

## EV 向け軽量化部材の開発（第1報）

鈴木貴行\*、浅倉秀一\*

## Development of lightweight composite materials for Electric Vehicles (I)

SUZUKI Takayuki\* and ASAKURA Shuichi\*

電気自動車（EV）の軽量化のために、金属の代替材料として注目されているポリエーテルエーテルケトン（PEEK）に炭素繊維（CF）が複合化された材料を用いて射出成形を行い、成形性や強度を評価した。その結果、炭素繊維が配向していることによって PEEK+CF 成形品の引張強度および弾性率は、炭素繊維が複合されていない PEEK のみの成形品と比較して、それぞれ 2 倍（209MPa）および 5.6 倍（23GPa）に向上していた。しかしながら、配向の違いによって成形収縮に異方性が生じており、特にコーナー部では、炭素繊維が円弧を描いて配向したことによる収縮差によって変形が起きていた。

## 1. はじめに

環境配慮への関心が高まり、従来のガソリンを燃料とした自動車から電気自動車（EV）への転換に注目が集まっている。しかし、現状では、EV の航続距離がガソリン車と比較して短いという課題がある。この原因の一つとして、バッテリー重量が重いことが挙げられる。したがって、単純にバッテリー容量を増やすだけでは、その分重量が重くなるため、航続距離を延ばすことが出来ない。この問題を解決する方法として、新規バッテリーの開発が行われているが、現在の対策として行われているのが、バッテリー重量が増加した分、車体重量を軽量化して賄う方法である。つまり、重金属の自動車部品を軽金属や樹脂へ代替する方法である。さらに、自動車における衝突防止システムおよび自動走行に関する技術が進歩していくと、衝突しない前提の自動車設計が進むため、自動車部品の樹脂への代替が加速していくことも考えられる。

したがって、耐熱性や強度が求められる自動車部材において、スーパーエンジニアリングプラスチック（スーパーエンブラ）が活用され、さらに炭素繊維を複合化した熱可塑性炭素繊維複合材料（CFRTP）が必要となると考えられる。当センターでは、これまでマトリックス樹脂にエンブラおよびスーパーエンブラを用いた CFRTP の疲労特性および評価方法に関する研究<sup>1)2)</sup>を行ってきたが、購入した CFRTP の板を切削加工したものを用いてきた。しかしながら、樹脂製の自動車部品は、生産性が重視されるため、スーパーエンブラや CFRTP においても、射出成形技術の確立が求められてくる。

そこで本研究では、スーパーエンブラである PEEK 樹脂と炭素繊維を複合化した CFRTP を原料に用いて射出成形を行い、成形性や炭素繊維の配向とひずみの関係性について評価した。

## 2. 実験

## 2.1 試験片の作製

図1の形状で射出成形を行い、ダンベル試験片を作製した。材料には、PEEK（VICTREX plc製 PEEK 450G）と PEEK に炭素繊維を 30%複合化した PEEK+CF（住友化学株式会社製 スミプロイ CK4600）を使用した。射出成形機は、可塑化部と射出部が分離した V-LINE 方式の 75 t の堅型射出成形機（株式会社ソディック製 TR75VRE 図2）を使用した。

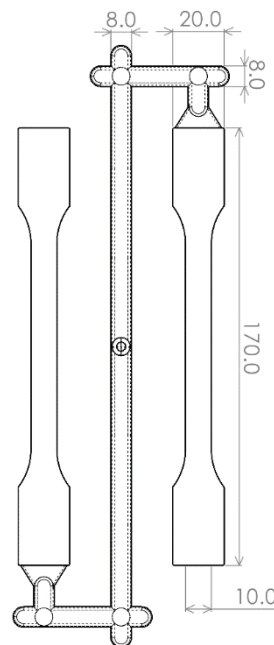


図1 射出成形用金型の寸法 (mm)



図2 射出成形機の写真

\* 次世代技術部

## 2. 2 寸法測定

PEEK および PEEK+CF の射出成形品の形状を画像測定装置 (Carl Zeiss, Inc.製 Prismo ULTRA 9/13/7 VAST GOLD) を用いて測定した。また、測定結果から寸法およびランナーの角度を求めた。

## 2. 3 流動解析

PEEK+CF における射出成形品の繊維配向を流動解析ソフト (Autodesk, Inc.製 Moldflow Insight Premium) を用いてシミュレーションした。

