

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 5 月 23 日現在

機関番号：32407

研究種目：基盤研究(C) (一般)

研究期間：2014～2016

課題番号：26420056

研究課題名(和文) 電磁誘導加熱・樹脂流動制御射出成形金型によるフィラー充填樹脂成形品特性の改善

研究課題名(英文) Improving the Properties of Polymer Molded Products Containing Filler with Injection Mold Capable of Melt Flow Control and Induction Heating and Cooling

研究代表者

村田 泰彦 (MURATA, Yasuhiko)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号：00200303

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電磁誘導加熱・冷却金型内に、可動コアピンを用いて樹脂流動方向を制御できる樹脂流動制御機構を新たに設けた電磁誘導加熱・冷却流動制御射出成形金型を設計・製作し、本金型を用いて成形品の外観と機械的強度の両方の改善を試みた。本金型を長・短ガラス繊維強化ポリプロピレンの成形に適用し、その結果、電磁誘導加熱に加えて樹脂流動制御を行うことによって、成形品表面へのガラス繊維の露出が抑えられた平滑な面が得られること、成形品の曲げ強度が向上することなどの本金型の有効性を実証する結果が得られた。さらに、本金型をアルミフレーク充填樹脂に適用して、色むら状のウエルドラインが抑止できることも明らかにした。

研究成果の概要(英文)：In this study, we designed and developed an injection mold capable of melt flow control and induction heating and cooling by controlling the melt flow direction using a rotary core pin, and we attempted to improve the appearance and mechanical strength of the molded product. This mold was used for molding long and short glass fiber reinforced polypropylene. As a result, by controlling melt flow and induction heating, smooth surfaces with minimized projection of glass fibers to the molded product surface were obtained, and bending strength was found to improve, thus demonstrating the effectiveness of this mold. Furthermore, this mold was used for molding polypropylene containing aluminum flakes. It was clarified that weld lines with inconsistent coloring can be reduced by controlling the melt flow while heating the mold.

研究分野：プラスチック成形加工

キーワード：プラスチック 射出成形 金型 電磁誘導加熱 樹脂流動制御 ガラス繊維強化樹脂 アルミフレーク

1. 研究開始当初の背景

プラスチック製品には、高い機械的強度と意匠性が求められている。そこで、強度を向上させるためのガラス繊維や、また、無塗装で製品にメタリック塗装調の色彩をもたらすためのメタルフレークなどのフィラーを母材の樹脂の中に充填して成形が行われている。フィラー充填樹脂の射出成形では、金型内における樹脂流動の影響を受けて、フィラーが成形品内部で配向するために異方性が発現し、特に、ウェルドライン(以後、ウェルドと呼称する)生成部などでは、外観や強度の低下が起こることが問題となっている。著者らは、これまでに、電磁誘導加熱・冷却金型を設計・製作し、本金型をガラス繊維強化樹脂の成形に適用して、ウェルドが抑止できることや、成形品の表面性状が向上することを実証したり。しかし、ウェルド生成部における強度に改善がほとんど見られないことも明らかとなった²⁾。

2. 研究の目的

本研究では、電磁誘導加熱に加えて、可動コアピンを用いて樹脂流動制御を行なうことのできる新しい金型を設計・製作することを目的としている。そして、本金型を、長・短ガラス繊維強化ポリプロピレンの成形に適用した場合の、成形品の外観および機械的強度の改善効果や、また、アルミフレーク充填樹脂の成形に適用した場合の、ウェルド生成部に発生する色むらの抑止効果について検討を行うことを目的としている。

