

長繊維強化熱可塑性樹脂の自動車部品への適用

奥村 欽一・浅井 俊博

技術開発本部・開発推進センター

Long-fiber Reinforced Thermoplastics for Automobile Applications

Kinichi Okumura・Toshihiro Asai

Long-fiber reinforced thermoplastics are known to possess high strength, high temperature resistance, and excellent moldable dimensional accuracy, etc. In particular, the use of long-fiber reinforced polypropylene for automobile components is rapidly expanding due to its light weight and low cost in combination with technological developments in fiber dispersion, molding equipment, and mold and moldable designs. This paper presents Kobe Steel's recent technological advances in this area.

まえがき = 樹脂は軽量でデザイン自由度が高く、ソフト感、防錆性などに優れるために、日本では自動車重量の7~8%をしめるにいたっている。この自動車に使用されている樹脂のなかでは、熱可塑性樹脂、とりわけポリプロピレン(以下PP)が約半分をしめ、エンジニアリング系樹脂(以下、エンブラ)は約15%に達している。繊維強化熱可塑性樹脂(以下、FRTP)はPPやエンブラを中心に強度や剛性を必要とする部品に採用されている。このFRTPの改良のひとつとして、強化繊維長を長くすることにより耐衝撃性や剛性などを高めた射出成形可能な材料が長繊維強化樹脂である。以下、その特徴と採用状況、さらに関連する当社技術を紹介する。

1. 長繊維強化熱可塑性樹脂の開発の経緯

FRTPの中で広く使われているのが、ガラス繊維(以下、GF)と樹脂を押出機により混練して製造した短繊維ペレット(以下、SFP)である。成形性や形状自由度に優れ、射出、圧縮、ブロー成形などに使用されている。FRTPのなかには、スタンパブルシートのような長繊維のシート状の材料もあり、物性面で優れるが、特殊な成形機が必要であり成形自由度に制約がある。そこで、汎用成形機で成形でき、物性の優れた材料として長いGFを有するペレット(長繊維ペレット、以下、LFP)が望まれている。

LFPは1950年代にすでに電線被覆法により開発されていたが、成形品中に繊維束が残りやすく分散性に問題があった。当社ではこの技術が量産性に優れることに注目し、繊維の分散性を改良し、また高濃度の強化材を含有できる常圧含浸法の開発に成功した¹⁾。製造法の概略を第1図に、ペレット概念図を第2図に示す。

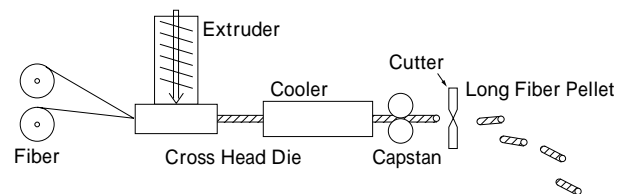
SFPは0.5mm以下の強化繊維を分散させているのに対し、LFPはペレット長さと同じ10mm前後の繊維を有する。従来のLFPは繊維束を多く残していたが、最近のLFPは単繊維一本一本に分散させる工夫をおこなっている²⁾。当社のLFPは樹脂を被覆した単繊維を収束させ撚りを掛けたものであり、しなやかで繊維が折れにくく、同時に繊維がほぐれ易く良好な機械特性を示す。PPの場合にはGF含有率75重量%のペレットが製造可能であ

