

長繊維強化樹脂の射出成形用スクリュの開発

Development of Screw for Injection Molding of Long-Fiber Reinforced Thermoplastics

技 術 本 部 戸 田 直 樹*¹ 米 谷 秀 雄*¹
 黒 田 英 夫*²
 名古屋機器製作所 荻 谷 俊 彦*³

ガラス長繊維強化ポリプロピレン (PP) などの射出成形において、従来では、スクリュによる可塑化の際の繊維切断が著しいため、期待どおりの製品強度が得られなかった。本研究では、可塑化における繊維切断の要因を分析し、繊維切断の少ない新デザインのスクリュ (特許出願中) を開発した。このスクリュの特徴は、フィードゾーンが特殊で圧縮化が小さく、溝深さ・リードが大きいことであり、繊維切断の要因であるせん断作用を低減させたことである。このスクリュにより、ガラス長繊維強化 PP の可塑化後の平均繊維長が、従来より最大で約 60 % 増となった。この結果、成形品中の平均繊維長も増大し、特に成形品の衝撃強度が飛躍的に向上した。

The strength of fiber reinforced thermoplastics products are stronger when as the fiber length within them is longer. Therefore, long glass-fiber reinforced PP, etc. is used these days, but the expected strength of products were not attained because of the remarkable GF (glass fiber) cutting by the previous screw. To solve this problem, we developed a new type of screw with less GF length attrition. This screw features a small compression ratio, long compression zone, and larger channel depth and lead. When this screw is used, the GF length of the injected resin is a maximum of 60% longer than before, and the impact strength (with falling weight) of the product is a maximum of four times better than before.

1. ま え が き

近年、プラスチック成形品には、強度、剛性及び耐熱性を維持した上で、更なる軽量化及びコストダウンが望まれている。この課題を解決するためのプラスチック成形材料として、長繊維強化プラスチック成形材料があり、短繊維強化プラスチック成形材料に比べて強度^{(1)~(3)}や耐熱性が優れている。その中でも、安価で成形性の良好なポリプロピレン (PP) をベースとしたガラス長繊維強化プラスチック成形材料 (長繊維とはガラス繊維長が 10 mm 前後のものをいう) の需要が増加してきている。しかし、現在は、従来の成形機を使用してガラス長繊維強化プラスチックの射出成形を実施しており、特にスクリュによる可塑化の際の繊維切断が著しい。したがって、製品の諸特性に対して長繊維の機能が十分に生かされておらず、期待どおりの効果が得られていない。

このため、当社では、ガラス長繊維強化 PP の可塑化時の繊維切断状況を分析し、繊維切断を低減する長繊維強化プラスチック成形用のスクリュを開発した⁽⁴⁾。さらに、成形試験を実施して、開発したスクリュによる成形品中の繊維長増加の効果及びこれに伴う成形品強度の向上を確認した。

2. 可塑化時の繊維切断状況と長繊維強化プラスチック成形用スクリュの開発

2.1 スクリュ各部での繊維切断状況

LFR-PP (Long Fiber Reinforced-PP: 長繊維強化 PP) を従来タイプの $\phi 62$ スクリュで可塑化した場合の繊維切断状況を図 1 に示す。繊維は GF (Glass Fiber: ガラス繊維) であり、可塑化装置及び運転条件等は以下のとおりである。

可塑化装置: 射出成形機 350 MM-40 (当社製)

LFR-PP : GF 長 12 mm, GF 含有率 40 wt %

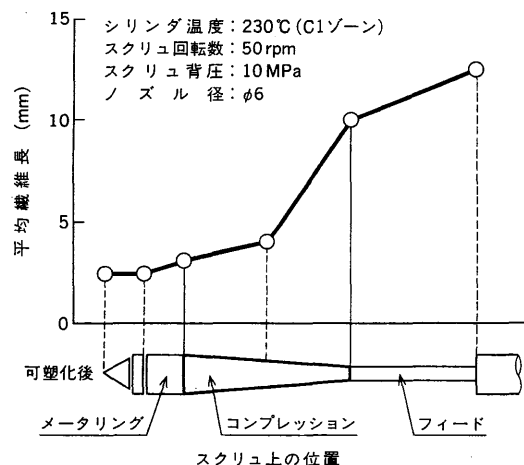


図 1 従来スクリュでのガラス繊維切断状況 $\phi 62$ 従来スクリュでガラス長繊維強化プラスチック成形材料を可塑化した後のスクリュ各部におけるガラス繊維長を示す。
 Fiber attrition in cylinder used previous screw