## 2. 4 内部観察

デジタルマイクロスコープ (株式会社キーエンス製 VHX-1000) で試験片の観察を行った。試験片は PEEK+CF の射出成形品を用い、研磨紙の粗さを順に #320 から #2400 まで高くして研磨した後、バフ掛けを行った。

## 2. 5 繊維配向測定

レーザースポット周期加熱法を用いた繊維配向同定装置 (株式会社バテル ハドソン研究所製 TEFOD 図3左) を用いて、炭素繊維の配向性を評価した。試験条件は、レーザー周波数 0.02Hz、パワー160mV で行った。TEFOD は、熱拡散の違いから繊維の配向状態を評価する装置である。試験片の上面をレーザーで加熱し、下面に伝わった熱を赤外線カメラで計測する<sup>3)</sup>。図3右に測定結果の例を示す。試験片の熱伝導率が均一な場合、レーザーで加熱された熱が均一に伝わるため円形になる。一方、熱伝導率に異方性がある場合は、熱伝導率が良い方向に大きく熱が広がるため楕円形になる。

## 2. 6 強度測定

JIS K7161 に準じて、ダンベル試験片の引張試験を行った。試験機は万能試験機 (Instron Co., Ltd.製 5985 型) を用いた。試験環境は標準状態 (温度 23°C、湿度 50%) とし、試験片数は n=5 とした。試験速度は、PEEK+CF の試験片は 1mm/min とし、PEEK の試験片はひずみが 0.3%までは 1mm/min、ひずみが 0.3%以上は 10mm/min とした。

## 3. 結果及び考察

### 3. 1 寸法測定と流動解析結果の比較

図4に射出成形品の写真を示した。これより、PEEK のみの成形品と比較して、PEEK+CF では、変形が見られた。そこで、画像測定装置を用いて射出成形品の形状を測定した結果 (図5)、PEEK では、ランナー部分の角度が 89.73° と 89.46° であり、平均値は 89.60° であった。金型は 90° で設計しているため、ほぼ設計値通りの形状で成形されていた。一方、PEEK+CF では、88.54° と 88.82° であり、平均値は 88.68° であった。設計値の 90° より約 1.3° 歪んでいるため、図4のような変形が起きたことが分かった。



図3 TEFOD装置の写真(左)と測定結果例(右)



図4 射出成形品の写真  
(上: PEEK樹脂 下: PEEK+CF樹脂)

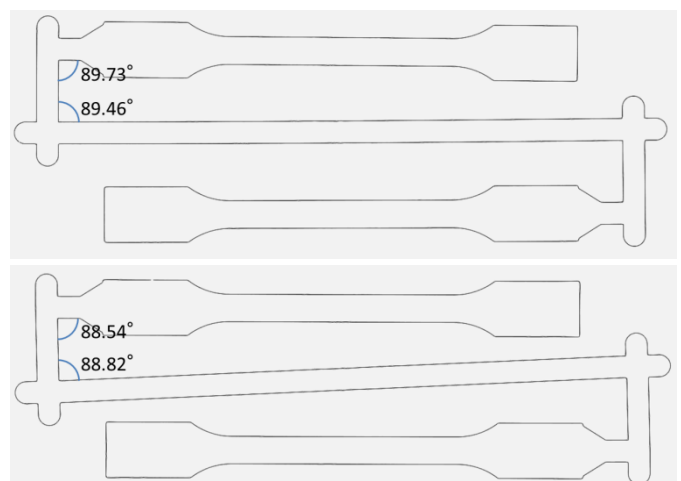


図5 画像測定結果  
(上: PEEK樹脂 下: PEEK+CF樹脂)

また、ダンベル試験片を切り出し、画像測定装置による寸法測定を行った結果を図6に示す。寸法数値はn=10の平均値を表している。PEEK では、長手方向は167.12mm となり図1の金型寸法と比較して98.3%に、両端のタブ部の幅方向はそれぞれ19.57mm および19.56mm となり共に97.8%に、試験部の幅は9.79mm となり97.9%にそれぞれ収縮していた。したがって、試験片全体が均一に約98%収縮していることが分かった。一方、PEEK+CFでは、長手方向は169.75mmとなり99.9%だったのに対し、両端のタブ部の幅方向はそれぞれ19.70mm および19.71mm となり共に98.5%に、試験部の幅は9.78mm となり97.8%にそれぞれ収縮していた。長手方向では、ほとんど収縮が起こっていないが、タブ部および試験部の幅方向で収縮が起こり、かつ収縮に異方性があることが分かった。

