金型内樹脂流動過程におけるキャビティ面せん断応力分布の計測

龍 野 道 宏^{*1}・森

哲^{*1}・横 井 秀 俊^{*2}

The Measurements of the Shear Stress Distribution at the Cavity Surface during Melt Filling in an Injection Mold

Tatsuno, Michihiro^{*1}/Mori, Satoshi^{*1}/Yokoi, Hidetoshi^{*2}

Measurement of shear stress distribution is important for examining phenomena occurring in the interface between the mold cavity surface and molten resin in injection molding. The authors developed a high precision measurement technique for shear stress distribution using a movable block and 3-component force transducer. In this study, we analyzed the influence of resins, cavity surface properties, and cavity thicknesses on shear stress distribution. The results are summarized below :

- I) Fluctuations were seen in the shear stress profile under some experimental conditions. These fluctuation phenomena were caused by delamination flow in the nozzle. They were removed by a digital filter to correct the shear stress profile.
- II) From typical experimental results, we proposed a model on the shear stress distribution near the flow front ("FF" hereafter). It consisted of (1) area which rises by rapid deformation just after the FF contacts the cavity surface, (2) area in which the shear stress remains constant due to the effects of shear viscosity and no solidified area forms, (3) area in which shear stress increases with the growth of the solidified layer, and (4) area in which shear stress remains a constant value due to the effects of shear heating and shear-thinning around the wall.
- II) The process by which characteristic phenomena occurred in various conditions was estimated as follows based on above model.
 - i) Area (2) became longer with increasing injection rate (IR) because the distance to be moved by the FF to cool down to form the solidified layer, increases with IR.
 - ii) The larger the roughness of the cavity surface, the higher was the shear stress in areas (3) and (4) because the growth of the solidified layer is accelerated by the increase in the area contacting the resins on grained surfaces.

Key words : Injection molding, Cavity surface, Shear stress distribution, Melt filling process, Digital filter

1. 緒 言

射出成形品の表面性状や特性は、金型キャビティ面と熔融樹脂とが接触することによって始まる界面現象によって

最終的に規定される。この界面現象を解明することは、成形加工において本質的な重要課題に位置付けられる。熔融樹脂が金型キャビティ内を充填する過程で、ファウンテンフロー現象により初めて金型キャビティ面と接触した直後にキャビティ面上でスキン層、すなわち成形品の表面層が形成されるものと一般に理解されている¹⁾。この際、熔融樹脂の冷却速度に比べて充填速度が一般に非常に大きいために、熔融樹脂がキャビティ壁面に接触してスキン層を形成するまでの間には遷移時間が存在し、この間のフローフロント挙動に大きな影響を与えているものと考えられる。また、フローフロント近傍におけるファウンテンフローや金型接触面での樹脂挙動により、射出成形品のフローマーク等の外観不良が生成することが指摘されている²⁾。これ

^{*1} 東京大学 生産技術研究所
Institute of Industrial Science, The University of Tokyo
東京都目黒区駒場 4-3-1 (〒153-8505)
4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8505
mtatsuno@iis.u-tokyo.ac.jp

^{*2} YOKOI Labo
東京都渋谷区松濤 1-29-24 シティコート松濤 403 号
(〒150-0046)
1-29-24-403 Shoutou, Shibuya-ku, Tokyo, 150-0046
2019. 10. 31 受理

