

7 高精度射出成形支援システムの開発（第1報）

田平公孝，佐々木憲吾，花ヶ崎裕洋，大橋俊彦

Development of high-accuracy injection molding support system. (1st Report)

TAHIRA Kimitaka, SASAKI Kengo, HANAGASAKI Hiromi and OHASHI Toshihiko

For the reduction of the making die prototype and modifying process, importance of the high accuracy injection molding simulation increases. However, there is an unacceptable difference to a simulation and real molded part. The property that is necessary for injection molding simulation is viscosity of the ejection resin of the die inside. But it is difficult to acquire the property in the current measurement technology.

It is urgent necessity to measure resin viscosity in the die inside so that a plastic molding maker continues answering a severe demand.

This first report is contents about a pressure and temperature measurement unit developed originally from such a scene.

キーワード：射出成形，シミュレーション，粘度

1 緒 言

広島県内のプラスチック製品製造業は、関西以西では最大規模を誇っている。その中核を成す輸送用機械産業では、軽量化・部品点数の削減への要望から大型複雑形状プラスチック部品の採用が拡大している。その成形は一層難度が増加しているにもかかわらず、プラスチック成形メーカーには、引き続き開発期間の短縮や開発費用の削減等の厳しい要求が強く求められている。

本課題の有効な対策として、金型試作・修正工程削減のための、高精度射出成形シミュレーションの重要性が増加している。しかし、現状では射出成形シミュレーションの結果と実成形品の間には許容し難い差異が生じている。その主な要因の一つに、射出成形シミュレーションでは金型内部における流動状態の樹脂粘度物性値が必要であるにもかかわらず、現在の測定技術ではその値を取得することが困難なことが挙げられる。

県内プラスチック成形メーカーが引き続き厳しい要求に答え続けるためには、金型内部での流動樹脂粘度を測定し、シミュレーション技術を向上させる「高精度射出成形支援システム」の開発が急務である。

第1報は、このような背景から独自に開発する「高精度射出成形支援システム」に組み込まれる「圧力・温度測定ユニット」に関する報告である。

2 粘 度 測 定

2.1 シミュレーションと粘度測定の問題点

表1は、射出成形シミュレーションで寸法精度に影響を与える代表的な物性値である。この中で、粘度は流動樹脂のせん断速度に依存する物性値であるため、シミュレーションの精度を向上させるには、実際に金型内部を流れるせん断速度での測定が必要となる。実際に金型内部を流れる樹脂のせん断速度は、ゲート通過時では最大 $10^6(1/s)$ にも達すると言われている。

一方でその粘度を測定する装置の種類は、JIS Z 8803の記述によると、大きく分類して「毛細管粘度計」、

表1 解析で寸法精度に影響を与える物性値

| |
|--------|
| 密度 |
| 比熱 |
| 熱伝導率 |
| PVT |
| 機械的物性値 |
| 固化温度 |
| 粘度 |

「落球粘度計」,「回転粘度計」の三種類が存在する。その中で、現在最も速いせん断速度領域の粘度測定が可能な回転粘度計での測定可能領域は $10^4(1/s)$ 程度までであり、金型内部でのせん断速度 $10^6(1/s)$ には遠く及ばない。表1において粘度以外の物性値は既存の装置で測定可能であるだけに、射出時の高せん断速度での粘度測定が不可能であることは、射出成形シミュレーションを行う上での大きな問題となっている。

2.2 粘度測定手法

細管押出式粘度計(毛细管粘度計)を用いた粘度測定において、粘度は樹脂温度を T , K, n, a を定数として、一般的に式(1)で記述することができる。

式(1)中のせん断速度 $\dot{\gamma}$ は、細管内の2点間の圧力差 ΔP , 樹脂流量 Q の関数であるから、粘度 η は P, Q, T の関数として、 $\eta(P, Q, T)$ と記述することができる。つまり細管押出式粘度計では、細管内の2点間の圧力差 ΔP , 樹脂流量 Q , 細管内の流動樹脂温度 T を測定することにより粘度 η を求めることができる。

以上の情報を基に、我々は概略として図1の「高精度射出成形支援システム」を考案した。

射出時のせん断速度を持つ樹脂の流れを得るには極めて高い圧力が必要になるため、樹脂の射出には射出成形機の圧力を用いることとした。樹脂流路の途中2箇所に圧力・温度センサを配することで、圧力 ΔP と流動樹脂温度 T を測定する。さらに任意の時刻の流出樹脂流量を測定する流量測定装置を開発し、測定対象

$$\eta(\dot{\gamma}, T) = K \dot{\gamma}^{n-1} \exp\left(\frac{a}{T}\right) \quad (1)$$

