



岐阜大学機関リポジトリ

Gifu University Institutional Repository

Title	Flow control of leading edge separation on airfoil using DBD plasma actuator(内容と審査の要旨(Summary))
Author(s)	NAZRI BIN MD DAUD
Report No.(Doctoral Degree)	博士(工学) 甲第480号
Issue Date	2015-06-30
Type	博士論文
Version	ETD
URL	http://hdl.handle.net/20.500.12099/52123

この資料の著作権は、各資料の著者・学協会・出版社等に帰属します。

別紙様式第16号（論文内容の要旨及び論文審査の結果の要旨）

氏名（本籍）	NAZRI BIN MD DAUD（マレーシア）
学位の種類	博士（工学）
学位授与番号	甲第480号
学位授与日付	平成27年6月30日
専攻	生産開発システム工学専攻
学位論文題目	Flow control of leading edge separation on airfoil using DBD plasma actuator (DBD プラズマアクチュエータによる前縁はく離流れの制御)
学位論文審査委員	(主査) 教授 高橋 周平 (副査) 教授 小林 智尚 教授 今尾 茂樹

論文内容の要旨

現在、翼のはく離制御には前縁フラップやボルテックスジェネレータなど受動的手法の利用が一般的であるが、フラップは複雑な構造が必要であること、ボルテックスジェネレータは巡航時に抵抗となってしまうことなどの欠点がある。一方、能動的手法としては、はく離する境界層内に直接運動量を供給する吹き出しから、シンセティックジェットなどにより局所的に小さな変動を流れに付加する方法に至るまで様々な試みがなされている。流れ場の瞬時の変化などへの対応を考えると、能動制御の方が圧倒的に有利であるが、構造や応答性の問題とともに追加エネルギーの問題が付きまとう。近年、誘電体バリア放電 (Dielectric Barrier Discharge : DBD) を利用した DBD プラズマアクチュエータが注目されている。プラズマアクチュエータは、誘電体を挟む2つの電極だけで構成される単純な構造であり、応答性に優れ、さらに消費エネルギーが小さいという特徴を有し、各種流体機器への適用性の高さから更なる研究の進展が期待されている。アクチュエータにより誘起される流れは、せいぜい毎秒数 m 程度と小さいが、局所的な変動がその後の流れに大きな影響を与える前縁はく離流れなどの流れ場においては、極めて有効なデバイスと考えられる。数値解析に基づく研究では、このアクチュエータを断続的に駆動する Pulse Modulation (PM) が、より効率的に流れを制御できる可能性があると報告されている。

そこで本研究では、プラズマアクチュエータを間欠的に ON-OFF する PM 駆動を適用した場合の翼のはく離抑制効果とその抑制メカニズム解明を目的とし、アクチュエータを様々な条件下で駆動した場合の翼の揚力と翼まわりの流れを、最大揚力角以上の高迎角時において実験的に明らかにした。さらに、PM 駆動に振幅変調 (Amplitude Modulation : AM) を重畳させた PM+AM 駆動の場合のはく離抑制効果を明らかにした。本研究で得られた主な結論は以下の通りである。

- (1) アクチュエータを駆動すると、非駆動時よりも大きな迎え角まで揚力係数は増加する。そして、連続駆動では失速する迎え角において PM 駆動を適用すると、揚力係数はさらに増加し続け、最大値を示した後、 $St=0.6$ では徐々に $St=4.0$ では急激に減少する。この特性は PM+AM 駆動を適用した場合も同様である。
- (2) PM 駆動は翼上面の流れを変えることが可能で、 $St=0.6$ では翼上面に翼全体を覆うほど大きな渦を形成させ、 $St=4.0$ では小さなスケールの渦が翼前縁付近から連続的に発生して、その渦は翼から離れていく。
- (3) 揚力係数を高めるためには、迎え角 $\alpha=16^\circ$ では $St=4.0$ が効果的であるが、さらに迎え角の大きな場合には $St=0.6$ がより効果的である。
- (4) 高迎角時において PM+AM 駆動を適用すると、揚力係数は PM 駆動時よりもさらに大きくなる。
- (5) PM+AM 駆動を適用した場合、渦の成長がより著しくなって翼面近くまで流れを近づかせ、その結果、揚力係数の改善につながっている。

論文審査結果の要旨

本論文は、プラズマアクチュエータを用いて翼のはく離を能動的に抑制しようとするものである。プラズマアクチュエータによる翼のはく離制御に関しては、アクチュエータの設置位置およびその配置、アクチュエータの駆動方法などについて研究されている。本論文で取り上げたPM駆動による制御は、より少ないエネルギーでより大きな効果が得られるという点で大変興味深い現象であり、その制御メカニズム解明も望まれている。これまで行われた数値流体力学的アプローチによれば、PM駆動により生成されるスパン方向の渦が流下していく過程で強い縦渦を誘起し、主流から境界層内に運動量が供給されてはく離を抑制するとしている。しかしながら、このPM駆動の各パラメータがはく離を伴う流れ場を与える影響は未だ解明されていない部分が多く、実験的なアプローチが必要とされている。そこで本研究では、まずアクチュエータの最適駆動条件について、アクチュエータによる誘起流れそのものの計測から始め、アクチュエータの駆動電圧、駆動周波数、デューティ比などを種々に変えて調べている。そして、効果的な駆動条件下での流動特性を明らかにするため、速度分布、乱れ強さ、変動の周波数解析、流れの可視化から、翼面上に発生する渦の特性を明らかにした。得られた結果は、揚力係数の振る舞いと対応するものであり、PM駆動が効果的である理由を十分説明しうるものとなっている。さらに、振幅変調を重ね合わせることを新たに提案し、PM駆動時よりも効果があることを明らかにした。これらの知見は本研究において初めて明らかにされたもので、今後、はく離を伴う流れの制御に大いに役立つと思われる。このように、本論文は有用な知見を数多く見出しており、新規性、有用性の点で優れていると評価できることから、学位審査委員会は、審査の結果、この論文を学位論文に値するもの判定した。

最終試験結果の要旨

学位審査委員会は、提出論文の基礎となる発表論文（査読付き論文2編）の内容を確認し、平成27年4月21日に開催された学位論文公聴会における論文提出者との質疑応答と口頭試問などに基づいて審査を行い、最終試験に合格と判定した。

発表論文（論文名、著者、掲載誌名、巻号、ページ）

発表論文（学位論文に直接関係するもの）

1. Control of leading edge separation on airfoil using DBD plasma actuator, Nazri Bin Md Daud, Yasuaki Kozato, Satoshi Kikuchi, Shigeki Imao, *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol. 9, No.3, pp. 1-13, 2014.
2. Control of leading edge separation on airfoil using DBD plasma actuator with signal amplitude modulation, Nazri Bin Md Daud, Yasuaki Kozato, Satoshi Kikuchi, Shigeki Imao, *Journal of Visualization*, published online: 29 March, 2015. (DOI 10.1007/s12650-015-0283-0)

参考論文

1. Control of leading edge separation on airfoil using DBD plasma actuator, Nazri Bin Md Daud, Yuta Hirose, Takahito Kunieda, Yasuaki Kozato, Satoshi Kikuchi, Shigeki Imao, *Proceedings of 4th International Conference on Jets, Wakes and Separated Flows (ICJWSF2013)*, pp. 1-6.
2. Spread control of a rectangular jet by DBD plasma actuator, Yasuaki Kozato, Satoshi Kikuchi, Shigeki Imao, Yoshihisa Kato, Nazri Bin Md Daud, Kota Itoh, *Proceedings of 16th International Symposium on Flow Visualization (ISFV16)*, pp. 1-8.