3. 研究の方法

3.1 成形プロセス

通常成形において2つのフローフロントが会合した際の、会合部におけるフィラーの配向状態を図1に示す。会合部には、ウェルドが生成し、かつ、(2)のような会合面に平行な方向に沿った局所的なフィラーの配向が形成される。その結果、会合部の外観が低下し、また、引張力や曲げ力に対して、会合部を起点とした破壊が起こりやすくなる。そこで、成形品の外観と強度の低下を抑止するための成形プロセスを図2に示す。まず、金型を加熱して樹脂の射出を行う。そして、フローフロントが会合した直後に片方からの流れを遮断し、一方向のみから樹脂を注入することで、会合面を突き抜けるような内部流動を生じさせる。これにより、会合面付近のフィラーをキャビティ面に平行な方向へと配向させて、外観と強度の向上をはかる。また、成形品表面近傍のアルミフレークの配向を制御し、色むら状のウェルドの抑止をはかる。

3.2 金型の基本構造

図2の成形プロセスを実現するために本研究で提案したフローフロント会合部における樹脂流動の制御方法(以後、流動制御と略記する)を図3に示す。流動制御方法として、

横井らの回転ランナ切替法³⁾を利用した。金型の加熱には、電磁誘導加熱を利用した。まず、金型を加熱し、樹脂の射出を行う。2点ゲートの長尺矩形キャビティ内に樹脂の充填が完了すると、ランナの途中に設けられた可動コアピンを90°回転させる。その結果、ゲートAからの樹脂流動が遮断され樹脂溜まりへの流路がつながり、保持圧力により引き起こされるゲートBからの補償流動によって、フローフロント会合部に強制的に内部流動が引き起こされる。それによりガラス繊維やアルミフレークなどのフィラーをキャビティ面に平行な方向に配向させる。

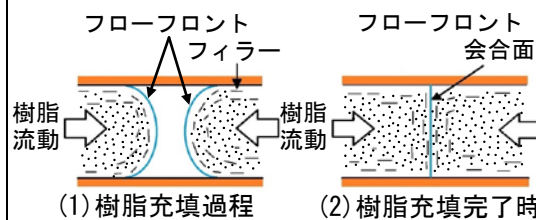


図1 通常成形のフローフロント会合部の状況

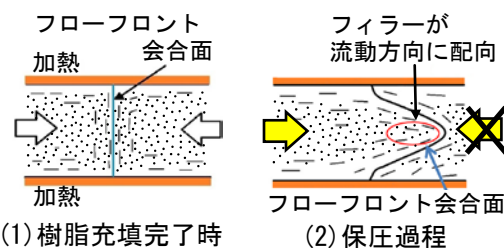


図2 成形プロセス

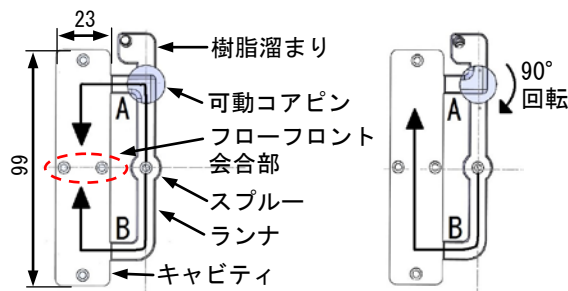


図3 樹脂流動制御方法(単位:mm)

図4と図5は、上記機構が組み込まれた電磁誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型の3Dモデルと外観を示している。電磁誘導コイルが挿入された加熱・冷却用入れ子が金型の固定側と可動側に設置されている。

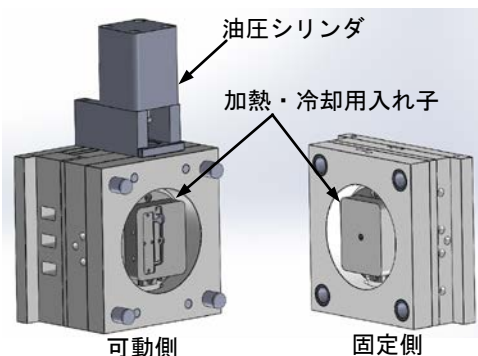


図4 電磁誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型の3Dモデル



図5 電磁誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型の外観

図6に可動コアピンの駆動方法を示す。可動コアピンの後部には、ピニオンギアとラックが組み込まれており、図4に示す油圧シリンダによりラックを上下に動かすことで、ピニオンギアに連結された可動コアピンが回転する。キャビティ入れ子と可動コアピンの外観を図7示す。入れ子の裏面に設けられた四角の溝に電磁誘導コイルが設置される。

