

平成 30 年 6 月 21 日現在

機関番号：82627

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K18033

研究課題名(和文) 樹脂系複合材料を用いた次世代航空機における電磁環境両立性解析技術の研究

研究課題名(英文) Development of electromagnetic compatibility evaluation methodology for next generation aircrafts based on composite materials

研究代表者

二ッ森 俊一 (Futatsumori, Shunichi)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・電子航法研究所・主幹研究員

研究者番号：20551211

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,300,000円

研究成果の概要(和文)：実験と数値解析の両面から検討を行い、CFRP構造体について金属製構造体と同等の電磁界特性となる条件および異なる電磁界特性となる条件を明らかにした。全金属製構造と底面以外の5面がCFRP積層板とした場合の電磁界エネルギー(構造体Q値)を6 GHzまでの周波数帯において詳細評価した。CFRP積層板構造とした場合、2.5 GHz以下では金属製構造体内部の電磁界特性とほぼ同等であることを確認した。内部に電磁界損失媒体が存在しない場合、2.5 GHzを超えるとQ値はCFRP積層板の面積に比例して減少するが、人体ファントム等の電磁界損失媒体が存在する場合は、材料の違いによる影響はほぼ観測されなかった。

研究成果の概要(英文)：To examine the microwave electromagnetic field (EMF) characteristics inside carbon fiber reinforced plastic (CFRP) structures, the quality factors (Q-factors) of reverberation chambers constructed of either CFRP or aluminum are evaluated and compared. In the CFRP structure, the four sidewalls and ceiling, which are originally made of aluminum, are replaced by CFRP panels, and then the uniformity of the field is evaluated. The standard deviation of the measured maximum electric field strength inside the chamber is less than 1.5 dB between 500 MHz and 6 GHz. The unloaded Q-factor of the CFRP chamber is almost identical to that of the all-aluminum structure below 2.5 GHz; however, it decreased by about 50 % between 2.5 GHz and 6 GHz compared to that of the all-aluminum structure. No significant difference is found in the loaded Q-factors of both structures. Finally, the interference pass loss measurement and the numerical analysis of the Beechcraft B300 aircraft is conducted.

研究分野：工学

キーワード：電気・電磁環境 樹脂系複合材料 航空機 炭素繊維 数値解析 FDTD リバレーションチャンバ CFRP

1. 研究開始当初の背景

樹脂系複合材は、アルミニウム合金と比較して比強度が高く、高性能かつ機体の軽量化による運用コスト低減が達成できるため、民間航空機分野においてもその応用が進んでいる。例えば、ボーイング 787 型機で炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastics, CFRP) の使用比率は重量比 50 % に達し、主翼および胴体を含む主要一次構造材の大部分が CFRP で構成されている。また、2013 年に初飛行を行ったエアバス A350 型機でも、主翼の大部分、尾翼、尾胴、胴体キールビームなど重量比 50 % 以上の割合で CFRP が用いられており、大幅な燃費向上と CO2 排出削減に寄与することから、将来的には小型機から大型機までの様々な範囲を含む大部分の航空機において、主要構造材は金属材料から複合材料に置き換わる見込みである。

航空機の内外における電磁環境特性について、アルミニウム合金を主要構造材として用いた従来の航空機では、これまでの膨大な測定実験結果に基づき、携帯電話およびスマートフォン等の機内持ち込み携帯電子機器 (Personal Electronic Device, PED) の影響評価手法および機内使用ガイドライン等が確立され、研究代表者らは既存の航空機に対する電磁環境両立性 (Electromagnetic compatibility, EMC) の評価を実施している。しかし、CFRP 積層板等の樹脂系複合材を主要構造材として用いた航空機における電磁環境特性は、詳細な機内電磁界伝搬特性および機外電磁波漏洩特性等が明らかとなっていないため、詳細な調査検討が必要である。

さらに将来、樹脂系複合材および PED 等の無線機器の使用は航空宇宙分野のみならず、自動車、鉄道など多くの分野での応用が期待されている。研究代表者は、これまでに樹脂系複合材の電磁界遮蔽・減衰特性および構造体内部における電磁界特性の測定評価を行っているが、さらに研究を推し進め、CFRP 積層板で構成された構造体の電磁環境の高精度推定法と EMC の評価手法が必要である。

2. 研究の目的

本研究の目的は、CFRP 積層板等の樹脂系複合材を主要構造として用いた構造体において、航空機等を具体例として、CFRP 構造体内外における電磁環境特性の解明および定量化を行ったうえで、CFRP 構造体における EMI 影響を定量的に評価するため数値解析基礎技術を確立し、将来の樹脂系複合材の広範な利用に向けた EMC 技術を確立することである。具体的には、次の 3 項目について実験と数値解析の両面から研究を進める。

