

修士学位論文要約（平成29年3月）

ナノ秒パルス駆動 DBD プラズマアクチュエータにおける 剥離流れ制御の放電周波数依存性

今野 海航

指導教員：安藤 晃， 研究指導教員：高橋 和貴

Kaiki KONNO

Supervisor: Akira ANDO, Research Advisor: Kazunori Takahashi

In the study of a nanoseconds-pulsed-driven dielectric-barrier-discharge plasma actuator (NSDBDPA), we evaluated the effects of a discharge frequency on the separation flow control. Experiments were conducted in a wind tunnel facility with the NACA0015 airfoil model. The schlieren visualization results showed that a gas density around the airfoil was affected by an NSDBDPA actuation, resulting in the formation of vortices. From the comparison between results of the Schlieren visualization and aerodynamic lift measurements, it was confirmed that the vortex formation and the lift recovery closely correlates with the discharge frequency.

1. はじめに

現在、輸送機器として広く用いられている航空機では翼に沿って流れる気流から揚力を得ることで飛行している。この揚力は迎角の増大に伴って大きくなることが知られているが、一定の角度を超えると流れが翼面から剥離して揚力が大きく低下してしまう。この剥離を抑制する気流制御技術の開発・実用化が進められているが、近年、誘電体バリア放電(Dielectric Barrier Discharge: DBD)を利用し気流を制御する DBD プラズマアクチュエータ(DBD Plasma Actuator : DBDPA)が、反応速度の点や構造が簡便である点から注目されている。

DBDPA は印加電圧波形によって大きく 2 つに分類することができ、従来は交流駆動型 DBDPA (Alternative Current DBDPA: ACDBDPA)という手法が主に研究されてきた[1]。これは DBD によって発生した誘起流が翼表面の流れを加速することによって気流を制御する手法である。しかし、生成できる誘起流速は 10 m/s 程度であり、30 m/s を超える流速下では制御することが難しいと考えられている[2]。それに対して、もう一つの方法であるナノ秒パルス駆動型 DBDPA (NanoSecond pulse driven DBDPA : NSDBDPA)が高速流でも動作する可能性があり期待されている。この方式では誘起流がほとんど生成されないかわりに、放電時の加熱によって衝撃波や熱などといった乱れを生じる。この乱れが乱流遷移や渦構造の形成を促し、流れを混合することで気流を制御していると考えられている[3]。しかし、NSDBDPA によって生じた熱や衝撃波が流れ場とどのように相

互作用して気流の制御に結びついているかという点や、NSDBDPA の特性が変化したときに流れ場との相互作用がどう変化しているかという点は未だ明らかになっていない。そこで本研究の目的は、NSDBDPA 駆動時の密度勾配を可視化することによって NSDBDPA で生じた熱と流れ場との相互作用を明らかにする。また、放電周波数や迎角を変化させて同様の計測を行うことで、それらの特性が流れ場に与える影響を明らかにする。

2. 実験環境

上記の背景から本研究では翼にかかる力の計測、シュリーレン法による翼前縁周りの密度勾配の可視化という 2 つの実験を主に行なった。力の計測では東北大学流体科学研究所の低乱熱伝達風洞を、可視化実験では自作した小型風洞を用いてそれぞれ実験を行った。使用した翼は NACA0015 形状で、コード長が 100 mm、スパン長が 300 mm と 100 mm の二つの翼模型を用いた。PA の構造は図 1 に示すように前縁から翼下面に向かって放電が伸びるように電極を配置しており、

