射出圧縮成形法

一般的なI.C.Mの成形方法は、樹脂の比容積が温度の上昇により増加するので、圧力により金型内で一定の比容積となる様に制御しようとする方法である。そこで、I.C.Mの成形技術の重要な点は、圧縮圧力を時間に対してどの様に制御するかである。それには、

- ①樹脂の金型内の冷却に伴う非定常熱伝導による、温度の推定。
- ②P-V-T曲線のデータに基づく比容積変化に対する圧力制御の推定。

が必要である。そこで上記2点についての検討を行い、実際に制御する圧縮圧力の参考とした。

(1) 2次元非定常熱伝導解析

実際の温度計測では、キャビティ内の計測は、応答性や、樹脂圧力による変形等が考えられるので、予め指針としての非定常熱伝導解析を行う事とした。しかし、前記のCAEによる金型冷却シミュレーションにおいては、定常状態の解析なので、別途、2次元の非定常熱伝導の解析を行った。解析手法としては、差分法により行った。解析結果をFig.9に示す。

(2) P-V-T曲線データ

データに関しては、参考文献によった。また、その中の冷却速度は最大のものとして、データにない温度域に

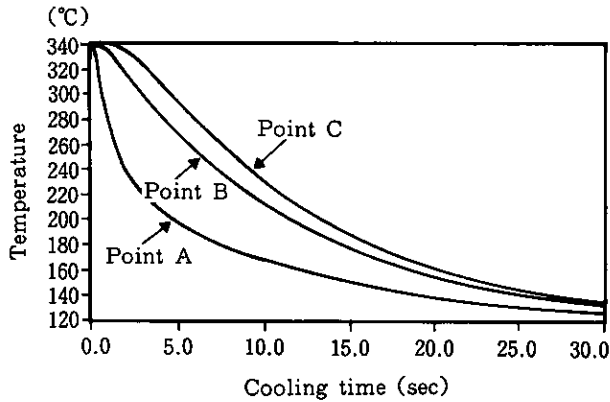
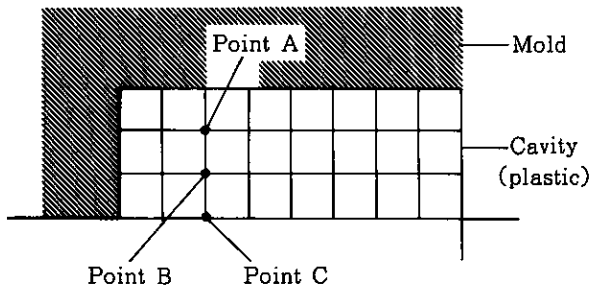


Fig.9 Computation of two-dimensional thermal conduction

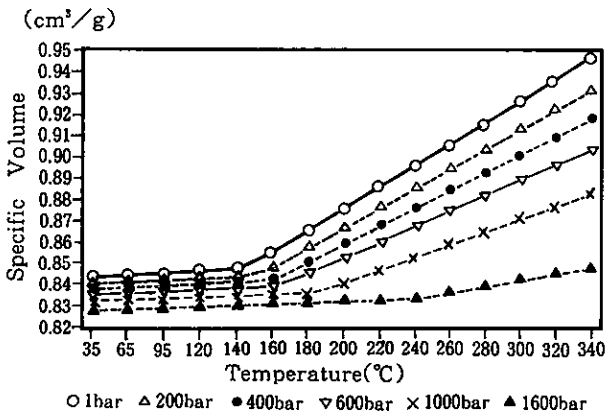


Fig.10 P - V - T curve

関しては、回帰分析により求めた。現在、樹脂材料のP-V-T曲線データは、各研究所や、大学等で計測の試みを行っているが、樹脂成形で必要としているデータに関しては、その数はまだ少ない。Fig.10に、P-V-T曲線データを示す。

