T2R2 東京工業大学リサーチリポジトリ
Tokyo Tech 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1報：穴形状の測定-
Title(English)	Mechanical Parts Manufactured by a 3D Printer for Industrial Robot - Part1：Measuring the accuracy of the hole shape-
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2021講演論文集, , ,
Citation(English)	Proceedings of the 2021 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, , ,
発行日 / Pub. date	2021, 6

Powered by T2R2 (Tokyo Institute 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1報：穴形状の測定

Mechanical Parts Manufactured by a 3D Printer for Industrial Robot
-Part1：Measuring the accuracy of the hole shape-

○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

Needs of new materials that can be used a mechanical parts for industrial robots are increasing. 3D printers can be a very effective solution to this problem, as they can be used with a wide variety of materials, from metals to super engineering plastics, and can produce complicated 3-dimensional parts at low cost. However, when 3D printers are used to manufacture mechanical parts for robots, the dimensional accuracy is poor, and this is a major problem for practical use. In this study, we evaluated the dimensional accuracy of parts made by FDM 3D printers. As a result, it was found that the dimensional accuracy was greatly affected by the uniformity of the internal tool path rather than the effect of heat shrinkage.

***Key Words*:** Manipulator・Robot arm,　3D printer,　Industrial robot

1　緒言

産業用ロボットは元来金属を構造材として用いているため重く，エネルギーの大半を自らを動かすために消費しているという課題があった．そのため金属に代わる新しいロボット構造材の開発が急務であり，産業界からも新素材の研究が強く求められている [1]．これに対し，近年急速に発達してきた 3D プリンティング技術を用いて製作した減速機やロボットアームの研究が行われている [2][3]．

3D プリンタは従来の加工法に比べて高い形状自由度・低コストなどの特徴を持ち，使用できる材料も ABS などの汎用プラスチックから高機能樹脂，金属や石膏など様々なものが存在する．中でも熱溶解積層方式 (FDM) の 3D プリンタは構造が比較的単純で安価に販売することもでき，一方で FRP や PEEK などを使用できる機種も存在しており家庭用から産業用まで普及している方式の 1 つである．このような状況ゆえ FDM 方式を使って製作された部品に対して材料力学的見地から強度等を検討している研究は既に存在する [4]．一方で，FDM 方式は樹脂を加熱するというプロセスを挟むため，冷却時の熱収縮等の影響により寸法精度が悪く，産業への応用を考えた場合，品質保証や組立コストの面で障害になる可能性が高い．そのため 3D プリンタで製作した部品の寸法精度を管理する必要があるがそのような研究は未だ少ない．

そこで本研究ではある特定の形状について 3D プリンタを用いて製作した場合の寸法精度について評価を行い，FDM 方式 3D プリンタに共通した寸法精度の傾向の把握を行った．

2　測定したサンプルの詳細

ロボットを構成する幾何形状を考えた場合，回転軸と軸受やねじ穴とねじなど，軸形状と穴形状の組み合わせが多く見られる．特に穴形状は構造材に存在する形状であり，ロボットの構造材を 3D プリンタで作った場合に造形する可能性が高い形状である．そこで本研究では研究の第一歩として最も基本的な形状として穴形状について寸法精度の測定を行った．

測定したサンプルの形状を図 1 に示す．サンプルは紙面に垂直な方向を 3D プリントの積層方向とし，各サンプル 10 個ずつを 3D プリンタに Zortrax M200，材料に ABS 系樹脂である Z-ULTRAT シリーズを用いて造形した．その後接触式の三次元測定機を用いて，寸法誤差，真円度，円筒度の 3 つを測定した．寸法誤差は三次元測定機 (TESA micro-hite 3D，TESA Technology 社製) で得られた穴の円周の軌跡を平均化した値を寸法として取得し目標値 (ϕ20 mm) とのずれの絶対値と定義する．真円度と円筒度に関しては JIS B 0419:1991 において定義されるものと同一のものである．

