

可視化・温度分布計測用小型加熱シリンダの開発

Development of a Small-Sized Glass-Inserted Heating Cylinder for Visualization and Temperature Distribution Measurement in Injection Molding

横井 秀俊*・高次 聡**・白石 亘**

Hidetoshi YOKOI, Satoshi TAKATSUGI and Wataru SHIRAIISHI

1. 緒 言

射出成形機加熱シリンダにおける可塑化状況の動的な解析手法としては、温度・圧力の多点計測法や可視化法^{1)~3)}等が知られている。さらに、ホッパー直下の領域を可視化した研究⁴⁾も報告されている。これらは、計測・可視化装置上の制約から、いずれも温度分布計測、ホッパー下または可塑化領域の可視化解析をそれぞれ単独で行ったもので、より複雑なシリンダ内現象の解析を総合的に行う上では、相互の同時計測・可視化解析が求められていた。

そこで本研究では、ホッパー下から溶融が完了する圧縮部までの可視化を可能とし、さらに同一観察位置でのシリンダ内壁面温度分布も計測可能とする小型可視化加熱シリンダを新たに開発した。ポリプロピレンの連続可塑化実験を通して、その有効性を実証的に明らかにしたので、以下にその概要を報告する。

2. 可視化加熱シリンダの開発

Fig. 1に開発した小型可視化シリンダの基本構造と概略を示す。シリンダのホッパー口部分は形状加工した石英ガラス (Fig. 2)の組込み構造とし、スクリュの約3ピッチの範囲を両側面から可視化可能な構造とした。また、片側からの観察においても反対側からの透過光により明瞭な観察が可能となっている。別形状のガラスブロックに交換することで多様なホッパー口形状の比較検討も可能で、さらに金属ブロックを使用することで通常シリンダと同じホッパー口を再現できることとした。

噛込み部に続く加熱シリンダ本体部分には、既報²⁾と同様の内挿方式により石英ガラスの組付けを行ったが、変化の激しい供給部から圧縮部を連続して観察するために、計量部と供給・圧縮部の2分割構造を採用した。また、分割シリンダの連結用タイロッドをシリンダ本体内に内装した。

シリンダに嵌装する石英ガラスは210×22×13 mmおよび105×22×13 mmの長尺ブロック形状で、内面はスクリュ外径に合わせたφ22 mmのR形状となっている。同可視化シリンダはホッパー口部分と独立な分割構造となっており、可視化シリンダを通常の標準シリンダに随時取り

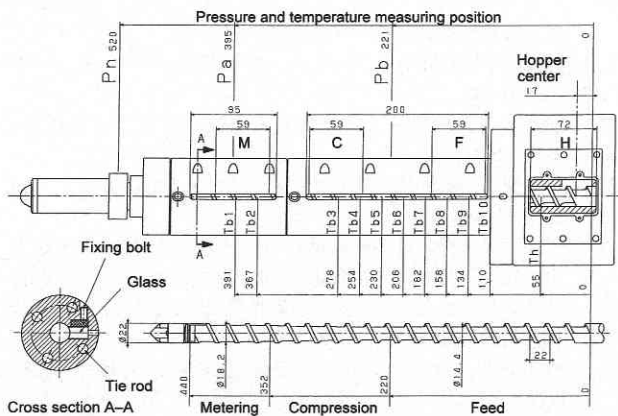


Fig. 1 Visualization and temperature measurement system (VC-30)

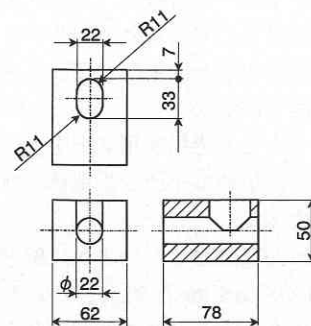


Fig. 2 Glass block for visualizing feed throat area

*東京大学国際・産学共同研究センター
**ファナック株式会社 ロボマシ研究所

換えることが可能である。標準シリンダ使用時には金属製のホッパー下ブロックを使用するため、両者を組み合わせて実験する場合をここでは一括して標準シリンダと呼称する。これに対し、開発した可視化加熱シリンダとホッパー下ガラスブロックを組み合わせた実験装置を VC-30 (visualization-cylinder, 30 tonf) と呼称し、前者と区別した。なお、いずれのシリンダにも、ノズル、計量部、圧縮部入口の 3ヶ所に圧力センサ (PT 462 XL および PT 465 XL, (株)ダイニスコ) が装着されている。

