

射出成形における型内樹脂挙動の直接観察

Visual analysis of the process of plastic flow inside an injection mold

横井 秀俊*・林 高樹*・平岡 弘之**
Hidetoshi YOKOI, Takaki HAYASHI and Hiroyuki HIRAOKA

1. はじめに

プラスチック成形法の中で、射出成形は最も一般的かつ重要な成形法として知られる。射出成形にとって大きな問題は、寸法精度とともにウェルドライン、ひけ、そり、残留応力等の成形不良の発生である。こうした不良現象を定性的、定量的にとらえることは、製品設計のうえで極めて重要な課題といえよう。そのため、これまで金型内の樹脂挙動に関する研究が盛んに行われてきた。

射出成形の流動過程(充填工程)を理論的に解明しようとする研究は、1970年代より活発化し、現在までに、数々の数値シミュレーション法が提案されている¹⁾。またこれまで定性的な説明にとどまっていた保圧・冷却工程でも、最近ようやく理論的取り組みがなされるようになってきた²⁾。こうした理論的解析手法の進歩は、成形時の樹脂挙動をかなりの精度で予測し、実際の金型設計にも役立てられつつあるが³⁾、その一方で型内樹脂挙動の計測手法に立ち遅れが目立っている。

型内樹脂流動を観察する手法として、一般に射出樹脂量を少しずつ増大させるショートショット法が広く用いられてきた。しかし、この方法はあくまでも簡便法に過ぎず、とりわけ高速・高圧の射出成形ほど、現実の樹脂挙動からはかけ離れてくるものと想像される。このため、金型内で樹脂流動をリアルタイムにて観察する試みが幾つかなされている⁴⁾。これらの計測用金型の大半は、ガラス板を平行に配した特殊構造を有する透視型であるため、通常成形圧を大幅に下回る低圧射出条件の下でのみ、観察が可能なものであった。

通常の成形圧で、型内樹脂挙動を直接観察することは、解析手法による計算結果の検証、各種不良現象の解明、ひいては精密射出成形、優れた金型設計に大変重要な指針を与えるものである。そこで、筆者らは、通常成形圧で樹脂挙動観察を可能とするガラスインサート金型を提案し、試作およびジェットニングの観察実験を通して、

*東京大学生産技術研究所 第2部

**中央大学精密機械工学科

本金型の有効性を確認した。以下にその概要を報告する。

2. ガラスインサート金型による型内樹脂挙動の観察手法

ブロックの一角をプリズムカットしたガラスを、図1のように金型内に組み込む。ガラスの一面はキャビティ面に、これと直交する他の一面は観察窓に接している。ランナからゲート、キャビティへと充填される樹脂の流れを、その保圧・冷却工程と併せて、プリズムカットの全反射を介して分割面と平行方向から観察する。

3. ガラスインサート金型の試作

ガラスインサート金型の設計は、映像を型外に取り出す機構を確保しつつ、いかに強度のある型構造を構築するかに帰結される。ここでは射出圧力 500kgf/cm^2 で成形可能な型を一つの目標として設計を行った。こうした型設計上の基本的問題点を以下に列挙する。

(1)ガラス強度の問題: 通常の射出成形では、キャビティ内樹脂圧力は非常に大きく(1500kgf/cm^2 強にも達することがある)、不均一で、かつ急激に加わる。ところが、ガラスは圧縮には強いものの、引張りやせん断には弱く、また衝撃にも弱い。

(2)ガラス加工上の問題: ガラスの加工精度は、金属加工に比べ著しく劣る。また複雑な型彫りは一般に困難である。さらに、金型温度は組み付け時よりも成形時で一般に高く、ガラスと金属の線膨脹係数の違いも無視できない。

