

## 科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年 6月12日現在

機関番号：33302

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2011年度～2012年度

課題番号：23760120

研究課題名（和文）

射出成形品板厚方向の機能発現を目的とした充填材配向制御手法の開発

研究課題名（英文）

Development of filler orientation control techniques for improvement function in the thickness direction of injection molded part

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）：

銅めっき繊維の配向制御方法として射出発泡成形に着目した。発生ガス量の異なる2種類の化学発泡材を検討した結果、発生ガス量の少ない化学発泡材を使用することで、微細な気泡が成形品内部に生成され、繊維が板厚方向に配向することを確認した。また、体積抵抗率の低減も確認された。さらに超臨界CO<sub>2</sub>ガスを用いた物理発泡成形では、化学発泡材よりも微細な気泡が得られ、板厚方向の体積抵抗率が低減することがわかった。

以上の結果は、射出発泡成形により充填材の配向が制御できることを示唆しており、成形品板厚方向の機能を向上させる手法として発泡成形が有効であることが明らかとなった。

研究成果の概要（英文）：

I focused the injection foamed molding as the method of fiber orientation control. As the result of examined two chemical formed agents which different in generation volume of gas, with the chemical foamed agent which is few generation volume of gas, there are lot of micro-cells and closed-cells in the injection molded part, and the copper plated fiber is turned to thickness direction was ascertained. And the conductive improvement in the thickness direction was ascertained. In addition, with the physical foamed agent using super critical CO<sub>2</sub> gas, the cell size was smaller than chemical foamed agent, and resistivity in thickness direction was improved.

These results indicate that injection formed molding is effective for the function improvement in the thickness direction.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
交付決定額	1,700,000	510,000	2,210,000

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，導電性ファイラー，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

コンピュータや制御機器等に使用されている中央処理装置やハードディスク、メモリなどの精密電子機器は、製造工場から組み立て工場への運搬の際に振動および静電気による機械的・電氣的破損を防ぐため、専用の運搬トレイには静電気拡散性能を有した樹脂材料が使用されている。また、電気自動車

やハイブリッド自動車においては、電動モーターから発生する電磁波によって、制御コンピュータや人体に悪影響をおよぼす問題がある。そのため、これらの筐体には電磁波シールド性を有した樹脂材料が用いられる。

静電気拡散性や電磁波シールド性を発現させるためには、これらの材料に導電性を付与する必要があり、導電性ファイラーを含有し

た樹脂材料が使用される。導電性フィラーには、炭素繊維やステンレス繊維などの繊維状のフィラーが多く用いられている。そのため、射出成形法で部品を成形した際、その成形条件によって導電性（体積抵抗）が変化する問題があった。

研究代表者は、これまで射出成形品のそり変形予測精度向上を目的に、成形品板厚方向の線膨張係数分布を予測する方法を検討してきた。その結果、樹脂流速分布によって生じるせん断応力から分子配向状態ならびに線膨張係数等の物性値を予測できることを明らかにした<sup>1)~4)</sup>。これらの研究結果を参考に、科学研究費補助金（若手研究B：課題番号21760103）の助成を受けて、樹脂流動中のせん断応力に着目した導電性フィラーの配向制御方法を検討した。その結果、図1に示すように、射出成形時の樹脂流動によって生じるせん断応力によって成形品の抵抗率は変化し、射出条件の変更で成形品の電気的特性を制御できることを明らかにした<sup>5)</sup>。その一方で図2に示すように射出速度によって、樹脂の流れ方向（MD）や流れ直角方向（TD）で体積抵抗率に異性が発現する問題が生じた。特に成形品面内方向よりも板厚方向（ND）の体積抵抗率が高くなり、体積抵抗率の面内異性および板厚方向の低減が求められていた

