

7 3D プリンタ用フィラメント製造技術の開発

西田裕紀、丸本翼

Development of filament manufacturing technology for 3D Printers

NISHIDA Hironori and MARUMOTO Tsubasa

We have developed a new application for our twin-screw extruder. It is a new puller and winder capable of making 3DP filaments. By using that application, we have halved the variation in filament diameter and improved it to a level where it can be modeled in 3DP. Furthermore, pellets can be made at the same time, allowing comparison with injection-molded products made from the same material. As an example of its application, we show the characterization and modeling example of the addition of recycled carbon fiber and oyster shell powder as filler.

キーワード：3D プリンタ、フィラメント、機械的特性試験、牡蠣殻

1 緒 言

近年、企業のみならず個人においても 3D プリンタ（3DP）の利用が急速に拡大している。装置本体の価格低下に伴い、試作品や一点物の治具など、多様な分野で活用されるようになった。しかし、使用される樹脂母材やフィラーに関する情報は限られており、造形品の設計に際して課題となる場合が少なくない。さらに、射出成形品との比較を求められることも多いが、FDM 方式の 3DP で造形された樹脂成形品は、射出成形品に比べて一般的に機械的強度が低下することが知られている¹⁾。加えて、市販されている 3DP 用フィラメントは、その組成が不明瞭である場合が多い。例えば、添加物を含んでいても「ポリ乳酸」とだけ表示されている場合や、樹脂の種類自体が明記されていない場合もあり、機械材料としての活用には課題が残る。また、データ取得のためにフィラメントを自ら作製し、造形品と射出成形品をそれぞれ成形・強度評価して比較できる体制を備えた企業は多くない。

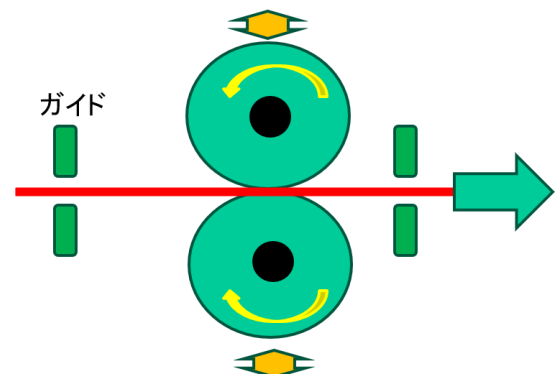
本研究では、二軸混練押出機のオプション装置として射出成形用ペレットから直接フィラメントを作製するための引取機および巻取機を新たに開発した。本装置を用いることで、同一材料から射出成形品と 3DP 造形品を同時に作製し、両者の機械的特性を直接比較することが可能となった。

また、本方法を適用したリサイクル炭素繊維をフィラーとする材料および、広島県産の牡蠣殻粉末をフィラーとしたポリアミド樹脂を用いた 3DP 造形品と射出成形品を比較した事例を報告する。

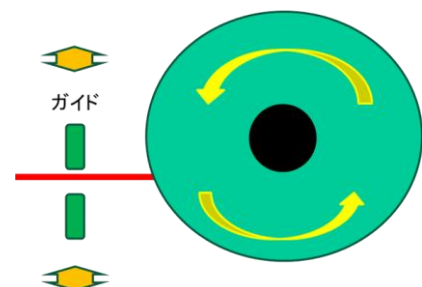
2 引取機及び巻取機

2.1 引取機と巻取機の概要

図 1 にフィラメント引取機、巻取機の概要を示す。フィラメント引取機は二軸押出機で作製したフィラメントを定速で引き取ることができ、最速で 25m/min で引き取ることが可能である。巻取機は、あらかじめ引取機で仮巻きしたフィラメントを、10m/min で並行巻きに巻き直すことができ、3DP へのフィラメントの安定供給を実現した。



(a) 引取機



(b) 巻取機

図 1 装置概要

2.2 引取機の効果

引取機を用いた場合、用いなかった場合を比較しフィラメント径の安定性を評価した。

フィラメント径の測定方法は JIS K 6821 「3D プリント用ポリ乳酸フィラメント」に準拠し、任意の 30 点をノギスで測定し、そのばらつきを評価した。結果を図 2 に示す。

