

審査の結果の要旨

論文提出者氏名 賀澤 順一

修士(工学)賀澤順一提出の論文は、「スマート構造による翼列フラッターの能動制御に関する研究」と題し、本文5章から成っている。

ジェットエンジンやガスタービンの圧縮機における近年の大幅な負荷の増加により、圧縮機にはサージや旋回失速、翼列フラッターといった非定常流れに基づく不安定現象の危険性が高まっている。サージや旋回失速という流れの不安定現象については、その発生を予知して回避する技術や、能動制御により積極的に作動範囲を拡大する空力技術が精力的に研究され、種々の成果を上げて来た。他方、空力弾性的な自励振動現象である翼列フラッターについても、能動的な抑制法に関する若干の研究が、主として翼列非定常流れ場に音響擾乱を重畳する手法を中心に実施されて来ている。しかし、実用的な能動制御技術を開発するためには、基本的な制御手法の検討から実機への応用に至るまで、更に広範に様々な研究が行われなければならない現状である。

最近の構造材料技術では、電気信号等によって材料の形状や構造特性を制御する、いわゆるスマート構造の研究が進展しており、応用分野として航空機翼のフラップの運動や、振動の制御等が研究されている。このようなスマート構造を圧縮機翼に適用することにより、翼の構造特性や形状を直接制御することが可能になれば、翼列フラッター等の振動現象に関して、音響擾乱を用いる方法よりも、信頼性と実効性の高い制御技術が実現できるものと期待される。

本研究ではこのようなスマート構造による翼列フラッターの能動制御技術を開発することを目標とし、その可能性を流体-構造連成数値解析および直線翼列風洞実験により検討した。スマート構造を実現するデバイスには形状記憶合金や piezo 素子、電磁流体等が考えられ、本研究ではこれらの適用を企図して、いくつかの制御法に関する検討を行った。また、流れのマッハ数や負荷条件等により、多様な異なるフラッター現象が存在するため、流れのパラメータについても種々の検討を行った。これらの結果、振動制御の可能性をいくつかの場合について示すことができたが、特に近年の翼列で大きな問題となる、遷音速領域の衝撃波関連フラッターについて、piezo 素子を応用することにより有効に翼振動を抑制し得ることを明らかにした。

論文の第1章では本研究の背景及び目的を述べている。

第2章では開発した流体-構造連成数値解析手法について説明した後、様々な翼列フラッターの制御方法について、数値解析を用いて検討している。流体解析と構造解析の連成は、流体数値解析によって求めた翼にかかる非定常空気力を、構造数値解析における翼の振動方程式に用いることで行う。計算負荷を抑えるため、流体解析では二次元 Euler 方程式を用い、構造解析では基本的な並進振動モードを対象としている。

制御方法の検討は亜音速流れと遷音速流れの条件で行った。亜音速流れでは、無次元振動数が低い条件において翼列フラッターが発生することを確認し、翼の固有振動数を翼振動の発散過程で一枚おきに変化させる制御を行ったところ、振幅の発散を抑えられるという結果を得ている。このような固有振動数の制御が形状記憶合金を用いて実現可能であることを、CFRP製の平板に形状記憶合金を貼り付けた翼を用いて実験的に確認した。

遷音速流れの条件では、解析対象とした翼列モデルの非定常特性について詳細な解析を行い、翼振動の安定性が主として翼の振動方向と、翼間衝撃波の振動によって誘起される非定常空気力に支配されることを明らかにした。そこでまず翼の振動方向を変化させる制御法を検討し、一枚おきに異なる振動方向を持つ翼が設置された翼列を対象とした解析を実施した結果、振動振幅の発散を抑えられることを見出した。このような制御は、形状記憶合金を用いたスマート構造により、翼の振動モードを変化させることで可能になると述べている。一方、翼間衝撃波の振動で誘起される非定常空気力を制御する方法についても詳細な解析を行っている。衝撃波挙動を制御する方法として、様々な方法の中で最も効果的であった、翼後縁をフラップの様に振動させる方法について検討した結果が述べられている。後縁の能動的な加振は、 piezo素子を翼面に設置することにより可能となる。詳細な解析の結果、翼振動と後縁振動との位相差が重要なパラメータであり、この位相差を適切に設定することで、効果的に翼列フラッターを制御することが可能であることを確認した。後縁の加振により翼回りに非定常圧力擾乱が誘起され、この圧力擾乱によって翼間衝撃波の挙動が変化するため、適切な位相で後縁を加振すれば、衝撃波の振動に基づく非定常空気力を励振力から減衰力に変えることができる。

第3章では、直線振動翼列風洞を用いた亜音速流れでの実験により、piezo素子による後縁加振の手法を検討している。piezo素子による加振の状況を実験的に調べてみると、翼全体が振動し、前縁で振幅が小さく、後縁で大きかった。亜音速流れにおいて、このようなpiezo素子による振動が能動的に行われる際の翼列フラッターの特性を数値解析で調査したところ、この条件でもフラッターの抑制が可能であることが見出された。そこで実験により、piezo素子による能動加振の場合と、翼の並進振動の場合に、翼に働く非定常空気力を別々に計測し、これらを線形的に重ね合わせて振動の安定性を調べた結果、能動加振の位相が適切に選択されていれば、フラッターが有効に抑制されることが確認された。

第4章では、第2章、第3章で得られた結果を踏まえて、スマート構造を用いた翼列フラッターの能動制御システムに関する考察を行っている。

第5章は結論であり、本研究で得られた知見をまとめている。

以上要するに、本論文はスマート構造による翼列フラッターの能動制御について、その実現可能性を流体-構造連成数値解析と風洞実験により明らかにし、将来の高負荷、高信頼性圧縮機の実現へ向けて有用な基礎的知見と設計指針を与えたものであり、航空宇宙工学上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。