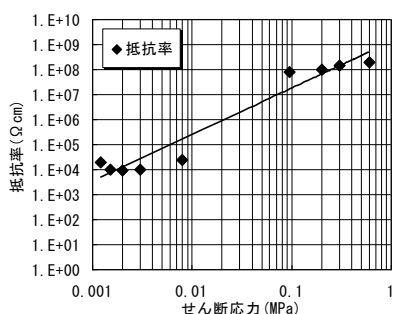


図1 せん断応力と体積抵抗率の関係

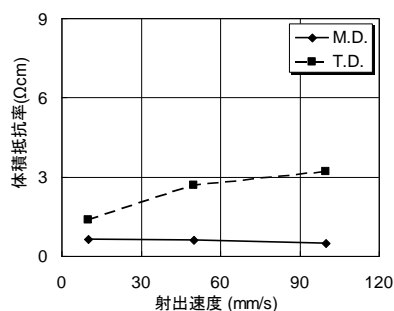


図2 射出速度と体積抵抗率の面内異性

## 2. 研究の目的

前述した導電性フィラーを含有した導電性射出成形品に生じる体積抵抗率の異方性

の原因は、導電性フィラーの配向が原因であり、特に板厚方向においては導電性フィラーが配向しないためであることが、成形品内部の詳細な観察で明らかになった。したがって、成形品板厚方向の導電性向上（体積抵抗率低減）には、導電性フィラーを板厚方向に配向させることが重要である。

本研究では、射出発泡成形を応用して導電性フィラーの配向を制御する方法を確立し、板厚方向の体積抵抗率および面内異方性を低減させることを目的とする。射出発泡成形は、熱分解によってガスが発生する化学発泡剤や超臨界CO<sub>2</sub>ガスなどの物理発泡剤を樹脂材料に混練して射出成形し、成形品内部に気泡を生成させる成形方法である。この気泡が生成・成長する際、気泡間の樹脂は伸張変形によってランダム方向に強く配向する。この現象を前述の導電性フィラー含有樹脂に応用すれば、メッキ繊維の一部を成形品板厚方向に意図的に配向させることができ、板厚方向の体積抵抗率を低減させ電気的抑制の向上が期待できる。さらに、気泡成長にともなう樹脂の伸張変形がランダムになることから、樹脂流動によって生じた導電性フィラーの面内配向に関してもランダム配向に制御できることが期待でき、3次元的に等方な体積抵抗率を有した成形品が得られると考えられる。

## 3. 研究の方法

### 3.1 供試材料および成形品形状

本研究で使用した導電性フィラーは、図3に示すように、直径11μmのアラミド繊維に厚さ2μmの銅めっき処理をした銅めっき繊維を使用した。

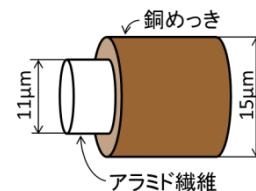


図3 銅めっき繊維の模式図

この銅めっき繊維は、図4に示すよう

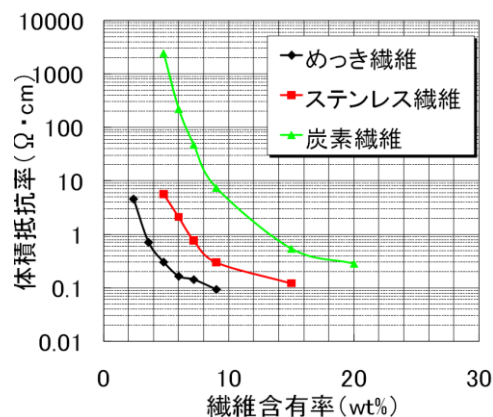


図4 各種導電性フィラー含有率と体積抵抗率の関係

に他の導電性フィラーと比較して、少ない含有量で高い導電性を発現できる特徴を有する。

また、母材としては、樹脂材料の中で汎用的に使用されているポリプロピレン樹脂 (PP, サンアロマー製) を使用し、上記の銅めっき繊維を 12wt%ブレンドして成形した。