運転条件 : シリンダ温度 230℃ (C1ゾーン)

スクリュ回転数 50 rpm

スクリュ背圧 10 MPa

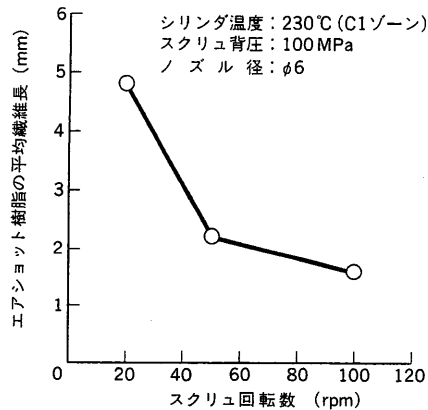
スクリュ内での繊維切断が最も顕著なのはコンプレッションゾーンであり、特に同前半部において、平均繊維長が 10 mm から 4 mm 以下にまで激減する。これは、同部で LFR-PP が固体から急激に可塑化・熔融されるためと考えられる。

2.2 繊維切断に及ぼす可塑化運転条件の影響

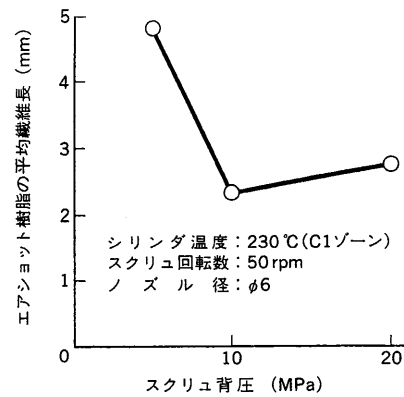
図 2 (a), (b) に主な可塑化運転条件が、エアショット樹脂中の平均繊維長に及ぼす影響を示す。エアショットとは、スクリュで可塑化・熔融させた樹脂を、ノズルを通して大気中に射出 (放

*1 名古屋研究所高分子・化学研究室
 *2 名古屋研究所高分子・化学研究室主査

*3 産機技術部射出成形機設計課



(a) スクリュ回転数の影響



(b) スクリュ背圧の影響

図2 ガラス繊維切断に及ぼす可塑化条件の影響
のガラス繊維長と可塑化条件の関係を示す。

Effect of plasticating conditions on degree of fiber attrition

φ62 従来スクリュについて、エアショット樹脂中

出) することである。また、使用した LFR-PP 及び装置は 2.1 節と同様である。

スクリュ回転数が 20 rpm と低い場合、エアショット樹脂の平均繊維長は 4.8 mm であり、比較的長い繊維を確保できる。しかし、スクリュ回転数が高くなるにつれ平均繊維長は減少し、5 倍の回転数である 100 rpm になると、エアショット樹脂の平均繊維長は 1.6 mm にまで減少してしまう。ここで、スクリュ回転数が高くなると、熔融樹脂のせん断速度（単位時間当りの変形量）が大きくなる。また、繊維は熔融樹脂中に互いに絡まり合っており存在していると考えられる。したがって、スクリュ回転数が高くなると、熔融樹脂のせん断速度に追従できない絡まり合い繊維の量が増加し、繊維相互の交絡部を起点とした切断頻度が多くなって、平均繊維長が短くなると考えられる。

スクリュ背圧の影響については、背圧が 50 MPa と比較的低い場合、エアショット樹脂の平均繊維長は 4.8 mm と長い。しかし、100 MPa 以上の高い背圧になると、平均繊維長は 3 mm 以下に減少する。背圧が高くなると、熔融樹脂のスクリュ・シリンダ内での滞留時間が増すため、せん断が作用する時間（せん断時間）も増加する。さらに、樹脂圧力が増すため、熔融樹脂はより高圧下でせん断作用を受けることになる。つまり、背圧が高くなるにつれ、熔融樹脂と同様に繊維にもより大きなせん断力が作用するために繊維切断量が増加すると考えられる。

