

樹脂粉末積層造形の成形品物性制御に関する調査研究

宮内 宏 哉*¹後藤 卓 三*²前田 一 輝*¹

【要 旨】

樹脂粉末積層造形において、造形時のレーザ出力及び走査を変えることで、造形品密度の制御を試みた。30mm 角の立方体形状の試料では、レーザ出力及び走査条件を変更することで、造形品密度を 0.45g/mm³ から 1.03g/mm³ まで変えることができた。フィルタや光学部品筐体等を樹脂粉末積層造形で作製することを想定し、微細孔を有する低密度部位と高密度部位とが一体となった試料を作製した。

1 はじめに

樹脂粉末積層造形とは、樹脂粉末を敷いた層（厚 0.1mm 程度）にレーザ光を走査して照射部のみを熔融させ、この層を繰り返し積層させることにより三次元構造体を作製する方法であり、付加製造の一つに位置付けられる。レーザ走査には三次元データが用いられ、近年注目されている 3D プリンタの造形方式の一つである。

3D プリンタの主な活用分野は試作や模型の製作であるが、今後、ものづくりのマス・カスタマイゼーション化の進展に伴い、単品・小ロット品の最終製品や部材を生産する加工技術の一つとして利用されることが期待されている¹⁾。樹脂粉末積層造形は、造形品の強度及び耐久性に優れる特長があり、最終製品及び部材を 3D プリンタで生産する際の中核技術として注目されている。

付加製造は、切削等の除去製造と比較して、複雑な三次元構造体を容易に作製できる特長がある。一般に除去製造では、同じ外径サイズであっても、形状が複雑になるほど加工時間が増す。一方、付

加製造の加工時間は造形体積に依存し、形状の複雑さにはさほど影響されない²⁾。そのため、付加製造の活用によって、複雑な構造を有する製品・部材が短時間かつ安価に提供できることが期待されている。

複雑な構造を有する製品や部材の一つとして、微細な孔を多数有する多孔体がある。これは断熱・吸音部材や摩擦材、ろ材、吸着剤、触媒担体、生体材料などの機能部材に用いられている。このうち断熱・吸音部材や摩擦材などは、多孔体部材と母材を別々に加工した後に貼り合せて生産される。一方、付加製造により多孔体と母材の複合材を作製する場合、貼り合わせた形状の三次元データから多孔体と母材を同時に造形可能であり、従来の貼り合せ工程を省略できる利点が期待される。そのため、多孔体と母材が組み合わせられた複合部材は、付加製造の活用が期待される分野の一つと考えられる。

現在市販されている 3D プリンタの造形データ容量の上限は 100MB 程度が一般的である。しかし、多孔体構造を三次元データで作成する場合、接点数が多くなり大容量データとなるため、上記 3D プリンタの造形データ容量上限を超えてしまうと

* 1 基盤技術課 副主査

* 2 基盤技術課 主任研究員

いう問題が生じる。その対策としては、多孔体の三次元データを作成するのではなく、三次元データは通常のソリッドデータのままで、造形条件により多孔体を作製する方法がある。その事例としては、金属粉末積層造形の造形条件の制御により作製した金属多孔質シート³⁾が報告されている。

本研究では、付加製造の一つである樹脂粉末積層造形において、三次元データは内部が充填されたソリッドのままで、造形条件のみを変更して造形品の密度を変え、微細な穴を多数有する多孔体部分を持った部材を作製する方法について検討した。また樹脂粉末積層造形をフィルタや光学部品筐体等に利用することを想定し、フィルムや板形状試料の作製を試みた。

2 実験方法

2.1 樹脂粉末積層造形装置

樹脂粉末積層造形装置はアスペクト製 RaFaE1300F を用いた。本装置の熱源は、光束径 0.17mm のファイバーレーザを採用している。樹脂粉末材料はナイロン 11 粉末（平均粒子径 0.05mm、黒色）を用い、粉末床熔融結合法により造形した。造形条件は、レーザ走査速度を 10m/sec、レーザ走査方向を 30 度方向、積層ピッチを 0.1mm とした。

2.2 密度評価方法

造形品の密度を変えるため、造形条件のうち、レーザの出力、走査幅及びオフセット量を変えて造形した。造形品は一辺 30mm の立方体形状とし、造形品重量を精密上皿天秤で量り、造形品の三辺の長さから算出した体積で除して密度を算出した。いずれの造形条件においても、各層の造形の最後に、外径に沿ってレーザを走査させて密度の高い外枠を設けることにより、造形品密度によらず立方体の形状が保たれるようにした。なお、レーザ

出力はファイバーレーザに付加される電力量 (W) を、レーザ走査幅はレーザを走査して粉末を熔融する際の走査ラインの間隔を、レーザオフセット量はレーザ走査位置の微調整量を制御するパラメータである。

3 結果及び考察

3.1 密度評価

密度評価試験品の密度評価結果を図 1 に示す。横軸にレーザ走査幅、縦軸に造形品密度とし、レーザ出力を 8W から 20W まで変化させた造形品の密度の変化を示している。