(3)画像の取り出し方法: 金型分割面に垂直な方向に

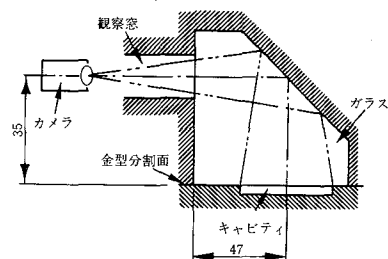


図1 型内樹脂挙動の直接観察方法

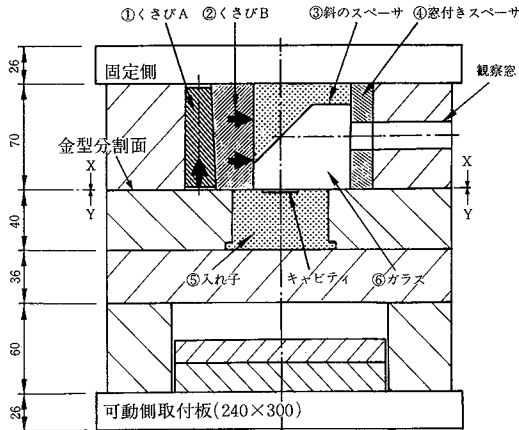


図2 ガラスインサート金型の基本構造(1)

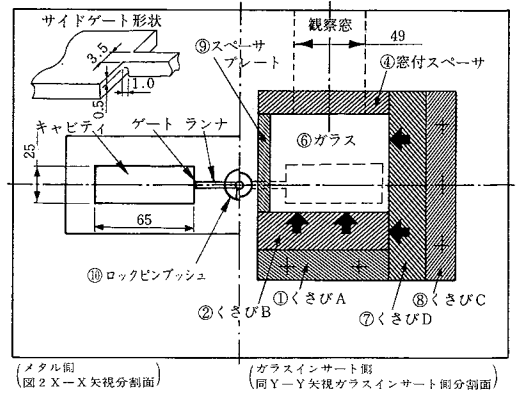


図3 ガラスインサート金型の基本構造(2)

画像を取り出すのは、金型と射出成形機との位置関係から通常の成形機では極めて困難である。

以上の問題点を解決し、著者らが試作したガラスインサート金型の基本構造を図2、3に示す。その基本的な思想ならびに仕様を以下に列挙する。

(a) プリズム用のガラスとして機械的特性の優れる表1の石英ガラスを使用し、65×56×8mmの直方体ブロックの一部分を図4のように45°にプリズムカットした。

(b) ガラスコア⑥の周辺を、上下、左右方向の2組のくさびとスペーサによる図3の入れ子構造にした。これによりガラスの低い加工精度に対処できると同時に、必要に応じて横方向からガラスコアを加圧できる。たとえば、くさびA①のねじの締め付けトルクを増大すると、くさびB②によってガラスコアは右方向に加圧され、樹脂充填時の急激な不均一加圧等による割れを抑制できるものと期待される。

(c) 窓付きスペーサ④の観察窓の大きさは19×48mm(R2)とし、ガラスコアとの接触部では応力集中を避けるために、図4のようにエッジ部全周にR3を付与した。

(d) ガラスコア形状をできるだけ単純にするために、図2に示すように、キャビティを金属の可動側に設け

た。ランナ、ゲートに関しても同様である。キャビティ形状は、長方形(25×65mm)で厚さは2mmである。

(e) ガラスコア側キャビティの他に、もう一つの同一形状の金属キャビティをスプルーと対称位置に配し、両者の差を比較検討できる2個取り方式を採用した。付随して、こま形のロックピンプッシュ⑩により、ガラス側のみ、金属側のみ、両方の3通りの成形が行えるようにした。また、キャビティとゲート部分を入れ子構造にし、ゲート条件等の成形条件の変更を容易とする配慮も行った。

図5に試作型を示す。上記ガラス形状、および型の詳細設計、寸法諸元は、設計に先立ち行った数次にわたるブロック状ガラスの圧壊試験結果に基づいている。数値解析によるシミュレーションも併行して検討されたが、本解析対象が弾性接触問題を含む物理モデルで境界条件の選定に解が大きく左右されるため、ここではより信頼性の高い実証的手法に依拠するものとした。

