

金型表面処理工法によるプラスチックの成形性向上に関する試験研究事業

谷萩 雄一朗* 青木 邦知*

1. はじめに

近年、プラスチック製の小型部品や高精度部品が増える中で、量産化技術である射出成形においては、複雑形状や微細形状に対する寸法精度や転写性などが品質を決める重要な要素となっている。

プラスチックの射出成形においては、金型の形状が複雑な場合や表面に微細形状を有する場合、熔融樹脂が充填しきれないなどの成形不良が生じることがある。それらの対策として、金型キャビティ面を誘導加熱やハロゲンランプなどで昇温する方式や金型内部に設けたヒーターなどで補助的に加熱する方式などが提案されている¹⁾。

本研究では、金型表面に処理層を設け、成形工程の熱移動を制御することにより、熔融樹脂の急激な冷却を緩和して流動性を保ち、成形性の向上を図ることを試みた。

2. 目的

これまでに、無電解ニッケルめっき中に樹脂やセラミックスの粒子を分散させた粒子分散めっきを処理層に用いて、成形工程における熱移動の制御を試みた²⁻³⁾。その結果、粒子の種類や大きさ、分散量によって、熱拡散を含めためっき皮膜の物性が変わることを確認できた。しかしながら、金型表面に処理層を成膜することにより表面から内部への熱拡散が低下することは確認できたものの、成形工程における樹脂の流動長への影響は限定的で、大きな向上には至らなかった。

そこで本年度は、金型表面処理による熱制御の効果を明確にするため、より流動長の向上が図れる加工条件を検討するとともに、微細形状の転写性に対する効果を確認することを目的とした。

3. 内容

3.1 試験方法

初めに樹脂流動シミュレーションを活用して、流動長の向上が図れる成形条件を検討した。その結果を基にして実験を行い、金型表面処理による効果を確認した。さらに、金型表面に凹凸を有する構造を加工し、微細形状の転写性に対する効果を調べる実験を行った。

3.2 シミュレーションによる熱制御効果の検討

熱可塑性樹脂の射出成形では、圧力や温度などの条件が成形性に影響する。本研究では、金型表面に処理層を設けて熱制御を行うときの樹脂流動長を比較することを目的としている。そこで、表面処理によって生じる金型の熱伝導率の変化を組み合わせた樹脂流動解析を行い、熱伝導率や成形条件の違いが樹脂の流れに与える影響を評価した。

シミュレーションにて処理層を忠実に再現するには、

解析モデルでの金型表面に金型の厚さと比較して極めて薄い固体層を作製することになるが、一般にシミュレーションでは極端に厚さの異なる層を設けることは適切でない。そこで、表面処理による熱伝導率の変化を金型のマクロな材質と捉えることとして金型の材質を変更することにより、金型と熔融樹脂との熱伝導率が異なる状況を再現した。

図 1 にシミュレーションモデルを、図 2 にキャビティの寸法模式図を示す。図 1 は、後述する実験用金型から取付用プレートを除いた形状である。金型の材質は、表面処理により熱伝導率が変化することを再現するため、使用したソフトウェア Moldflow 2017 (オートデスク株式会社) の収録データより、熱伝導率が最も低い M349 と、熱伝導率が高い代表格である Copper を選定した。表 1 にそれらの熱的物性値を示す。

射出成形時に調整可能な条件として代表的なものは、熔融樹脂に作用する圧力、樹脂温度および金型温度である。これらの条件による図 2 の薄板部の流動長を比較した。成形条件は、図 2 の樹脂溜まり部を流速 50 mm/s で充填し、熔融樹脂先端が薄板部に至る直前に VP 切替を行い、薄板部を保圧で充填した。保圧は 10, 30 および 50MPa、樹脂温度は 200, 230 および 260℃、金型温度は 20, 40 および 60℃とそれぞれ 3 通りずつ変更した。保圧時間は 20 秒、冷却時間は 40 秒とした。樹脂は PP とし、プライムポリプロ J-750HP (株式会社プライムポリマー) を使用した。

