

ジャイロバレル研磨を活用した金属 AM 造形物のサポート除去手法の提案

金沢大学 ○山谷 晃平, ◎橋本 洋平, 古本 達明, 阿部 諭, 山口 貢, 小谷野 智広, 江面 篤志, 細川 晃

要 旨

AM (Additive Manufacturing) において, 大きなオーバーハングをもつ構造の造形にはサポートが不可欠となる. 本研究では簡便なサポート除去を実現する, ジャイロバレル研磨を活用した金属 AM 造形物のサポート除去手法を提案する. 最初に, サポート形状に関する検討を行い, 造形物との接地部が直径 0.5 mm の柱状であれば容易に除去できることを確認した. そして, 盃状加工物に対するサポート除去にも取り組み, 実造形プロセスでも適応できることを確認した.

1. 緒言

金属 AM (Additive Manufacturing) を活用したものづくりは近年大きく進んでおり, 航空機部品や金型といった工学部品の製造だけでなく, 医療機器や芸術作品の作成にも活用されている. 代表的な金属 AM 手法であり, 比較的微細形状の造形が得意である粉末床溶融結合法では, 造形後のサポート除去が課題の一つとなっている^{1),2)}. サポートは造形物の支持だけでなく, 反り防止や放熱促進などに有効であるが, 造形物と接着しているため除去は容易でなく, 作業者の手作業による多大な労力を要する工程となっている. この課題に対し, 除去しやすいサポート形状の検討が行われている²⁾が, ニッパーなどの汎用工具を用いて除去されるなど, 除去手法には着目されていない. 本研究では, 従来と異なる着想による大幅な簡便化を期待し, 歯車の歯面研磨³⁾などに用いられる, 複雑形状に対する優れた研磨技術であるジャイロバレル研磨を活用した除去方法を検討する.

2. ジャイロバレル研磨と検討するサポート除去手順

図 1 にジャイロバレル研磨の模式図と本研究で用いる加工機 (チップトン製 GS-45) を示す. 鉛直に設置したバレル内に研磨メディアが充填される. 研磨メディアはバレル回転とともに運動し, その流動内に加工物を保持することで加工物回りを研磨メディアが運動し加工が進展する. このため, 複雑形状であっても比較的容易に表面性状の向上が可能な加工技術といえる.

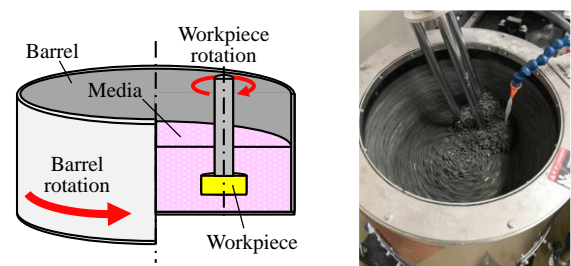
図 2 に本研究で検討するサポート除去手順を示す. 造形中の粉末敷ブレードとの接触に起因する造形異常を防ぐために, サポートはある程度の剛性が必要であり, 容易には除去できない. このため本研究では, まずディスクグラインダを用いサポートの粗取りを行い, その後ジャイロバレル研磨により残存サポートを除去することで, サポート除去を実現する.

3. 除去可能な残存サポート形状の調査

ジャイロバレル研磨により除去できる残存サポート形状を検討する. 図 3 に検討する残存サポート形状を示す. ブロック状造形物上にサポートを造形したものであり, 残存サポートを模擬した形状となっている. 図 3(a) - (c) は一般的な格子状の薄板で構成された板状サポートの残存サポートで, 板厚 t と残存高さ h が異なる. 本サポートでは接地部近傍は台形となっており, 残存高さが小さい条件では独立した台形の薄板の集合となっている. 図 3(d) - (f) は円柱で構成された柱状サポートの残存サポートで, 柱径 d と残存高さ h が異なる. なお本加工物は, 鉄系粉末 (松浦機械製作所 マツウラマルエージング II) を用いて, 粉末床溶融結合装置 (松浦機械製作所 LUMEX Avance-25) により, レーザ焼結のみを行い造形した.

表 1 に加工条件を示す. 加工物設置位置は半径 125 mm, メディア表面からの距離 70 mm とし, 前方を上側に 20 度傾けた状態で保持する. 向きによる偏りを防ぐために, 3 min^{-1} とバレル回転数 60 min^{-1} よりも十分に小さい回転を加工物に与える. ま

た, 研磨メディアは, 高い加工性能をもつ 6 mm 角の三角柱状セラミックメディア (チップトン GUT-5) とし, コンパウンドを供給した湿式条件で検討を行う.