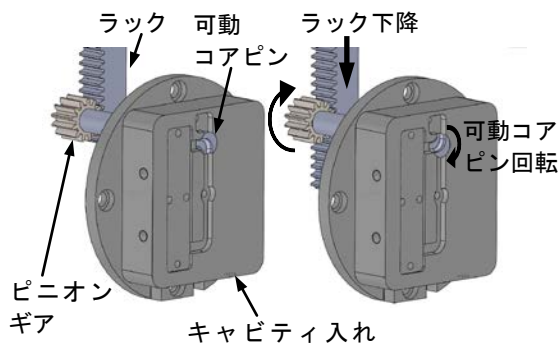


図6 可動コアピンの駆動方法

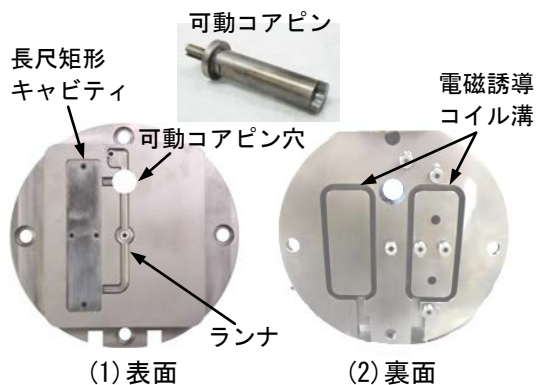


図7 キャビティ入れ子と可動コアピンの外観

3. 3 実験方法

(1) ガラス繊維強化ポリプロピレンの検討

電磁誘導加熱には、据置型誘導加熱装置 SK-NF002SA (株十王) を、冷却には、金型温度調節機 TYPE TA-32 (株シュトルツ) をそれぞれ使用した。実験に使用した成形機は、ROBOSHOT S-2000 i50A (ファナック株, 最大型締力 480kN) である。樹脂は、短ガラス繊維強

化ポリプロピレン SFGR-PP (プライムポリプロ E7000, ガラス繊維含有率 30wt%, プライムポリマー(株)) と、長ガラス繊維強化ポリプロピレン LFGR-PP (プラストロン PP-GF40-01, ガラス繊維含有率 40wt%, ダイセルポリマー(株)) を使用した。成形条件を表1に示す。両樹脂ともに、入れ子温度が 40°C 一定の通常成形と、40°C からそれぞれ 110°C, 130°C, 150°C まで加熱して、射出を行った後に 40°C まで冷却をする加熱・冷却成形をそれぞれ行った。さらに、それぞれの場合において、保圧開始から 0 秒, 0.8 秒, 1.6 秒後にそれぞれ樹脂流動制御を開始した場合について検討を行った。成形品の曲げ試験には、万能試験機 RTC-1225A (株オリエンテック) を、また、成形品の表面観察には、3D レーザ顕微鏡 VK-9700 (株キーエンス) を、さらに、成形品内部の繊維配向観察には、ナノフォーカス X 線検査装置 XD7600NT Diamond (ノードソン・アドバンスト・テクノロジー(株)) を使用した。

表1 成形条件

樹脂	SFGR-PP	LFGR-PP
加熱シリンダ温度 (°C)	240-250-250-230-50 [*]	220-240-240-230-50 [*]
金型温度 (°C)	①40 一定 ②40→110, 130, 150→40	
射出率 (cm ³ /s)	18.9	10.6
保持圧力 (MPa)	80	
保持時間 (s)	20	
流動制御開始時間 (s)	保圧開始後 0, 0.8, 1.6	

