

## 樹脂粉末積層造形の成形品物性制御に関する調査研究（Ⅱ）

宮内 宏 哉\*<sup>1</sup>

前田 一 輝\*<sup>1</sup>

後藤 卓 三\*<sup>1</sup>

### 【要 旨】

樹脂粉末積層造形により作製した、密度の異なる成形品の断熱特性及び振動特性を評価した。成形品密度が低いほど熱伝導率が低下した。密度を約 1/2 とした成形品では熱伝導率が約 1/4 の値を示した。孔方向による顕著な差異は見られなかった。また無人飛行機の電池保持部品を樹脂粉末積層造形により作製した。柱構造部の密度を低下させることにより、モーターによる振動の影響を約 1/15 に低減することができた。

### 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）にレーザー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。レーザー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<sup>1)</sup>。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。

3D プリンタは、切削等の除去加工機と比較して、複雑な三次元構造体を容易に作製できる特長があり<sup>2)</sup>、多孔体の造形も可能である。3D プリンタでは多孔体と母材が組み合わさった複合部材を一度に造形できるため、今後、3D プリンタ活

用の拡大が期待される分野の一つと考えられる。

3D プリンタで多孔体を造形するには、多孔体の三次元データを作成する方法と、三次元データはソリッドのままに造形条件を変えて多孔体を造形する方法の 2 通りがある。後者の方法は、ファイバーレーザーにより微細な加工が可能になったことから、多孔質シート<sup>3)</sup>など金属造形を中心に造形事例が報告されている。

前報<sup>4)</sup>では、ファイバーレーザーを搭載した樹脂粉末積層造形装置を用い、造形条件のうちレーザー出力及びレーザー走査幅を適切に制御することにより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を確立した。本研究では、多孔体を有する樹脂造形品の熱伝導率及び振動特性を評価した。

### 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、ビーム径 0.17mm のファイバーレーザーを採用している。樹脂粉末材料はナイロン 11 粉末 (ASPEX-FPA 黒、平均粒子径 0.05mm) を用い、粉末床溶融結合法

\* 1 基盤技術課 副主査

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。

造形品の密度を変えるため、造形条件のうち、レーザの出力を 8、11、14、17W の 4 通り、レーザ走査幅を 0.08、0.25、0.50mm の 3 通りで変化させた。なお、造形条件の制御により得られる多孔体は、積層方向に貫通した孔を多数有しており、異方性を持つ。よって、3D データの配置方向を変えることにより、孔の方向を制御することが可能である。

なお、樹脂粉末積層造形においては、樹脂粉末がレーザにより熔融された後、冷え固まって固体となる際に体積が収縮し、三次元データよりも小さい造形品が出来上がる。そこで、体積収縮分を補完するため、元の三次元データを一定割合で拡大する方法が一般に用いられており、この拡大率はスケール値と呼ばれている。ただし形状や肉厚等により収縮量が異なるため、造形品の寸法精度を高めるためには、まず当該製品を造形した後に寸法計測を行い、その結果を反映させて、スケール値を精密化する必要がある。今回の造形では、全ての造形品に対して、当該装置での汎用スケール値を適用しており、スケール値の精密化は行っていない。

## 2.2 熱伝導率測定方法

固体の熱伝導率  $\lambda$  (W/m·K) は次式で求められる。

$$\lambda = \alpha \times \rho \times C_p$$

$\alpha$  : 熱拡散率 (mm<sup>2</sup>/S)

$\rho$  : 密度 (g/K)

$C_p$  : 比熱容量 (J/g·K)

造形品の熱拡散率は、ネッチ・ジャパン製の熱伝導率測定装置 LFA467 を用い、レーザーフラッ

シュ法により測定した。解析には Cowan モデルを用いた。レーザーフラッシュ法による熱拡散率  $\alpha$  は次式で求められる。

$$\alpha = 0.1388 \cdot d^2 / t_{1/2}$$

$d$  : 評価試料厚 (mm)

$t_{1/2}$  : ハーフタイム (s)