ここでは可視化と温度計測領域とを一致させて実験を行うことを課題としている。すなわち、可視化用長沢ガラスブロックと同じ形状の金属ブロックに外径 $\phi 0.5$ mm のシース熱電対を配し、ガラスブロックと差し替えてシリンダに装着することで、可視化領域の温度を計測する。シース熱電対の使用時には、例えば熱伝導率の低い静止空気中ではシース先端から 15~20 D (D はシース外径) の挿入長が必要とされており⁵⁾、シース先端部のみでは正確な測温が困難である。そこで、先端 10 mm 部分を折り曲げて、ブロック内壁面の長手方向に加工した溝部に沿うように配置し、銀ろうで固定した。従って、理論的な測温点はシリンダ内壁面から 0.25 mm シリンダ外径寄りに位置することになる。以下では、本システムをファナック(株)の射出成形機 AUTOSHOT C-30 A (型締力 30 tonf, 最大射出ストローク 65 mm) に搭載し使用した。外観写真を Fig. 3 に示す。

3. 可塑化状況解析の実験方法および結果

3.1 ホッパー下可視化観察実験

VC-30 を用いて、ポリプロピレンの可塑化状況の観察実験を行った。設定温度はノズル側から 230-240-230-220-210-40(°C) とし、スクリュ回転数を 42, 84, 126, 168 (rpm) と変えながら、高速ビデオシステム (HSV-400, (株)ナック) を用いて、Fig. 1 に示した M, C, F, H の各観察位置で撮影を行った。ホッパー下 H では 2 台のカメラにより、成形機操作盤側と反操作盤側から撮影し、ワイブユニット (株)ナック) により 1 画面内に録画した。Fig. 4 にホッパー下観察状況の一例を示す。上半分が操作盤側から、下半分

が反操作盤側からの観察画像である。ホッパー下のペレット挙動を定量化するために、操作盤側の観察窓のみを拡大して撮影し、画像解析処理システム (ID-8000, (株)ナック) によりペレット移動速度ならびにスクリュ回転方向成分と軸方向成分とを求めた。なおホッパー下ガラスブロックは凹レンズとして作用するため、位置に応じて速度の補正が必要となる。実際に、補正無しでは最大 20% 以上の誤差を示すことが確認されているが、補正により -3.3~+1.4% の範囲に低減させることが可能となった。

ホッパー直下のスクリュフライト 1 ピッチ目では、スクリュ回転位相によって溝がある場所と溝がない場所が交互に現れる。そのため、ペレットが周期性を持って溝内に落下する様子が観察された。また、2 ピッチ目では、個々のペレットが不規則な運動を行い、ペレット間には空隙が確認された。3 ピッチ目では、いずれの回転数においても上述した空隙が充填されペレットは相互の位置関係を変えずペレット塊となって安定した運動を行っている。そこで、この領域をペレットの安定輸送領域と呼ぶこととし、ペレット速度を計測する対象領域とした。168 rpm, ホッパー下 H での 3 ピッチ目におけるペレット速度分布を Fig. 5 に例示する。各ペレットのスクリュ回転方向と軸方向の速度成分はほぼ一致しており、ペレット輸送が安定して行われていることが分かる。各スクリュ回転数でのペレット 30 個の平均速度を求めた結果を Fig. 6 に示す。同時にフライト外周および溝底部の回転方向成分も示した。ペレットのスクリュ回転方向および軸方向速度成分は、いずれもスクリュ回転数と正の相関を持つ。また、ペレットのスクリュ回転方向速度成分とフライト外周速度との比、およびペレットのスクリュ軸方向速度成分とフライトの見かけ上のスクリュ軸方向速度との比をそれぞれ Fig. 7 に示した。どちらの値もスクリュ回転数にかかわらず、ほぼ一定の値を示すことが確認される。