(a) Schematic illustration (b) Finishing machine
Fig. 1 Gyro finishing Process

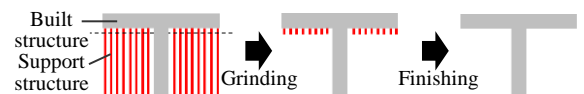


Fig. 2 Procedures of support structure removal

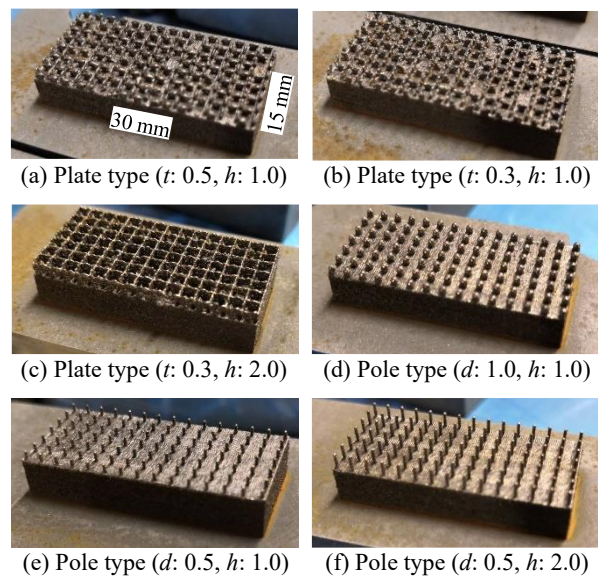


Fig. 3 Initial workpieces

Table 1 Experimental conditions

Workpiece position	Radial position in barrel: 125 mm Initial media height above workpiece: 70 mm Tilt angle against media stream: 20 °
Rotational speed	Barrel: 60 min^{-1} Workpiece: 3 min^{-1}
Abrasive media	Ceramic type with triangle prism shape (Δ : 6 mm, H : 6 mm) GUT-5 (Tipton Corp.)

図4に加工後の加工物を示す。ここでは、加工時間は最長で30分とし、サポート除去に成功した条件では除去完了時で加工を終了した。図4(a)の板厚 t 0.5 mmの板状サポートでは、30分の加工で一部のサポートは折除されているが、多くのサポートは残っている。これに対し、図4(b)の板厚 t を0.3 mmとした条件では、断面係数が小さくなるため30分の加工で全てのサポートが除去された。ただし、図4(c)の残存高さ h を2.0 mmとした条件では、サポートの連結により強度が増加するため、サポートは除去されなかった。この結果は、断続サポートとなるように接地部近傍での精密な粗取りを行わなければ、板状サポートを除去できないことを表しており、現実的には板状サポートの除去は困難であるといえる。一方、図4(d)の柱径 d 1 mmの柱状サポートでは30分の加工後もサポートが残るが、図4(e)と(f)の柱径 d 0.5 mmの条件では断面係数の減少により15~20分程度の加工でサポートが除去された。なお、残存高さ h 2.0 mmの条件の方が、除去に必要な加工時間は短くなった。これは曲げモーメントが大きくなったためである。この結果から、ディスクグラインダによる粗取りで精密な加工を行わなくても、柱径0.5 mmの柱状サポートであれば、ジャイロバレル研磨により容易に除去できると考えられる。

図5に15分の加工でサポート除去を実現した、柱径 d 0.5 mmのサポートで残存高さ h 2.0 mmの条件における、表面形状計測結果を示す。図に示すように、5分の加工ではサポートが折除されるものの痕が確認される。なお、周期的な格子状の凹凸はレーザパスに起因するものであり、サポートがない領域でも100 μ m程度の凹凸が存在する。そして、15分の加工でサポート痕はレーザパス起因の凹凸と同程度の高さになり、サポート除去が完了したといえる表面状態となる。なお、加工を継続し加工時間が30分の表面形状に着目すると、サポート位置は全く確認できない。また、レーザパス起因の凹凸高さも60 μ m程度と初期よりも減少している。このため、更に加工を継続することで非常に表面粗さの小さい面を創成することができるといえる。

4. 実造形プロセスへの適用の検討

ジャイロバレル研磨による除去の可能性が確認された0.5 mmの柱状サポートをもつ盃状造形物に対し加工を行い、平坦でない実造形プロセスに対して本技術の有用性を確認する。

図6に盃状の加工対象を示す。図6(a)のCADモデルに示すように、造形物は水平面から20°のオーバーハングをもつため、その下側にサポートが必要となる。また、ベースプレートと盃底面の隙間は最狭部で20 mmであり、上記の検討でも用いた高さ6 mmの三角柱状セラミックメディアが数個は侵入できる。図6(b)に造形後の写真を示す。盃底面に円柱状のサポートが多数造形されている。なお、各サポートは高い剛性をもたせるために、上端部と下端部を除き連結されている。そして、盃底面との接地部は単独の5 mm長の柱状サポートとなっている。

