

# 報 告

## 発泡PPインサートの変形メカニズム推定

横井秀俊<sup>\*1</sup>, 西郷栄人<sup>\*2</sup>

### Supposition of Deformation Process of Formed PP Sheet Inserted in Mold Cavity

Hidetoshi Yokoi<sup>\*1</sup>, Yoshihito Saigoh<sup>\*2</sup>

#### 要 旨

低弾性のインサートを用いて射出成形する場合、樹脂流動のせん断力によりインサートが変形する場合がある。

そこで本研究では、低弾性インサートとして発泡ポリプロピレンシート（以下PPFと略記する）を使用し、片側の金型壁面にインサート成形した場合におけるPPFの変形状態を可視化観察し、インサートの変形過程を推定できた。

#### Abstract

When molding at the cavity setting at the formed polypropylene sheet, we analyze the deformation of the insert during the filling process by visualized this process. From the analysis, we suggest two stages of deformation, one is slip-stage and the other is deformation-stage from the share stress.

<sup>\*1</sup> Hidetoshi Yokoi 東京大学国際・産学協同センター

<sup>\*2</sup> Yoshihito Saigoh 技術企画部 技術電算室

## 1. はじめに

近年射出成形方法は多様化が進んでいる。インサート成形もそのひとつであるが、従来は金属・樹脂等といった高剛性のインサートを用いる成形が主であった。しかし、最近ではフィルムやファブリック等の低弾性インサートを扱う成形も行っている。ところが、低弾性インサート成形では従来の高弾性インサートとは異なり、インサートが変形して成形品外観や設計形状を損ない、量産条件設定に多くの時間を費やしている。

これらは、樹脂流動の剪断応力とインサートの弾性の差が要因と考えられるが、インサートが実際どのように変形していくかは解明されていない。

そこで本研究では、低弾性インサートとして発泡ポリプロピレンシート（以下PPFと略記する）を使用し、片側の金型壁面にインサート成形した場合のPPF変形状態を可視化観察し、インサートの変形過程を推定できたのでその概略を報告する。

## 2. 実験

### 2-1. 可視化観察手法

射出成形過程におけるキャビティを可視化観察する手法<sup>1)</sup>として、金型の一部をガラスに置き換えることでキャビティの様子を外部から高速ビデオにて撮影する方法を用いた（図-1）。高速ビデオにはHSV-400（株ナック、200コマ/秒）を2台使用した。

そして、インサートするPPF表面に4mmピッチでスクリーン印刷し、その格子点が反ゲート側へ変位する様子をカメラ1にて撮影した。また、厚さの変化はカメラ2にてカメラ1と同時撮影をした。代表的な観察画像を図-2に示す。その後、画像処理によりそれぞれの経時変化量を数値化した。

ここで、今回の観察手法ではキャビティ部にガラスを使用しているため、キャビティ内圧が高くなるとガラスが破損し観察不能になる。そのため、今回の実験ではショートショットで射出を停止させガラスを保護する方法で観察した。

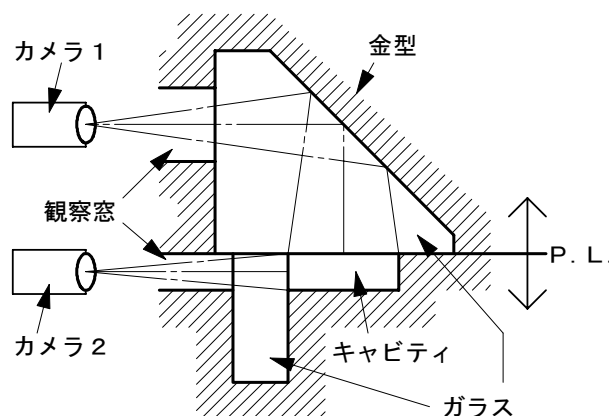


図-1 可視化観察の模式図

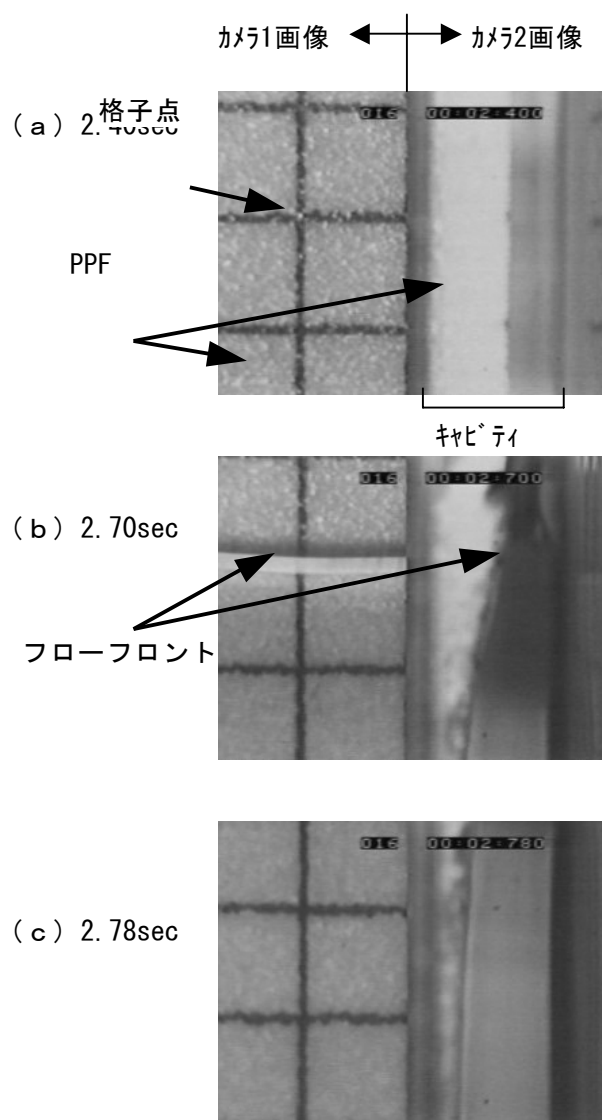


図-2 観察画像

### 2-2. 使用材料・設備

実験には樹脂材料としてポリプロピレン J 105 (楦ランドポリマー) を使用し、インサートするPPFにトーレペフ®PP JP61 (東レ㈱) を使用した。ここで、PPFは発泡倍率15倍、厚さは3mm、サイズは150×32mmとし、前述のように片側表面 (PPFとPPの界面側) にスクリーン印刷処理した。射出成形機はROBOSHOT α-150A (ファナック㈱) を使用し、金型は大型3次元可視化金型<sup>2)</sup> を使用した。

