

Generative Designによる産業用ロボット向け軽量 パーツの開発

真所, 最
山本金属製作所株式会社

後藤, 浩二
九州大学大学院

<https://hdl.handle.net/2324/7151995>

出版情報 : 2023
バージョン :
権利関係 :



Generative Design による産業用ロボット向け軽量パーツの開発

Development of Lightweight Parts for Industrial Robots by Generative Design

○真所最（正，㈱山本金属製作所，Sai MADOKORO）
後藤浩二（九州大学大学院，Koji GOTOH）

1 はじめに

近年，3D プリンタを活用した積層造形(Additive Manufacturing: AM)技術の進歩が著しく，ジェネレーティブデザイン(Generative Design: GD)¹⁾やトポロジー最適化(Topology Optimization: TO)²⁾などの構造最適化手法により軽量化された複雑形状の部品を AM によって製作・運用することが注目されている．従来の切削加工による製作が困難である場合も多い GD や TO によるモデルは，AM によってその付加価値を最大限発揮できることも多く，著者らは GD や TO により軽量化した部品を AM によって製作し，機械加工プロセス，特に切削加工現場の自動化において使用される産業用ロボットに実装することを検討している．

1.1 切削加工現場における産業用ロボットの運用方法について

切削加工現場においては，多様な製品群の生産に対応できるライン構築が求められており，同一の設備を用いながらも多種多様な製品加工を自動化させることが一般化しつつある．その生産ラインで使用する産業用ロボットにおいても，多品種製品・ワークの把持や搬送に対応するためロボットハンド部品を交換したり，延長部品を追加してアームの長さを変更することでリーチを調整したりと，様々な工夫がなされている．さらには，高速稼働による作業効率の向上や，モーター負荷低減のために各種部品が軽量であることが望ましい³⁾．

1.2 従来部品の課題と解決へのアプローチ

著者らは，図 1 に示す「アームブロック」と呼ばれるアルミニウム合金製の部品を切削加工により製作し，複数個つなげてロボットに装着することでアーム長さを自由に変更し，リーチを調節することで多様な生産ラインに適用させてきた．しかしこのアームブロック 1 個の重量は 640(g)であり，例えば一般的な 7(kg)可搬のロボットにアームブロック 1 個を取付けるだけで約 10%，複数個連結して装着すれば可搬重量に対してさらに大きな割合を占めることとなり，製品の重量次第では搬送ができない，または高速稼働ができないという課題が生じていた．

従来部品への軽量化が求められている中，GD を活用した軽量化を実施し，その効果について従来部品との比較を基にして検討することとした．

2 Generative Design の実施と評価方法

2.1 構造最適化および AM による製作

GD による構造最適化は，AUTODESK 社の 3D CAD ソフトウェアである「Fusion360」を使用し，表 1 に示す条件で解析を実施した．GD により生成されたモデルは，EOS 社製粉末床溶融結合方式 (Powder Bed Fusion: PBF) 3D プリンタの「M290」を使用し，GD 解析と同じく素材を AlSi10Mg として製作した．

2.2 比較実験

従来の切削加工製アームブロックと，GD により構造最適化した AM 製アームブロックの性能比較として，構造最適化前後の重量比較に加え，図 2 に示す FANUC 社製 6 軸協働ロボット「CR-7iA/L」にアームブロックを 2 個取付け，J5 軸を水平(0°)から 90°下方に回転させ，垂直位置(-90°)から再び水平に往復動作させた際のモータートルクを発生させている実効電流成分を取得して比較することとした．J5 軸の軸位置（角度）および電流出力値はコントローラシステム変数（サーボ情報の内部パラメータ）を取得することで外部 PC に出力することができる．



Fig. 1 "Arm Block" manufactured by cutting

Table 1 Generative Design analysis conditions

Material	AlSi10Mg	
	Young's Modulus	71(GPa)
	Density	2.67(g/cm ³)
	Yield strength	240(MPa)
	Ultimate tensile strength	460(MPa)
Lower limit of safety factor	2	
Maximum load	200(N)	

