

機関番号：33302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2009年度～2010年度

課題番号：21760103

研究課題名(和文)

導電性射出成形品の電気的特性制御を目的とした銅メッキ繊維の配向制御手法の確立

研究課題名(英文)

Establishment of orientation control techniques of copper plating fiber for electrical property improvement in injection molding

研究代表者：瀬戸 雅宏 (Seto Masahiro)

金沢工業大学・ものづくり研究所・講師

研究者番号：90367459

研究成果の概要(和文)：

本研究では銅メッキ繊維を用いた導電性射出成形品に着目した。粘度の異なる2種類の樹脂にメッキ繊維を含有して体積抵抗率を測定した結果、成形中のせん断応力が高い材料はメッキ繊維が強く配向するため、体積抵抗率が高くなることが分かった。また、成形条件によっても体積抵抗率および電界シールド効果に変化し、せん断応力と相関があることを明らかにした。このことからメッキ繊維を含有した射出成形品の導電性は、せん断応力によって制御できることがわかった。

研究成果の概要(英文)：

In this study, the electrically conductivity injection molded article that used the copper-plated fiber was focused. As a measurement result of volume resistivity in the electrically conductive injection molded article, the material which was high shear stress during injection molding showed high volume resistivity because of the plated fiber turns to the molding direction by the resin flow. In addition, we clarified that the volume resistivity and effect of electro-magnetic interference sealed were related to the flow induced shear stress. These results indicate that the electrical conductivity of injection molded article can be controlled from shear stress during injection molding.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2009年度	1,700,000	510,000	2,210,000
2010年度	900,000	270,000	1,170,000
年度			
年度			
年度			
総計	2,600,000	780,000	3,380,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・生産工学・加工学

キーワード：射出成形，導電性フィラー，導電性プラスチック，配向制御，電気的特性

1. 研究開始当初の背景

コンピュータに使われている CPU やメモリ、ハードディスクなど精密電子部品は、運搬中の振動や静電気により、機械的および電

氣的損傷を招く場合がある。精密電子部品を振動や静電気から守るため、運搬には個々の精密電子部品の形状に合わせた、樹脂製の専用トレイが使用されている。

このトレイには、静電気を拡散させて帯電を防止することを目的として、トレイに導電性や静電気拡散性を付与させるために樹脂材料に導電性フィラーを含有させた材料を用いて成形されている。

また、テレビや電子レンジなどの家電製品や医療用機器、電気自動車等の駆動モータなどは、その内部から電磁波が発生している。この電磁波は、人体や周辺機器に悪影響を及ぼす場合があり、その対策が重要となっている。近年では製造コストや意匠の観点からこれらの電子機器の筐体には樹脂材料が多く利用されており、電磁波シールドの目的としても導電性フィラーを含有した樹脂材料によって成形されるようになってきた。

導電性樹脂材料に使用される導電性フィラーとして、カーボン系としてはカーボンブラックやカーボンナノチューブ、金属繊維系としては鉄や銅、ステンレスが用いられるが¹⁾、高い導電性能を発現させるためには、樹脂材料に多くの導電性フィラーを含有させる必要がある。しかし、樹脂材料にこれらの導電性フィラーを多く含有させると、射出成形時において様々な成形不良の発生原因や、製品の重量の増大、材料コストの上昇につながる問題がある。そのため成形現場や製品の設計現場では、少ない導電性フィラーで高い導電性能を発現できることが望まれている。

