PBT 複合フィラー系を用いた射出成形品の変形挙動と配向評価

道 井 貴 幸^{*1}・山 部 昌^{*1}・青 木 現^{*2}・久 保 田 豊^{*2}

Deformation Behavior and Anisotropy of Injection Molded PBT Composites

Michii, Takayuki^{*1}/Yamabe, Masashi^{*1}/Aoki, Gen^{*2}/Kubota, Yutaka^{*2}

The addition of fillers, which come in various sizes and shapes, provides an effective means for improving various properties of plastics. In injection molding of fiber-filled plastics, warpage is often caused by anisotropic shrinkage due to filler orientation. Generally, to decrease warpage, particulate fillers are used in place of fibers, however, mechanical properties (modulus and strength) may suffer.

In the research reported in this paper, the warpage behavior using glass fibers and flakes and the anisotropic shrinkage at ribbed sections were examined. We have clarified the following: 1) Warpage decreases with decreasing fiber content. 2) The amount of warpage in fiber filled composites was unrelated to the rib-thickness. However, in glass flake-filled composites, rib-thickness depended strongly on the glass flake content. 3) The glass flakes, which were very small compared to the glass fibers, had a much smaller aspect ratio, and acted more like particulate fillers with minimal anisotropic shrinkage. 4) The relationship between the anisotropy and filler type and orientation was empirically determined.

Key words : Composite filler/Injection molding/Warpage deformation

1. 緒 論

現在、プラスチック材料の改質や物性向上のために種々の大きさ（ミリメートル～ナノメートルオーダー）や形状（繊維状、板状や球状など）のフィラーを複合させる方法が用いられている¹⁾。プラスチックの主たる成形法である射出成形では、ベースポリマーとなる熱可塑性樹脂に200～300 μm程度の繊維状フィラー（ガラス短繊維など）をあらかじめペレットに複合させる方法により、FRTP（短繊維強化熱可塑性樹脂）として使用されることが多い。これにより、射出成形の成形性などメリットを損なわずに高強度・高弾性率を得ることが可能となる。このとき、成形プロセスで繊維が樹脂流動の影響を受けて一定方向に引き揃えられる配向現象により、機械的性質や成形収縮に方向

性（異方性）を有することは良く知られている^{2)～5)}。

一方、射出成形品ではそり変形などの形状不良が発生する場合がある。そり変形は成形品の寸法精度を著しく低下させるため、そのメカニズムの解明は工業的にも重要な課題となっている。射出成形品のそり発生メカニズムは、さまざまな研究により成形品各所や板厚方向に生じた不均一収縮が主要因であるとされている^{6)～7)}が、成形品形状や材料によってその支配的な因子が異なる。先に述べたFRTPでは、繊維配向による異方性発現がそりの助長を招くことがある⁸⁾。

著者らはこれまで、比較的そりが発生しやすいとされるリブ付き平板を用いて、繊維の有無やゲート位置による繊維配向状態とそり発生メカニズムの関係について検討してきた^{9)～11)}。その結果、繊維含有時には非強化グレードに比べてそり量が増加することがわかった。これは成形品の平板部とリブ部で繊維配向状態が違ふことで、繊維配向に起因する収縮異方性の程度が異なったことが原因である。さらに言えば、リブ部の配向強さが高かったことがリブ部凸への変形を助長した主要因であると報告した。ここで、ガラス繊維充填系において収縮異方性の要因となる強化効果を定量的に評価する方法の提案を行ったところ、ガラス繊

^{*1} 金沢工業大学 高度材料科学研究開発センター
白山市八東穂 3-1 石川ソフトリサーチパーク内 (〒924-0838)
Kanazawa Institute of Technology
3-1, Yatsukaho, Hakusan 924-0838, Japan