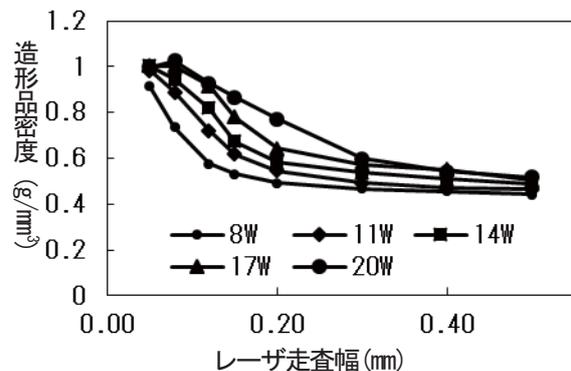


図 1 密度評価結果

密度の最高値は 1.03g/cm^3 であり、ナイロン 11 の一般的な密度に相応した値が得られている。また、レーザ出力が高いほど、レーザ走査幅が小さいほど密度が高くなった。これは単位面積あたりのエネルギー量が増え、粉末材料の熱熔融が促進されたためと考えられる。ただし、レーザ出力 20W とし、レーザ走査幅を 0.08mm から 0.05mm と小さくした場合には、逆に密度が低下した。これは過剰のエネルギーが付加されて樹脂材料の一部が気化したことが原因と考えられる。レーザ出力を 20W とし、レーザ走査幅を 0.08mm から 0.05mm と小さくすると、レーザ焼結時に発生する煙の量が増え、煙の色が白色から灰色に変化しているこ

とからも、レーザ出力 20W でレーザ走査ピッチを 0.05mm に設定した場合には、付加したエネルギー量が過多であったことが推測される。

3. 2 造形表面観察

レーザ出力は 17W とし、レーザ走査幅を 0.08mm、0.25mm および 0.50mm と変えて、横 50mm、縦 30mm、厚み 2mm の板状試料を造形した。その後、未溶融樹脂粉末をエアブローによって除去し、表面の状態を観察した結果を表 1 に示す。

表 1 造形品表面状態観察結果

レーザ走査幅	0.08mm	0.25mm	0.50mm
光学写真			
拡大写真 (落射)			
拡大写真 (透過)			
密度	1.03g/mm ³	0.45g/mm ³	0.31g/mm ³

拡大写真 (落射) の緑色部分が造形品であり、黒色部分は造形パターン間の隙間である。レーザ走査幅 0.08mm の場合には、粉末材料起因の凹凸及び隙間が表面に見られるものの、透過光を与えた場合には光の透過は確認できなかった。当該試料の密度は 1.03g/cm³ であり、図 1 と照らし合わせても、造形品試料内部は充填していることがわかる。

一方、レーザ走査幅を 0.25mm あるいは 0.50mm に大きくすることによって造形物内部に隙間が生

じ、レーザ走査幅 0.08mm の造形品と比べ密度が低いことが確認できた。レーザ走査幅 0.50mm の場合には、試料内部の未溶融樹脂がエアブローによって除去され、光が透過可能となった。密度は図 1 に示す 30mm 角の立方体で得られた密度の最低値 (0.45g/mm³) よりも更に低い値を示しており、エアブローによる未溶融粉末除去の影響と考えられる。

3. 3 レーザオフセットによる影響評価

レーザ走査の制御は、レーザ走査幅に加えて、レーザ走査させる位置をオフセット量の設定によって微調整することができる。レーザ走査幅を 0.50mm に固定したまま、塗りつぶし描画の X, Y 方向のレーザオフセットの値を変えることによりレーザ位置を変化させて造形した。この造形品の表面状態の観察結果を図 2 に示す。レーザオフセット量が大きいほど造形品の格子パターンが大きくなっており、レーザオフセットの設定を変更することによっても造形品密度を変化させることが可能とわかった。