図 2 より、ばらつきは半減することが分かった。

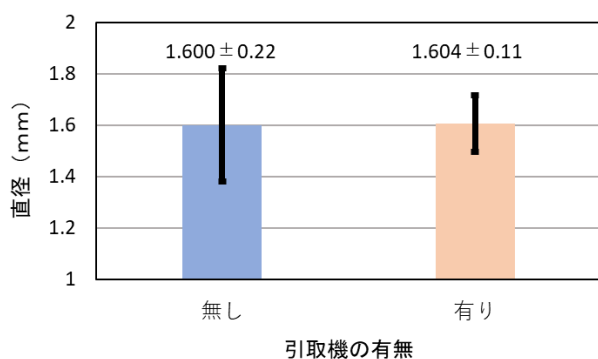


図 2 フィラメント径のばらつき比較

3 適用事例 1 リサイクルカーボン

3.1 実験方法

材料には、母材として (株) 三菱ガス化学製ポリアミド LEXTER#8000、フィラーとして (株) ミライ化成製リサイクルカーボンを使用した。二軸混練押出機 ((株) 日本製鋼所 TEX30) を用いて混練し、母材のみとフィラー添加の 3DP 用フィラメント 2 種類と、フィラー添加の射出成形用ペレットを作製した。フィラメントは前述の引取機及び巻取機を使用して作製した。

作製した材料を用い、3DP 造形品と射出成形品と比較した。

射出成形品は、射出成形機 ((株) 日本製鋼所製 J80-ADS 110U) を用いて、JIS K7161-2 1A 型ダンベル試験片を成形し、曲げ試験片はこれを寸法 80mm×10mm×4mm に加工した。

3DP 造形品は、FDM 方式 3DP ((株) Elegoo 製 Neptune 4 Plus) を用いて造形した。各試験片の印刷方向は図 3 に示す通り、XY 面において X 軸に平行にプリントし、ノズル温度や印刷速度は各材料における適正な設定で造形した。

引張試験は JIS K 7161 に準拠し、万能試験機 ((株) 島津製作所製 AGX-100KNE) を使用して、試験速度 50mm/min、つかみ具間距離 115mm で試験した。なお、引張弾性率は装置のストロークより算出した。

曲げ試験は IS K 7171 に準拠し、万能試験機 ((株)

島津製作所製 AGX-100KNE) を使用して、試験速度 2mm/min、支点間距離 64mm で実施した。

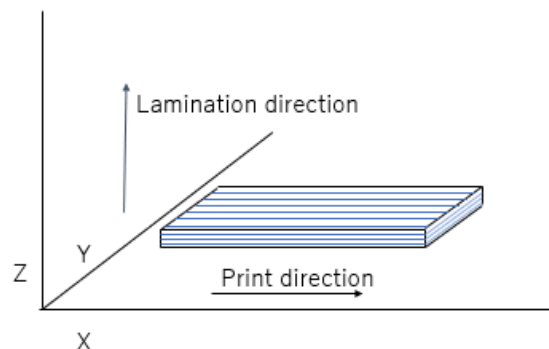


図 3 3DP 造形方向

3.2 実験結果と考察

作製した材料を使用し、3DP 造形品と射出成形品それぞれで引張試験と曲げ試験を行った。試験結果を LEXTER#8000 バージン材の射出成形品の試験結果に対し標準化した結果を図 4 に示す。

バージン材の射出成形品と比較し、カーボン添加材を使用した場合 3DP 造形品・射出成形品ともに強度剛性が向上している。さらに、3DP 造形品は射出成形品を上回る結果が得られた。その原因を明らかにするため、デジタルマイクロスコープ ((株) ハイロックス KH-7700) を用いて試験片断面 (図 3 ZY 面) を観察した。

