

# 植物由来樹脂成形

Injection Molding of Bio-Based Polymer

田 端 大 助\* 磯 見 晃\*  
Daisuke Tabata Akira Isomi

植物由来樹脂であるポリ乳酸を、従来の石油系樹脂と同等に使いこなすため、射出成形時の流動解析に用いる粘度定数を簡便かつ精度良く求める手法と、成形する度に刻々と変わる金型温度・樹脂温度の経時変化を高精度かつ簡便にシミュレーションするための熱移動シミュレーターを開発し、植物由来樹脂の射出成形の技術基盤を構築した。

To use a bio-based polymer (poly-lactic acid) in the same way as oil-based polymers, we developed a method for seeking the viscosity constants to be used for injection molding analysis, and a thermal transfer simulator. Using these method and simulator, we built a technology base for plastic injection molding using a bio-based polymer.

## 1. 植物由来樹脂 ポリ乳酸

石油資源枯渇と地球温暖化。この2つの問題の解決方法の1つとして、植物を原材料とし持続可能な素材である植物由来樹脂の活用が近年注目を集めている。

その中でも、ポリ乳酸 (Poly-Lactic Acid, 以下PLAと記す) は家電筐体 (きょうたい) に広く用いられている石油系樹脂の代表であるABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) と同程度の物性を持ち、石油系樹脂の代替材料として最有力であり、徐々に適用事例が増えている。

PLAはカーボンニュートラル (植物がその成長過程で大気中のCO<sub>2</sub>を吸収するため、仮に廃棄時に燃焼させても大気中のCO<sub>2</sub>の総量は増えない) であるため、ABSに比べ、生産する際のCO<sub>2</sub>排出量は少ない。

しかしながら、ABSと同じ金型で成形を行うと、PLAの射出成形タクトはABSのおよそ2倍になり、成形時のCO<sub>2</sub>排出量はABSよりも増加し、さらに生産性の悪化から実用上の課題となっていた。このPLAをABSと同等の品質・成形タクトを維持したまま家電筐体へ適用するために、射出成形を行う際の課題を見出し、これを解決するための開発を行ったので、ここに報告する。

## 2. PLAの射出成形における課題と対策

射出成形CAE (Computer Aided Engineering) による流動解析は、射出成形品の不良現象の予測・対応策の検討や、金型の開発リードタイムを短縮するために、欠かせない手法の1つである。

しかしながら、PLAは日進月歩で開発の進んでいる樹脂であるため、流動解析に必要な粘度定数を樹脂メーカ

ーからも入手し難く、解析を行うことが困難であった。

そこで、この粘度定数をユーザー側で、簡便かつ精度良く求める手法を新たに開発し適用することで、熔融樹脂の流動解析を行い、実成形上の課題を抽出し、射出速度の最適化やウェルドラインを無くすためのゲート位置を見い出すことを可能にした。

特に、PLAの成形タクトが長い原因は結晶化にある。PLAは結晶性の高分子であり、結晶化することで家電筐体に必要な耐熱性および強度が得られる。PLAの結晶化温度範囲は約110±10 と高温であるうえに狭く、さらに結晶化完了までに長い時間を要するため、従来のABSの成形と異なり、金型温度と樹脂温度を精密に制御する必要がある。

しかしながら、従来は成形する度に刻々と変わる金型温度・樹脂温度の実測値が不明確であり、温度制御が成り行きになっていた。そこで、金型・樹脂温度の経時変化を高精度かつ簡便に計算するための熱移動シミュレーターを開発し、金型の材質や冷却配管距離などの金型構造、射出温度や冷却時間などの成形条件にフィードバックすることで成形タクトを短縮した。

以下、本解説では、粘度定数の算出方法と熱移動シミュレーターの開発について解説をする。

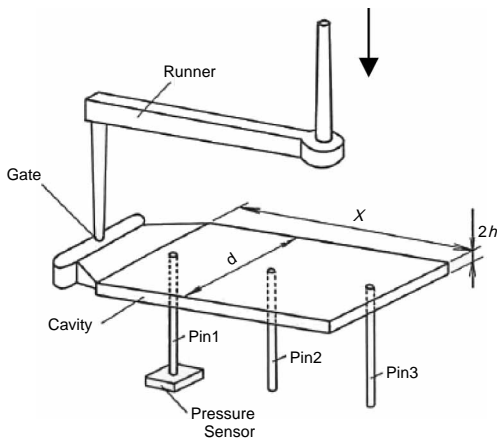
## 3. 粘度定数の算出方法

PLAの粘度定数を算出するため、第1図に示すような薄板平板モデル金型を作成し、粘度定数を簡便かつ精度良く求める手法を開発した。主流方向の対称軸上に、3本の圧力検出ピンを設けており、樹脂の充填過程での金型内の圧力変化を1ミリ秒間隔で刻々と測定することが可能である。また、キャビティの肉厚は金型の入れ子構造を用いることで、成形品の厚みを3段階に変えることが可能である。

この金型を用いて、樹脂の射出温度とキャビティ部の

\* 生産革新本部 生産技術研究所

Production Engineering Lab., Corporate Manufacturing Innovation Div.