図 3 に、金型材質 M349、樹脂温度 230℃、金型温度 40℃、保圧 50MPa で成形した直後における金型パターニング面の温度分布を示す。冷却水による温調のために金型温度がほぼ 40℃に保たれている。それに加え、熔融樹脂が射出されるゲート直下の温度が高い。薄板部はゲート近傍を除いてほぼ均一な温度分布となる。図 4 に、同条件における熔融樹脂の充填時間と充填位置の関係を示す。図 4 の薄板部における熔融樹脂先端までの距離を流動長とした。それぞれのシミュレーション結果より、射出終了時の充填割合を数値で求め、CAD モデルの体積に乗ずることにより薄板部の流動長を求めた。図 5, 6 に金型材質 M349, Copper の流動長の結果をそれぞれ示す。

図 5, 6 では樹脂温度と金型温度が高いほど流動長が長い。保圧による影響は、圧力が高いほど流動長が伸び、樹脂温度と金型温度が高いほど圧力による伸び量が増加した。これらの理由は、金型内で熔融樹脂が固化しにくく固化するまでに流れる長さが増加するためと考えられる。図 7 に、樹脂温度 230℃、金型温度 20℃、金型材質 M349 を対象とした圧力による射出流量の比較を示す。VP 切替 (0.232 秒) 後には圧力の影響が生じ、圧力が高いと流量が多い。図 8, 表 2 に、金型材質による流動長の比較を示す。比較した 9 条件のうち

1条件を除き、M349の流動長はCopperを上回ったため、全般的には金型の熱伝導率が低いと流動長が増加する効果を確認できた。

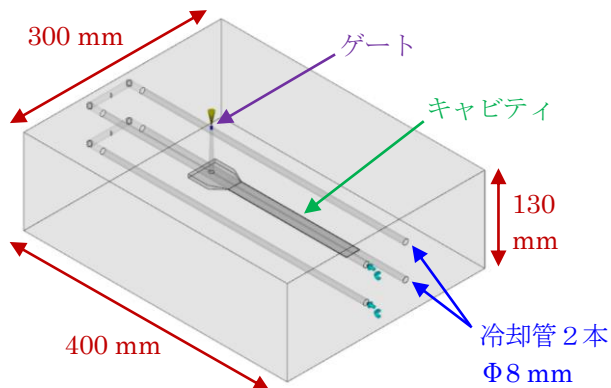


図1 樹脂流動シミュレーションモデル

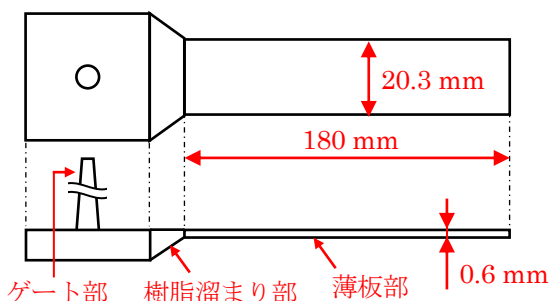


図2 キャビティ寸法模式図

表1 シミュレーションに用いた金型の熱的物性値

項目	M349	Copper
密度 [kg/m ³]	7,700	8,930
比熱 [J/(kg・°C)]	430	380
熱伝導率 [W/(m・°C)]	15	388

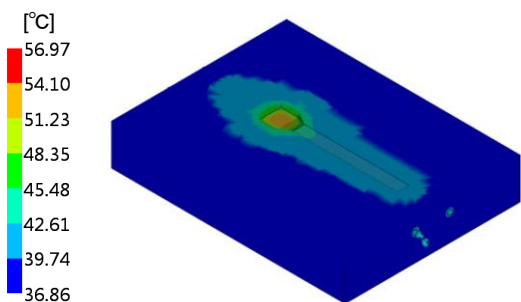


図3 金型のパーティング断面の温度分布 (金型材質M349, 樹脂温度230°C, 金型温度40°C, 圧力50MPa)