^{*2} ポリプラスチック(株)
Polyplastics Co., Ltd
2005. 2. 16 受理

維充填系のそり発生メカニズムについては本方法で説明することが可能となった¹²⁾。

フィラーの配向による収縮異方性が主要因となる上記のような場合のそり対策として、一般的にはフィラーのアスペクト比を1に近づける¹³⁾，すなわち，ビーズなどの球状フィラーを用いる方法がとられているが，高強度・高弾性率といった複合化によるメリットが著しく損なわれてしまう．そこで，本研究では繊維配向による異方性発現の抑制が期待できるガラス繊維/ガラスフレーク複合系（以下，複合フィラー系と略記）をあらたにそり低減が期待できる材料として提案する^{14)~15)}．この場合のそり変形挙動（方向や量）を明らかにし，種々の材料配合におけるそり発生メカニズムをフィラーの配向や形態から検討する．

2. 供試材料および成形品形状，そり量測定

2.1 供試材料および配合比

供試材料には，ポリブチレンテレフタレート（ポリプラスチック㈱製）の非強化グレード DURANEX[®]2002（以下，PBT と略記）をベースポリマーとした．樹脂に複合するガラスフィラーには，PBTの繊維強化グレード DURANEX[®]3300（以下，PBT-GF と略記）に用いられるガラス繊維（直径：13 μm，プリペレタイズ長：平均 3 mm）と，りん片状のガラスフレーク（平均厚さ：5 μm，プリペレタイズ径：粒度 2.0 mm 以上が 6% 以下，2.0~0.5 mm が 74% 以上，0.5 mm 以下が 20% 以下）の 2 種類である．これらをフィラーの総含有率 30 wt% を固定値として，表 1 に示すように配合比を変化して 5 種類の材料（TEST 1~5）を作成した．材料の混合には，二軸押出機（㈱日本製鋼所製 TEX 30-C）を用いた．

ガラス繊維のみを 30 wt% 含有した PBT-GF を TEST 1 とし，ガラスフレークのみを 30 wt% 含有したものを TEST 5 とした．また，2 種類のフィラー（ガラス繊維，ガラスフレーク）が複合されたものを TEST 2~4 とし，複合フィラー系と定義した．

2.2 成形品形状および成形条件

成形品は図 1 に示すように，200 mm×50 mm の平板の長手方向両端に高さ 4 mm のリブを設けたリブ付き平板形状である．成形品板厚は平板部を 2 mm とし，リブ部を 2

Table 1 Composition of test materials

	TEST 1	TEST 2	TEST 3	TEST 4	TEST 5
PBT	70	70	70	70	70
Glass Fiber	30	15	10	5	—
Glass Flake	—	15	20	25	30
Total	100	100	100	100	100

Total filler contents : 30 wt% (Unit : wt%)

Fig. 1 Shape of Test piece

mm（平板部と同様），4 mm（平板部の 2 倍）の 2 種類を変動因子とすることでそり変形挙動の評価対象とした．リブ厚みの変更は金型の中子を入れ替えることで可能である．ゲートは成形品端部（短辺側）から射出するサイドゲートを使用し，樹脂の流動方向を把握しやすいようにした．

成形には射出成形機（日本製鋼所製 J 180 E II-SP）と水温調機を用いた．成形条件を表 2 に示す．

2.3 成形品のそり量測定

ガラス繊維，ガラスフレークそれぞれの配合比や成形品形状（今回の取り組みではリブ厚み）が成形品のそり変形挙動にどのような影響を与えるかを把握するため，各成形品に発生したそり量を測定した．

2.3.1 そり量測定方法

フィラー配合比（TEST 1~5），リブ厚み（2 mm，4 mm）の組み合わせが異なる計 10 条件の成形品について，そり量の測定を行った．図 2 に示すように，そり評価位置である成形品長手方向の一端を 10 等分割し，その端点を含む 11 点での変位量を読み取り顕微鏡で測定した¹⁶⁾．成形品長手方向の両端（測定位置 1 と 11）を測定の基準点（変位量 0）とし，端点以外の 9 点（測定位置 2~10）について基準面からの変位量を測定した．成形品長手中心部付近にピークを持つ比較的単純な変形であるため，各測定点のうち最も変位量大きい位置の値をそり量とした．また，平板部凸のそりをプラス方向，リブ部凸のそりをマイナス方向のそりと定義した．測定精度を確保するため，各条件について 3 つのサンプルの測定を行い，その平均値を測定結果とした．

