

# 戦略的イノベーション創造プログラム(SIP)

## 2019年度 研究開発成果等報告書

課題名：統合型材料開発システムによるマテリアル革命

チーム番号：B2

研究開発課題名：AI援用積層最適化によるCFRP設計・  
製造自動化技術の開発

研究期間：2019年4月1日 ～ 2020年3月31日

研究 責任者	氏名	阿部 俊夫
	所属機関	三菱重工業株式会社（中菱エンジニアリング）
	部署	防衛・宇宙セグメント航空機事業部 航空機技術部 （材料試験室）
	役職	主査

## 研究開発成果等の概要

最新鋭航空機の製造において、炭素繊維系複合材(CFRP)の高速・高自由度積層を目指した自動積層装置導入が進みつつあり、設備投資余力の大きい国が国際競争力を持つ状況となっている。そのため、将来航空機開発に向け、日本の航空機産業の複合材技術競争力を回復させるために、複合材自動積層を前提に高速成形ゆへの代償である積層内部欠陥等の欠点を逆問題 MI 適用に依り克服し、高生産性を維持しながら軽量化を追求する設計・製造最適化技術の研究を進めていく。本ユニットではこれらの研究課題に対する、2019 年度の主な研究成果を以下に示す。

### (1) 複合材自動積層装置の導入・設置と研究目的に沿った動作性確認、検証

複合材自動積層装置の詳細設計作業を経て、各種付帯工事(基礎工事、クリーンルーム建設等)に着手、これら一連の作業を完了させた。また据え付け作業も順調に進捗していたが、新型コロナウイルスの影響により、動作確認を担当する外国人技術者が来日できなくなったため、作業は最終調整前の段階で休工を余儀なくされている。

### (2) 熱可塑複合材の自動積層、同時硬化に向けた課題、材料改善項目の洗い出し

AFP を用いた熱可塑複合材 In-Situ Consolidation (ISC) を試行し、技術課題(反り、製造欠陥等)の整理を行うとともに、力学特性、結晶化度を計測した。また、熱可塑複合材 ISC の熱履歴を A3 領域の 1 次元熱伝導シミュレーション結果と比較して、定性的に一致することを確認した。

### (3) 内部欠陥を盛り込んだ航空機代表構造要素での強度・剛性評価と改善項目整理

手積層にて擬似 AFP 積層体を製作し、断面観察や板厚分布の 3 次元計測により形状の特性を評価するとともに、AFP 積層体に生じる Gap/Lap という内部欠陥の強度特性に及ぼす影響を評価した。また、プライ端部(Edge of ply, EOP) が内在する複合材積層板の損傷進展と破壊を予測するシミュレータ開発の第一歩として、汎用有限要素法ソフトウェアを利用した 3 次元 ply-by-ply モデルを構築し、解析で得られた有孔積層板の引張強度は、実験結果と一致することを確認した。

### (4) 炭素繊維の強さを活かす最適設計、自動化の基本方針設定

局所的に配向角の異なるモザイク的なローカルパッチ積層を孔まわりに導入することで強度が大幅に向上するという知見が得た。また、従来のスキストリング構造製造法に代わり、自動積層装置を用いながら外板と強化部材を接合するワッフル構造の力学特性評価を行うとともに、破壊の起点となる層端部での応力集中を抑制するため、局所屈曲構造を導入した試験片を作製し強度評価を進めた。

### (5) PEEK / ナノダイヤモンド(ND) 複合材料における ND 充てん量 最適化

ナノダイヤモンド(ND) 充てんのために PEEK と ND の熔融混練の初期検討を行い、複合化が可能であることを確認した。さらに、結晶化に関しては ND 充てんにより結晶化が促進することが示唆された。

### (6) AFP 向け製造最適化(板厚・形状コントロール) 手法の目途づけ

放射状基底関数(RBF) ネットワークを用いた効率的な逐次近似最適化手法(単目的)を開発し、従来手法に比べて大幅に解析時間を短縮できる最適化手法を開発した。また、強度試験などは時間・費用の制約からサンプル数が限定され、得られた結果のばらつきが問題となる。そのようなばらつきをベイズ統計学に基づいて確率パラメータとしてモデル化し、その信頼区間を同定する手法の

概念を構築した。