



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	Preparation of different types of carbon fiber reinforced polymer by using electrodeposition resin molding method
Author(s)	Islam, Md Tansirul
Degree Grantor	北海道大学
Degree Name	博士(工学)
Dissertation Number	甲第16618号
Issue Date	2025-09-25
DOI	https://doi.org/10.14943/doctoral.k16618
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/98228
Type	doctoral thesis
File Information	Md_Tansirul_Islam_review.pdf, 審査の要旨 https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/



学位論文審査の要旨

博士の専攻分野の名称 博士 (工学) 氏名 Md Tansirul Islam

審査担当者 主 査 准教授 本田 真也
副 査 特任教授 佐々木 克彦
副 査 教 授 佐藤 太裕
副 査 教 授 東藤 正浩

学位論文題名

Preparation of different types of carbon fiber reinforced polymer by using electrodeposition resin
molding method

(電着樹脂成形法を用いた各種炭素繊維強化ポリマーの製造)

複合材料は、航空機および自動車産業の飛躍的な発展を支える主要な構成要素の一つであり、その優れた特性により鋼材の代替材料として極めて有望である。中でも、炭素繊維強化プラスチック (CFRP) は、優れた耐腐食性、高強度・高剛性、低密度、および繊維方向における長い疲労寿命を有することから、最も広く用いられている複合材料の一つである。このような背景のもと、CFRP の製造手法をさらに高度化しようとする研究が活発に進められている。

本論文では、革新的な電着樹脂含浸 (Electrodeposition Resin Molding:EDRM) 技術を用いた、先進的 CFRP 複合材料の製造および特性評価に関する包括的な研究を報告する。EDRM 技術においては、電着液が陽極として機能し、炭素繊維が陰極として作用する。電着液としてはエポキシ樹脂を含有したものをを用いた。本研究の主目的は、EDRM を従来の CFRP 製造法の代替手法として評価することに加え、機械的および動的特性を強化した多様な CFRP の開発プラットフォームとしての可能性を探ることである。

本論文は全 6 章から構成されており、第 1 章、第 6 章はそれぞれ序論と総括であり、第 2 章から第 5 章の概要は以下のとおりである。

第 2 章では、まず EDRM プロセスの主要パラメータである電流強度、電圧、および熱硬化条件の最適化を行い、それらが複合材料の静的および動的特性に与える影響を評価した。動的特性については、試験片に対して振動試験を実施し、固有振動数および減衰性能を求めた。静的特性に関しては、四点曲げ試験および引張試験を行い、複合材料の曲げ強度およびヤング率を算出した。さらに、熱硬化温度および硬化時間が材料特性に与える影響についても調査を行った。使用したプリフォームには、2 種類の繊維配向を適用した。1 つは平織り [PW0]8 であり、もう 1 つは Tailored Fiber Placement (TFP) ミシンを用いて作製した [TFP/TFP/PW45/PW0]8 である。3 種類の電圧条件 (100 V, 150 V, 200 V) および各電圧条件に対して 5 段階の電流条件 (0.50 A, 0.75 A, 1.00 A, 1.25 A, 1.50 A) を設定した。EDRM における電圧および電流条件は、振動特性には大きな影響を及ぼさなかったが、曲げ強度には一定の影響が認められた。特に、熱硬化温度および硬化時間は曲げ強度に対して顕著な影響を与えた。試験した条件の中では、230 °C で熱硬化させ、1.5 A の電流で処理した複合材料が最も高い曲げ強度を示した。このことから、熱処理条件および電流条件が、樹脂の浸透性や繊維との界面結合性に強く影響することが明らかとなった。

第 3 章では, 構造キャパシタとしての応用を検討した. セルロースナノファイバー (CNF) シートを誘電層として積層内部に挿入し, 構造キャパシタ機能を有する CFRP を作製した. 得られた複合材料は, 一定の機械的強度および静電容量を示し, エネルギーを蓄える軽量構造要素として有望であることが確認された. ヤング率には若干の低下が見られたものの, CNF の使用により静電容量および曲げ特性は著しく向上した. CNF を含む CFRP は, CNF を含まない CFRP と比較して約 6 パーセント高い曲げ強度を示し, 最大静電容量は 813 nF/m^2 に達した.

第 4 章では, 曲線状繊維配置が CFRP の動的特性に与える影響を調査した. サイン波および放物線波のような曲線的な繊維配向を導入し, その振動特性への影響を検討した. モーダル解析の結果, 繊維の曲線配置によって動的応答が大きく変化し, 特にサイン波パターンにおいて最も優れた減衰性およびエネルギー吸収特性が得られた. これらの知見は, 複合材料の動的性能を制御する手法として, 繊維ステアリング技術が有効であることを示唆している.

第 5 章では, ナイロン 6 を用いたハイブリッド複合材料の開発を行った. 熱可塑性樹脂であるナイロン 6 をエポキシマトリックス内に積層することで, 靱性, 曲げ強度, および耐衝撃性に優れたハイブリッド CFRP を作製した. 走査型電子顕微鏡 (SEM) およびラマン分光法の結果から, ナイロン 6 が複合系に適切に混合されており, 繊維とマトリックス間に良好な界面接着が形成されていることが確認された. 各種機械試験の結果, 炭素繊維/ナイロン 6/エポキシ複合材料は, 従来の炭素繊維/エポキシ複合材料と比較して, すべての機械的特性において優れていた. 特に, 曲げ強度は約 2 倍に向上し, 耐衝撃性能も 38 パーセント向上した.

これを要するに, 本研究は, EDRM 技術が CFRP の実用的な製造手法として有効であるのみならず, 高性能かつ目的に応じた特性設計が可能な複合材料の製造方法として有用であることを示した. 本成果は, 軽量化および多機能化が求められる航空宇宙や自動車分野をはじめとする CFRP 部材が適用可能な機械構造物の設計高度化に資する複合材料工学の発展に貢献するところが大きなものである. よって, 著者は北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格があるものと認める.