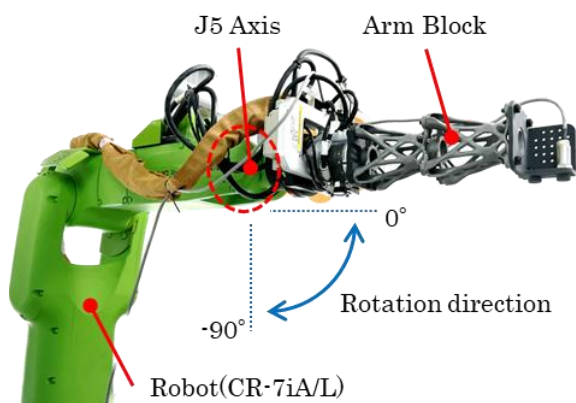


Fig. 2 Schematic illustration of performance comparison experiment

3 実験結果

3.1 GD 前後の重量比較

図 3 に GD により軽量化した AM 製アームブロックを示す。図 1 の切削加工製アームブロックの重量が約 640(g)であったのに対し、AM 製アームブロックの重量は約 150(g)であった。GD により約 75%の軽量化を達成した。これにより、アームブロックの使用数を増加するほど軽量化の効果が大きくなり、可搬重量に対しての製品・ワーク搬送のキャパシティに余裕が生まれるだけでなく、安定した高速稼働の実現が期待できる。また、GD の特徴である有機的な複雑形状をしており、AM で製作することにより付加価値を最大限発揮できるモデルとなっていることがわかる。

3.2 モータートルク発生電流の比較

図 4 に切削加工製および AM 製アームブロックを取付けたロボットの J5 軸位置（角度）とモーター電流出力値の関係を示す。J5 軸を 0°（水平）位置に保っている状態では、姿勢を維持するための電流値が切削加工製で約 1.2(A)、AM 製で約 0.8(A)と、切削加工製の値が 1.5 倍程度高いことがわかる。ロボット停止時の姿勢維持のためにも電力は消費されており、軽量化による消費電力の低下が期待できることが示唆された。また、-90°（垂直）位置から 0°（水平）位置まで上方への回転動作するときのピーク電流にも差が確認でき、切削加工製で約 1.8(A)、AM 製で約 1.3(A)と、ここでも切削加工製の電流値が 1.4 倍程度高いことが確認できた。

本報では J5 軸のモーター電流出力値のみの評価であるが、ロボット全体には 6 つのモーターが搭載されていることを考慮すれば、さらに省電力効果は大きいものと予想できる。今後、製品・ワークの搬送動作をロボット全体で評価していく必要がある。

4 結言

本研究では、産業用ロボットのアーム延長用部品を対象に、従来の切削加工製と、GD による構造最適化をした AM 製の比較を実施しその効果を検討した。得られた結果を次に示す。



Fig. 3 "Arm Block" manufactured by AM

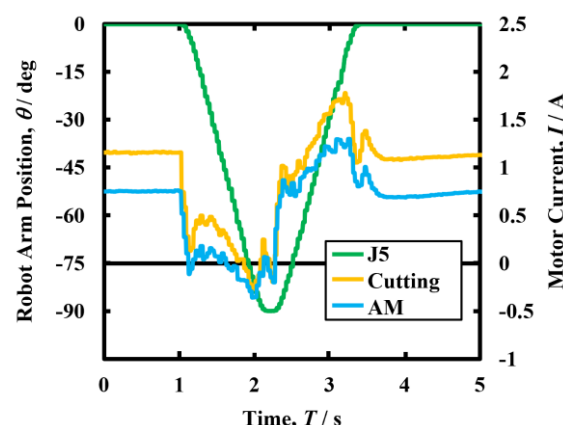


Fig. 4 Relationship between robot arm position and motor current

- 1) 従来の切削加工製アームブロックの重量が約 640(g)であったのに対し、AM 製アームブロックの重量は約 150(g)であり、GD によって約 75%の軽量化を達成した。
- 2) 6 軸協働ロボットにアームブロックを 2 個取付けた際、J5 軸を 0°（水平）位置に保つ状態では、切削加工製に比べて AM 製のモーター電流出力値が 33%低下した。また、-90°（垂直）位置から 0°（水平）位置まで上方への回転動作するときのピーク電流では、切削加工製に比べて AM 製のモーター電流出力値が 28%低下した。省電力化や、モーター負荷低減による装置の長寿命化が期待できる。

参考文献

- 1) Buonamici, F., Carfagni, M., Furferi, R., Volpe, Y. and Governi, L.: Generative Design-An Explorative Study, Computer-Aided Design & Applications, 18(1), (2021), 144-155.
- 2) Gebisa, A. W. and Lemu, H. G.: A case study on topology optimized design, IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering, 276, (2017), 012026
- 3) Bugday, M. and Karali, M.: Design optimization of industrial robot arm, Engineering Science and Technology, an International Journal, 22, (2019), 346-352.