

# Screw Retraction Behavior during Plasticization Process in Injection Molding

So SHIMOKUSUZONO\*, Tatsuya TANAKA\*\*, Masahiro SASADA\*\*\*,  
Syunsuke KITO\*\* and Gentoku SEKIKAWA\*\*

(Received July 6, 2022)

Injection molding is the most common method of molding thermoplastic resins. However, various defects occur in injection molding. It is considered that the cause of defects was influenced by the melt state of plasticized resin. Furthermore, it is considered that the melt state is influenced by the behavior of screw in the plasticization process. Therefore, the screw retracting speeds during the plasticization process in injection molding was investigated to understand the stability of the resin melt. In this study, the influence of the condition of rotational speed, back pressure and heat in the injection molding on the screw retracting speed was clarified. From experimental results, it is thought that the screw retracting speed is affected by the melt stability of the resin. In addition, the relationship between experimental conditions and screw retracting speed was clarified.

**Key words** : injection molding, resin melt state, plasticization conditions, screw retraction speed

**キーワード** : 射出成形, 樹脂溶融状態, 可塑化条件, スクリュ後退速度

## 射出成形における樹脂可塑化工程時のスクリュ後退挙動に関して

下楠 蘭 壮, 田中 達也, 笹田 昌弘, 紀藤 駿介, 関川 玄德

### 1. はじめに

熱可塑性樹脂の成形方法として、射出成形は、3次元の複雑形状品の加工が可能であることに加え、2次加工を必要とせず生産性やリサイクル性に優れることから最も一般的な方法として普及している。しかし、射出成形では、様々な成形不良が生じ技術者を悩ませている。これら成形不良は、多種多様な要因が複合的に作用しているため、根本的な解決は難しいとされてきた。射出成形においては、固体状態でホッパに投入された樹脂材料（ペレット）が、加

熱シリンダ内に設置されたスクリュの回転により、シリンダからの熱エネルギー、輸送時に発生するせん断エネルギーなどをうけ、溶融されながら輸送される。成形不良は、特にこの可塑化工程に起因するものが多いとされている<sup>1)</sup>。理想的な溶融状態は、樹脂の粘度・温度・密度が均一であると考えられるが、加熱シリンダ内の状態を視覚的に捉えられず、樹脂の溶融状態を正確に把握することは困難であった。射出成形の生産性を向上させるためには、本工程において樹脂の溶融状態を管理することが非常に重要で

\*TOYO MACHINERY & METAL CO., LTD., Hyogo

Telephone: +81-78-942-2345, FAX: +81-78-942-2332, E-mail: s-shimokusuzono@toyo-mm.co.jp

\*\*Department of Mechanical Engineering and Science, Doshisha University, Kyoto

Telephone/FAX: +81-774-65-6465, E-mail: tatanaka@mail.doshisha.ac.jp

\*\*\*Department of Mechanical and Systems Engineering, Doshisha University, Kyoto

Telephone/FAX: +81-774-65-6556, E-mail: msasada@mail.doshisha.ac.jp

ある。

加熱シリンダ内での樹脂の熔融については、Maddock<sup>2)</sup>や Street<sup>3)</sup>らが押出機を用いて研究し報告されている。また、この実験結果に基づき、樹脂の可塑化熔融モデルが Tadmor らによって定式化された<sup>4-6)</sup>。射出成形においては、横井らが、ガラス窓を加熱シリンダや金型に取り付け、樹脂の挙動を視覚的に観察する手法を報告している<sup>7,8)</sup>。この報告により射出成形における樹脂の熔融モデルは押出機と同様であることが証明された。

これら多くの研究により、成形不良を低減するためのいくつかの技術が確立された。しかし、完全な解決策には未だ達していない。筆者らは、射出成形において樹脂の可塑化量が増加することにより、1回の可塑化工程中においても樹脂の状態がばらついている現象について報告をしている<sup>9)</sup>。一方、ばらつきが生じる要因について、具体的に評価した報告は少ない。樹脂の熔融状態は成形品の品質に大きく影響を及ぼすため、樹脂の熔融状態を均一にする手法が求められている。

