

補助事業番号 2023M-329
補助事業名 2023年度 耐雷性と軽量性を両立するCFRP雷撃保護コーティング技術開発
補助事業
補助事業者名 東北大学大学院工学研究科附属先端材料強度科学研究センター小川研究室
助教・齋藤宏輝

1 研究の概要

炭素繊維複合材料(CFRP)の雷撃損傷を防ぐための固相金属成膜技術の開発を行い、雷撃試験による性能評価を行った。雷撃実験の結果から、開発したアルミコーティングはCFRPへの雷撃損傷を効果的に低減できることを実証した。また、二台の高速度カメラを用いて雷撃損傷挙動の可視化を行い、雷放電から材料破壊に至る一連の現象の可視化に成功した。本研究を通じて、耐雷性と軽量性を両立した耐雷皮膜設計には最適な格子パターンの検討が鍵であり、今後の最適化に必要な重要な成果を得ることができた。

2 研究の目的と背景

航空機需要は今後継続的な拡大が予想されており、省エネルギーや環境負荷低減の観点から燃費向上に向けた機体の軽量化が求められている。そのため、アルミ合金主体であった機体へのCFRPの適用が急速に進んでいる。しかし、CFRPは軽量で強度に優れるものの、アルミ合金に比較して電気抵抗率が圧倒的に高く、雷撃対策が必須である。従来手法ではCFRP表面に金属メッシュを貼り付けることにより耐雷性を確保しているが、コストや雷撃後の補修工程の複雑さが課題となっている。本研究ではこれらの課題を克服する手法の候補として、コールドスプレー法と呼ばれる固相金属成膜手法に着目し、迅速な耐雷性付与を実現する金属成膜手法の開発および耐雷性能の評価を目的とした。本研究では、金属付加による重量増加を軽減するために材料にはアルミを用い、金属皮膜の格子形状を検討することで耐雷性と軽量性を両立する皮膜設計の検討を行った。

3 研究内容

CFRP雷撃保護コーティング技術の開発

各種パラメータを変更した成膜実験から、CFRP上へのアルミ成膜に適した成膜条件を決定した。一連の成膜条件の検討から連続的な皮膜を得られる条件を見出し、雷撃試験を実施した。雷撃実験結果から、作製したアルミ皮膜はCFRPを効果的に保護し、CFRP基材には炭素繊維の破断や浮き上がり等の損傷が生じないことが確認できた(図1)。また、高速度カメラを用いた雷撃による試験片損傷過程の可視化にも成功し、雷撃によるアルミ皮膜の爆発的な破壊挙動をとらえることができた(図2)。この爆発的な破壊の主要因は、雷電流により発生した局所的なジュール熱と考えられ、雷電流を効果的に分散させる皮膜設計が損傷低減に極めて有効であることを明らかにした。