PPFをセットしたキャビティ形状と観察部位を図-3に示す。

ここで、射出成形中のPPFのすべりを制御するため、PPFの金型への固定方法を下記2種類選定した。

- 1) 両面テープによる全面接着
- 2) 両面テープによりゲート側端部より15mmの前端部のみ接着

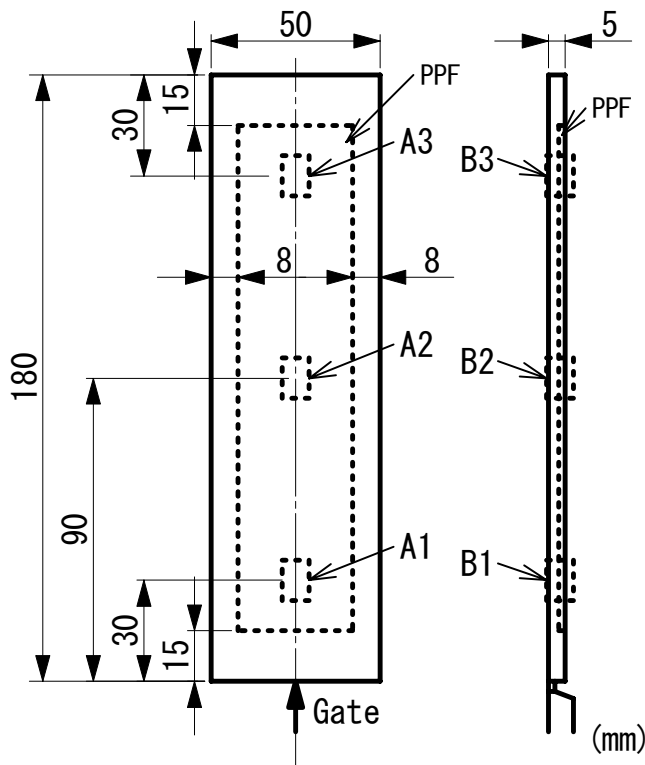


図-3 キャビティ形状と観察部位  
A-1~3: カメラ1による観察エリア  
B-1~3: カメラ2による観察エリア

### 2-3. 実験方法

実験では格子点の変位に対し射出率・観察部位・PPF接着方法の影響を調査した。また、射出率についてはPPF厚さに対する影響も調査した。

実験を行った成形条件を表-1に示す。

表-1 成形条件

射出率 (cm <sup>3</sup> /s)	10, 20, 30
樹脂温度 (°C)	200
金型温度 (°C)	40

## 3. 結果と考察

### 3-1. 射出率と格子点の変位

観察部位をA-2 (製品中央部) , 固定方法を前端部のみ接着とし、射出率を変化させた場合の格子点の変位を測定した結果を図-4に示す。ここで、比較し易くするため横軸をフローフロントからの距離としている。これは、フローフロントの通過時刻をゼロとし、経過時間にフローフロントの速度を乗じたものである。

射出率を大きくした場合、フローフロントからの距離に対してPPFの変位が小さいことが確認できる。この原因として、射出率を大きくした場合はフローフロントからの距離に対してキャビティ内圧が高くなる (圧力損失が大きくなる) ことが考えられる。キャビティ内圧が高くなったためPPFが厚さ方向に圧縮されて、見かけ上の流動方向の剛性が増したためと推察する。

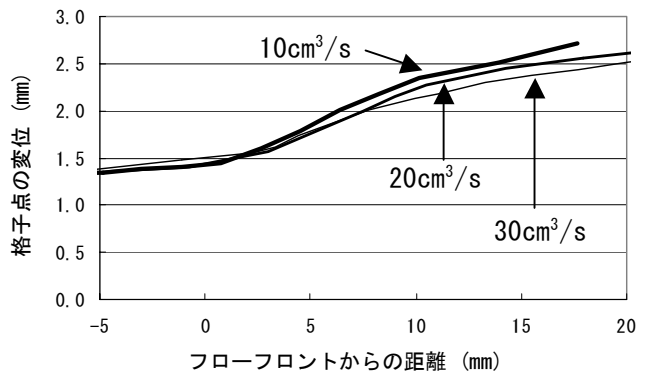


図-4 フローフロントからの距離と格子点の変位 (観察部位: A-2, 固定方法: 前端部のみ)

### 3-2. 観察部位と格子点の変位

射出率を $10\text{cm}^3/\text{s}$ 、固定方法を前端部のみ接着とし、各観察部位を変化させた場合の格子点の変位を測定した結果を図-5に示す。

各部位共に、フローフロントが到達するまでは一定速度で変位し、通過後に急に大きく変位していることが確認できる。

ここで、射出開始から7秒の時刻を考えると、A-1の部位はフローフロントが通過して大きく変位をしており、射出開始から1.7mm程度変位していることが図-5から確認できる。一方、A-2の部位ではフローフロントが到達しておらず、0.8mm程度しか変位していない。つまり、フローフロントを境として、ゲート側の変位が大きく、反ゲート側の変位が小さいことになる。変位は反ゲート方向なのでこの大変位はPPFの伸びを表していないことと推察する。なぜならば、A-1部位にてPPFが1mm伸びていたとすると、フローフロントより前方はPPFは何の荷重も受けていないため、A-2,A-3の各部位は1mm以上の変位をしていなければおかしい。したがって、この大変位は観測側（PPFとPPの界面側）のみに発生する倒れ現象と推察する。ここで、倒れ現象の模式図を図-6に示す。