そこで本研究においては、可塑化工程中のスクリュの後退挙動に着目し、これらから樹脂の熔融状態の均一性を評価できないか試みた。具体的には、1回の可塑化工程におけるスクリュ後退速度のばらつきを評価し、これらに影響を及ぼすパラメータを確認するとともに、ばらつきの低減へつながる手法について検討した。

## 2. 実験装置および評価手法

### 2.1 実験装置

射出成形機は可塑化部が水平の一般的な機械（東洋機械金属, ET40-HR）を用いた。加熱シリンダにはバンドヒータがノズル部を含め4ゾーン巻かれている。また、ノズル部には圧力センサ（日本ダイニスコ, NO465XL-1/2-20MPa）を取り付けられるようにした。可塑化部の概略図をFig. 1に示す。また、成形機に搭載されたスクリュの諸元をTable 1に示す。

また、試料には汎用的なポリプロピレン（PP）（住友化学, NOBLEN W101, 固体密度 0.91g/cm<sup>3</sup>, メルトフローレート 9.0g/10min）を用いた。

### 2.2 評価手法

可塑化工程中のスクリュの後退挙動を把握するため、射出成形機に搭載されているスクリュの位置を検出するエンコーダーから出る信号をD/A変換し、データロガー（Keyence, NR-500）を用いてデータを採取した。さらに、射出動作時のノズル内部での圧力変動を確認するため、ノズルに搭載した圧力センサから、同様にデータロガーへ接続し連続的に採取した。成形機の動作は、金型にノズルをタッチさせた状態で、規定の背圧をかけながら樹脂の可塑化をおこない、可塑化完了後に金型からノズルを一定量後退させ、空中へ樹脂を射出する動作（ページ）を繰り返しおこなうものとした。可塑化量は実験に用いた射出成形機の最大量である43cc（計量ストローク96mm）に設定した。

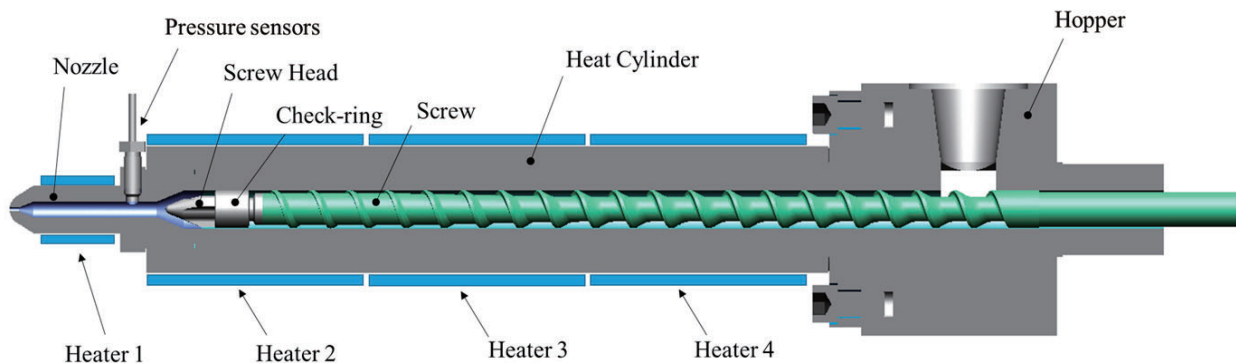


Fig. 1. Schematic diagram of plasticization parts.

Table 1. Specifications of screw.