2.3 スクリュ開発の考え方

これらの結果を基に、繊維切断抑制をねらいとした、長繊維強化プラスチック成形用のスクリュ開発の考え方を以下に示す。

- (1) 成形材料の急激な可塑化・熔融進展を避けるためにフィードゾーンを従来の設計思想とは異なる特殊な構造とし、さらに、スクリュの圧縮比及び圧縮こう配を小さくする。
- (2) 熔融樹脂のせん断速度及び全せん断量（せん断速度×時間）が小さくなるようにスクリュ溝深さ及びリードを適正化する。

3. 長繊維強化プラスチック成形用スクリュの試作及び評価試験

3.1 小径スクリュの試作

前述の考え方に基づき、小径スクリュに分類される φ36 の長繊維強化プラスチック用スクリュ（以降 φ36 長繊維用スクリュと称す）を試作した。

長繊維強化プラスチックの可塑化では、小径スクリュほど繊維切断が顕著になるといわれている。そこで、あえて条件の厳しい

表1 試作したスクリュの種類と特徴
Feature of screw

スクリュ種類	直径	リード	メータリング溝深さ比*	圧縮比
長繊維用	36 mm	ロングリード	1.73 (深い)	1.5
従来	36 mm	標準	1.00 (標準)	2.5

*：メータリング溝深さ比 従来スクリュ（標準）を 1 とした割合

小径スクリュを選定し、当社のスクリュ開発の考え方を検証した。また、フィードゾーンの構造を従来スクリュにはない特殊なものとした。さらに、従来スクリュに比べて拡大流路仕様のチェックリング（逆止弁）が装着されている。表 1 に示すとおり、長繊維用スクリュは従来スクリュに比べてロングリードで圧縮比が小さく、圧縮こう配も小さい。

3.2 小径の長繊維用スクリュの評価試験

(1) 試験方法

試作した φ36 長繊維用スクリュ及び φ36 従来スクリュを使用して LFR-PP の可塑化・射出を行い、エアショットで得た樹脂中の GF 長を比較した。

可塑化装置：射出成形機 80 MSP-5（当社製）

ノズル径 φ6

LFR-PP : GF 長 12 mm, GF 含有率 40 wt %

運転条件 : シリンダ温度 230°C (C1 ゾーン)

スクリュ回転数 150 rpm

スクリュ背圧 1.2 MPa

(2) 試験結果

図 3 に示すとおり、エアショット樹脂中の平均繊維長は長繊維用スクリュが 5.9 mm であり、従来スクリュの 4.8 mm に比べて 2 割余り長くなった。さらに、初期の繊維長 12 mm の半分近くを保持できている。

ここで、長繊維スクリュは従来スクリュに比べて圧縮こう配が小さくメータリングゾーンが深溝となっている。このため、従来スクリュに比べて LFR-PP の可塑化・熔融の進展が緩やかとなり、さらに熔融後のせん断速度も低下して GF 切断量が少なくなったと考える。また、長繊維用スクリュは、従来スクリュより圧縮比が小さく、ロングリードとなっている。このため、可塑化・熔融の進展が低い圧縮力の下で行われ、また、熔融後の全せん断量が低下して、GF 切断が抑制されたと考える。さらに、チェックリングの流路を従来スクリュより拡大したことも、

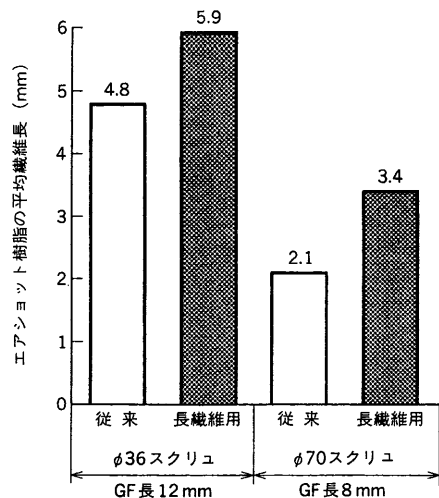


図3 エアショット樹脂の平均繊維長 $\phi 36$ 及び $\phi 70$ 長繊維用スクリュの繊維切断抑制効果を示す。
GF length of injected resin

