T2R2 東京科学大学 リサーチリポジトリ
Science Tokyo Research Repository

論文 / 著書情報
Article / Book Information

論題(和文)	産業応用に向けた3Dプリンタ製ロボット機構部品-第3報：造形中組立法と積み勾配法の提案-
Title(English)	Mechanical Parts Manufactured by a 3D Printer for Industrial Robot - Part3：Proposal of assembly during modeling and stacking draft-
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)	ロボティクス・メカトロニクス講演会2022講演論文集, , ,
Citation(English)	, , ,
発行日 / Pub. date	2022, 6

Powered by T2R2 (Science Tokyo Research Repository)

産業応用に向けた3Dプリンタ製ロボット機構部品
-第3報：造形中組立法と積み勾配法の提案-

Mechanical Parts Manufactured by a 3D Printer for Industrial Robot
-Part3：Proposal of assembly during modeling and stacking draft-

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

Hiroki KANAZAWA, Tokyo Tech, kanazawa.h.ad@m.titech.ac.jp
Hiroyuki NABAE, Tokyo Tech
Koichi SUZUMORI, Tokyo Tech
Gen ENDO, Tokyo Tech, endo.g.aa@m.titech.ac.jp

The scope of application of 3D printing has been expanding due to the diversification of materials that can be used. However, the design of parts manufactured by 3D printing depends on the individual know-how, which raises the threshold for the introduction of 3D printing. In this study, we propose two methods for applying 3D printing to industry: the assembly during modeling and the stacking draft. The assembly during modeling is a method to stop printing in the middle of the process and bury the parts, which reduces the assembly time and the size of the parts. The stacking draft is inspired by the drafting gradient in die design and eliminates the support structure. It was confirmed that the introduction of this method reduced the manufacturing cost.

Key Words: Robot arm, 3D printer, CFRP

1　緒言

従来3Dプリンティング技術は短時間で簡単に部品を製作できることからもっぱら外観形状確認などのプロトタイピング用として用いられてきた．しかし，使用できる材料の多様化等を背景に近年では加工に用いられる治具を3Dプリンタで製作することで製造コストの大幅な削減が見込めることや，小ロットの製品を短期間で製造することで市場への導入速度を劇的に向上させることができる点から，産業への応用が期待されている [1]．しかし，3Dプリンティングには材料強度の異方性や寸法精度等に関する課題があり [2, 3]，特に産業への応用を妨げている．現在はこの課題に対しエンジニア個人のノウハウや複数回の試作を行なうことで対応しているが，ノウハウの蓄積に膨大な時間とコストが必要になるため低価格や開発期間の短縮といった3Dプリンティングの利点を活かしきれていない．これは3Dプリンティングが既存の切削加工や成形加工といった加工法とは異なる特性を持っているため既存の設計法が適用できない場合があるからである．しかし，現状では汎用的設計手法と呼べるものは提案されておらず，3Dプリンティングの産業応用のためにはその開発が必要となる．

そのため，本研究では3Dプリンティングのための体系的な設計手法の確立を最終的な目標と位置づけており，本論文では3Dプリンタの特性を活かした設計法として造形中に機構部品を組み立てる手法とサポート構造体が不要となる設計法を提案し，その有効性を検証する．

2　機構部品の造形中組み立て法の提案

提案する手法を図1に示す．ここでは機構部品の一例としてベアリングを取り上げる．まずベアリングが嵌る空間を残して部品を印刷する．ベアリングが完全に埋まる高さまで印刷を行ったら，印刷を一時中断しハウジングにベアリングを埋め込む．この際に造形面側のベアリングの内輪・外輪に糊を塗っておくことで以降の造形品質が向上する．そして残りの部分を印刷する．以上の手法を行うとベアリングが部品内部に埋め込まれた形で造形が終了し，造形直後から機能部品として使用することができ，組み立て工数の削減が達成できる．

提案手法の導入によって部品点数の削減や軽量化が見込める．例えば図2のようにベアリングをねじを用いて固定する設計の場合，同じベアリングを使用する場合においても既存の設計と比べて締結のためのねじが不要になる．同時に締結のためのねじ穴も

