

審査の結果の要旨

氏名 梶原 翔

修士（工学）梶原 翔 提出の論文は、「複合材ファンブレードの異物衝突による周縁部破壊の抑制 **Suppression of Peripheral Edge Fracture of Composite Fan Blades due to Impact of Foreign Object Collision**」と題し、本文 6 章と Appendix からなっている。

航空分野への省エネルギー化の要求から、航空機の推進効率向上のためにターボファンエンジンの高バイパス比化が進んでいる。これは用いられるファンの大型化に直結し、その軽量化が特に重要となっている。そのため、航空機の機体と同様に、比強度および比剛性に優れる炭素繊維強化プラスチック（**Carbon Fiber Reinforced Plastics: CFRP**）を中心とした複合材料のファンブレードへの適用拡大が進みつつある。一方、ファンブレードには小石や雹等の小型の固形物だけでなく、鳥のような重量が大きい物体も高速で衝突し、このいわゆるバードストライクは、ブレードに重大な損傷を引き起こし得る。従来の金属ファンブレードでは、耐衝撃性に優れるチタン合金が多く用いられるが、複合材ファンブレードは耐衝撃性が相対的に低く、このバードストライクによる衝撃破壊が大きな問題となっている。

この論文は CFRP を使った複合材ファンブレードを対象に、バードストライクによるブレード周縁部における破壊を抑制することを目的として、理論式を基に計算コストを落とした数値解析モデルを開発し、衝撃による擾乱の励起要因の特定を試みたものである。さらに、複合材の持つ異方性を活用し、ブレードの剛性を調整して破壊を抑制する手法の提案も目指している。

第 1 章は序論であり、バードストライクについて解説し、これまでの研究を概説するとともに、この論文の目的を述べている。

第 2 章では、まずファンブレードのバードストライク現象を、簡潔な現象に落とし込んで基礎方程式を定式化している。次にブレードを片持ち矩形板としてモデル化して、はりの固有振動モードを組み合わせた **Rayleigh-Ritz** 法による数値解析法を導出し、これを使ってブレードの挙動を変形モードに分解して調べる手法を示している。さらに、提案した解析手法の妥当性を検証するための有

限要素解析モデル，および実際のファンブレードの形状や取付部の固定条件を加味した有限要素解析のフルモデルも示している。

第 3 章では，前章で定式化した解析法の妥当性を検討し，衝撃直後の幾何学的非線形性が小さい変形範囲では，定量的に正しい解が得られることを確認している．次にブレード後縁領域にはスパン方向ひずみが，スパン先端領域にはコード方向ひずみが，それぞれ顕著に生じることを見出し，破壊を引き起こし得るひずみ成分とその領域の特定に成功している．ブレード実形状の有限要素フルモデルによるシミュレーション結果との比較では，提案した簡便な解析法が定性的に良い予測を与え，その有用性が示されている．さらに，数値解析で仮定している衝撃付与位置，ブレード形状が衝撃応答に与える影響についても調査している．

第 4 章はブレード設計への応用についてである．衝撃によるひずみを低減させるために，ブレードの剛性分布を変化させた検討を行っている．CFRP を念頭に，異方性剛性分布を種々変えて数値実験を行いその影響を評価するとともに，翼端の剛性を落としたコンプライアントチップや，前縁を補強する金属シースの効果も調べている．これらから，有害なひずみを低減させるために，局所的な剛性の調整が有効であるとの結果を得て，ブレード実形状についての詳細なシミュレーションでそれを確認している．

第 5 章では，ブレードの局所破壊の進展の基礎検討を行っている．バードストライクにより周縁部に伝播する擾乱の時間変化を解析し，その結果を基に逐次静解析を行って，はく離が進展する際の破壊力学パラメータであるエネルギー解放率を算出している．これから，ブレードのはく離き裂先端近傍の表面での曲げひずみ分布が，エネルギー解放率と強く相関していることを見出し，曲げひずみの値が大きくなる後縁側ではく離が進展し易いことを予測している．

第 6 章は結論であり，本研究で得られた結果を総括するとともに，今後検討すべき課題を示している．

以上要するに，本論文はターボファンエンジンのファンブレードに対する衝撃により生じる擾乱の伝播を簡便に予測する手法を開発し，それが設計の初期段階に有用な指針を与える実用的なツールとなることを示したものであり，航空宇宙推進工学，構造力学，複合材料工学に貢献するところが大きい．よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる．