

FDM 方式 3D プリンタのための傾斜機能フィラメント作製とその成形

Functionally Graded Filament Creation for FDM 3D Printers and its Molding

○佐藤浩一郎 (千葉大 dri) *1 都淳朗 (千葉大院) *2 武藤稜介 (千葉大院) *3 寺内文雄 (千葉大 dri) *4

*1 Koichiro SATO, Design Research Institute, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522, ksato@chiba-u.jp

*2 Atsuro MIYAKO, Graduate school of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522

*3 Ryosuke MUTO, Graduate school of Engineering, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522

*4 Fumio TERAUCHI, Design Research Institute, Chiba University, 1-33, Yayoicho, Inage-ku, Chiba-shi, Chiba, 263-8522

キーワード: Functionally Graded material, Filament, FDM 3D Printer

1. 緒 言

FDM 方式 (Fused Deposition Modeling : 熱溶解積層) 3D プリンタは溶解した樹脂を積層して出力するという点で、従来の切削加工とは異なり、様々な形状を造形することができる。また、近年では低価格化が進み、ものづくり人口への普及が進んでいる。

目的の形状である造形物を出力した際、その造形物は使用するフィラメントの物性や色に依存した特性を有する。そのため、合目的な物性や色による造形のために、デュアルノズルを用いた複数種類の樹脂または色による造形も可能となってきている。複数種類の樹脂による出力形状の多様化が進む一方で、造形物の機械的特性や感性的特性を向上させるためには、異なる特性の材料を連続的に変化させる傾斜機能^{1),2)}を付与することが有効と考えられる。このような研究として、吐出樹脂の硬軟を連続的に変化させる手法³⁾が挙げられるが、実際の造形の際には細かなパラメータの調整が必要となるなど課題も多くある。

そこで本研究では、2種類の異なる樹脂の配合割合を段階的に変えながら混練することで、テクスチャや力学特性が連続的に変化する (傾斜機能を有する) フィラメントの作製方法を開発し、その成形方法の基礎の確立を目的とする (図 1)。

2. フィラメントの作製方法

傾斜機能を有するフィラメントを開発するにあたって、硬さが異なり共にオレフィン系で親和性の高いポリプロピレンのペレット (Prime Polypro 社製 J105G) と、エラストマーのペレット (三井化学社製ミラストマー6030NS) を使用した。ペレットの混練およびフィラメントの作製には、二軸押出機 (東洋精機製作所製ラボプラストミル) と直径 1.75mm の円形ダイスを取り付けたものを使用した。作製したフィラメントを使用する 3D プリンタに、デュアルヘッドノズル搭載でノズル温度を 300℃まであげられる Raise3D Pro2 を用いた。

傾斜機能を有するフィラメントを開発する上で課題となるのが、高い精度で一定の直径 (1.75mm) を有するフィラ

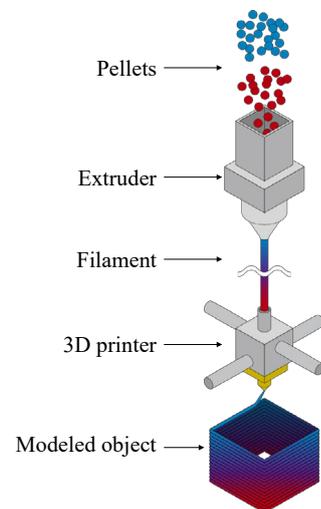


Fig.1 Filament fabrication process

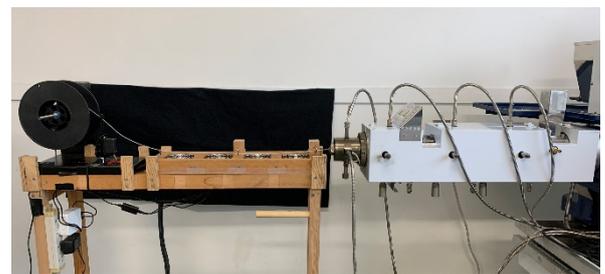


Fig.2 Filament cooling device and winding device

メントを作製することである。そのためには、二軸押出機から押し出されるフィラメントを保持しつつ、十分な冷却をして一定の速度で巻き取る必要がある⁴⁾。そこで、図 2 に示すような、冷却用ファンと Noztek 社製フィラメントワインダーを備えた治具を作製した。これを用いることで、柔らかさの異なる性質を持たせつつ、高い精度で一定の直径を有するフィラメントを作製することができた (図 3)。

次に、2種類の樹脂の配合割合について検討した。作製したフィラメントを使用したところ、ポリプロピレン単体



Fig.3 Filament produced by the proposed process

Table.1 Composite ratio and molding samples

| Composite ratio | 4 : 6 | 3 : 7 | 2 : 8 | 1 : 9 |
|-----------------------|---|---|---|---------|
| Polypropylene(PP) (g) | 20 | 15 | 10 | 5 |
| Elastomer(TPO) (g) | 30 | 35 | 40 | 45 |
| Modeled object |  |  |  | Failure |