繊維切断低減に寄与したと考えられる。

3.3 中型の長繊維用スクリュの試作及び評価試験

3.2 節の試験結果から、試作した $\phi 36$ 長繊維用スクリュは繊維切断低減に有効であることが分かった。そこで、試作した $\phi 36$ 長繊維用スクリュの形状がより大きなサイズのスクリュにも有効であるか否かを検討した。

(1) 中径スクリュの評価試験

$\phi 36$ 長繊維用スクリュをベースに、中間径の $\phi 70$ 長繊維用スクリュを試作し、 $\phi 70$ 従来スクリュとともに可塑化試験に供してエアショット樹脂中の平均繊維長を測定した。

可塑化装置：射出成形機 450 MG II-60 (当社製)

ノズル径 $\phi 8$

LFR-PP : GF 長さ 8 mm, GF 含有率 40 wt %

運転条件 : シリンダ温度 250°C (C1ゾーン)

スクリュ回転数 50 rpm

スクリュ背圧 17.5 MPa

(2) 試験結果

図3に示すように、エアショット樹脂中の平均繊維長は、長繊維用スクリュが 3.4 mm であり、初期の繊維長 8 mm の 42 % を保持できている。また、従来スクリュの 2.1 mm に比べて 6 割余り長くなっており、繊維切断の抑制効果は大きい。すなわち、試作した $\phi 36$ 長繊維用スクリュの形状は、よりサイズの大きいスクリュに対しても有効であることが確認できた。

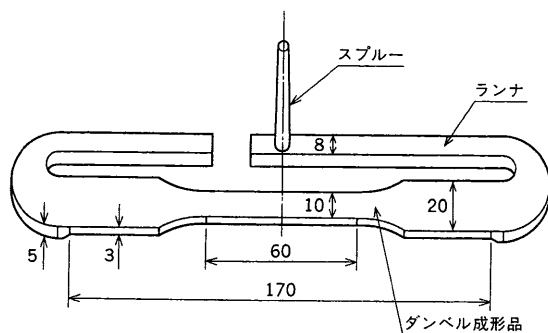


図4 ダンベル成形品の概略図 $\phi 36$ 長繊維スクリュ、従来スクリュを用いて成形したダンベル成形品の概略を示す。
Schematics of dumbbell product

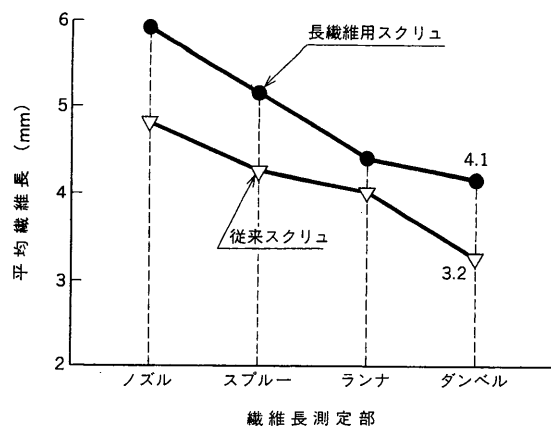
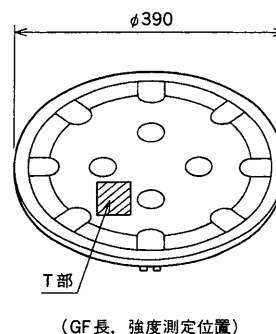


図5 ダンベル成形品各部の平均繊維長 ダンベル成形品のスプルー、ランナ、試験片部の平均繊維長を示す。
GF length of parts of dumbbell product.



(GF 長さ、強度測定位置)
図6 自動車ホイールカバーの試作品の概略図
 $\phi 70$ 長繊維用スクリュ、従来スクリュで成形した自動車ホイールカバーの試作品の概略を示す。
Schematics of automobile wheel cover.