2.3.2 そり量測定結果

そり量測定結果を図 3 に示す．図中の縦軸をそり量，横軸をフィラー含有率 30 wt% のうちのガラスフレーク含有率（0 wt% を TEST 1，30 wt% を TEST 5）とした．まず，リブ厚み 2 mm 成形品ではガラスフレーク含有率の増加に伴ってそり量の低下が見られ，TEST 5 ではそり量はほぼ 0 となった．この場合では，全成形品がマイナス方向（リブ部凸）のそりを示した．これに対し，リブ厚み 4 mm 成形品ではガラスフレーク含有率の増加とともにそり量が低下し，TEST 3 でそり量がほぼ 0 となった．ガラスフレーク含有率をさらに増やすと，プラス方向（平板部凸）のそりへ変化した．ガラスフレーク含有率の増加に伴うそり量の変化は，図中で示したように多項式（非線形）近似できる．

Fig. 2 Mensuration of deformation

Table 2 Molding conditions

Cylinder temperature (°C)	250
Mold temperature (°C)	60
Injection velocity (cm ³ /s)	37.5
Holding pressure (MPa)	69.5
Injection time + Holding time (s)	10
Cooling time (s)	20

Fig. 3 Measurement result of deformation

3. そり変形挙動の評価と変形メカニズムについて

前章では各成形品のそり量を測定し、フィラー配合比を変化させたときのそり変形挙動について明らかにした。ガラスフレーク含有率とそり量の関係は成形品形状（リブ厚み）によって大きく異なることから、各配合についてリブ厚みとそり量の関係に着目してそり発生メカニズムを考察した。

3.1 そり量のリブ厚み依存性

図3に示したそり量の測定結果について、リブ厚みとそり量との相関を材料ごとに整理したものを図4に示す。そり変形挙動の検証用として、PBTとPBT-GF（TEST1）についてはリブ厚み1.2mmを追加した3水準からそり変形挙動を評価した¹⁷⁾。PBTではリブ厚みを変化するとマイナスのそりからプラスのそりへとほぼ線形に変化し、リブ厚みが2.4mm程度でそり量が0となることが推測できる。このことは、リブ厚みの変更によってそり対策が可能であることを示している。TEST1（PBT-GF）では、リブ厚みによってそり量がほとんど変化しなかった。

TEST2～5では、ガラスフレーク含有率が増加するに従って、リブ厚みに対する感度（図中の直線勾配）が大きくなることが確認できた。

3.2 そり変形挙動と変形メカニズム

そり量のリブ厚依存性から、フィラー充填系におけるそり発生メカニズムは以下のように因子を分けて考えることができる。

①ベースとなるポリマーが変形の要因となる場合¹⁸⁾

図4に示すPBTのそり変形挙動からも推測できるように、平板部とリブ部での冷却速度差がそりを決定する。PBTでリブ厚み2.0mm以下（1.2mm, 2.0mm）の場合、リブ部は平板部より急冷される。このとき、平板部はリブ部より収縮量が大きいためにマイナス（リブ側凸）のそりが生じたものと考えられる。また、リブ厚み2mmの場合でもリブ部における単位体積あたりの冷却面（金型に接触している面積）が大きいため、同様のそり発生メカニズムで説明できる。これに対して、リブ厚み4mmの場合では、リブ部が徐冷されるためにリブ部の収縮量が大きく

Fig. 4 Relation warpage and rib-thickness

なり、プラス（平板側凸）のそりが生じたと考えられる。

②フィラー充填によるベースポリマー量の低下が要因となる場合

①で記述したポリマーの成形収縮差による変形に対して、充填したフィラー含有率の分だけ変形要因が低減する。これはポリマーの体積収縮に対してガラスフィラーは収縮抑制効果を示すと考えられるためである。ただし、②は充填したフィラーが球形の場合に限定される。

③フィラー配向に起因する収縮異方性が変形の要因となる場合

アスペクト比を有するフィラー充填系では多くの研究によって明らかにされているように、フィラーの配向方向に収縮異方性が生じる¹⁹⁾。PBT-GFに関して検討した前報においても、そり方向における収縮差がそり発生メカニズムであると説明している²⁰⁾。本研究で用いたフィラー（ガラス繊維、ガラスフレーク）はアスペクト比を有しているので、フィラー配向などを起因とする収縮異方性を評価する必要がある。

