

(技術資料)

熱可塑性プラスチック含浸装置

Thermoplastics Impregnation Machines

若園武彦*¹

Takehiko WAKAZONO

This paper describes two separate machines; one for making pellets of long-fiber reinforced thermoplastics (LFT) and the other for making tapes of uni-directional fiber reinforced thermoplastics (UD-FRTP), both the pellets and tapes being manufactured by impregnating thermoplastics into fibers. The LFT pellet machine, equipped with an impregnating head and a strand twisting-pulling device, both newly developed, enables the production of LFT pellets consisting of fibers that are fully impregnated with resin at a high productivity. The UD-FRTP tapes, which fully exploit the mechanical strength of fibers aligned in one direction, have been made by applying the impregnation technique described above. The machine has a fiber-pulling nozzle and a cooling roller that are adequately spaced, which has enabled the manufacturing of UD-FRTP with excellent fiber dispersibility.

まえがき^{1)~3)} = 繊維強化熱可塑性樹脂（以下、FRTPという）は成形加工性に優れる熱可塑性樹脂を繊維で強化した樹脂である。FRTPを使用することによって剛性や耐衝撃性を高めた部品とすることができ、樹脂単体では適用できなかった強度を要する部品への樹脂材料の適用が広まった。近年では自動車や電気・電子機器の各種部品において多く使われている。

以前より使用されてきたFRTPは樹脂材料であるペレットに1 mm以下程度の繊維を強化繊維として混練したものであり、これを射出成型機に投入して所望の部品形状に成形する。いっぽう、1980年代初めに、さらなる剛性と耐衝撃性の向上のため、繊維がペレットの長さ方向に平行に並び、ペレット長さと同じ長さを持つ数~十数mmの長繊維強化熱可塑性樹脂（以下、LFTという）ペレットが開発上市された。LFTペレットはこれまでと同様、射出成型機に投入して成形できる成形容易性を有する。さらに、樹脂材料の強度向上も達成でき、自動車軽量化ニーズともあいまって使用量が増加した。

当社は、生産性が高く連続運転が可能なLFTペレット製造装置を2004年から製造販売している。本装置は、引抜成形法を基本に強化繊維束に樹脂を含浸させ、樹脂含浸した連続強化繊維束（ストランド）に撚（よ）りを加えながら引き取る。これを所定の長さに切断することで高品質のLFTペレットを生産することができる。また、このストランドをそのまま一方向繊維強化樹脂製品として利用することも可能である。

さらに、繊維の機械的強度を最大限に引き出すために強化繊維束を一方向に引きそろえ、熱可塑性樹脂を含浸させてテープ状に引き出した一方向繊維強化熱可塑性樹脂（以下、UD-FRTPという）テープも注目を浴びている。

UD-FRTPテープは繊維の持つ機械強度を最大限に享受でき、さらなる強度向上と部品の軽量化に貢献できることから、自動車材を中心に今後の拡大が見込まれる。当社では上述の含浸機構を活用することにより、熱可塑性樹脂をマトリックスとする薄肉・高繊維含有率のUD-FRTPテープの連続製造を可能とした。

本稿では、上述のLFTペレットおよびUD-FRTPテープを製造するための当社熱可塑性プラスチック含浸装置を紹介する。

1. LFTペレット製造装置^{1)~3)}

1.1 プロセスおよび装置の概要

図1にLFTペレット製造装置のプロセス模式図を示す。また、これによって生産されるLFTペレットを図2に示す。繊維は①ロービングスタンドから繰り出され、含浸前に②プレヒータで予熱され、繊維による溶融樹脂の冷却防止、含浸の促進が図られる。いっぽうで、樹脂は③二軸混練押出機で加熱溶融されて④樹脂含浸ヘッドに導かれ、連続強化繊維に含浸された後、ストランドとして引き出される。ストランドは⑤冷却槽で冷却され、溶融していた樹脂は固化して⑥引取装置で撚りながら引き取られる。⑦ペレタイザでストランドは所望の長さに切断されてLFTペレットとなる。