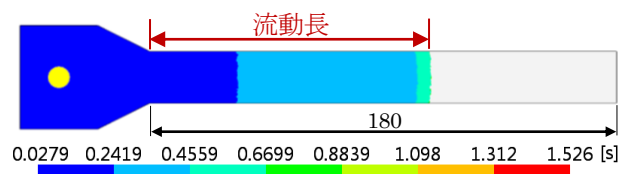


図4 充填時間 (金型材質M349, 樹脂温度230°C, 金型温度40°C, 圧力50 MPa)

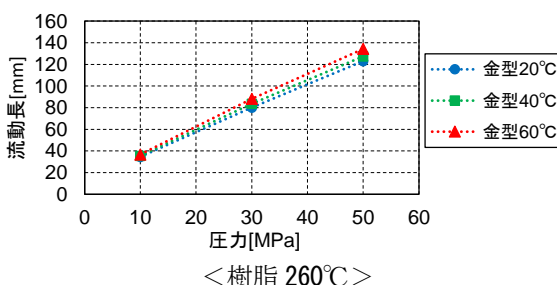
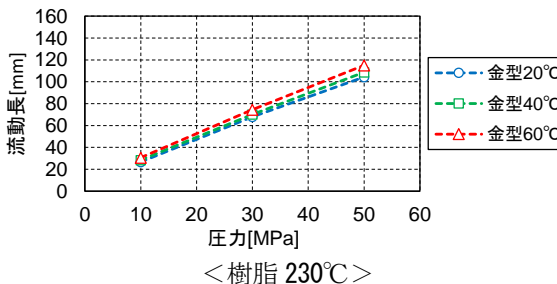
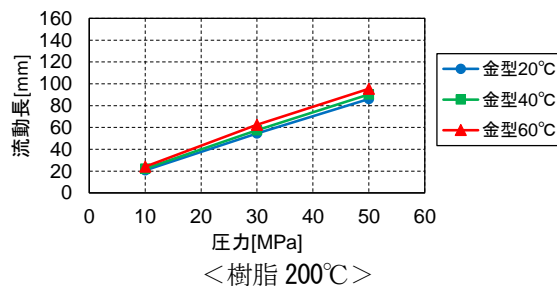


図5 流動長の比較 (金型材質M349)

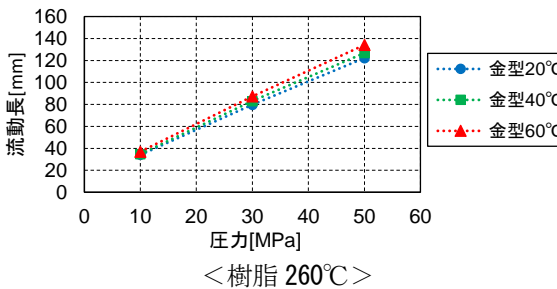
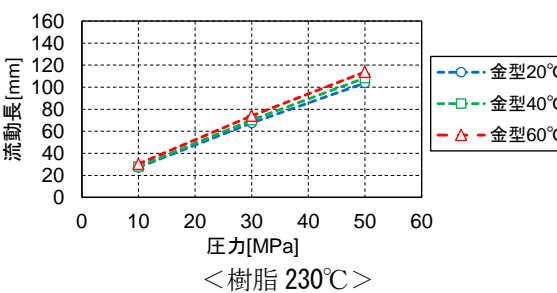
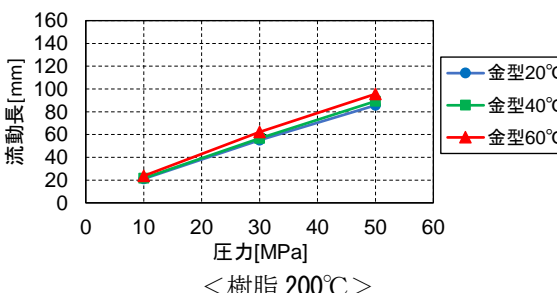