ら現象を解明するためには、フローフロント近傍での金型壁面に作用するせん断応力の変化を計測することが有効であると考えられる。

流路壁面でのせん断応力の計測については様々な方法が提案されているが^{3), 4)}、いずれも気体等の低粘度流体に対応したもので、金型内における高粘度の溶融樹脂に適用することは困難であった。金型内でのせん断応力の計測は、2本の圧力センサをキャビティ内に配置して、溶融樹脂がその上を通過した際に発生する流動圧力損失を用いて算出する方法が一般的ではあるが、この方法では圧力センサの大きさによってせん断応力の分解能が決まってくることや、2点間の平均値しか得ることができず、キャビティ内での樹脂の各流動位置における詳細なせん断応力分布を得ることは困難である。瀬戸らはガラスインサート金型を用いて金型内を可視化し、樹脂中のマーカー粒子を追跡することで、キャビティ厚さ方向の流速分布を測定し、せん断応力を推算した⁵⁾。これにより固化層生成に伴うせん断応力の経時変化が成形品内部の分子配向に影響することを明らかにしている。しかし、せん断応力を直接計測する手法では無く、型内流動シミュレーションから求めた粘度による推算であること、適用可能な樹脂は可視化可能な透明樹脂に限られることなどの課題が残されている。

そこで、著者の一部らは、キャビティの一部を可動構造として、壁面に作用するせん断力を直接計測し、可動部壁面のせん断応力分布を算出する手法を開発した⁶⁾。これにより、スキン層形成までの遷移過程で、キャビティ壁面上で樹脂表面が伸長しつつ壁面と樹脂表面との間でスリップ現象が起こっている可能性を示唆した⁷⁾。引き続き本論文では、金型構造を改良してせん断力計測精度を向上したうえで、せん断応力分布に対する各種樹脂系、キャビティ表面性状、およびキャビティ厚さの影響を検討し、キャビティ壁面におけるせん断応力分布モデルを提示する。

2. 実験装置および方法

2.1 せん断応力分布計測金型

図1にせん断応力分布計測ブロックの概念図を示す。可動ブロックBの直下に三成分変換器Cを組み込み、溶融樹脂が通過した際の可動ブロックに作用するせん断力を計測する構造である。予めBとCにプリロードをかけて一

Fig.1 Schematic of measurement unit for shear stress

体化し、その後固定ブロックA, A'を組み付ける構造とした。これにより、既報の金型^{5), 6)}では正確な調整に課題があったA, A'とBの段差を $5\mu\text{m}$ 以下に、またクリアランスを $20\mu\text{m}$ 以下へと容易に調整することが可能となった。この計測ブロックを金型固定側に設置し、可動側にキャビティを配置した。図2にキャビティ形状を示す。ファンゲートによる幅 60mm ×長さ 150mm の矩形キャビティで板厚 H を $1/2/3\text{mm}$ に変更可能とした。可動ブロック上の樹脂充填速度を一定に保つため、キャビティ流動末端は開放状態とした。ゲートから 45mm 間は固定ブロックとし、隣接する可動ブロックの直下に三成分変換器Type 9067 (日本キスラー株)を組み込んで、流動に伴い作用するせん断力 F を計測する。可動ブロックの対向に2点の圧力センサType 6157 (先端径 4mm , 日本キスラー株)を金型可動側に設置した。エジェクタピン後端で間接式圧力センサType 9221 Aによりゲート入口の圧力を計測した。

2.2 せん断応力分布の算出方法

図3にせん断応力算出方法の概念図を示す。フローフロント x_1 が時間 t_1 から t_2 の経過時間 Δt の間に x_2 へ Δx 移動したものと仮定する。このフローフロント移動に伴う荷重増加分を ΔF で表すこととする。一般にフローフロント先端からゲート方向(x 方向)に遡った際のせん断応力

Fig.2 Cavity shape

Fig.3 Calculation method of the shear stress distribution based on shear force curves measured

