

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	RFIDを用いた3DプリントCFRPのセルフセンシングに関する研究
Title(English)	A study for self-sensing of 3D printed carbon fiber reinforced plastics with RFID
著者(和文)	飯塚啓輔
Author(English)	Keisuke Iizuka
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第11915号, 授与年月日:2021年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:轟 章,井上 裕嗣,水谷 義弘,阪口 基己,青野 祐子
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第11915号, Conferred date:2021/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位(専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	飯塚 啓輔		指導教員(主)： Academic Supervisor(main)	轟 章
			指導教員(副)： Academic Supervisor(sub)	水谷 義弘

要旨(和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

本論文は、「RFID を用いた 3D プリント CFRP のセルフセンシングに関する研究」と題し、以下の 5 章からなっている。

第 1 章「緒論」では、初めに従来の熱溶融積層型の樹脂系 3D プリンタが進化し、炭素繊維強化樹脂 (CFRP) を成形可能になって、金属並みの剛性・強度を有する構造を安価に成形可能となったことを示した。この複合材 3D プリンタで成形する複雑な構造がすでに生産されており、この 3D プリント複合材の構造ヘルスマonitoring が重要な課題となっているという背景を述べた。そこで、3D プリントした CFRP 構造のヘルスマonitoring を対象として、炭素繊維の導電性に着目した電気抵抗変化によるワイヤレスのセルフセンシングを行うことを提案している。具体的には、測定対象に設置するデバイスを小型化が可能で、電源が不要な RFID を用いた無線計測を採用し、RFID 無線測定手法を用いた電気抵抗変化によるひずみ計測を実験的に検討することが本研究の目的であると述べた。3D プリント可能な連続繊維と短繊維の 2 種類存在するため、これら 2 種の 3D プリント CFRP に電気抵抗変化法を適用している。

第 2 章「3D プリント連続繊維 CFRP の電気抵抗変化」では、3D プリント連続繊維 CFRP の電気特性を明らかにし、実験的な検証を実施した。まず、無負荷状態の 3D プリント連続繊維 CFRP の繊維配向と電極間距離の依存性を調査し、従来 CFRP の電気特性と同様の直交異方性が確認されたことを示している。しかし、90° の繊維配向の CFRP において、印刷パス間の空隙の影響でばらつきが非常に大きいことが X 線 CT で確認され、従来 CFRP と異なる電気特性を示すことを明らかにした。また、繰返し引張試験を行い、その電気抵抗変化を実測し、3D プリント CFRP では、ひずみと電気抵抗との関係が非線形関係になることを明らかにした。この非線形は、低荷重領域でひずみの増減傾向と逆になる逆ピエゾ抵抗の挙動や繰返し数の増加に伴う電気抵抗の漸減が原因である。これらの非線形性を生じさせる原因を解明するための実験的な検証を実施し、電極部における繊維の接触状態の影響によって、低荷重領域で逆ピエゾ抵抗の挙動が生じることを明らかにしている。また、荷重の繰返し数の増加に伴い電気抵抗が漸減にひずみ速度依存性を確認し、電気抵抗の漸減が樹脂の粘弾性の影響であることを実験的に示した。RFID と 3D プリント連続繊維 CFRP とを組み合わせた無線モニタリングの可能性を検証したが、現状の材料では電気抵抗が小さく、適用困難であることが確認されたことを示した。

第 3 章「3D プリント短繊維 CFRP の電気抵抗変化」では、3D プリンタで成形可能な、短繊維 CFRP (SCFRP) の電気特性を明らかにし、実験的な検証を実施した。SCFRP の導電性は繊維の体積含有率に依存するため、繊維体積含有率が 10% と 60% の 2 種の SCFRP を用いて電気特性を調査した。その結果、10% の繊維体積含有率の SCFRP では絶縁性を示し、60% の繊維体積含有率の SCFRP (高 Vf SCFRP) では導電性を有することを確認した。次に、繰返し引張試験を実施し、高 Vf SCFRP の電気抵抗変化を測定し、非線形性が強いが連続繊維の場合と同様であることを示した。また、高 Vf SCFRP の電気抵抗は本研究で使用する RFID の測定範囲に適した高い電気抵抗を有する材料であることを確認した。

第 4 章「RFID を用いた無線センシングの応用」では、前章までの結果から、高 Vf SCFRP を用いて RFID でのひずみ計測に適用し、実験的に有効性を調査した。この結果から、比較のために実施した有線測定による電気抵抗変化でも RFID を用いた無線測定による電気抵抗変化でも同等の測定を行うことができることを示し、その RFID による無線測定の有効性を示した。しかし、応力と電気抵抗変化の関係は非線形であり、モニタリングを困難にしている。これを解消するために、人工ニューラルネットワーク (ANN) を用いた判定を行うこととした。この ANN では、データ数の多い 3D プリント連続繊維 CFRP の逆ピエゾ抵抗変化を示した結果を入力データとして実施した。ANN の問題設定を電気抵抗変化から応力を推定することとした。この問題設定を解決するための入力情報として、電気抵抗の変化履歴と時間の履歴情報、現在の電気抵抗変化と時間を入力情報とし、出力に応力を推定することとして検証を行った。入力データを画像として認識する CNN (畳み込みニューラルネットワーク) と時系列データとして認識する RNN (回帰型ニューラルネットワーク) の代表的な ANN モデルである LSTM (Long short term memory) の 2 種で検討し、CNN よりも LSTM による応力推定が良い推定を行えることを示した。

第 5 章「結論」では、以上の結果と今後の課題をまとめて示した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note: Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

(博士課程)
Doctoral Program

論文要旨

THESIS SUMMARY

系・コース： Department of, Graduate major in	機械 機械	系 コース	申請学位 (専攻分野)： 博士 Academic Degree Requested Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	飯塚 啓輔		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	轟 章
			指導教員 (副)： Academic Supervisor(sub)	水谷 義弘

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

This thesis described a study for self-sensing of 3D printed carbon fiber reinforced plastics (CFRP) with RFID.

In chapter 1, it was mentioned that carbon fiber reinforced plastics can be manufactured by 3D printers and that structures made of these materials were emerging. For this reason, the need for structural health monitoring of 3D printed CFRP was mentioned.

In chapter 2, The electrical properties of 3D printed continuous fiber CFRP were measured and the dependence on fiber orientation and distance between electrodes were investigated. the electrical resistance change method was applied to 3D printed CFRP and the change in electrical resistance to tensile strain was monitored to clarify the behavior.

In chapter 3, The electrical properties of 3D printed short carbon fiber reinforced plastics (SCFRP) were investigated. 3D printed SCFRP had electrical properties dependent on the fiber volume fraction, and the SCFRP with high fiber volume fraction showed conductive properties. The electrical resistance change method was applied to 3D printed SCFRP to clarify the behavior of the change in electrical resistance with tensile strain.

In chapter 4, radio frequency identification (RFID) was used for monitoring by the electrical resistance change method with wireless measurement. It was investigated the effectiveness of combining RFID with 3D printed SCFRP. The effectiveness of the wireless measurement was clarified by comparing the wireless measurement with the wired measurement. The relationship between stress and electrical resistance change is a nonlinear relationship, which makes monitoring difficult. To solve this problem, it was estimated the stress from the change in electrical resistance using an artificial neural network. It was found that long short-term memory, one of the recurrent neural networks, can provide a good estimation of the stress.

In chapter 5, the results revealed in each chapter of this thesis was summarized.

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note：Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).