*) ノズル部-計量部-圧縮部-供給部-ホッパ下

(2) アルミフレーク充填ポリプロピレンの検討

成形条件を表2に示す。平均粒子径 10, 30, 60 μm のアルミフレークが、それぞれ 70wt% 充填された3種類のマスターバッチ NME010 T06, NME030T01, NME060T04 (東洋アルミニウム(株)) を用いた。それぞれのマスターバッチを、ポリプロピレン PP (J-750HP, プライムポリマー(株)) に 99:1 の割合で希釈して混合した。入れ子温度が 40°C 一定の通常成形と、40°C からそれぞれ 90°C, 100°C, 110°C まで加熱して、射出を行った後に 40°C まで冷却する加熱・冷却成形をそれぞれ行った。さらに、樹脂流動制御開始時間を変化させて検討を行った。

表2 成形条件

加熱シリンダ温度 (°C)	200-200-200-180-50 [*]
金型温度 (°C)	①40 一定 ②40→90, 100, 110→40
射出率 (cm ³ /s)	15.9
保持圧力 (MPa)	60
保圧時間 (s)	15
流動制御開始時間 (s)	保圧開始後 0, 0.8, 1.6

*) ノズル/計量部/圧縮部/供給部/ホッパ下

4. 研究成果

4. 1 長・ガラス繊維強化ポリプロピレンにおける検討

(1) 成形品の表面観察

短ガラス繊維強化ポリプロピレン成形品における流動制御を行った場合のフローフロント会合部の表面観察結果を図 8 に示す。(1)の 40°C の場合では、ガラス繊維が成形品表面に多く露出している。一方、(2)の加熱・冷却成形では、ガラス繊維の露出が抑えられ平滑な面が得られている。流動制御を行わない場合も同様の結果が得られた。長ガラス繊維強化ポリプロピレン成形品の表面観察結果を図 9 に示す。短ガラス繊維強化ポリプロピレンの場合と同様に、加熱・冷却成形において、ガラス繊維の露出が抑えられ、平滑な面が得られていることがわかる。

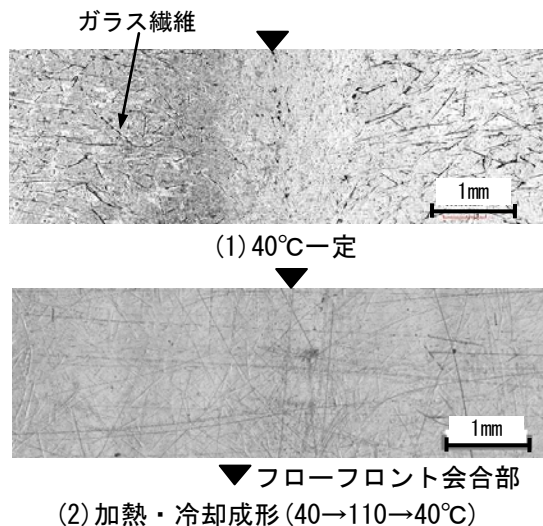


図 8 短ガラス繊維強化ポリプロピレン成形品の表面観察結果 (流動制御あり : 0 秒)

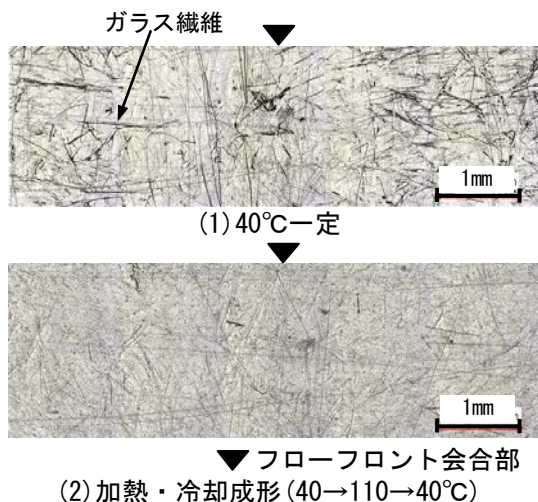


図 9 長ガラス繊維強化ポリプロピレン成形品の表面観察結果 (流動制御あり : 0 秒)

