



令和4年4月 26 日

報道機関 各位

東北大学流体科学研究所

炭素繊維と樹脂から航空機の主翼性能を予測

- マルチスケール数値解析を用いた CFRP 航空機主翼の設計手法を確立 -

【発表のポイント】

- 炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastic: CFRP)¹の材料物性から、航空機の主翼性能を予測可能なマルチスケール数値解析技術を確立.
- これまで未解明だった、炭素繊維種の違いが航空機主翼の性能に及ぼす影響を初めて明らかにした.
- 主翼の設計時には、CFRP の材料破壊²と表面パネルの局所座屈³の双方を考慮した静空弾解析⁴に基づく設計が重要と分かった.
- 本成果は、脱炭素社会の実現に向け、複合材料を用いた次世代航空機の性能向上に活用されることが期待される.

【概要】

炭素繊維強化プラスチック(Carbon Fiber Reinforced Plastic: CFRP)¹は、炭素繊維と樹脂の組み合わせによって様々な強度特性を実現出来る、軽くて強い材料です. 近年、航空機の材料として広く使われつつあり、更なる軽量化が求められる次世代航空機開発に必要な材料として、今も研究開発が進められています. 一方で、数マイクロメートルの世界で生じる繊維や樹脂の破壊現象が、数十メートルの長さを持つ航空機の主翼にどのような影響を及ぼすのかを予測することは難しく、実験室サイズの手軽な実験が困難な航空機開発において大きなボトルネックとなっていました.

本研究では、CFRP の破壊現象を捉えるミクロスケール解析から、航空機の飛行時に主翼が生む空気力と構造変形を精度良く捉えるマクロスケール解析まで融合したマルチスケール数値解析手法を構築し、世界で初めて、炭素繊維種の違いが主翼性能(重量・空気力)に及ぼす影響を明らかにしました.

今回の研究成果は、米国現地時間 2022 年 4 月 15 日に学術専門誌「Journal of Aerospace Science and Technology」(I.F. 5.107)に掲載されました.

【詳細な説明】

<背景>

軽くて強い CFRP は、航空機材料として近年広く使われつつあります。同時にさらなる軽量化・高機能化を進めるための研究開発も行われています。しかし、CFRP は炭素繊維と樹脂を組み合わせた複雑な材料なので、内部で生じる数マイクロメートルの破壊現象が数十メートルの主翼に及ぼす影響の予測はまだ完全ではありません。航空機の実寸での実験や飛行試験は容易ではないため、それらを用いずに主翼の性能を予測する手段が求められていました。

このような実験が困難な系に対して有効な手段がコンピューターを用いた数値解析（シミュレーション）技術であり、航空機の設計開発においても数値解析を活用したデジタルツイン⁵の導入が強く望まれています。脱炭素化に資する輸送機器の性能向上の観点から、デジタルツインを活用した革新的な次世代機の開発が期待されますが、上述のようなマルチスケールに渡る CFRP の破壊現象と航空機主翼設計を数値解析によって再現する技術は確立されていませんでした。

<本研究で達成した内容>

東北大学大学院工学研究科の伊達周吾氏（大学院生）、阿部圭晃助教（流体科学研究所）、岡部朋永教授（工学研究科）らの研究グループは、CFRP の破壊現象を捉えるミクロスケール解析から、航空機の飛行時に主翼が生む空気力と構造変形を精度良く捉えるマクロスケール解析まで融合したマルチスケール数値解析手法を構築し（図1）、世界で初めて、炭素繊維種の違いが主翼性能（重量・空気力）に及ぼす影響を明らかにしました（図2）。

