

2022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 プリンタのための射出ヘッドの開発

2. 研究目的

近年、3D プリンタは急速に普及しており、材料を必要な量だけ結合・積層していく「付加製造」という新たな製造方法を確立している。材料ロスが少なく SDGs 目標にもマッチしている点からも 3D プリンタの社会的ニーズは大きく、今後も普及が拡大していくと考えられる。現在ではロボットや家、橋等も 3D 印刷により実現されている。よって、本研究においても 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 プリンタの実現を最終目標とする。センサデバイスの中でも工学分野・ロボット分野において重要度の高い力センサをターゲットとする。力センサは起歪部を有するセンサボディと、起歪部に設けられたひずみセンサで構成される。力センサの製造では、センサボディの加工が複雑である点や、ひずみセンサの貼り付けには人手による作業が求められる点から多くの製造工程を必要とする。よって 3D プリンタにより、センサボディの製造とひずみセンサの貼り付けを「印刷」だけで実現できれば、力センサの製造コストを大幅に削減することが可能となる。本研究では、2 つの材料射出ノズルを搭載した 3D プリンタを開発する。1 つはセンサボディを印刷するための樹脂射出ノズルであり、従来の熱溶解方式と同様に樹脂材料を溶解・積層させることでセンサボディを造形する。もう一方のノズルからはひずみ計測が可能な光ファイバーセンサである FBG センサを射出し、センサボディ上に積層することで起歪部の変形を測定可能となる。本助成期間ではセンサボディ上に FBG センサを積層可能な射出ノズルの開発を目的とする。FBG センサの積層は主材料を溶かしながら固定(溶着)する方法を執り、そのための機構開発、溶着条件の調査、評価により本提案における目的の達成を目指す。本提案技術の実現により、少工程での力センサの製造の実現だけでなく、自由度の高い設計、異種材料を混合した造形等の 3D 印刷の特長を活かした力センサの設計が可能となる。本研究はこれまでにない力センサを実現する可能性を有しており、3D プリンタのさらなる発展に繋がる革新的な提案である。

3. 研究内容及び成果

【溶着機構の開発】

FBG センサの積層プロセスを実現するにあたり、FBG センサを主材料(センサボディ)上に溶着するための機構開発を行った。FBG センサ射出ノズルを高温にし、ノズルを主材料に押し当てながらFBG センサを射出・溶着する方法の実現を目指している。図 1 に設計・具現化した溶着機構付き 3D プリンタを示す。市販の 3D プリンタ Ender3 (Creality)をベースに射出ノズル部を開発した。本射出ノズルは、光ファイバ送り機構・加熱機構・ひずみ計測点測定システムを搭載している。光ファイバ送り機構および加熱機構はベースとなる 3D プリンタの機能を拡張し、細径かつ繊細な光ファイバを傷つけずに送り出せるよう送りローラ部を柔軟素材製に変更している。ひずみ計測点測定システムはビジョンセンサを用いた計測システムである。光ファイバ上に設けられたひずみ計測点(回折格子)は公差より位置誤差を含む。そこでビジョンセンサを用いた計測システムによりひずみ計測点の位置を測定し、正確な位置に溶着できるシステムを構築した。図 2 はビジョンセンサにより得られた画像とデータ処理後の画像である。ひずみ計測点の抽出に成功しており、0.3mm の位置測定精度を実現した。具現化した 3D プリンタの動作検証および溶着機能の実現の可能性を確認するために、簡易検証を行った(図 3)。予め用意した樹脂製の板材を本 3D プリンタの作業サーフェス上に貼り、加熱した FBG センサ射出ノズルを板材に押し当てつつ、FBG センサを想定した光ファイバケーブルの射出と射出ノズルの移動を行った。開発した射出ノズルにより FBG センサ(光ファイバケーブル)の溶着が実現可能であることを確認した。