(2) 成形品の曲げ強度

各種成形条件の成形品において、曲げ試験を行って得られた短ガラス繊維強化ポリプロピレンの曲げ強度を図 10 に示す。流動制御を行わない 2 点ゲートの場合では、加熱・冷却の有無にかかわらず、1 点ゲートの場合に比べて、曲げ強度がはるかに低い。一方、流動制御を行った場合では、曲げ強度が

約 2 倍に向上している。さらに、加熱・冷却の有無に関わらず、保圧開始後 0 秒の場合のように、早く流動制御を開始した方が、曲げ強度が高くなっていることがわかる。長ガラス繊維強化ポリプロピレンの曲げ強度を図 11 に示す。流動制御を行った場合では、行わない場合よりも曲げ強度が約 3 倍まで向上しており、目標となる 1 点ゲートに近い値が得られることが明らかになった。また、長ガラス繊維強化ポリプロピレンでは、短ガラス繊維の場合と同様に、加熱・冷却の有無に関わらず、早く流動制御を開始するほど、曲げ強度が高くなることがわかる。さらに、長・短ガラス繊維強化ポリプロピレンでは、加熱温度の上昇に伴い、曲げ強度が若干低下する傾向が見られる。この原因として、加熱による樹脂の劣化や気泡の発生などが考えられる。このように、誘導加熱・冷却に加えて流動制御を行うことで、曲げ強度が大きく向上し、1 点ゲートに近い値が得られること、また、短ガラス繊維よりも、長ガラス繊維強化ポリプロピレンの方が、曲げ強度の改善効果が大きいことが明らかとなった。