成形品の形状は図5に示すように、幅50mm、長さ100mm、厚さ3mmの平板であり、型締力1764kNの電動サーボ射出成形機 (Si-180Ⅲ, 東洋機械金属製) を用いて、射出速度100mm/s、樹脂温度230℃、金型温度30℃の条件で成形した。

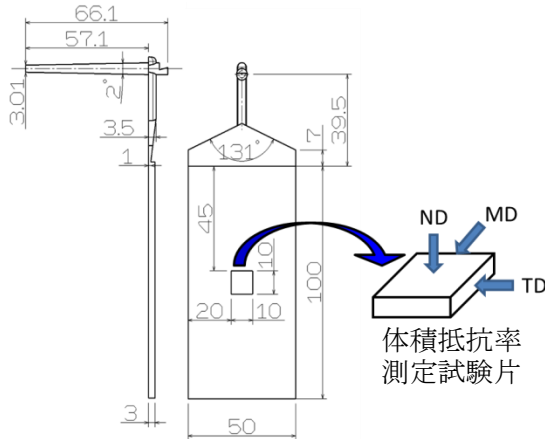


図5 成形品形状および体積抵抗率測定試験片

### 3.2 射出発泡成形の方法

成形品内部に気泡を生成・成長させて、銅めっき繊維の配向を制御するため発泡材として、化学発泡材と物理発泡材の2種類で検討を行った。

化学発泡材としては、EE25CおよびEE65C (いずれも永和化成工業製) を使用した。この発泡材をPP樹脂に2wt%の割合でドライブレンドして成形機のホッパーに投入し、金型内に射出した後、成形品内部を発泡させるため金型を1.5mmコアバックさせて成形した。

一方物理発泡材としてはCO<sub>2</sub>ガスを用い、超臨界炭酸ガス供給装置 ((株) タクミナ製) にて超臨界状態にしたCO<sub>2</sub>ガスを図6に示す

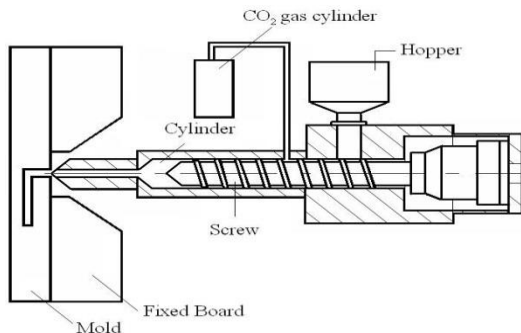


図6 超臨界CO<sub>2</sub>ガスの供給位置

ように射出成形機のスクリー部に注入して、樹脂の可塑性時に熔融混練させて成形した。

### 3.3 体積抵抗率の測定方法

メッキ繊維を含有した射出発泡成形品の体積抵抗率は、図5に示すように成形品中央部から10mm×10mmの試験片を切り出して、流動方向(MD)、流動直角方向(TD)、板厚方向(ND)の電気抵抗値を抵抗計(ミリオーームハイテスタ3540, 日置電機製)にて測定し、式(1)にて求めた。ここで、R:電気抵抗(Ω), w:測定面の幅(cm), h:測定面の高さ(cm), L:測定面距離(cm)である。

$$\rho = \frac{wh}{L} R \quad \dots (1)$$

電気抵抗測定の際、測定面前面に銀ペースト(ドータイト, 藤倉化成製)を塗布した後、24時間常温乾燥させた。

## 4. 研究成果

### 4.1 化学発泡成形品における体積抵抗率

2種類の化学発泡材(EE25CおよびEE65C)を用いて銅めっき繊維を含有したPP樹脂射出発泡成形品の体積抵抗率を計測した。その結果を図7および表1に示す。

測定の結果、いずれの成形品でも、流動方向(MD)よりも流動直角方向(TD)および板厚方向(ND)の体積抵抗率が高くなっている。また、未発泡成形品(SOLID)に比べて発泡成形品の堆積抵抗率が高くなっており、特にEE65Cの発泡材を用いた成形品の体積抵抗率が高くなっていることがわかる。しかし、SOLID品とEE25C発泡成形品の堆積抵抗率の

