

## 2024 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関	金 沢 大 学
職 位 または 役 職	助 教
氏 名	西 村 齊 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

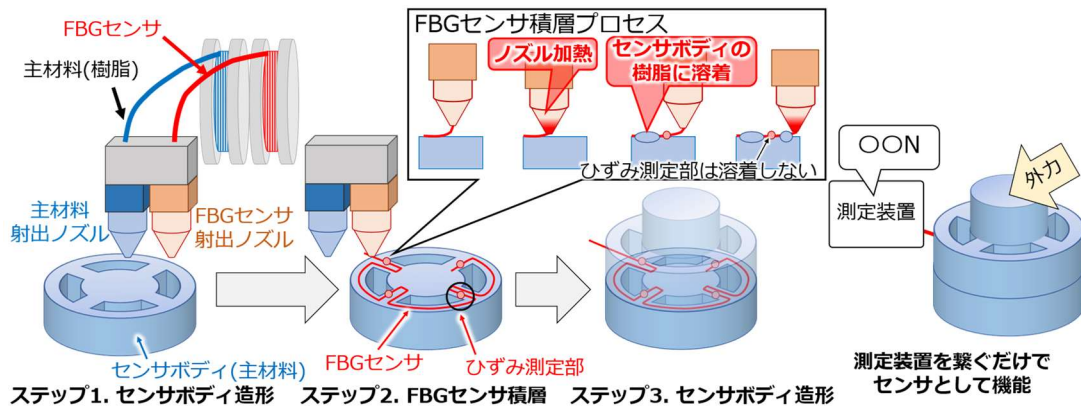


図 1 提案する 3D プリンタによる力センサの印刷

本研究では、3D プリンタで印刷可能な造形物の可能性を拓げるべく、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、研究推進者は FBG センサの溶着が可能な射出ノズルを搭載した 3D プリンタの開発を進めている。本助成による研究期間では、これまで開発してきた 3D 印刷技術を用いて 3 方向の力・モーメントを測定可能な④6

軸力覚センサの実現と⑥力覚センサを搭載したロボットの制御を通してのセンサの有用性の評価を行う。6 軸力覚センサは図 2 に示すように複数の梁状の起歪部を有するセンサボディと起歪部のひずみを取得するためのひずみゲージで構成される。これまで開発してきたひずみゲージをセンサボディに溶着可能な 3D プリンタおよび本年度実施しているひずみゲージの積層経路の最適化手法により、図 2 の構造の6 軸力覚センサを 3D 印刷可能となると考える。よって、開発した 3D 印刷技術を用いて 6 軸力覚センサを具現化し、その実現可能性を検証する。本技術の確立により、図 2 のような一般的に流通するセンサ形状だけでなく、センサの組み込み対象に特化した力覚センサを任意にカスタマイズすることが可能となり、幅広い応用の可能性が見いだされる。実施課題⑥では、その応用方法の1つとしてロボットハンドに着目し、その指部と力覚センサが一体部品として 3D 造形された構造を持つロボットハンドの具現化を目指す。提案 3D 印刷技術による省部品型ロボットハンドのセンサフィードバック制御を通して、本提案 3D 印刷型力覚センサの有用性の評価を行う。本力覚センサのロボットハンドへの適用可能性を見出すことができれば、他のロボットへの適用も十分に考えられる成果となる。

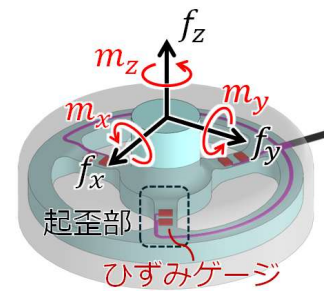


図 2 6 軸力覚センサ

### 3. 研究内容及び成果

#### 【④6 軸力覚センサの実現】

図 2 に示した6 軸力覚センサの 3D 印刷に取り組んだ。図 3 が溶着時の様子である。3 本の起歪部に対して光ファイバ式ひずみゲージが2回通る経路となっており、1 本の起歪部に対して、2か所のひずみを計測する構成である。また、FEM 解析によりセンサボディは XY 方向が 140N、Z 方向が 370N に耐えられる設計となっている。具現化した 3D 印刷型6 軸力覚センサの評価を行った。リファレンスとして市販の6 軸力覚センサ(レプトリノ, PFS030YA151U6)を用いて互いに負荷を加えあうことで、3D 印刷センサからはひずみデータ、市販センサからは荷重データ(3方向の力・モーメント)を計測する。このデータを用いて 3D 印刷センサのひずみ-荷重の関係を校正することで本センサの性能を評価する。結果は表 1 の通りである。高い直線性を得られており、誤差も力は最大 2%程度、モーメントは最大 3%程度になっている。我々の調査では、同程度の計測制度の産業用 6 軸力覚センサが市販されているのも確認しており、今回具現化したセンサは十分に高い精度を実現している。