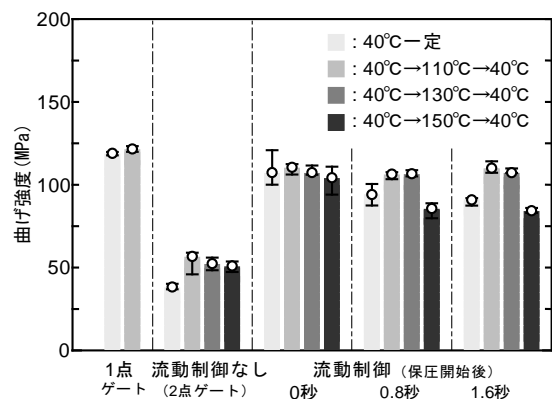


図 10 短ガラス繊維強化ポリプロピレン成形品の曲げ強度

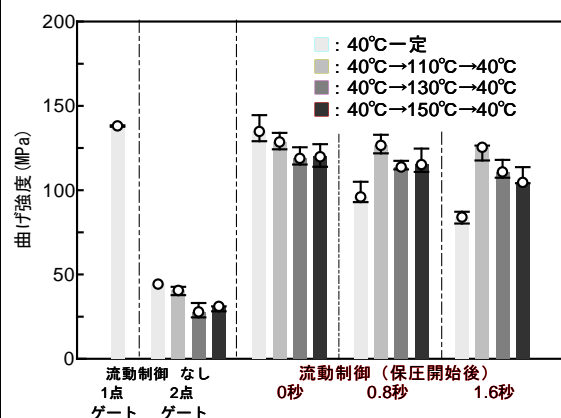
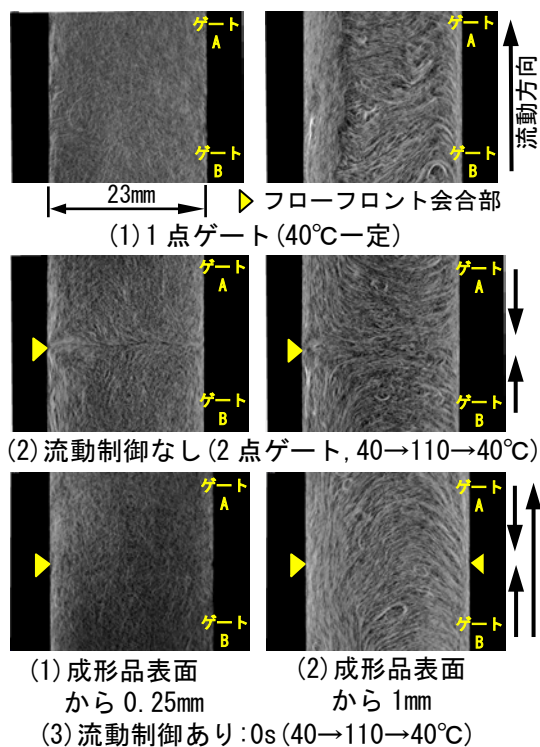
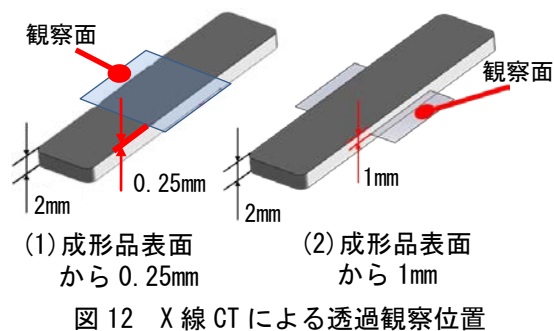


図 11 長ガラス繊維強化ポリプロピレン成形品の曲げ強度

(3) 成形品内部の X 線 CT 観察

成形品の曲げ強度とガラス繊維配向との関係を検討するために、X 線 CT を用いて、図 12 に示す成形品位置でのガラス繊維の透過

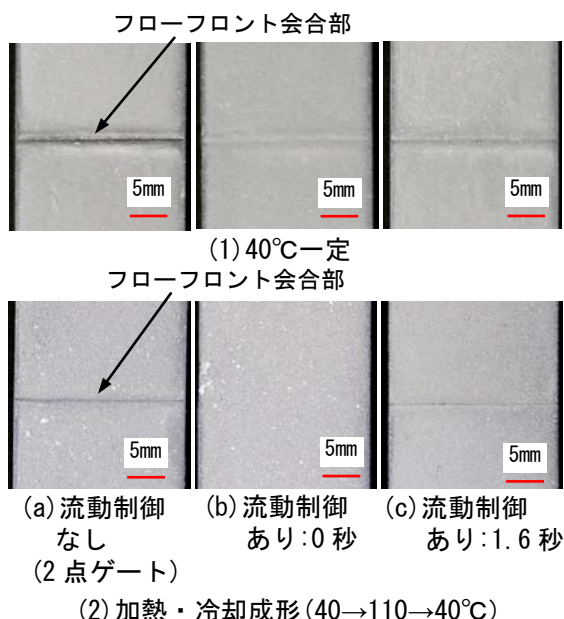
観察を行った。得られた 3D 画像の中から、成形品表面から 0.25mm と 1mm の位置(成形品厚さの中心)での断面画像を抽出して、ガラス繊維配向状態の検討を行った。長ガラス繊維強化ポリプロピレン成形品の観察画像を図 13 に示す。(2)の流動制御を行わない 2 点ゲートでは、0.25mm および 1mm の両断面ともに、成形品の両側部付近を除いたフローフロント会合部において、ガラス繊維が会合面に対して平行に配向している。一方、(3)の流動制御を行った場合では、1mm において、フローフロント会合面を突き抜けるような内部流動の跡が見られ、樹脂流動方向にほぼ平行に配向する繊維が多く観察される。曲げ力が作用する方向に対して垂直に沿った上記の配向の発現により、2 点ゲートの場合に比べて、曲げ強度が大きく増加したものと推察される。特に、(3)の配向状態は、(1)の 1 点ゲートの配向状態と類似しており、この類似性により、流動制御を行った場合に、1 点ゲートと同程度の曲げ強度が得られたものと推察される。