4. フィラーによる収縮異方性の評価

前章で示した①～③の因子のうち、①はPBTのそり量として認識できる。②については、フィラー充填系（30wt%）の全成形品で一定値を取り、樹脂の体積収縮率は低下する。そり変形挙動の変化を説明するには③のフィラー配向に起因する収縮異方性を実験から明らかにする必要がある。ここでは、配向角分布やフィラー形態から収縮異方性を検討した。

4.1 各材料系についてのフィラー配向観察

ガラス繊維系（TEST1）、複合フィラー系（TEST2～4）、ガラスフレーク系（TEST5）について、フィラー配向状態の観察を行う。複合フィラー系については配向状態の大まかな把握を目的とし、TEST3のみについて観察を行った。

4.1.1 配向観察方法

フィラー配向観察は、TEST1, 3, 5のそれぞれについて行った。観察には、SEM（株式会社TOPCOM電子ビームサービスマン製 ABT-32）を用いた。観察位置は図5に示すよう

Fig. 5 Observation position for filler orientation

に、成形品センター付近の平板部（リブ近傍）とリブ部の計2箇所とした。まず、サンプルの板厚方向（板厚2.0 mm）を図5のように100 μm ごとに20分割し、金型コア側からキャビティ側へ1~20と付番した。本報では、このうち1, 6, 10, 15, 20層目に相当する計5層（図中、Layer 1~5）の中央面を観察面（図中の破線）として、フィラー配向観察（観察倍率50倍）を行った。

4.1.2 配向角分布の評価結果

観察結果から配向角分布を評価した。定量評価するために画像解析ソフトを用いて、観察面における各フィラー（ガラス繊維、ガラスフレーク）の平面長さおよび配向角を求めた。画像解析には画像計測処理ソフトImage Tech[®] UVS Light Ver 1.20（Keio Electronic Ind. Co., Ltd）を用いた。本ソフトウェアでは、2値化した観察画像から各フィラーの平面長さと配向角を計測する。配向角 θ は図6のように成形品長手方向を 0° 、成形品長手直角方向を -90° と 90° として $-90^\circ \leq \theta < 90^\circ$ とした。また、2値化画像にはサンプル作製時の研磨傷やノイズ等が含まれてフィラーと混同することを避けるため、画像解析結果から50 μm 以下と認識されたものを除去した。

図7にリブ厚み2 mm成形品での配向角分布を示す。それぞれ図中左側からTEST 1, TEST 3, TEST 5について、上側に平板部、下側にリブ部の配向角分布を示している。リブ厚み2 mm成形品（図7）では、層間で配向強さ

は異なるものの全観察箇所ではほぼ成形品長手方向に配向していた。リブ厚み4 mmでも同様に成形品長手方向に配向していることが確認された。この結果、ガラス繊維（TEST 1）、ガラスフレーク（TEST 5）ともに成形品長手方向に配向することが明らかにできた。また、複合フィラー系（TEST 3）においてはそれぞれが相互に配向を妨げることなく、TEST 1とTEST 5の単一フィラーの場合と同様の配向分布を示すことがわかった。この結果から配合比を変化した場合のそり変形挙動は、ガラスフレークを含有したことで繊維配向方向が変化したことによるものではないことが確認できた。

4.2 複合フィラー系でのフィラー形態について

前項で、ガラスフレーク/ガラス繊維比率が変化しても配向角分布にはほとんど影響しないことが明らかになった。複合フィラー系において、フィラー配向による収縮異方性を説明するにはそれぞれ含有したフィラー形態の違いを検討しなければならない。ここでは、複合フィラー系（TEST 3）についてフィラーそれぞれの大きさや形状を評価することにより、フィラー形態を明らかにした。