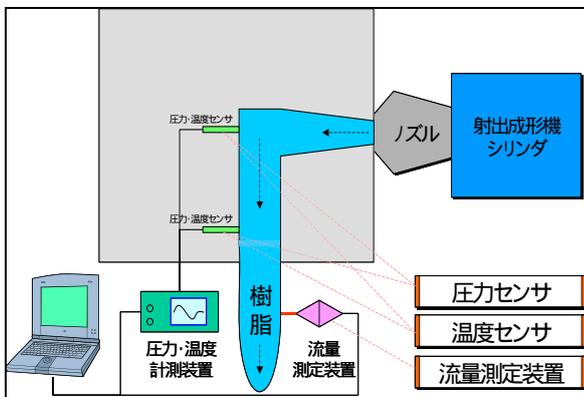


図1 粘度測定装置概略

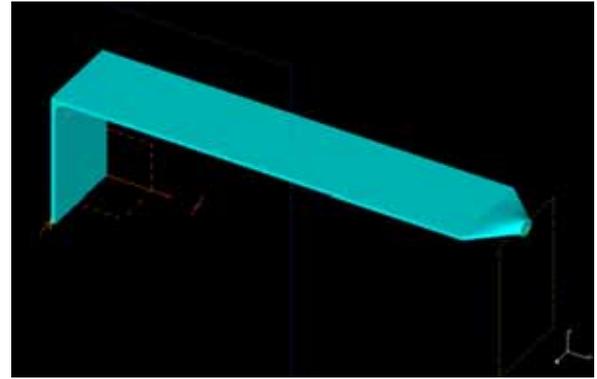


図2 平板流路形状

樹脂のPVT測定結果と照らし合わせるにより、流路内部での流量 Q を求める。以上の測定結果により、高せん断速度領域での樹脂粘度 $\eta(P, Q, T)$ を求める。

2.3 圧力・温度測定ユニット設計

高精度射出成形支援システムの内、圧力と温度の測定を担う部分を「圧力・温度測定ユニット」とし、流量測定装置と区別して設計を行うこととした。

$10^4 \sim 10^6(1/s)$ のせん断速度を得ることを目標とし、圧力・温度測定ユニットを設計するにあたり、まず測定に相応しい樹脂流路の設計を行った。

目標のせん断速度を得るためには、流路が円筒の場合5mm以下である必要がある。本研究で採用した圧力・温度センサの先端は4mmの円筒形状をしている。センサは先端の加工がある程度許されてはいるものの、5mmの流路形状にセンサ先端の形状を沿わせることは加工許容範囲を超えてしまうため不可能である。そこで、本ユニットでは流路を図2の平板形状とすることとした。

式(1)の細管押出の粘度式は流路が円筒形状の場合であるため、平板に直接流用することはできない。そこで、温度を一定とし、図3の平板中の流れ断面に

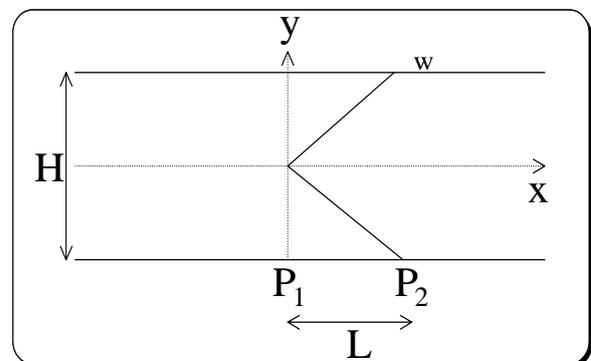


図3 平板流れ断面

$$\eta(P, Q) = \frac{\tau_w}{\dot{\gamma}} \quad (2)$$

$$\frac{\partial P}{\partial x} = \frac{2\tau_w}{H} = \frac{P_2 - P_1}{L}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{6Q}{WH^2}$$

対して平板の式として式(2)を用い粘度 $\eta(P, Q)$ を算出することとした。

また、平板の厚さを a 、幅を b とし、流入・流出端からセンサまでの距離をそれぞれ l_i, l_o とすると、幅 b は厚さ a に対して20倍以上、 l_i, l_o も厚さ a に対して20倍以上とし、平板の式が適用可能であり、かつ平板内の流れが安定し圧力測定に影響を及ぼすことのないよう配慮した設計を行った。図4はその流路形状条件ならびにセンサ配置条件である。