図1は開発用途に使用される1ストランド機の模式図であるが、樹脂含浸ヘッドを複数台設けることによって複数ストランドを同時に生産する装置とすることが可能である。このため当社では、1ストランド型ラボモデルだけでなく、2ストランド型ラボモデル、および10ストランド以上の対応が可能な量産モデルを製造販売している。表1は、各種材料組成のLFTペレットを生産した

*¹ 機械事業部門 産業機械事業部 樹脂機械部

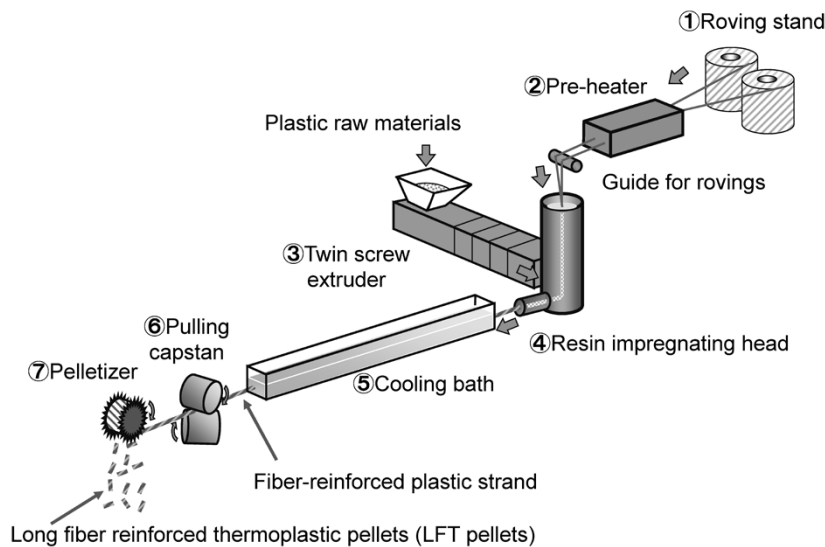
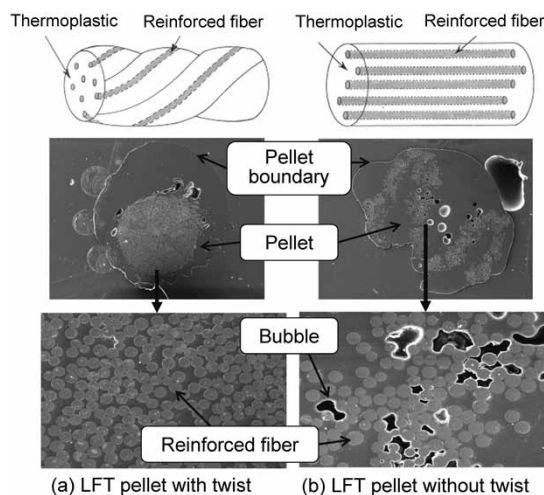


図1 LFTペレット製造装置のプロセス図

Fig. 1 Schematic diagram of process for LFT pellet production apparatus



図2 LFTペレット
Fig. 2 LFT pellets



(a) LFT pellet with twist (b) LFT pellet without twist

図3 LFTペレット模式図と断面写真

Fig. 3 Schematic drawings and cross sectional photos of LFT pellet

表1 LFTペレット製造装置の概算生産能力

Table 1 Approximate production capacity of LFT pellet machine

Material	Approximate production capacity (kg/h)	
	Laboratory model	Mass production model
PP/GF	10~30	100~300
PET/GF	10~30	100~300
PA66/CF	8~24	80~240
PP/PET fiber	8~20	80~200

Laboratory model: 1-strand type machine
Mass production model: 10-strand type machine