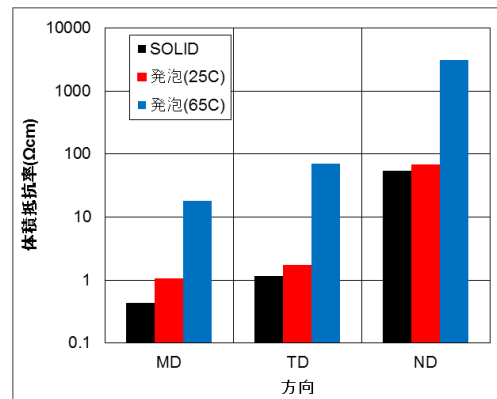


図7 各種化学材を用いた射出発泡成形品の体積抵抗率

表1 体積抵抗率の異方性の比較

	体積抵抗率(Ω cm)			比(MDを1としたとき)		
	MD	TD	ND	MD	TD	ND
SOLID	0.44	1.17	54.78	1	2.65	124.16
65C	18.15	70.40	3138.89	1	3.88	172.94
25C	1.07	1.72	67.22	1	1.61	63.00

異方性を見ると、表 1 に示すように MD の体積抵抗率を 1 としたときの ND の体積抵抗率の比は、SOLID 品が 124.16 であるのに対し、EE25C では 63.00 であり、ND に対する堆積抵抗率の異方性が小さくなっていることが確認できる。これは、気泡の成長によってよって銅めっき繊維の板厚方向への配向が促進され、通電パスが多く形成されたためと推測される。

#### 4.2 化学発泡成形品の内部観察

ソリッド品に比べて EE25C の板厚方向の体積抵抗率の異方性が低減した原因を考察するため、成形品内部の SEM 観察を行った。観察の際は、成形品を液体窒素に浸して十分に冷却した後、成形品を破断させ気泡が変形しないように注意した。

SEM 観察の結果を図 8 に示す。ソリッド品では、銅めっき繊維に柔軟性があるため、湾曲した銅めっき繊維が観察できるが、成形品の板厚方向に配向している銅めっき繊維は観察されなかった。そのため、ND の通電パスが形成されず堆積抵抗率が高くなったと考えられる。しかし、発泡材 EE25C で発泡させた成形品では、大きな気泡がみられるものの、気泡形状はほぼ球状であり、ND に配向している銅めっき繊維も多いことがわかる。そのため、板厚方向の通電パスが多く形成され、体積抵抗率が低下したと推察される。ところが、ND の体積抵抗率が高い EE65C で発泡させた成形品は、成形品中心部に流動方向に偏平した気泡が多く存在しており、ND に配向している銅めっき繊維も確認できない。この偏平した気泡によって ND の通電パスが阻害され、体積抵抗率が極端に高くなったと考えられる。これは、EE65C は EE25C に比べて熱分解時の発生ガス量が多い発泡材であり、気泡成長の際に気泡同士が合一したために偏平した気泡になったと推察される。

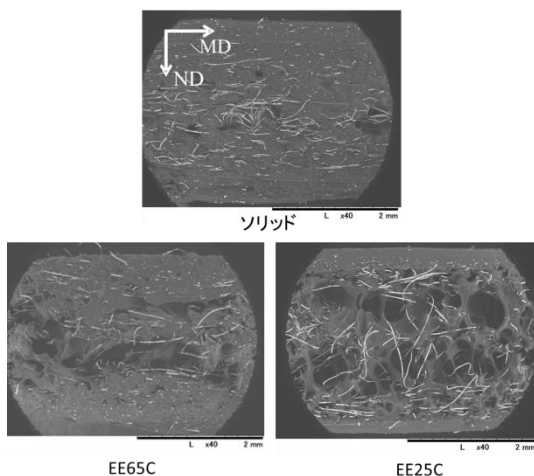


図 8 化学発泡成形品の内部観察結果

#### 4.3 物理発泡射出成形品の体積抵抗率

超臨界 CO<sub>2</sub> ガスを用いた物理発泡成形品の堆積抵抗率測定結果を図 9 に示す（比較のため、ソリッド成形品および EE25C 発泡成形品も併記）。また、表 2 に MD の体積抵抗率を 1 としたときの各方向の体積抵抗率の比を示す。

