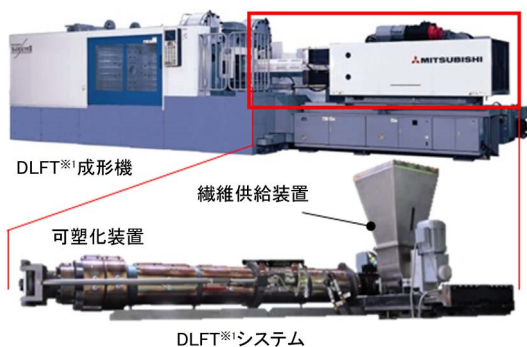


長繊維強化樹脂部品の低コスト化を実現する 繊維・樹脂の高品質・直接混練成形技術

High-Quality Direct in-line Long Fiber Reinforced Thermoplastics Compounding Technology



※1 DLFT: Direct Long Fiber Reinforced Thermoplastics

岡部 良次^{*1}
Ryoji Okabe

別所 正博^{*2}
Masahiro Bessho

戸田 直樹^{*3}
Naoki Toda

信田 宗宏^{*4}
Munehiro Nobuta

樹脂部品の高強度化に有効な長繊維強化樹脂の原料コスト低減の打ち手として、強化繊維と非強化樹脂を射出成形で直接混練するダイレクト成形法が注目されている。一方でダイレクト成形には特殊な専用設備が必要であり、設備コスト増加や、オペレーションやメンテナンスの複雑化といった課題がある。本稿では、汎用射出成形機と同様なインライン単軸スクリュを用いたダイレクト成形(DLFT システム)の実現を目指し、強化繊維の均一分散と強度向上に必要な繊維長確保(折損防止)を両立するためのシミュレーション技術開発から DLFT システムの製品化までの取り組みを紹介する。

1. はじめに

近年の自動車業界では、排出ガス規制強化を背景に燃費向上が必要となっており、その打ち手として車体軽量化を目的とした自動車部品の樹脂化が進んでいる⁽¹⁾。特に樹脂部品の高強度化に有効な長繊維強化樹脂(LFT=Long Fiber Reinforced Thermoplastics)は、自動車のフロントエンドモジュールやバックドアモジュール等への採用が広がっているが⁽²⁾、通常の短繊維強化樹脂と比較して、LFTコンパウンドの製造には専用設備や特殊工程のノウハウが必要であり、原料コストアップの要因となっている。この LFT の原料コスト低減の打ち手として、コンパウンド工程(繊維強化樹脂ペレットの中間基材製造工程)を省略、強化繊維と非強化樹脂ペレットを射出成形で直接混練するダイレクト成形法が注目されている。一方で繊維と樹脂の直接混練には、通常二軸スクリュ等を用いた複雑な構成の専用設備が必要であり、設備コストの増加や、オペレーションやメンテナンスが複雑化するといった問題点がある。そこで、当社では汎用の射出成形機と同等のシンプルな設備構成となるインライン単軸スクリュを用いたダイレクト成形(DLFT=Direct Long Fiber Reinforced Thermoplastics システム)の実現を目指し、開発を進めてきた。課題は混練能力の限られた単軸スクリュでの強化繊維の均一分散と強度向上に必要な繊維長確保(折損防止)の両立にある。本稿では上記課題解決に向けて、三菱重工プラスチックテクノロジー(株)と三菱重工業(株)総合研究所が共同で進めてきた要素技術開発から DLFT システムの製品化までの取り組みを紹介する。