τ は、フローフロントのキャビティ内流動位置 (x_1, x_2) に関わらずに、ほぼフローフロントからの距離 x の関数となるものと考えられる。この仮定に基づけば、図 3 中の (1) $t=t_1$ と (2) $t=t_2$ のせん断応力分布曲線 τ_1 と τ_2 は、フローフロント位置を始点すると完全に重なるものと考えられる。その結果として、荷重増分である ΔF は、図 3(3) の面積 ΔS に作用するせん断応力 τ によって算出される全せん断力とみなすことができる。よって、 ΔS のせん断応力 τ は次式で表される。

$$\tau = \frac{1}{w} \frac{dF}{dx} = \frac{1}{wv} \frac{dF}{dt} \quad (1)$$

式中の w は可動ブロックの幅であり、 dF/dx は計測されるせん断力の傾きに等しく、フローフロント速度 $v=dx/dt$ が一定の際に、 dF/vdt を用いても表すことができる。また、式(1)は、図 3 に示す可動ブロックの開始線 C におけるせん断応力を算出する式であるので、フローフロントからの位置におけるせん断応力変化の分布を得ることができる。

既報^{5),6)}ではキャビティ側面にガラスを装填しフロント速度 v を計測したが、本計測では可動ブロック上のフローフロント速度は一定であると仮定して、2 点の圧力センサにより可動ブロック上のフローフロント通過時間を検知し、これにより平均速度 v を計測した。この v と F を用い式 (1)よりせん断応力分布を導出した。

2.3 実験条件

本研究では、可動側キャビティ表面性状を機械研削面として、固定側のキャビティブロック A と B の表面性状を対として以下の 4 種類に変化させ、その影響を調査した。すなわち、鏡面 (以下 MR と略記) / 機械研削面 (以下 FM) / 浅いシボ面 (TH 103, 株棚澤八光社, 以下 SG) / 深いシボ面 (TH 113, 株棚澤八光社, 以下 RG) の 4 種類の表面性状を使用した。表面粗さを表 1 に示す。また、キャビティ厚さ H を 1/2/3 mm と変更し、その影響を計測した。

射出成形機は NEX 110-18 EPI (日精樹脂工業株) を用いた。樹脂は、結晶性樹脂として低粘度タイプと高粘度タイプの 2 種類のポリプロピレンを、また非晶性樹脂として汎用ポリスチレンを使用した。表 2 に使用樹脂のメルトフローレートと DSC により計測した結晶化ピーク温度、結晶化潜熱を比較して示す。いずれの樹脂においても、表 3 に示す同一の成形条件を用いることとした。

3. 実験結果および考察

3.1 せん断応力の振動現象

せん断力より算出したせん断応力には、樹脂系や射出率により振動が発生する場合がある。図 4 にせん断応力計測時の各種計測値を示す。実験条件は、樹脂は PS、キャビティ厚さ 2 mm、キャビティ表面は FM 面、射出率 IR = 40 cm³/s である。計測したせん断力 F_x には微小な振動が発生しており、これを微分して求めたせん断応力 τ には振動が発生し、時間経過とともに拡大する。この振動は射出率が大きいほど振動周期は小さくなり、振幅は拡大した。また樹脂が低粘度 PP では振動は観察されず、高粘度 PP と PS において発生し、キャビティ厚さ、表面性状を変更

Table 1 Cavity surfaces

Surface property	Symbol	Ra (μ m)
Mirror-finished	MF	0.03
Finely machined	FM	0.27
Shallowly grained (TH103)	SG	0.59
Roughly grained (TH113)	RG	8.80

Table 2 Thermal characteristics of the resins for experiments

Resin	Melt flow rate (g/10 min)	Crystallization peak temperature (°C)	Latent heat of crystallization (J/g)
Low viscosity polypropylene (BC03B, Japan Polypropylene Corp.)	30	125	98
High viscosity polypropylene (MA3, Japan Polypropylene Corp.)	11	112	107
Polystyrene (679, PS Japan Corp.)	18	—	—

Table 3 Molding conditions

Injection rate (cm ³ /s)	8/20/40/80
Cylinder temperature (°C)	230-220-210-200
Mold temperature (°C)	35

Fig. 4 Fluctuation phenomena in the shear stress and gate pressure change curves during the cavity filling process