本手法ではまず、炭素繊維と樹脂の強度や剛性を入力として、それらを組み合わせた CFRP の一方向材や積層板の機械特性を数値的に推算し、巡航中の航空機主翼で平衡状態にある空気力と構造変形を予測する数値解析法を確立しました。さらに、巡航中の航空機主翼が破壊しない程度に構造部材の寸法（表面パネルの厚み等）を調整することで、破壊を生じずに軽量な主翼構造を実現する設計解が得られるようになりました。これにより、数値解析に基づいて、炭素繊維と樹脂の物性から航空機主翼の構造設計を行うことを世界で初めて可能としました。また本手法を Boeing 777 クラスの主翼に適用し、炭素繊維の剛性が高いほど軽量かつ翼変形の小さな設計が可能となることを定量的に示すことに成功しています。特に今回の問題設定では、主翼表面パネルの設計においては CFRP の材料破壊²よりも局所座屈³による破壊が支配的であることが分かり、これは空気力と構造変形の平衡状態を精度良く予測する双方向連成解析を取り入れたことで初めて明らかになりました。

本研究の成果は、次世代航空機開発におけるデジタルツインの基盤となる世界初の数値解析技術であり、革新的な材料開発が進む CFRP と航空機設計の現場を

迅速に繋ぐ基礎技術となることが期待されます。

【謝辞】

本研究は、国立研究開発法人新エネルギー・産業技術総合開発機構（NEDO）の委託業務（JPNP15006）、総合科学技術・イノベーション会議のSIP（戦略的イノベーション創造プログラム）「統合型材料開発システムによるマテリアル革命」（管理法人：JST）の支援を受けたものです。

【論文情報】

タイトル Effects of Fiber Properties on Aerodynamic Performance and Structural Sizing of Composite Aircraft Wings

著者 Shugo Date, Yoshiaki Abe, and Tomonaga Okabe

掲載誌 Journal of Aerospace Science and Technology

DOI 10.1016/j.ast.2022.107565

URL <https://doi.org/10.1016/j.ast.2022.107565>

【用語の説明】

- 1 炭素繊維強化プラスチック (Carbon Fiber Reinforced Plastic: CFRP) : 強化材料である炭素繊維と、それを支持する母材樹脂によって構成される複合材料の一種。軽量かつ高剛性・高強度であるという特性を持つ。
- 2 材料破壊 : 材料が持つ強度によって破壊すること。複合材料では荷重の荷重方向によって異なる強度・破壊メカニズムを示す。
- 3 局所座屈 : 補強パネルの破壊形態の一つ。補強材であるスティフナ間の板が座屈する現象のこと。
- 4 静空弾解析 : 静的空力弾性解析の略で、航空機の巡航時に主翼の構造変形と空気が釣り合った平衡状態を予測する解析を指す。
- 5 デジタルツイン : 現実の世界から収集した様々なデータを、まるで双子のようにコンピューターで再現する技術。コンピューター上では、収集した膨大なデータを元に、限りなく現実に近い物理的なシミュレーションが可能となり、製品の製造工程やサービスの在り方を改善する有効な手段となる。製造ラインの一部を変更する場合など、事前にデジタルツイン上でテスト運営することで、開発期間やコストの削減が見込める。