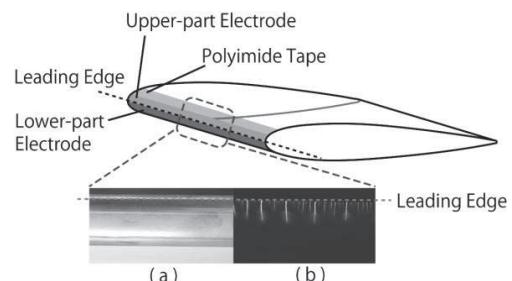


図 1 PA の構造と放電の様子(a)電極, (b)放電発光

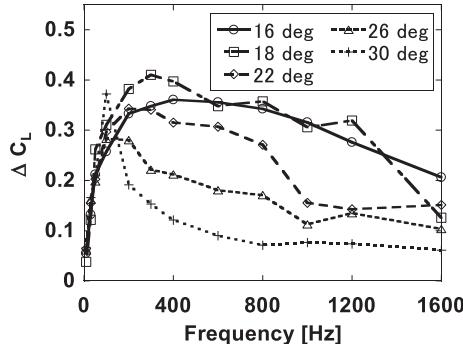


図 2 NSDBDPA 駆動時に生じる揚力係数の各迎角ごとの放電周波数依存性

PA に印加するパルス電圧は自作した誘導性エネルギー蓄積方式のパルス電源を用いている。

3. 翼にかかる力の計測

まず、NSDBDPA 駆動時に翼にかかる力の計測を行った。図 2 に風速 40m/s の条件で放電周波数と迎角を変化させた際の結果を示す。ここで、 C_L は翼面にかかる運動エネルギーで揚力を規格化したものであり、図 2 では NSDBDPA の ON 時と OFF 時の差 ΔC_L を示している。図 2 から NSDBDPA の駆動によって生じる揚力係数は風速 40m/s の場合、迎角 16 度のときに放電周波数 400 Hz で最大となり、それ以上周波数を大きくすると揚力係数が低下するという傾向が見られた。また迎角を 22 度にすると、揚力が最大となる放電周波数は 200 Hz となり、迎角を大きくすることで高い周波数での気流制御効果が低下することがわかった。

4. シュリーレン法による翼前縁周りの可視化

次に、シュリーレン法による NSDBDPA 駆動時の密度勾配の可視化を行った。風速 20 m/s で迎角 22 度という剥離条件下での流れに対して、放電周波数 1000Hz、放電電圧 10.8 kV で NSDBDPA を駆動した際の結果を図 3 に示す。図 3 から NSDBDPA を駆動すると、放電直後に圧力波による環状の明暗（衝撃波）が観測された。その後、放電から 200 μs 時点で放電電極より筋状の明暗が翼上面へと伸びていく様子が確認できた。そこから筋状の明暗は時間の経過とともに回転して円状へと変形し、大きく成長しながら下流へと流れていく様子が見られた。これは放電によって加熱されたガス領域が発生し、下流へ流れしていく中で渦へと遷移したと考えられる。さらに、図 4 に示すように放電周波数を変化して可視化を行ったところ、放電周波数が大きくなつた場合は明暗が断続的に発生することでそれらが重なり合い、ひとかたまりとなつて下流へと流れていく様子が確認できた。また迎角を大きくしたところ、円状の明暗はより大きく成長して下流へと流れていく様子が確認できた。

以上の結果から、迎角が大きくなるとせん断層が

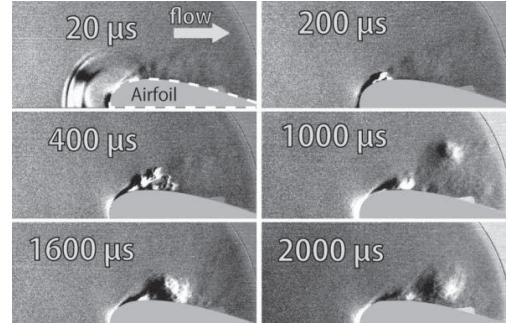


図 3 PA 駆動開始からシュリーレン像の時間推移

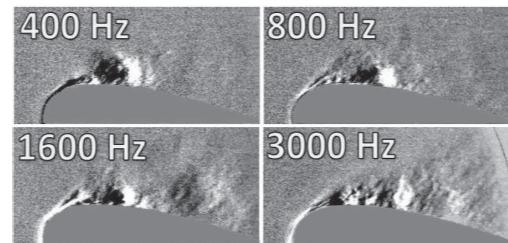


図 4 各放電周波数での放電後 800 μs でのシュリーレン像

強くなるため、渦がより大きく成長するようになるが、放電周波数が大きいときは、加熱されたガスどうしの間隔が短くなり、生成された渦どうしが重なり合い、渦の成長が阻害される。迎角が大きい時は剥離域も広がるために、気流の制御には大きなスケールでの乱れが必要になるが、放電周波数が高いと剥離域が狭くなり、渦の大きさによる影響が比較的小さくなつて低迎角でのみ気流制御効果が表れたと考えられる。

また、放電周波数が低い場合は渦がより大きく成長することができたため、高迎角でも気流制御効果が表れたのだと考えられる。

5. まとめ

NSDBDPA によって発生した熱と気流との相互作用について、翼にかかる力の計測と翼前縁周りの可視化を行った。その結果、可視化実験から放電によって加熱されたガスが渦へと進展している様子が確認された。また放電周波数と迎角を変化させた時、力計測と可視化実験の結果から剥離域と渦の大きさが気流制御効果に結びついており、渦の成長が阻害され、翼の剥離域に対して渦が小さい場合には効果が低下していることがわかった。

文献

- 1) E.Moreau, J. Phys. D: Appl. Phys. **40**, (2007).
- 2) M.Forte, J.Jolibois, J.Pons, E.Moreau, G.Touchard and M.Cazalens, Exp Fluids, **52**, (2014).
- 3) J.Little, K.Takashima, M.Nishihara, I.Adamovich, and M.Samimy, AIAA JOURNAL, **50**, (2012).