4. 本試作型による成形実験

4-1 実験方法

試作ガラスインサート金型を用いて取り出された型内樹脂挙動を撮影、記録、解析するために、ここでは図6に掲げる画像計測装置を構成した。構成に当っては、高

表1 石英ガラスの機械的諸特性

ヤング率	76.2GPa	
ポアソン比	0.14	
曲げ強さ	横断	57.0MPa
	ねじり	46.5MPa
引張強さ*	48MPa	
圧縮強さ**	1130MPa	

○室温25°Cのカタログ値
 *…片面研磨板(厚さ10mm)
 **…径24mm棒状試料

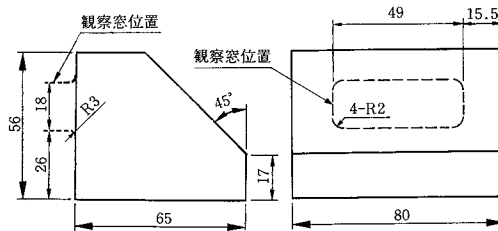


図4 ガラスコアの寸法形状

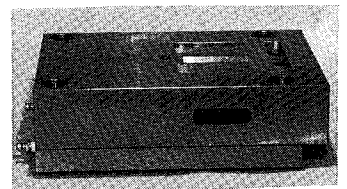


図5 試作ガラスインサート金型の外観(固定側分割面)

研究速報

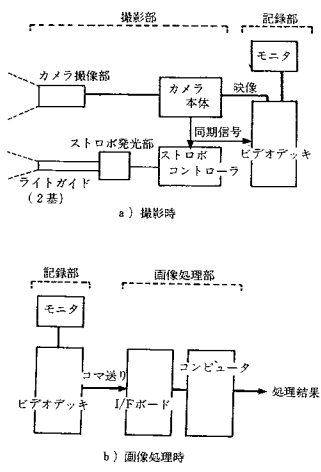
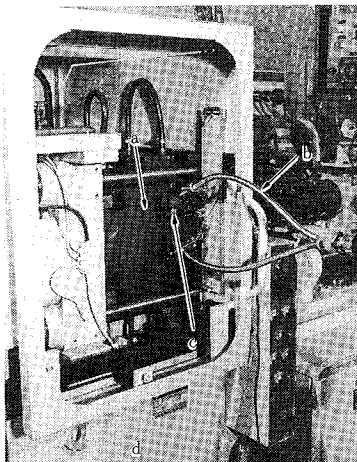