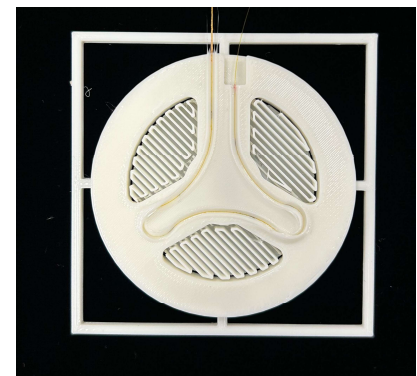


図 3 光ファイバ式ひずみゲージ溶着時の様子

表 1 6 軸力覚センサの性能

	$F_x$	$F_y$	$F_z$		$M_x$	$M_y$	$M_z$
分解能[N] (FS%)	±0.22 (1.0%)	±0.39 (1.6%)	±0.19 (0.8%)	分解能[Nmm] (FS%)	±3.6 (0.8%)	±2.79 (0.7%)	±4.32 (1.0%)
ヒステリシス [N] (FS%)	-	-	0.17 (0.7%)	ヒステリシス[Nmm] (FS%)	-	-	-
RSME[N] (FS%)	0.21 (0.9%)	0.509 (2.1%)	0.42 (1.7%)	RSME[Nmm] (FS%)	13.1 (3.1%)	11.7 (2.8%)	10.1 (2.4%)
直線性: 決定係数	0.998	0.991	0.993	直線性: 決定係数	0.983	0.992	0.990

#### 【⑥3D 印刷型力覚センサとロボットハンドの統合】

本 3D 印刷技術による力覚センサとロボットハンドの統合を行った。具現化したロボット指とそれを

実装したロボットハンドを図 4, 5 に示す. 本指部には光ファイバ式ひずみゲージが 1 本内包されており, 3 点でのひずみが計測可能である. 物体把持などにより, 本ロボット指に荷重が加わる際の力学状態は構造力学に基づき, 推定が可能である. 今回は, 荷重とひずみの関係式を導出することにより, 本指部に加わる外力とその作用点を推定することが可能である. 1 点接触による条件下での接触位置推定精度は 4mm 程度であった. これは 3D 印刷という製造方法によるソリッドなモデルとの乖離あるいは 3D 印刷・溶着プロセスでの製造誤差などが理由として考えられる. そういった誤差を排除するのに加え, ひずみ測定点を増やすことで精度を上げられることが期待される. これまで, 3D プリンタでロボット指を具現化する取り組みは一般的であったのに対し, センサ機能を付与し, 「センサ化」されたロボット指を 3D 印刷で具現化することに成功した.

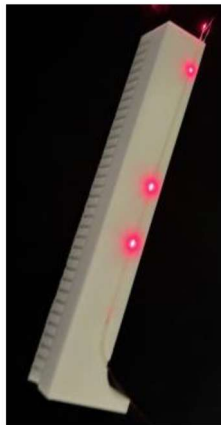


図 4 具現化したセンシング機能内蔵ロボット指

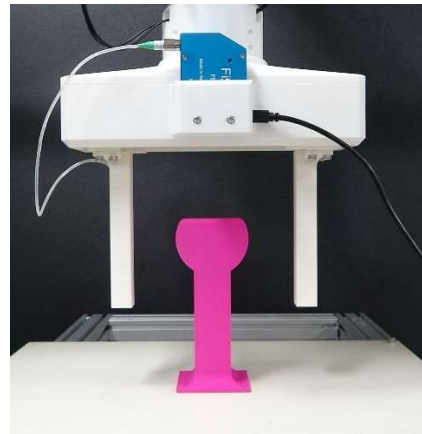


図 5 ロボットハンドとの統合

#### 4. 今後の研究の見通し

これまでの研究により, まず 1 方向の力センサ (1 軸力センサ) を実現し, 今回, 6 軸力覚センサの具現化に成功した. 力というのはある作用「点」に加わる負荷であり, 6 軸力覚センサで計測できるモーメントはある軸「線」周りに作用する負荷である. つまり, これまでのセンサの具現化の過程は点から線へと昇華したものであることから, 今後は「面」への負荷, つまり圧力分布を計測可能な圧力センサの開発に取り組む. これにより, 本 3D 印刷技術により実現可能なセンサデバイスを拡張することが可能である. また, 上記のセンシング機能内蔵ロボット指は, 本 3D 印刷技術が持つ具現化自由度によるセンサ製造特性を確認するものであり, 引き続き, 多様な形状のセンサデバイスの具現化にも取り組んでいく.

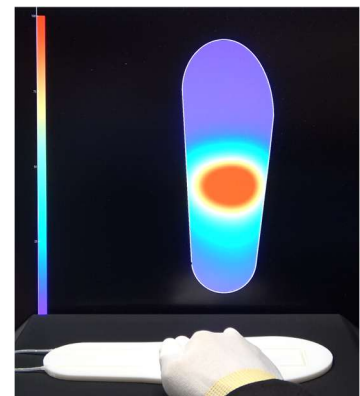


図 6 3D 印刷型圧力センサ

#### 5. 助成研究による主な発表論文, 著書名

##### 【国内会議(査読なし)】

- [1] 上野耕静, 西村斉寛, 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 4 報: 6 軸力覚センサの具現化と検証”, 第 43 回日本ロボット学会学術講演会
- [2] 上野耕静, 西村斉寛, 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 5 報: センシング機能内蔵ロボットハンドの開発”, 第 26 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(予定)
- [3] 吉田愛香, 西村斉寛, 上野耕静, 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 6 報: 足底圧測定センサの検証”, 第 26 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(予定)