る。このような高濃度品はマスターバッチとして使用すると経済的なメリットが大きい。

2. LFPの物性の特徴

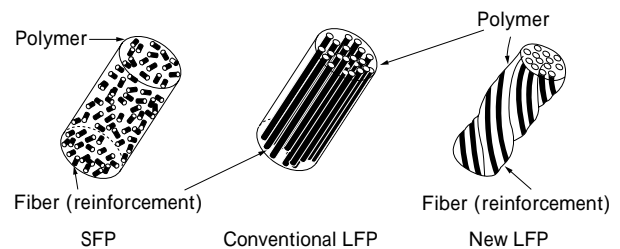
2.1 繊維長さと物性

FRTPの機械的強度は、繊維長、強化材界面接着強度、繊維配向などにより大きな影響を受ける。繊維長が「**臨界繊維長**」を超えるまでは引張や曲げ強度は向上する。弾性率は繊維長の影響を受けにくい。繊維の含有率に比例して大きくなる。「**臨界繊維長**」はPPの場合³⁾室温で約1mm、120℃では2mm以上となり、またPA66の場合⁴⁾0.3mm(室温)、2mm(120℃)と報告されている。SFPは平均繊維長が0.5mm程度の短繊維を有し、室温のエンブラの静的強度については、この長さで十分と考えられる。しかし、高温でのエンブラや室温以上でのPP樹脂の静的強度については長繊維の効果が大きいことが期待される。また、衝撃強度は繊維が長いほど性能は向上



第1図 熔融含浸 LFP 製造方法

Fig. 1 Melt impregnation LFP manufacturing method

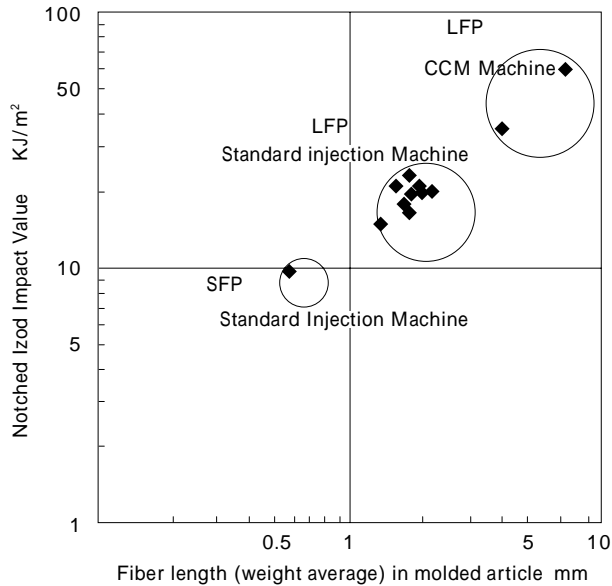


第2図 ペレット概念図

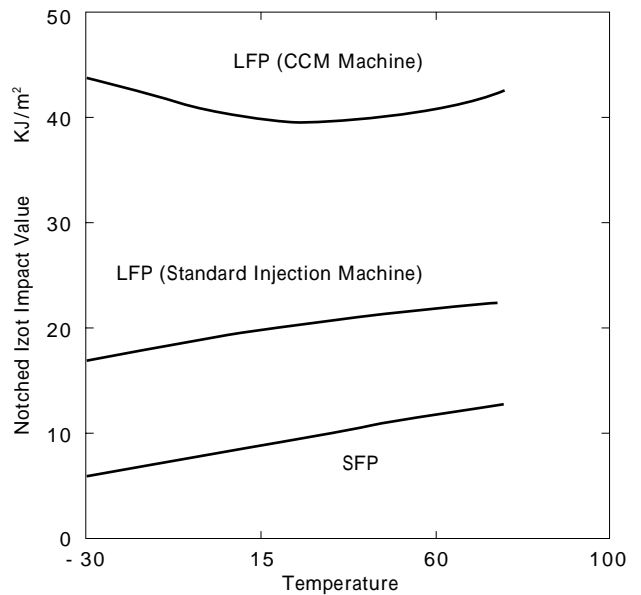
Fig. 2 Conceptual view of FRTP pellets

SFP: Short fiber reinforced thermoplastic pellet

LFP: Long fiber reinforced thermoplastic pellet



第3図 繊維長(重量平均)と衝撃強度の関係
Fig. 3 Relationship between fiber length (weight average) and impact value of PP/GF 40%



第4図 成形機の違いがPP/GF40%品の衝撃強度に与える影響
Fig. 4 Effect of molding machine on impact value of PP/GF 40%