(1) 統計的均一電磁界評価系を用いた CFRP 積層板電磁界特性の詳細評価・定量化技術：航空機の航法機器で用いる周波数帯である 100 MHz ~ 6 GHz において、構造材と

して適用される材料構造を持つ CFRP 積層板を用いた構造体内部で、統計的均一電磁界環境を実現可能なリバレーションチャンバを用いた内部電磁界分布評価および構造体 Q 値等、その詳細特性の定量化を行う。航空機内は難燃性内壁および座席等の様々な電磁波損失媒体が存在するため、負荷を装加したリバレーションチャンバとしても評価が必要である。

(2) 小型航空機の干渉経路損失測定および数値モデル化：電子航法研究所の小型双発航空機ビーチクラフト B300 型機を用いた干渉経路損失 (Interference pass loss, IPL) 測定から、実航空機の機内外電磁界特性および EMI 特性を取得する。IPL とは、PED から放射された電磁波が機内-窓等-機上アンテナ-機内ケーブルと伝わり、航空機搭載無線機器まで到達するときの伝搬損失である。測定結果から、従来アルミニウム金属製航空機の数値解析モデルを構築し、数値解析推定技術の確立を目指す。電磁界数値解析法として時間領域差分法 (Finite-difference time-domain method, FDTD) を用い、測定結果と比較検討を行い、数値解析の妥当性と有効性を確認する。

(3) CFRP 積層板を主要構造とした航空機の電磁環境および干渉経路損失の数値解析推定技術：(1)、(2) で得られた結果を踏まえ、CFRP 積層板を主要構造材として用いた航空機内における、機内の PED から放射される電磁波について、小型航空機を数値モデル化し、FDTD 法に基づく数値解析を行う。ここで、機内外における電磁界強度および IPL について解析評価を行い、機外漏洩量評価および EMI 定量化に向けた解析技術を検討する。具体的には、全地球測位システム (GPS) に及ぼす EMI 影響を解析推定する。また、(2)、(3) を比較検討することで、従来金属製航空機との EMI 特性の違いを解明する。

3. 研究の方法

CFRP 積層板を主要構造とした構造体において、航空機を具体例として、CFRP 製構造体内外の電磁環境特性および航空機内持ち込み携帯電子機器が航空機搭載機器に及ぼす EMI 影響を定量的に評価するための EMC 解析技術を確立するため、実験と数値解析の両面から検討を進める。

(1) CFRP 積層板で構成された構造体内部の電磁界特性を取得するため、統計的均一電磁界環境を実現できるリバレーションチャンバを用いて、100 MHz ~ 6 GHz における内部電磁界分布および構造体 Q 値を測定評価する。研究代表者らはこれまでに 1 面を CFRP 積層板とした直方体リバレーションチャンバを用いた検討を行っているが、更なる詳細評価のため、新たに底面を除く 5 面が CFRP 積層板で構成された直方体リバレーションチャンバを構築する

(2) 電子航法研究所所有の小型双発航空機ビーチクラフト B300 型機を用い、機内外電磁界分布および IPL の測定評価を行う。航空機内部に設置した送信アンテナの設置場所を複数箇所移動させ、放射された電磁波が窓、機外アンテナおよび機内ケーブルなどを伝搬し、航空機無線機器のアンテナ端子にどの程度の電力レベルで出現するかを定量的に測定評価する。数値解析推定技術の確立を目指す GPS への干渉電力評価を中心に、数値モデル化のために、VHF 帯、UHF 帯および L 帯を用いる無線航法装置、無線通信装置の IPL の測定評価を行う。

(3) 上記(1)で取得したリバレーションチャンバ内の電磁界特性に基づき、CFRP 積層板を用いた構造体の FDTD 数値解析モデルを構築する。解析モデル内部にリバレータを模した散乱体を設置し統計処理を行い、測定結果との比較検討を行う。さらに、上記 2. で取得した小型航空機の IPL 測定結果に基づき、小型航空機数値モデル構築および FDTD 数値解析を行う。機内電磁界分布の測定結果との比較から、数値解析結果の有効性と妥当性を確認する。

(4) 上記(1)において実施した、5 面が CFRP 積層板で構成された直方体リバレーションチャンバ内部における内部電磁界分布および構造体 Q 値の測定評価を、実航空機に近い電磁波損失媒体が存在する場合について同様に検討するため、負荷装加チャンバとして検討を行う。難燃性内壁および座席を模擬した材料を追加する等、損失媒体による特性変化を取得する。

(5) 上記(2)および(3)において実施した、従来金属製小型航空機モデルを用いた数値解析の有効性および妥当性確認結果を踏まえ、PED が航法装置および無線装置に及ぼす EMI の定量的な評価を行う。機内に PED を設置した場合の機体内部および外部の電磁界強度および GPS の機器受信アンテナ端子までの IPL について解析評価を行い。測定結果との比較から、数値解析結果の有効性と妥当性を確認する。

