

氏名(本籍)	藤岡 玄紘 (高知県)		
学位の種類	博士 (工学)		
学位記番号	甲第 390 号		
学位授与年月日	令和 4 年 3 月 17 日		
学位授与の要件	学位規則第 4 条第 1 項		
研究科・専攻名	工学研究科・基盤工学専攻		
学位論文題目	Development of a monitoring system for RTM molding of FRP by a multifunctional sensing system composed of Fresnel's reflection-type and Rayleigh scattering-type optical fiber sensors (フレネル反射型およびレイリー散乱型光ファイバ分布センサを組み合わせた多機能センシングシステムによる FRP の RTM 成形におけるモニタリング手法の開発)		
論文審査	(主査) 高知工科大学 高知工科大学 宇宙航空研究開発機構 高知工科大学 高知工科大学	准教授 教授 主任研究開発員 教授 准教授	高坂 達郎 楠川 量啓 武田 真一 川原村 敏幸 松本 泰典

審査結果の要旨

1. 論文の評価

近年、軽量かつ高比強度、高比剛性という優れた特徴を持つ FRP(Fiber Reinforced Plastics)は、航空宇宙分野を始めとする先進分野だけでなく自動車など様々な産業分野に適用が広がっている。しかし、複雑で大型の FRP 製品の製造にはノウハウが必要であり、開発コストが高いという欠点がある。また、この欠点を解決するために、成形中のリアルタイムモニタリング手法が注目されている。本論文は、フレネル反射型およびレイリー散乱型光ファイバ分布センサを用いて、FRP の低コスト成形法として注目されている RTM 成形に適用可能な新たなモニタリング手法を開発したものである。

最初に、フレネル反射型光ファイバセンサを用いた 3 次元・複雑形状の FRP に適用可能な高精度の硬化度測定システムの開発を試みた。これまで注目されていなかった 2~6mm の小さな曲げ半径における曲げ損失と曲げ半径との関係を明らかにし、埋め込みによる曲げ損失の予測の可能性を示した。さらに光学的に曲げ損失耐性の高い高屈曲光ファイバに注目し、従来の通信用光ファイバと同等の測定精度を持つことを実験的・理論的に明らかにした。また、大きな光損失を伴う 3 次元・複雑形状の FRP への埋め込みが測定精度に与える影響を明らかにし、光損失量が安定していれば測定精度への影響が無いことが明らかとなった。しかし RTM 成形では樹脂注入過程においてファイバの位置がずれて、光損失量が不安定となり、それが測定精度に影響を与えることも分かった。フレネル反射型光ファイバセンサを用いた 3 次元・複雑形状の FRP に適用に関する研究は他では行われておらず、オリジナリティが非常に高く、学術的な意義も高い。

次に、3 次元・複雑形状の光ファイバセンサを埋め込んだ時に生じる光損失量を埋め込み経路から予測するシミュレーション手法を開発した。このシミュレーションによって得られる損失量が、プリフォームに埋め込まれた光ファイバセンサによって取得される実測値とよく一致することを比較実験によって示した。また、本シミュレーションシステムの実用化を目指して、硬化度の測定精度を損失量によって定量化し、損失量が硬化度の測定精度の指標となるよう指標化を試みた。初期の曲げ損失量をセンサの安定性に結び付けて議論する研究は独特のアイデアであり、オリジナリティが高く、実用面でも価値がある。

次に、レイリー散乱型光ファイバ分布センサを用いた RTM 成形における樹脂流動モニタリング手法の有効性を示した。プリフォームに埋め込まれた光ファイバ分布センサにより、1mm の空間分解能で樹脂流動により生じるひずみ分布を測定できることが分かった。また、樹脂のフローフロント前後で圧縮ひずみが大きく減少することが分かった。この結果から、フレーム間差分法を用いることで、測定されたひずみ分布から樹脂のフローフロントが、フレーム間差分のピーク値として測定可能であることが示した。そして、グリッド配置された 1 本のセンサにより、樹脂のフローフロントの二次元形状が測定可能であることを示した。最後に、これらのセンサを組み合わせた、FRP の成形から運用まで適用できる多機能センサシステムを提案している。

レイリー散乱型光ファイバ分布センサによる FRP のひずみ測定に関する研究は行われているが、それを成形工程の樹脂流動モニタリングに適用した発表は見られない。この結果は学術的な価値も高く、また工業的な発展性も期待できる。

これらの成果は類似のセンサで同等の精度を実現できるような研究がほとんどなく、非常にオリジナリティが高い。得られた内容は学術的に興味深いだけでなく、FRP 成形の低コスト化に繋がる技術であり、工業的な価値も高いと考えられる。

2. 審査の経過と結果

- (1) 令和 4 年 1 月 12 日 5 名の審査委員のもと協議され、博士後期課程委員会で学位論文の受理を決定した。
- (2) 令和 4 年 2 月 15 日 公開論文審査発表会及び最終試験を実施した。
- (3) 令和 4 年 3 月 3 日 博士後期課程委員会で学位授与を可とし、教育研究審議会で承認された。