する。以下,PPを中心に当社で開発したLFPの特徴を述べる。

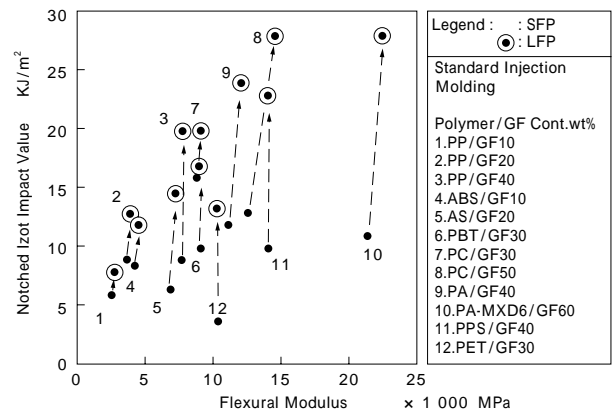
2.2 衝撃特性

PPの繊維長と衝撃強度の関係を第3図に示す。汎用射出成形機で成形したとき,LFPでは,1~2mmの繊維長が残り,衝撃強度はSFPの1.5~2倍となる。また当社が開発した長繊維を維持する特殊射出成形機(以下,CCM機,後述)では残存繊維長が7mm以上となり,衝撃強度はスタンパルシートと同程度の高い値を示す。また,第4図に示すように,LFPでは,広い温度範囲でSFPよりも高い衝撃強度が維持される。他方,汎用射出成形機で成形したときの各種FRTP(同一GF含有率)の衝撃強度と曲げ弾性率の関係を第5図に示した。いずれもSFPに比較してLFPでは,弾性率は若干増加し,衝撃強度は大幅に改善される。薄肉成形品では面衝撃強度も改善され,破断面は破片が飛び散らず,つながった形態を保つことも特徴のひとつである。

2.3 引張特性やクリープ特性,耐熱性,寸法性

汎用機で射出成形をおこなった場合でもPPのLFPでは,室温の臨界繊維長約1mmを超える繊維長を残す成形が可能となる。この結果,第1表に示すように室温での引張や曲げなどの強度,弾性率はSFPにくらべて約20%向上する。

温度が高くなると臨界繊維長も長くなり,クリープ特



第5図 種々の樹脂の短繊維と長繊維の曲げ弾性率と衝撃強度の比較
Fig. 5 Comparison between LFPs and SFPs on flexural modulus and impact value

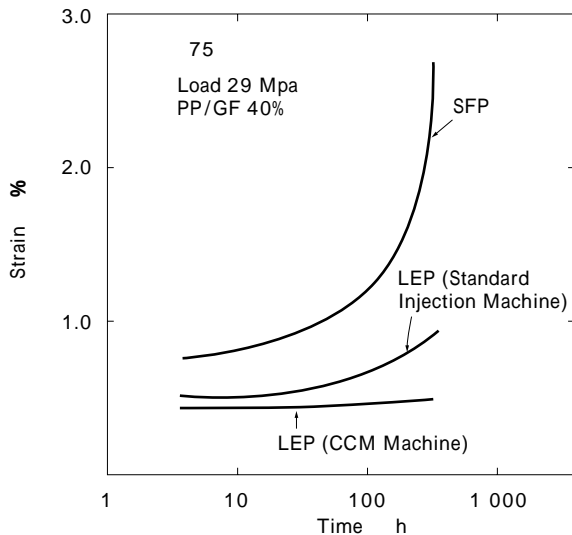
性では長繊維化の効果が大きく現れる。PPの例を第6図に示す。繊維が長く残るほど(CCM成形のLFP)クリープ特性は優れている。また,汎用成形機でのエンブラSFPとのクリープ特性の比較を第7図に示すが,GFを30%含むPPのLFPは80の高温においてもPCやPAのSFPと同等のクリープ特性を示す。従来のPPのSFPで使用できなかった高温用途への展開が期待される。

LFPの成形品の成形収縮率はSFPにくらべて小さく,

第1表 GF繊維強化PPの物性値
Table 1 Mechanical properties of glass fiber reinforced PP

Property	Test Method	Unit	LFP			SFP		
			10	20	40	10	20	40
G F Content	—	wt%	10	20	40	10	20	40
Specific Gravity	JIS K7112	g/cm ³	0.97	1.04	1.21	0.97	1.04	1.21
Flexural Modulus	JIS K6758	MPa	2 800	4 000	7 800	2 500	3 600	7 600
Flexural Strength	JIS K6758	MPa	90	120	180	70	100	150
Tensile Strength	JIS K7113	MPa	70	90	110	50	75	100
Notched Izod Impact Value	JIS K7110	KJ/m ²	8	13	20	6	9	9
Heat Distortion Temperature 181N/cm ²	JIS K7207	—	157	158	161	140	147	158
Rockwell Hardness	JIS K7202	—	111	110	110	110	109	107
Shrinkage 3mm Thickness MD*1	KSL Method	1/1 000	—	6	—	—	5	—
Shrinkage 3mm Thickness TD*2	KSL Method	1/1 000	—	—	—	—	10	—
Residual Fiber Length	KSL Method	mm	1.8	1.7	1.5	0.4	0.4	0.3

