

審査の結果の要旨

氏名 浅田 健吾

修士（工学）浅田健吾提出の論文は、「Computational Analysis of the Flow Fields Induced by a DBD Plasma Actuator toward Separated-Flow Control」（和訳：「プラズマアクチュエータによる剥離流れ制御の数値解析に関する研究」）と題し、本文7章から構成されている。

航空機にとって流れが翼面に沿わなくなる剥離現象は揚力の低下、抗力の増加につながる大きな課題である。この課題を解決する次世代の技術として、Dielectric Barrier Discharge Plasma Actuator（別名：DBDプラズマアクチュエータ）を用いた能動的流体制御が注目を集めている。同デバイスは誘電体バリア放電を利用し、流れに局所的な変動を加えることで流れ全体を制御するもので、消費エネルギーが小さい、構成が単純、気流条件にあわせた能動制御が可能といった利点を持つ。DBDプラズマアクチュエータに関してはこれまで試行錯誤的な実験が多く、現象理解が不十分なため駆動条件などに関する明確な指針が得られていない。一方で、印加電圧のon/offを周期的に切り替えるバースト駆動を用いると、連続駆動より高い剥離制御効果が得られることがわかってきており、ここにDBDプラズマアクチュエータの剥離制御の本質が潜んでいると考えられる。

以上を背景にして、筆者は、DBDアクチュエータの流体制御機構を物理現象ベースで理解し、実用化に向けた知見を得ることを目的として、非定常な剥離や再付着といった現象を記述できるLESモデルと高い空間解像度を有する手法によって翼型周りの流れの数値解析を行った。本論文は全部で7章から構成されている。

第1章で既存研究を概観、第2章でDBDプラズマアクチュエータのパラメータも含め本論文での問題設定を記述した後、第3章では基礎方程式と数値計算法について記載している。第4章では、利用した手法や現象のモデル化が信頼できることを実験データ等との比較などから検証している。

第5章では、連続波とバースト波、取り付け位置、DBDプラズマアクチュエータの出力を考慮した7ケースの解析を行っている。前半では、各ケースでの平

均空力特性と剥離制御効果の評価指標に関する議論を行っている。解析結果のうち揚力係数が同等の値を示した場合であっても揚抗比の値は異なる場合があり、目的とする指標に応じて最適な制御方法が異なってくることを示している。後半では、バースト波を用いる制御が効果的であることを示した後、バースト駆動の効果およびその周波数効果について議論を行っている。定常駆動は主に直接的な運動量付加が重要であること、一方でバースト駆動では周波数に応じて生成される渦が混合を促進し、その結果間接的に供給される運動量が重要であることを明らかにしている。さらに、バースト駆動を用いた場合でも、その周波数によって剥離制御機構の様子が異なること、本解析の範囲では無次元バースト周波数 $F^* = 6$ を用いた場合が最もロバストな剥離制御効果を実現できることを示している。

第 6 章では、バースト波による剥離制御実現までの過渡的な流れに着目した解析を実施している。その結果、過渡的な状態は、(1) 揚力係数、抗力係数が一時的に低下する段階、(2) 前縁付近の負圧が次第に回復し揚力が回復する段階、(3) 渦混合領域が前方に移動し準定常的な流れが確立する段階の 3 つからなることを示している。(1) の段階での揚力係数、抗力係数の一時的な低下は初期駆動の際に発生する渦によるものであり、この大きな渦構造が翼付近の逆流領域に運動量を取り込み、剥離制御実現に重要な役割を果たしていることを明らかにした。第 7 章は結論で、実用化の観点も含め、得られた研究成果をまとめている。

以上要するに、本論文は、高精度の数値シミュレーションによって DBD アクチュエータの流体制御機構を明らかにしたものであり、得られた知見は、能動制御の有力技術である DBD プラズマアクチュエータの今後の設計に大きく貢献するとともに、能動的流体制御全体にも有用なものであり、流れの剥離制御の観点で今後の航空宇宙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。