熱拡散率  $\alpha$  に対し評価試料厚は二乗で影響する。そこで解析に用いる評価試料厚の値は、マイクロメータによる造形品厚の測定値を用いた。

密度は、造形品重量を精密上皿天秤で量り、ノギス及びマイクロメータで計測した造形品の三辺の長さから体積を算出し、重量を体積で除して算出した。

比熱容量測定は、島津製作所製の示差走査比熱計 DSC-60plus を用いて、25°C におけるナイロン 11 粉末の比熱容量を測定し得られた値を用いた。比熱容量測定の標準試料には  $\alpha$ -アルミナ粉末を用い、窒素雰囲気下で測定した。

評価試料は一辺 10mm、厚みが 2mm の直方体とした。多孔体構造を持つ評価試料については、孔の方向を、面に水平かつ上下方向、面に水平かつ 45 度方向、面に垂直の 3 通りとした。孔方向が面に垂直である試料については、孔内部の粉末を除去するため、一旦片方の面を外し、圧縮空気により吹き飛ばした後、面を元に戻した。全ての評価試料は、測定前にグラファイトスプレーを用いて表面の黒化処理を行った。

## 2.3 振動測定方法

振動測定対象は無人飛行機とし、電池保持部におけるプロペラ駆動用モーターの振動を計測した。なお、無人飛行機全体及び電池保持部の外観写真を図 1 に示す。

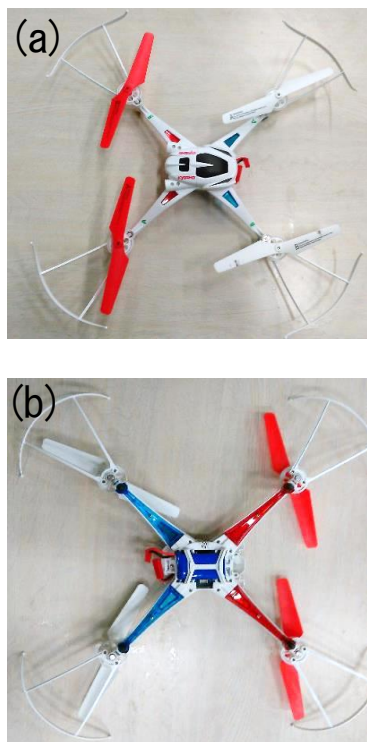


図1 無人飛行機外観写真  
(a) 表面（プロペラ面）  
(b) 裏面（電池保持面）

無人飛行機には、京商製クアトロックス ULTRA を用いた。モーターの出力は、安定した測定を行うために最大出力とし、プロペラを外した状態で測定した。電池保持部は、純正部品（試料 A）の他、樹脂粉末積層造形装置 RaFaE1300F を用い、レーザ出力及び走査幅を変えることで密度を変えて造形した部品 4 種類（試料 B～E）を順次取り付けて振動計測を行った。樹脂粉末積層造形に用いるための 3D データは、東芝 IT コントロールシステム製の産業用 X 線 CT 装置 TOSCANER-3230MFD を用いて純正部品の形状を採取し STL 形式に変換して作成した。なお、電池保持部は無人飛行機本体へ 8 か所のビスによって固定されており、ビスを取り外すことで容易に部品交換可能である。製品及び造形した電池保持部の重量は表 1 の通りである。

表 1 電池保持部品

| No. | 作製方法     | 重量    |
|-----|----------|-------|
| A   | 製品       | 5.16g |
| B   | 樹脂粉末積層造形 | 4.61g |
| C   | 樹脂粉末積層造形 | 3.80g |
| D   | 樹脂粉末積層造形 | 3.10g |
| E   | 樹脂粉末積層造形 | 2.88g |

振動測定は、DYTRON 製 1 軸加速度センサー 3225F1 を測定箇所表面に貼り付けて測定した。センサーで採取した振動データは、共和電業製ユニバーサルレコーダ EDX-200A を用いて記録し、共和電業製波形解析ソフトウェア DAS-200A を用いて解析した。

### 3 結果及び考察

#### 3.1 比熱容量及び熱伝導率評価

本造形に用いるナイロン 11 粉末の 25℃における比熱容量測定結果は、1.64J/(g・K)であった。既存文献<sup>5)</sup>におけるポリアミドの比熱容量はおおよそ 1.6J/(g・K)であり、既存文献に示された値に近い測定結果が得られた。

