

## 樹脂注型の充填時間予測プログラムの開発

安田 星季, 戸羽 篤也, 岩越 睦郎

### Development of the Filling Time Estimate Program for Resin Casting

Seiki YASUDA, Atsuya TOBA, Mutsurou IWAKOSHI

#### 抄 録

試作や小ロット生産向けのプラスチック成形方法である真空注型などの樹脂注型には、熱硬化性樹脂が使用されることが多い。しかし、こうした熱硬化性樹脂は一般的に可使用時間(ポットライフ)が数分と短いため、樹脂が型に充填される前に硬化し、成形品が不良となる問題が生じている。

そこで本研究では、こうした問題の発生を低減するために「樹脂注型の充填時間予測プログラム」を開発した。このプログラムは、樹脂注型において各種樹脂が型に充填する時間を簡易に予測できるプログラムである。このプログラムを利用することにより、ゲート位置や注入高さなどの注型方法を事前検討できるほか、作業のタイムスケジュールを事前に計画することが可能となる。このプログラムを開発するため、本研究では各種樹脂の粘性を模擬した標準粘液(シリコンオイル)を用いてモデル実験を行い、その結果に基づいて充填時間の予測方法を検討した。さらに、ここで得られた予測方法を用いて3次元CAD(Rhinoceros)上で動作する簡易プログラムを開発した。本プログラムの開発により、成形不良の発生を低減することが可能となった。

キーワード：真空注型，充填時間予測，3次元CAD

#### Abstract

Resin casting is plastic molding technique which is mainly used for prototyping or small-lot manufacture. Thermosetting resins are mainly used for resin casting and generally they have short pot life. Because of this characteristic there is often a problem that the resins are setting before filled in mold.

In this study, we developed "Filling Time Estimate Program" for resin casting to reduce these defective moldings. This program can estimate filling time in advance, so it serves as a tool to examine proper gate position and also it contributes to plan the time schedule of casting work. Firstly, we have performed model experiment using silicone oil as mimic resins to examine prediction method. Then we developed the program that adopted the former prediction method as add-on program for 3DCAD (Rhinoceros). By developing this program, we have been able to reduce risk of molding failure.

KEY-WORDS : resin casting, filling time estimate, 3DCAD

#### 1. はじめに

試作や小ロット生産向けのプラスチック成形方法である真

空注型などの樹脂注型には、熱硬化性樹脂が使用されることが多い。しかし、こうした熱硬化性樹脂は一般的に可使用時間(ポットライフ)が数分と短いため、樹脂が型に充填される前に硬化し、成形品が不良となる問題が生じている。

そこで本研究では、こうした問題の発生を低減するために「樹脂注型の充填時間予測プログラム」を開発した。このプ

事業名：一般試験研究

課題名：熱加工成形に対応したプロトタイピング技術の開発

プログラムは、樹脂注型において各種樹脂が型に充填する時間を簡易的に予測できるプログラムである。このプログラムを利用することにより、ゲート位置や注入高さなどの注型方法を事前検討できるほか、作業のタイムスケジュールを事前に計画することが可能となる。このプログラムを開発するため、本研究では各種樹脂の粘性を模擬した標準粘液(シリコンオイル)を用いてモデル実験を行い、その結果に基づいて充填時間の予測方法を検討した。さらに、ここで得られた予測方法を用いて3次元CAD(Rhinoceros)上で動作する簡易プログラムを開発した。

既存の流体解析ソフトウェアのうち、高精度かつ幅広い分野での利用実績がある汎用流体解析ソフトウェアにはFLOW-3D、FLUENTなど数多く存在するが、これらのソフトウェアは一般的に条件設定が煩雑で利用コストが高いという欠点がある。一方、樹脂流動を低コストかつ簡易的にシミュレーションするソフトウェアには、射出成形用の簡易樹脂流動解析ツールMoldflowXpressなど数多く存在するが、条件設定項目の違いなどにより樹脂注型への転用は困難である。また、熱硬化性樹脂の流動解析ソフトには日立製作所のNEPTAS などがあるが半導体封止用に特化したものが多く、樹脂注型に特化したものは未だない。そこで本研究では、樹脂注型に特化した簡易解析プログラムの開発を試みた。

## 2. 樹脂注型

樹脂注型は金型を使用した射出成形と異なり、一般的に低圧力でシリコン型などの型に樹脂を流し込むプラスチック成形方法である。樹脂注型の各部構成を図1に示す。主剤と硬化剤を樹脂カップにおいて攪拌し、その混合液を注入口を通じて型内に流し込む。この成形方法は、金型を使う射出成形よりも製品単価は高くなるが、安価な初期投資で成形できることから主に試作、小ロット生産に適した成形方法である。最近では、光造形品をマスターモデルとして高強度のプラスチック部品を作成する方法として一般的に利用されている。

