

**科学研究費助成事業 研究成果報告書**

平成 28 年 6 月 6 日現在

機関番号：53101

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2014～2015

課題番号：26820024

研究課題名(和文) 3Dプリンタを用いた砥石内研削液供給機構をもつ自由形状砥石の作成手法の確立

研究課題名(英文) Establishment of free formed grinding tool with inner coolant through structure using FDM 3D-printer

研究代表者

井山 徹郎 (IYAMA, Tetsuro)

長岡工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：00452087

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,200,000円

研究成果の概要(和文)：本研究は自由形状砥石を安価かつ容易に作製する技術を開発することを目的とした。FDM式の3Dプリンタに用いるフィラメント材料として、樹脂と砥粒を混合した砥石作製用フィラメントを開発した。

このフィラメントを用いて得られた造形物は、金型鋼などの表面粗さを改善することが可能であり、砥石として機能することを明らかにした。

研究成果の概要(英文)：This study aims to development of easy and cheap manufacturing method for free formed grinding tools.

An abrasive mixed filament was developed for fabrication of the tools by using the fused deposition modeling 3D-printer.

It was experimentally confirmed that the printed objects were possible to be used as the grinding tool because the surface roughness of the workpiece was improved.

研究分野：機械加工

キーワード：アディティブマニュファクチャリング 研削加工

### 1. 研究開始当初の背景

(1) 3D プリントは近年、北米をはじめとした世界各国において製品開発がきわめて活発におこなわれている。特に、光造形方式、熱溶解積層方式の製品に関しては、ここ数年で著しい低価格化と性能の向上が見られている。3D プリントに関する研究は、造形精度の評価方法や教育現場への応用など、多岐の分野に渡って報告されている。また、3D プリントに用いる材料についても、2013 年になってから、材料として木材の混合物や食材を用いた報告がされている。

(2) 総形砥石を用いた研削加工は、射出成型金型や精密歯車、送りネジなどの仕上げ加工に用いられる。通常、総形砥石は専用金型による成型工程、もしくはダイヤモンドドレッサーなどによるツーリング工程で成形される。そのため、汎用の砥石に比べて作製コストが高くなる。また、これらの方法では複雑形状の総形砥石を作製することは容易ではないため、工作物ごとに最適な形状の砥石を、きわめて安価かつ容易に作成する技術が求められている。

### 2. 研究の目的

本研究では 3D プリントの優れた造形性能に着目し、金型の使用や砥石のトリミングなどの追加工程を必要とせず、外部形状のみならず内部の形状までも自由自在に成形可能な三次元造形砥石の作成技術を構築することを目的とした。

### 3. 研究の方法

(1) FDM 方式の 3D プリントは造形材料にフィラメント状の熱可塑性樹脂が用いられる。3D プリントを用いた砥石作製のために、造形物への砥粒の混合方法について検討した。3D プリントによる造形中の造形物に外部から砥粒を吹き付けて、造形物表面に砥粒を固着させる方法と、造形に用いるフィラメント材料自身にあらかじめ砥粒を混練させ、これを用いて造形する方法の二つについて実験的に評価した。

(2) 3D プリントに用いられるフィラメント材料にあらかじめ砥粒を混練させた、砥粒混合フィラメントを作製するための装置（押し出し機）を開発した。市販の卓上型押し出し機では砥粒と樹脂が均一に混練させながらフィラメント材料を作製することは困難であると判断し、単軸型の押し出し機を参考に、砥粒混合フィラメントの作製装置を設計・開発した。

(3) 砥粒混合フィラメントを用いて、印刷した造形物が砥石として機能するか、実加工実験によって検証した。手仕上げによる研削加工に用いられる軸付き砥石と、提案手法で作製した砥石について、両者の加工性能（表

面粗さの改善特性ならびに砥石の摩耗量）を実加工実験により評価した。加工条件はハンドルーターを使った手仕上げ作業に近い条件を設定し、工作物材料は金型鋼である SKD11 を用いた。