しても、同様の振動が観察された。ここで、同時に計測したゲート入口の圧力 P_G にも微小な振動が観察され、 P_G の微分値を算出するとせん断応力が立上る前から、 P_G に同周期の振動が発生しているのが確認される。また、ノズルから空中へと溶融樹脂を射出した場合にも、ノズル圧力に同様の振動が発生することも確認されたため、ノズル内流路が徐々に狭窄化する縮小流れ領域において、剥離流動が断続的に生成しているものと推察された⁸⁾。この流動圧力振動がせん断応力の振動として計測されることは不可避である。また、フローフロントが可動ブロック上を伸長するにつれて、圧力振動が作用する面積が拡大するため、せん断応力の振動が拡大している。

そこで、デジタルフィルタによりせん断応力分布波形の振動を除去することを検討した。図5-1)にせん断応力波形を示す。フーリエスペクトルにより、この波形にはノイズによる500 Hz以上の高周波成分と共に、43 Hzとその2倍の86 Hzに流動圧力振動に起因する周波数成分が検出された。デジタルフィルタにより400 Hz以上の周波数成分をカットするローパスフィルタ処理を行うと、図5-2)に示すように高周波のノイズが除去される。ここでは、せん断力立ち上がり波形は変形せず、その挙動が明瞭に表示される。さらに、40~90 Hzの周波数成分をカットするバンドパスフィルタ処理を行うと振動が除去されるが、立ち上がり波形には変形が生じる。そこで、図5-3)に示す様に、立ち上がり時にはローパスフィルタ処理のみ実施し、振動が発生する領域ではバンドパスフィルタ処理を実施して、それらを結合したせん断応力波形を得ることとした。

3.2 各種樹脂のせん断応力分布

図6にキャビティ厚さ $H=2$ mm、表面性状を機械研削面とした場合の各種樹脂のせん断応力分布計測結果を示す。図6-1)の低粘度PPでは各射出率の場合に共通して、フローフロント先端の $x=0$ mmにおいて、せん断応力は急峻に立ち上がり、その後一定値を示した後に緩やかに上昇し、その後はほぼ一定値を示している。高射出率ほど立ち上がり後の一定値の区間が長くなり、全域で高い応力分布を示した。

図6-2)の高粘度PPにおいては、射出率 $IR=8$ cm³/sでは立ち上り後の上昇が大きく、 $x=20$ mm以上では $IR=20$ cm³/sより高いせん断応力分布を示している。射出率 $IR=20$ cm³/s以上ではせん断応力は立ち上り後に一般的な上昇を示し、高射出率ほど全域で高い応力分布を示すが、低粘度PPのような再上昇する区間は現れない。なお、 $IR=80$ cm³/sでは $x=50$ mm以上で急上昇し直後に低下する不安定な挙動が示されている。これは、フローフロント

Fig.5 Correction process of the shear stress change curves with fluctuation phenomena by digital filtering method

Fig.6 Shear stress distribution curves of various resins measured under different injection rates

からの距離が長くなった領域でせん断応力の振動が拡大し、デジタルフィルタでも除去しきれなかったものである。

図6-3)のPSでは、低粘度PPと同様にせん断応力立ち上り後に一定値を示した後に再度上昇する。各射出率において、低粘度PPよりPSの方が早期に再上昇に転じ、一定値区間は短くなっている。また、高射出率ほど全域で高い応力分布を示すが、射出率 $IR=8$ cm³/sでは大きく再上昇し、 $x=30$ mm以上で、より高射出率の場合よりも高い応力分布を示す。

上記のせん断応力挙動はフローフロント近傍での樹脂の流動・冷却固化挙動に対応するものと考えられ、後述の3.5節において詳細に考察する。

3.3 キャビティ表面性状の影響

図7に低粘度PP、キャビティ厚さ $H=2$ mmでのせん断応力分布に対する射出率とキャビティ表面性状の影響を示す。前節で述べたせん断応力の立ち上がりをA、一定値からの再上昇開始をB、その後はほぼ一定となる点をCと記している。各表面性状で類似した挙動を示しているが、MRとFMは全域でほぼ等しく、SG, RGと表面粗さの順にせん断応力は大きい値を示す。特にB以後の再上昇領域でその差が大きい。

