

MEXフィラメント設計における積層間の熱融着性向上

Improvement of layer adhesion in MEX printout by filament design

織茂 亜希子

Akiko Orimo

三菱ケミカル株式会社

Mitsubishi Chemical Corporation

【要約】

MEX(Material extrusion)方式の 3D プリンタの課題である弱いZ軸強度を向上させるべく、MEX 造形用フィラメントの材料設計や、造形条件の検討を行った。結果、フィラメントを芯鞘構成とし、鞘のみを熱融着しやすい樹脂配合設計および造形条件にすることで、結晶樹脂フィラメントおよび非晶樹脂フィラメント双方において、良好な造形外観を保ちながら、既存のフィラメントよりもZ軸強度を向上できることを見出した。この手法を様々な樹脂種に応用することで、MEX 方式の3D プリンタによる、産業用途の最終製品の製造が期待される。

キーワード: MEX, フィラメント, 材料設計, 多層化, Z 軸強度,

【Abstract】

In order to improve the weak Z-axis strength, which is an issue for MEX (Material extrusion) 3D printers, we studied the material design of filaments and printing conditions. As a result, we found that the Z-axis strength of both crystalline and amorphous resin filaments can be improved while maintaining good printout appearance, by designing the filament material with a core-sheath structure and printing condition. By applying this technique to a variety type of resin, it is expected that MEX method 3D printers will be used to manufacture end products for industrial applications.

Keywords: MEX, filament, material design, multilayer, Z-axis strength

1. 背景／課題

MEX (Material extrusion) 方式の 3D プリンタは、溶融した材料を押出して積層する造形方法で、様々な熱可塑性樹脂に対応しており広く普及しているが、造形物の水平方向の強度(XY 強度)は樹脂本来の物性に近い強度が得られるものの、積層方向の強度(Z 軸強度)に劣るという課題があるため、特に産業用途における最終製品としての利用は限定的であった。MEX 方式でも造形温度(ノズルや造形雰囲気)を上げることで層間の熱融着性は向上可能だが、吐出後の材料が冷却不足となり、細かい 3 次元形状を維持できずに造形外観が崩れてしまう問題があり、高い Z 軸強度と造形物外観の両立が困難であった。

2. 課題解決に向けたアプローチ

MEX 方式での造形において、層間の熱融着性を向上させ得る技術的手法を、図 1 に整理する。この中で我々は、造形用フィラメントを多層化し、かつ造形雰囲気温度を適切な範囲に制御することで、良好な造形外観を保ちながら層間の熱融着性を向上できるのではないかと考えた。すなわち図 2 に示すように、フィラメントを芯鞘構成として、芯と鞘の、溶融後の冷却過程における固化温度に差をつけ、鞘が固化しにくく(=熱融着しやすい)、芯が固化しやすい(=3 次元形状を維持しやすい)造形雰囲気温度で造形することで、良好な造形外観と高い Z 軸強

度の両立ができると考え、実験を行った。なお、幅広い樹脂種への適用を見据えて、実験は、非晶性樹脂からなるフィラメント、結晶性樹脂からなるフィラメント双方に対して実施した。

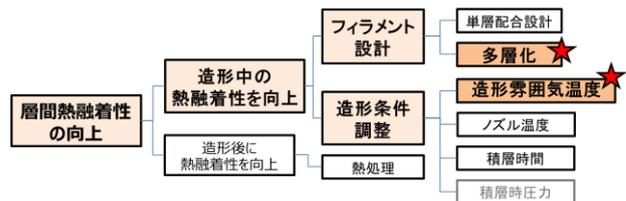


図 1. MEX 方式の層間熱融着性向上手法

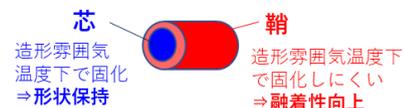


図 2. 芯鞘フィラメントの設計思想

3. 芯鞘フィラメントの設計／作製

非晶系樹脂として ABS、結晶系樹脂として PA6 を選択し、それぞれの樹脂において、芯よりも鞘の方が、溶融後の冷却固化温度が低くなるように、樹脂配合設計を行った。具体的には、図 3 に示すように、ABS に対しては相溶系の PBS をブレンドすることで、ガラス転移温度(T_g)が、芯よりも鞘の方が低くなるように設計した。ま

たPA6に対しては、相溶系の非晶PAのブレンド比率を調整することで、熱熔融後の結晶化温度(T_{mc})が、芯よりも鞘の方が低くなるように設計した。この構成で、ABS系、PA6系それぞれにおいて、芯鞘の体積比が1:1のフィラメント(ϕ 1.75mm)を、溶融積層押出により作製した。また、比較として、それぞれ鞘材料のみからなる単層フィラメントも作製した。