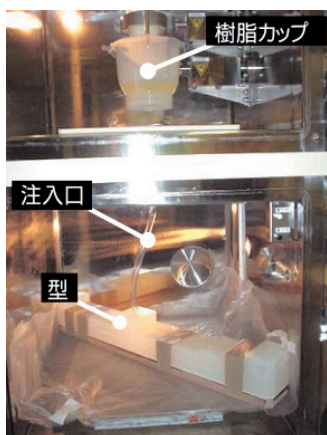


図1 樹脂注型の各部構成

## 3. 樹脂注型モデル実験

充填時間の予測方法を検討するため、単純化した形状を用いたモデル実験を行った。単純化したモデル形状を型取りした型に、実際に各種注型樹脂を模擬した標準粘液を注入し、その流動の様子を解析した。そして、諸条件における充填速度および各部の充填時間を把握した。

### 3.1 実験方法

実験に使用したモデル形状の外形を図2に示す。本形状を光造形にて高精度に作成し、型取り用として一般的に使用される二液型RTVゴムのうち流動の様子が外部から観察しやすい高透明のシリコン(KE-1603, 信越化学工業株)を使用して、標準的な手順で型取りした(図3)。ゲート(型への流入口)は底面積の大きい注型品のゲートとして多用されるダイレクトゲート(注型品底部などに直接付けるゲート)を本体の底部中心に付けた。ゲート形状は注入口として一般的に使用する透明ホースの内径7.5mmの円とした。

この型を図4に示す実験装置のステージ上に置き、専用着色剤で着色した比較的粘度安定性が高いとされるシリコンオイル3種(KF96-300cs, 500cs, 1000cs, 信越化学工業株)を注入高さ300mmから外径10mm(内径7.5mm)の透明ホースを通じて4種の肉厚(t2, t3, t4, t5)の型に注入した。

注入の様子は、ミラーを利用することにより型の側面および底面からデジタルビデオカメラで同時記録した。記録した動画像例を図5に示す。

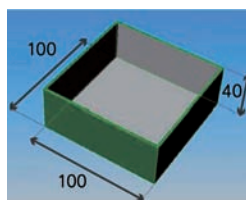


図2 モデル形状

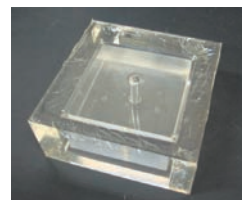


図3 型

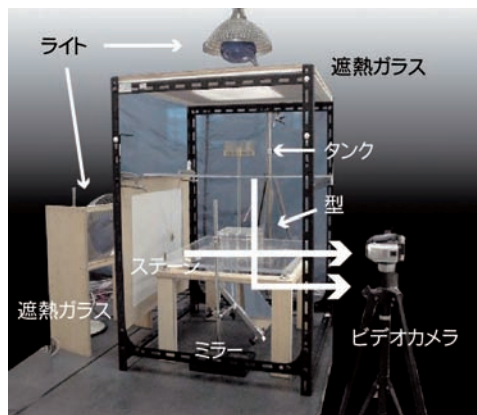


図4 実験装置



図5 モデル実験の様子（肉厚3 mm, 粘度300 cP）

### 3.2 実験結果

標準粘度を用いたモデル実験により、各条件における充填速度および各部の充填時間を把握した。モデル体積と型の充填時間の関係を図6に、シリコンオイルの粘度と型の充填時間の関係を図7に示す。