2. 繊維開繊・折損挙動予測技術開発

2.1 個別要素法(DEM=Distinct Element Method)による繊維開繊、折損シミュレーション

自動車部品の繊維強化樹脂に多く採用されるガラス繊維のチョップド素材(所定長さに切断さ

*1 総合研究所製造研究部 主席研究員

*2 総合研究所製造研究部 室長

*3 三菱重工プラスチックテクノロジー(株)技術部 部長

*4 三菱重工プラスチックテクノロジー(株)技術部 グループ長

れた繊維)は、ハンドリング性を確保するため繊維束を形成しており、通常数千本の繊維が集束剤により束状に固められている。この繊維束を熔融樹脂と混練し繊維強化材としてその性能を發揮するには、ガラス繊維の折損による繊維長低下を抑制しながら、スクリュ内のせん断速度場により、繊維束を開繊させ熔融樹脂中に均一に分散させる必要がある。そこで、DEMを用いて繊維束をモデル化、熔融樹脂中の繊維束の開繊と折損の進行を予測するシミュレーション技術を開発し、スクリュデザインや混練条件適正化のツールとした。図1に繊維束モデルの概念図と開繊・折損解析の状況を示す。開繊解析モデルは、繊維と集束剤の強度物性値を考慮し、繊維束中の繊維を単一粒子の連続体、集束剤を粒子間の結合力としてモデル化した。また開繊挙動の解析については、スクリュ溝内のせん断速度場を部分的な領域でモデル化するとともに、スクリュ通過時間や通過中のせん断速度変化を考慮できるように、周期境界を与え、連続的な繊維束開繊と繊維折損の挙動変化を解析可能としている。

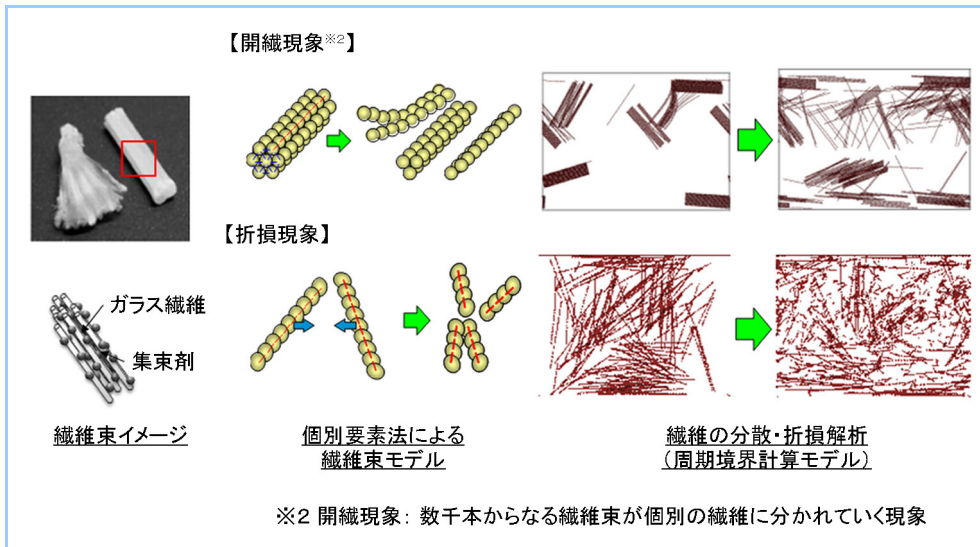


図1 繊維束モデル概念図と開繊・折損解析

2.2 可視化実験によるシミュレーション予測精度検証

前項で構築した繊維開繊・折損シミュレーションの妥当性を検証するため、図2に示すスクリュのせん断速度場を模擬した可視化実験を実施した。実験に供したガラス繊維束はポリプロピレン用の集束剤が処理されたチョップド素材で、これをポリプロピレンの熔融状態と同等の粘度に調整した粘性流体に分散させ、せん断速度とせん断付与時間をパラメータに試験を実施、繊維束の開繊過程の可視化や、試験後の開繊率及び繊維長測定を行い、DEM によるシミュレーション結果との比較・補正を行うことで予測精度を向上している。