(mm)	
Screw Diameter	φ24
Flight Pitch	24
Flight depth	2.0 (Metering), 4.9 (Feed)
Zone Length	84 (Metering), 120(Compression), 276(Feed)

### 3. スクリュ回転速度の影響評価

#### 3.1 実験条件

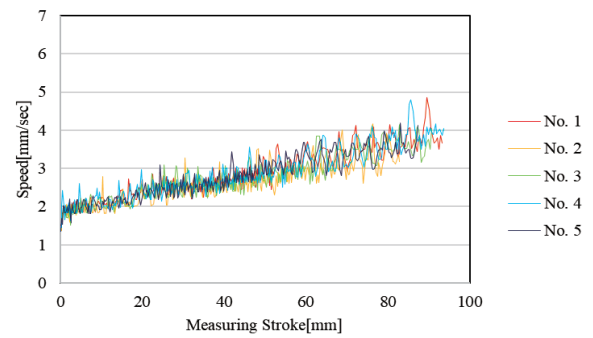
スクリュ回転速度がスクリュの後退速度に及ぼす影響を明らかにするため、Table 2 に示す条件にて実験をおこなった。射出速度、背圧、加熱シリンダの温度は一定とし、スクリュの回転速度のみ変更することとした。スクリュの後退速度とともに成形機の計量モータトルクも測定することとした。

Table 2. Experimental conditions for varying screw rotation speed.

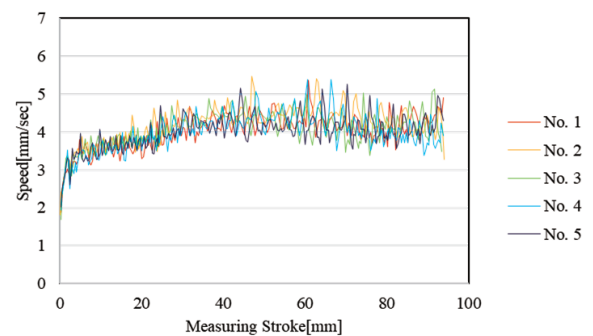
Screw rotation speed [rpm]	60	80	100
Cylinder temperature [°C]	170		
Injection speed [mm/sec]	15		
Back Pressure [MPa]	5		
Measuring stroke [mm]	96		

#### 3.2 実験結果および考察

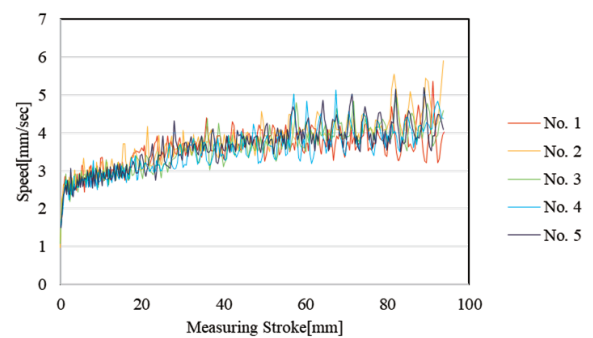
スクリュの回転速度ごとに可塑化工程時におけるスクリュの後退速度の測定結果を Fig. 2 に示す。各条件、5 回実験をおこない、測定結果を重ねて表示する。可塑化開始直後から完了の間、スクリュの回転速度は一定に設定したが、後退速度がスクリュの位置に関係して変動していることが確認できる。また、回転速度により後退速度の変動の挙動には特徴がみられる。ストロークが 50~60mm 以上となると、回転速度が 60rpm の場合には後退速度が上昇する。一方、100rpm の場合には後退速度が低下する。80rpm の場合には 60rpm と 100rpm のおよそ中間的な傾向を示している。60rpm において後退速度が上昇した要因については、ホッパから新たに投入されたペレットがスクリュ表面を滑りやすく、送り効率が上がったためであると考えられる。100rpm 時に後退速度が低下した要因については、射出成形機に用いられるスクリュの特徴として、溝の深さが浅く変異する領域（以下；圧縮部）が存在しているが、ペレットの