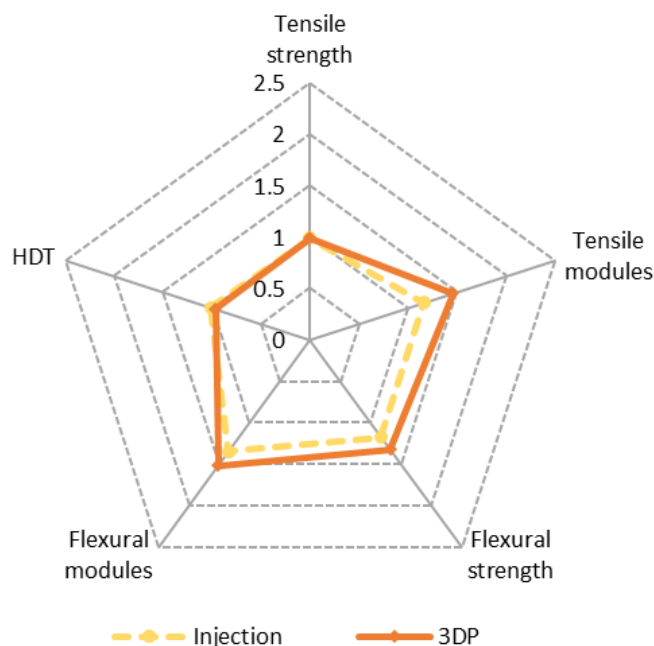
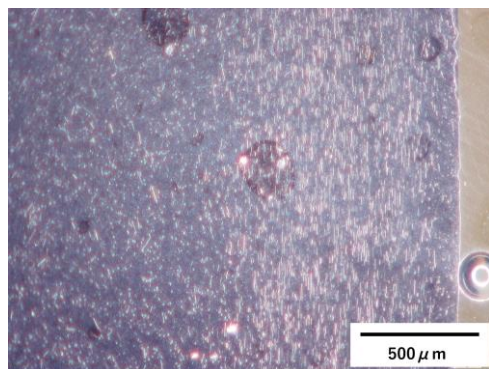
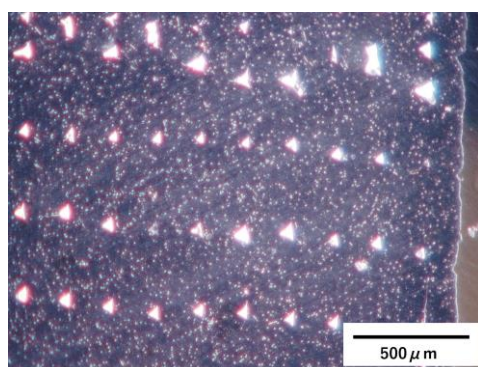


図 4 バージン(射出)を基に標準化した引張・曲げ結果

観察した試験片断面の写真を図5に示す。射出成形品は広範囲でフィラーが断面に平行となっていることに対し、3DP 造形品は全体で断面に垂直に配向されていることが分かる。



(a) 射出成形



(b) 3D プリント

図5 断面観察結果

実験により、この材料が 3DP 造形においてある造形条件のとき、引張・曲げ強度が射出成形品を上回ることが確認できた。強度増加の要因として、以下の2点が推察される。

1. FDM 方式による 3DP では、細径の樹脂が重畳して造形されるため、強度に大きく寄与するスキン層²⁾が射出成形品と比較して多く積層される。

2. 3DP による一方向への造形により、フィラーの配向が揃うことで異方性を持った。

4 適用事例2 牡蠣殻粉末

4.1 実験方法

材料には母材として(株)三菱ガス化学製ポリアミド LEXTER#8000、フィラーとして粒径が 75 μm 以下の丸栄(株)製牡蠣殻粉末 SCOY200 を使用した。二軸混練押出機((株)日本製鋼所 TEX30)を用いて混練し、母材樹脂と、牡蠣殻フィラーを 30% 添加した 3DP 用フィラメント

2 種類を作製した。フィラメントは前述の引取機及び巻取機を使用して作製した。

適用事例 1 と同様、作製した材料を用い、3DP 造形品と射出成形品と比較した。3DP 造形品はノズル温度のみ変更し、その他プリント設定及び評価方法も適用事例 1 と同様とした。

4.2 実験結果と考察

作製した材料を使用し、3DP 造形品と射出成形品それぞれで引張試験と曲げ試験を行った。試験結果を LEXTER#8000 バージン材の射出成形品の試験結果に対し標準化した結果を図6に示す。

牡蠣殻粉末の添加により、射出成形品の引張弾性率と引張強さ及び曲げ弾性率と曲げ強さが向上した。一方、3DP 造形品では弾性率は向上したが、最大強度は低下した。荷重たわみ温度は添加による大きな差はなかった。強度低下の原因を分析するために、破断面の観察を行った。図7に SEM 写真で示される破断面を示した。母材のみの樹脂では延性的な破断面が観察された(図7a)。一方、牡蠣殻粉末を添加した射出成形品では微細な延性破断面が観察できた(図7b)。牡蠣殻粉末を添加した 3DP 成形品では脆性的な破断面が観察された(図7c)。これは樹脂の流動性が低いため、造形温度を高く設定したことで樹脂の分解が起こり内部にボイドが発生したため、強度が低下したと考えられる。また、EDX の測定結果(図7d)からは、牡蠣殻粉末が比較的均一に分布していることから、先行文献³⁾に記載されているような凝集が強度低下の主要因ではないと考えられる。曲げ試験においては破断まで至らなかったが、引張と同様の現象が起こっていると思われる。