*1 Machine direction (Flow axial direction) *2 Transverse direction



第6図 高温下の曲げクリープ(成形機の影響)
Fig. 6 Flexural creep at elevated temperature
(Effect of molding machine)

さらに樹脂の流れ方向に対する異方性も少ない(第1表参照)。また成形品表面粗さや、ヒケもSFPより少ない傾向にある。この結果寸法性や表面性が優れる。

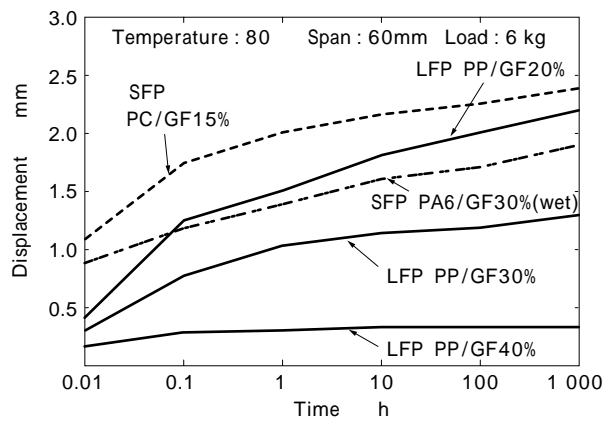
3. 繊維を長く残存させる成形法

射出成形機では、LFP中の繊維はスクリュによるせん断力を受け切断される。成形品中では前述のように通常は1~2mmの長さになる。さらに繊維長を残存させる方策として、成形機構、成形条件、金型の改良などがこれまで各社から提案されてきた。たとえば、当社では繊維を最大限残存させる成形機(CCM機)を開発している⁵⁾。CCM機は、繊維折れの少ないスクリュを使用して樹脂の可塑化をパレルからの熱伝導によりおこない、その後ロールにより混練度を上げ、定量供給部分を経て射出する。成形品では重量平均繊維長は7mm前後になる。

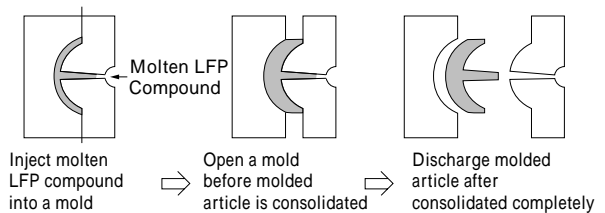
CCM機のような専用機をもちいずに汎用成形機の簡単な改良で繊維を保存する方法も強く求められており、各成形機メーカーから提案されている。当社ではスクリュの改良や金型、成形条件に関する方法⁶⁾を提案している。さらにマスターバッチなどの混練を改良する目的で、スクリュ先端にCMH(キャピティミキシングヘッド)⁷⁾という樹脂混合装置を設け、繊維の折損を防ぎながら混合を改善し、表面性や物性の改善を図っている。