化学発泡材（EE25C）と比較して、ND の体積抵抗率が低下して 7.06 Ω cm となり、体積抵抗率の比も 18.92 で異方性も大幅に改善されていることがわかる。また、図 10 に示す断面観察の結果、物理発泡成形品における気泡は、図 8 に示す化学発泡成形品と比較して微細であり、銅めっき繊維も ND に配向していることがわかる。特に図 10 の写真上部（成形品表面付近）にも気泡が見られ、わずかではあるが銅めっき繊維も ND に配向していることがわかる。これは、化学発泡材は熱分解によって発生するガスで発泡させるのに対し、物理発泡材は、シリンダー内で高圧に保たれた樹脂が、射出時においてノズルでの急激な減圧によって発泡するため、固化層の形成が速い金型近傍の樹脂も発泡し銅めっき繊維が ND に配向したと推察される。

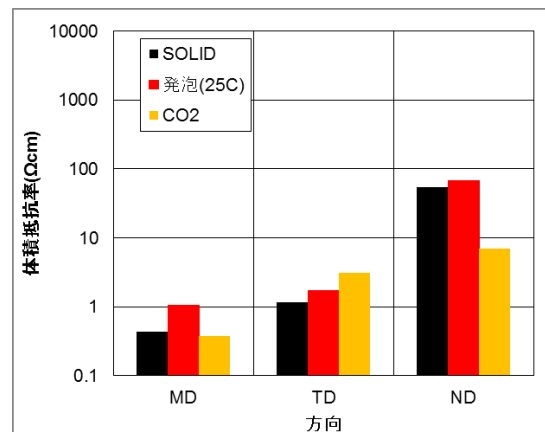


図 9 各種発泡材を用いた射出発泡成形品の体積抵抗率

表 2 体積抵抗率の異方性の比較

	体積抵抗率(Ω cm)			比(MDを1としたとき)		
	MD	TD	ND	MD	TD	ND
SOLID	0.44	1.17	54.78	1	2.65	124.16
25C	1.07	1.72	67.22	1	1.61	63.00
CO2	0.37	3.14	7.06	1	8.42	18.92

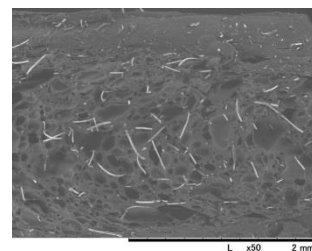


図 10 物理発泡成形品の内部観察結果

#### 4.4 銅めっき繊維配向の定量評価

前述の表3に示した各条件における成形品の銅めっき繊維の配向状態を定量的に評価し、NDの体積抵抗率と比較するため、SEM写真をもとに画像処理によって配向角を計測し、配向角分布を求めた。その結果を図11に示す。計測の際はMDを $0^\circ$  ( $180^\circ$ ), NDを $90^\circ$ と定義した。計測の結果、ソリッド成形品は、 $0^\circ$ 方向および $180^\circ$ 方向に配向が集中しているが、EE25Cで発泡した成形品は、 $0^\circ$ 方向および $180^\circ$ 方向の配向が減少し、 $70^\circ \sim 120^\circ$ に配向した銅めっき繊維が増加している。さらに $\text{CO}_2$ で発泡させた成形品では、 $90^\circ$ および $100^\circ$ に配向した銅めっき繊維が少ないものの、全体的に均一な配向となっている。これらの結果は、表2に示すNDの体積抵抗率と相関があり、銅めっき繊維の配向によって体積抵抗率が変化することを示唆している。

以上の結果から、NDの体積抵抗率低減には、微細な射出発泡成形によって銅めっき繊維をNDへ配向制御し、通電パスを形成させることが有効であることが明らかとなった。

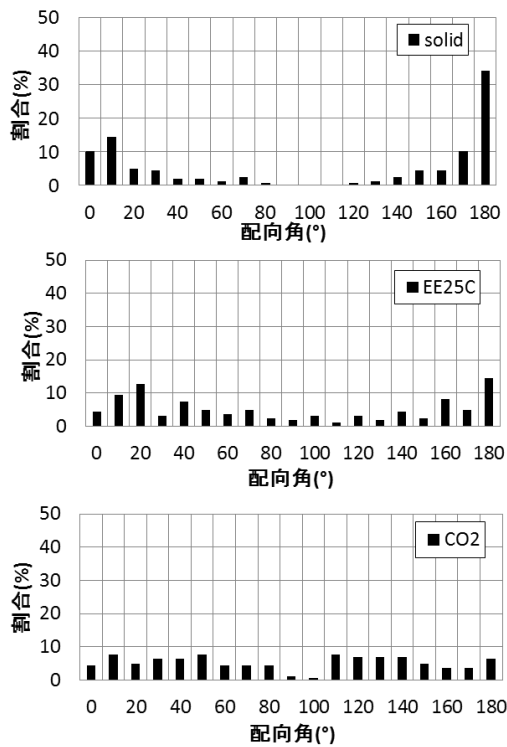


図11 各条件における銅めっき繊維の配向角分布

#### 4.5 断面形状による配向制御の効果

これまで、銅めっき繊維の配向制御および体積抵抗率の異方性低減に対する各種発泡材を用いた射出発泡成形の効果について述べた。本研究では、射出発泡成形以外の銅めっき繊維配向手法として、成形品の断面形状

の影響についても検討した。

今回検討した成形品の断面形状は、深さ2mm、間隔4mm、谷の斜面角度 $60^\circ$ の台形形状を有する成形品であり(図12参照)、銅めっき繊維12wt%含有させて射出成形にて成形した(発泡材含まず)。図中の測定点における体積抵抗率は、図13に示すように面内(MD, TD)の体積抵抗率は、ソリッドと比べて高くなっているが、NDの体積抵抗率はソリッド成形品よりも低くなっており、NDでは高い導電性が得られることが確認できた。またNDの体積抵抗率は、EE25Cで発泡した成形品よりも小さくなっており、導電性が改善することが分かった。台形断面部の内部観察をした結果、図14に示すようにメッキ繊維がNDに多く配向していることが確認され、成形品の断面形状を変更することでも、銅めっき繊維をNDに配向制御することが可能であり、導電性向上に有効であることが確認された。