Fig. 4 Example of visualized image around the feed throat (168 rpm)

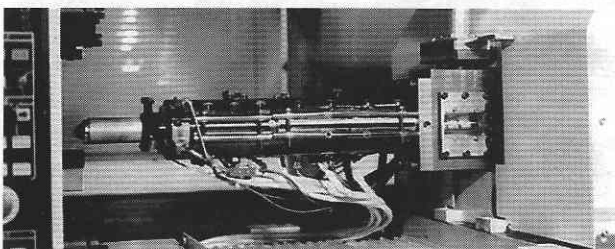


Fig. 3 Appearance of the visualization heating cylinder (VC-30)

研 究 速 報

3.2 シリンダ内可塑化状況の実験解析

シリンダ内観察位置M, C, Fでの可視化画像について, 5 ms ごとの疑似展開手法³⁾を用いて, 熔融状態を比較した。得られた疑似展開画像を Fig. 8 に示す。また, 同一条件下で連続可塑化実験を行い, Fig. 1 に示す Tb1 から Tb10 までの各測温点でシリンダ内壁面温度の時間変化を計測した。計測に際してはスクリュを静止状態で放置し, シリンダ内壁面の各測温点の温度が安定してから約 400 秒間, 連続可塑化を行い計測した。一例としてスクリュ回転数 84 rpm 時の結果を Fig. 9 に示す。

スクリュ回転開始 200 秒後から 300 秒後までのシリンダ壁面平均温度を Fig. 10 に示す。以下, 疑似展開画像 Fig. 8 とシリンダ壁面温度 Fig. 10 をもとにシリンダ内の可塑

化状況に考察を加える。

まず, 観察位置 F はスクリュフライト 6, 7, 8 ピッチ目に相当する。42 rpm では, 8 ピッチ目でシリンダ内壁面とペレットとの間にメルトフィルムが生成する様子が観察された。84 rpm 以上ではペレット間の間隙をメルトが埋め尽くす様子が観察されたが, 高回転数になるに伴ってその位置は少しずつ下流側にシフトした。一方, Fig. 10 より観察位置 F におけるシリンダ壁面温度 (Tb9, Tb8) は高スクリュ回転数ほど高い壁面温度を示し, シリンダ壁面と固体ペレット間の摩擦発熱量の多さを裏付けている。しかし, ちょうど 8 ピッチ目 (Tb7) を境として逆転することとなり, 低スクリュ回転数ほど高い壁面温度を示すようになる。これは, 前述の 42 rpm でメルトフィルムの生成が観察され, さらに高回転数になるに伴って熔融の開始位置が下流側にシフトすることに対応している。この現象は低スクリュ回転数ではシリンダからペレットへの伝熱時間が十分にあること, メルトフィルムの生成とともに一層伝熱効果が高まることに起因すると考察された。

観察位置 C では, 圧縮部のほぼ中央である 12, 13, 14 ピッチ目が観察可能である。42 rpm では 12, 13 ピッチ目の押し側フライト下流側にメルトプールが形成され, ソリッドベッドは薄く透き通っており, わずかにペレット形状の輪郭をとどめている様子が観察された。続く 14 ピッチ目では完全に熔融完了することが観察された。84 rpm 以上ではブレイクアップが観察され, 高回転数ほどメルトよ

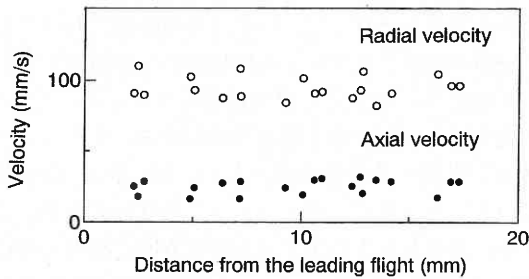


Fig. 5 Velocity distribution of pellets under the feed throat in a screw channel (168 rpm)