図6,7のグラフから、モデル体積と型の充填時間には指数関係が、シリコンオイルの粘度と型の充填時間には線形関係があることが分かった。

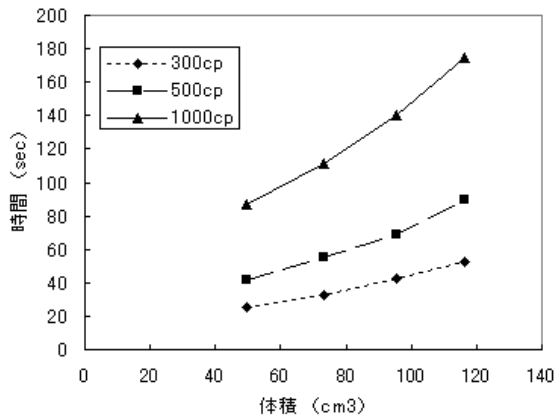


図6 各モデル体積における型の充填時間

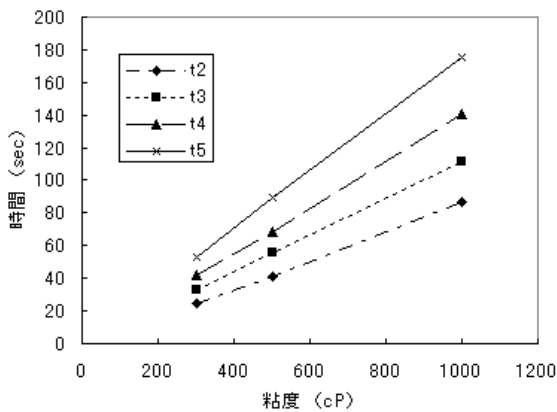


図7 シリコンオイルの各粘度における型の充填時間

## 4. 充填時間の予測方法

充填時間を予測する計算式を得るため、樹脂注型モデル実験の結果を数式表現する方法を検討した。流体の数学的解析手法には、数値解析的手法と解析学的手法がある。前者の手

法は複雑形状でも高精度な解析が行えるが、メッシュ生成など解析の前処理工程が必要である。一方、後者の手法は比較的単純な形状にのみ対応可能で数値解析に比べ精度も劣るが、微分方程式などを用いることにより簡易に解析が可能である。本研究では精度よりも簡便性を優先し、後者の解析学的手法を応用した数式表現を試みた。

モデル実験結果の解析から、樹脂注型は注入口での樹脂流動と型における樹脂充填の2つのフェーズに分割して捉えられることがわかった。そこで、各々の現象について数式表現を試みた。

### 4.1 注入口における樹脂流動の数式表現

注入口での樹脂流動は、摩擦を考慮した運動方程式を基に下記の式で表した。(1)式の第1項は、気液界面位置  $y$  における単位体積の樹脂に重力方向に掛かる力、(1)式の第2項は、単位体積の樹脂に掛かる摩擦力を表している(図8)。本数式により、気液界面がゲート出口に到達する時間およびゲート出口の樹脂流量を算出した。

$$f(y) \cdot g - c \cdot \lambda \cdot y \cdot \frac{dy}{dt} = m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} \quad (1)$$

$$f(y) = A \cdot s \cdot y \quad (2)$$

$$\lambda = \frac{l \cdot \nu}{A} \quad (3)$$

- $y$  : 注入口上端から気液界面までの距離
- $\lambda$  : 摩擦係数
- $l$  : むれ縁長さ
- $\nu$  : 動粘度
- $g$  : 重力加速度
- $A$  : 断面積
- $s$  : 比重
- $m$  : 質量
- $c$  : 定数

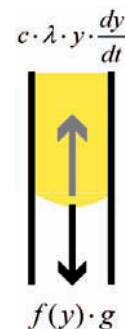


図8 注入口における樹脂に掛かる力

4.2 型における充填時間

型の充填時間は、(1), (2), (3)式から得られるゲート出口の樹脂流量と、モデル形状を3つの数値(平均肉厚, 最短流路, 最長流路)で表現し直した単純化モデル形状を基に下記の式で算出した。モデルの単純化方法の模式図を図9に示す。

$$v_{ave} = \frac{Q \cdot (R_l + R_s)}{2V} \quad (4)$$

$$T = \frac{R_l}{v_{ave}} \quad (5)$$

- $V$  : モデル体積       $Q$  : ゲート出口流量
- $R_l$  : 最長流路       $v_{ave}$  : 平均流速
- $R_s$  : 最短流路       $T$  : 充填時間

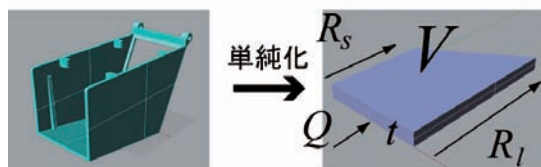


図9 モデルの単純化 (tは平均肉厚)

(4), (5)式で予測した充填時間と実際に真空注型用ウレタン樹脂(QN-2000, パンテコ株)を用いて樹脂注型した充填時間を表1に示す。その結果, 予測値は実測値より約10~15%程度短い充填時間を算出した。これは, 実際の樹脂注型の複雑な樹脂流動で生じる摩擦抵抗が, モデルの単純化により一定の割合で小さく計算されることが原因と考えられる。そこで, 本計算式をプログラムへ導入するにあたっては安全率を考慮して10%程度長い充填時間が得られるよう補正計算を加えた。