(a) 60rpm



(b) 80rpm

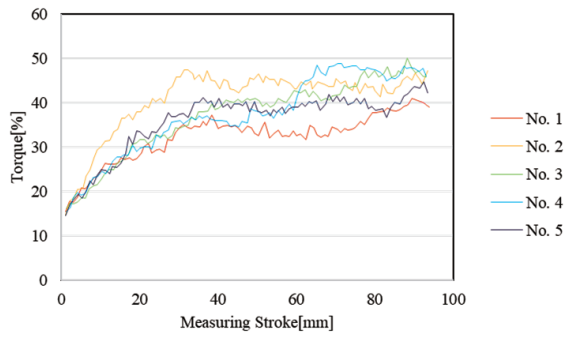


(c) 100rpm

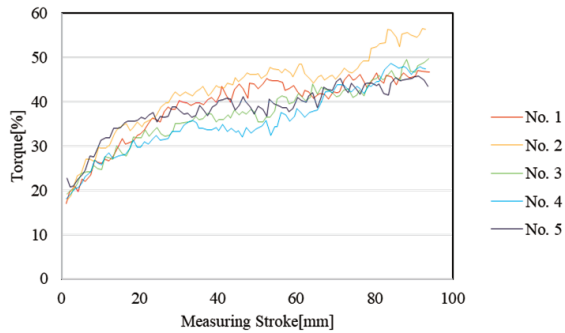
Fig. 2. Backward behavior of screw due to difference in rotation speed.

輸送速度が速く、樹脂に十分な熱が加わらず粘度が高い状態でスクリュの圧縮部へ流入したため、圧縮の変形に追従できず詰まりを起こしてしまったことが考えられる。

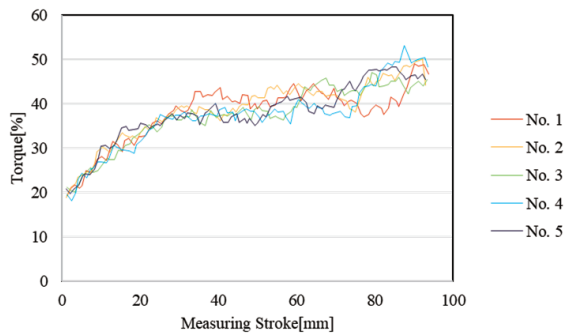
計量モータトルクの測定結果を Fig. 3 に示す。60rpm においては、スクリュが後退しストロークが 50~60mm を超えた場合でも計量モータトルクには大きな変化はみられない。一方、100rpm の場合では約 10%上昇することがわかる。このことから樹脂が十



(a) 60rpm



(b) 80rpm



(c) 100rpm

Fig. 3. Torque of plasticization motor due to difference in rotation speed.

分に溶融していないことが推測される。

以上より、スクリュの後退速度を観察することによりスクリュ先端付近における樹脂の溶融状態を推察することができると考えられる。

#### 4. 背圧の影響評価

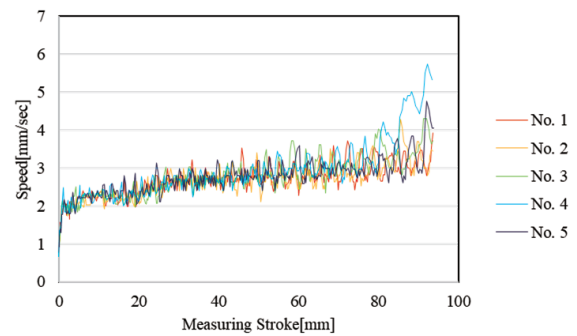
##### 4.1 実験条件

可塑化条件の背圧値を変化させることにより、加熱シリンダ内の樹脂密度が相対的に変化し、スクリュ先端部（ノズル内）の圧力値も変化する。そこで、

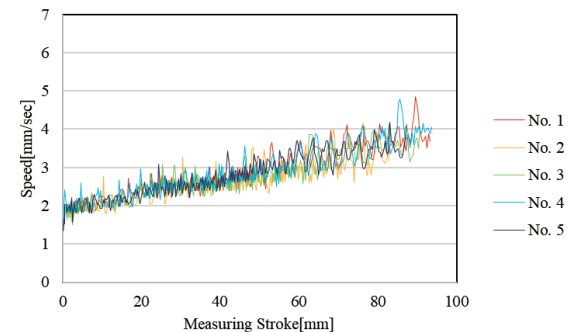
背圧値がスクリュの後退速度に及ぼす影響を確認した。Table 3 に本実験に用いた条件を示す。

Table 3. Experimental conditions for varying back pressure.