4. 成形品への適用事例

4.1 ダンベル成形品の成形

3.2 節で示した $\phi 36$ 長繊維用スクリュ及び $\phi 36$ 従来スクリュを使用して図4に示したダンベル成形品を成形した。また、成形品各部の平均繊維長及び試験片のシャルピー衝撃強度を測定した。成形機、LFR-PP 及び運転条件は3.2 節と同様である。ただし、金型温度 (設定) は 50°C とした。

図5に示すように、ノズル、スプルー、ランナ、試験片部と流動距離の増加とともに平均繊維長が減少しているが、各部において、従来スクリュに比べ長繊維用スクリュの方が長い繊維を保持できている。試験片部の平均繊維長は、長繊維用スクリュの場合 4.1 mm であり、従来スクリュの 3.2 mm に比べて 30 % 増加した。その結果、試験片のシャルピー衝撃強度は長繊維用スクリュで成形したものが 65 kJ/m² となり、従来スクリュの 47 kJ/m² より 38 % 増加した。このように、可塑化の段階での繊維切断低減は成形品中の繊維長増加をもたらし、その結果成形品の強度が向上する。

4.2 自動車ホイールカバーの成形

3.3 節で示した $\phi 70$ 長繊維用スクリュ及び $\phi 70$ 従来スクリュを用いて、図6に示す自動車ホイールカバーの試作品を成形した。また、成形品から小片を切出して (T 部) 平均繊維長、シャルピー衝撃強度及び引張強度を測定した。さらに、ホイールカバーの

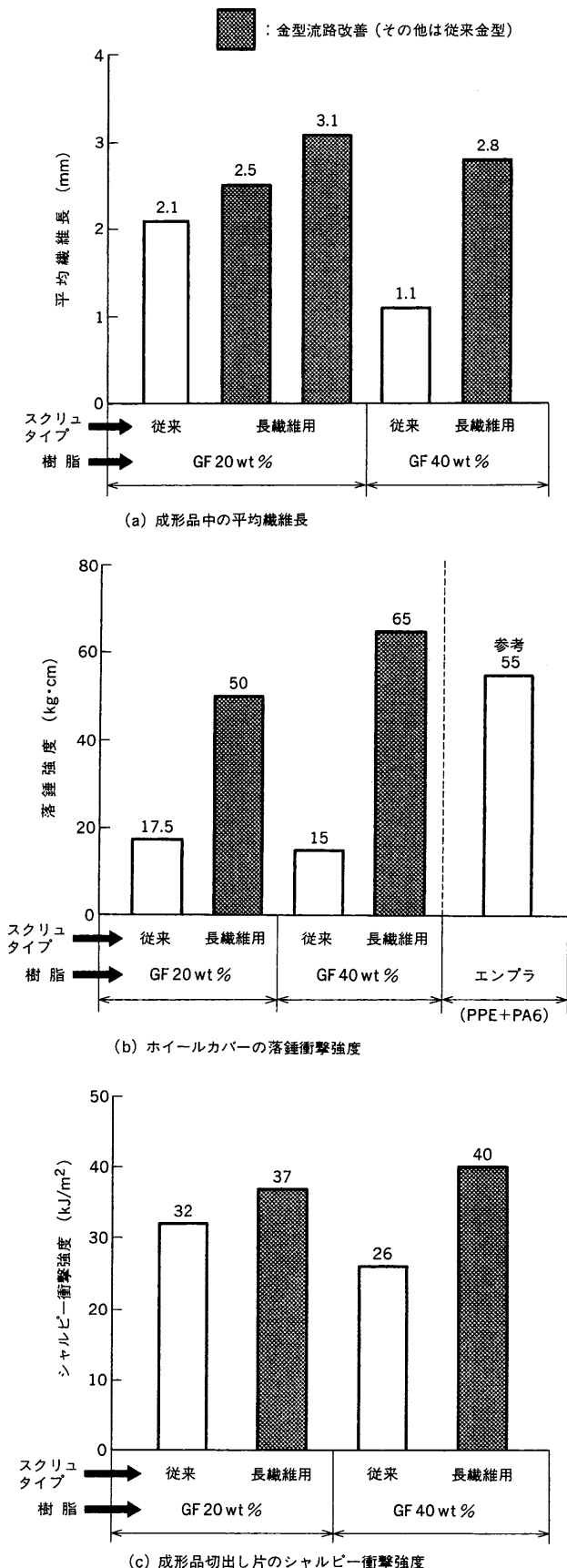


図7 $\phi 70$ 長繊維用スクリュの自動車ホイールカバー成形への適用結果 $\phi 70$ 長繊維用スクリュによる繊維切断抑制効果及びそれに伴う成形品強度の増加を示す。
Result of application of $\phi 70$ LFR-PP screw on injection molding of automobile wheel cover.

