

樹脂 3D プリンターによる消失模型鑄型の作製と 金属鑄造に関する研究

デジタルものづくり課 氷見清和 住岡淳司*1 企画管理部 石黒智明

1. 緒言

近年、自動車用部品や産業機械用部品などは、部品の薄肉・軽量化、複雑形状化、高精度化のため複雑な形状の作製技術の開発が一層求められている。現在、その開発の中で複雑形状の金属製品を直接に作製することができる金属 3D プリンターが注目されているが、造形のできる材料に限られるうえ、粉末材料が高く、またサポートの除去など造形形状にも様々な制限がある。そこで、これらの問題を解決する砂型 3D プリンターも開発されている。従来の砂型での鑄造方法の場合、製品形状が複雑になるほど特殊な中子が必要となり、どうしても解決できない形状になる場合がある。この砂型 3D プリンターは大型製品も鑄造でき、各種類の金属の鑄造ができることから大変注目されている²⁾。しかし、本プリンターは高価なことから、安価な製品試作方法が求められている。

そこで、樹脂を材料とする 3D プリンターで消失模型鑄型を作製することにより、従来方法では困難だった形状の作製について検討した。鑄型内で製品形状の模型を消失させることで、中子や型割形状を考慮する必要が無く、中空形状やアンダーカット形状のある複雑な部品の自由度が大幅に増える。本研究では、樹脂 3D プリンターを用いて、消失模型を試作し、砂や石膏などの耐火材料に模型を埋め込み、消失させてから熔融金属を流し込むインベストメント鑄造法にて鑄造を試みた。

2. 実験方法

2.1 試験および測定方法

樹脂材料の分析は、赤外分光光度計により結晶構造を分析した。また、熱による状態変化については、熱分析装置を用いた熱重量分析(TGA)、および PVT 試験機を用いて樹脂材料の体積変化を測定した。

2.2 消失模型の作製と鑄造

消失模型は 3D-CAD で設計し、材料にポリアミド樹脂を用いて樹脂 3D プリンター (EOS 社製 Formiga P100) にて作製した。鑄型材料には石膏を用い、模型を埋没させて固化後に電気炉内にて最高温度 600°C まで上昇させて模型を消失させた。

模型が消失して空洞となった石膏鑄型に、溶解した錫

合金を流し込み、冷却後に石膏を崩して鑄造製品を取り出した。

3. 実験結果および考察

3.1 材料測定結果

ポリアミド材料の熱重量分析の結果、おおよそ 300~400°C の間で最大の分解があり、450°C では分解がほぼ完了していると推測した。この結果から、実験では、充分に分解させるため炉の設定温度を 600°C とした。

埋没した消失模型を電気炉で消失する際に、熱により膨張し、固化した鑄型を崩してしまうことが考えられることから、加熱による樹脂材料の熱膨張について測定した。図 1 に、ポリアミド粉末材料について、応力 100MPa および 200MPa における定圧での温度体積変化を示す。約 100°C 付近でガラス転移が観測され、約 200°C 付近で融点が観測されている。測定の結果、50°C 付近から 300°C までにおける体積膨張は約 10%あることがわかった。

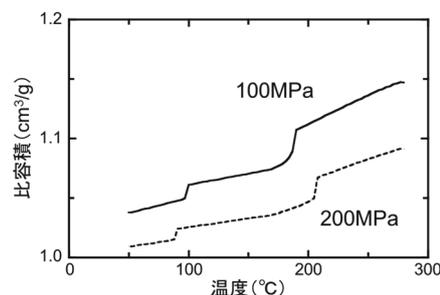


図 1 ポリアミド粉末材料の定圧温度変化

3.2 鑄造試験結果

図 2 に、(a)3D プリンターで作製した消失模型の外観、(b)模型を消失後に中空となった鑄型に熔融金属を流し込み取り出した鑄造製品の外観、(c)鑄造製品の表面の拡大観察を示す。実験の結果、樹脂模型は完全に消失しており、細部まで鑄造できていることがわかる。