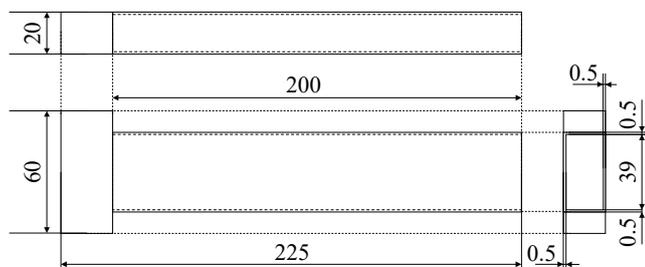


Fig.4 Sample for cantilever bending test

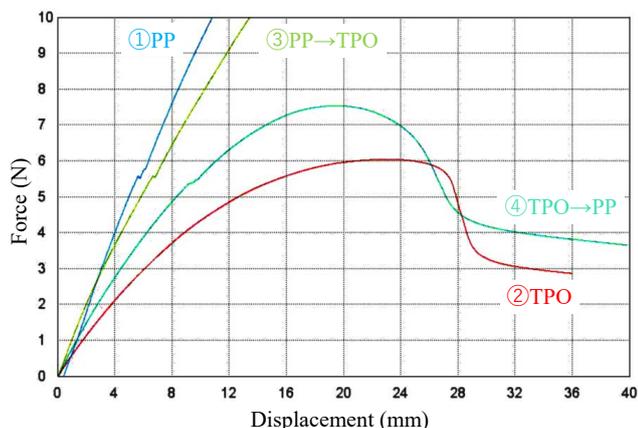
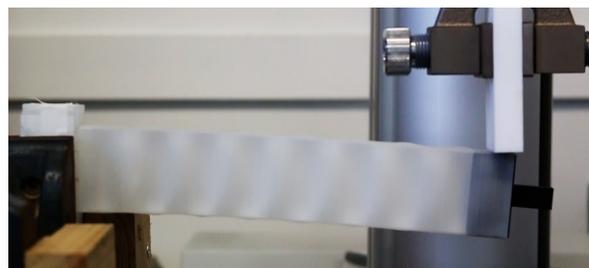


Fig.5 Relationship between displacement and force in cantilever bending test

のフィラメントと、ポリプロピレンとエラストマーを1:1で混練したフィラメントは吐出できたが、エラストマー単体のフィラメントを使用することはできなかった。しかし、ポリプロピレンをエラストマーに配合したとき、ポリプロピレン:エラストマー=2:8までの比率のフィラメントであれば、3Dプリンタで使用できることがわかった(表1)。このことから、ポリプロピレンとエラストマーの配合を段階的に変えながら混練することで、3Dプリンタで吐出可能で力学特性が連続的に変化するフィラメントを作製できた。



(a) Deformation of sample ③



(b) Deformation of sample ④

Fig.6 Cantilever bending test using sample ③ and ④

3. 作製したフィラメントを用いたサンプルの成形

作製した力学特性が連続的に変化するフィラメントを用いて3Dプリンタで図4に示すようなサンプルを成形した。成形した立体物の力学特性の変化を確認するため、片持ち梁曲げ試験を実施した。試験には小型卓上試験機(島津製作所製EZ-S)を用いて、試験力の上限を10Nに設定した。4種類のサンプルで試験力あたりの変位を比較したところ、図5のような結果が得られた。①は全体がポリプロピレンのみの硬いサンプル、②は全体がポリプロピレン:エラストマー=2:8のみの柔らかいサンプル、③は固定端がポリプロピレンで自由端に近づくにつれてエラストマーに変化するサンプル(図6(a))、④は固定端がエラストマーで自由端に近づくにつれてポリプロピレンに変化するサンプルである(図6(b))。

4. 片持ち梁の曲げ試験結果

図5の①のサンプルは10Nで変位は10.86mm、②は6.04Nで座屈しそのときの変位は23.65mmであった。③は10Nで変位は13.47mm、④は7.53Nで座屈しそのときの変位は19.80mmであった。

全体が硬い①と自由端に近づくにつれて柔らかくなる③を比較すると、③のほうが①よりも同じ試験力あたりの変位が大きくなった。

全体が柔らかい②と自由端に近づくにつれて硬くなる④を比較した場合は、どちらも途中で座屈してしましたが、④のほうが同じ変位でもより強い力に耐えられることができています。

同じ配合パターンで硬軟が連続的に変化しているが向きが逆の③と④を比較したとき、使用する向きを変えることで造形物の力学特性が全く異なるものに変化していることがわかる。

これらのことから、フィラメントに傾斜機能を付与することで、得られる立体物の力学特性が変化することを確認した。

5. 結 言

本報では、2種類の異なる樹脂の配合割合を段階的に変えながら混練することで、テクスチャや力学特性が連続的に変化するフィラメントの作製方法を開発した。また、作製した治具を用いて、フィラメントの作製と成形を行えば力学特性が連続的に変化する造形物を成形することができると確認した。

今後は、所望の傾斜機能を有する立体物の出力に応じたフィラメントの作製方法や傾斜度合の制御方法などを検討していく予定である。

文 献

- (1) 上村誠一, 野田泰稔, 篠原嘉一, 渡辺 義見: 傾斜機能材料の技術展開, シーエムシー出版, 2008.
- (2) 上村誠一, 渡辺義見: 図解 傾斜機能材料の基礎と応用, コロナ社, 2014.
- (3) 上野新葉, 宮下芳明: 熱溶解積層方式 3D プリンタにおけるエクストルーダ内での相溶性を利用した硬軟制御手法, 日本ソフトウェア科学会・インタラクティブシステムとソフトウェア研究会, 第 24 回 WISS2016, 309-310, 2016.
- (4) 中島慎太郎: ~自作 3D プリンタフィラメント技法の書~ Vernacular Cookbook, <https://booth.pm/ja/items/1836361>, 2020