図6 流動長の比較 (金型材質Copper)

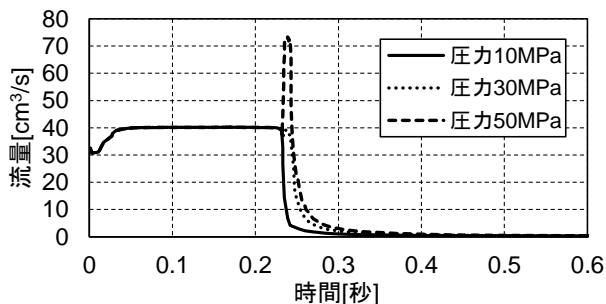


図7 樹脂温度230℃, 金型20℃, M349の射出流量

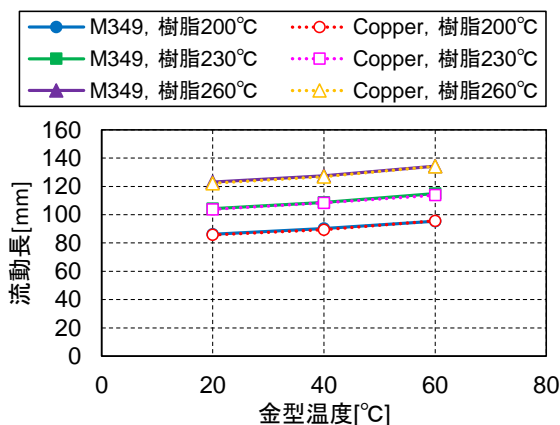


図8 金型材質と樹脂温度による比較 (圧力50MPa時)

表2 流動長の比較

樹脂温度 [°C]	金型温度 [°C]	流動長 [mm]		
		M349	Copper	差
200	20	86.1	85.7	0.36
	40	90.2	89.4	0.82
	60	95.4	95.7	-0.30
230	20	104.3	103.8	0.54
	40	108.7	108.3	0.40
	60	115.0	113.8	1.24
260	20	123.0	122.2	0.82
	40	127.5	126.9	0.55
	60	134.3	134.2	0.15

3.3 樹脂の流動長試験

①処理層の構造と熱物性

3.2 では、金型材質によって流動長に差が生じる条件が分かった。これを確認するため、処理層を成膜して流動長を調べる試験を行った。処理層として、既報^{2,3)}で用いた PTFE 粒子分散めっきを用いた。処理層は二層構造であり、下地に無電解ニッケルめっきを 10 μm、表層に PTFE 粒子分散めっき (粒子含有率 30~35% Vol) を 10 μm、合わせて 20 μm の厚さである。

処理層の熱物性として、熱拡散率 3.66 mm²/s である。これは処理層と厚さ 0.5 mm の SUS304 基材を含めた値である。SUS304 基材のみの熱拡散率は 3.85 mm²/s であるため、処理層を成膜することにより熱拡散率が 5% 低減した。測定には LFA467 Hyperflash (ネッチ・ジャパン株式会社) を使用した。

②流動長成形試験

図9に試験用金型を示す。金型の材質は NAK80 であり、入れ子を交換可能なつくりとなっている^{2,3)}。図10にキャビティと入れ子の処理層面の位置関係を示す。入れ子の処理層面は、キャビティの薄板部に位置する。入れ子を交換して処理層による流動長を比較した。成形試験には、ROBOSHOT α-S100iA (ファナック株式会社) を使用した。

射出条件は、シミュレーションから求められた条件を基に、処理層の耐熱性や汎用的な成形条件を加味し、樹脂温度 230℃、金型温度 40℃とした。樹脂溜まりを流速 50 mm/s で充填し、VP 切替後、薄板部を保圧による圧力で充填した。表3にこれらの条件を示す。圧力の影響を比較するため、保圧は 10, 50 MPa の2通りを設定した。図11に、処理層を成膜しない入れ子を用いて保圧 50 MPa で成形した際の射出圧とスクリュ速度のグラフを示す。

図12に保圧 50 MPa での流動長試験片を、表4に流動長の比較結果を示す。流動長は Smart Scope ZIP 300 (QVI 社) にて測定した。流動長は処理層を成膜したことにより、74.3 mm から 74.7 mm に 0.4 mm 増加した。保圧 10 MPa でも同様に、処理層を成膜したことにより 18.1 mm から 18.3 mm に 0.2 mm 増加した。これは、金型表面に処理層を設けたことにより、熔融樹脂が流れやすくなったことを示唆する。

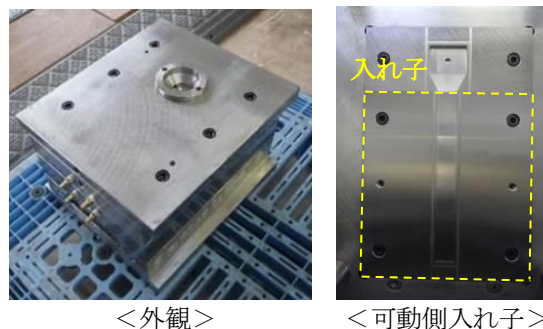


図9 試験用金型

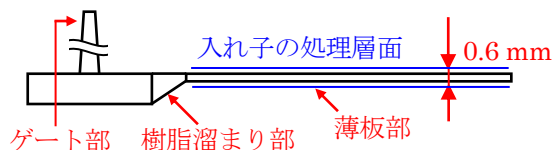


図10 キャビティと入れ子の処理層面の位置関係

表3 射出成形条件

項目	数値
樹脂温度	230 °C
金型温度	40 °C
保圧	10, 50 MPa, 20 秒
冷却時間	20 秒

表4 流動長の比較

保圧 [MPa]	流動長 [mm]		
	処理層なし	処理層あり	差
10	18.1	18.3	0.2
50	74.3	74.7	0.4

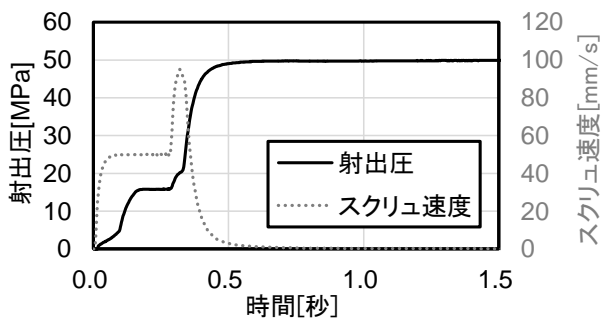


図11 射出成形時の射出圧とスクリュ速度

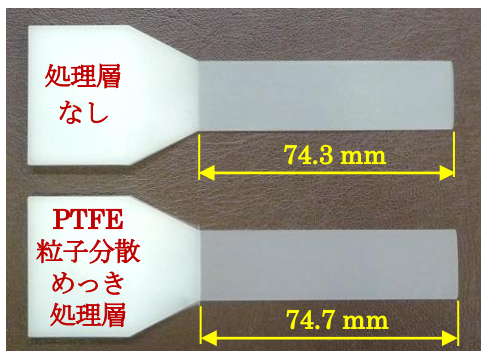


図12 流動長試験片の例（保圧50 MPa時）

3.4 転写性試験

①使用処理層

転写性試験のため、基材に溝を切削加工した。溝の寸法は幅0.5 mm、ピッチ0.5 mm、深さ0.2 mmであり、その上にフッ素樹脂の一種であるPFA皮膜を30 μm成膜した。図13に模式図を、図14にマイクروسコープ（KH-8700、株式会社ハイロックス）で観察した断面を示す。この溝はキャビティの長手方向に加工したため、成形した試験片の薄板部は、図15のように長手方向に同一の断面を示す。この処理層の熱物性は、厚さ2.0 mmのSUS304基材を含めて熱拡散率3.23 mm²/sとなり、SUS304基材の熱拡散率3.53 mm²/sと比較して5%の低減効果が得られた。