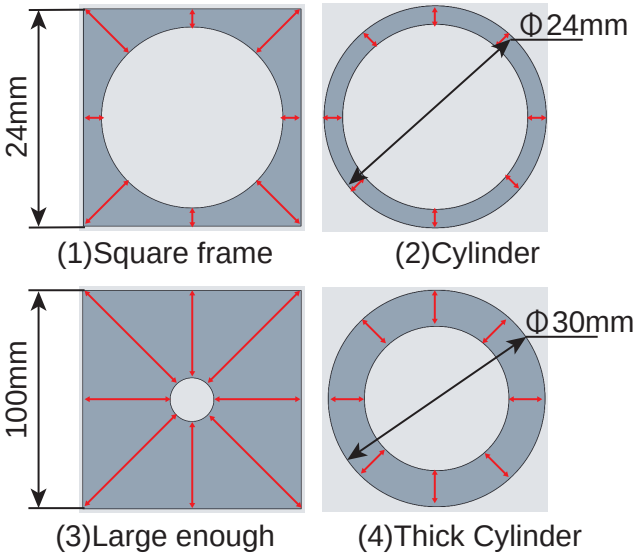

Fig.1 Samples for accuracy measurement

図 1 のサンプルにはすべて ϕ20 mmの穴があり周りの枠の部分が異なっている．(1)〜(3) は壁厚が不均一なことによる熱収縮の影響を調べるもので，枠が (1) は正方形，(2) は円，(3) は十分に大きい正方形になっている．このうち (1) のみが壁厚の変化が激しく不均一であるため熱収縮が寸法精度に与える影響が大きいのであれば真円度や円筒度といった幾何公差の値が大きくなることが予想される．(2) と (4) は同じ円筒形状であるが壁厚が異

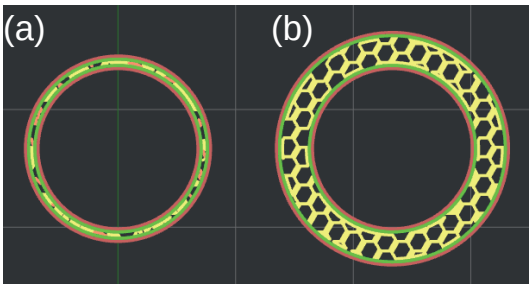

Fig.2 Infill patterns of sample(2) and (4). This tool-path is an example and differs from the tool-path used in the actual sample production.

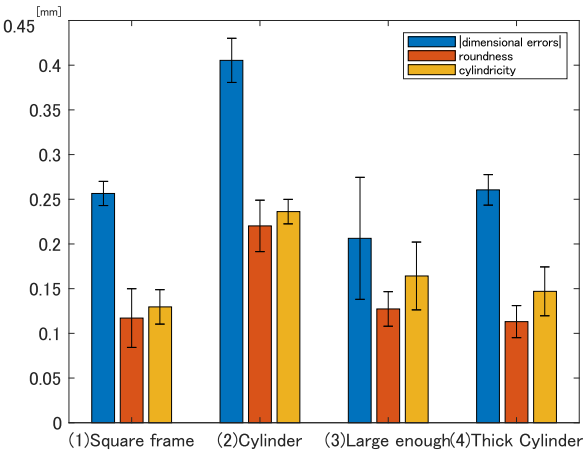

Fig.3 Result of accuracy measurement. Error bars indicate standard deviation.

なっている．印刷はすべて内部の充填形状をハニカム (図 2(b)) に設定して行っているが，(2) は壁厚が小さいために図 2(a) のようにハニカム形状が形成されておらず充填部分と穴の接触が不均一であり，この内部形状の差の影響を考察する．

3 結果

図 3 に測定の結果得られたグラフを示す．(1)〜(3) に着目するといずれの指標においても (2) が精度が悪い結果となった．もし熱収縮による影響が大きいのであれば，熱収縮は枠の形状から (1) のみが不均一であり，(2) と (3) は均一な熱収縮をおこすため (2) と (3) は類似した結果となるはずである．つまりこれは，熱収縮の影響があまり大きくないということを示唆している．この結果を検証するために造形中の 3D プリンタをサーモグラフィ (Thermo GEAR G100，日本アビオニクス社製) で撮影した．図 4 に造形中の温度状態の一例を示す．ただし，この図では結果の考察をしやすくするために今回測定したサンプルとは異なる形状・3D プリンタでの造形を示していることに留意されたい．この造形は樹脂を 250°C まで加熱して行うため冷却時に熱収縮の影響が考えられるが，図が示すようにノズルから射出された後は 50°C 付近まで急速に冷却されていることがわかる．つまり，樹脂は射出された直後の状態から熱収縮等による大変形を起こすほどの高温の状態にないことがわかる．これは撮影した 3D プリンタのみならずサンプル製作に用いた 3D プリンタを含む複数の FDM 方式 3D プリンタで同様の現象が確認されたため，FDM 方式 3D プリンタ共通の現象であると考えられる．仮に測定サンプルについて，射出直後は正確な寸法で造形されていて 50°C ま