場合の各装置モデルの概算生産能力を示す。

1.2 主要な構成装置とその特徴

(1) 二軸混練押出機

樹脂の溶融押出装置には、各種コンパウンドおよびプロセス用途に使用されている当社の同方向完全噛合（かみあい）型二軸混練押出機を適用する。二軸混練押出機を樹脂溶融部に用いる利点は、溶融押出工程で二軸混練押出機の特徴である高い混練性能を用いた樹脂の改質が可能なことであり、具体的には以下のようなものが挙げられる。

- ①安価で高粘度なポリプロピレン（以下、PPという）樹脂に過酸化物を添加して低粘度化することで樹脂の流動性を改善することができる。また、低粘度PPに調整することで繊維への樹脂含浸性能を改善することができる。

- ②PP樹脂と連続強化繊維（とくにガラス繊維）との接着性を改善するため、PPに無水マレイン酸を添加する。

- ③タルクや紛体フィラを添加し、樹脂の特性をプロセス中で改質することができる。

(2) 含浸ヘッド

本装置では、独自に開発した特殊含浸ヘッドによって繊維の1本1本にまで樹脂を含浸被覆でき、含浸性の良好なLFTペレットを得ることができる。ここで、LFTペレットの模式図と断面写真を図3に示す。さらに含浸部分を拡大し、繊維間の密着性を確認した写真（同図最下段）も示す。従来の平行引取方式のLFTペレット（図3（b））では繊維と樹脂界面付近に空洞（気泡）が多く存在している。いっぽう、当社独自の含浸ヘッドとおおよび次節で述べる撚り引取方式では、発生した気泡は繊維束外部へ押し出されるため、繊維と樹脂の密着性を高めることができる（図3（a））。このように樹脂と繊維が密着しているLFTペレットは成形品の機械的特性が向上する。

さらにこの含浸ヘッド部は、ストランドのラインごと

にインナパイプ型やラダー型のカートリッジ方式のパーツを交換使用できる方式を採用している。このため、生産中に繊維が切れた場合のメンテナンス作業、あるいはラボにおける別条件への変更作業などが容易に行える構造となっている。

(3) 引取機

図4に撚り機構を持つ引取方式の模式図を示す。二つの引取ロールに挟まれたストランドは、引取ロールの回転によってストランドの軸方向に送られる。ここで、二つの引取ロールの回転軸を互いに逆方向に θ 傾けることにより、ストランドを周方向に回転させ、ストランド自身に撚りをかけながら軸方向に引き取ることが可能となる。

繊維が軸方向に平行に並んでいる従来方式では、含浸ヘッドのノズル部で毛羽が立ちやすいため引取速度を上げることができなかつた。しかしながら、ストランドに撚りをかけることによって高速に引き取ることが可能となった。強化繊維の種類や熔融樹脂の粘度によって差はあるが、撚り角度を大きく取るに従ってより高速化できるようになる。

このように、従来の長繊維ペレット製造装置と比較して高い生産性を達成する装置となっている。

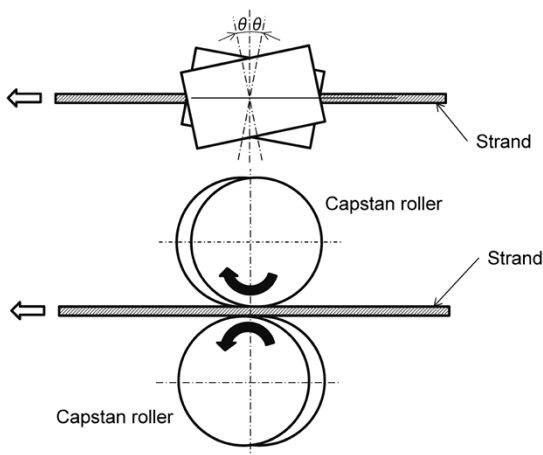


図4 撚り機構を持つ引取方式の模式図
Fig. 4 Schematic diagram of twist pulling capstan

2. UD-FRTPテープ製造装置⁴⁾

2.1 プロセスおよび装置の概要

図5にUD-FRTPテープ製造装置の模式図を示す。本装置は、上述のLFTペレット製造装置の含浸機構を活用することにより、FRTPテープ中間基材として昨今注目を集めている一方向繊維強化熱可塑性樹脂(UD-FRTP)テープを連続して製造できる装置である。