図5は圧力・温度測定ユニットにセンサを取り付け、流路側から観察した様子である。樹脂は図の右側から左側へ流れる。流路には5箇所センサ取付口を配し、図のように圧力センサと温度センサを取付けた。ダミー部分は拡張用センサ取付口で、ダミーセンサが取付けられている。センサ先端部は流路と段差のないように加工されている。

本ユニットの測定流路を樹脂温度まで上昇させることを視野に入れ、金型温調機を利用した温調媒体流路と、補助熱源としてカートリッジヒータを設計に取り入れた。これにより、最大200 程度まで測定流路温度を上昇させることができる。

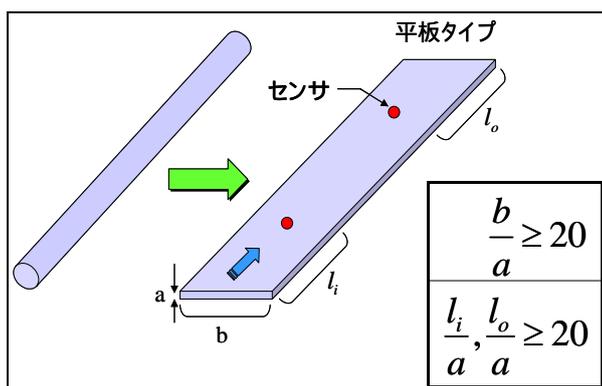


図4 流路形状とセンサ配置条件

3 射出結果

図6は、実際に圧力・温度測定ユニットに樹脂を流し、樹脂硬化後に取り出した結果と設計流路の比較である。このように、設計流路に忠実に樹脂が流れてい

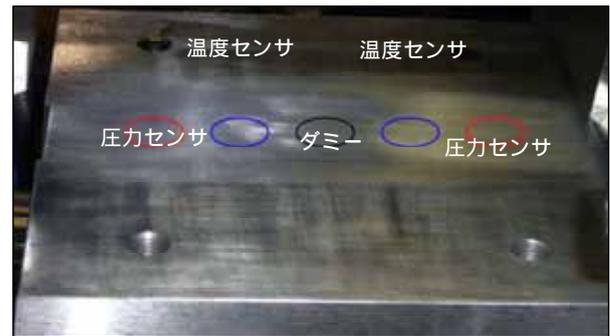


図5 センサ取付状況

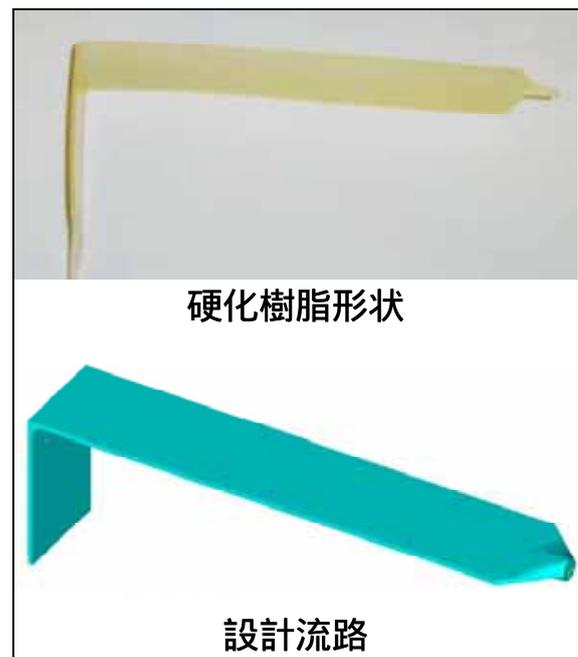


図6 硬化樹脂と設計流路

ることが分かる。

本ユニットは一般的な射出成形金型と異なり、射出樹脂が流出する構造となっているため、ユニット内での測定圧力は1~2MPa程度に留まるのではないかと予想された。しかし、実際の測定値は低粘度のPPを用いた場合でも約30MPaにのぼり、予想圧力を遙かに上回る結果となった。

温度測定値は100 程度となり、PPの融点を下回っている。このような低い温度が測定された要因は、センサ周辺の熱容量が大きいため、急冷されたスキン層の温度を測定したためと考えられる。当然、樹脂流動の中心温度は本測定値よりも高温である。

詳細な圧力・温度の測定結果と考察、ならびに流量測定手法に関しては、第2報で報告する。