4. LFPの応用機能製品: スプリングバック成形

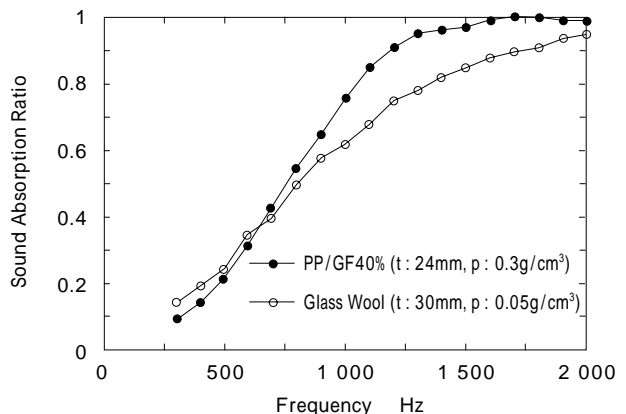
よく解きほぐされた長い繊維は溶融樹脂中で膨張する性質(スプリングバック)がある。この性質を射出成形と組み合わせると発泡成形品を一工程でおこなうことができる(第8図)。金型中に射出された溶融樹脂が冷却固化する前に型を所定量開き、GFのスプリングバック力により樹脂を膨張させる。第9図に示すようにえられた発泡成形品はガラスウールと同等以上の吸音性があり、また軽量高剛性材料としても比強度や比剛性は高い値を有している。応用製品として各種エンジンのノイズシールドや座席のニーボルスタなど考えられる。



第7図 高温下の曲げクリープ
(PP-LFPとエンブラSFPの比較)
Fig. 7 Flexural creep at elevated temperature
(Comparison between PP-LFP and engineering plastics SFP)



第8図 スプリングバック成形工程図
Fig. 8 Spring-back molding process



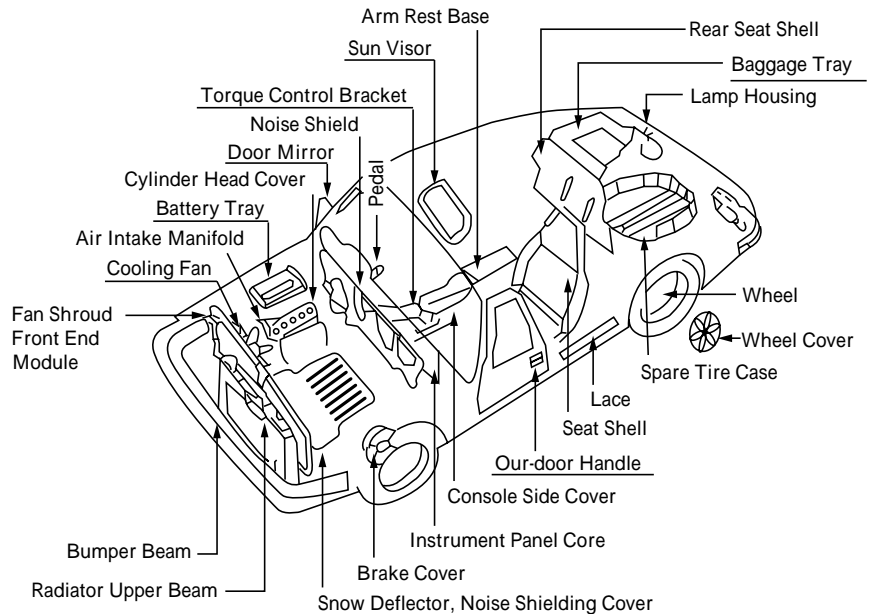
第9図 スプリングバック成形品の吸音性能
Fig. 9 Sound absorption efficiency of spring-backed molded article

5. 自動車部品への応用とその考え方

国内外で適用がところみられている部品や採用例を第10図に示す。LFP採用の考え方は次のようにまとめられる。

1) PPのLFPで上位エンブラを置きかえる

PPのLFPは強度や耐熱性などの物性が向上するのでエンブラの代替が可能である。PPは耐薬品性にも優れる。採用部品例としては、アウトドアハンドルがPOM/GFやPC/PBTなどからPPのLFPに置きかわった。この部品では耐候性の改良にも成功している。耐熱性を必要とするトルコンブラケットもアルミやエンブラからPPのLFPに置きかわっている。これらのメリットは軽量化とコストダウンにある。たとえば、曲げ弾性率を同じ



第10図 LFP 採用検討部品例
(下線部品は採用例)
Fig. 10 Examples of LFP application
and trial product
(Underlines are on the market)

に設計した場合の各樹脂の GF 含有率と比重、容積あたりの重さを第2表に示した。PP 系では比重が小さいために約3割の軽量化が実現できる。高濃度 GF を含有する LFP をマスターバッチとしてもちいると樹脂単価も下がるので、コストダウンは大きくなる。