また、A-1,A-2,A-3各部位でフローフロントが到達するまでは経過時間に対し一次関数的に変位していることが図-5にて確認できる。よって、樹脂流動によるPPFの伸びはフローフロント近傍のみで起こっていると推察する。なぜならば、フローフロント通過後もPPFが伸びつづけているならば、経過時間に対し一次関数的ではなく二次関数的な変位を示すはずである。したがって、PPFはフローフロント通過後の樹脂流動のせん断力によって伸ばされ、しばらくしてキャビティ内圧の上昇により金型壁面の摩擦が大きくなることで伸び過程が終了すると推察する。

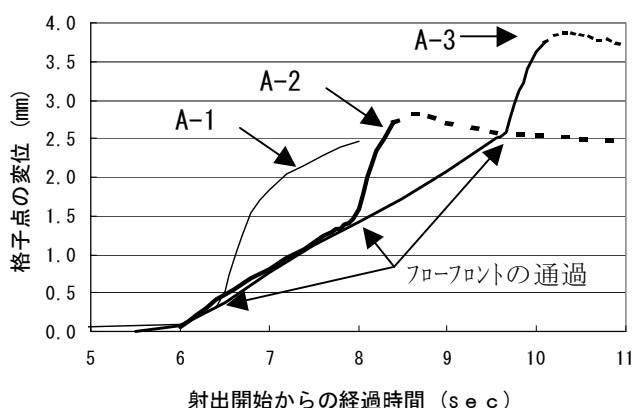


図-5 射出開始からの経過時間と格子点の変位  
(射出率： $10\text{cm}^3/\text{s}$ 、固定方法：前端部のみ)

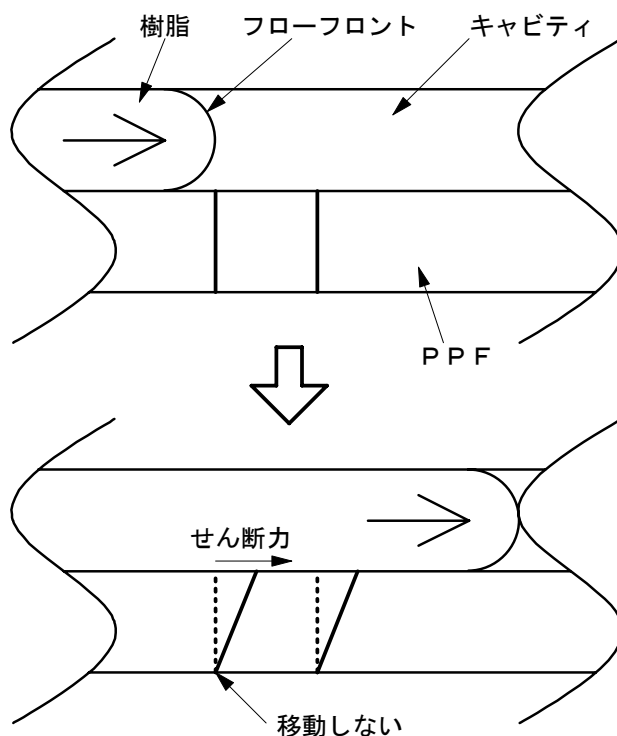


図-6 樹脂流動のせん断力による PPFの倒れの模式図

### 3-3. PPFの固定方法と格子点の変位

観察部をA-2, 射出率を10cm<sup>3</sup>/sとし, 固定方法を変化させた場合の格子点の変位を測定した結果を図-7に示す.