4.2 アルミフレーク充填樹脂の検討

本金型をアルミフレーク充填ポリプロピレンの成形に適用して、金型加熱や樹脂流動制御が色むら状のウェルドに及ぼす影響について検討を行った。平均粒子径 $10\mu\text{m}$ の成形品のフローフロント会合部付近を観察した結果を図 14 に示す。(1) (a) の 40°C の流動制御を行わない場合では、色むら状のウェルドが観察される。一方、(b) (c) に示すように、流動制御を行うことでウェルドが抑止され、特に、流動制御開始時間が早くなるほど抑止効果が大きい。(2) の加熱・冷却成形では、40°C の場合に比べてウェルドの抑止効果が大きく、保圧開始 0 秒において流動制御を開始した場合にウェルドが消失している。図 15 に平均粒子径を変化させた場合の結果を示す。(1) の 40°C では、粒子径の増加に伴いウェルドの抑止効果が高まっている。一方、(2) の加熱・冷却成形では、いずれの粒子径においても、ウェルドが抑止されている。

色むら状のウェルドを詳細に調べるために 3D レーザ顕微鏡により得られた、加熱・冷却成形における流動制御有無の場合の成形品表面の拡大観察結果を図 16 に示す。(1) の流動制御を行わない場合では、フローフロント会合部付近にアルミフレークが観察されていないことから、同部ではフレークが成形品表面に対して垂直に配向しているものと推察される。一方、(2) の流動制御を行った場合では、フレークが成形品表面全体に均一に分布している様子が観察され、流動制御によりフレークが成形品表面に平行に配向しているものと推察される。このように、加熱・冷却成形に加えて流動制御を行うことで、成形品の表面付近までせん断流動が引き起こされ、アルミフレークが成形品表面に沿って平行に配向し、その結果、フレーク表面での光の反射が均一になり、色むら状のウェルドが抑止されるものと推察される。



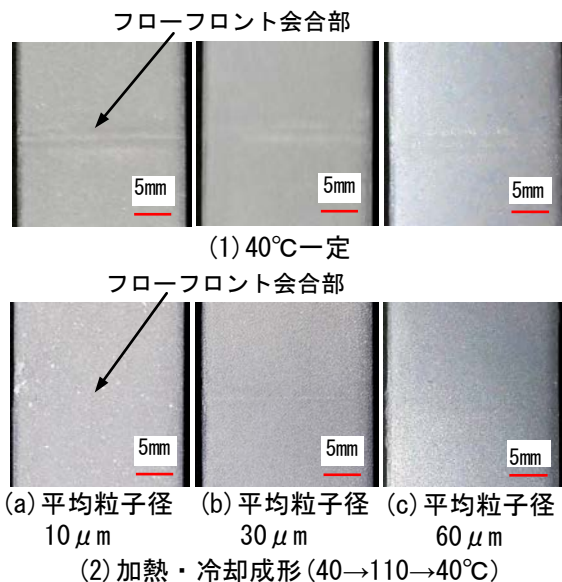


図 15 成形品のフローフロント会合部付近の観察結果(流動制御あり:0秒)

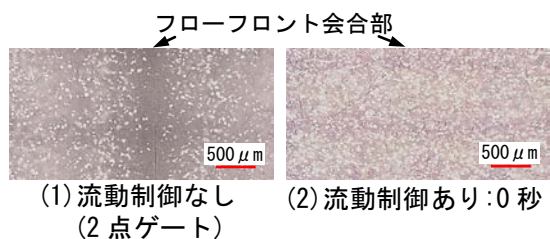


図 16 成形品のフローフロント会合部付近の拡大観察結果(40→110→40°C, 30 μm)