次に、密度を変えて造形した試料の熱伝導率測定結果を図 2 に示す。孔の方向によらず、密度が低下するほど熱伝導率が低下することが確認できた。密度を 0.95g/mm<sup>3</sup> から 0.47g/mm<sup>3</sup> まで約 1/2 に低下させると、熱伝導率は 0.37W/m・K から 0.10W/m・K まで約 1/4 に低下した。

孔方向が面に垂直の試料では、密度が低い場合に、他の試料と比べると若干高い熱伝導率を示した。これは、孔方向が面に垂直の試料においては、孔内部の粉末を除去するため、一旦片方の面を外したことによる影響と考えられる。

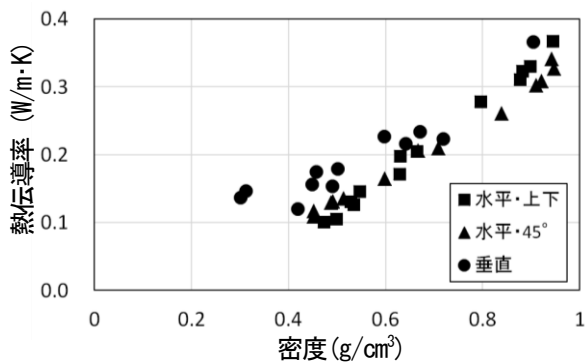


図2 熱伝導率測定結果

### 3. 2 振動特性評価

試料 A~E の 5 種類の電池保持部をそれぞれ取り付けた状態で無人飛行機を駆動し、図3に示す測定点①、②、③の3箇所での振動測定を行った。測定点①は無人飛行機のプロペラ部の根本である。②は無人飛行機の電池保持部と本体が接触している部分である。③は電池保持部の最上面であり本体と測定点③の間には柱構造を介して段差がある。

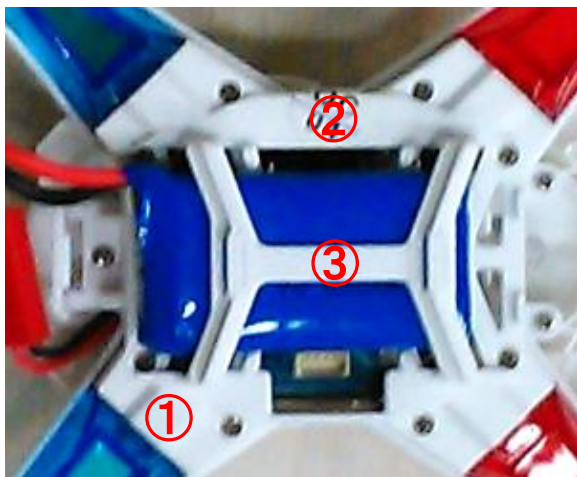


図3 振動測定箇所

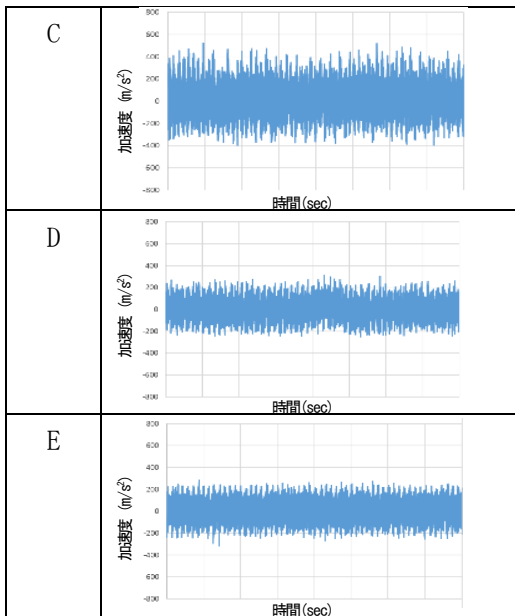
測定点①、②及び③における振動測定結果を表2~4に示す。いずれも、図の横軸は計測時間(s)、縦軸は加速度(m/s<sup>2</sup>)であり、これら全ての図のスケールは同じに揃えてある。

表2 測定点①での振動測定結果

| 試料 | 振動測定結果 |
|----|--------|
| A  |        |
| B  |        |
| C  |        |
| D  |        |
| E  |        |

