

2023年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所属機関	金沢大学 理工研究域 フロンティア工学系
職位または役職	助教
氏名	西村 斉寛

1. 研究題目

力センサを印刷可能な 3D プリンタのための研究

2. 研究目的

本研究では、3D プリンタで印刷可能な造形物の可能性を拡げるべく、センサデバイスを「一気に」印刷可能な 3D プリンタの実現を目的とする。センサ類のなかでも、力センサは工学分野・ロボット分野において重要度が高く今後さらなる需要の増加が見込まれる。一方で、その製造過程では、複雑な機械加工や人手による組み立て作業が求められることから、3D プリンタで力センサの製造を自動化することで生産性の向上を図る。本研究で実現を目指す力センサの 3D 印刷プロセスを図 1 に示す。提案する印刷プロセスでは、熱溶解式 3D 印刷により造形されたセンサボディに光ファイバ式のひずみゲージである FBG センサを溶着する手法を執る。そのために、報告者は FBG センサの溶着が可能な射出ノズルの開発を進めている。本助成による期間では、④開発した FBG センサ射出ノズルを搭載したデュアルノズル式 3D プリンタの具現化と⑥FBG センサのひずみ測定部を目標

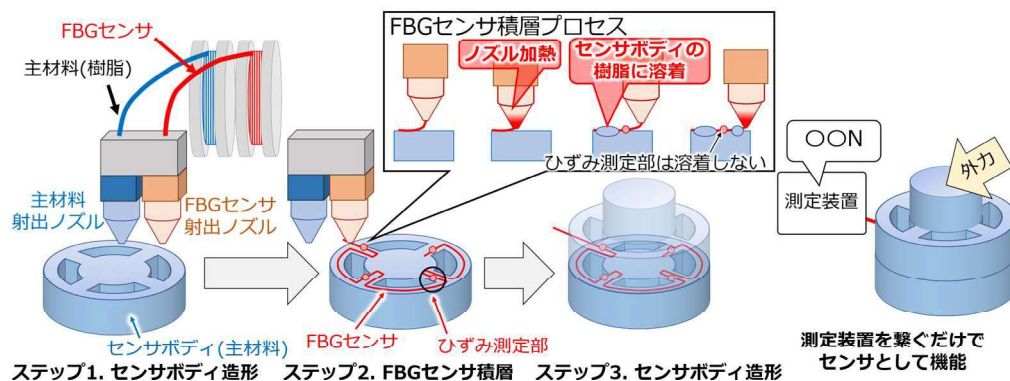


図 1 提案する 3D プリンタによる力センサの印刷

位置に配置するための経路生成手法の構築を目標とする。④の達成により、センサボディの印刷および FBG センサの溶着を 3D プリンタのみで行うことができ、図 1 に示すプロセスのためのハードウェアが実現される。また、FBG センサは光ファイバ上に等間隔で複数のひずみ測定部を有する構造である。提案する FBG センサの溶着プロセスでは、FBG センサを「一筆書き」でセンサボディ上に溶着することから、ひずみ測定部を目標位置(センサボディの起歪部)に配置するための溶着経路の計画手法が必要となる。⑤では、その実現を目指し、研究を遂行する。

3. 研究内容及び成果

以下の通り、実施課題④⑤に関して遂行した。

【④ デュアルノズル化】

図 1 に記載の提案手法を実現するにあたり、前年度では、光ファイバ式ひずみゲージを溶着可能な装置を開発した。本年度では主材料の積層によりセンサボディの印刷もできるよう、ひずみゲージ溶着装置と主材料射出ノズルを統合したデュアルノズル式 3D プリンタの具現化を行った。図 2 に具現化したデュアルノズル式 3D プリンタを示す。ビルドプレートに対して XYZ 方向に移動可能な部材上に主材料射出ノズルとひずみゲージ射出ノズルを搭載した構造を有している。設計した 3 次元データに対して、既存 3D プリンタ用のスライサーソフトウェアで造形経路(Gコード)を出力し、その G コードにより 3D 造形ができる制御システムを構築した(ひずみゲージ射出ノズル側の経路生成については後述)。本システムを検証するにあたり、長さ 60×幅 24×厚み 3mm の試験サンプル用データを作成し、印刷試験を行った。その