非晶樹脂の設計

Core $T_g >$ Shell T_g



結晶性樹脂の設計

Core $T_{mc} >$ Shell T_{mc}



図 3. 芯鞘フィラメントの配合設計

4. 造形テストおよびZ軸強度の評価

得られた芯鞘フィラメントおよび単層フィラメントを用いて、造形チャンバー温度が制御できるプリンタを用いて造形テストを行った。

ABS系の芯鞘および単層フィラメントについては、プリンタとして、3D gence製のINDUSTRY F340(チャンバー温度上限 85°C)を用い、チャンバー温度を変化させて、幅 5mm、長さ 75mm、厚み 5mmのダンベル状サンプルを、造形速度 60mm/s、積層ピッチ 0.25mm、インフィル 100%の条件で造形した。ここで、ダンベルの厚み方向を積層(Z軸)方向として造形したものをXY強度評価用のサンプル、ダンベルの長さ方向を積層(Z軸)方向として造形したものをZ強度評価用のサンプルとした。これらの造形サンプルを、試験速度 50mm/min、チャック間 45mmの条件で引張試験し、得られた最大強度を比較したところ、XY強度については芯鞘フィラメントと単層フィラメントの造形物で大きな差は見られなかったが、Z軸強度については、図 4 に示すよう差が見られた。

図 4 は、芯鞘フィラメントおよび単層フィラメントで得られたZ軸強度評価用サンプルの引張最大強度を、各チャンバー温度に対してプロットしたものである。チャンバー温度を上げていくと、芯鞘および単層どちらのフィラメントの造形物もZ軸強度が上がっていくが、単層フィラメントは材料の T_g (=80°C)付近のチャンバー温度で造形外観不良となるのに対して、芯鞘フィラメントは鞘の T_g より高いチャンバー温度でも外観良好に造形でき、結果、高いZ軸強度が得られた。これは、このチャンバー温度領域では、芯鞘フィラメントがノズルから吐出されたあと、鞘は熔融状態に近い層間の熱融着性に優れる一方で、高い T_g (=100°C)を有する芯層は固化し、3次元形状を維持できたためと考えられる。

次に、PA6系の芯鞘および単層フィラメントについても同様の評価を行った。なおPA6系では、プリンタとして、より高温までチャンバー温度制御可能なminiFactory製Ultra 3D printer(チャンバー温度上限 250°C)を用いた。ABS系の結果と同様、XY強度については芯鞘フィラメントと単層フィラメントの造形物で大きな

差は見られなかったが、Z軸強度については、図 5 に示すように差が見られた。

図 5 より、単層フィラメントは材料の T_{mc} (=134°C)付近のチャンバー温度で造形外観不良となるのに対して、芯鞘フィラメントは鞘の T_{mc} より高いチャンバー温度でも安定して造形でき、結果、高いZ軸強度が得られた。これは、このチャンバー温度領域では、芯鞘フィラメントがノズルから吐出されたあと、鞘は熔融状態に近い層間の熱融着性に優れる一方で、高い T_{mc} (=169°C)を有する芯層は固化し、3次元形状を維持できたためと考えられる。

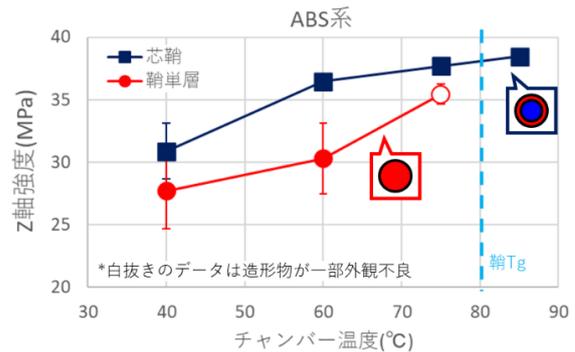


図 4. ABS フィラメント造形物の Z 軸強度比較

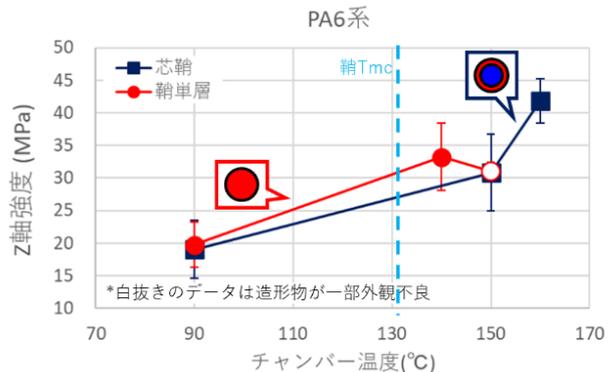


図 5. PA6 フィラメント造形物の Z 軸強度比較

5. まとめ

以上の結果より、非晶系および結晶系双方の材料において、フィラメントを芯よりも鞘の冷却固化温度が低い芯鞘構成とし、鞘のみが熱融着しやすい(冷却固化しにくい)造形条件とすることで、良好な造形外観を保ちながらZ軸強度を向上できることがわかった。今後様々な樹脂種に本技術を展開することで、産業用途における最終製品の造形が可能なフィラメントの開発を行ってきたい。