図6 画像計測装置の構成



a : ガラスインサート金型
b : ストロボ用ライトガイド
c : 小型CCDカメラ
d : 射出成形機

図7 実験装置

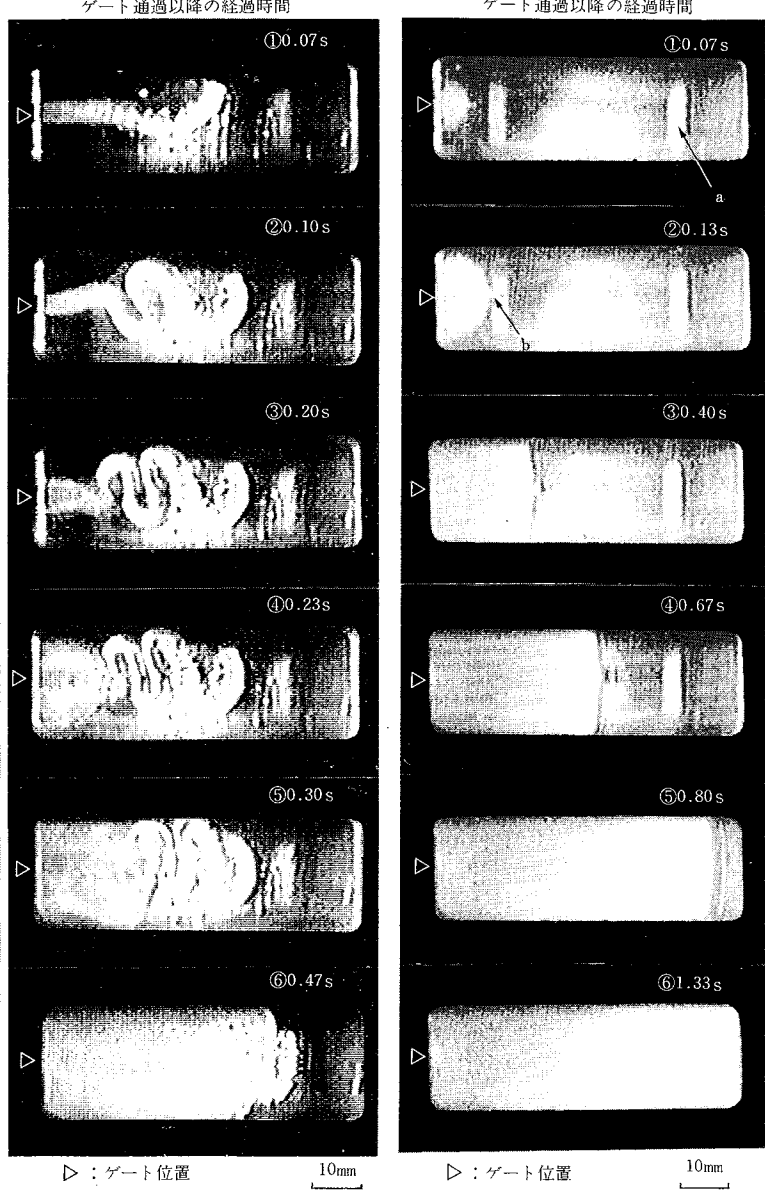


図8 ジェットingの形成過程

図9 正常な充填過程

速の樹脂流動を静止画像として捉えられるように、2基のストロボをカメラに同期させてカメラ両サイドから発光させた。さらに型近傍に設置できるように超小型カメラを採用した。

射出成形機は、住友重機械工業(株)のSYCAPシリーズS40/25(型締め力25t)を使用した。この成形機は、射出成形の可塑化、射出、保圧の各工程を閉ループで精度良く制御することができる点に特色がある。この成形機にガラスインサート金型を取り付け、図7のように画像計

測装置を設置して観察実験を行った。

4-2 型内樹脂挙動の観察実験

(1) ガラスコア強度の確認実験

本格的な観察実験に先立ち、表2Aの成形条件によりポリプロピレン(PP, ダイアポリマー社)の射出実験を行った。ここでは、保圧の設定を徐々に上げてゆき、射出圧力が最終的に所期の目標値である500kgf/cm²を越えても、ガラスコアが破損しないことを確認した。

(2) ジェットing観察実験

表 2 成形条件

	A 予備実験	B ジェッティング	C 正常充填
材 料	PP	POM	POM
樹脂温度 (°C)	200	190	190
金型温度 (°C)	30	80	80
射出速度 (mm/s)	75	30	15
射出圧力 (kgf/cm ²)	530	560	330
充填時間 (s)	0.5	0.9	2.4

樹脂温度：加熱シリンダのノズル部温度，射出速度：スクリュ前
進速度，射出圧力：シリンダ圧力，充填時間：スプルからキャピ
ティまで充填される全時間

上記予備実験に基づき，不良現象を引き起こしやすい
ポリアセタール (POM，ポリプラスチック社) による高
速射出実験を試み，典型的な成形不良の一つである
ジェッティングを観察した。表 2 B にこのときの成形条
件を，図 8 に観察されたジェッティング形成過程を示す。
まず，ゲートから直線状に飛び出した樹脂の先端は，キャ
ピティ長のほぼ 3 分の 2 まで一気に達する(①)。その後
新たに充填される樹脂によりうねり状に折り畳みが形成
され(②③)，さらに後続の射出樹脂にうねり全体が右方
向に押しやられ，左方向からはうねり間の溝も含めて樹
脂が充填されてゆく(④～⑥)。②～⑤において，ジェッ
ティングのうねりが二重に見える。これは画像における
ゴースト現象と考えられる。