### 3.2 繊維配向測定

図7にPEEK+CFにおける繊維配向のシミュレーション結果を示す。色が赤く(薄く)なるほど繊維が強く配向していることを示しており、図中の点線で囲んだ領域で偏りのある強い配向が確認できた。図7(a)のランナー部分と同じ成形品の箇所を顕微鏡で観察した結果を図8(a)に示す。炭素繊維の配向を確認すると、矢印の方向に円弧を描いて配向していた。また、図7(b)および(c)の矢印で示した箇所も同様に観察した結果を図8(b)および(c)に示す。流動末端側のタブ部(図8(b))では、炭素繊維がランダムに配向していたのに対し、ランナーに近いゲート側のタブ部(図8(c))では、水平方向に炭素繊維が配向していた。

次に、TEFODで繊維配向を調べた結果を図9に示す。中央平行部では、水平方向に楕円が大きく歪んでおり、樹脂の流れ方向に強い配向があることが分かった。一方、末端側のタブ部およびゲート側のタブ部では、水平方向に楕円が歪んでいるが、中央部と比較して楕円がやや膨らみ、配向が弱くなっていることが分かった。また、末端側とゲート側のタブではゲート側が末端側よりも大きく歪んでおり、ゲート側のタブが末端側のタブよりも強い配向性をしていることが分かった。このことは、図7の繊維配向のシミュレーション結果および図8の実際の観察結果と一致していた。

3.1の寸法測定および3.2繊維配向の結果より、炭素繊維の配向に起因して収縮の割合が異なることで変形が起きていると推察できる。つまり、図10(a)の概略図のように炭素繊維が直線的に配向している場合、炭素繊維が突っ張り棒のように収縮を抑えるため、配向方向の収縮が抑えられる。一方、配向に対して垂直方向では、収縮を抑える向きの炭素繊維が入っていないため、樹脂の収縮が起こる。したがって、図10(b)のように、炭素繊維が円弧を描いて配向した場合、円弧に沿った収縮が起こると推察される。

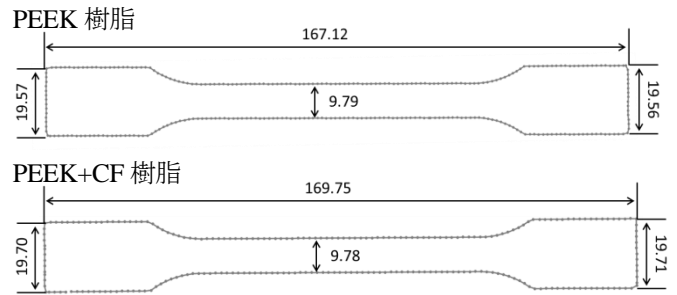


図6 ダンベル試験片の寸法 (mm)