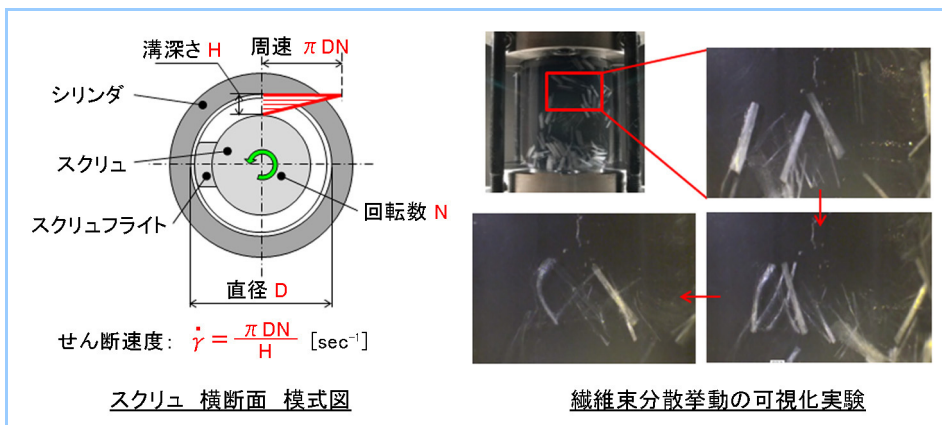


図2 スクリュのせん断速度場と可視化実験の状況

3. ダイレクト成形用スクリュ開発

3.1 ダイレクト成形用スクリュのコンセプト証

図3にダイレクト成形用スクリュのコンセプトを示す。開発したDLFTシステムでは前述のように、射出動作が可能な単軸スクリュを用い、スクリュ前段部にて樹脂ペレットを熔融後、スクリュ後段部に繊維束を供給、熔融樹脂と繊維束を混合し、スクリュにより付与されるせん断速度場により繊維束の開繊と熔融樹脂中への繊維の均一分散を図っている。ここで、前項で述べた繊維開繊・折損挙動予測技術を用いて、スクリュ後段のフライトデザインとスクリュ動作を含めた混練条件を適正化することで、高品質な長繊維強化樹脂のダイレクト成形を可能としている。なおスクリュ後段のフライトデザインについては、樹脂流動解析によりスクリュ溝内の熔融樹脂流動状態を解析し、繊維開繊・折損挙動予測技術と組み合わせることで、せん断応力場が最適となるよう、設計している。

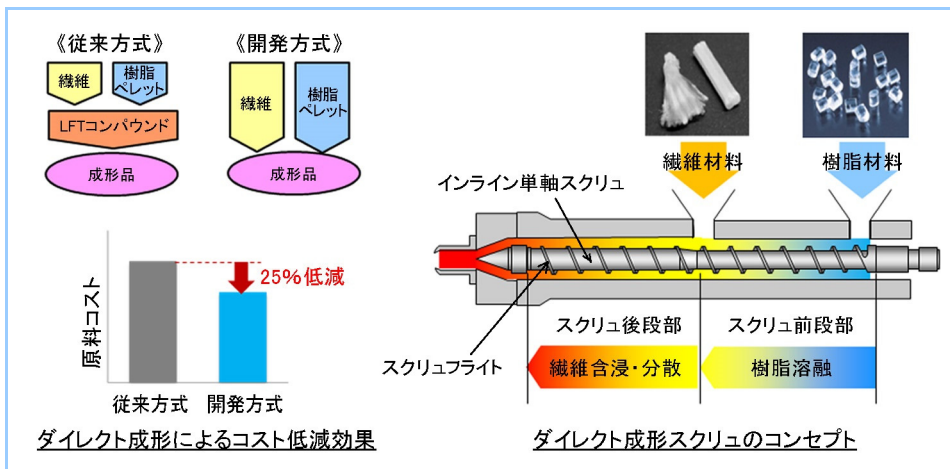


図3 ダイレクト成形用スクリュのコンセプト

3.2 スクリュ性能の実証試験

繊維開繊・折損予測技術によりフライトデザインを最適化したダイレクト成形用スクリュを試作、実機にて予測技術の妥当性を確認するとともに、繊維の均一分散性及び繊維長評価を行い、スクリュ性能を検証した。図4にスクリュ性能検証試験の状況と試験結果を示す。スクリュ後段に投入したチョップド繊維は熔融樹脂と混練されながらノズル出口に向かってスクリュによりフィードされていくが、この間に繊維束の開繊・分散と繊維の折損に伴う繊維長低下が生じる。実証試験の結果、分散性と繊維長の予測値(実線)と実測値(プロット)は良く一致するとともに、ノズル出口では目標とした分散率と繊維長が得られることを確認し、ダイレクト成形用スクリュとしての性能を実証できた。