落錐 (すい) 衝撃強度も測定した。落錐衝撃強度は、 -30°C のホイールカバーに砲弾型の 1 kg 錘を自重落下させて破損しない高さとした。LFR-PPは、GF長8mmで、GF含有率20wt%、40wt%の2種類を使用した。また、成形機及び運転条件は3.3節と同様であり、金型温度 (設定) は 50°C とした。

図7 (a)に、T部の平均繊維長を示す。なお、グラフ中の金型流路改善を示したものは、スプルーの流路を拡大してある。T部の平均繊維長はGF含有率20wt%の場合、長繊維用スクリュを使用すると2.5mmとなり、従来スクリュ使用の2.1mmに比べ約2割程度長くなった。また、長繊維用スクリュの使用に加えて金型流路を改善すると、同部の平均繊維長は3.1mmとなり、金型改善前に比べ24%長くなった。これは、ホイールカバー金型のスプルーの流路を拡大したことで、樹脂が同部を流動する際のせん断速度が低下して繊維切断が低減したためと考えられる。一方、GF含有率40wt%の場合、長繊維用スクリュを使用するとT部の平均繊維長は2.8mmとなり、従来スクリュ使用の1.1mmに比べ2.5倍に増加した。このように、成形品中の平均繊維長が長くなった結果、図7 (b)、(c)に示すように、ホイールカバーの落錐強度、及びシャルピー衝撃強度が大幅に向上した。特に、落錐強度はGF含有率20wt%の場合、従来に比べ2.9倍増加し、GF含有率40wt%の場合、従来に比べ4.3倍増加した。このように飛躍的に増加した落錐強度の値は、同図に参考として掲げたエンブラ (エンジニアリングプラスチック) と同レベルである。

以上の結果から、 $\phi 70$ 長繊維用スクリュは可塑化時の繊維切断抑制に有効である。また、可塑化時の繊維切断抑制により、成形品中の繊維長が長くなり、特に衝撃強度が大幅に向上した。したがって、長繊維強化プラスチックの特長を生かすためには、従来、切断の著しかった可塑化の際の繊維切断を抑制することが重要である。

また、 $\phi 36$ 及び $\phi 70$ 長繊維用スクリュは繊維切断低減を主な目的として開発されたが、汎 (はん) 用樹脂への適用も考慮されており、PP、PS (ポリスチレン)、ABS樹脂などで使用可能なことを確認済みである。

5. む す び

当社で開発した長繊維強化プラスチック成形用スクリュについて、従来スクリュに対する繊維切断の改善効果及び成形品の繊維長、強度の向上を試験結果に基づき示した。開発したスクリュは、当社の従来機に組込むことができ、汎用樹脂にも対応できる (ただし、使用範囲には制約がある)。また、対応可能なスクリュ径は $\phi 36\text{ mm}$ 以上である。

今後は、長繊維用スクリュの更なる高性能化はもとより、プラスチック製品に求められている様々な課題に対応できる射出成形機を開発していく所存である。

参 考 文 献

- (1) 山崎康宣ほか、GF強化PPの衝撃強度に及ぼす界面強度および繊維長の影響、第2回フィラーシンポジウム p.38
- (2) 岩佐雅彦ほか、射出成形用長繊維GF強化樹脂、プラスチック成形加工学会 第5巻 第7号 (1993) p.454
- (3) Bush, S.F. et al., Impact strength of injection moulded polypropylene long-glass-fiber composites, Plast. Rubber. Compos. Process. Appl, Vol.24 (1995) p.139
- (4) 戸田直樹ほか、長繊維入り樹脂の射出成形用スクリュの開発と成形効果、プラスチック成形加工学会講演論文集 (1996)