表3 測定点②での振動測定結果

| 試料 | 振動測定結果 |
|----|--------|
| A  |        |
| B  |        |



測定点①及び②では、いずれの電池保持部の造形品（試料 B～E）も、元から当該無人飛行機に取り付けられていた電池保持部品（試料 A）より大きな振動が計測された。これは造形時に用いるスケール値を精密化していないため、製品よりも1mm 未満程度であるがわずかに大きく造形されていることが影響したと考えられる。

測定点③では、製品（試料 A）で測定された振動よりも造形品（試料 B～E）の振動の方が小さく、また重量が低下するほど振動が小さくなった。

表 2～4 に示す振動測定結果をフーリエ変換することで、振動数に対する加速度を求めることができる。そこでフーリエ変換により得られた、モーター起因と考えられる約 1000Hz の加速度を図 4 にまとめて示す。横軸は電池保持部の製品及び造形品の重量(g)、縦軸は加速度(m/s<sup>2</sup>)である。測定点①及び②では、電池保持部の重量が低下しても加速度の低下は見られなかった。一方、測定点③では電池保持部の重量が低下するほど加速度は低下しており、試料 A（重量 5.16g）に対し最も軽い試料 E（2.88g）では加速度がおおよそ 1/15 に低下していた。

表 4 測定点③での振動測定結果

| 試料 | 振動測定結果 |
|----|--------|
| A  |        |
| B  |        |
| C  |        |
| D  |        |
| E  |        |

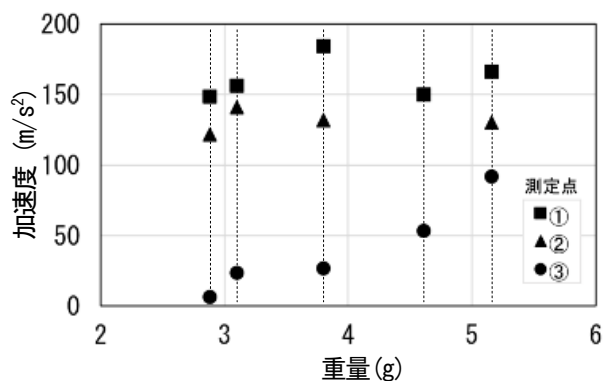


図 4 振動解析結果

測定点③での振動測定結果は、測定点①及び②の結果とは挙動が異なった。その理由としては、測定点①、②はいずれも無人飛行機本体とビス止

めされて接触している部分を測定しているが、測定点③は無人飛行機本体と接触しておらず、本体との間に柱構造を有している。柱構造部において振動が吸収されるため、柱構造部の密度が異なることで振動吸収の挙動が変化したと考えられる。

#### 4 まとめ

樹脂粉末積層造形により作製した、密度の異なる成形品の断熱特性及び振動特性を評価した。

樹脂粉末積層造形の造形条件のうち、レーザーの出力を 8、11、14、17W の 4 通り、レーザー走査幅を 0.08、0.25、0.50mm の 3 通りで変化させたところ、密度を  $0.95\text{g}/\text{mm}^3$  から  $0.47\text{g}/\text{mm}^3$  まで低下させることができた。これら造形品では、密度が低いほど熱伝導率が低下し、 $0.37\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$  から  $0.10\text{W}/\text{m}\cdot\text{K}$  まで約  $1/4$  の値となった。孔の方向を、面に水平かつ上下方向、面に水平かつ 45 度方向、面に垂直の 3 通りとしたが、孔方向による顕著な差異は見られなかった。

また無人飛行機の電池保持部品を樹脂粉末積層造形により作製し、振動特性を評価した。無人飛

行機本体に直接取り付けられた部分については、電池保持部品の密度を変えても振動が低減されることは見られなかった。一方、無人飛行機本体との間に柱構造部を有する部分については、密度を低下させることにより、モーターによる振動の影響が低減した。製品（重量 5.16g）に対し最も軽い造形品（2.88g）では、加速度が約  $1/15$  に低減した。

#### (参考文献)

- 1) 日経ものづくり 2016 年 1 月号, p. 52
- 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)
- 4) 宮内宏哉, 後藤卓三, 前田一輝: 京都府中小企業技術センター技報, 43, p. 1(2015)
- 5) 小林昭: 構造材用プラスチック工学, オーム社, p. 283 (1962)