前端部のみ接着の場合, フローフロントが到達する前に変位が始まっていたが, 全面接着の場合はフローフロント到達後にはじめて大変位を起こす. 但し, どちらの接着においても大変位過程の変位量は変わらない. これは, 先に推察した観察面側の倒れ現象により説明できる. 倒れ現象は接着面の変位を起こさないため, 接着の方法に左右されなかったと推察する.

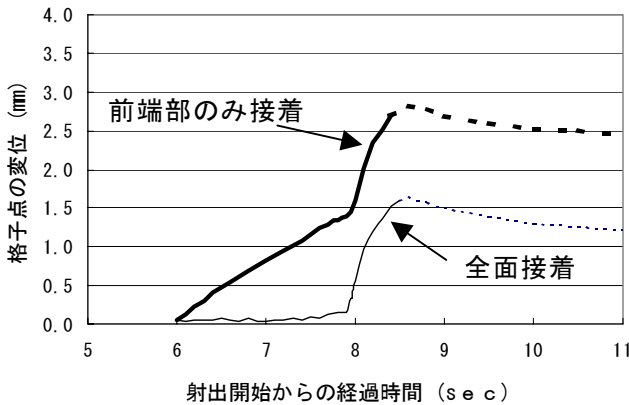


図-7 射出開始からの経過時間と格子点の変位 (観察部位: A-2, 射出率: 10cm<sup>3</sup>/s)

### 3-4. 射出率とPPF厚さ

観察部位をA-2, 固定方法を前端部のみ接着とし, 射出率を変化させた場合のPPFの厚さを測定した結果を図-8に示す.

射出率を大きくした場合, フローフロントからの距離に対してPPFの厚さが薄くなることが確認できる. この現象は先に述べた, 射出率の増加に伴う圧力損失の増大によりキャビティ内圧が高くなり, PPFが厚さ方向に圧縮されたためと推察する.

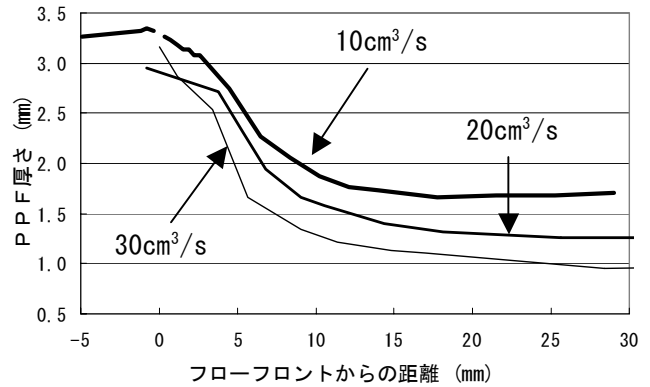


図-8 フローフロントからの距離とPPFの厚さ (観察部位: A-2, 固定方法: 前端部のみ)

### 3-5. PPFの変形過程の推定

実験結果に基づき, PPFを両面テープによりゲート側端部より15mmのみ接着した場合におけるPPFの変形過程を推察した. その模式図を図-9に示す.

#### 1) 状態I (不動状態)

射出開始から樹脂がゲートを通過してゲート部近傍のPPFの開始端面に到達するまでは移動・変形ともにしない.

#### 2) 状態II (すべり移動状態)

ゲート部近傍のPPFに樹脂が到達しPPF上を流動開始した後は, フローフロント部でPPFが部分的に伸びること(後述のIII参照)により, 樹脂未到達部のPPFには金型面上で一定速度のすべり移動をする(すべり量 $\delta$ ).

#### 3) 状態III (変形状態)

フローフロントが到達し流動樹脂の内圧・せん断応力がPPF表面に作用すると, 内圧が低くPPF表面に作用するせん断力により, PPFはすべり移動をする(すべり過程). 一定量の引張ひずみを生成すると, PPF表面のせん断力と相殺してすべり量 $\delta'$ にて停止する. その後は, 更に流動方向へ倒そうとするせん断変形が作用する(単純せん断変形過程). このせん断変形は, 図-9 IIIのようにPPFの大きな板厚と低剛性により, 流動方向の大きな変位として計測されることとなり, 結果としてそれまでの単調なPPF移動速度から急激な変位量の増大を一瞬にもたらし.

