

3DPrint 造形物と繊維構造体によるコンポジット複合材

Composite material with 3D Print model and fiber structure

沼田みゆき¹, 増田恒夫², 児嶋大世¹, 山中克浩¹, 宮本正教¹, 青木まゆみ², 田中浩也²

Miyuki NUMATA¹, Tsuneo MASUDA², Taisei KOJIMA¹, Katsuhiro YAMANAKA¹,

Masanori MIYAMOTO¹, Mayumi AOKI², Hiroya TANAKA²

¹ 帝人株式会社, ² 慶應義塾大学

¹Teijin Co. Ltd., ²Keio University

【要約】

本研究は、MEX(材料押出)方式のエス. ラボ株式会社製3D プリンタを用いて出力した、2種類のポリエステルエラストマー樹脂からなるラティス構造を持つ3DP 造形物と、3DP 造形物に繊維構造体を付加したコンポジット複合材の特性評価に関するものである。繊維構造体を付加することにより、ヤング率を低下させる効果があり、柔らかさを付与できることが示された。樹脂種、ラティス構造、さらには繊維構造体を組み合わせることで設計を行うことにより、3DP造形物だけでは得られないやわらかさや、吸水・速乾等の機能性をも付与することが可能となる。

キーワード: 3D, ラティス構造, Ashby Map, 繊維構造体, 機能付与

【Abstract】

This study is related to the characteristic evaluation of a 3DP model having a lattice structure composed of two types of polyester elastomer resins and a composite material in which a fiber structure is added to the 3DP model. The lattice structure is made by MEX (material extrusion) method, which was manufactured by Slab Co., Ltd. It was shown that the addition of the fiber structure has the effect of lowering Young's modulus and imparts softness. By designing by combining the resin type, the lattice structure, and the fiber structure, it is possible to impart softness that cannot be obtained only by the 3DP model and functionality such as water absorption and quick drying.

1. 序論

従来、一般産業向けに使用されている素材を用いて、Architected Material と呼ばれる、3次元幾何学構造を作製すると、材料固有の機能を超えた新しい機能を実現可能性がある。機能例としては例えば、吸音、遮音、衝撃吸収^[1]、衝撃緩和などが注目されている。

2020年に開催された4DFF2020で岡崎太祐氏による「AshbyMapを用いた3D Print (3DP) 可能な architected structures の特性把握」ではFDM/SLA方式の3Dプリンタと複数のマテリアルを用いたラティス構造の出力及び材料機械特性の比較図の作成に関する研究結果が発表された。

本研究はそれに続き、機能として「やわらかさ」という観点から、MEX(材料押出)方式のエス. ラボ株式会社製3Dプリンタを用いて、2種類のポリエステルエラストマーの樹脂ペレットからラティス構造を出力、①3DP造形物のみ、②繊維構造体を付加した3DP造形物(以後、コンポジット複合材と記載)のそれぞれについて、ヤング率評価を行い、密度とヤング率の2軸からなるAshby Mapへのマッピングを行った。

2. 実験内容

2.1 樹脂材料

① 帝人株式会社製ヌーベラン TRB-EL2 (以下、TRB-EL2 と記載)と、②TRB-EL2 と「ジュラネックス®

PBT 500FP EF202X」との混合品(以下、TRB-EL2 改と記載)の2種類のポリエステルエラストマーを用いた。

2.2 繊維構造体

ポリエステル繊維を含むダブルニット編物を用いた。

2.3 装置、構造体の作製

2.3.1 ラティス構造

造形する幾何構造は、先行研究で熱溶解積層方式(材料押出法)の造形可能性が確認されている4パターンの幾何学構造^[2]を基本に、新たに単純立方格子と面心立方格子に基づく構造を加え、それぞれについて全体を囲むフレーム・梁の有無を整理し、結果としてFig.1に示す6パターンの幾何学構造を基本モデルとすることにした。幾何構造は主に単純立方格子、体心立方格子、面心立方格子を基に作成した。

試験片のモデルサイズは30 mm×30 mm×30 mmを基本にした。本研究では Fig.2 に示すように、内部を分割する基本単位の繰り返し回数(Lattice period、以下 sq と記載)を5種類(4, 6, 8, 10, 12 の偶数)、柱の太さ(thickness、以下 t と記載)を4種類(1.0mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm)をそれぞれ独立に変化させた形状を用いることとした。

