

審 査 の 結 果 の 要 旨

氏 名 パティ サントワナ

修士(工学) パティ サントワナ 提出の論文は「Development of conductive polymer composites using curable dopants」と題し、8章からなっている。

航空宇宙分野をはじめとして、構造の軽量化の要求に応えるため、複合材構造の適用が拡がりつつある。従来の炭素繊維複合材料(CFRP)は、エポキシなどの絶縁性の樹脂と炭素繊維から成り、従来のアルミ合金などの金属構造に比べると導電性は劣り、また、CFRPの電気特性は著しい異方性や不均質性を有する。そのため、電磁シールド性、耐雷性などの機能性に関し、従来の金属構造に比べて劣ってしまうことから、複合材構造の機能性を向上させる必要がある。その解決策として金属やカーボンナノ粒子を用いた複合材料が提案されてきたが、成形性やコスト面での課題を有している。

本研究は、成形性を有する導電性高分子を CFRP のマトリックスに適用することで、CFRP の電氣的な均質化や等方性化を目指し、上述の課題を克服することを目指すものである。これまでの研究では、成形性を有する導電性高分子と硬化性ポリマーの複合体に関する成形プロセスを見出し、CFRP のマトリックスとして利用することで高い導電性能を発現する構造部材の目処を得てきたが、樹脂配合後の保存安定性、高い粘度特性、低い力学的特性が課題であり、プロセスウィンドウにも課題を有している。本研究では、これらの導電性樹脂の課題を解決するため、CFRP 用のマトリックスとして適用可能な、新規の硬化型ドーパントを導入した熱硬化系導電性樹脂を開発し、その樹脂特性評価を実施し、CFRP への適用について検証を行っている。

第1章では、航空機などの CFRP 構造部材に導電性を含めた高機能化が求められている現状を報告し、特に従来 CFRP の耐雷性能に関する要求やその対策、これまでの研究開発状況をまとめている。本研究の意義・動機を明確にするとともに、論文構成を説明している。

第2章では、CFRP の高機能化に関し、特に導電性高分子に関する研究と導電性高分子を利用した導電性樹脂開発に関する文献をまとめている。本研究で着目した導電性高分子ポリアニリン(PANI)とその導電性発現メカニズムを説明し、導電性高分子を用いた樹脂複合体を得るための条件をまとめており、CFRP のマトリックスとして用いるためには、一般には導電性高分子、ドーパント、硬化ポリマーからなる複合体を用いて導電性樹脂を得

ることが必要であることを述べている。提案コンセプトである硬化型ドーパントはドーパントと硬化ポリマーの両者の役割を担うものであり、導電性樹脂の課題解決にとって有用であることを示しながら、本研究の目的や独創性について説明している。

第3章では使用する素材の説明や導電性高分子複合体を評価・分析するための各種評価手法をまとめている。PANI 複合体のドーピング反応及び硬化反応の特徴を捉えるための分析・計測原理とそのためのサンプル準備手法を説明している。

第4章では、提案する硬化型ドーパントについて、ドーピング及び硬化メカニズムを説明すると共に、導電性と力学特性を発現するための最適な配合や処理プロセスについて分析結果を基に決定している。配合比率に応じた硬化プロファイルの最適化が必要であることを示し、特に硬化温度と硬化時間を制御することにより、導電性と力学的特性を両立することが可能であることを示している。

第5章では、CFRP の開発にとって必要な保存安定性・成形性について、PANI と硬化型ドーパントの複合体に関する硬化度及び粘度を評価することで、提案コンセプトの優位性を議論している。硬化型ドーパントを用いることにより、従来の PANI 複合体と比較し、大幅な保存安定性の向上と力学的特性の向上を示している。特に、従来 CFRP と同等の保存安定性を示すこと、及び同等の硬化プロファイルを採用することができることを実証しており、これまで実現できなかった導電性樹脂を用いた CFRP プリプレグの開発に成功し、導電性樹脂を用いた CFRP 製造の汎用化に向けた道筋を示している。

第6章では、第5章で開発した CFRP について、導電性、力学的特性、耐雷性の評価試験を実施した結果を報告している。従来開発されてきた PANI 系の CFRP に対し、導電性が及ばず、また、従来複合材に比べ力学的特性が及ばないものの、成形性・保存安定性の劇的な改善に成功し、耐雷性も確保可能な材料を開発することに成功している。

第7章では、開発した硬化型ドーパントを用いた PANI 複合体の樹脂特性に関し、分子動力学シミュレーションにより分散状況や配合比の影響について考察している。従来の PANI 複合体と比較し、力学的特性の向上を定性的ではあるが裏付けることに成功し、より最適な樹脂組成に関する指針を得ている。

第8章は結論であり、本研究で得られた成果をまとめ、今後の課題と展望を述べている。

以上要するに、本論文は、CFRP の高機能化手法として、導電性高分子、特に硬化型ドーパントを用いた導電性樹脂に着目し、導電性樹脂を用いた CFRP の実用の鍵となる、成形プロセスの汎用化に成功し、プリプレグの開発とそれを用いた CFRP への適用評価・実証を行っており、航空宇宙工学上、及び複合材料工学上貢献するところが大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。