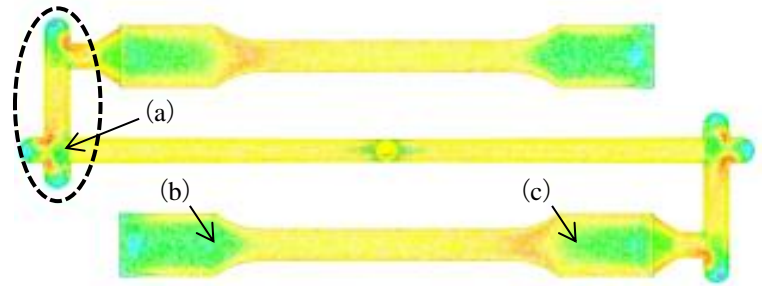


図7 繊維配向のシミュレーション結果

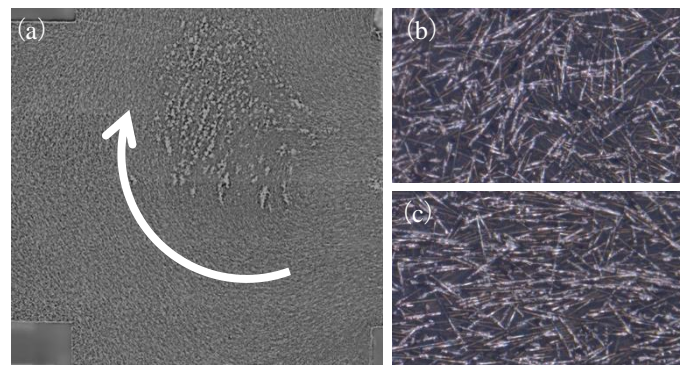


図8 マイクロスコップの拡大写真



図9 TEFODの測定結果

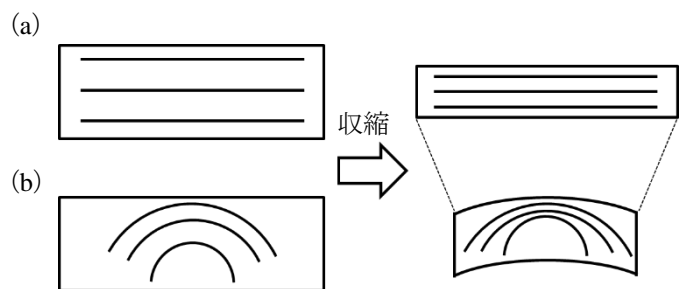


図10 繊維配向と収縮の概略図



### 3. 3 強度試験

ダンベル試験片における引張試験の結果を表1に示す。PEEKの引張試験では、ネッキングが起こった(図11)。一方、PEEK+CFでは、ネッキングが起こらず、最大荷重で破断した。図12にそれぞれの試験片における応力と変位のグラフを示す。引張強度は、PEEKが101MPaに対しPEEK+CFが209MPaとなり、PEEK+CFがPEEKの約2倍強い結果となった。文献値<sup>4)</sup>では、PEEKが100MPa、PEEK+CFが216MPaであるため、ランナーの変形によらずダンベル試験片が適切に成形できていることが分かった。弾性率においてもPEEK+CFの方が高く、PEEKが4GPaであるのに対しPEEK+CFは23GPaと約5.6倍であった。炭素繊維が試験片中央部において強く配向しているため、PEEKと比較してPEEK+CFの引張強度および弾性率が高くなったと考えられる。

### 4. まとめ

炭素繊維複合材料であるPEEK+CF樹脂の射出成形品において、以下のことが分かった。

1. 炭素繊維が強く配向している場合、成形後の収縮に異方性が生じる。
2. 炭素繊維が円弧を描くように配向している場合、収縮の異方性により変形が発生する。
3. PEEK+CFの引張強度および弾性率が、PEEKと比較してそれぞれ2倍(209MPa)および5.6倍(23GPa)に向上した。

今回使用した堅型射出成形機は、可塑部と射出部が分離しており、成形時に炭素繊維の破断が起こりにくい機構となっている。一般的な射出成形機では成形時に炭素繊維の破断がより起こっていると考えられる。一般的な射出成形品と比較することで、炭素繊維の長さによる強度および変形の違いを評価していく予定である。

#### 【参考文献】

- 1) 鈴木ら,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.2, pp77-80, 2021
- 2) 鈴木,岐阜県産業技術総合センター研究報告 No.3, pp73-76, 2022
- 3) 大槻哲也, プラスチックエージ 64号, pp66-69 2018
- 4) 化学工業日報社, プラスチック成形材料商取引便覧, 改訂第37版

表1 引張試験の結果

		最大応力(MPa)	弾性率(GPa)
PEEK	平均値	101.4	4.1
	標準偏差	0.7	0.03
PEEK+CF	平均値	208.9	22.9
	標準偏差	5.1	0.31



図11 引張試験におけるネッキングの様子 (PEEK樹脂)

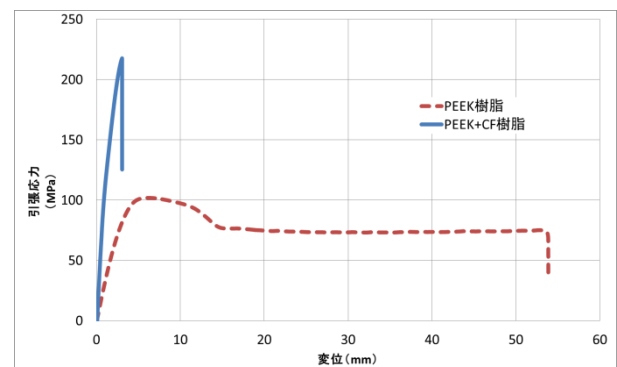


図12 引張試験の結果