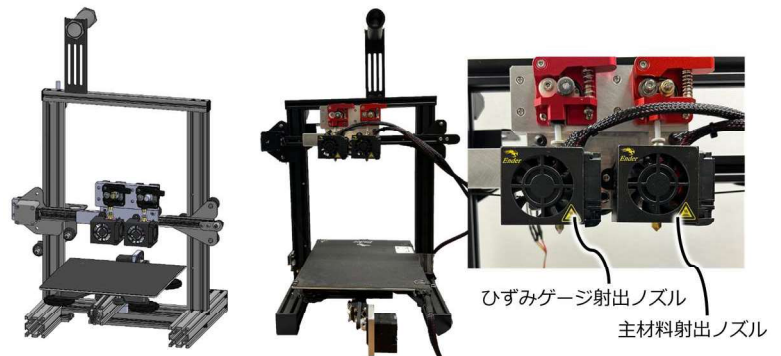


図 2 具現化したデュアルノズル式 3D プリンタ

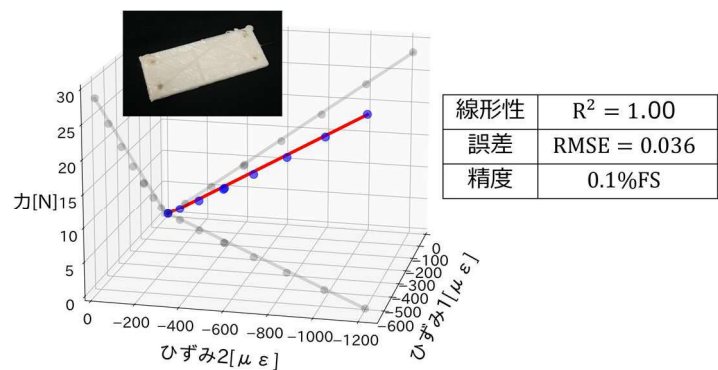


図 3 検証

際、ひずみゲージ射出ノズルの移動パスは直線で設定し、試験サンプル内に光ファイバ式ひずみゲージを内包させた。その具現化した試験サンプルに対して 3 点曲げ試験を実施し、光ファイバ式ひずみゲージによるひずみ量(今回は 2 点測定できるようにひずみゲージを内包)と圧子に取り付けたフォースゲージによる押込力を計測した。結果は図 3 の通りである。作製した試験サンプルは線形性、誤差、精度共に高い性能を実現しており、具現化したデュアルノズル式 3D プリンタは図 1 に示した提案印刷プロセスを十分に達成可能な能力を有することを確認した。

【⑤ 積層経路手法構築】

本実施課題では、使用する光ファイバ式ひずみゲージの許容曲げ半径を調査した。これは、経路計画を立てるにあたり光ファイバの許容曲げ半径が制約条件となるためである。図 4 のような曲げ半径のことなる経路(溝)をもった治具を用いて曲げ半径の影響を調査した。光ファイバ式ひずみゲージは光ファイバ内の回折格子での反射光の波長からひずみを計測する。曲げ半径を小さくするほど測定される反射波の強度が減衰し、測定が困難となると推測されることから曲げ半径に対する反射波の強度を測定した。結果は図 5 の通りである。曲げ半径が 2mm まではほとんど減衰がなく、1mm から急激に減衰していることがわかる。よって、経路生成を行う際には 2mm 以上の曲げ半径を維持したうえで計画を立てる必要があることを確認した。よって、今回解くべき問題設定としては、



図 4 曲げ半径再現治具

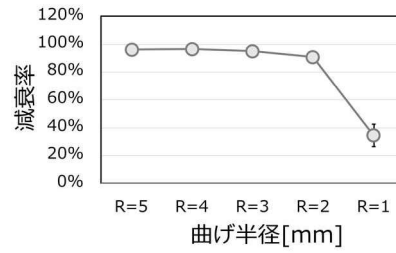


図 5 曲げ半径と減衰率の関係

- 与えられた N 個のひずみ計測位置 ($X = \{x_0, x_1, \dots, x_N\}$) を通る 1 本の曲線の導出
- n 番目と $n+1$ 番目間の経路の長さは所定の値 (予め決められた光ファイバ上の測定点のピッチ)
- 経路上の任意の点における曲率半径は 2mm 以上である. そこでベジェ曲線を用いた経路生成アルゴリズムを構築した. ベジェ曲線は任意の数の制御点で決まる滑らかな曲線である. 本アルゴリズムでは, x_n と x_{n+1} を端点とし, 端点における傾きを拘束条件とするベジェ曲線を算出する. それを各点間で順番に計算していくことで経路生成を行う手法を開発している. 図 6 は $N=3$ のときの経路生成の結果であり, 各点間の曲線長さと曲率半径の条件を満たしながら経路生成を実現している.

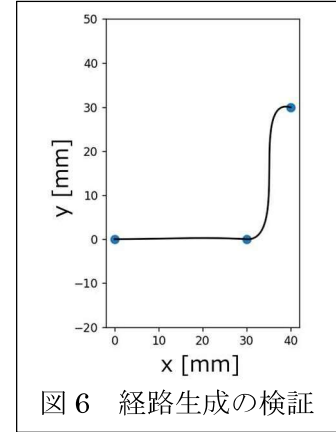


図 6 経路生成の検証

4. 今後の研究の見通し

本助成期間において, 図 7 のような屈曲溶着経路によるトルクセンサを実現した. 図 6 に記載の通り屈曲経路によるひずみゲージの溶着も可能であることを確認し, それによりトルクセンサの 3D 印刷が可能であることを検証した. 今後はこれまで実現した 3D 印刷力センサと統合し, 3 方向の力・モーメントを測定可能な 6 軸力覚センサの実現と, その活用方法の検証を行う.



図 7 トルクセンサの具現化

5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

【国内会議(査読無)】

- 西村 齊寛, 渡辺 哲陽, “力センサを「一気に」印刷する 3D プリンタの開発 第 2 報: 光ファイバ式ひずみゲージの複雑経路積層の検証”, 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 2023
- 上野 耕静, 西村 齊寛, 渡辺 哲陽, “力センサを「一気に」印刷する 3D プリンタの開発 第 3 報: デュアルノズル型 3D プリンタの開発”, 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 2024(予定)

【受賞】

- ベストプレゼンテーション表彰 (ROBOMECH2023)
- SI2024 優秀講演賞