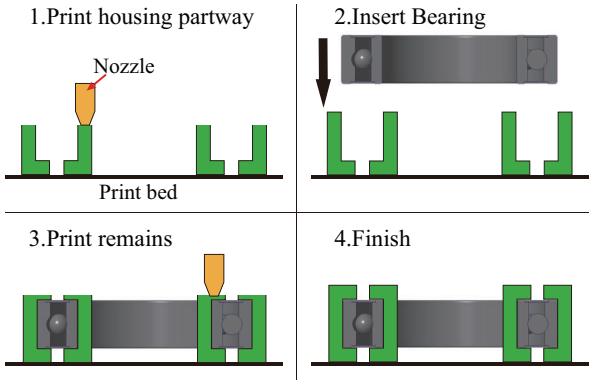

Fig.1 Pre-assembly method.

不要になるのでその分のスペースが不要になり，図2の例では外径を10 mm小さくすることが可能になった．

また，ベアリングの固定部分の省スペース化は裏を返せばハウジングを既存の外径のままより肉厚の大きなベアリングを使用したり，より大径の軸を使用したりすることができることにも繋がる．より厚肉のベアリングにすればベアリングの耐荷重が増加する．また，より大径の軸を用いれば軸の断面二次モーメントが増え曲げ剛性が上昇する．これらはいずれもロボット全体の剛性強化に繋がるものである．

3　積み勾配の提案

3Dプリンティングにおいてオーバーハングのある形状は基本的にその直下の部分にあらかじめサポートを構築しておき，サポートの上に目標の物体を造形することで安定性を担保している．しかし，このオーバーハングは，機種によって角度は様々ではあるが，ある程度までならサポートを使わずとも造形できる．次に,「抜き勾配」とは金型設計においてキャビティからの離型性をよくするために製品の垂直部に1°程度の勾配をつけることである．そこで，これと同様に3Dプリンティング用の設計におい

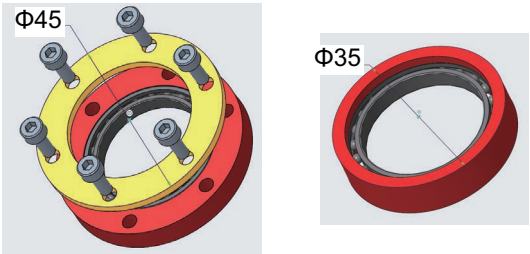

Fig.2 Released area by adopting method.

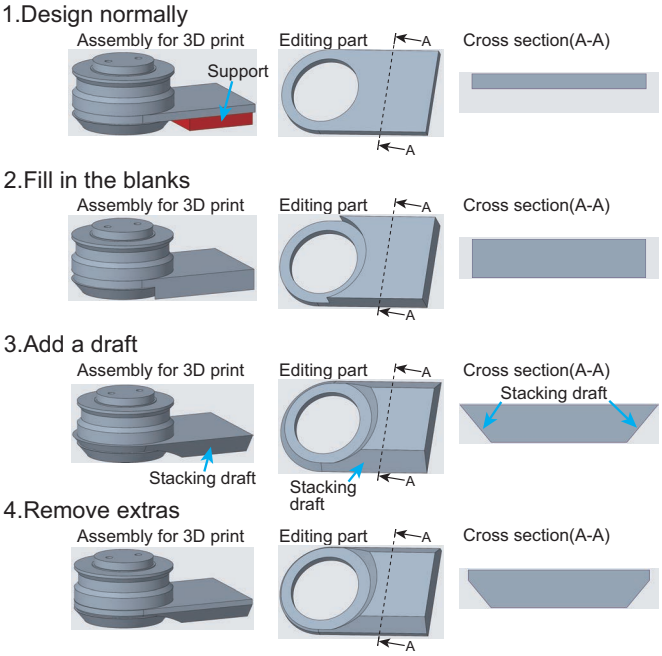

Fig.3 Design method that take overhang into account.