2. 研究の目的

樹脂材料に静電気拡散性能を付与するためには、図1に示すように体積抵抗率が $10^{12} \Omega \text{cm}$ 以下に、電磁波シールド性能（導電性能）を付与させるためには $10^5 \Omega \text{cm}$ 以下にする必要がある。この性能を発現させるためには樹脂材料に前述の導電性フィラー（炭素繊維、カーボンナノチューブ、金属繊維など）を含有させた材料が用いられ、その多くは、射出成形法で製品が成形されている。筆者らは、金属繊維系の導電性フィラーではなく、図2に示すような、直径 $11 \mu\text{m}$ の有機繊維に銅メッキを施したメッキ繊維フィラーに着目した。メッキ繊維フィラーは、金属繊維系導電性フィラーに比べて比重が小さいため、成形品の重量を軽くできる。さらに、これまでに実施してきたメッキ繊維フィラーを用いた射出成形品の電気的特性評価試験の結果、図3に示すように金属繊維系導電性フィラーよりも少ない含有量で高い導電性能（低い体積抵抗率）を発現できることがわかった。またこの原因は、メッキ繊維は有機繊維にメッキ処理を施しているため柔軟で

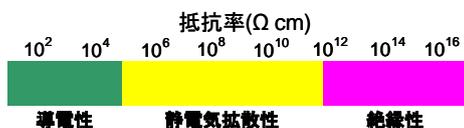


図1 抵抗率と電気特性



図2 めっき繊維の構造

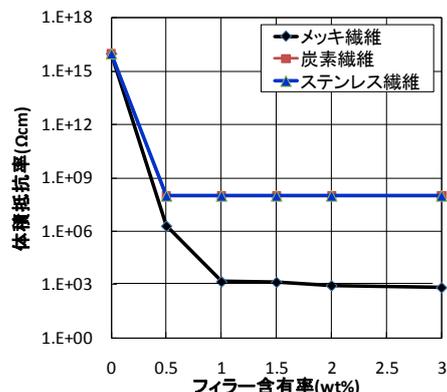


図3 繊維含有率と体積抵抗率の関係

あり、成形品内部でメッキ繊維同士の絡み合いによって通電パスができやすいためであることが分かってきた^{2), 3)}。

射出成形法は、金型内における樹脂流動によって、分子鎖や強化繊維が流れ方向に配向することが知られている。このことから、射出成形中の樹脂流動挙動を制御することによってめっき繊維の配向を制御でき、その結果成形品の電気的特性（体積抵抗率）を制御できると考えられる。射出成形品の分子配向制御や繊維配向制御に関する研究は、Willeyら⁴⁾や奥田ら⁵⁾、安原ら⁶⁾によって検討されているが、導電性射出成形品の電気的特性制御を目的とした研究報告は少ない。

本研究では、樹脂材料や射出成形時における成形条件（樹脂温度や樹脂流速、金型温度等）とメッキ繊維の配向状態を定量的に関連付け、さらにメッキ繊維の配向状態に着目した成形品の電気的特性（抵抗率および電磁波シールド性能）の発現メカニズムを解明し、成形条件によって成形品の電気的特性を制御する手法の確立を目的とする。

3. 研究の方法

プラスチック製品の代表的な成形方法である射出成形法は、高温高粘度の樹脂を高速で金型内に流し込み形作る成形方法である。このとき金型は約 40°C 程度に保たれており、成形品の形状を腑形するとともに高温の樹脂を冷却する役割を持っている。一方、樹脂材料は図4に示すように、温度とせん断ひずみ速度によって粘度が変化する非ニュートン流体である。そのため、樹脂が金型キャビティ面に接した瞬間から冷却が始まり、図5

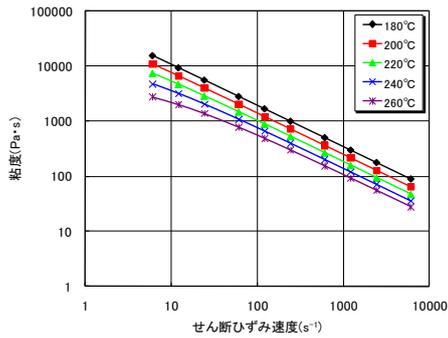


図4 樹脂の粘度特性

に示すように固化層が形成され、金型の冷却にともなってキャビティ面近傍の樹脂流速が遅くなり、成形品板厚方向で流速分布ができる。この樹脂流速分布（速度勾配）によって、成形品板厚方向にせん断ひずみ速度分布が生じ、(1)式で表されるせん断応力が生じる。ここで、 η は樹脂粘度、 $\dot{\gamma}$ はせん断ひずみ速度である。筆者らのこれまでの研究により、成形品板厚方向の分子配向度分布は、(1)式で表される樹脂流動時のせん断応力によって配向し、せん断応力から分子配向度の分布を予測できることを示してきた⁷⁾。

