

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：マルチマテリアル接着接合を用いた航空機実現のための基礎研究
- (2) 研究代表者：宇宙航空研究開発機構 森本 哲也
- (3) 研究期間：令和4年度～令和8年度（予定）

2. 中間評価の実施概要

実施日：令和6年11月11日

場所：TKP秋葉原カンファレンスセンター

評価委員：未来工学研究所 理事長、上席研究員／東京大学 名誉教授

平澤 洽（委員長）

情報通信研究機構 主席研究員

門脇 直人

大阪大学 大学院工学研究科 マテリアル生産科学専攻 教授

中野 貴由

豊橋技術科学大学 シニア研究院、名誉教授

長岡技術科学大学 学長アドバイザー、客員教授

中野 裕美

公共投資ジャーナル社 論説主幹

吉葉 正行

（委員長以外は五十音順・敬称略）

3. 研究の進捗状況

研究の概要

本研究では以下に示す技術条件①～③および⑦の条件を達成し「航空機の主構造に接着構造を採用するマルチマテリアル化を実現するための技術的課題を解決すること」を最終目標とする。技術条件①②は接着界面を跨ぐミクロスケールな結合力に係る理解を踏まえた解決を要し、②③は接着層と被接着体を包含するメゾスケールな界面域に係る探求を要する。また、②⑦は力学的な特性および疲労・化学的劣化に係るマクロスケールな検証を要する。

①製造時および修理時に適用可能である、発現する接着力の分布を管理する手法を構築する。

②接着部のき裂進展を目視検出する手法を採用した運航検査（空港のエプロンで行われる日常的な検査）を行う。これは目視検査(GVI)に対応する、接着箇所の実縁側面(Flange Edge)におけるき裂を検出する手法の開発を伴う。

- ③弱接着を検出する手法を用いた出荷時検査および定期的な重整備（格納庫で行う定期点検整備）を行う。これは新しい非破壊検査手法の開発を伴う。
- ④接着接合箇所において局所的に生ずる引き剥がし力をコントロールする構造設計を行う。
- ⑤き裂進展が最大となる場合においても接着力のみにて終極荷重に耐荷する設計整備体制を敷く。
- ⑥荷重伝達経路 (Load Path) が単一のみとはならず冗長化しており、主たる接着箇所がき裂進展に伴い接着力を喪失する場合においてもボルト締結や補助的な接着構造により終極荷重への耐荷が可能となる構造を採用する。
- ⑦長期耐久性を保証する環境試験・検証を行う。本項目は技術条件①～③および設計運用条件④～⑥全てに適用される。

以下に示すように上記①②、②③、②⑦に対応する実施項目を設定し、本研究の最終目標を達成していく。

- A-1：界面の化学的分析/潜在的に弱接着を誘起し得るメカニズムの解明
- A-2：Flange Edge 近傍界面を跨ぐ結合力の推定法/喪失メカニズムの解明
- B-1：界面域の弾性解探求/弱接着が発現する条件の規定
- B-2：弾性波を用いた弱接着検出手法の探求
- C-1：マルチマテリアル接着要素のき裂発生・進展および拘束メカニズムの探求
- C-2：マルチマテリアル接着要素の環境劣化評価

進捗状況

主な実施項目に対する進捗は以下の通り。

実施項目 A-1 から C-2 について、以下の進捗状況である。

- ・ A-1、A-2、B-1：

界面破壊への遷移では「汚染の面密度に閾値がある」との知見を得た。接着剤層の弾性変形を含むエネルギーバランス解を導出した。力学的試験結果を解析して接着剤の弾性定数を導く事に成功した。

- ・ B-2：

レーザー干渉計を用いた微弱振動測定系を構築し、レーザーによるアブレーション振動の計測が可能であることを示した。波動解析モデルを構築し、圧電素子による振動データを基にモデルの妥当性を確認した。

一方、導入を予定していた Laser Bond Inspection (LBI) 装置を製造販売する米国企業が急遽倒産したため米 Boeing 社所有の LBI 装置および国内 Laser 装置類の有償使用を進めており、順次遅れを回復していく。当 B-2 は非破壊検査に係る一項目であり研究全体への影響は限定的である。

・ C-1 :

積層造形によるき裂進展抑止補助構造有りの場合、補助構造無し・汚染有りの場合に対して 147%の破壊エネルギーとなることを確認した。また、レーザー超音波試験により弱接着箇所の検出にも成功した。

・ C-2 :

NASA TM89006 に準ずる Cracked Lap Shear (CLS) 試験片を用い、環境チャンバ内でき裂進展試験を実施中であり、マイクロフォーカス X 線 CT を併用した精密な測定に成功した。今後大型パネル等の設計に着手し、試作/試験へと進捗する。

4. 中間評価の評点

A 進捗は順調であり、研究計画に沿って進めてよい。

5. 総合コメント

航空機の主構造に接着構造を採用するマルチマテリアル化を実現するための技術的課題を解決することを目的としており、現段階では検査・設計手法に係る要素技術開発について当初の計画通りに進捗していると評価できる。き裂進展の可視化など、評価方法の確立が順調であり、研究成果が期待できるが、組み立て段階で役立つ検査法にさらに注力し、重層的な評価システムを確立する等接着法の信頼性を高めていただきたい。また、評価法の標準化に繋がる研究となるように、異材接着接合へのマクロスケール／構造力学的アプローチについても成果を定量化し、情報発信することを期待する。

6. 主な個別コメント

- ・ 要素研究成果は十分得られている。今後は、各要素技術成果の総合的な結集を期待する。
- ・ 航空機における接着接合技術の実現はニーズが高く、研究課題としての重要性は一層向上する。
- ・ 組み立て段階で役立つ検査法にさらに注力して、接着法の信頼性を高めていただきたい。
- ・ 論文発表および海外での成果発信を工夫して進めていただきたい。