図8に高粘度PPのせん断応力分布を示す。 $IR=8$ cm³/sのSGとRGでは、せん断応力立ち上り後にBから上昇しC以後は上昇度合いが小さくなる。MRとFMでは変化の度合いは小さいものの、同様の挙動が認められる。低粘度PPと同様に、MRとFMよりSG, RGと表面粗さの順にせん断応力は大きく、B以後の領域においてその差が拡大する。一方、 $IR=20$ cm³/s以上ではSGとRGでもBでの再上昇は発生せず、表面性状の差は小さいものの、全域で表面粗さの順にせん断応力は高くなっている。

図9にPSの $IR=40$ cm³/sにおけるせん断応力分布を示す。2種類のPPと同様にMR, FMよりSG, RGの順にせん断応力は高くなり、それらの差はB以後の再上昇領

Fig.7 Comparison of shear stress distribution curves under different cavity surface properties in the case of low viscosity polypropylene

Fig.8 Comparison of shear stress distribution curves under different cavity surface properties in the case of high viscosity polypropylene

Fig.9 Comparison of shear stress distribution curves under different cavity surface properties in the case of polystyrene

域で拡大している．各射出率においても同様の挙動が示された．

3.4 板厚の影響

ここでは、FM と SG の 2 種類の表面性状におけるキャビティ板厚 H の影響を樹脂ごとに検討する．図 10 に低粘度 PP のせん断応力分布の比較を示す． $H=1$ mm の $IR=40$ cm^3/s 以上では、流動圧力の上昇により可動ブロックと固定ブロック間に樹脂が侵入し、応力計測値が異常となったので同図では省略した．同一射出率において H が大きいほどフローフロント速度は小さくなるため、せん断応力は低くなっている．各条件に共通して、せん断応力は A で立ち上がり、A から B でほぼ一定となった後、再度上昇し、C 以後はほぼ一定値を示す． $H=1, 2$ mm では、FM より RG の方がせん断応力は大きく、特に B 以後の再上昇領域でその差が大きい．一方、 $H=3$ mm では、 $IR=8, 20$ cm^3/s において FM と RG はほぼ等しく、 $IR=40, 80$ cm^3/s では、C 以後において FM と RG が逆転する． IR が大きいほど C 以後の一定領域における FM と RG の差が拡大することが確認される．また、FM 面の $H=3$ mm では、 $IR=8\sim 40$ cm^3/s において D で一時的にせん断応力が低下し、その後再上昇を示す．

図 11 に高粘度 PP におけるせん断応力分布を示す．前節で示したとおり、 $H=2$ mm では $IR=20$ cm^3/s 以上において B 以後の再上昇は観測されなかったが、 $H=1$ mm では各射出率において、B 以後の再上昇と C 以後一定となる現象が確認された．一方、 $H=3$ mm では、各射出率に

Fig.10 Comparison of shear stress distribution curves under different cavity thicknesses and surface properties in the case of low viscosity polypropylene

Fig. 11 Comparison of shear stress distribution curves under different cavity thicknesses and surface properties in the case of high viscosity polypropylene

において再上昇は観測されなかった。

図 12 に PS におけるせん断応力分布を示す。低粘度 PP と同様、各条件に共通して B 以後の再上昇が認められる。また、 $H=1\text{ mm}$ の $40\text{ cm}^3/\text{s}$ 以上の高射出率では、再上昇後の E よりせん断応力が低下している。

3.5 せん断応力分布のモデル化

以上の結果を踏まえてフローフロント近傍でのせん断応力分布をモデル的に図 13 に示した。せん断応力分布は、一般的な樹脂、条件においてフローフロントからの位置によって、①ステップ状に立ち上がる領域、②一定値に推移する領域、③上昇傾向を示す領域、④およそ一定値に推移する領域、以上の 4 つの領域から形成されているものと推察される。各領域の生成機構について考察する。領域①は、

