

## 6 高精度射出成形支援システムの開発（第2報）

田平公孝, 佐々木憲吾, 舟木敬二

Development of high-accuracy injection molding support system. (2nd Report)

TAHIRA Kimitaka, SASAKI Kengo and FUNAKI Keiji

This is a report of development of resin viscosity measurement unit and injection molding support system. Recently in the resin injection molding, importance of simulation increases. Especially resin viscosity was very important. The viscosity measurement unit with two pressure sensors, a resin thermometer and metal mold thermometers was made for trial purposes.

The simulation that used an actual product metal mold from the calculated resin viscosity was executed, and the simulation result and an actual injection molding result were compared in the Weld line position simulation and the resin filling simulation.

キーワード：射出成形，シミュレーション，粘度

### 1 緒 言

プラスチック製品製造業においてはコストダウンや開発期間短縮の要求が近年益々強くなっている。その解決方法の一つとして金型の作製期間を短縮する事がある。射出成形における流動解析シミュレーションの重要性が高まっている。すなわち、従来は開発段階で経験に基づいて金型を設計・試作し、成形実験において実際に発生した成形不良（充填不足、ウェルドライン、ソリやヒケなど）に対して金型を改造するなどの対策を取ってきたが、今後は予め発生する不良を射出成形シミュレーションより予測し、その対策を金型設計に活かし、結果としてコストダウンや納期短縮を目指している。

射出成形シミュレーションには様々な樹脂データが必要であり、樹脂粘度は最も重要なデータの一つである。第1報は樹脂粘度の測定をするための装置「圧力・温度測定ユニット」の概要について報告したが、本報では装置の検討内容と測定結果、およびシミュレーションと実成形の比較について報告する。

### 2 粘 度 測 定

#### 2.1 樹脂圧測定

第1報でも示した樹脂粘度測定装置の概略を図1に、樹脂流路を図2に示す。樹脂粘度測定には樹脂の圧力、温度、流量を測定する必要がある。射出成形機

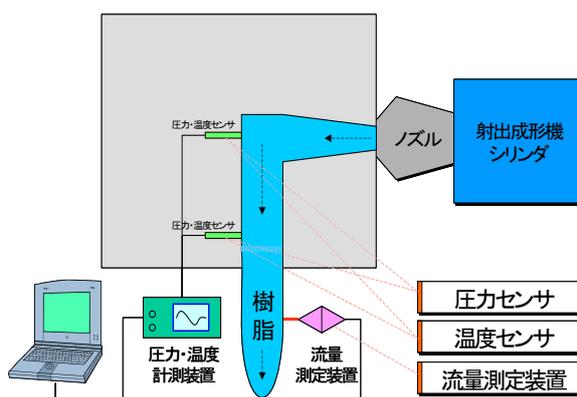


図1 粘度測定装置概略

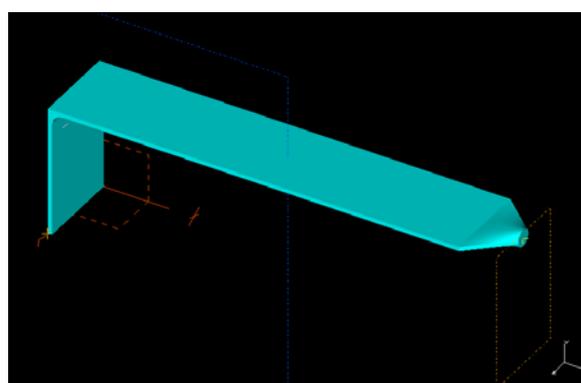


図2 平板流路形状

J SW 7 5 - E II (株日本製鋼所製) に開発した樹脂粘度測定ユニットを取付け、シリンダ温度180~240℃、射出速度22~97mm/secで樹脂粘度測定を行った。樹脂は三井化学(株)製のポリプロピレン J 4 0 0 および(株)