(4) 砥石内部にクーラントスルーのための供給口を設けた砥石を作製し、研削液の砥石内部からの供給効果の有無について実験的に検証した。

### 4. 研究成果

(1) 図 1 に開発したフィラメント作製装置の外観を示す。ホッパー部に樹脂ペレットと砥粒を混合させたものを供給し、加熱部でそれらが溶解され吐出口からフィラメントが連続的に作製される。この装置を用いた場合、樹脂ペレットに対する砥粒の混合割合が質量比で 30% を超えると、装置内部で樹脂と砥粒の均一な攪拌がされず吐出されるフィラメントが脆くなり、次工程における 3D プリントによる造形作業途中にフィラメントの供給が正しく行えないことが多くあった。そこで、一度作製した砥粒混合フィラメントをミキサーを用いて粉砕し、この粉砕してペレット状になったものを改めてフィラメント作製装置に投入することで、フィラメント中における砥粒の分布が均一化され、砥粒を混合する前の市販されているフィラメントと同等の強度を持たせることができた。図 2 に開発装置で作製した砥粒混合フィラメントの写真を示す。上述した手法で、砥粒の混合比が 60wt.% のフィラメントが作成可能となった。

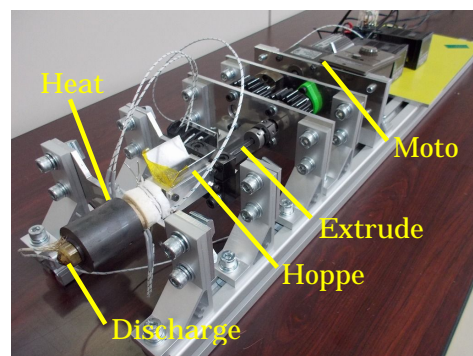


図 1 開発したフィラメント作製装置

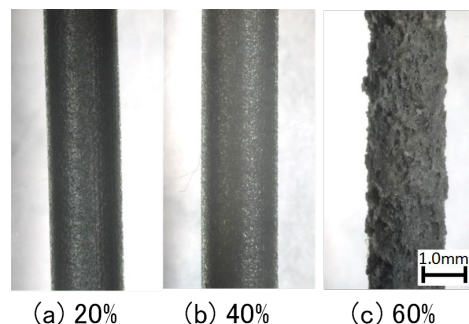


図 2 砥粒混合フィラメントの外観

(2) 砥石作製に使用した 3D プリンタはオープンソース型の FDM 方式 3D プリンタで、最大造型サイズは 130×130×100mm、積層方向の最小ピッチが 0.05mm のものを使用した。積層ピッチは 0.1mm とし、インフィル（砥石内部の塗りつぶし）は 100% に設定した。出力温度については、砥粒混合フィラメントを用いた場合は市販されている ABS 製のフィラメントに比べて流動性が悪くなったため ABS 樹脂の造形時の適温より高い 240 に設定した。図 3 に砥粒混合フィラメントを用いて作製した砥石の外観を示す。作製した砥石は表面上には積層痕がはっきりと表れているものの、造形精度は通常のフィラメント材料を用いた場合と変わらない精度で造形可能であった。現在市販されている FDM 方式の 3D プリンタの造型精度は、造形物の大きさや造形の向きによって異なるが、高精度なものでも 100 $\mu$ m 以上の寸法誤差が生じるため、砥石としての形状精度はこのままでは不十分ではあるが、これについては今後の FDM 方式の 3D プリンタの精度向上によって改善が見込まれる。本研究では造形条件を最適化することで、最終的に積層方向に  $\pm 0.1$ mm、それ以外の方向に対しては  $\pm 0.3$ mm 程度の寸法精度で砥石が造形できることを確認している。

(3) 前述した方法で作製した砥石の加工性能の評価実験を行った。砥石形状は図 3(a) に示した軸付き砥石のような 6mm の円筒形とし、軸部は寸断した M3 のボルトのネジ部