4. 研究成果

(1) 実験と数値解析の両面から検討を行い、CFRP 構造体について従来金属製構造体と同等の電磁界特性となる条件および異なる電磁界特性となる条件を明らかにした。CFRP 構造体内部で、統計的均一電磁界環境を実現可能なリバレーションチャンバを用いた内部電磁界分布評価および構造体 Q 値等、その詳細特性の定量化を実施した。図 1 に電磁界特性評価のためのリバレーションチャンバを用いた測定系の概観を示す。まず、平織材および擬似等方性 CFRP 積層板では、厚みが 0.3 mm 程度でもアルミニウム板と同等の遮蔽特性 (50 dB 程度) である。

ここで、壁面の一部を CFRP 積層板で構成した構造体内部に蓄えられる電磁界エネルギー

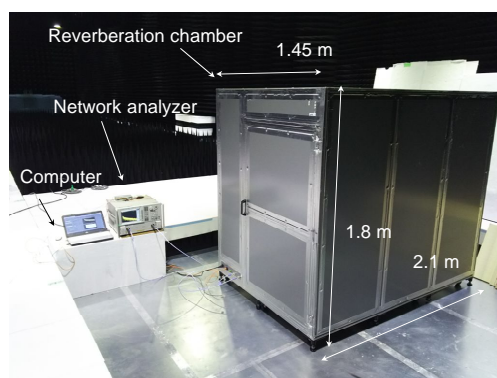


図 1. 電磁界特性評価のためのリバレーションチャンバを用いた測定系概観

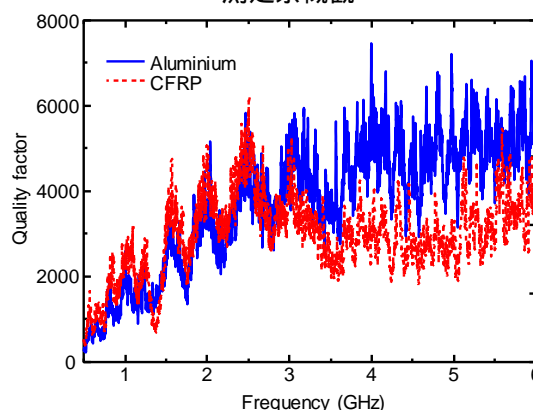


図 2. 無負荷リバレーションチャンバ構造体 Q 値 (全金属製と 5 面 CFRP 積層板の比較)

ギー (Q 値) を測定評価し、2.5 GHz 以下ではアルミニウム製構造体内部の電磁界特性とほぼ同等であることを確認した。しかし、内部に電磁界損失媒体が存在しない場合、2.5 GHz を超えると Q 値は CFRP 積層板の面積に比例して減少することを実験で明らかにした。図 2 に、内部に電磁界損失媒体が存在しない無負荷時における、リバレーションチャンバ構造体 Q 値 (全金属製と 5 面 CFRP 積層板の比較) を示す。2.5 GHz 以上の周波数において最大 50 % 程度の Q 値減少が確認できる。

(2) リバレーションチャンバ内部に電磁界損失媒体が存在する場合における構造体 Q 値の測定評価を実施した。図 3 に、内部に人体ファントムを設置した場合における負荷装加リバレーションチャンバの内部状況を示す。また、図 4 に、負荷装加リバレーションチャンバ構造体 Q 値 (内部フェノール材および電波吸収体設置の比較) を示す。アルミニウム構造および 5 面 CFRP 積層板構造において、電磁界損失媒体の存在により両方の Q 値が低下し、構造体 Q 値がほぼ同じであることが確認できる。これからの結果から、電磁界損失媒体が存在する場合は、CFRP 積層板による電磁界エネルギーの損失よりも電磁界損失媒体による影響の方が支配的であることが明らかとなった。