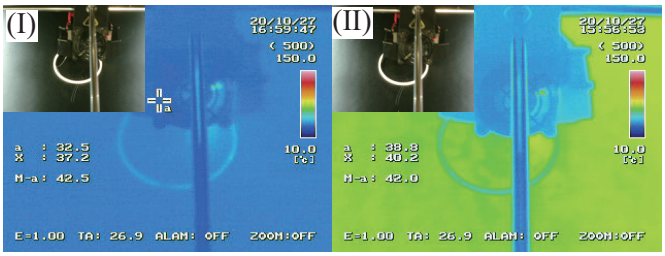

Fig.4 Temperature condition of the 3D printer during modeling. (I) is printing with non-heating bed, (II) is printing with heating bed.

で冷却されていたとすると，そこからの寸法変化は 0.048mm となり図 3 の結果と大きく異なっている．以上のことから，寸法精度について，熱収縮の及ぼす影響は小さいものと判断できる．

一方で図 3 の (2)，(4) に着目するとすべての指標において壁厚の薄い (2) の方が精度が低いことがわかる．つまり，3D プリンタの形状精度は内部形状の影響を大きく受けると考えられる．そのため，造形方向に垂直な断面において薄肉部分があるような形状を造形することは好ましくなく，図 2(b) のように設定した内部形状が再現される程度の肉厚のある形状にすべきである．

4 結言

本研究では同一径の穴形状を持つ 3D プリンタ製サンプルについて穴の寸法精度を測定・評価を行った．その結果，穴の寸法精度に関しては材料の冷却に伴う熱収縮の影響は小さく，内部の造形形状の均一性が大きく影響していることが分かった．この結果は，完成部品の寸法精度を管理する際に材料の熱膨張係数を考慮する必要がないということを示しており，同一形状・同一設定の FDM 方式 3D プリントであればどのような材料でも同等の精度で印刷できるということである．

ただし，本論文では穴の中心軸が積層方向と平行になる条件でのみの検証であるため，穴の中心軸が積層方向と垂直な場合についても議論する必要がある．また内部の充填率を 100%とした場合は薄肉形状と類似した造形形状にはなるが，穴部分との接触状態は均一になるため特殊な傾向を示す可能性があり，検証の必要がある．さらに，内部形状が寸法精度に大きく影響を与えることが分かったため，ハニカムや三角形など内部形状設定の違いによる寸法精度の差についても検証する余地があると考える．今後は平面など他の幾何形状についても同様の評価を行い寸法精度の傾向把握を行い，3D プリンタで所望の寸法精度で部品を作成可能な汎用的な設計論の構築を目指していく．

参考文献

[1] 技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構，”「技術研究組合 産業用ロボット次世代基礎技術研究機構」を設立—産業用ロボットのさらなる普及に向けて基礎技術研究基盤を強化—”， available from <https://robocip.or.jp/>，(参照日　2021 年 3 月 1 日)

[2] 金澤洸輝， 難波江裕之， 鈴森康一， 遠藤玄， ”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 -第 2 報 関節剛性と繰り返し位置精度の比較- ”，日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会 2020，2P1-L01，2020

[3] 鈴木諒太郎，飯塚浩太，武居直行，徳永晋也，深澤俊樹，山本章， ”重力補償機構および低減速比ギアを有するアクチュエータの開発 ”，第 21 回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020)，3E1-05，2020

[4] Agnes Bagsik， Volker Schöppner，”Mechanical properties of fused deposition modeling parts manufactured with ULTEM*9085， Proceedings of 69thAnnual Technical Conference of the Society of Plastics Engineers，2011