4.3 結論

本研究で得られた結論を、以下に列記する。

- ①電磁誘導加熱・冷却に加えて、可動コアピンを用いて樹脂流動制御を行える、電磁誘導加熱・冷却樹脂流動射出成形金型を設計・製作した。
- ②長・短ガラス繊維強化ポリプロピレンにおいて、電磁誘導加熱に加えて樹脂流動制御を行うことによって、成形品表面へのガラス繊維の露出が抑えられた平滑な面が得られることが明らかになった。
- ③樹脂流動制御を行うことによって、成形品の曲げ強度が向上することが明らかになった。特に、早めに樹脂流動制御を開始する方が、また、短ガラス繊維よりも長ガラス繊維強化ポリプロピレンの方が、曲げ強度の改善効果が大きいことが明らかになった。
- ④X線CT装置を用いて成形品内部のガラス繊維配向状態の観察を行った。その結果、樹脂流動制御によりフローフロント会合部界面を突き抜けるような内部流動が発生し、それにより、会合部においてガラス繊維が流動方向へと配向する様子が観察された。そして、この配向状態の発現によって、会合部における曲げ強度の向上が引き起こされることが明らかになった。
- ⑤アルミフレーク充填ポリプロピレンの成形で発生する色むら状のウェルドが抑止

できること、特に、金型加熱温度の上昇に伴い、また、樹脂流動制御の開始時間が早くなるに伴い、さらに、アルミフレークの平均粒子径の増加に伴い、その抑止効果が向上することが明らかになった。

以上のように、本金型による金型加熱と樹脂流動制御が、フィラー充填成形品の外観や強度に及ぼす影響について実証的に明らかにすることができた。

【参考文献】

- 1) 村田泰彦, 木野賢太郎, 飛田広樹, 赤池拓也, 横田太平: 精密工学会誌, 75 巻, 3 号, 407 (2009)
- 2) 小池正佳, 福田圭宏, 小林昌平, 姜衛昌, 村田泰彦: 成形加工シンポジウム' 10, 113 (2010)
- 3) 横井, 金藤: 成形加工シンポジウム' 96, 131 (1996)

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表] (計 6 件)

- ① 畑山司沙, 鈴木秀和, 檜山拓也, 村田泰彦, 柏木章吾, 誘導加熱・冷却樹脂流動制御金型による光輝材充填樹脂成形品外観の改善, 2017 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2017 年 3 月 14 日, 慶應義塾大学(日吉キャンパス)
- ② 鈴木秀和, 村田泰彦, 檜山拓也, 畑山司沙, 柏木章吾, 誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型の開発ー(第 2 報) 長ガラス繊維強化ポリプロピレンの検討ー, 2016 年度精密工学会秋季大会学術講演会, 2016 年 9 月 6 日, 茨城大学(水戸キャンパス)
- ③ 鈴木秀和, 伊藤 満, 向山一平, 村田泰彦, 誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型、型技術者会議 2016, 2016 年 6 月 22 日, 大田区産業プラザ Pi0(東京都・大田区)
- ④ 鈴木秀和, 伊藤 満, 向山一平, 村田泰彦, 柏木章吾, 誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型による成形品特性の改善 II ー長ガラス繊維強化ポリプロピレンにおける検討ー, 成形加工' 16, 2016 年 6 月 14 日, タワーホール船堀(東京都・江戸川区)
- ⑤ 鈴木秀和, 福田博幸, 伊藤 満, 向山一平, 村田泰彦, 柏木章吾, 誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型の開発, 2016 年度精密工学会春季大会学術講演会, 2016 年 3 月 16 日, 東京理科大学(野田キャンパス)
- ⑥ 鈴木秀和, 福田博幸, 伊藤 満, 向山一平, 村田泰彦, 柏木章吾, 誘導加熱・冷却樹脂流動制御射出成形金型による成形品特性の改善, 成形加工シンポジウム' 15, 2015 年 11 月 3 日, 福岡大学

6. 研究組織

(1) 研究代表者

村田 泰彦 (MURATA, Yasuhiko)

日本工業大学・工学部・教授

研究者番号: 00200303