

論文 / 著書情報  
Article / Book Information

論題(和文)	3Dプリンティング繊維強化樹脂を用いたロボットアームの基礎的検討
Title(English)	Fundamental Study for Robot Arm made of 3D printed Fiber Reinforced Plastics
著者(和文)	金澤洸輝, 難波江裕之, 鈴森康一, 遠藤玄
Authors(English)	Hiroki Kanazawa, Hiroyuki Nabae, Koichi Suzumori, Gen Endo
出典(和文)	第20回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会 予稿集, Vol. , No. , pp. 2440-2441
Citation(English)	Proceedings of the 20th SICE System Integration Division Annual Conference, Vol. , No. , pp. 2440-2441
発行日 / Pub. date	2019, 12
権利情報 / Copyright	本著作物の著作権は公益社団法人計測自動制御学会に帰属します。 (c) 2019 The Society of Instrument and Control Engineers

# 3D プリンティング繊維強化樹脂を用いたロボットアームの基礎的検討

○金澤 洸輝 (東工大), 難波江 裕之 (東工大), 鈴森 康一 (東工大), 遠藤 玄 (東工大)

## Fundamental Study for Robot Arm made of 3D printed Fiber Reinforced Plastics

○Hiroki KANAZAWA (Tokyo Tech), Hiroyuki NABAE (Tokyo Tech),  
Koichi SUZUMORI (Tokyo Tech), and Gen ENDO (Tokyo Tech)

Abstract : After cooperation robots were appeared, user needs for robots are changing to low cost and light weight from high rigidity. As solution for needs, 3D printing is very effective, so 3D printed robot arm already have been developed. Therefore we converted metal frames of the robot arm to 3D printed frames, and verified problems in terms of production and performance.

### 1. 緒言

2013 年の 80W 規制の緩和以降協働ロボットの需要が非常に高まっている。従来の産業用ロボットよりも低コスト・省スペースかつ様々な動作に対応させることができる協働ロボットは今後非常に拡大していく市場である [1]。協働ロボットには人間と隣接した環境で働くため、産業用ロボットのような高速・高剛性は優先度としては低く、安全性や低価格、軽量などが重要な要件である。そこでここ数年で急速に発達してきた 3D プリンティング技術を用いて協働ロボットやロボットアームが開発され始めている [2]。

3D プリンティングでは三次元 CAD などを用いて設計した 3D データをそのまま製造に利用することができ、切削・曲げ・注型などの従来の加工法では実現できなかった形状の製作や低コスト・低環境負荷での製造が期待されている [3]。しかし、現状これらの開発には汎用的な設計法が存在せず、開発者個人のノウハウに依存している部分がある。

そこで本研究では、3D プリンティング技術での製作を前提としたロボットの最適設計法を検討することを目的とし、その始めとして本論文では既存の金属製 3 自由度ワイヤ駆動マニピュレータの構造部材を 3D プリンティング製のものに置き換えたものを製作し、その評価を行うこととする。

### 2. 3D プリンティング製ロボットアームの製作

本研究でモデルとした金属製 3 自由度マニピュレータと今回製作した 3D プリンティング製ロボットアームを図 1 に示す。このマニピュレータは根元軸 (Joint1, 以下 J1) がヨー方向に回転しアームの肩関節 (Joint2, 以下 J2) と肘関節 (Joint3, 以下 J3) がそれぞれピッチ方向に回転する。J1 並びに J2 はモータの出力を波動歯車減速機に入力し、直接関節を駆動している。J3 は、波動歯車減速機の出

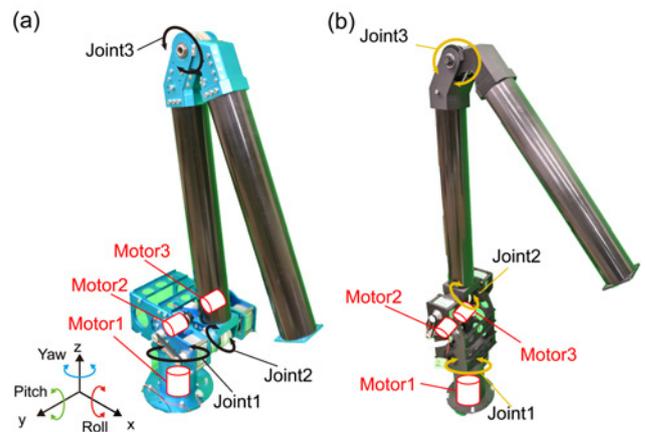


Fig. 1: 3-DOF robot arm made of (a)metal, (b)CFRTP. Elbow joint(J3) is driven by wires.