$$\tau = \eta(\dot{\gamma}, T) \cdot \dot{\gamma} \quad \dots (1)$$

成形品板厚方向の速度勾配は図5に示すように、固化層と流動層の境界（固液境界層）で最も高くなるため、せん断応力も同様に固液境界層で高くなる。本研究で対象としているメッキ繊維の配向についても、分子鎖と同様に射出成形中の樹脂流動によって発生するせん断応力によって配向し、特に図6に示すように固液境界層で繊維が強く配向すると考えられる。このことから、固化層の成長速度および樹脂流速、樹脂温度を制御することによってめっき繊維の配向を制御することが可能と考えている。

本研究では、メッキ繊維の配向に影響を与えると考えられるせん断応力を、材料や射出成形条件（射出速度、樹脂温度、金型温度など）によって変化させ、メッキ繊維の配向状態に与える影響を検討するとともに、せん断応力と成形品の電気的特性を定量的に調査した。

樹脂流動中のせん断応力を実験的に求めるためには、金型内における樹脂流速分布を計測する必要がある。東京大学の横井らは、金型内の樹脂流動を直接観察し成形不良現象の解明などの研究を精力的に進めている⁸⁾。著者らも、射出成形中の金型内における樹脂流動挙動を観察するため、横井らが行った可視化観察手法を応用し、金型の一部に観察用のガラスブロックを設置した金型を設計し研究を進めてきた。この金型は図7に示すよ

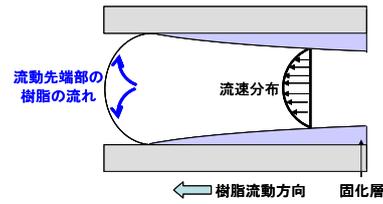


図5 固化層成長と流速分布

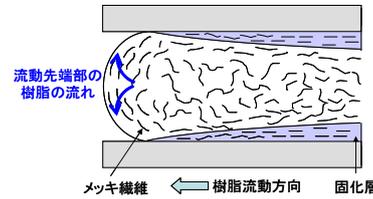


図6 めっき繊維の配向挙動

うに撮影に必要な光源シートにして入れ、金型内のプリズムで光の向きを直角にかえてキャビティに垂直照射する。一方、金型右側面には高速度カメラを設置し金型内の樹脂流動を撮影できる構造となっている。本研究においても、せん断応力は可視化金型を用いて実験的に評価する予定であったが、メッキ繊維の影響によって樹脂流動を詳細に観察することが困難であった。そのため、可視化金型では、樹脂流動中のメッキ繊維の配向挙動を高速度カメラで観察するし、せん断応力の評価に関しては、射出成形 CAE を用いて算出し、成形品の電気的特性との比較を行った。

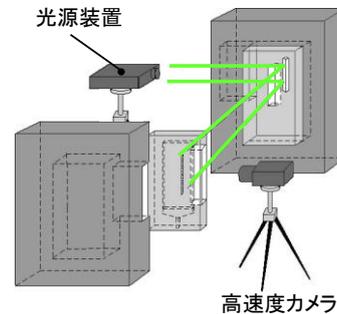


図7 可視化の原理

4. 研究成果

(1) 材料の違いによる導電性への影響

前述したように、メッキ繊維の配向に影響を与えるせん断応力は、射出成形時の樹脂流動にともなうせん断ひずみ速度および樹脂材料の粘度によって変化する。本節では、粘度特性の異なる樹脂材料2種類を用いて、メッキ繊維を含有した成形品を成形し、導電性に与える樹脂材料の影響と導電性発現メカニズムについて述べる。

① 供試材料および成形条件

成形品の成形に使用した材料は汎用樹脂であるポリプロピレン (PP: 日本ポリプロ製, ノバテック G03B) とエンジニアリングプラス

チックであるポリカーボネート (PC: 住友ダウ製, カリバー303-22) であり, 電動サーボ射出成形機 (東洋機械金属製, Si180-III) にて表 1 に示す成形条件およびメッキ繊維含有率で成形した. 成形品形状は図 8 に示すように, 4 点ゲートで成形された 150mm×150mm×1mm の平板である.

