

審査の結果の要旨

氏名 クマール ウィピン

修士（工学） クマール ウィピン 提出の論文は「Development of Polyaniline (PANI)-Based Conductive Thermosetting Matrix for FRPs and Their Structural Applications」と題し、10章からなっている。

航空機、宇宙機、自動車などの輸送システムにおける構造の軽量化の要求に応えるため、炭素繊維複合材料（CFRP）をはじめとする複合材構造の適用が拡がりつつある。従来の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、CFRP構造の電流経路や導電性の管理は、著しく複雑・困難となり、機体構造の電気特性をCFRPのみを用いてマネジメントすることは現在の技術では難しく、例えば航空機の機体では、落雷時の電気伝導マネジメントを目的とした導電性金属メッシュの適用や、アルミ合金部品との複雑な組み合わせ構造が適用されている状況であり、構造重量増加や製造・修理コストの増大を招く原因となっている。そのため、導電性を向上させるなどのCFRP自体の高機能化に関する研究が求められている。

そこで本研究は、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。従来から、カーボンナノチューブ等の導電性フィラーを樹脂に混ぜることで樹脂の導電化を図ることが進められてきたが、導電性フィラーは樹脂の高粘度化や脆性化につながる等のデメリットも多く、CFRPの抜本的な電気特性の改善につながりにくい状況であった。一方で、導電性高分子はこれまで構造部材に適用されておらず、成形加工性を有さないものと見なされてきたが、本研究では、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可能な導電性樹脂の開発に成功し、CFRPの導電性、力学的特性などを評価し、構造部材への適用性を検証している。

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、従来のCFRPの高機能化に関する研究をまとめている。また、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いる。CFRPのマトリックスとして

用いるためには、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、本研究の手法・目的を明確にしている。

第2章では、CFRPのマトリックスとして使用しやすい複合体として、PANI、ドデシルベンゼンスルホン酸(DBSA)、ジビニルベンゼン(DVB)の複合体を提案し、その素材の説明を行うと共に、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原理とそのためのサンプル準備手法を説明している。

第3章及び第4章では、PANI複合体の成形プロセスの最適化検討を実施している。第2章で述べた分析手法を用いて、PANI複合体の配合比、分散プロセス条件、加熱硬化条件について、最適化を行い、得られた硬化樹脂の導電率、力学的特性を評価することで検証を行っている。また、加熱硬化を実施することにより、硬化ポリマーの架橋が進むことで、力学的特性は向上するが、長時間の加熱により、導電率が減少していく脱ドーブ現象が生じることをつきとめ、導電率と力学的特性のバランスにより、最適な加熱硬化条件が存在することを示している。

第5章では、PANI複合体を効率的に分散させるためにロールミルプロセスを採用し、その効果を検証している。CFRP構造を成形するためには、大量のPANI複合体の混練プロセス開発が必須であり、そのための事前検討の位置づけである。ロールミルによるPANI複合体の混練により、複合体の分散性が向上するとともに、最適化条件が変化することを各種分析結果により説明している。

第6章及び第7章は、第3章及び第4章で確認された脱ドーブ現象について、加熱時間による分析評価結果の変化を詳細に考察し、脱ドーブ現象が生じる条件を明らかにしている。より効率的に導電性を発現するための硬化プロセス検討を実施し、脱ドーブが生じにくい硬化プロセスについて提案している。

第8章及び第9章では、開発したPANI複合体をCFRPに適用し、成形手法を説明するとともに、成形したCFRPの評価結果を述べている。従来使用されているエポキシ系のCFRPに対し、強度は及ばないものの、同程度の弾性率を有することを確認するとともに、従来はほぼ絶縁状態であったCFRPの厚み方向の導電率を1[S/cm]オーダーまで引き上げること的成功し、高い電磁シールド性能を示すことを実証している。

第10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、導電性高分子に着目し、CFRPのマトリックスとして使用するためのポリアニリン複合体の提案とその成形プロセス開発を行うことで、導電率と力学的特性を両立する新たな高機能樹脂の開発と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。