表1 予測充填時間と実測値

モデル	予測値 (sec)	実測値 (sec)	予測値/実測値
A	26.0	29.4	0.88
B	95.3	111.3	0.86
C	155.7	173.2	0.9

5. 簡易プログラムの開発

4.2で得られた充填時間を予測する計算式を用いて簡易プログラムを開発した。予測計算にはモデルの3次元形状データが必要であるため, 操作性, 拡張性などを考慮し, 市販の3次元CAD Rhinoceros(Robert MacNeel社)を利用した。簡易プログラムはRhinocerosを制御するスクリプトをVisualBasic 6.0(Microsoft社)で開発したプログラムに埋め込むことにより作成した。開発したプログラムの実行画面例を図10, 11に示す。

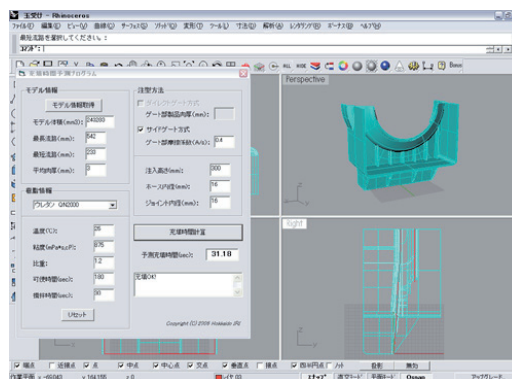


図10 プログラムの実行画面例

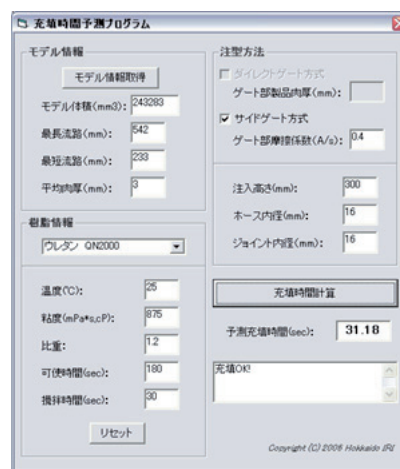


図11 プログラムの実行画面例 (詳細)

開発したプログラムでは, 以下の項目の設定を行った。

- (1) 単純化したモデル情報としてモデル体積, 最短流路, 最長流路をRhinocerosから取得する。平均肉厚は適切な値を手入力する。
- (2) 使用する樹脂に関する条件は, 充填時間に大きく影響する粘度と粘度に影響を与える温度と比重を設定する。
- (3) 注型方法に関する条件は, 樹脂注型で使用頻度が高い2種類のゲート方式から選択し, 注入口での樹脂流量に大きく影響する注入高さ, ホース内径, ジョイント内径(型とホースの接続部品)を設定する。



なお、このプログラムでは充填時間を計算し、その結果が可使時間から攪拌時間を減じた時間よりも長い場合には、充填時間が赤字で表示されるよう設定した。充填時間が赤字で表示された場合は、ゲート位置、注入高さ、ホース内径などの注型方法を変更し、再度計算を行うことにより可使時間内に型への樹脂充填が完了する注型方法および樹脂条件を見出すことができる。その結果、成形不良が生じにくい型製作や作業計画が可能となった。

## 6. まとめ

本研究では樹脂注型における成形不良の発生を低減するため、「樹脂注型の充填時間予測プログラム」を開発した。結果をまとめると下記のようなになる。

- (1) 標準粘液と高透明のシリコーンを用いた樹脂注型のモデル実験を行い、流動の様子を解析し、諸条件における充填速度および各部の充填時間を把握した。
- (2) モデル実験の結果に基づき、樹脂注型の現象を2つのフェーズに分割して捉え、各々の現象を数式表現した。そして、充填時間を予測する計算式を得た。
- (3) モデル実験に基づいて得られた予測計算式を用いて3次元CAD(Rhinoceros)上で動作する「充填時間予測プログラム」を作成した。
- (4) 本研究で開発したプログラムにより、ゲート位置や注入高さなどの注型方法を事前検討できるほか、作業のタイムスケジュールを事前計画できるようになり、成形不良を低減することが可能となった。

## 謝辞

本研究で使用した超高感度型示差走査熱量計は、日本自転車振興会の補助により整備されました。記して感謝いたします。

## 引用文献

- 1) 半導体封止用エポキシ樹脂の発熱挙動の解析, プラスチック成形加工学会誌「成形加工」第13巻 第2号, pp.118-124 (2001)
- 2) “中少量生産部品を樹脂化”, 日経メカニカル, 日経BP社, pp.12-17 (1993)