連続繊維束は①張力調整器で張力を一定に保ち、②プレヒータで含浸前に予熱される。樹脂は③押出機で熔融加熱され、④樹脂含浸ヘッドに導かれて繊維束に含浸される。繊維束は、樹脂含浸ヘッドに取り付けられたスリットダイスから連続的に引き抜かれ、⑤冷却ローラとの接触で樹脂を冷却固化させた後、⑥巻取装置でUD-FRTPテープとして巻き取られる。押出機を二軸混練押出機とすることにより、LFTペレット製造装置と同様にプロセス中の樹脂の改質が可能である。

2.2 試作結果および考察

上述のUD-FRTPテープ製造装置を用いて実際のテープを試作した。その試作仕様およびテープの外観をそれぞれ表2および図6に示す。各材料構成において、表2に示した薄肉・高繊維含有率のテープを最大3 m/minの引取速度で連続製造することができた。とくに、PP/CF組成では、厚さが約60 μ mで体積繊維含有率が50%を超えるテープの製作が可能であった。

テープ中の強化繊維の偏析を低減して分布の均一化を図るには、図5に示すダイスと冷却ローラ1との間の距離を一定値以下に小さくすることが有効である。図7に、15 mm幅の50 vol% PP/CFテープを製作する際の、テープ厚さに対する好適なダイス-冷却ローラ距離範囲を示す。ダイスを通過した直後のテープは樹脂が熔融した状態である。これを冷却ローラにてすぐに冷却固化させることによってテープ幅方向に繊維の粗密が発生するのを抑制する。この好適条件で製作したUD-PP/CFテープの外観写真を図8に示す。テープ表面は平滑であり、テープのうねりも僅少である。同テープおよび比較例として適正範囲外の条件で製作したテープの断面の顕微鏡写真をそれぞれ図9(a)、(b)に示す。

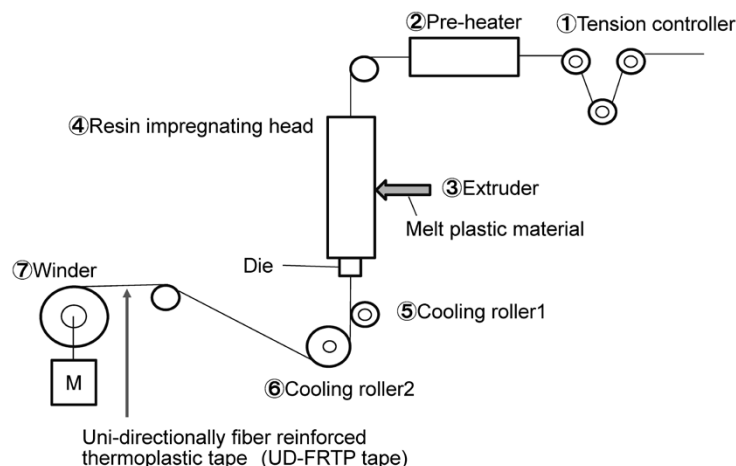
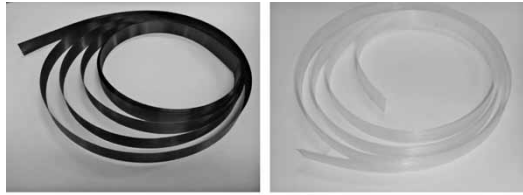


図5 UD-FRTPテープ製造装置のプロセス図
Fig. 5 Schematic diagram of process for UD-FRTP tape production apparatus