表 1 成形条件

樹脂	射出率 (cm ³ /s)	樹脂温度 (°C)	金型温度 (°C)	繊維含有率 (wt%)
PP	12.6	220	30	0.0,0.5,1.0,
PC	85.0	290	70	1.5,2.0,3.0

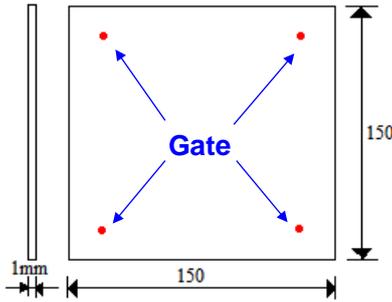


図 8 成形品形状

② 導電性に与える樹脂材料の影響

導電性射出成形品の電気的特性評価として成形品の体積抵抗率を測定した. 体積抵抗率測定の際は, 図 8 に示す成形品を 100mm×100mm に切り出した後, JIS K6911 に準拠した円形の電極をスクリーン印刷を用いて銀ペーストを塗布し, 室温 20°C, 湿度 60% で 12 時間以上乾燥させてから測定を行った. 測定にはデジタル超高抵抗計 (ADVANTEST R 8340A) を使用した.

図 9 に体積抵抗率の測定結果を示す. 測定の結果, PP および PC とともにメッキ繊維の含有率を高くすると体積抵抗率が低くなり, 導電性が高くなることが分かった. また, 材料で比較すると PC よりも PP の方が体積抵抗率は低くなっており, 樹脂材料によって体積抵抗率が異なることが確認できる. この原因は, 樹脂の粘度特性の違いによって, 樹脂流動時

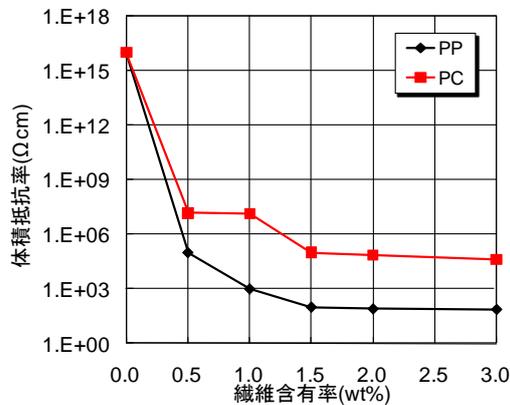


図 9 樹脂の違いによる体積抵抗率の比較

に発生するせん断応力が異なるために, メッキ繊維の配向状態が樹脂材料によって変化したためと考えられる.

③ 導電性発現メカニズム

PP および PC において体積抵抗率に差が生じた原因を考察するため, メッキ繊維含有量 3wt% の成形品についてメッキ繊維の配向状態を観察した. メッキ繊維の配向観察にはデジタルマイクロSCOPE (キーエンス製, VHX-500) を使用した. また配向状態を定量化するため, 図 10 に示すように配向角を定

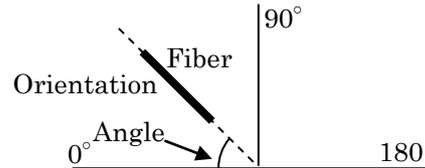


図 10 繊維配向角の定義

義し, 観察写真を画像処理することにより各配向角における繊維量を相対度数で表した.