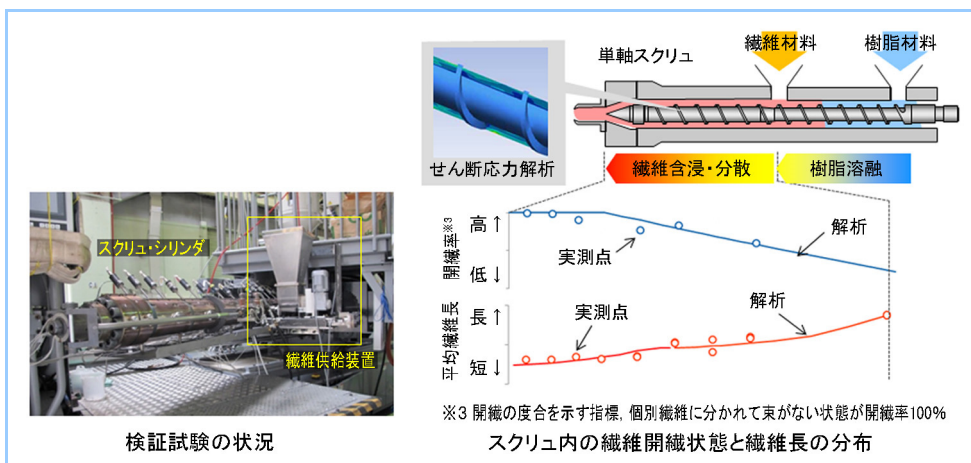


図4 スクリュ性能実証試験

4. DLFT システム開発

4.1 DLFT システムの仕様

ダイレクト成形用スクリュ性能が実証できたことから、前記デザインのスクリュを射出成形機に搭載し、チョップドガラス繊維の原料自動供給装置やダイレクト成形用に改良したスクリュ制御プログラムを組み込んだ DLFT システムを開発した。DLFT システムの概要と仕様を図5に示す。繊維供給部のフィーダ装置では、スクリュ前段部で可塑化する熔融樹脂の吐出量に合わせ繊維含有率が一定となるよう繊維供給量を制御している。また供給する繊維束はマトリックスとなる樹脂との界面強度を確保するとともに、DLFT システムでの熔融樹脂中での分散性を考慮し集束剤を適正化している。開発した DLFT システムは既存の電動射出成形機に、ダイレクト成形用のスクリュ・シリンダと繊維供給部、及び制御システムを組み込むだけで、ダイレクト成形が可能となるシンプルなシステムなため、図6に示す 550ton～3500ton までの電動射出成形機にシステム導入が可能である。

成形機 1300em II-160DL (DLFT仕様)		
項目	単位	仕様値
型締力	tonf	1300
タイバー間隔(H×V)	mm	1450×1400
型締ストローク(最大)	mm	1800
デイト	mm	2500
スクリュ径(DLFT専用)	mm	90
理論射出容量	cm ³	2290
射出速度	mm/sec	160
射出率	cm ³ /sec	1017
最大射出圧力	MPa	177




