

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)	審査の要旨
Type(English)	Exam Summary

(博士課程)

## 論文審査の要旨及び審査員

報告番号	甲第	号	学位申請者氏名	飯塚啓輔	
論文審査 審査員		氏名	職名	氏名	職名
	主査	轟章	教授	青野祐子	准教授
	審査員	井上裕嗣	教授		
		水谷義弘	准教授		
阪口基己		准教授			

### 論文審査の要旨 (2000字程度)

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章からなる。第1章「緒論」では、熱溶融積層型の樹脂系3Dプリント技術の進歩によって、金属並みの剛性・強度を有する複雑な炭素繊維強化プラスチック(CFRP)構造が成形可能となったため、この構造のヘルスマonitoringが次世代の課題となるという本研究の背景を述べている。そのための技術として、3DプリントCFRPの電気抵抗変化による無線セルフセンシングを提案している。具体的には、測定対象に設置するデバイスの小型化が可能で、電源が不要なパッシブタイプのICタグ(RFID)を用いた無線計測手法を採用し、市販RFIDで測定可能な電気抵抗変化を利用したひずみ計測を検証することが本研究の目的であると述べている。そして、連続繊維と短繊維のそれぞれを用いた3DプリントCFRPに対して電気抵抗変化法の適用可能性を検討している。

第2章「3Dプリント連続繊維CFRPの電気抵抗変化」では、3Dプリンタで成形可能な連続繊維CFRPを用いて、ひずみ変化に対する電気抵抗変化であるピエゾ抵抗変化を実測し、その特徴を明らかにしている。まず、繊維配向と電極間距離が電気抵抗に与える影響を調査し、従来のプリプレグCFRPと同様に、直交異方性を示すものの、90°繊維配向のCFRPでは電極間距離により抵抗がばらつくことを示すとともに、このばらつきはプリントパス間の空隙が原因で生じることをX線CT画像の観察結果から明らかにしている。さらに、繰返し引張除荷試験を行った結果、3DプリントCFRPでは従来のCFRPと異なり、ピエゾ抵抗変化の関係が非線形になること、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増減傾向が負荷と逆となる逆ピエゾ抵抗の挙動が現れること、繊維の局所たわみと樹脂の粘弾性の影響によって荷重の繰返し数の増加に伴い電気抵抗が漸減することを明らかにしている。最後に、RFIDと3Dプリント連続繊維CFRPとを組み合わせた無線セルフセンシングの可能性を検証した結果、現状では電気抵抗が小さいために直ちに適用することは困難であるとしている。

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)のピエゾ抵抗と電気容量の変化を明らかにしている。まず、繊維体積含有率(Vf)が10%と60%の2種類のSCFRPを製作して電気抵抗を調査した結果、Vf10%のSCFRP(低VfSCFRP)は絶縁性を示すが、Vf60%のSCFRP(高VfSCFRP)は導電性を有することを確認している。この低VfSCFRPでは、負荷にほぼ比例して電気容量が変化するが、本研究で使用する電気抵抗変化を測定するRFIDには適用できないと述べている。次に、高VfSCFRPを用いて繰返し引張除荷試験を実施し、連続繊維の場合と同様に、ひずみと電気抵抗の関係が非線形であるものの、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とし、無線セルフセンシングへの適用可能性を確認している。

第4章「RFIDを用いた無線センシングの応用」では、前章までの結果に基づき、RFIDを用いて高VfSCFRPのひずみセルフセンシングを実施し、その有効性を検討している。まず、RFIDを用いた無線測定と有線測定の結果が同等であることを明らかにしている。次に、応力と電気抵抗変化の関係が逆ピエゾ抵抗の影響を受けて非線形となり、応力のモニタリングが困難なることを解消するために、測定した電気抵抗変化から人工ニューラルネットワークを用いて応力を推定することを提案している。この実例として、実測データの多い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使い、応力と電気抵抗変化の関係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LSTM(Long short term memory)の2種を比較し、CNNよりもLSTMの方がより高精度な応力推定が可能であることを明らかにしている。

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ている。

以上を要するに、本研究は複雑形状の構造を成形可能な3DプリントCFRPの構造ヘルスマonitoring手法として、無線ひずみ測定が可能なRFIDを用いたセルフセンシング手法を提案し、その有効性を検証したものであり、工学上ならびに工業上貢献するところが大きい。よって本論文は、博士(工学)の学位論文として十分な価値があるものと認められる。

注意:「論文審査の要旨及び審査員」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。