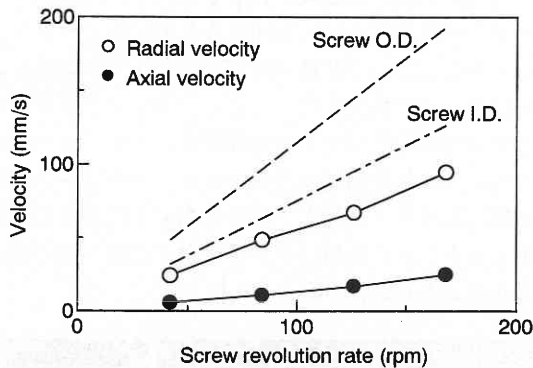


Fig. 6 Mean velocity change of pellets as a function of screw revolution rate

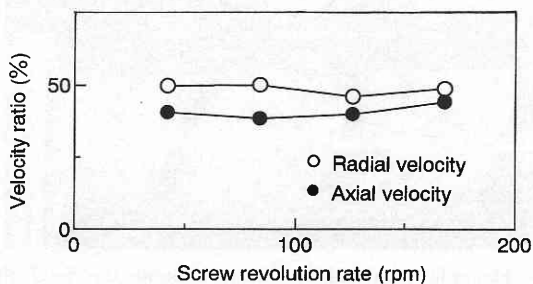


Fig. 7 Ratio of the mean velocity of pellets to the screw flight velocity

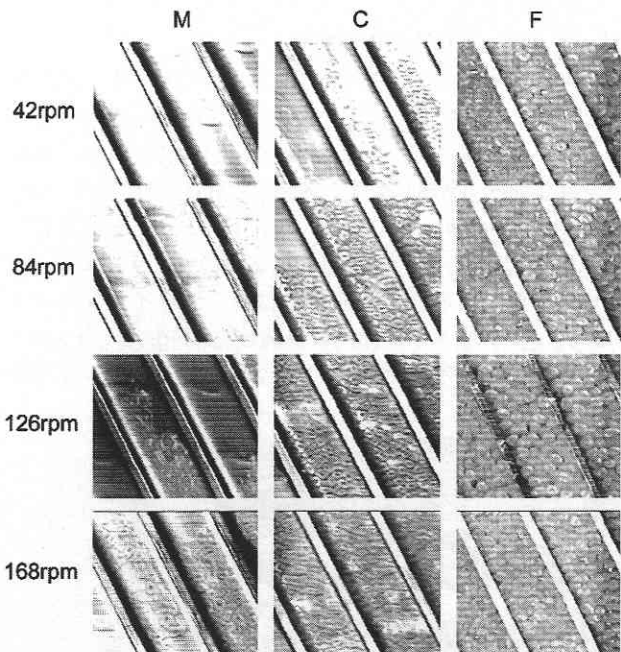


Fig. 8 Extended images of screw channel at each observation location

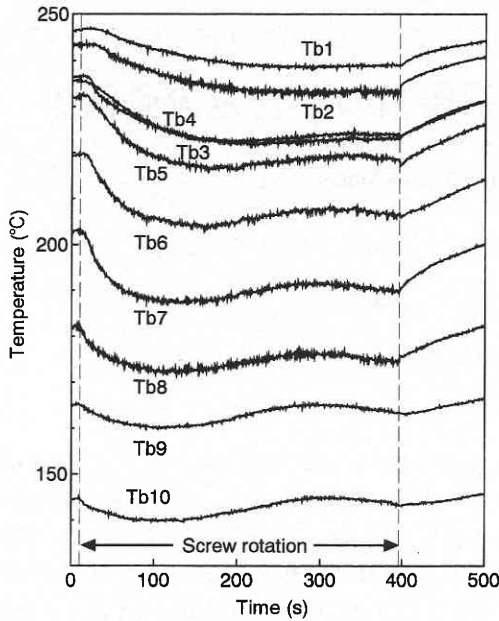


Fig. 9 Temperature change curves with time at each location (84 rpm)