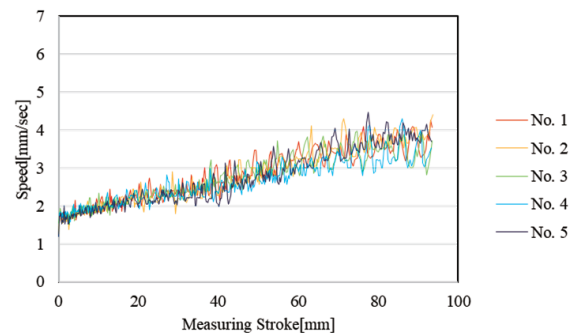
Screw rotation speed [rpm]	60		100
Cylinder temperature [°C]	170		
Injection speed [mm/sec]	15		
Back Pressure [MPa]	2.5	5	7.5
Measuring stroke [mm]	96		



(a) 2.5MPa

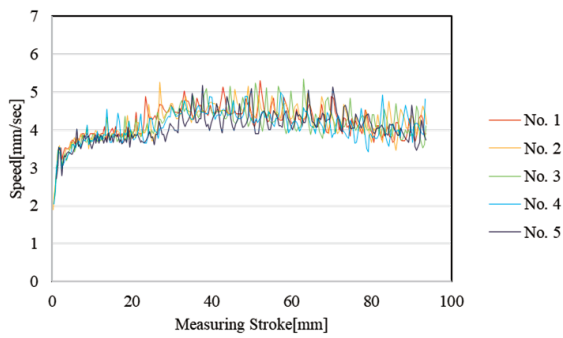


(b) 5.0MPa

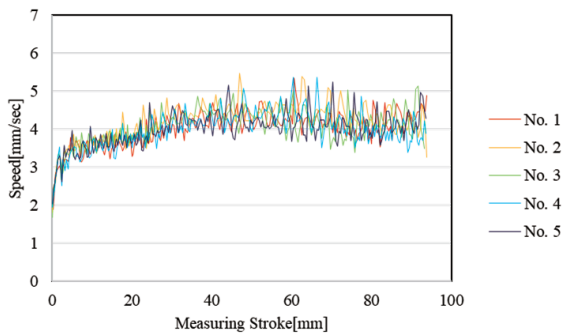


(c) 7.5MPa

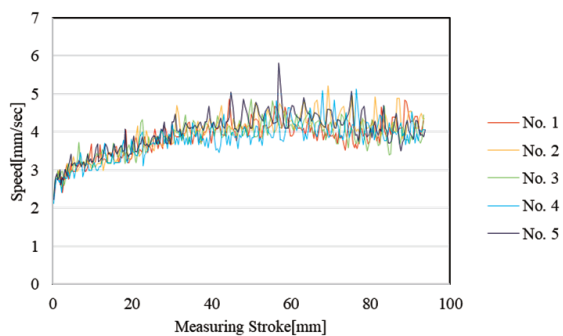
Fig. 4. Backward behavior of screw due to difference in back pressure (60rpm).



(a) 2.5MPa



(b) 5.0MPa



(c) 7.5MPa

Fig. 5. Backward behavior of screw due to difference in back pressure (100rpm).