表 2 UD-FRTP テープ試作仕様
Table 2 Specifications of prepared UD-FRTP tape

Material	Tape width x thickness (mm)	Wf (Vf) (%)
PP/CF	15 x approx. 0.06	68 (52)
PP/GF	19 x approx. 0.15	60 (35)
PA6/CF	15 x approx. 0.08	46 (35)
PA6/GF	19 x approx. 0.14	50 (31)



(a) UD-PP/CF tape (b) UD-PP/GF tape

図 6 UD-FRTP テープの試作品
Fig. 6 Prototypes of UD-FRTP tape

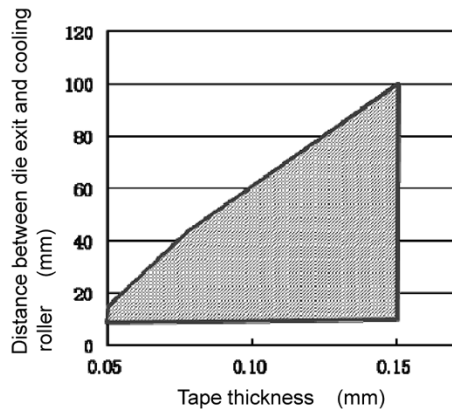


図 7 繊維を均一に分散させるための最適なダイス出口 - 冷却ローラ間距離の範囲 (50 vol% PP/CF)

Fig. 7 Preferable range of distance between die exit and cooling roller for attaining uniform distribution of fibers (50 vol% PP/CF)

図 9 (b) は、テープの厚さが一定でない上に CF の分布に粗密がある。これに対して図 9 (a) ではほぼ一般的なテープ厚さとなり、CF がテープ幅方向にわたって均一に分布していることがわかる。両画像の 3 箇所を抽出し、画像処理にて算出したフラクタル次元の平均値は (a) が 0.81, (b) が 0.26 となり、(a) の繊維分布の均一性が定量的に裏付けられた。

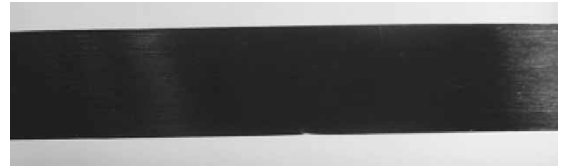
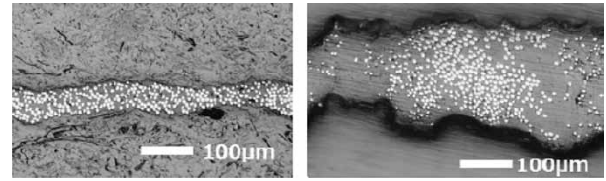


図 8 UD-PP/CF 外観写真 (50 vol%)
Fig. 8 Appearance of UD-PP/CF (50 vol%)



(a) Well distributed (b) Poorly distributed

図 9 PP/CF テープ断面写真 (50 vol%)
Fig. 9 Cross sectional views of PP/CF tape (50 vol%)

むすび = 本稿で紹介した装置で製造される LFT ペレットおよび UD-FRTP テープは、自動車軽量化のニーズの高まりによってますますその量的拡大が期待される。また熱可塑性樹脂も PP, PA66, PA6にとどまらず、各種のエンジニアリングプラスチックの採用により、機械的強度や耐熱性を改善した材料が開発され、これまで熱可塑性樹脂が適用されなかった部材への適用が進むことも推測される。したがって、各種成形方法の開発が進む一方で、基材である LFT ペレットおよび UD-FRTP を製造するための技術や装置にもより一層の高性能化が求められる。当社は、これら製造装置のサプライヤとして今後も改良に取り組むことによって本分野における用途および需要拡大の一端を担っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) 櫻井康弘, 神鋼テクノ技報. 2014, Vol.26, No.42.
- 2) 田中達也ほか, プラスチックス. 2005年7月号.
- 3) 藤浦貴保ほか, 強化プラスチックス. 2006, Vol.52, No.9.
- 4) 藤浦貴保ほか, プラスチック成形加工学会 第26回年次大会予稿集. 2015, p.324.