図 11 に PP および PC の成形品表面における繊維配向観察結果を示す. めっき繊維の配向観察の結果, PC では 135° ~145° 方向に繊維の配向が集中しており, 流動方向に強く配向していることがわかる. 一方, PP では 5° ~45° の方向 (流動直角方向) に配向していることが確認できるが, PC と比較すると配向は弱く, 配向状態はほぼ均一であることがわかる. メッキ繊維の配向観察結果と図 9 に示す体積抵抗率の測定結果を比較すると, 繊維が強く配向している PC では体積抵抗率は高く, 均一に配向している PP では体積抵抗率が低くなっている. これは図 12 に示すように, PP では比較的ランダムにメッキ繊維が配向しているために, 繊維同士の接点が多く存在して体積抵抗率は低下するが, PC ではメッキ繊維が平面的に引き揃えられて繊維間に樹脂が入り込むため, 繊維同士の接点が増したために, 体積抵抗率が高くなったと推察される.

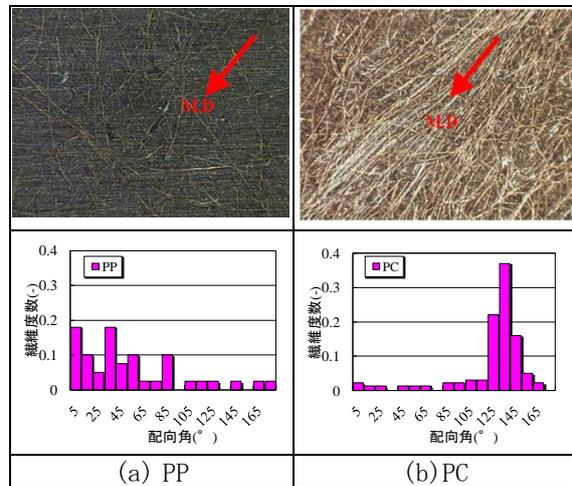


図 11 メッキ繊維配向観察結果

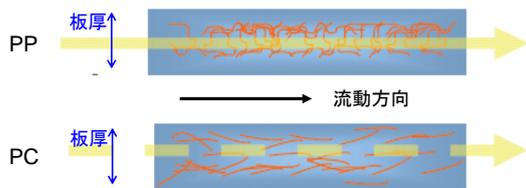


図 12 メッキ繊維配向の模式図

また、メッキ繊維の配向状態とせん断応力の関係の評価するため、樹脂流動解析により成形中のせん断応力を評価した。樹脂流動解析には、3D TIMON(東レエンジニアリング製, ver. 7.4)を使用し、解析モデルを成形品板厚方向に5層分割し、スキン層、ミドル層、コア層のせん断応力を評価した。せん断応力の評価位置は、ゲートから成形品中心方向に15mmの位置である。成形品各層におけるせん断応力の時間変化を図13に示す。メッキ繊維の配向が弱いPPではせん断応力は成形品板厚方向全層にわたって弱く、メッキ繊維が流動方向に強く配向しているPCでは、板厚方向各層のせん断応力が高いことが確認できる。このことより、メッキ繊維の配向は樹脂流動によって発生するせん断応力が大きく影響していることが明らかとなった。

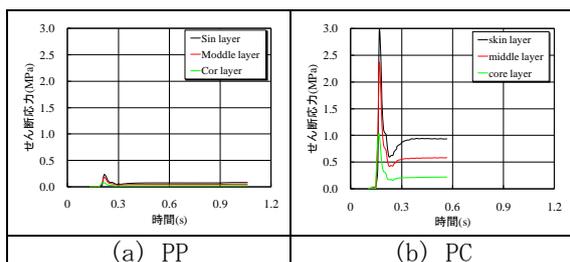


図 13 せん断応力の時間変化

(2) 成形条件の違いによる導電性への影響

前節では、成形品の導電性に与える樹脂材料の影響について考察し、樹脂流動中のせん断応力が高いPCの方がメッキ繊維は強く配向し、体積抵抗率が高くなること明らかにした。本節では、成形条件によってせん断応力を制御し、成形品の導電性に与える影響を検討し、電気的特性の制御方法について考察する。

① 供試材料および成形条件

本実験では、前節でも述べたように樹脂流動時のせん断応力が高いPCを用いた。成形条件は表2に示すように、成形中のせん断応力を意図的に変化させるために樹脂温度および射出率をそれぞれ3水準変化させた。成