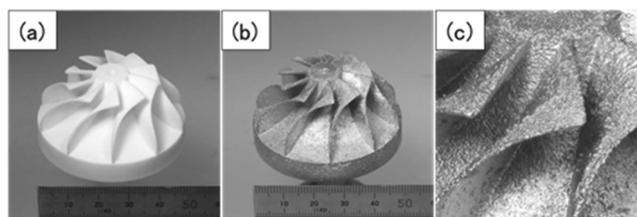


図 2 (a)消失模型, (b)鑄造製品, (c)鑄造製品の拡大

*1 現 企画管理部

近年では、3Dプリンターの有効な利用法として、トポロジー最適化技術を利用した軽量化設計が注目されている。トポロジー最適化技術とは、製品が利用される上で想定される構造的な条件（荷重、形状など）の下で、設定した設計空間において、最も効率のよい形状を見出す手法である³⁾。一般では、普及している樹脂3Dプリンターを用いて、トポロジー最適化によって得られた樹脂製の造形品が試作されているが、樹脂では強度が不十分なため、強度が必要とされる金属部品の代用としての利用はできない。また一方で、金属3Dプリンターによる造形では、前述のように造形できる形状に制約があることや造形コストがかかる問題点がある。そこで、本研究手法によって、複雑形状の造形および金属部品の作製可能性について試みた。図3に、(a)金属製ブラケット部品、(b)軽量化を検討した設計3D画像、(c)樹脂製の消失模型、および(d)金属铸造製品の外観を示す。铸造の結果、湯口や堰の切除作業は必要であるが、ほぼ最終形状の金属部品が作製でき、金属3Dプリンターに比べて金属材料や設計の自由度は大変に高いことが示唆された。

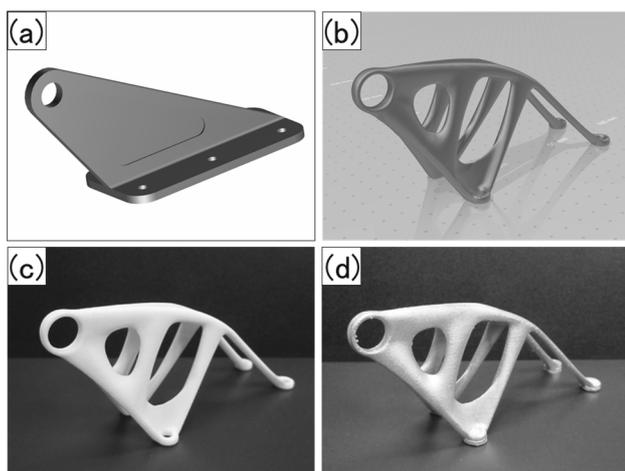


図3 (a)金属製ブラケット部品、(b)設計3D画像、(c)樹脂製の消失模型、(d)金属铸造製品

キーワード：3Dプリンター、積層造形、消失模型、铸造

Research on Fabrication of Sacrificial Patterns by 3D Printer and Metal Casting

Digital Manufacturing Section; Kiyokazu HIMI, Junji SUMIOKA,
and Tomoaki ISHIKURO

In this study, the basic characteristics of sacrificial patterns fabricated by 3D printer were investigated. The polyamide powder material decomposes completely at about 450 °C. Polyamide material has about 10% volume expansion from around 50 to 300 °C. Polyamide sacrificial patterns were fabricated by 3D printer. We tried to cast metal products by investment casting method. As a result of the experiment, the pattern completely disappeared, and metal was flowing to details in the cavity. These methods can be used to make metal products of complex shapes.

4. 結言

本研究では、樹脂3Dプリンターを用いて、積層造形法による消失模型を試作し、鑄型内の空間に熔融金属を流し込むインベストメント鑄造法にて金属製品の作製を試みた。実験の結果、樹脂模型は完全に消失しており、鑄造製品は細部まで鑄造できることを確認できた。特に、トポロジー最適化技術を利用した軽量化金属部品の作製においては、従来の加工方法では作製が困難な形状でもほぼ最終形状の金属部品が作製できることを確認し、金属3Dプリンターと比較して金属材料や設計の自由度は大変に高いことが示唆された。

大型で肉厚の製品の作製では、消失の際に樹脂模型の膨張により鑄型を崩してしまうことが考えられる。その対策として、3Dプリンターが得意とする模型内部を中空にした極薄いシェル構造にすることにより、熱膨張による型の破壊を防ぐことができる。

現在、3DプリンターやAM技術をはじめとする生産・加工技術のさらなる進歩に伴い、トポロジー最適化技術も一層進んでいることから、複雑形状した製品の可能性はますます拡大するものと考えられる。現在は、航空宇宙関連部品や高付加価値製品に利用研究が進んでおり、将来は、汎用機械製品（溶接ロボット部品、建設機械部品など）にも必ず利用されると推測される。

参考文献

- 1)永田, 滝沢ら:若い研究者を育てる会, **30** (2017) pp. 14-20
- 2)岡根利光ら: 鑄造工学, **90**(2018) pp.265-327
- 3)野村壮史ら:自動車技術会論文集,**51**(2020)pp.127-133