図5 DLFT システム

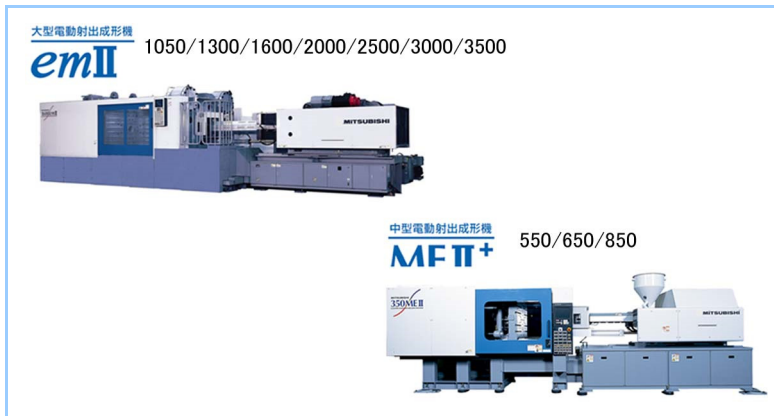


図6 DLFT システム適用機種

4.2 DLFT システムでの成形テスト結果

開発した DLFT システムを用いて、実際に平板(922mm×537mm, t=2.15mm, サイドゲート1点)の成形トライを実施した。成形トライではポリプロピレン樹脂にガラス繊維を最大 46wt%混合し 60sec サイクルで自動運転を行いサンプルの連続成形を行った。成形品外観を図7に示す。DLFT システムによってスクリュや繊維供給部の制御を最適化することで、ガラス繊維束が十分に開繊し樹脂中に均一に分散した成形品が得られていることが分かる。この成形品サンプルからテストピースを切りだし、曲げ強度を評価した結果、市販のガラス短繊維強化樹脂と同様に成形したサンプルに対し 1.8 倍の強度を有し、従来の長繊維強化樹脂相当の強度レベルが得られていることを確認した。

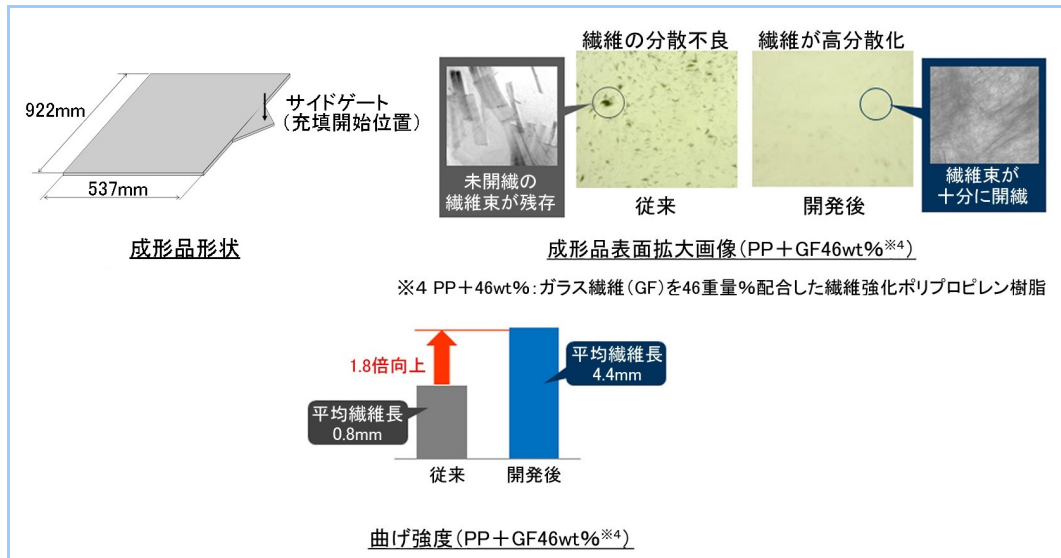


図7 DLFT 成形品の外観と曲げ強度

5. まとめ

本稿では、長繊維強化樹脂の原料コスト低減とともに、設備コスト、オペレーションやメンテナンスの容易さで優位なインライン単軸スクリュによるダイレクト成形が可能なDLFTシステム開発の一連の取り組みを紹介した。既にDLFTシステムは三菱重工プラスチックテクノロジー(株)にて販売を開始しており、本稿で紹介した型締力1300tonのDLFTシステムを常設し、お客様の製品での成形トライとシステム評価に対応している。今後はDLFTシステムを広く利用頂くため、お客様サポートを強化するとともに、樹脂部品の更なる低コスト化や軽量化、強度向上を可能とする技術開発を進め、お客様のニーズに応えるとともに、省エネ化や環境負荷低減に貢献していきたい。

参考文献

- (1) 保谷敬夫, 自動車用プラスチックの役割と将来, プラスチックエージ, 2014年5月号 (Vol.60), p62
- (2) 戸田直樹, 軽量化を支える成形ソリューション, 産業機械, 2016年4月号, p.37-42