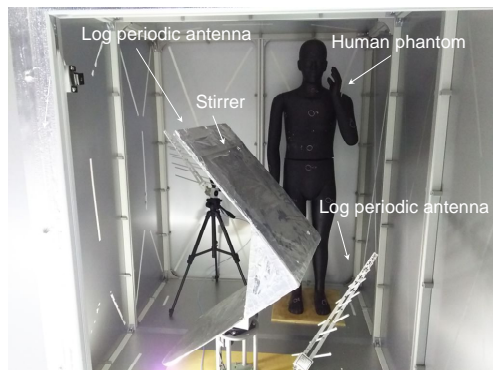


図 3 . 負荷装加リバレーションチャンバの内部状況

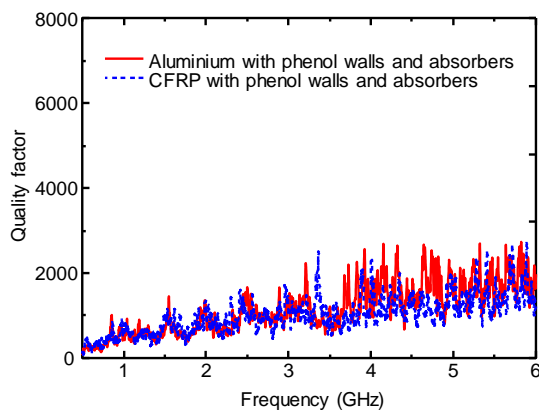


図 4 . 負荷装加リバレーションチャンバ構造体 Q 値 (内部フェノール材および電波吸収体設置の比較)

(3) 電子航法研究所の小型双発航空機ビーチクラフト B300 型機を用いた干渉経路損失測定から、実航空機の機内外電磁界特性および EMI 特性を取得した。さらに、ビーチクラフト B300 型機を用いた干渉経路損失測定および電磁界数値解析を実施した。

本研究で得られた成果は、CFRP 積層板で構成された構造体の電磁界特性について、無負荷時と負荷装加時の特性の違いを初めて詳細に明らかにしたため、CFRP 材料を活用した産業分野に対するデータとしての活用が期待できる。また、CFRP 材料を用いた構造体内部における電磁界特性が、500 MHz から 6 GHz において、電磁界損失媒体が存在する環境では金属構造とほぼ同一となることを明らかにしたため、今後の航空機を含めた新材料応用の指針としての活用が期待できる。

5 . 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 5 件)

Shunichi Futatsumori、Kazuyuki Morioka、Akiko Kohmura、Naruto Yonemoto、Investigation of microwave electromagnetic field characteristics

inside carbon fiber reinforced plastic structures -fundamental electromagnetic characteristics of composite materials for aircrafts-、Proceedings of the International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016、査読有、1 巻、2016、195-198

ニッ森俊一、森岡和行、河村暁子、米本成人、電磁界損失媒体が航空機内部電磁界特性に与える影響-人体ファントムを設置した電波反射箱の構造体 Q 値測定評価-、2017 年電子情報通信学会総合大会通信講演論文集、査読無、1 巻、2017、318

Shunichi Futatsumori、Measurement of microwave electromagnetic field characteristics inside the reverberation chamber based on carbon fiber reinforced plastic structure、Proceedings of the 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium、査読有、1 巻、2017、1733

Shunichi Futatsumori、Comparison of stored electromagnetic field energy between carbon fiber reinforced plastic and all-metallic structures -evaluation of microwave quality factors using a reverberation chamber-、Proceedings of the 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility、査読有、1 巻、2017、1-4

<https://doi.org/10.1109/EMCEurope.2017.8094703>

Shunichi Futatsumori、Takashi Hikage、Microwave electromagnetic field characteristic evaluations in aircrafts containing lossy materials based on quality factor of a reverberation chamber、Proceedings of the 2017 International Symposium on Antennas and Propagation、査読有、1 巻、2017、1-2

<https://doi.org/10.1109/ISANP.2017.8228942>

[学会発表](計 5 件)

Shunichi Futatsumori、Investigation of microwave electromagnetic field characteristics inside carbon fiber reinforced plastic structures -fundamental electromagnetic characteristics of composite materials for aircrafts-、The International Conference on Space, Aeronautical and Navigational Electronics 2016、2016 年 11 月 25 日、台北(台湾)

ニッ森俊一、電磁界損失媒体が航空機内部電磁界特性に与える影響-人体ファン

トムを設置した電波反射箱の構造体 Q 値測定評価-、電子情報通信学会総合大会、2017年3月24日、名古屋市

Shunichi Futatsumori、Measurement of microwave electromagnetic field characteristics inside the reverberation chamber based on carbon fiber reinforced plastic structure、The 2017 Progress in Electromagnetics Research Symposium、2017年5月25日、サンクトペテルブルグ(ロシア)

Shunichi Futatsumori、Comparison of stored electromagnetic field energy between carbon fiber reinforced plastic and all-metallic structures -evaluation of microwave quality factors using a reverberation chamber-、The 2017 International Symposium on Electromagnetic Compatibility、2017年9月5日、アンジェ(フランス)

Shunichi Futatsumori、Takashi Hikage、Microwave electromagnetic field characteristic evaluations in aircrafts containing lossy materials based on quality factor of a reverberation chamber、The 2017 International Symposium on Antennas and Propagation、2017年11月2日、プーケット(タイ)

6. 研究組織

(1) 研究代表者

ニッ森 俊一

(FUTATSUMORI SHUNICHI)

国立研究開発法人海上・港湾・航空技術研究所・電子航法研究所・上席研究員

研究者番号：20551211