

審査結果の要旨

氏名 阿部圭晃

博士(工学) 阿部圭晃の論文は「Mechanism of separated-flow control over an airfoil with synthetic jet devices in low-Reynolds-number regime (低レイノルズ数域におけるシンセティックジェットを用いた翼周り剥離流れ制御のメカニズム)」と題し、8章からなる。

軽量小型省エネルギーで、かつ、流れの状況に応じた能動制御が可能なマイクロ流体制御デバイスが近年注目されている。しかしながら、マイクロ流体制御デバイスが剥離流れを制御するメカニズムは十分に明らかでなく、現状では駆動パラメータ策定の統一的な指針を構築する事が困難である。本研究ではマイクロ流体制御デバイスの1つであるシンセティックジェットに着目し、シンセティックジェットが剥離流れを制御するメカニズムを明らかにし、効率良いマイクロ流体制御デバイスの設計指針構築へとつなげる事を目的としている。

本研究の制御対象とする剥離流れは、NACA0015 翼型・迎角 12 度・翼弦長に基づくレイノルズ数 63,000 の低レイノルズ数流れであり、前縁から大きく剥離した失速直後の流れである。また、シンセティックジェットにより投入される擾乱が微細な渦構造を持つ事から、高精度な非定常解析を可能とする large-eddy simulation (LES) に基づき解析を行っている。

第1章は序論であり、本研究の背景と先行研究、関連文献についてまとめた上で、本研究の位置づけと目的、本論文の構成を述べている。

第2章では、流れ場条件、翼型形状、シンセティックジェットの詳細を述べた上で、比較検討を行うプラズマアクチュエータモデルが説明されている。

第3章は、本論文で行う数値流体計算法や計算結果の解析のための平均化処理、離散フーリエ変換、線形安定性解析手法を説明している。また、計算法の検証と妥当性確認を行っている。

第4章では剥離流れの制御メカニズムと考えられる主流方向運動量の交換過程について考察するために、シンセティックジェットの駆動周波数 F^+ を変えた複数の LES を行い、主流方向・鉛直方向の速度変動成分から構成されるレイノルズ剪断応力の空間分布を用いて定量的に流れ場を解析している。これらの結果により、最適な駆動周波数は 6 から 20 の間であること、レイノルズ剪断応力

の乱流成分によって3次元乱流渦構造が主流方向運動量を交換すること、スパン方向の2次元的な秩序渦構造も主流方向運動量交換に貢献すること、を明らかにしている。

第5章では、シンセティックジェットの最適な駆動周波数と流れの線形不安定周波数の関係について考察を行い、剥離制御時の流れにおいても、前縁付近の剥離泡近傍で擾乱の線形成長領域が存在すること、剥離制御時の不安定周波数は剥離時と大きく異なることを示している。また、優れた剥離制御を行う駆動周波数は、制御時の不安定周波数を駆動周波数の高調波を用いて刺激しつつ、大規模秩序渦構造に相当する低周波成分を駆動周波数により刺激できる周波数であることを明らかにしている。

第6章では、シンセティックジェットの境界条件モデルをもちいて、シンセティックジェットがつくる擾乱の3次元性が剥離制御性能に及ぼす影響について考察を行っている。その結果、翼面上の3次元性が最も強く現れるケースでも揚力向上の観点では必ずしも優れていない事が示されている。また、3次元化を促進する事は乱流遷移の観点では優れているが、大規模渦構造の強度を弱めてしまい後縁付近での剥離領域を大きくしてしまうことがその原因であると考察している。

第7章ではマイクロ流体制御デバイスによる一般的な剥離制御メカニズムの理解に向けて、シンセティックジェットによる翼周り流れ場制御とプラズマアクチュエータによる翼周り流れ場制御の比較を行っている。これにより、最適駆動周波数はともに6から20の間であること、制御時の主流方向の運動量交換は乱流成分が支配的であるという点も共通であることを明らかにしている。また、強い制御時にはプラズマアクチュエータが有利であり、弱い制御時にはシンセティックジェットが有利であるという相違点についても指摘している。

第8章は結論であり、低レイノルズ数域におけるシンセティックジェットを用いた翼周り剥離流れ制御のメカニズムについて得られた知見をまとめ、今後の課題を述べている。

以上要するに、本論文は、効率良いマイクロ流体制御デバイスの設計指針構築へとつなげる事を目的として、シンセティックジェットが剥離流れを制御するメカニズムを明らかにしており、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。