2) PP の LFP でほかの PP 系強化樹脂を置きかえる

LFP は SFP や各種フィラ配合にくらべて、剛性や衝撃強度に優れるために、同一物性を維持する場合には GF 含有率を低下することができ、そのぶん軽量化できる。またスタンプ用シートに近い物性も GF 含有率を上げることによりえることができる。この例としてバッテリートレイがある。またクーリングファンなど従来タルク添加で剛性を高めた部品に対しては、LFP は衝撃強度や曲げ強度、寸法収縮など優れるとともに軽量化が図れる。

3) エンプラの LFP で金属を置きかえる

アルミ製サンバイザの軸やドアミラの芯部に PA の LFP が採用されている。第5図に示されるような非常に高い衝撃強度や弾性率の半芳香族 PA の LFP は、電気自動車やゴーカートのホイールにも検討されている。PA の LFP はインテックマニホールドやシリンダーヘッドカバーなどのエンジンルーム内耐熱部品に検討されている。PPS の LFP はより高温、耐油部品に検討されている。

むすび=LFP を使うと、射出成形品中に繊維長が 1mm 以上残される。このため、PP-LFP ではエンプラやスタンプ用シート成形品に匹敵する性能が発揮され、エンプラ系 LFP では金属部分の一部の代替が可能である。自動車に現在使用されているエンプラ部品や金属部品の一部置き換えが開始されている。ただ、採用にあたっては、
(1) 繊維配合や繊維長分布による物性の変化やソリが発生する
(2) 成形品のウエルド部(樹脂の流れの合流地点)での物性の低下が見られる
などの FRTP の特有のくせを成形品設計段階で考慮しておく必要がある。流動解析をおこない、繊維配向、ウエル

第2表 PP/LFP とエンプラ SFP の重量比較

Table 2 Weight comparison between PP-LFP and engineering plastic SFP with 4000 Mpa of flexural modulus

Material	Flexural Modulus MPa	GF Cont. wt%	Specific Gravity	Specific Gravity Ratio
PA6/GF(wet)(SFP)	4 000	32	1.36	1.28
PC/GF(SFP)	4 000	13	1.39	1.31
POM/GF(SFP)	4 000	12	1.37	1.29
PP/GF(LFP)	4 000	23	1.06	1.00

ド部、ゲート位置などを配慮した型設計が重要である。当社では長繊維材料である BMC の場合についてすでに解析の基本技術⁸⁾があり、これを応用して設計に役だてている。

当社ではユーザーと連携して総合的な技術支援をおこない、LFP の優れた特徴を生かして自動車部品の性能向上に寄与したいと考えている。

注) 本文中の略号の説明

LFP: 長繊維ベレット, SFP: 短繊維ベレット, GF: ガラス繊維, PP: ポリプロピレン, PA(wet): ポリアミド(吸湿), PC: ポリカーボネート, AS: アクリロニトリル/スチレンコポリマ, ABS: アクリロニトリル/ブタジエン/スチレン樹脂, PET: ポリエチレンテレフタレート, PBT: ポリブチレンテレフタレート, PPS: ポリフェニレンスルフィド, POM: ポリアセタール, FRTP: 繊維強化熱可塑性樹脂

参考文献

- 1) 公告特許: 平 8-25200 (神戸製鋼所)
- 2) 公告特許: 昭和 63-37694(ICI)など, 公開特許: 平 1-21440(三井東圧化学), 昭 63-26432(アトケム), 米国特許: US Patent 4439387 (PCI)
- 3) 野村 学ほか: 出光技報, Vol.36 No.2 (1993), p.187.
- 4) 高野菊雄ほか: 「ストラクチャルプラスチックの成形と応用」(1991), p.37.プラスチックエージ社刊.
- 5) T. Tanaka et al.: Polymer Processing Soc., 12th Ann.Meeting, Italy (1996), p.27
- 6) 示野医晃ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.44 No.3 (1994), p.26.
- 7) 長岡 猛ほか: R&D 神戸製鋼技報, Vol.44 No.3 (1994), p.57.
- 8) S. Kukula et al.: The Society of the Plastics Industry, 51th Annual Conference(1996) Session 21-B,13-A.