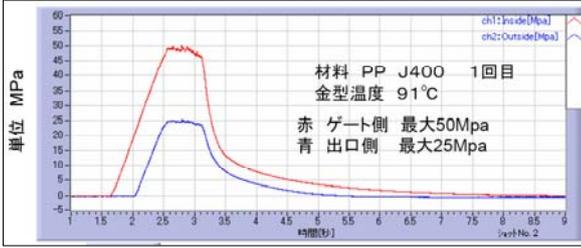


図3 樹脂圧力測定結果の例

プライムポリマー製のJ108Mを用いた。

## 2.2 樹脂圧測定

圧力測定には圧力センサとして6190A(キスラー社製)を用いた。図3はその測定結果の一例である。赤線はゲートに近い側の、青線は出口に近い側の圧力センサが示した結果である。当初の予想1~2MPaより想像を超えて50MPaと大きな値となったが、測定は可能であった。粘度が高い樹脂の場合、圧力が高くなり過ぎ成形体にバリが発生し正しい粘度が求められなかった。

## 2.3 樹脂温度測定

初めに金型組み込み式温度計を樹脂流路平行面に設置したが組み込み式では時間的感度が悪く測定結果が予想温度約200°Cを大きく下回り融点以下の140°Cとなった。裸熱電対では樹脂流動によって熱電対の切断が避けられない事が判明したため、φ0.5mmのシース熱電対とし、取付位置が流路中央では熱電対が折れ曲がったため、樹脂流路折れ曲がり部に設置した。金型温度の影響を避けるため熱電対は熱伝導率の低い樹脂製ホルダーで保護した。出来上がった温度センサを図4に示す。

## 2.4 流量測定

金型出口から射出される樹脂の画像処理による速度から樹脂流量を算出しようとしたが、樹脂が出口にまとわり着くため流量が測定できなかった。そこで図5に示すように射出量を射出成形機側で制御し2点以上の測定結果の差から流量を算出する方法を開発した。樹脂重量は金型により樹脂を冷却固化して取り出し上皿天秤で重量を測定した。

## 2.5 樹脂粘度とフィッティング

式1により樹脂粘度を、式2により樹脂流動線せん断速度を算出した。計算に必要な樹脂のPVTデータはPVT TEST SYSTEM Aタイプ(東洋精機製作所株製)

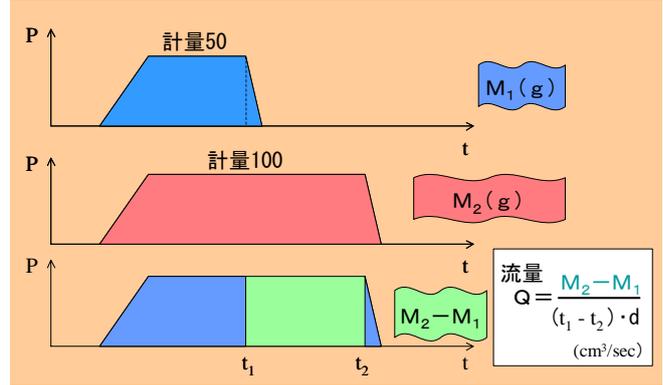


図4 樹脂流量計算法

$$\eta = \frac{\Delta P W H^3}{12 L Q} \quad \text{式1}$$

$$\dot{\gamma} = \frac{6 Q}{W H^2} \quad \text{式2}$$

### Cross-WLF式

$$\left. \begin{aligned} \eta(T, \dot{\gamma}, p) &= \frac{\eta_0}{1 + \left( \frac{\eta_0 \dot{\gamma}}{\tau^*} \right)^{1-n}} \\ \eta_0(T, p) &= D_1 \exp \left( - \frac{A_1 (T - T^*)}{A_2 + (T - T^*)} \right) \\ A_2 &= \tilde{A}_2 + D_3 p \\ T^* &= D_2 + D_3 p \end{aligned} \right\} \text{式3}$$

$\eta$ : 粘度(Pa·s)	$\tau^*$ : 定数(Pa)	定数7
$T$ : 温度(K)	$n$ : 定数(-)	
$\dot{\gamma}$ : せん断速度(1/s)	$D_1$ : 定数(Pa·s)	
$p$ : 圧力(Pa)	$D_2$ : 定数(K)	
$\eta_0$ : ゼロせん断粘度(Pa·s)	$D_3$ : 圧力依存係数(K/Pa)	
	$A_1$ : 定数(-)	
	$\tilde{A}_2$ : 定数(K)	