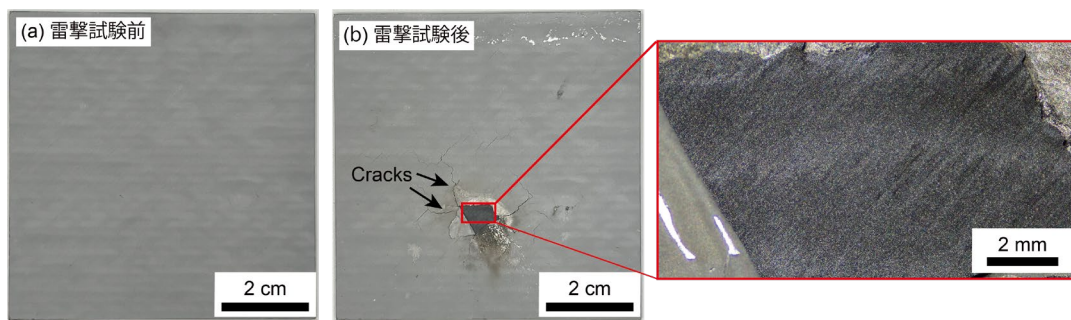


図1 雷撃試験前後の試験片表面写真：(a) 雷撃試験前，(b) 雷撃試験

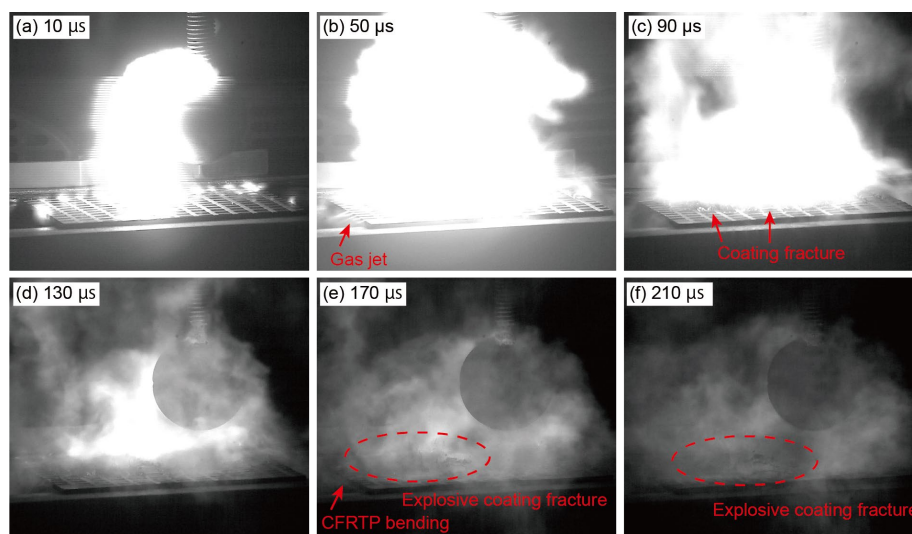


図2 アルミを格子状成膜した試験片の雷撃破壊挙動

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究で開発したCFRP上への固相金属成膜技術は、CFRP上に直接成膜することで迅速な耐雷性付与が可能である。航空機や風力発電への適用だけでなく、今後ますます発展が期待されるCFRPを利用したドローンやアーバンエアモビリティなど、空を利用した物や人の安全な輸送を支える耐雷対策技術として活用が期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

事業者はこれまで金属・セラミックス・ポリマーなどの異種材料を組み合わせた固相成膜技術の開発に注力して研究を行ってきた。本研究では、金属と炭素繊維複合材料の組み合わせによる固相成膜技術について、耐雷性評価も含めて良好な結果を得ることができ、国内外の学会発表を通じて効果的な成果公表を行うことができた。研究成果を通じて、耐雷性と軽量性を両立する皮膜設計には、雷電流の分散過程と材料の破壊現象の理解が不可欠であることがわかり、これらの現象の相関を定量的に把握することが今後重要であることが明確になった。本研究を通じて、固相金属成膜による耐雷性付与技術の開発を大きく前進させることができ、事業者個人の研究

の流れだけでなく、同分野の研究としても重要な位置づけとなる成果を得ることができた。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

国際会議発表 2件

1. Hiroki Saito, Wataru. Kai, Taiga. Funaki, Yuji Ichikawa, Kazuhiro Ogawa, Evaluation of lightning resistance property of thermoplastic CFRP metallized by low-pressure cold spray, International Thermal Spray Conference and Exposition 2024, ミラノ, イタリア, 2024年5月
2. Hiroki Saito, Atsushi Izumi, Yuji Ichikawa, Kazuhiro Ogawa, Development of cold sprayed conductive coatings on carbon fiber reinforced thermoplastic polymers for lightning strike protection, Asian Thermal Spray Conference & Expo 2023, チェンナイ, インド, 2023年11月

国内会議発表 2件

1. 齋藤宏輝, 泉安津志, 蒙愈先, 市川裕士, 小川和洋, 低圧コールドスプレー法による熱可塑性CFRP上への成膜に及ぼすガス温度および粒子径の影響, 日本機械学会 M&M・CMD若手シンポジウム2023, 金沢, 2023年8月
2. 齋藤宏輝, 泉安津志, 蒙愈先, 市川裕士, 小川和洋, コールドスプレー法を用いた樹脂・CFRP基材への金属皮膜形成, 第18回有機/無機接合研究委員会, 東京, 2023年10月

7 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 東北大学

住 所: 〒980-8579 宮城県仙台市青葉区荒巻字青葉6-6-11

担 当 者: 助教 齋藤宏輝

部 署: 先端材料強度科学研究センター

E - m a i l: hiroki.saito.d6[at]tohoku.ac.jp