Fig. 12 Comparison of shear stress distribution curves under different cavity thicknesses and surface properties in the case of polystyrene

Fig. 13 Generation model of the shear stress distribution near flow front area during the cavity filling process

フロント接触直後の樹脂が高ひずみ速度下で急速変形することにより生成したものと考えられる。高射出率、高粘度樹脂ほど高く示されているのは、こうした結果を反映したものと推察された。領域②は、固化層の未形成のままのせん断粘度を反映し、一定領域を形成したものと考えられる。壁面での樹脂の滑り現象は伴わない。高射出率ほど領域②が長くなったのは、固化層を生成するのに必要な冷却時間内でのフローフロント移動距離がより長くなったものと推察される。領域③は、固化層が成長して樹脂流路が狭くなり、せん断応力が上昇したものと考えられる。領域④は、壁面近傍のせん断発熱と Shear-thinning 効果によりせん断応力の上昇が抑制され、およそ一定値を示したと考えられる。以上のモデルに基づき、前節までに示した結果の生成要因について考察する。

3.2 節の図 6 において、高粘度 PP では領域③の再上昇が示されなかった。表 2 に示した様に PP は結晶化潜熱を有するため冷却固化までの時間が長くなる。低粘度 PP では、結晶造核材配合の効果により結晶化ピーク温度が高く短時間で結晶化するため、固化層形成による③のせん断応力上昇が現れたものと考えられる。一方、高粘度 PP では、結晶化ピーク温度が低く結晶化潜熱が大きいことにより、固化層未形成のままフローフロントが可動ブロックを通過したものと推察される。

また、非晶性樹脂の PS の低射出率条件で、領域④でせん断応力の上昇が顕著に示されたのは、結晶化潜熱を持たない樹脂の冷却促進による粘度上昇に加えて、固化層成長による実質流路の減少が重畳した結果を反映したものと考えられる。

3.3 節の図 7～図 9 の表面性状について、MR や FM より SG, RG でせん断応力が高く示されたのは、シボ面で表面が粗いほど樹脂との接触面積が大きくなるため、樹脂冷却の促進効果による粘度上昇と、領域③から領域④において固化層成長が促進されているためと考えられる。

3.4 節の図 10 において、低粘度 PP の板厚 $H=3\text{ mm}$ では、充填時の流動圧力損失が低く樹脂圧力が高くない。そのため充填過程では RG のシボ底部まで樹脂が侵入・密着せず、加えて高射出率では冷却が抑制され、領域③から領域④において FM より RG の方のせん断応力が低くなったものと推察される。また、図 10-D の一時的な低下は、溶融流動域（層流）とそれに続く固化層形成開始域との遷移領域において、局所的な滑りが生成すること起因するものと考えられる。図 11 において、高粘度 PP の板厚 $H=1\text{ mm}$ では、流動圧力の上昇により冷却が早期に進行し、領域③の再上昇が明瞭に現れたものと推察される。図 12 において、PS の $H=1\text{ mm}$ の高射出率条件では、流動過程での壁面近傍のせん断発熱が、上流からフローフロント側へと流動する過程で積算され、壁面近傍の樹脂温度が上昇している。そのため、図 12-E 以後において可動ブロック上に負荷されるせん断力が減少したものと推察される。

以上により、せん断応力分布の計測結果より、フローフロント近傍の樹脂流動挙動に対する各種樹脂系、射出率、キャビティ厚さと表面性状の影響が明確に示された。さらに、固化層形成開始領域での局所的な滑り現象など、特異な現象を高精度に検出できることが確認された。

4. 結 言

既報の計測金型に改良を加えた新規のせん断応力分布計測金型により、フローフロント近傍のキャビティ壁面におけるせん断応力分布を高精度に計測し、各種樹脂系、表面性状、キャビティ板厚の影響を明らかにした。得られた結果を以下に列記する。