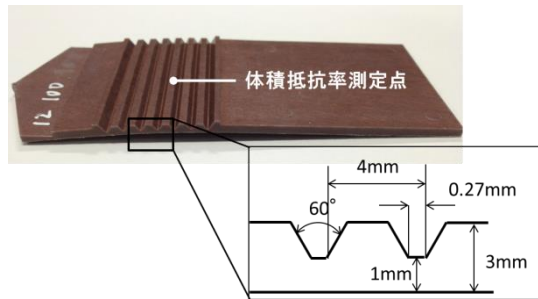


図12 段差形状の外観図および寸法

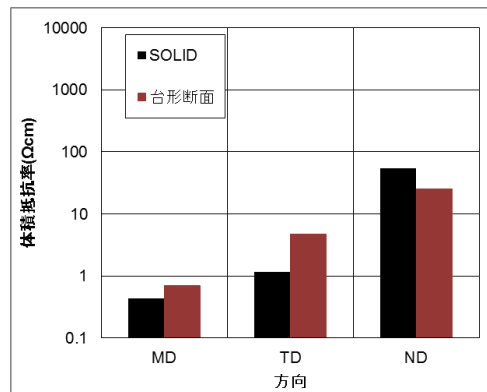


図13 台形断面を有する成形品の成形点の体積抵抗率

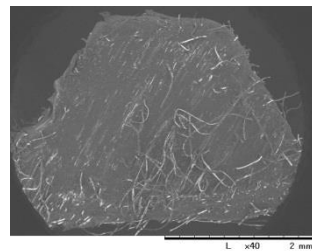


図14 台形断面成形品の内部観察結果

#### 4.6 研究成果のまとめ

銅めっき繊維を含有した導電性射出成形品における体積抵抗率の面内異方性低減および板厚方向の導電性向上を目的とした銅めっき繊維配向制御手法について射出発泡成形の効果について検討した。熱分解による発生ガス量の異なる2種類の化学発泡材を用いて導電性樹脂の発泡成形を行った結果、発生ガス量の多いEE65Cで発泡させた成形品は、成形品内部の大きな気泡が多く存在するため、板厚方向の通電パスが形成されず体積抵抗率の低減は見られなかった。一方、発生ガス量の少ないEE25Cで発泡させた成形品は、比較的小さい独立した気泡が生成され、銅めっき繊維も板厚方向に配向させることが可能であり、板厚方向の導電性が向上することが確認された。また、EE25C発泡材を用いた場合には、ソリッド品に比べて体積抵抗率の面内異方性も低減することが明らかとなった。

超臨界CO<sub>2</sub>ガスを用いた物理発泡成形品においては、内部に微細な気泡が多く存在するとともに、成形品表面付近でも気泡が存在しており、銅めっき繊維は化学発泡材(EE25C)と比較して板厚方向に配向する量が増加し、均一な配向状態となる。そのため、板厚方向の体積抵抗率も化学発泡材と比較して低下することが確認された。

さらに発泡成形以外の銅めっき繊維配向制御手法として、成形品の断面形状を台形形状にして局所的に板厚を変化させる方法を検討した。その結果、断面形状を変化させても、銅めっき繊維を板厚方向に配向させることができ、導電性も向上することが確認された。

以上の結果から、微細な射出発泡成形や断面形状変化が板厚方向の機能発現を目的としたフィラー配向制御手法として有効な方法であると言える。

#### 【参考文献】

- 1) 瀬戸雅宏 山部昌：射出成形品に生ずる物性値分布予測手法の検討(1)～非晶性材料の流動に起因する線膨張係数分布～，成形加工，13，812-817(2001)
- 2) 瀬戸雅宏，田中克，佐藤和人，山部昌：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束分布と分子配向度の関係～，成形加工，14，671-677(2002)
- 3) 瀬戸雅宏，田中克，山部昌：射出成形品に生ずる物性値分布よそ奥手法の検討(4)～金型温度非対称成形における樹脂流束分布と分子配向度，成形加工，15，363-369(2003)
- 4) 瀬戸雅宏，佐藤和人，山部昌：射出成形品に生ずる物性値分布予測手法の検討(5)

～線膨張係数分布を考慮した収縮解析～，成形加工，16，548-553(2004)

- 5) 平子知，瀬戸雅宏，高木陽一，打越伸一，山部昌：めっき繊維を用いた導電性樹脂の電気的特性の評価，成形加工'08，71-72(2008)

#### 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)

[雑誌論文] (計1件)

1. 瀬戸雅宏，山部昌：銅メッキ繊維を用いた導電性樹脂射出成形品の電気的特性の評価，成形加工，24，660-665(2012)，査読あり

[学会発表] (計3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)
2. 中村翔，瀬戸雅宏，中島健太，打越伸一，山部昌：導電性射出成形品の電気的特性制御，成形加工シンポジウム'11，2011年10月14日，秋田大学工学資源学部手形キャンパス(秋田)
3. 中村翔，瀬戸雅宏，山部昌：導電性樹脂射出成形品の発泡成形による電気的特性制御，成形加工シンポジウム'12，2012年12月1日，ウインク愛知(愛知)

[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