4.2.1 フィラー形態の評価方法

ペレットに複合されたフィラー（ガラス繊維、ガラスフレーク）の形態を評価するため、まず、樹脂部を溶解した。樹脂の溶解方法は、 300°C の高温で亜臨界状態になった水を用いてPBTの加水分解を促進させる方法を用いた。このとき、エステル結合のみならず、その他の結合エネルギーが低い部分も分子鎖が切断されることにより、フィラーと樹脂の分離が可能となる。溶液をシャーレに移して乾燥させた後、光学顕微鏡（キーエンス製VH-5000）で観察した。

観察はそれぞれフィラーの大きさが異なったことから、倍率をガラス繊維100倍、ガラスフレーク500倍で行った。観察サンプル数をそれぞれ1000本とし、ガラス繊維は繊維長、ガラスフレークはフレーク径と縦横比（短軸/長軸）を評価項目とした。フィラー形態の評価には、配向角分布の場合と同様に画像計測処理ソフトImage Tech[®] UVS Light Ver 1.20（Keio Electronic Ind. Co., Ltd）を用いた。

Fig. 6 Definition of filler orientation angle

Fig.7 Evaluation of orientation distribution (Rib thickness : 2 mm)

Fig.8 Filler size in composite filler (Glass fiber and Glass flake)

4.2.2 フィラー形態の評価結果

TEST3のペレットについて、フィラー形態（繊維長、フレーク径とフレークの縦横比）の評価結果を図8、図9に示す。ガラス繊維長とガラスフレーク径を比較すると、図8に示すように繊維（最大で1000 μm 程度）に比べてフレークは1/5程度（最大で200 μm 程度）の大きさで分布していることがわかった。さらに、ガラスフレークの縦横比を評価した結果（図9）で短軸/長軸が0.5を中心とする分布を示すことから繊維のアスペクト比（繊維長（200～400 μm ）/繊維の直径（13 μm ））より十分に小さいことがわかった。この結果から今回用いたガラスフレークは径が小さく、かつ、縦横比も0.5と十分に小さいことから、ビーズのような球状フィラーに近い作用が得られたことで

Fig.9 Probability density of ellipse in glass flake

異方性低減に寄与したのではないかと考えられる。

5. 収縮異方性とそり発生メカニズム

前章では、各フィラーの配向角分布やフィラー形態から収縮異方性を個々に検討した。ここでは、配向観察やフィラー形態の分析から考えられる収縮異方性について、総合的かつ定量的に評価しようと試みた。

5.1 フィラーに起因する収縮異方性の定量評価

フィラー配向に起因する収縮異方性は、複合則で代表されるようにフィラー含有率やフィラーの配向状態などによって決定される。著者らはその定量評価手法について提案を行ってきた²¹⁾。ここでは、フィラー径の異なる2種類のフィラーを用いた複合フィラー系についても同様の手法

が適用可能であるか検討した。

5.1.1 定量評価方法

フィラー配向に起因する収縮異方性を検討する場合、フィラーの配向状態や含有率、形態を考慮すべきと考えた。特に、今回用いた複合フィラー系では、フィラー径や縦横比が繊維と大きく異なることから配向角分布のみで説明することは不可能である。充填したフィラー（ガラス繊維、ガラスフレーク）に起因する収縮異方性の評価には、フィラー配向状態とフィラー径（繊維長、フレーク径）の両方を表す指標が必要となる。その指標をフィラー複合効果（Filler Effect）と呼び、そり変形要因である成形品の不均一収縮に対してのフィラーによる影響、すなわち「樹脂の成形収縮抑制に対するフィラーの寄与度」と限定したうえで評価した。

フィラー複合効果は画像解析により求めた各フィラーの「フィラー径（平面長さ）と配向角」から算出することができる。図10に示すように、各フィラー径について配向角 θ に対する余弦（X：成形品長手方向）と正弦（Y：成形品長手直角方向）を求めて、各方向について成分を総和する。この場合の一例として、成形品長手方向におけるフィラー複合効果を算出する式を(1)式に示す。長手直角方向については正弦を求めればよい。

$$FillerEffect = \sum_{n=1}^i l_n \cos \theta_n \quad (\mu m) \quad (1)$$

l_n ：n番目のフィラーの粒径（繊維長，フレーク径）

θ_n ：n番目のフィラーの配向角

フィラー複合効果が大きい場合、樹脂の成形収縮抑制に対するフィラーの寄与度が大きいため収縮量は小さくなる。それに対し、フィラー複合効果が小さい場合、フィラーによる収縮抑制効果が小さいため収縮量が大きくなる。