表 2 成形条件

樹脂	樹脂温度 (°C)	射出率 (cm ³ /s)	金型温度 (°C)	繊維含有率 (wt%)
PC	275	85	70	0.0,1.0, 3.0,7.0
		85		
	290	125		
		163		
	315	85		

形は前節と同様、電動サーボ射出成形機(東洋機械金属製, Si-180III)を使用した。

② 導電性に与える成形条件の影響

射出成形時の成形条件を表2のように変化させ、成形中のせん断応力を意図的に変化させて体積抵抗率を測定した。測定箇所はゲート近傍および流動末端付近である。体積抵抗率の測定結果を図14に示す。測定の結果、成形条件によっても体積抵抗率が変化しているが、成形品の場所によっても体積抵抗率が大きく変化することがわかった。

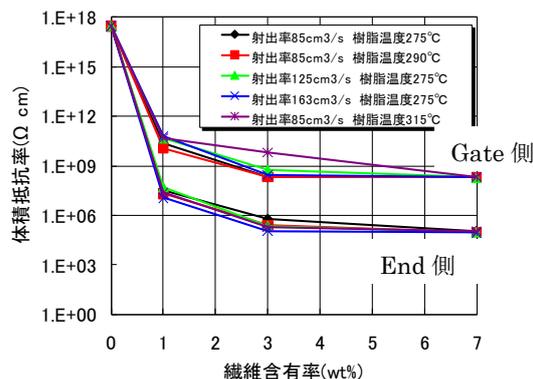


図 14 成形条件の違いによる

体積抵抗率の変化

また、成形品の電界シールド特性をプラスチックシールド材料評価装置(ADVANTEST TR17301A)を用いて測定した。その結果、図15に示すように樹脂温度が高く、射出率が低い条件で電界シールド効果が高いことがわかった。これは、樹脂温度が高く、射出率が低い条件では、樹脂流動中のせん断応力が小さく、メッキ繊維の配向が弱いために通電パスが多く形成され、導電性が向上したためと推察される。また、メッキ繊維を用いた導電性射出成形品の電界シールド効果は、低周波数域では高いものの、高周波数域では低くなることがわかった。

図16は、樹脂流動解析により算出したせん断応力と体積抵抗率および電界シールド効果を比較した図である。この結果からせん

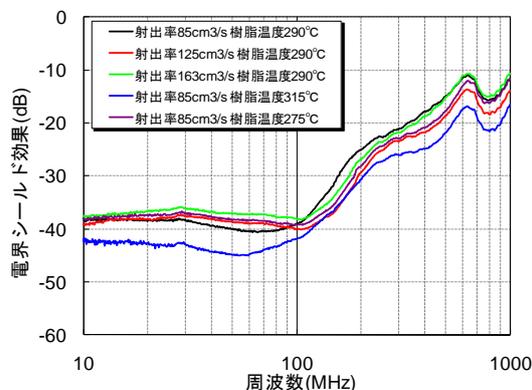


図 15 電界シールド効果の測定結果

断応力と体積抵抗率および電界シールド効果には相関関係がみられ、せん断応力が高くなると体積抵抗率が高くなり、電界シールド効果も低くなることが明らかとなった。これらの結果は、成形中のせん断応力によって電気的特性が任意に制御できることを示唆している。