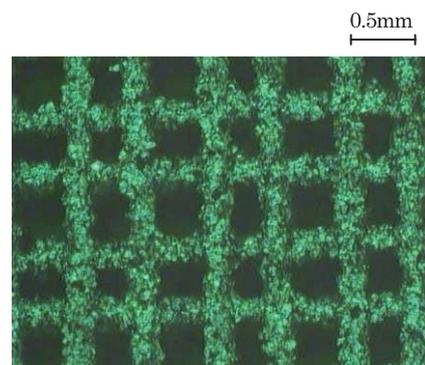


図 2-1 オフセット量 0.21mm

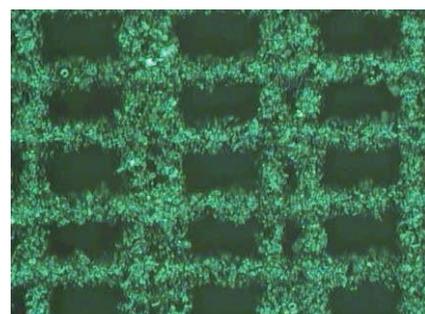


図 2-2 オフセット量 0.40mm

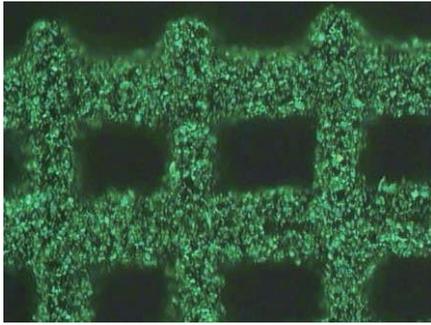


図2-3 オフセット量0.60mm

図2 造形品表面拡大写真

4 考察

レーザ出力及びレーザ走査幅を変えて作製した JIS K 7162 試験片 1A 形の引張強度試験片（長さ 180mm、厚 4mm）を、万能材料試験機 1122 型（インストロンジャパン社、5 kN）を用いて破断するまで引張試験を行った結果を図3に示す。引張強度試験片の造形においては、長辺方向を積層（Z）方向に一致させており、積層方向の強度を評価している。

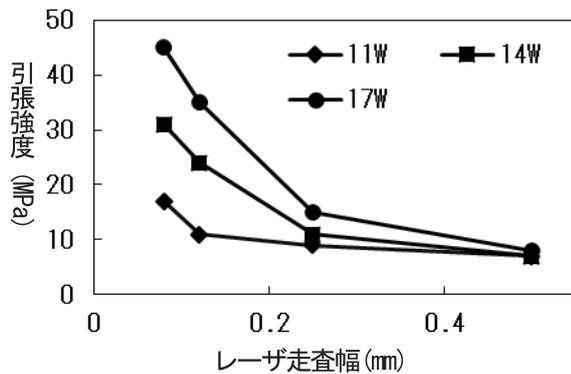


図3 引張強度試験結果

レーザ出力が低く、レーザ走査幅が大きいほど、すなわち造形品の密度が低いほど、強度が急激に低下することが確認できた。これは多孔体の一般的な機械特性と同じ傾向にあり、樹脂粉末積層造形により作製した多孔体もまた、他の方法で作製した多孔体と同様、機械特性の確保が重要な技術

課題の一つであることが示唆される。

発泡等により作製した多孔体の機械特性を確保する方法としては、密度の高い母材に多孔体を貼り合せて複合材とし、多孔体に強度を付与させる方法がある。この場合、貼り合わせ工程が生じるだけでなく、貼り合わせ精度や剥離、異物混入など接合界面の不具合への対策が必要となる。一方、樹脂粉末積層造形により多孔体を作製する場合、密度の高い母材部分と多孔体の部分を同時に造形できるため貼り合わせ工程が不要となり、接合界面の信頼性が確保できる利点がある。

そこで、直径 50mm、厚 2mm の板の中央部分に直径 20mm の多孔部を設けた、フィルタ形状の試料を樹脂粉末積層造形により作製することを試みた。その結果を図4に示す。



図4-1 三次元 CAD データ



図4-2 造形品写真

図4 フィルタ形状試料写真

図4-1 が三次元 CAD データであり、中央部と周辺部は接触しているが、別の三次元データとして保存されており、中央部と周辺部で造形時のレー

ザ走査条件等の造形条件を変えられるようにした。レーザ走査幅を中央部は 0.50mm、周辺部分は 0.08mm として造形した。図 4-2 は造形品の外観写真であり、中央部分は約 0.3mm 幅の孔を多数有した多孔構造となっており、周囲部分は密度が高く孔の無いバルク体であり、これらが一体として同時に造形されている。なお図 4-2 に示すフィルタ形状試料の中央部を指で押して破壊したところ、多孔を有する部分が中央付近から破れて破壊され、多孔を有する部分と密度の高いバルク部分との界面が剥がれるような現象は見られなかった。

5 まとめ

樹脂粉末積層造形において、造形時のレーザ出力及び走査を制御することにより、三次元データを変更することなく、造形品密度を変化させることができた。30mm 角の立方体形状の試料では、レーザ出力及び走査条件を変更することで、造形品密度を $0.45\text{g}/\text{mm}^3$ から $1.03\text{g}/\text{mm}^3$ まで変化させた。厚 2mm の板状試料では、レーザ走査幅を大きく設定することにより、造形品内部に微細な孔が多数構築されることを確認できた。更に未溶融の粉末をエアブローで除去することにより、光透過性を持たせることができた。

樹脂粉末積層造形によりフィルタや光学部品筐体等を加工することを想定した、微細孔を多数有する低密度部と孔の無い高密度部とが一体化した試料を造形することができた。

(参考文献)

- 1) 日経ものづくり 2014 年 6 月号, p. 34
- 2) 丸谷洋二, 早野誠治: 解説 3D プリンター, オプトロニクス社, p. 153 (2014)
- 3) 清水 透, 中野禪, 佐藤直子, 松崎邦男, 佐々雅祥, 萩原正: 日本機械学会 2014 年度年次大会講演論文集, S0440103 (2014)