5.1.2 定量評価結果

図11、図12にそれぞれリブ厚み2mm、リブ厚み4mmのフィラー複合効果を示す。それぞれ図中左側からTEST1、TEST3、TEST5について、上側に平板部、下側にリブ部のフィラー複合効果を示している。図中の凡例で、X

Fig. 10 Definition of filler effect

とYはそれぞれ成形品長手方向と成形品長手直角方向を示している。

リブ厚み2mmの場合（図11）、ほぼ全箇所成形品長手方向に配向していたことからわかるとおり、成形品長手方向のフィラー複合効果が大きい。また、成形品長手方向と成形品長手直角方向の比ではTEST1がもっとも高くなっており、収縮異方性が発現しやすいものと考えられる。これに対し、TEST5では成形品長手方向と成形品長手直角方向の比が1に近く、フィラー複合効果も小さかった。リブ厚み4mmの場合（図12）では、3層目を除けばリブ厚2mmの場合と同様の結果が得られている。3層目のフィラー複合効果が高いのは、樹脂の流動過程においてフローフロントに生ずる伸張力により、フィラーが配向したためと考えられる。このため、TEST5では観察面に対して垂直な配向となり、みかけ上の本数（式中のn）が増えて高い値になったと考えられる。リブ厚み2mmでは、同様の配向状態ではあるもののそれほど観察面に対して垂直ではなかったためにそのような現象が確認されなかったと考える。

5.2 複合フィラー系におけるそり発生メカニズム

成形品でのフィラー配向観察結果から、複合フィラー系においてガラスフレークが繊維の配向挙動を妨げるような作用はないことを明らかにした。また、ペレットにおけるフィラー形態分析から、繊維に対してガラスフレークが非常に小さく、かつ、フィラーの縦横比が十分に小さいことが材料自体の異方性発現を抑制するとわかった。このことがリブ付き平板の平板部とリブ部の間でフィラー配向に起因する成形収縮差を生じにくくさせているものと考えられる。

これらの結果から、TEST1からTEST5へとフィラー配向に起因する異方性が小さくなる、すなわち、等方収縮へ近くなることが予測できる。先に述べた①～③のうち、③の「フィラー配向に起因する収縮異方性」が小さくなることで、相対的に①が大きく作用することが考えられる。このため、ガラスフレーク含有時には図4で示したような「そり量のリブ厚依存性」が見られたと考える。このことは、ガラスフレーク含有率の増加にしたがってPBTの直線勾配に近づいたことから確認できる。

6. 結 論

本研究では、短繊維強化プラスチックに生じる異方性発現の抑制が期待できる複合フィラー系を研究対象とし、種々の配合比の成形品についてそり量の測定を行った。さらに、それぞれの材料系におけるフィラー配向やフィラー形態を実験から明らかにし、その発生メカニズムを検討した。これらの取り組みにより、以下のことがわかった。

- (1) ガラス繊維系（TEST1）、複合フィラー系（TEST2～4）、ガラスフレーク系（TEST5）の各成形品についてそり量を測定した結果、ガラス繊維系の場合はリブ厚みに関係なくマイナスのそりが発生した。ガラスフレーク系では、リブ厚みの変化に伴ってそり方向が変化した。このリブ厚みによってそり方向やそり量に変化する性質（そり量のリブ厚み依存性）は非強化グレードのPBTに見られ、そり発生メカニズムを検討するうえで非常に特徴的なことから本研究での着目点

Fig. 11 Evaluation of filler effect (Rib thickness : 2 mm)

Fig. 12 Evaluation of filler effect (Rib thickness : 4 mm)

とした。

- (2) TEST 1, TEST 3, TEST 5 について成形品センター付近の平板部とリブ部それぞれのフィラー配向を観察した結果、主とする配向方向はすべて成形品長手方向となった。この結果からガラスフレークを混練しても配向方向に大きな影響を与えないことを明らかにした。
- (3) フィラー形態（フィラー径、フレーク楕円度）の分析