#### 4.2 実験結果および考察

各回転速度における背圧がスクリュの後退速度に及ぼす影響を Fig. 4 及び Fig. 5 に示す。いずれの回転速度においても、背圧の値を変化させてもスクリュの後退速度に大きな変化はみられなかった。背圧を低下させると樹脂の内圧が下がり、密度が低くなることが考えられ、背圧を上昇させると樹脂の内圧が上がり、密度が高くなることが考えられる。可塑化工程時のスクリュは、スクリュ後部のプレートに取り付けられたロードセルにて圧力を検知し、こ

の値が設定背圧になるように位置制御をおこなっている。そのため、高背圧値に設定した場合には、スクリュ後退速度はより安定すると予測していた。しかし、背圧がスクリュの後退挙動にあまり影響しないことが示された。つまり、背圧を変化させると加熱シリンダ内の樹脂の密度は相対的に変化するが、可塑化された樹脂の程度に影響しないことが示唆された。

### 5. スクリュ供給部ヒータ温度の影響評価

#### 5.1 実験条件

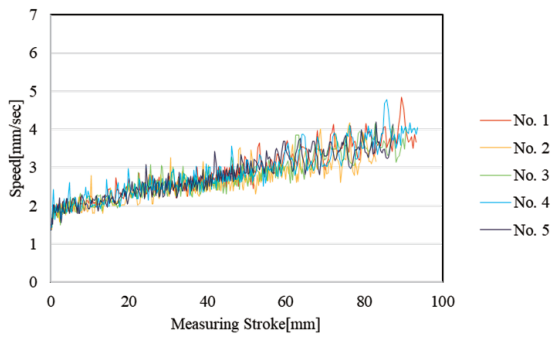
3 章においてスクリュ回転速度が異なる場合に、樹脂ペレットがスクリュ圧縮部に輸送される際、この間での熔融状態が異なっていることの影響が示唆された。そこで本実験においてはスクリュの供給部にあたるヒータ 4 の領域のみ加熱シリンダの温度を 200℃に設定することで、スクリュの後退速度にどのような影響があるかを確認した。実験条件を Table 4 に示す。

#### 5.2 実験結果および考察

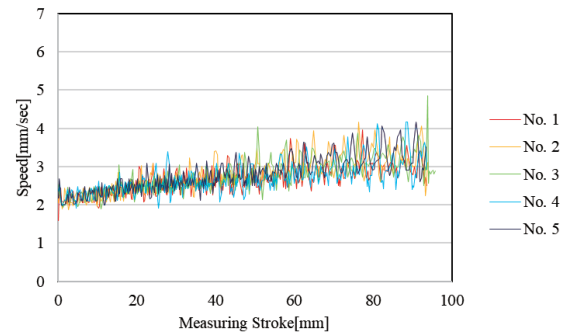
60rpm の場合の加熱シリンダ温度の違いによるスクリュ後退速度の比較を Fig. 6 に、100rpm の場合の加熱シリンダの温度の違いによるスクリュ後退速度の比較を Fig. 7 に示す。60rpm の場合において、ヒータ 4 の設定温度が 170℃であった場合には、スクリュ後退速度が徐々に速くなる傾向にあった。しかしながら、200℃に上昇させることにより後半領域においてもスクリュの後退速度は上昇しない傾向となり、温度を変化させる前に比べ安定した後退挙動となっていることがわかる。この要因については、新規でホッパーから入るペレットの樹脂温度がより

Table 4. Experimental conditions for varying cylinder temperature.

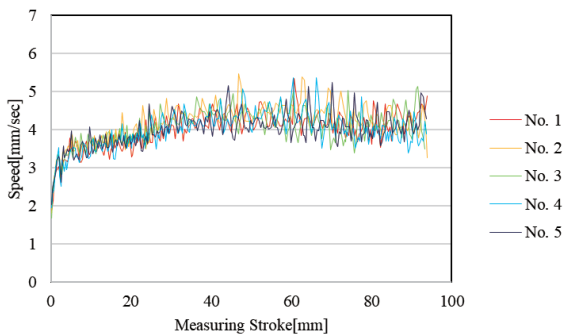
Screw rotation speed [rpm]	60	100
Cylinder temperature [°C] (Heater 1-3)	170	
Cylinder temperature [°C] (Heater 4)	170	200
Injection speed [mm/sec]	15	
Back Pressure [MPa]	5	
Measuring stroke [mm]	96	