比較のため，表 2 C による正常な成形過程を図 9 に示
した。ここで，①等に見られるキャピティ内の白い縦縞
a は，観察窓の反射像である。また，フローフロント先
端の突出し b はストロボ光の反射によるもので，実際の
フローフロントは滑らかであることが確認されている。

なお，いずれの実験の場合にも，キャピティ充填後の
樹脂が冷却固化し，成形品の周辺部から次第にひけてゆ
く様子が明瞭に観察された。

5. ガラスインサート金型の課題

図 8 では，従来紹介されているジェッティング形成過
程⁹⁾と若干異なる様子が観察された。また，メタル側で
ジェッティングが生じる成形条件のもとでガラス側で生
じない例も認められた。これらはいずれも，ガラスイン
サート金型の持つ本質的な問題に起因するものとも考え
られる。すなわち，a) ガラスの熱伝導率がメタルのそ
れより大幅に小さいこと，b) ゲート部分も片側がガラ
スとなっており，ゲート形状もガラス側キャピティ面に
沿って樹脂が噴出する形になっていること，さらに c)
メタルとガラス表面の仕上げ面粗さ，樹脂とのぬれ性の
相違等が挙げられる。しかし，こうした相違点にもかか

わらず，b)，c) については型製作上の工夫によりカバー
できると考えられ，また a) についても高速の射出成形
条件ではその影響は極めて小さいと想像できよう。

今後は，ガラス側成形とメタル側成形の等価性が保た
れるような型構造，具体的には，ガラスコア周辺部への
冷却管の配置，金型の温度コントロール，ゲート形状等
の点についてさらに検討してゆく必要がある。また，
細かい点では，i) より鮮明な映像を捉えるため，乱反
射しやすいキャピティ部分を黒く塗る，ii) 照明方法の
再考 (ストロボの形状，位置) 等の対策も急がれよう。

6. ま と め

①プリズムカットされたガラスコアを金型内に組み込
み，高耐圧強度の達成と画像の取り出しの簡易化を図つ
たガラスインサート金型を設計・試作し，射出圧力が
500kgf/cm²以上の成形実験を通して型内樹脂の挙動観
察が可能であることを確認した。

②本試作型を用いて，成形不良現象の一つである
ジェッティングの形成過程を高い射出圧力と 1 秒未満の
射出速度においてはじめて VTR 静止画像としてとらえた。

③しかし金型の一部にガラスを用いることにより，通
常の金型キャピティでの成形現象とどのような差異が生
ずるかを，今後さらに検討する必要性が指摘された。

本手法は，いくつかの技術的課題を残しつつも，広範
な成形条件を実現できること，通常の射出成形機に取り
付けられること，同一手法により 3 次元的な観察も可能
とすること，等の大きな特長を有している。各種不良現
象の解明や仮説の検証手段等，射出成形の基礎研究に今
後役立つものと期待される。

おわりに，ガラスコアの製作に全面的にご協力いた
だいた高橋信之氏，型製作ならびに成形実験の遂行にご助
力を賜った住友重機械工業(株)プラスチック機械事業部，
精密事業部に謝意を表します。また，実験遂行に多大
なご協力いただいた元東京電機大学卒論生，森沢幹雄君，
モールドベースをご提供いただいた日本金型材(株)にお礼
を申し上げます。
(1987年 5 月 13 日受理)

参 考 文 献

- 1) 藤井，辻：日本機械学会論文集，43—373(1977)，3337
- 2) 丸山，日部：高分子論文集，38—4 (1981)，275
- 3) 藤田，原田：プラスチックエージ，33—2 (1987)，154
- 4) K. Oda, J.L. White et al: Polymer Engineering and Science, 16-8 (1976), 585
- 5) 大柳：エンジニアリングプラスチック，森北出版，(1985)，84