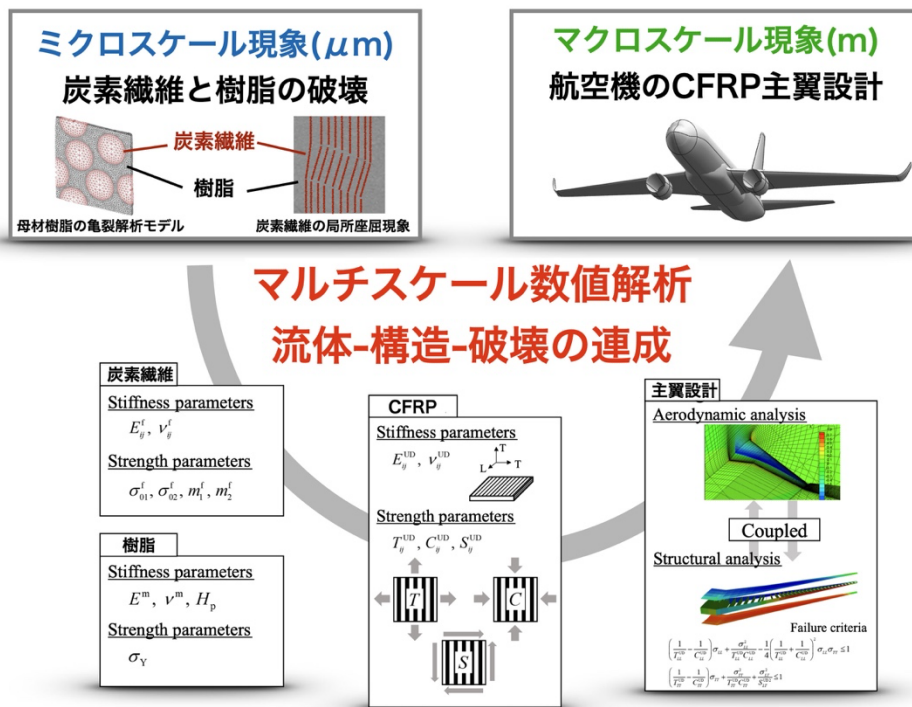


図 1 : CFRP 航空機主翼設計のマルチスケール数値解析手法

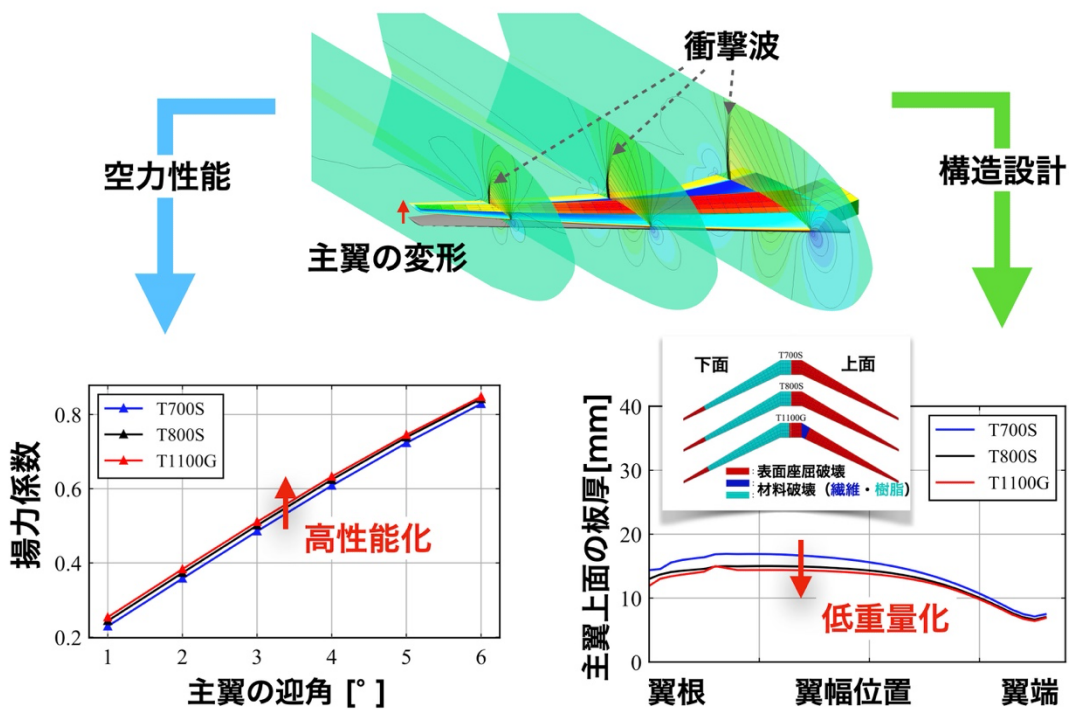


図 2 : CFRP の炭素繊維種による主翼性能の変化

【内容についてのお問い合わせ先】

東北大学流体科学研究所 助教 阿部 圭晃

電話 022-217-5260

E-mail : yoshiaki.abe@tohoku.ac.jp

【報道についてのお問い合わせ先】

東北大学流体科学研究所 広報戦略室

電話 022-217-5873

E-mail : ifs-koho@grp.tohoku.ac.jp