②転写性試験

成形条件は保圧10 MPaとし、樹脂温度を170℃、230℃の2通りに変更することにより樹脂温度による転写性を調査した。得られた成形品に対し、樹脂溜まり部から2 mm距離の薄板部をマイクローム（RX-860、大和光機工業株式会社）で100 μm程度の薄さに切り出し、マイクروسコープで観察した。図16、17に、樹脂温度170℃、230℃の結果を示す。

一般に樹脂温度は、転写性に大きく影響する。樹脂温度が低いと粘性が高いため、微細形状部まで樹脂が充填しにくくなる。反対に樹脂温度が高い場合には、金型により冷却される際の収縮が大きく金型との隙間が生じやすくなる。図16、17では、マイクロームで切り出した際のバリが散見されるものの、BおよびC部では、角部まで良好に充填することを確認できた。

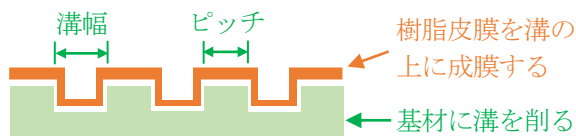


図13 溝皮膜の模式図

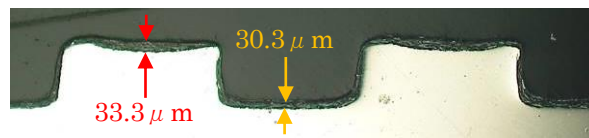


図14 溝皮膜の断面マクロ観察

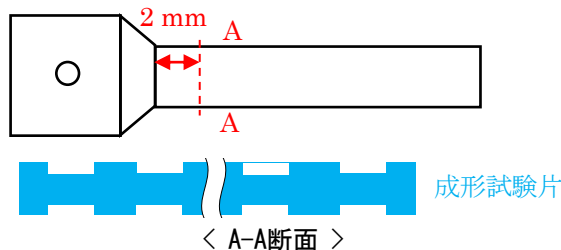


図15 溝皮膜試験片の断面模式図

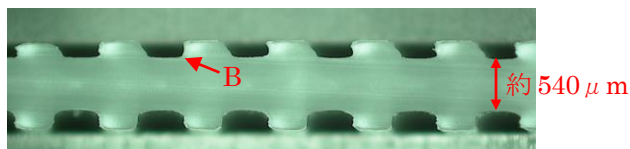


図16 断面形状（樹脂温度170℃）

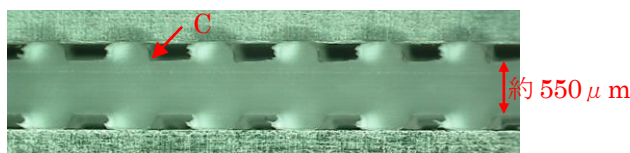


図17 断面形状（樹脂温度230℃）

4. まとめ

- ①樹脂流動シミュレーションを活用し、金型表面処理層による熱制御の効果が得られやすい射出成形条件を求めた。
- ②粒子分散めっき処理層を用いて樹脂の流動性試験を実施した結果、処理層により流動長が向上する効果を確認できた。
- ③樹脂温度を変更して転写性試験を行った結果、樹脂温度によらず、角部にまで良好に充填することを確認できた。

5. 参考文献等

- 1) 秋元, <http://www.cea.or.jp/document/z230803.pdf>
- 2) 谷萩ら, 茨城県産業技術イノベーションセンター研究報告第47号
- 3) 谷萩ら, プラスチック成形加工学会第26回秋季大会 予稿集