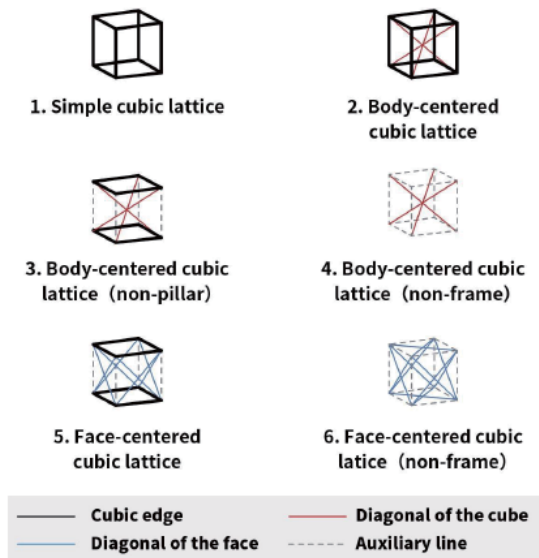


Fig.1. 6 パターンの幾何学構造

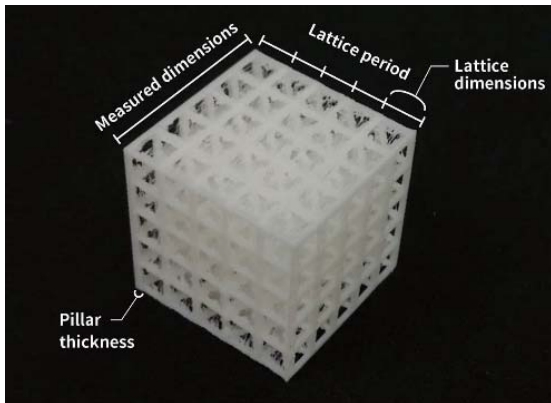


Fig.2 ラティス構造

2.3.2 3Dプリンタ装置

樹脂ペレットを造形材料とする MEX(材料押出)方式のエス. ラボ株式会社製3D プリンタ、品番GEM550Dを用いて、ラティス構造を持つ3DP 造形物を作製した。本装置はフィラメント化が困難な樹脂でも3D 造形できる可能性があり、本研究で使用する材料との相性が良いため、採用した。ラティス構造を作製するため、ノズル径が直径 0.5 mm、1.0 mm のノズルを用いることとし、温度条件の最適化を行った。

また、コンポジット複合材を作製する際には、繊維構造体の上にラティス構造を持つ3DP 造形物を造形し、複合材を得た。

3. 評価方法

ヤング率評価には、押し込み型硬さ試験機 YAWASA MSSES5012-1-SL(テック技販社)を用いた。

標本は定盤の上に乗せ、圧力センサーに球面上のプローブ(φ 30 mm)を取付けた状態から、0.5 mm/s の

一定の速度で、標本の中央部に対して 5 N の荷重に達するまで荷重をかけた。各造形サンプルに対して 5 回ずつ測定を行い、平均値を計測結果とした。測定の様子を Fig.3 に示す。

また、造形物の密度は造形物の重量を電子天秤(エー・アンド・デイ社, EW-1500I)を用いて重量を測定し、外形寸法を電子ノギス(Mitutoyo, CD-15AX)で 3 辺の計測を行った結果より体積を求め、空隙を含んだ嵩密度を算出した。

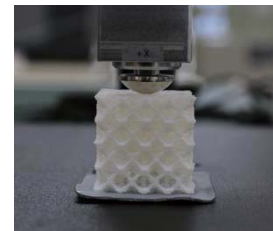


Fig.3 YAWASA 試験時の写真

4. 結果

4.1 3DP 造形物

①TRB-EL2 と、②TRB-EL2 と「ジュラネックス® PBT 500FP EF202X」との混合品である、TRB-EL2 改の 2 種類のポリエステルエラストマーについて、100%樹脂を最密充填構造でバルク材を作製し、密度とヤング率を測定した結果を Table1 に示す。TRB-EL2 改は TRB-EL2 対比ヤング率が 1.2 倍高い数値を示した。

	TRB-EL2	TRB-EL2 改
密度 (g/cm ³)	1.02	1.00
ヤング率 (kPa)	4,341	5,276

Table1. バルク材の密度とヤング率

TRB-EL2 は、繰り返し回数(Lattice period)を 5 種類(4, 6, 8, 10, 12 の偶数)、柱の太さ(thickness)を 4 種類(1.0mm, 1.5 mm, 2.0 mm, 2.5 mm)変えたサンプル 45 条件、TRB-EL2 改については、TRB-EL2 対比ヤング率が 1.2 倍高いため、やわらかさを出すためにヤング率を低くコントロールすることを目的とし、多くの格子内に空隙を保有する、内部を分割する基本単位の繰り返し回数(Lattice period)が 4, 6, 8 であり、柱の太さ(thickness)は 1.0mm, 1.5 mm の 2 種類変えたサンプル 22 条件のラティス構造を選択、3D プリンタで出力した 3DP 造形物を作製した。