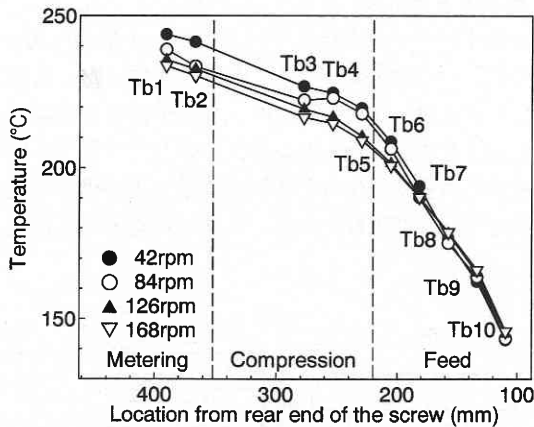


Fig. 10 Temperature distributions measured under different screw rotational rates

りもソリッドベッドの占める面積が多く、また厚さ方向の溶融も進行が遅いことが示された。この領域では、低スクリュ回転数ほど高いシリンダ壁面温度 (Tb4, Tb3) を呈しており、これは低スクリュ回転数ほどスクリュ溝内に高温のメルトプールの占める割合が大きいことに対応している。また、84 rpm ではこの領域内の上流から下流に向かって壁面温度が滑らかに上昇せず極小値を持つように見られる。これはブレイクアップ現象の影響によるものと推察された。

観察位置Mでは、計量部 17, 18, 19 ピッチ目が観察可能である。42 rpm では、すでに完全に溶融が完了してい

る。84 rpm および 126 rpm では、17, 18 ピッチ目にソリッドベッドの薄片が観察できるが、19 ピッチ目でいずれも溶融が完了する。168 rpm のみは、圧縮部でブレイクアップしたソリッドベッドが 19 ピッチ目に至っても一部残存し、観察領域内で溶融が完了していない。また、圧縮部 C と同様に低スクリュ回転数ほどシリンダ壁面温度 (Tb2, Tb1) が高い傾向を示すが、溶融が完了している 42 rpm においては他の回転数に対してやや離れた値を示すことが確認された。

4. 結 言

- (1) ホッパー下での樹脂ペレット嚙込み状況およびシリンダ内の樹脂溶融状況について、それぞれの同時可視化を実現するとともに、シリンダ内壁面温度分布をも計測可能とする小型可視化加熱シリンダを開発した。
- (2) 本システムを用いて、ポリプロピレン連続可塑化におけるホッパー下ペレット速度分布、および可塑化過程の疑似展開画像、シリンダ内壁面温度分布を求め、溶融状況の実験解析を通してその有効性を確認した。
 - ① 供給部上流域ではスクリュ回転数に依存して温度分布が異なることが確認された。これはメルトフィルムの形成による伝熱効果の変化、およびペレットとシリンダ壁面間の摩擦発熱等に起因するものと考察された。
 - ② 供給部上・中流域におけるシリンダ内壁面温度は、スクリュ回転数が大きいほど高く示された。これに対して、供給部下流から計量部にかけての領域のシリンダ内壁面温度は、スクリュ回転数が大きいほど低く示された。その境界となる供給部下流域は、メルトプールの生成開始位置に対応していることが確認された。

謝 辞

本実験の遂行に際し、多大なご協力をいただきました本所助手、村田泰彦氏ならびに博士研究員、金佑圭氏に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小山洋典, 盛田良三, 宮本博文, 飯田 高: 成形加工'89, 101 (1989).
- 2) 横井秀俊, 早崎 進, 高橋 博: 昭和 63 年度精密工学会秋季大会学術講演会論文集, 653 (1988).
- 3) 横井秀俊, 岩崎龍一, 平野彰士, 鈴木謙克, 坂井秀敏: 成形加工'91, 15 (1991).
- 4) 坂本一郎: 日本機械学会 [No. 920-29] プラスチック機能部品の設計と加工に関するシンポジウム講演論文集, 21, (1992).
- 5) 河村昭利: 熱電対温度計による温度測定技術, 65 (1988), アイ・エヌ・ジー.