第1図 材料定数を求めるための金型  
Fig. 1 Metal mold for calculation viscosity constants

肉厚の2つの条件を、それぞれ170, 180, 190, 1.0 mm, 1.5 mm, 2.0 mmと変更し、ピン1とピン3との間の圧力勾配を実験結果より求めた。この圧力勾配の値と実験条件を薄板平板モデルにおける樹脂流動式の(1)式に代入することで、PLAの粘度定数(A,  $T_a$ , n)をそれぞれ算出した。なお、粘度定数は(2)式で定義される<sup>1)</sup>。

$$\frac{\partial P}{\partial x} = A \cdot \exp(T_a/T) \frac{Q^n (2 + (1/n))^n}{(2d)^n h^{2n+1}} \dots\dots\dots (1)$$

$$\eta = A \cdot \dot{\gamma}^{n-1} \exp(T_a/T) \dots\dots\dots (2)$$

P：圧力，T：温度，Q：流量，x, d, h：金型寸法  
η：粘度，A,  $T_a$ , n：粘度定数， $\dot{\gamma}$ ：せん断速度

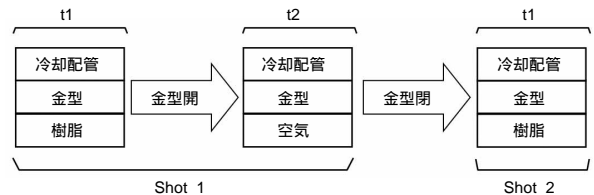
この粘度定数を東レエンジニアリング(株)の射出成形CAEソフト3D TIMON®を用いて流動解析を行ったところ、ウェルドラインの位置や、最大射出圧力の結果など、解析で得られた結果と実成形の結果は、非常に相関の高いものであり、最大射出圧力の値は誤差3%以内であった。これより、粘度定数の算出方法が高精度であることが証明された。また、この方法を用いることにより、植物由来樹脂のような新規材料においても、簡便に粘度定数を求めることができ、CAEによる検証を速やかに行うことが可能となった。

#### 4. 熱移動シミュレーターの開発

PLAは結晶化温度域が $110 \pm 10$  と高温のうえに狭く、さらに結晶化完了までに長い時間を要するため、PLAの成形タクトを短縮するには、PLAの温度をいかに結晶化温度域に保持するかが鍵となる。刻々と変わるPLAの温

度を高精度かつ簡易的に計算するために、熱移動シミュレーターを開発した。

第2図に、熱移動シミュレーターのプロットする条件を示す。樹脂や金型の物性と、金型の開閉時間、ショット数を入力することで、樹脂温度と金型温度の経時変化が計算可能である。

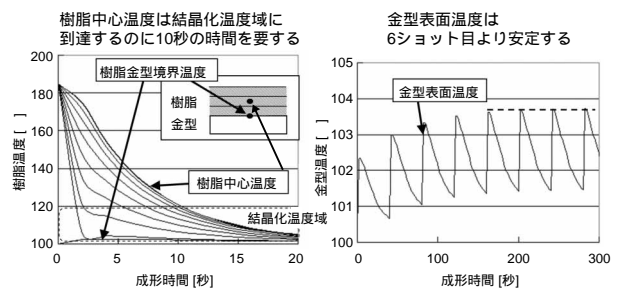


インプット内容

物性	樹脂	: 厚み・射出温度・熱伝導率・密度・比熱
	金型	: 熱伝導率・密度・比熱
	冷却配管	: 金型表面と冷却配管の距離・冷却水温度・流速
	空気	: 空気温度
時間	t1	: 金型を閉じて樹脂を射出、金型を開くまでに金型表面と樹脂が接する時間
	t2	: 金型を開いて金型を閉じるまでに金型表面と空気が接する時間
	Shot	: 成形回数

第2図 熱移動シミュレーターのプロット  
Fig. 2 Conceptual diagram of thermal transfer simulator

一例として、第3図に、ある条件での計算結果を示す。左図は1ショット中における樹脂温度の経時変化であり、樹脂の中心部分から金型に接する面までを0.1 mmごとに分割し、樹脂温度の経時変化を計算したものである。結果より、金型に接する樹脂温度は約2秒で結晶化温度域に達する。一方、樹脂中心部の温度は結晶化温度域に達するまでに、約10秒の時間を要していることがわかる。この結果から、PLAの成形において、単純に金型温度を結晶化温度にすればよいのではなく、樹脂そのものの温度が結晶化温度域になるような金型温度・金型構造が重要であることがわかる。また、右図は成型回数を重ねた時の金型温度の経時変化である。最初の数ショットは金型表面温度が安定せず、6ショット目から安定し始めること



第3図 樹脂温度と金型表面温度の経時変化  
Fig. 3 Time-dependent changes of resin and metal mold surface temperature

がわかる。

樹脂温度をいかに結晶化温度域に保持するかが鍵となるPLAの射出成形においては、非常に有用なシミュレーターとなり、金型材質、金型表面と冷却配管の距離、冷却水の設定温度などの種々の条件を高精度に最適化できた。この結果、従来はABSの2倍の長さであった成形タクトを、ABSと同等になるまで短縮することに成功した。

---

## 5. 植物由来樹脂 PLAの今後の展望

---

PLAの成形は、従来の石油系樹脂に比べると確かに難易度の高いものである。しかしながら、本報告で述べたように、流動解析と熱移動シミュレーターを併用して、従来のABSとは異なった、PLAに最適な金型および成形条件を見出すことで、成形タクトを大幅に短縮しABSと同等の品質・成形タクトでの射出成形が可能となった。

石油資源枯渇が進むことは明白であり、今後ますますPLAの需要は増えると考えられる。本稿に用いた技術を活用することにより、PLAの家電筐体への普及・展開を推進していきたい。

## 参考文献

- 1) 中裕之 他：射出成形解析における熱可塑性樹脂の粘度特性測定精度 高分子論文集 45-7,pp.561-565 (1988).