次に、TRB-EL2 と TRB-EL2 改の 3DP 造形物について、密度とヤング率の 2 軸からなる Ashby Map へのマッピングを行った。結果を Fig.4 に示す。

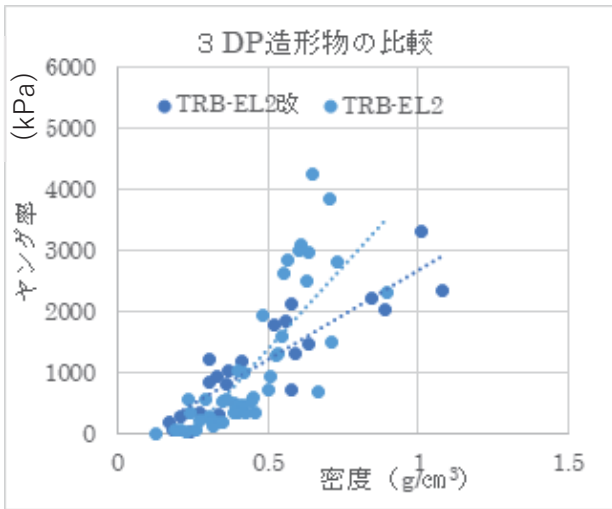


Fig.4 樹脂種による3DP造形物の比較

TRB-EL2 では、 0.65 g/cm^3 程度の密度で、ラティス構造を変えることにより、ヤング率 $692 \sim 4,264 \text{ kPa}$ の範囲で変化させることができることを確認した。ヤング率 692 kPa と 4265.5 kPa の3DP造形物を Fig.5 に示す。

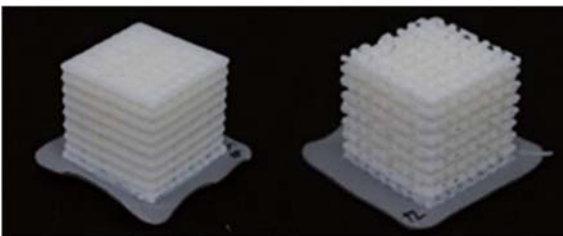


m1_t15_sq12

m5_t20_sq10

Fig.5 TRB-EL2 で作製した3DP造形物

TRB-EL2 改では、 0.6 g/cm^3 と同じ密度で、ラティス構造を変えることにより、ヤング率 $728 \sim 2,113 \text{ kPa}$ の範囲で変化させることができることを確認した。ヤング率 728 kPa と $2,113 \text{ kPa}$ の3DP造形物を Fig.6 に示す。



m1_t15_sq08

m4_t15_sq08

Fig.6 TRB-EL2 改で作製した3DP造形物

上記結果から、同じ密度においても、3DP造形物のラティス構造を変えることにより、ヤング率のコントロール範囲を広げられる可能性があることが示唆された。

4.2 コンポジット複合材

次に、TRB-EL2 と TRB-EL2 改の3DP造形物と繊維構造体を付加したコンポジット複合材について、密度とヤング率の2軸からなる Ashby Map へのマッピングを行った。結果を Fig.7, Fig.8 に示す。また、Fig.9 でコンポジット複合材の樹脂種による比較を行った。

TRB-EL2、TRB-EL2 改ともに、3DP造形物のヤング率が高くなるにつれて、コンポジット複合材とのヤング率の差異が顕著に現れることを確認。3DP造形物は繊維構造体を付加することにより、ヤング率を低下させる効果があり、柔らかさを付与できることが示された。一方で、元々やわらかい、ヤング率が低い3D造形物では顕著な差は見られなかった。

また、上記述べた事象は、本研究で使用したポリエステルエラストマーにおいては、樹脂種によらないと推察されるが、樹脂種に加えて、ラティス構造や付加する繊維構造体にもよるところがあることは留意が必要である。

なお、TRB-EL2 改のコンポジット複合材を用いると、TRB-EL2 のコンポジット複合材と同じヤング率を、より低密度で達成できる可能性がある。例えばおよそ 2000 kPa のヤング率を TRB-EL2 改では密度 1.08 g/cm^3 であるのに対し、TRB-EL2 では密度 0.63 g/cm^3 で達成できた。Fig.10 に一例として、上記コンポジット複合材を示す。