図7にジャイロバレル研磨実施前後の加工物写真を示す。図7(a)はディスクグラインダを用いて粗取りを行った状態である。前章の検討と異なり、残存サポートの多くが横に倒れているが、サポートの連結部は除去できている。なお、この粗取りに相当の時間を要しており、粗取りしやすいサポート形状¹⁾の適応も重要であるといえる。図7(b)はジャイロバレル研磨で11時間加工を行った後の加工物であり、サポート痕まで完全に除去されていることが分かる。なお、前章の模擬加工物を対象とした検討と比べ加工時間は大幅に増加している。これはベースプレートと盃底面の隙間が十分でなく、メディアとの接触力が低減したことが原因であると考えられる。ただし、作業者を必要とせず概ね半日でサポート除去を実現できたことから、ジャイロバレル研磨のサポート除去への活用は、作業の大幅な簡便化できる極めて有効な提案であるといえる。

今後は、より短時間でサポート除去を目指し、造形物底部にダミー部を設置するなどの造形手法の検討を行うとともに、

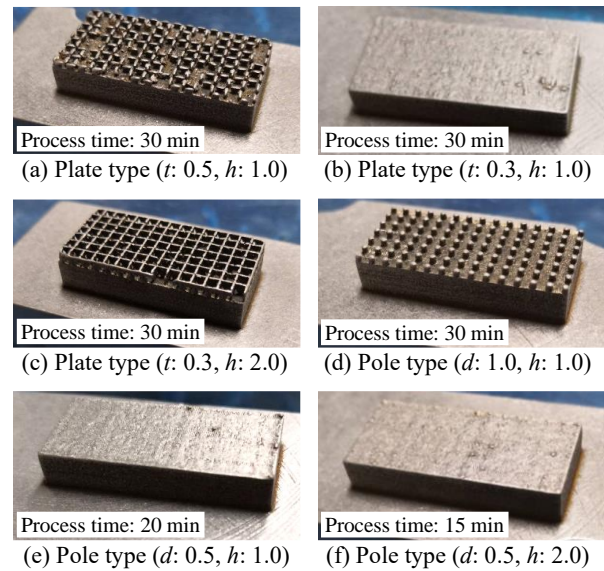


Fig. 4 Workpieces after gyro barrel finishing

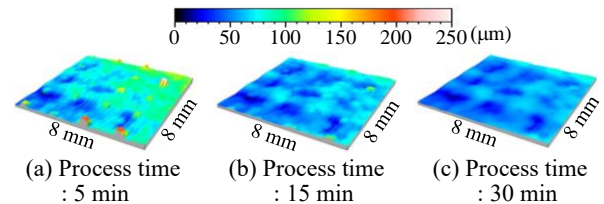


Fig. 5 Surface profile of processed workpiece

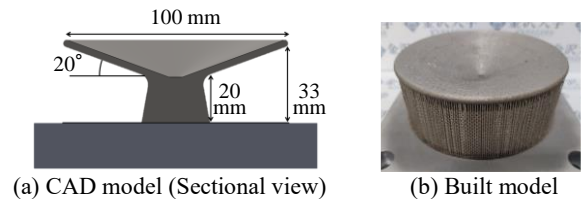


Fig. 6 Glass shape workpiece

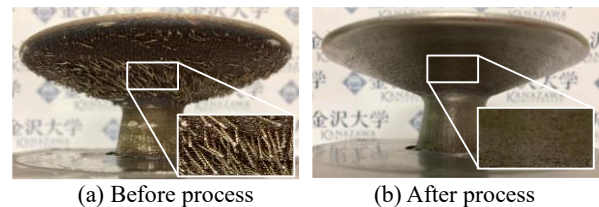


Fig. 7 Workpiece before and after process

サポート除去による悪影響である形状精度悪化に関する定量評価に取り組む予定である。

5. 結論

金属AMを活用したものづくりにおける課題の一つであるサポート除去の簡便化を目指し、ジャイロバレル研磨を活用したサポート除去に関する検討を行った。サポートを模擬した加工物による初期検討により、直径0.5 mmの柱状サポートであれば容易にサポート除去できることを確認した。そして、実造形プロセスを想定した盃状造形物のサポートも除去できることを確認し、ジャイロバレル研磨の活用によりサポート除去作業を大幅に簡便化できることを示した。

参考文献

- 1) J. Jiang, et al., Support Structures for Additive Manufacturing: A Review, Journal of Manufacturing and Materials Processing, 2018, 2(4)
- 2) 藤巻 研吾ら, 金属粉末積層造形におけるモデル形状に対する条件データベースの構築, 東京都立産業技術研究センター研究報告, 2016, 11
- 3) 徳屋下 茂ら, 浸炭焼入れした歯車の面圧強度の向上に関する研究--ショットピーニングとバレル処理の効果, 日本機械学会論文集 C 編, 1996, 62(595)