

1. 評価対象研究課題

- (1) 研究課題名：海洋仕様のCFRPブレード接着接合構造に関する基盤技術の開発
- (2) 研究代表者：ナカシマプロペラ株式会社 山磨 敏夫
- (3) 研究期間：令和3年度～令和7年度（予定）

2. 中間評価の実施概要

日時：令和5年10月26日

場所：TKP 東京駅大手町 カンファレンスセンター ホール

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）

宇宙航空研究開発機構 航空技術部門 特任担当役

嶋 英志

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

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

温室効果ガス排出量の実質ゼロに向けた「グリーン成長戦略」において、船舶の推進機の効率を向上させるためには、複合材料プロペラ（CFRPブレードと金属材料のマルチマテリアル接着接合構造物）の開発が重要である。複合材料プロペラは長期海水中で繰り返し荷重にさらされるが、使用環境での接着接合構造物の例はなく、接着強度低下や劣化の現象は明らかになっていない。

そこで本研究では、長期海水中繰り返し荷重での接着強度、界面の変化を評価し、劣化機構を解明する。また、強度低下を低減する接着剤やプライマを開発することを目指す。

進捗状況

主な実施項目に対する進捗は以下の通り。

- (1) クーポン接着試験片の海水浸漬および海水浸漬下での試験の実施と海水浸漬下での劣化機構の解明

ラマン分光法による分析評価により、接着剤の構造変化や被着体の腐食を捉えられることを確認した。また、表面／界面評価に特化したSFG（和周波発生）分光測定

装置も導入した。各機関が協力して複数種の被着体、接着剤および表面処理の組合せで、クーポン接着試験片の海水浸漬および海水浸漬下での機械的強度評価を行い、組合せの優劣および問題点を抽出した。その結果、接着劣化に起因する化学組成の特定のなど当初の予定を上回る成果が得られ、被着体、接着剤および表面処理での海水浸漬下での劣化機構を明らかにすることができた。

(2) クーポン接着試験片の大気中での試験の実施と疲労破壊機構の解明

各機関が協力して複数種の被着体、接着剤および表面処理の組合せで、クーポン接着試験片を用いた大気中でのせん断型（Lap Shear や目違い切欠き圧縮せん断）および負荷形態の異なる開口型の疲労特性や疲労き裂進展特性評価を行い、大気中疲労における基礎データを取得するとともに、デジタル画像相関（DIC）法を用いたひずみ分布のその場観察、破断面観察（凝集／界面破壊）を行うことによりクーポン接着試験片の大気中での疲労破壊機構を明らかにした。当初の予定通り進捗し、海水浸漬後や浸漬中疲労破壊機構との複合効果への展開を必要とする最終目標に繋がっている。

(3) 接着接合の改良検討

候補接着剤を構成する化学組成を明らかにし、ベースとなる化学組成（主剤）を固定して候補接着剤の化学組成（硬化剤）と異なる化学組成の硬化剤の組合せで化学一力学評価試験を実施することにより、海水浸漬時でも高い界面強度を維持する接着剤の組合せを明らかにした。課題解決手法として、少ないデータセットでも有効な化学的な知見を適用した機械学習を活用した。現時点では、海水浸漬時に界面強度が高い接着剤／プライマの組み合わせとして、界面強度が高くなるよう海水の界面近傍での浸入集中を避ける吸水率の高い化学組成の組合せを提案している。また、シランカップリング系のプライマの効果についても検討した。マクロな被着体状態および接着工程からミクロな化学的課題までを解決するなど、当初の予定を上回る成果が得られている。

(4) 要素および構造体試験による接着接合評価

金属製芯金構造のCFRP プロペラの設計を行った。

そのブレード主要部の要素試験体を製作し、空気中での疲労試験を実施した。芯金材の材質の違いによる剛性の違いが、疲労強度に影響することを確認した。また試験中に試験体を観察し、破壊の進展状況を確認した。

塩水中での要素試験も実施しており、空気中よりも強度低下していることを確認した。特に金属面が塩水侵入により腐食することで界面破壊が支配的となり強度低下を引き起こしていることを明らかにした。

構造体試験については、空気中での疲労試験を行った。要素疲労試験と同様の S-

N 曲線を描くことを確認した。また接着部の破壊形態も要素試験と類似していることを確認した。

4. 中間評価の評点

S 研究計画を超えた成果を挙げており、さらなる発展を期待する。

5. 総合コメント

強度低下を軽減する接着剤やプライマの開発など、これまでの研究は順調に進んでいる。

実用化に向けては、実機形状や使用条件に対して研究成果が適用できるのかを示す必要がある。学術的な部分を当初の計画通り継続的に進めると同時に、研究計画を発展させ、実験室内の加速試験だけではなく、実機（スクリーとしての実環境でも可）での実証を目指していただきたい。さらに腐食疲労の状況が推定どおりかの確認に強く期待する。

6. 主な個別コメント

- 基盤技術として、相当有益な成果を得ている。
- 今後に期待できる。しかし、耐用年数 25 年という目標に近づけるためには、実験室内の加速試験だけでは不足なのではないか。
- 実機では、形状の複雑さや使用条件、負荷条件の違いなど、乗り越えるべきハードルがあると思われ、要素試験のみで確認することは困難と予想される。
- 強度低下を軽減する接着剤やプライマの開発が順調であることから、法的な規制等のクリアが課題であるものの、実機に近いものでの試験実施を試みる努力をしていただきたい。
- 当初の予想通りの課題が次第に判明して、新たな課題も見つかっているので、研究計画の見直しも含め、今後の成果達成を期待したい。