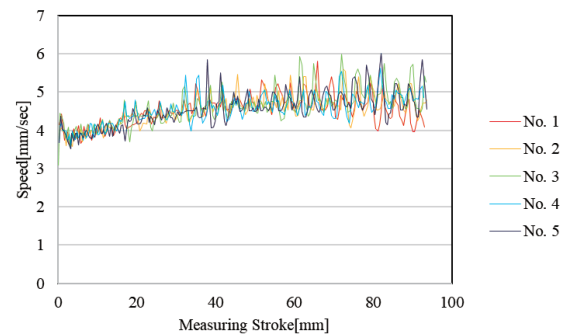
(a) 170°C



(a) 170°C



(b) 200°C



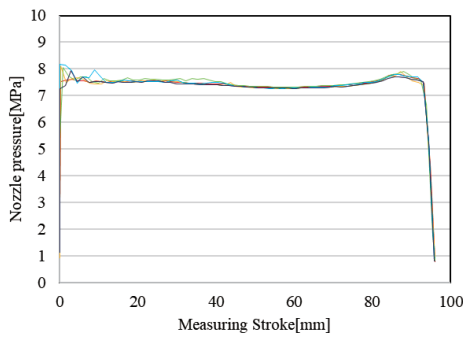
(b) 200°C

Fig. 6. Backward behavior of screw at different heater temperatures (60rpm).

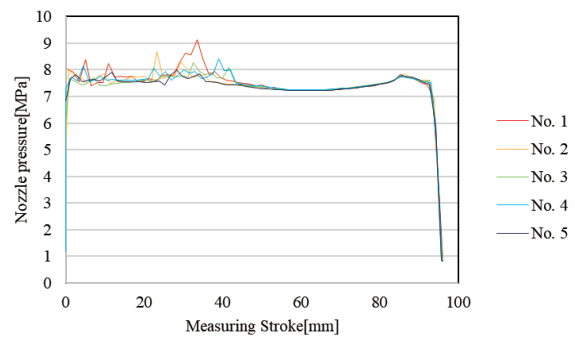
早く上昇することにより、スクリューとペレット間の摩擦が増し、もともと滞留している樹脂の送り速度との差が小さくなったためであると考えられる。また、回転速度 100rpm においては、ヒータ 4 の設定温度が 170°C であった場合にはスクリューが後退するにつれ速度がやや低下する傾向にあった。しかしながら、200°C に上昇させることで、後退速度の減少が抑制され、より安定した後退挙動となった。この要因については、回転速度が速い場合にはスクリュー圧縮部に熱量が不足した状態で輸送され、つまりを起こしていたが、ペレットの樹脂温度がより早く上昇することによりこれらが改善したためと考えられる。スクリュー回転速度の違いによりスクリュー位置による後退速度のばらつき方に異なる傾向がみられていたが、いずれの場合においてもスクリュー供給部付近の加熱シリンダ温度を上昇させることによって安定した後退挙動になることがわかった。

Fig. 7. Backward behavior of screw at different heater temperatures (100rpm).

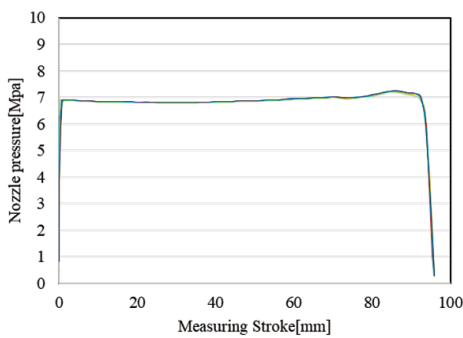
後退挙動がヒータ 4 の温度を変化させることで安定したが、その際に実際に溶融している樹脂の状態がどのようになっているかを確認する必要がある。そこで、それぞれの条件における射出工程時のノズル圧力を比較した。回転速度 60rpm 時のノズル内圧を Fig. 8 に、回転速度 100rpm 時のノズル内圧を Fig. 9 に示す。いずれの回転速度においてもヒータ 4 が 170°C の場合においては射出後半（スクリュー位置が前方）において圧力に乱れが生じていることが確認できた。一方で、ヒータ 4 を 200°C に上昇させることによりこれらの圧力の乱れは一切なくなっていることがわかった。つまりは、後退速度が安定している際に、溶融した樹脂の状態が安定していることが示唆された。