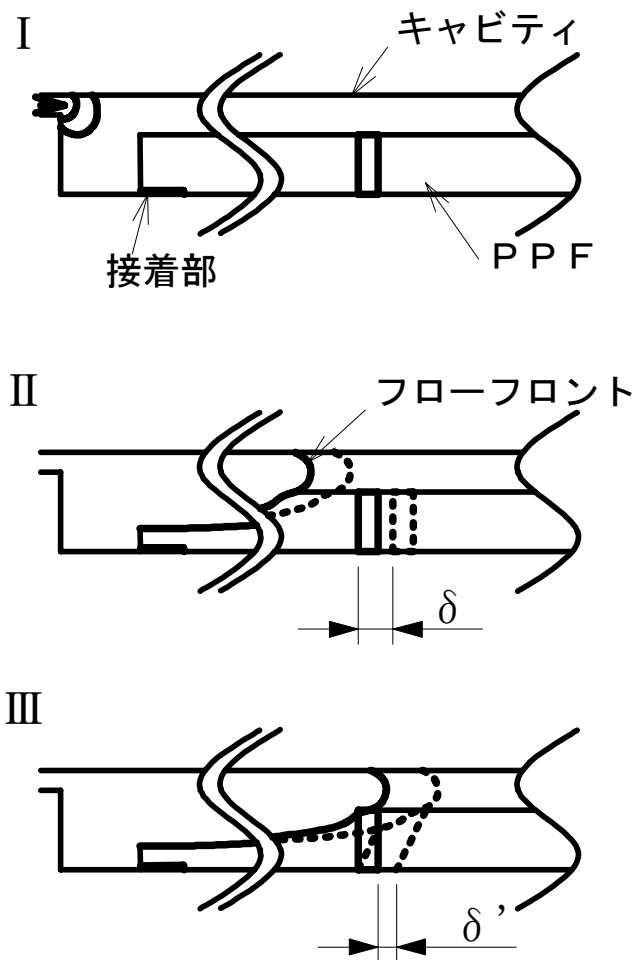
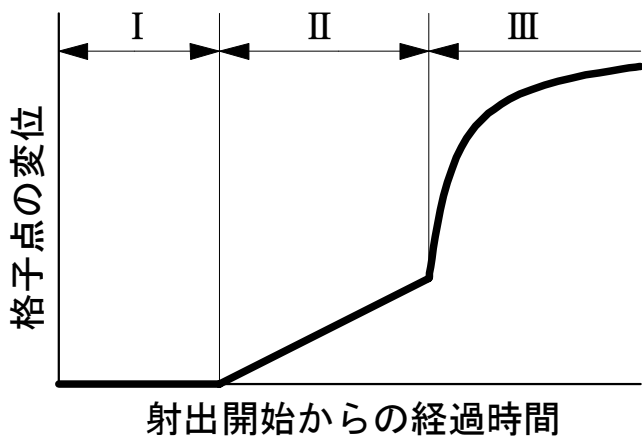


図-9 PPFの変形過程の模式図

#### 4. まとめ

PPFのインサート成形において種々の成形条件による可視化観察実験を行うことで、充填過程における樹脂流動のせん断力に伴うPPFの変形（板面方向の変位）過程を、すべり過程（PPF部分固定条件のみ）・せん断変形過程に大別する推定ができた。

#### 謝辞

本研究は、平成10,11年度、文部省民間等との共同研究-V'98&'99プロジェクトにおいて遂行されたものである。研究の遂行に協力頂いた参加企業の関係者の皆様に深く感謝いたします。

#### 参考文献

- 1) 横井秀俊, 成形加工, 6, 157(1994)
- 2) 横井, 櫛田, 松坂, 成形加工シンポジア, '96, 123(1996)