(3) 圧縮圧力の算出

上記の2つのデータより、時間に対して必要な圧縮圧力を多項式回帰分析より算定し、I.C.M制御条件の参考とした。その結果をFig.11に示す。

4.2 第2ステップのまとめ

I.C.Mの効果の一例として、通常の射出成形と形状精度を比較したので、Fig.12にその結果を示す。

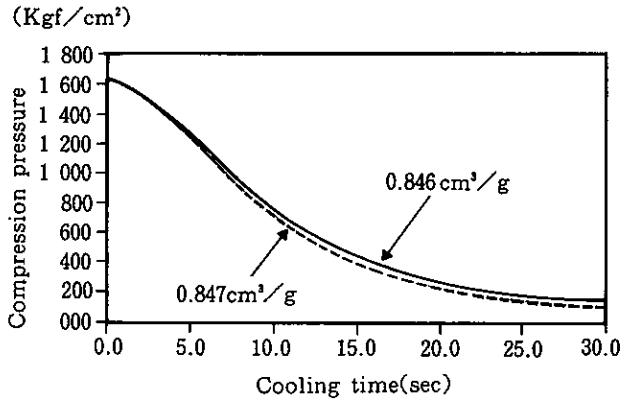


Fig.11 Compression pressure VS. cooling time

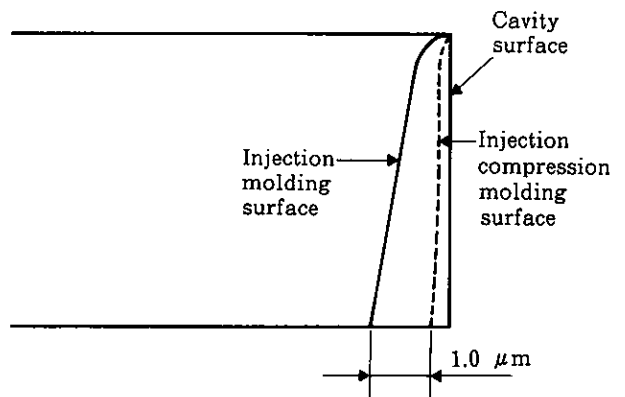


Fig.12 Injection molding VS. injection compression molding

射出成形では、応力分布が不均一となり、ゲート近傍及び離れた部分でそりやひげにより、平面度が低下する。一方、I.C.Mでは、圧力分布が均一となり、そりやひげがなくなり平面度が向上している事がわかる。また、金型内の圧力は、射出成形に比べてI.C.Mでは1/2以下の圧力で同等の精度が得られた。これは、I.C.Mが、型内の均一な圧力分布を得られるからである。

以上のように、I.C.M技術は、現在取り組んでいるテーマであるが、その有効性は確認できた。今後、更にI.C.M技術開発を進める事により目標の平面度を目指す。

5

むすび

第1ステップの技術により、表面粗さについては、型内真空成形等の有効性が確認できた。また平面度についても、同様である。また、CAEを有効に活用できた事により金型製作前の検討が充分でき、金型の修正回数を以前より減らす事が出来た。今後もこのCAE技術は、有効なツールとして活用して行く。さらに、第2ステップの

技術 (I.C.M) 開発により、第 1 ステップの技術を適用する以上の高精度化が計れる。

なお、今回開発した第 1 ステップの技術は、薄肉の精密部品である、平面ミラー、フレネルレンズ、精密歯車 (JIS 1 級) 等への応用が可能であり、今後の技術応用ターゲットを具体的に検討していく。さらに、第 2 ステップの I.C.M 技術を確立する事により、厚肉の精密部品である、プリズム、大口径レンズ、 $f\theta$ レンズ、及びシリンドリカルレンズ等への技術応用も可能とする。なお、本件に関する特許を多数出願した。

最後に、本技術開発において、助言と協力をいただいた、複写機生産事業部設計部、精機部及びオプト事業部光学開発センターの方々に、深く感謝いたします。

●参考文献

- 1) Verin Dt. Maschinenbau-Anstalten (VDMA),
Thermodynamik, Kenndatum für die Verarbeitung
Thermoplastischer Kunststoffe (1979)
- 2) 田村徹他：“大口径非球面プラスチックレンズの成形”, プラスチックエージ, [11], 135, (1986)
- 3) 綾井英二：“射出圧縮成形技術のポイント”, プラスチックス, Vol. 37, No.5, 17