ても適切な勾配をつけることでハードウェアエンジニアに設計しやすくサポート材が不要となる 3D プリンティング対応部品が設計できるのではないかと考える．

手法としては，図 3 に示すように，

1. 通常の機械部品と同様に設計を行う．
2. 造形する際にプリントベッドとの間で空白になる部分に足となる部分を追加する (ただし，周囲にオーバーハング部分と垂直な足があれば不要).
3. なるべく上面や底面を基準とし勾配をつけていく．
4. 余分な部分を削除する．

となる．この手法を「積み勾配」法と定義する．この手法であれば，金型設計を行っていたエンジニアにとって 3D プリンティングのハードルが低くなり，それ以外のエンジニアも最初は通常の機械部品と同じように設計を行うので受け入れやすい設計法であると考える．

積み勾配はサポート構造体を不要とすることが主たる効果だが，他の副次的な効果について考察する．図 4 に積み勾配を適用する前の部品とした後の部品を示す．これらのモデルをスライサーソフトにて 3D プリントのパス生成を行い，印刷時間や材料の比較を行った．パス生成は，3D プリンタに Markforged 社製熱溶融積層方式 3D プリンタの Mark Two を，材料に母材として同社より提供されている短繊維のカーボンファイバーを練りこんだナイロン系樹脂である Onyx を，繊維強化材として長繊維の

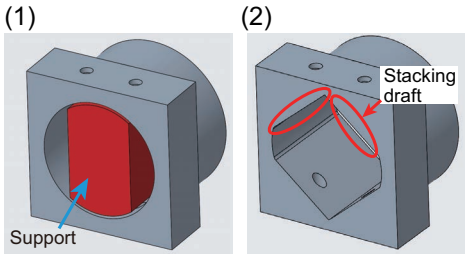

Fig.4 Parts to which the draft is applied. (1) Before application, (2) After application.

Table 1 3D Printing Specifications

	Usual design	Proposal design
Print time	13 h 42 m	11 h 34 m
Plastic volume[cm^3]	49.98	30.41
Fiber volume[cm^3]	18.07	19.46
Material cost[USD]	66.08	65.61

カーボンファイバーを用いて熱可塑性 CFRP として印刷するものとした．また，スライサーソフトウェアには Markforged 社製の Eiger を用いた．

表 1 に印刷に関する諸元を示す．提案手法を導入することでカーボンファイバー使用量以外の諸元について減少することが確認できた．特に印刷時間とプラスチック使用量の減少が著しい．また，表 1 に示される価格は材料の使用量のみから算出された金額であるため，装置のランニングコストを加味すれば印刷時間の減少とサポート除去のための工数削減も併せて大幅なコストダウンが見込める．ただし，この手法は部品の形状を大きく変化させてしまうので他の部品との干渉に留意しなければならない．

4 結言

本論文では 3D プリンタでの製作を前提とする部品において効率的な設計を達成する新たな 2 つの手法を提案した．1 つ目は部品の造形中組み立てであり，この手法によって各部品の小型化や部品点数の減少，耐荷重の増加やコスト削減などが期待できる．2 つ目は金型設計における抜き勾配法を流用した「積み勾配」であり，この手法によって 3D プリンタにおいてたびたび課題となるサポート材を排除しつつ，材料の使用量を減らし低廉化を実現できることを示した．

謝辞

本成果は NEDO 助成事業（JPNP20016）の一環として得られたものである．また，本論文は，技術研究組合産業用ロボット次世代基礎技術研究機構との共同研究の成果である．

参考文献

[1] Francesco G. Sisca, Cecilia M. Angioletti, Marco Taisch, and James A. Colwill. Additive manufacturing as a strategic tool for industrial competition. In *2016 IEEE 2nd International Forum on Research and Technologies for Society and Industry Leveraging a better tomorrow (RTSI)*, pp. 1–7, 2016.

[2] Flaviana Calignano, Diego Manfredi, Elisa Paola Ambrosio, Sara Biamino, Mariangela Lombardi, Eleonora Atzeni, Alessandro Salmi, Paolo Minetola, Luca Iuliano, and Paolo Fino. Overview on additive manufacturing technologies. *Proceedings of the IEEE*, Vol. 105, No. 4, pp. 593–612, 2017.

[3] Tuan D. Ngo, Alireza Kashani, Gabriele Imbalzano, Kate T.Q. Nguyen, and David Hui. Additive manufacturing (3d printing): A review of materials, methods, applications and challenges. *Composites Part B: Engineering*, Vol. 143, pp. 172–196, 2018.