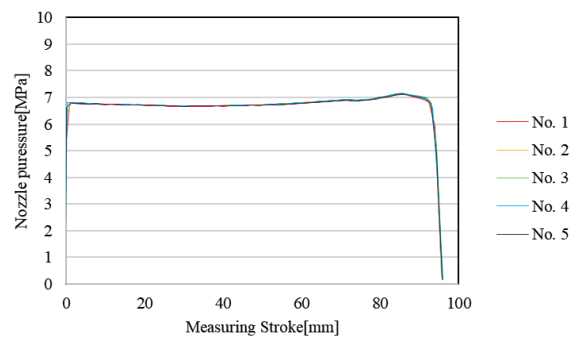
(a) 170°C



(a) 170°C



(b) 200°C



(b) 200°C

Fig. 8. Nozzle pressure at each condition (60rpm).

Fig. 9. Nozzle pressure at each condition (100rpm).

## 6. 結言

射出成形の可塑化工程におけるスクリュの回転速度、背圧、加熱シリンダの温度がスクリュの後退速度に及ぼす影響を実験により確認した。実験結果より以下の結論が得られた。

1. スクリュの回転速度は、スクリュの後退に影響を及ぼすことを明らかにした。回転速度が高速となると、可塑化工程におけるストローク後半においてスクリュの後退速度が上昇し難くなる。
2. 背圧はスクリュの後退速度に大きな影響を及ぼしていないことを確認した。
3. スクリュの供給部に位置するヒータの温度を上昇させることにより、スクリュの後退速度が安定する。
4. スクリュ後退速度と射出工程時のノズル内での樹脂圧力を確認し、これらの値には関係性がみられた。また、スクリュの後退速度を安定させることが樹脂の均一な熔融へつながることが示唆された。

## 参考文献

- 1) 深沢勇, 射出成形加工のトラブル対策, (日刊工業新聞社, 東京, 2005)
- 2) B. H. Maddock, "A Visual Analysis of Flow and Mixing in Extruder Screws", *Society of Plastics Engineers*, **15**[5], 383-389 (1959)
- 3) L. F. Street, "Plasticating Extrusion", *International Plastics Engineering*, **1** (1961)
- 4) Z. Tadmor, "Fundamentals of Plasticating Extrusion. I. A theoretical model for melting", *Polymer Engineering and Science*, **6**[3], 185-190 (1966)
- 5) Z. Tadmor, H. J. Duvdevani and I. Klein, "Melting in Plasticating Extruder Theory and Experiments", *Polymer Engineering and Science*, **7**[3], 198-217 (1967)
- 6) Z. Tadmor and I. Klein, *Engineering principles of plasticating Extrusion*, (Van Nostrand Reinhold Company, New York, 1970)
- 7) 横井秀俊, 岡克典, 根岸智春, "可視化加熱シリンダによる可塑化過程の画像解析IV —ブレイクアップ現象の解析—", *成形加工'93*, 219-222 (1993)
- 8) 横井秀俊, 白石亘, "ホップ下におけるペレット挙動の解析", *成形加工'94*, 223-226 (1994)
- 9) S. Shimokusuzono, T. Tanaka, M. Sasada, Y. Hirao, K.

Hanafusa and A. Inoue, "Molten State of Thermoplastic Resin in an Injection Moulding Barrel", *WIT Transactions of Engineering Sciences*, **125**, 49-59 (2019)