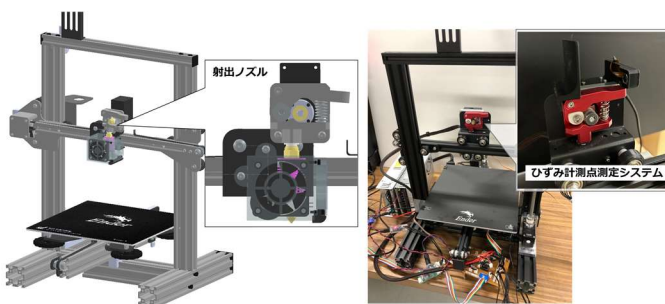


図 1 開発した FBG センサ射出ノズル

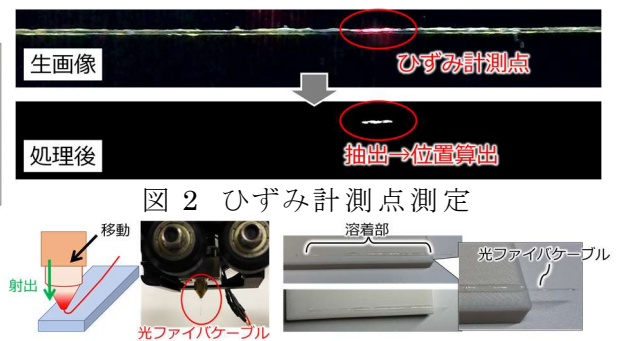


図 2 ひずみ計測点測定
図 3 検証実験

【FBG センサ溶着条件の調査】

開発した FBG センサ射出ノズルを用いて FBG センサを主材料(センサボディ)に溶着させるための条件を調査した。調整パラメータとして①射出ノズルの移動速度、②射出ノズルの温度、③FBG センサの送り速度、④射出ノズルの主材料への押し込み量を設定し、それらのパラメータが光ファイバの溶着にどのように寄与するかを実機により調査した。結果は以下の通りであった。

①射出ノズルの移動速度: 本パラメータを変更することで造形時間の短縮、つまり生産性の向上が見込まれる。一方で移動速度が大きい場合、主材料の溶融が不十分なままノズルが主材料に押し付けられることで印刷中の造形物が造形プレートから外れる現象が確認された。本調査内では 1mm/s が十分に溶着できる最大速度であった。

②射出ノズルの温度: 主材料として用いている PLA 樹脂フィラメントの適正温度である 190℃～210℃で調査を行った。温度が低い場合において溶着部の表面荒れが見られたことから、主材料の溶融後の粘度が高いことで表面粗さに影響が出ると考えられる。

③FBG センサの送り速度: 本パラメータに関しては、①と同じという条件下で実験を行った。ただし、①と異なる値に設定することで FBG センサの初期ひずみに影響を与える可能性が示唆されており、今後さらなる調査を行っていく。

④射出ノズルの主材料への押し込み量: 基本的には押し込み量が大きいほど、溶着強度が大きくなることを確認した。ただし、押し込み量が所定よりも大きい場合には溶着強度が下がる傾向も確認した。押し込み量が大きいほど、溶着時に主材料に加わる水平方向の力も大きくなるため押し込み量の最適化が今後必要である。

【評価】

開発した射出ノズルを用いて製作した力センサの検証を行った。力センサのモデルは図 4 の通りである。梁状の起歪部に FBG センサを直線状に溶着する。ひずみ計測点数が 2 点の FBG センサを使用し、図 4 のように配置した。ただし、図 1 に示す通り、開発した射出ノズルは FBG センサの射出のみの機能であるため、センサボディの造形ができないのが現在の状態である。そこで本検証を行うにあたり、別の 3D プリンタも使用し、センサボディの造形→FBG センサ溶着→センサボディの造形、の3工程を本射出ノズルと別の 3D プリンタを用いて行った。FBG センサ溶着後とセンサ完成後の様子は図 5 の通りである。製作した力センサの精度評価も行った。図 6 左部に示すようにフォースゲージをセンサの荷重印加部に押し当て、印加荷重とそのときのひずみ量(2 か所)を計測した。結果が図 6 である。本結果からわかる通り、FBG センサのひずみと与えた力は線形関係となっており、十分に力測定が可能であることがわかる。