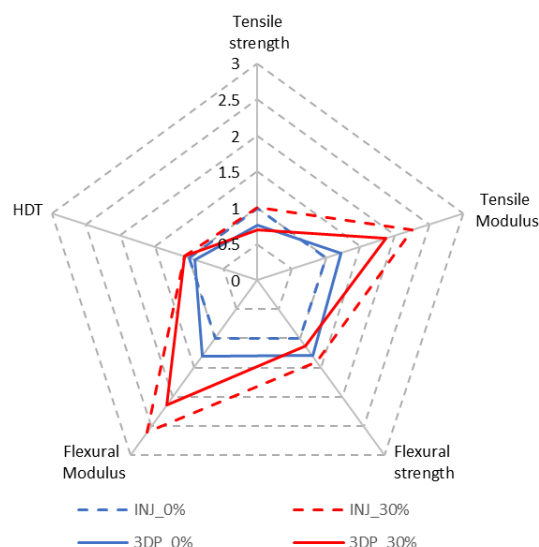


図6 バージン(射出)を基に標準化した引張・曲げ結果

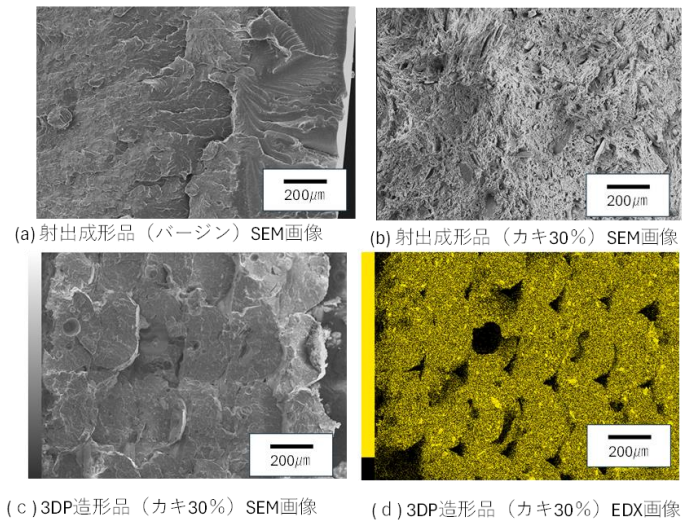


図7 引張破断面のSEM及びEDX画像

5 フィラメントと3DP造形品の紹介

作製したフィラメントを使った造形物を図8・図9に示す。図8に様々なフィラーを添加したフィラメント及びそれを使った造形品を、図9に本適用事例2で作製した、牡蠣殻粉末を使用したフィラメントで造形したランプシェードを示す。



図8 各種作製フィラメントとその造形品



図9 モミジの浮かび上がる牡蠣殻PLAランプシェード

6 まとめ

(1) 二軸押出機と引取機、巻取機を併用することで、フィラメント径のばらつきは低減し、3DPで造形可能なフィラメントの作製が可能となった。

(2) 3DPフィラメントと射出成形ペレットの材料組成が同じものを用いることで、材料自体に依存しない機械強度特性の比較ができるようになった。

(3) カーボン繊維をフィラーとして加えたフィラメントを使用し3DPで造形することで、フィラーの配向やスキン層の積層構造により特定条件下で射出成形品を上回る強度が得られた。

(4) 牡蠣殻粉末添加材料では3DP造形品に強度低下が認められた。原因として、樹脂の分解や内部ボイドの発生が考えられる。

文 献

- 1) 山梨県:3Dプリンタにより作製した樹脂部品の強度に関する研究(2017)
- 2) 藤山 光美、木村 修吉:ポリプロピレン射出成形物の諸物性に及ぼすスキン層の影響 高分子論文集、Vol. 32, No. 10, pp. 統一 581-590 (1975)
- 3) 高橋ら、“カキ殻粉末／PLA 複合材料の強度評価”、石巻専修大学 研究紀要、No. 32 (2021)