5. 結論

樹脂種、ラティス構造、さらには繊維構造体を組み合わせて設計を行うことにより、やわらかさの指標であるヤング率を変えるのみならず、軽量化の設計指針も見いだせる可能性があると考えられる。

また、目的とするアプリケーションに合わせたコンポジット複合材の提案が可能となり、繊維構造体を付加することにより、3DP造形物だけでは得られない肌触りの良さや、繊維構造体の機能、例えば吸水・速乾等の機能性をも付与することが可能となる。本複合材は、例えば身体に密着するような箇所への使用、ヘルスケア用途などへの展開が期待される。

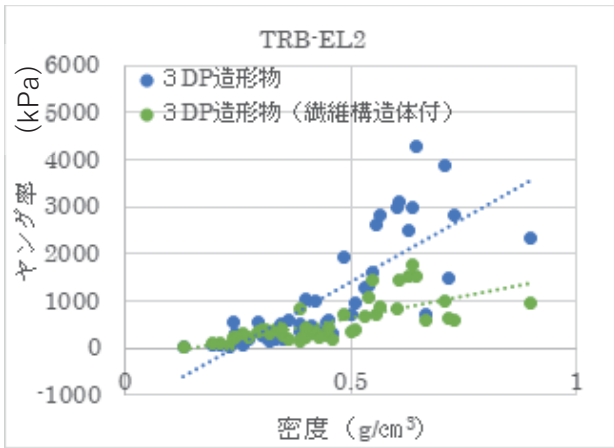


Fig.7 TRB-EL2 を用いた3DP 造形物とコンポジット複合材

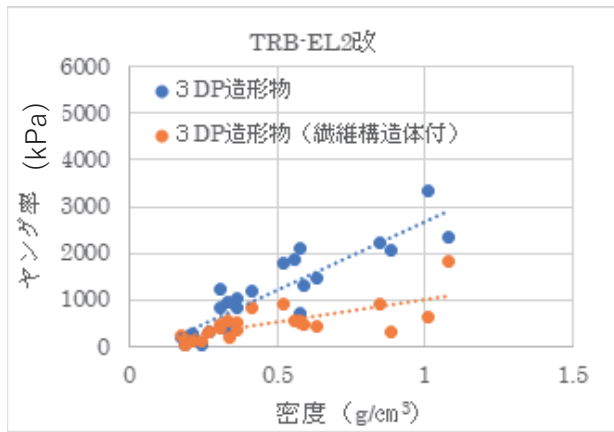


Fig.8 TRB-EL2 改を用いた3DP 造形物とコンポジット複合材

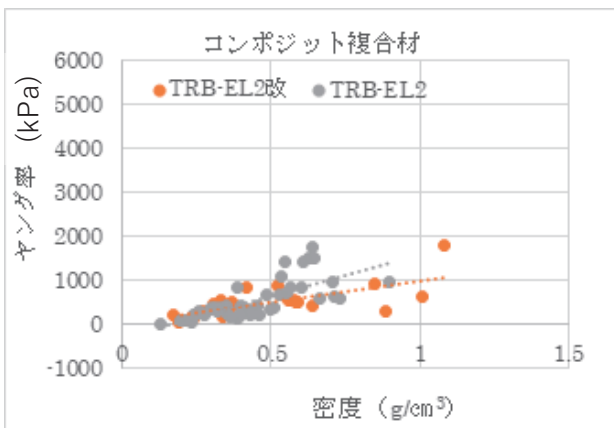
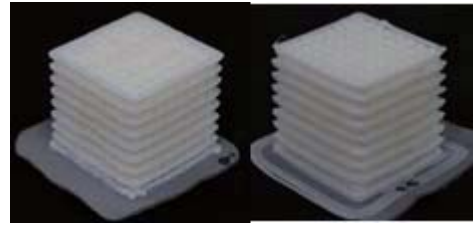


Fig.9 コンポジット複合材



m3_t25_sq08 m2_t15_sq08

Fig.10 コンポジット複合材

参考文献

- [1] CARBON, “Riddell Partners with Carbon® to Produce First-Ever 3D Printed Football Helmet Liner.”, <https://www.carbon3d.com/news/press-releases/riddell-carbon-produce-football-helmet/>, (accessed 2021-07-19).
- [2] T. Sakurai, T. Tokiwa, Y. Asano, and H. Tanaka, “A Proposal for a “Softness Metric” that Corresponds 3D Printable Structures to Existing Objects,” Proceedings of the Conference on 4D and Functional Fabrication 2019 (Imaging Conference Japan 2019), [in Japanese].