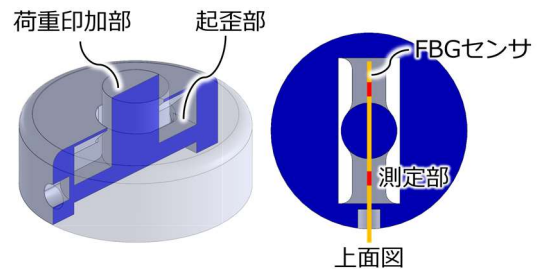


図 4 力センサモデル

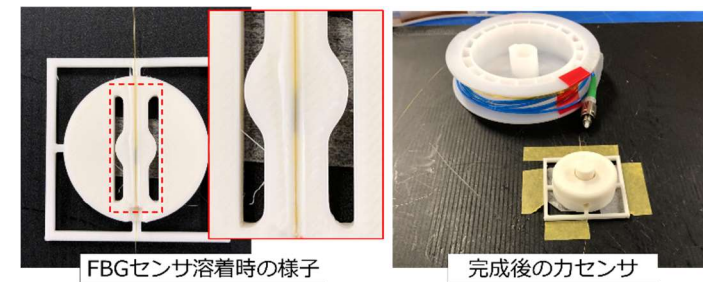


図 5 FBG センサ溶着後とセンサ完成後の様子

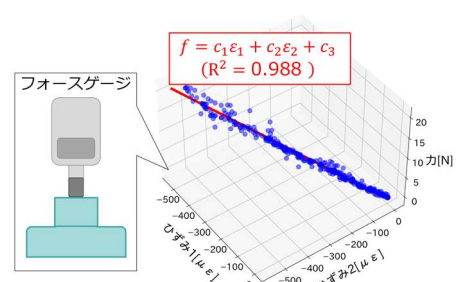


図 6 評価結果

4. 今後の研究の見通し

本開発期間では FBG センサを樹脂材料に溶着可能な射出ノズルを開発した。本研究で最終目標とする力センサの印刷は図 7 に示すプロセスを想定している。そのためにはセンサボディを印刷するための主材料射出ノズルと今回開発した FBG センサ射出ノズルを備えたデュアルノズル式 3D プリンタが必要である。また、本開発期間では図 5 のように直線経路での FBG センサの溶着を行った。目標とする印刷プロセスでは図 7 中央にある通り、自由経路での溶着が求められる。よって、今後は上述のデュアルノズル式 3D プリンタの具現化および FBG センサの溶着経路算出アルゴリズムの構築を行っていく。

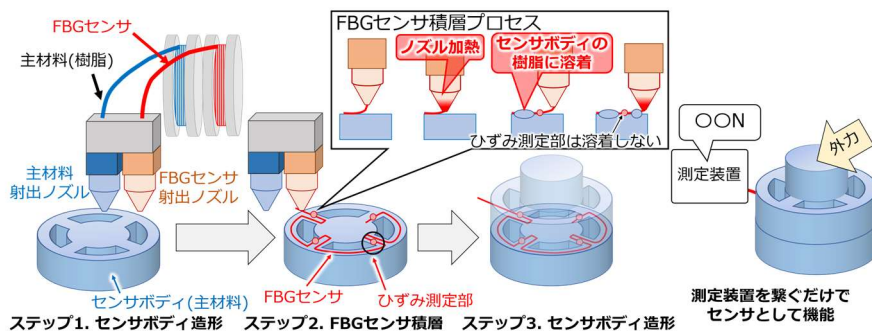


図 7 目標とする力センサ印刷プロセス

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

【国内学会】

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 1 報: 光ファイバ式ひずみゲージ内包技術の構築”, ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2023 in Nagoya

【特許】

3次元印刷方法、力センサの製造方法及び3次元印刷装置