

審査の結果の要旨

氏名 関本 諭志

修士（工学）関本諭志提出の論文は、「Flow Control Mechanism of a DBD Plasma Actuator for Airfoils in Low Speed Free-streams」（和訳：「低速流中の翼に対する DBD プラズマアクチュエータによる流れ制御のメカニズム」）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り、長きに渡りその抑制について研究がなされてきた。その解決策として 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。本デバイスは誘電体バリア放電によって翼面付近の流れに局所的な変動を加えることで大規模流れ構造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、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が連続駆動より高い剥離制御効果を有することが示されており、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、複数の翼型形状や流れ条件下でバースト周波数を幅広く変化させることで、DBD プラズマアクチュエータによる剥離流れ制御の効果を実験的に評価し流体制御機構を明らかにした。本論文は 7 章から構成されている。

第 1 章で既存研究を踏まえた本論文の概要、第 2 章で本論文の実験器具・手法を記述した後、第 3 章では静止気体中の誘起流れを PIV 計測することにより本論文で利用する DBD プラズマアクチュエータの基本的性質を確認している。

第 4 章では、基本剥離流れとして $Re=63,000$ 、NACA0015 翼周りの剥離流れに DBD プラズマアクチュエータを適用し、失速迎角を基準とした 3 通りの迎角においてバースト周波数などを変化させた実験を行った。実験結果の比較から、DBD プラズマアクチュエータの剥離抑制能力はバースト周波数に強く依存、かつ条件によって剥離抑制を最大化するバースト周波数が異なることを示した。結果を詳細に議論することで、バースト駆動による制御に「バースト周波数で生成される渦構造の利用」と「遷移促進による乱流混合の利用」の 2 つのメカニズムが存在することを明らかにした。

第 5 章では、DBD プラズマアクチュエータを逆向きに設置した実験を行っている。駆動方向によらずバースト駆動による剥離抑制効果が確認され、対象としたケースにおいては誘起される運動量よりも DBD プラズマアクチュエータの周期駆動による誘起流れ構造が制

御効果の主要因であることを明らかにした。

第6章では、第4章から翼形状及びレイノルズ数を変化させた実験を行い、剥離流れの条件変化が第4章で明らかにしたバースト駆動の制御メカニズムに与える影響を議論した。その結果、「遷移促進による乱流混合の利用」のメカニズムによる制御性能は翼の形状変化や設置位置に敏感であるが、「バースト周波数で生成される渦構造の利用」のメカニズムによる制御性能は変化に対しロバストであることを示した。限られた条件下ではあるが、より高いレイノルズ数条件下においても「バースト周波数で生成される渦構造の利用」のメカニズムが剥離制御効果を有することを明らかにし、加えて低迎角時の前縁付近においては「遷移促進による乱流混合の利用」のメカニズムが剥離制御に有効であることを示した。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、実験的手法によって、過去に類を見ない幅広い条件下における流れ場解析によってDBDプラズマアクチュエータの流体制御機構を明らかにしたもので、得られた知見はDBDプラズマアクチュエータのみに留まらず能動的流体制御機構全般に対しても有用なものであり、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。