- (1) 樹脂種類や射出条件によりノズル部での剥離流動に起因すると推察される圧力振動現象を確認し、これによるせん断応力計測値の振動現象をデジタルフィルタにより除去しせん断応力波形を補正する方法を提示した。
- (2) 多くの条件下でのせん断応力は、フローフロントで急激に立ち上がった後に、上流に向かって一定値で推移し、その後再上昇した後に再び概ね一定となる分布を形成することが確認された。この結果より、フローフロント近傍のせん断応力分布モデルを提示した。すなわち、①フロント接触直後の急速変形により立ち上がり、②固化層の未形成のまません断粘度を反映して一定値となり、③固化層の成長により再度上昇した後に、④壁面近傍のせん断発熱と Shear-thinning 効果によりおよそ一定値を示すモデルとした。
- (3) 上記モデルに基づき、各種条件における下記の特徴的な現象の生成過程を推察した。
 - i) 高射出率条件では固化層生成までのフローフロント移動距離が延び、領域②が長くなる。
 - ii) 高粘度 PP は結晶化潜熱が大きいため固化層形成までの時間がかかり、領域②が長くなる。
 - iii) キャビティ表面粗さが大きいほど、壁面での冷却による固化層形成が促進され、領域③、④のせん断応力が上昇する。
 - iv) 低粘度 PP の板厚 3 mm では、充填時の樹脂圧力が低いため、粗いシボ面での樹脂との密着が損なわれて冷却が遅延し、領域③、④のせん断応力が低くなる。また、領域③において熔融流動域とそれに続く固化層形成開始域との遷移領域で局所的な滑りが生成し、一時的にせん断応力が低下する。
 - v) PS の板厚 1 mm の高射出領域では、流動過程での

せん断発熱の蓄積により樹脂温度が上昇し、領域④においてせん断応力が低下する。

射出成形金型内での樹脂流動過程において、フローフロントから上流へ向けたキャビティ表面上のせん断応力分布は計測する方法がなく、CAE でのシミュレーション結果を検証する方法がこれまで存在しなかった。本論文で提示した可動ブロックを用いる方法は現状において適用が可能な唯一の方法であると考えられる。本手法によりフローフロント先端からのせん断応力分布を詳細に明らかにすることが可能となり、金型表面性状の影響など、金型キャビティ面と熔融樹脂との未解明な界面現象を具体的に解明できることを実証的に明らかにした。今後は、CAE モデルの検証に加えて、フローマークなどの成形不良現象に本手法を適用し、生成機構の解明とその抑制に役立てられることが期待される。

謝 辞

実験用樹脂の熱的特性データをご提供いただいた日本ポリプロ株式会社に感謝いたします。本研究の一部は(一財)生産技術研究奨励会の平成 28、29 年度および平成 30、31 年度「超」を極める射出成形」特別研究会により遂行された。関係各位に謝意を表します。

参 考 文 献

- 1) 小山清人, 佐藤勲, 横井秀俊: テキストシリーズ プラスチック成形加工学会 I 流す・形にする・固める (プラスチック成形加工学会編), 森北出版, 160 (2011)
- 2) 横井秀俊: 成形加工, **29**(6), 176 (2017)
- 3) 望月信介, 亀田孝嗣: ながれ, **37**, 261 (2018)
- 4) 木村元昭, Chih-Ming Ho: ながれ, **18**, 367 (1999)
- 5) 瀬戸雅宏, 田中克, 佐藤和人, 山部昌: 成形加工, **14** (10), 671 (2002)
- 6) 横井秀俊, 増田範道, 小崎龍一: 生産研究, **46**, 675 (1994)
- 7) 横井秀俊, 増田範道, 米田勉: 成形加工'94, 41 (1994)
- 8) 船津和守, 庄田真一, 篠原久: 化学工学論文集, **5**(6), 553 (1979)