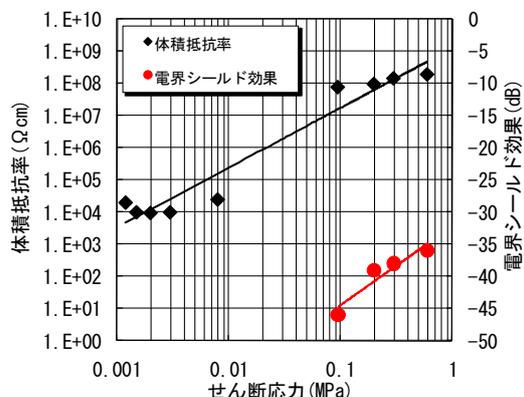


図 16 せん断応力と体積抵抗率・電界シールド効果の関係

(3) まとめ

銅メッキ繊維を導電性フィラーとして含有した導電性射出成形品の導電性に与える樹脂材料および成形条件の影響を詳細に検討した。その結果、樹脂材料によって体積抵抗率が異なることが明らかとなった。この原因を調査した結果、樹脂材料によって樹脂流動時に発生するせん断応力が異なり、メッキ繊維の配向状態に違いが生じたためであることがわかった。また、成形品内の場所によっても樹脂流動時に発生するせん断応力が異なり、体積抵抗率および電界シールド特性が変化することがわかった。樹脂流動時に発生するせん断応力と体積抵抗率および電界シールド特性の関係について検討した結果、これらには相関関係がみられ、せん断応力によって導電性を制御できることが分かった。

(4) 今後の課題

本研究では、JIS K6911 に準拠し、スクリーン印刷によって銀ペーストを成形品表面に塗布して体積抵抗率を測定した。そのため成形品内の平均的な体積抵抗率を測定している。しかし、本研究を遂行している中で、樹脂流動方向および流動直方向、板厚方向それぞれの体積抵抗率を測定した結果、成形条件によって体積抵抗率に異方性が生じることが明らかとなった。特に成形品板厚方向の体積抵抗率は、メッキ繊維が板厚方向に配向したいため、流動方向や流動直方向と比較して極端に高いことがわかった。以上のことから、メッキ繊維を用いた導電性射出成形品における体積抵抗率の異方性低減ならびに板厚方向にメッキ繊維を配向させ、体積抵抗

率を低減させる成形プロセスの開発が新たな課題となった。

【参考文献】

- 1) フィラー活用技術, 相馬勲 永田員也 野村学, 工業調査会, 55(2003)
- 2) めっき繊維を用いた導電性樹脂の電気的特性評価, 平子知 高木陽一 瀬戸雅宏 他, 成形加工シンポジウム'07, 47-48(2008)
- 3) めっき繊維を用いた導電性樹脂の電気的特性の評価, 平子知 瀬戸雅宏 高木陽一 他, 成形加工'08, 71-72(2008)
- 4) Orientation control in injection molding, Willey S J Ulmer A S, Soc. Plast. Eng. Annu. Tech. Conf., 44, 173-177(2003)
- 5) 繊維強化樹脂成形品の繊維配向制御, 奥田敏昭, 高分子加工, 41, 95-101(1992)
- 6) CNT 含有射出成形における繊維配向制御, 安原鋭幸 榎本和城 他, 塑性加工連合会講演論文集, 54, 317-318(2003)
- 7) 射出成形品に生ずる物性値分布予測手法の検討(2)～射出成形中の板厚方向の樹脂流速分布と分子配向度の関係～, 瀬戸雅宏 田中克 佐藤和人 山部昌, 成形加工, 14, 671-677(2002)
- 8) レーザによる金型内樹脂流動の可視化, 横井秀俊 稲垣幸秀, 中西博之, 成形加工'90, 143-146(1990)

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2件)

1. 中村翔, 瀬戸雅宏, 中島健太, 打越伸一, 山部昌: メッキ繊維を用いた導電性樹脂射出成形品における電気的特性の異方性: 成形加工'11, 2011年6月22日, タワーホール船堀(東京), 発表予定
2. 瀬戸雅宏, 中島健太, 打越伸一, 山部昌: メッキ繊維を用いた導電性射出成形品の電気的特性, 成形加工シンポジウム'10, pp.101-102, 2010年11月13日, 神戸大学(神戸)

[その他]

研究代表者:

瀬戸雅宏所属研究室のホームページ

<http://www2.kanazawa-it.ac.jp/yamabe/>

6. 研究組織

(1) 研究代表者

瀬戸 雅宏 (Seto Masahiro)

金沢工業大学・ものづくり研究所・講師
研究者番号: 90367459