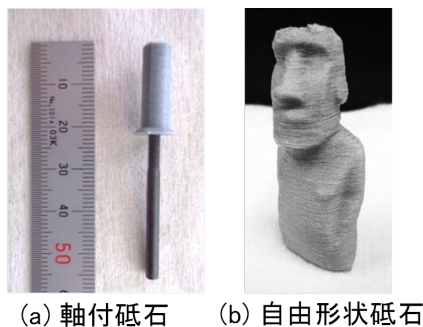


図 3 造形した砥石の外観

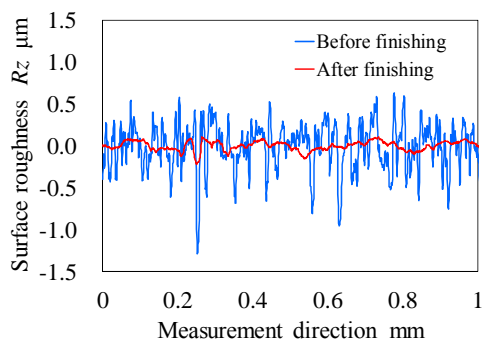


図 4 造形した砥石による研削加工前後の工作物表面粗さ

を用いて造形した砥石に取り付けた。工作物は 2.0 $\mu$ mRz 程度に前加工した SKD11 材を用いた。実験では工作物の加工面に作製した砥石の底部を回転させながら押し当て加工を行った。図 4 に作製した砥石を用いて加工を行った工作物の表面粗さを、加工前後で比較した結果を示す。また、図 5 に加工後の工作物の写真を示す。図 4 より 3D プリンタを用いて作製した砥石を用いることで、最終的に 0.3 $\mu$ mRz 程度の表面粗さに加工できていることがわかる。これより砥粒混合フィラメントを用いて作製した砥石は、研削性能を十分有していた。

(4) 図 3(a) に示した軸付き砥石内部にマシニングセンターのクーラントスルー機能を利用するための、クーラント供給口を設けた砥石を作製し、造形砥石における研削液の内部供給機能の効果を検討した。図 6 に研削液を外部ノズルから供給した場合と、砥石内部を通して供給した場合の、砥石の摩耗量を比較した結果を示す。図 6 より、研削液を供給した場合は、供給しない場合に比べて砥石の冷却、切屑排出など効果により摩耗量は低減されているが、供給方法の違いが砥石摩耗量に及ぼす影響はほとんどない結果となった。これは、砥石の結合剤である ABS 樹脂樹脂自体の耐熱性、耐摩耗性が、研削用砥石としては不十分であったこと、また作製した砥石が小径の軸付砥石であったため、研削液の冷却効果が十分に発揮されなかったことが理由として考えられる。そのため、ABS 樹脂

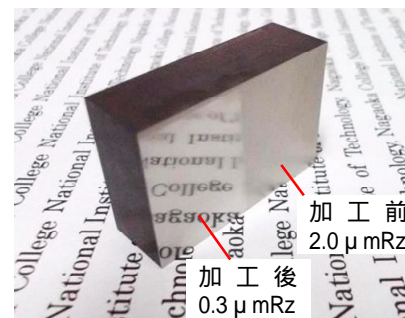


図 5 加工前後の工作物表面の様子

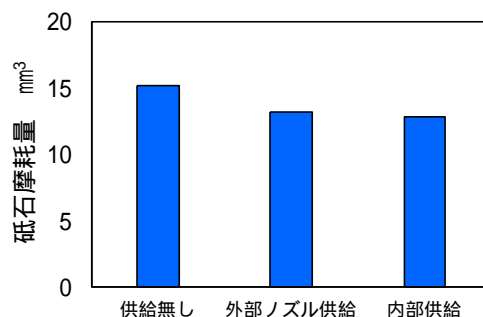


図 6 研削液の供給方法と砥石摩耗量の関係

以外に，セラミックス系材料を結合剤とした砥石の造形方法について検討しているが，砥粒，樹脂，セラミックス系の結合剤が均一に混練された砥石作製用フィラメント材の作製に至っておらず，これについては今後の研究において継続して検討する．

#### 5．主な発表論文等

(研究代表者，研究分担者及び連携研究者には下線)

[学会発表](計 2 件)

井山徹郎，渡邊大貴，大橋敦，砥粒混合フィラメントを用いた 3D プリンタによる総形砥石の作製，日本機械学会 2015 年次大会，2015 年 9 月 13 日，北海道大学(北海道・札幌市)

渡邊大貴，井山徹郎，3D プリンタで作製した砥石の加工性能，精密工学会北陸信越支部学術講演会，2015 年 11 月 14 日，金沢工業大学(石川県・金沢市)

#### 6．研究組織

(1)研究代表者

井山 徹郎 (IYAMA, Tetsuro)

長岡工業高等専門学校・機械工学科・准教授

研究者番号：00452087