により測定したデータを用いた。これらのデータから式3 (Cross-WLF式)によりシミュレーションに適用できる定数および樹脂粘度変化グラフ(図5)を得た。

## 3 成形とシミュレーションの比較

### 3.1 評価金型による比較

図6に示す2種類の流路を持つ実成形とシミュレーションの比較のための評価金型を試作した。流路の

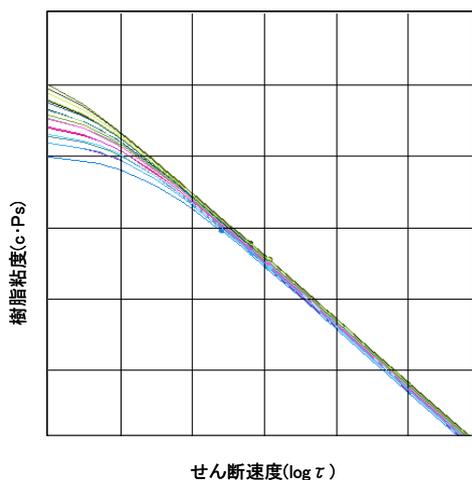


図5 樹脂粘度フィッティング結果

1つは厚さが3~0.4mmで6段階に順に減少する板状の成形体（多段評価金型）で樹脂の充填状況を検討し、もう一方の流路は中央に穴があり左右の板厚が3mm及び2mmと異なるウェルドラインで評価する成形体（ウェルドライン評価金型）である。これを用いて得られた粘度データによるシミュレーションと実際の成形との比較を行った。図7に示す多段金型ではシミュレーションにおいて射出速度22mm/secの場合充填が4段目の途中までと予測され実際の成形体も4段目中央付近まで充填されるなどシミュレーションと実成形がほぼ一致した。また図8に示す通りウェルドライン評価金型においてもシミュレーションと実成形がほぼ一致した。

### 3.2 実製品金型による比較

プラスチック成形加工企業から借り受けた実製品の部品金型を用いてシミュレーションと実成形を比較した。本来ならソリやヒケなど微妙な成形不良を評価する事が望ましいが当センター所有のシミュレーションソフトではそれらの解析ができないため、他の方法で比較検証した。この部品はウェルドラインが発生する形状である事に着目し、ウェルド部のフローフロント温度をシミュレーションで予測し、製品のウェルド部を曲げ試験した時の強度と比較検証する事とした。また射出成形途中における樹脂充填状態の比較も行った。

フローフロント温度予測では射出時間が長くなるほど(射出速度が遅くなるほど)温度が低下し、これは射出時間が長くなるほど強度が低下する事を意味する。実際に強度を測定したところ射出時間が0.3secから2secまでの間は射出時間が長くなるほど強度が