結果から、繊維に比べてガラスフレークは 1/5 程度の大きさしかない。さらに、ガラスフレークの楕円度（短軸/長軸）は 0.5 をピークとする分布を示すことからガラスフレーク自体による異方性発現は非常に小さいといえる。

- (4) フィラー配向に起因する収縮異方性を定量的に評価するための式を複合フィラー系についても適用した。そ

の結果、繊維のみの場合に比べてガラスフレーク含有率が増加するに従い、等方性に近づく。さらに、フィラー複合効果そのものの値が小さくなったことから、フィラー配向に起因する収縮異方性よりベースポリマーの変形要因が相対的に大きくなって「そり量のリブ厚依存性」が見られたと考える。

以上の結果から、複合フィラー系ではガラスフレーク含有により「フィラー配向に起因する収縮異方性」を低減させた。このことはフィラー充填系として一定の高強度・高弾性率を保持しながら、非強化グレードのようにリブ厚み変更などのそり対策が有効となることを示している。複合フィラー系における配向メカニズムについて大まかな把握ができたが、今後さらに定量的な評価を行うためにはフィラー（ガラス繊維、ガラスフレーク）間での配向相互作用を明らかにする必要がある。

参 考 文 献

- 1) 相馬 勲, 永田貝也, 野村 学: 初歩から学ぶフィラー活用技術—二十一世紀の素材を創る—, 13(2003), (工業調査会)
- 2) プラスチック成形加工学会編: テキストシリーズプラスチック成形加工学Ⅱ 成形加工における移動現象, 193 (1997), (シグマ出版)
- 3) 小林正俊, 滝本淳一, 小山清人: 成形加工, 7(9), 590 (1995)
- 4) 前川善一郎: 成形加工, 7(1), 57 (1995)
- 5) 佐野村幸夫: 日本複合材料学会誌, 27(3), 161 (2001)
- 6) 高野菊雄: 現場のプラスチック成形加工シリーズわかりやすい実践射出成形, 213 (1995), (工業調査会)
- 7) 瀬戸雅宏, 山部 昌: 成形加工, 13(12), 812 (2001)
- 8) 山下勝久, 野々村千里, 山田敏郎: 成形加工, 13(6), 400 (2001)
- 9) 大塚弘己, 望月智仁, 大須賀晴信: 成形加工, 13(2), 102 (2001)
- 10) 山部 昌, 大塚弘己, 亀田隆夫, 瀬戸雅宏, 道井貴幸: 成形加工, 14(11), 695 (2002)
- 11) 道井貴幸: 金沢工業大学大学院工学研究科 修士論文
- 12) 道井貴幸, 瀬戸雅宏, 山部 昌, 大塚弘己: 成形加工, 16(7), 470 (2004)
- 13) 菊池博之, 小山清人: 成形加工, 5(2), 129 (1993)
- 14) 久保田 豊, 青木 現, 道井貴幸, 山部 昌: 成形加工 '04 年次大会予稿集, VII101, 339 (2004)
- 15) 道井貴幸, 山部 昌, 久保田 豊, 青木 現: 成形加工 '04 年次大会予稿集, VII203, 367 (2004)
- 16) 小林博行, 大塚弘己, 大須賀晴信: 成形加工 '00 年次大会予稿集, E 210, 279 (2000)
- 17) 道井貴幸, 瀬戸雅宏, 山部 昌: 第 20 回 SMD 研究会予稿集 (2000)
- 18) 高野菊雄: 現場のプラスチック成形加工シリーズわかりやすい実践射出成形, 117 (1995), (工業調査会)
- 19) 大柳 康: ポリマープロセッシング・レオロジー入門, 61 (1996), アグネ承風社
- 20) 道井貴幸, 瀬戸雅宏, 山部 昌, 大塚弘己: 成形加工, 16(7), 472 (2004)
- 21) 道井貴幸, 瀬戸雅宏, 山部 昌, 大塚弘己: 成形加工 '01 シンポジウム予稿集, A 107, 21 (2001)