力をワイヤ・プーリ系に伝えテンション機構で張力を維持することで駆動している。

3D プリンティング製ロボットアームの製作にあたり、今回は金属製の構造部材のみを 3D プリントで製作し、機能部品や締結部品については金属部品を用いた。これは 3D プリンティングで製造することによって機能自体に変化をきたす可能性がある要素による影響を排除するためである。構造部材は、3D プリンターに Markfoged 社製 Mark Two 及び X7 を用いて熱可塑性 CFRP で製作した。

また、組み立て作業の効率化と製作時間の短縮を目的として、モデルの金属製アームにおいて複数の構造部品と多数の締結部品で構成されていた一部のコンポーネントをまとめて一つの部品として 3D データを作り製作した。これにより組み立て工数の削減に成功した。しかし、図 2 に示す通り、軸とその周りの部品を一体で製作した場合、段になっている部分で軸部分が破断した。このような箇所では樹脂同士が接合していない部分が発生し、樹脂と繊維材の接合が不十分であったために起きたものと考えられる。これは段付きの細い軸などで頻発すると考えられる。

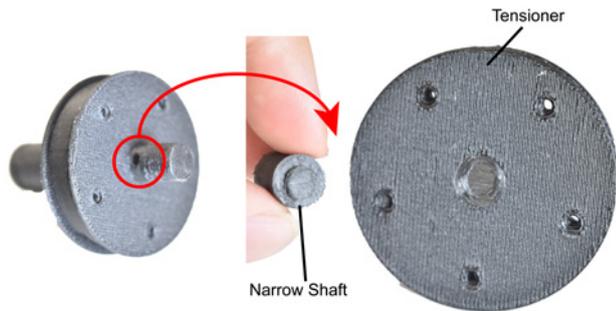


Fig. 2: The 3D-printed component broke at stepped point.

### 3. 評価

#### 3.1 製作諸元に関する評価

構造部材を 3D プリンティング製のものに置き換えた結果、質量に関しては、総体で 38 %減少した。また、部品ごとに見ると最大で 68 %減少した。ただし、部品ごとの比較については 3D プリンティング製ロボットアームについては実測値であるが、金属製アームについては CAD モデル上での理論値である。

また、部品点数に関しては 54 %減少した。また、部品ごとに見ると最大で金属製アームでは構造部材、締結部品合わせて 45 点の部品で構成されていたコンポーネントを、1 つの部品で製作することができた。

#### 3.2 基本的動作比較実験

金属製のアームと製作したアームについて、基本的な動作の比較実験を行った。それぞれのモータを同じジョイントごとに同様の制御を行い、その様子を観察した。その中で J2 について、金属製のアームでは目標姿勢に目標時間に到達したが、製作したアームでは振動してしまった。

これはモータの出力部分に原因があると考えられる。モータの出力軸にはタイミングプリーがついているが、モータの出力軸径とタイミングプリーの内径が異なるため、出力軸にパイプをはめて肉増しし出力軸を止めねじで固定する構成になっている。このパイプは金属製アームではステンレス製、製作したアームでは 3D プリンティング製を用いた。3D プリンティング製のパイプの場合、表面が柔らかく止めねじを締めすぎると、図 3 のようにモータの出力軸がパイプに食い込み、タイミングプリーの中心軸とモータの出力軸の中心軸が傾いてしまうことになる。これによってタイミングプリー同士の軸間距離が変化し、軸間距離が遠くなるほど抵抗が大きくなるため、振動が生じたものと考えられる。以上のことから、止めねじなどにより大きな圧縮力を受ける軸部品には樹脂部品は不向きであることが考えられる。

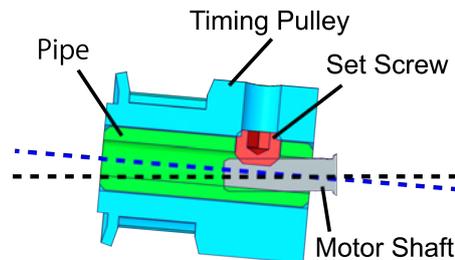


Fig. 3: Cross section of timing pulley. Black broken line is central axis of motor shaft, blue broken line is it of timing pulley.

### 4. 結言

本研究では既存の 3 自由度マニピュレータをモデルとした 3D プリンティング製ロボットアームを製作し、その評価を行った。その結果、構造部材を 3D プリンティング製に置き換えることによって改善がみられる要素があることを示した。しかし、一方で軸部品などに関しては、本来の材料特性が発揮できずに破断してしまったり、樹脂であるため金属に比べ柔らかく想定通りの動作をしなかったりすることが確認された。

本論文でモデルにしたロボットアームはあくまで金属での製造が前提として設計されており、3D プリンティングに最適化されていない。そのためより最適な設計法を検討することは今後の課題である。

### 謝辞

この成果は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構 (NEDO) の委託業務の結果得られたものです。

### 参考文献

- [1] 株式会社富士経済 大阪マーケティング本部第四部 調査・編集:2018 ワールドワイドロボット関連市場の現状と将来展望 No.1 FA ロボット市場編, pp.161-164, 株式会社富士経済 (2018)
- [2] 株式会社アールティ:業界初、弁当工場でおかずを盛り付ける人型協働ロボット「Foodly」発表～FOOMA(国際食品工業展)にて、人とロボットが一緒に働く未来の弁当工場を表現～, available from <[https://www.rt-net.jp/wp-content/uploads/2019/07/RT\\_Press\\_Release20190701\\_final.pdf](https://www.rt-net.jp/wp-content/uploads/2019/07/RT_Press_Release20190701_final.pdf)>, (参照日 2019 年 7 月 24 日)
- [3] 蒲生秀典: デジタルファブリケーションの最近の動向—3D プリンタを利用した新しいモノづくりの可能性—, 科学技術動向, Vol.13, No.8, pp.19-25(2013)