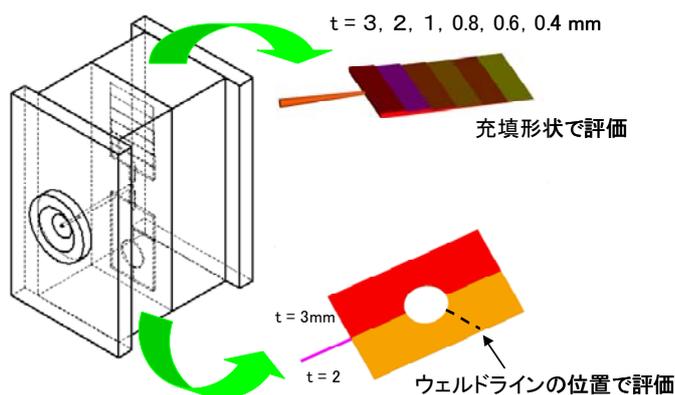


図6 比較用評価金型

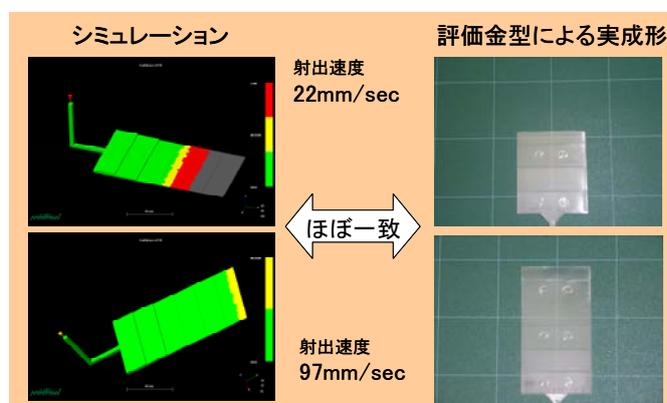


図7 多段評価金型による比較

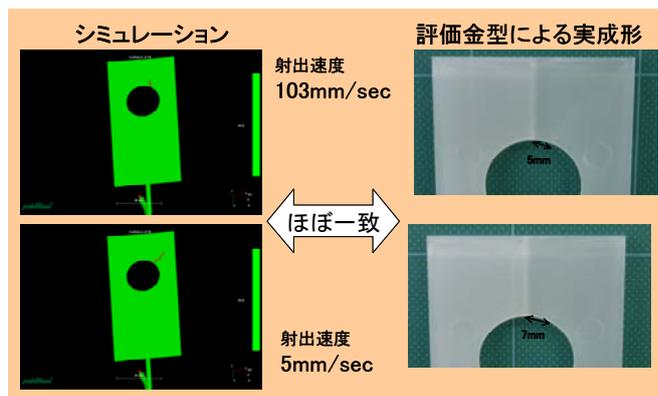


図8 ウェルドライン評価金型による比較

低下しシミュレーションと良い一致を見せたが、射出時間が3sec以上では強度が向上しシミュレーションとは一致しなかった(図9)。射出途中での樹脂充填状態の比較では図10に示す通りシミュレーションと実成形がほぼ一致した。

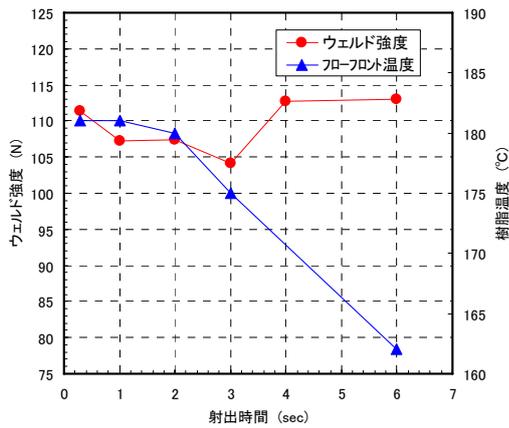


図9 ウェルド強度とフローフロント温度の比較

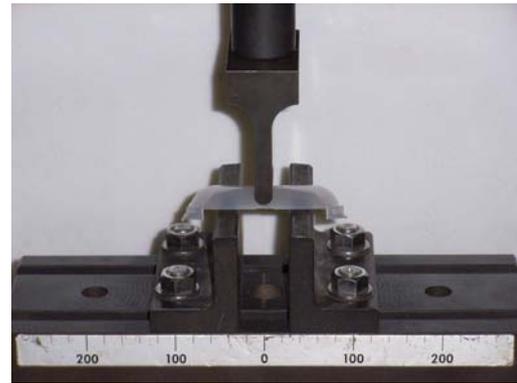
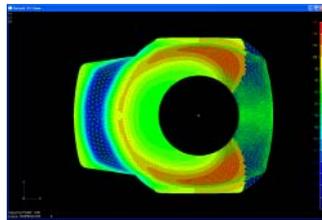


写真1 曲げ試験の様子



シミュレーション 充填率80%



実成形 充填率80%

図10 射出工程中での樹脂充填状況の比較

#### 4 考 察

樹脂粘度測定ユニットを試作し、樹脂圧力・樹脂温度・樹脂流量が測定でき、樹脂粘度を算出できるようになった。しかしながら粘度が高い樹脂では粘度が測れない事が判明した。現在、低粘度樹脂で測定済みであり、今後、高粘度の樹脂も測定していく予定である。そのため金型の一部を縦型流路に換える改良を計画している。

測定できた樹脂でシミュレーションと実成形を比較した結果、多段金型およびウェルドライン金型ではほぼ一致した。実製品での比較では射出途中での充填状態の比較ではほぼ一致したが、ウェルド部の強度とフローフロント温度による予測は一部の一致に留まった。今後は実成形とシミュレーションの比較において

ソリやヒケなど比較的困難と思われる項目にも検討していきたいと考えている。

#### 謝 辞

この研究に関して快くご協力して下さったキスラー(株)、クリーン技研(株)、ダイキョーニシカワ(株)、デック(株)、広島大学工学部滝島先生・木原先生、リョービ(株) (アイウエオ順) 他、ご協力いただいた方々にこの場を借りて厚く御礼申し上げます。

#### 文 献

- 1) 佐々木他：岩手県工業技術センター研究報告9 (2002), 127
- 2) 田平他：広島県西部工技研究報告51 (2008), 23