

補助事業番号 2020M-178

補助事業名 2020年度 車両の空力特性改善に資するプラズマアクチュエータの熱流動特性に関する研究補助事業

補助事業者名 都城工業高等専門学校 機械工学科 白岩寛之研究室 准教授 白岩寛之

1 研究の概要

近年、抗力抑制のため効果的な取り組みである、輸送機器の表面形状の変更による空力特性の改善は行き詰まりを見せている。そこで、形状変更だけでは達成し得なかった空力特性の改善を、プラズマアクチュエータを用いることで達成する取り組みが注目されている。本研究では、これまでの研究を通して、剥離抑制に対して、プラズマアクチュエータの流れのみならず、熱的影響が無視し得ない程度に大きいことが確認されたため、熱的影響を含めたプラズマアクチュエータによる車両の空力特性改善への影響をシュリーレンシステムによる可視化等により検討する。

2 研究の目的と背景

現代社会では、車や飛行機などの輸送機器が必要不可欠となっている。これらは空気を押しつけて推進するため抗力が生じる。近年、抗力抑制のため効果的な取り組みとして、輸送機器の表面形状の変更による空力特性の改善が積極的に行われているが、形状変更だけでは達成し得なかった空力特性の改善に着目し、例えばプラズマアクチュエータを用いることで達成する取り組みが注目されつつある。具体的には、プラズマアクチュエータは輸送機器形状に関係なく空気の剥離を抑制できる可能性があるため、空力特性の制約を受けずに自由に表面形状を変更することができる。

本研究の目的は、プラズマアクチュエータの最適な形状を検討すること、および解明されていないプラズマアクチュエータの熱流動特性を明らかにすることである。最終的には、車両の空力特性を改善するための最適なプラズマアクチュエータの設置位置に関する普遍的な法則性を検討することを目標とする。

3 研究内容

(1) プラズマアクチュエータの最適形状の検討(URL)

図1に流速測定実験装置の全体図を示す。高電圧高周波パルス電源(ケーアイテック、PSI-PG1040F)で高周波・高電圧の交流をプラズマアクチュエータに印加し、ノズルを經由させた誘起流の流速を、熱線流速計(ケニス、3-310-741)で測定する。ノズルは全長260mm、入口部の寸法は電極厚さ $t=18\ \mu\text{m}$ 、電極長さ $b=55\text{mm}$ より、断面積 $A_1=0.99\text{mm}^2$ である。出口部の寸法は縦2mm、横5mmより、出口部断面積 $A_2=10\ \text{mm}^2$ である。材料はアクリル板を使用した。熱線流速計は、同じくアクリル板で製作した設置台で水平面に対して垂直に、ノズル出口部分に合わせて固定した。

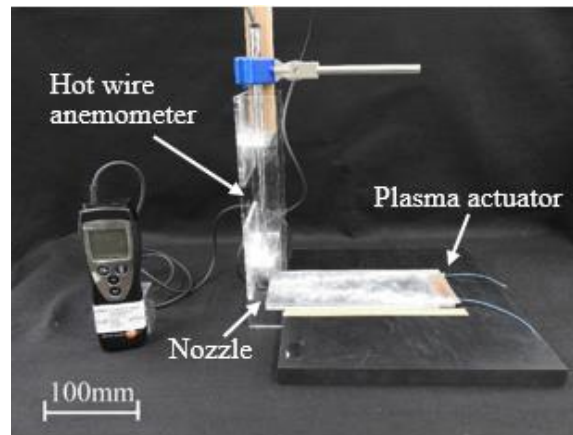


図1 流速測定実験装置

過去の研究に用いられていたノズルは、図2のようにプラズマアクチュエータを後方の穴にはめ込み測定する構造になっている。この構造の問題点はプラズマアクチュエータの取り換え時にノズル上板を外す必要があるため上板を固定できないことである。これによって測定時に気流が漏れ正確な測定ができない場合があった。そこで、図3のようにプラズマアクチュエータを差し込む構造に変更した。これによってプラズマアクチュエータの取り換え時にノズル上板を外す必要がなくなったため、ノズル製作時に上板を固定することができ、測定時に気流が漏れることがなくなった。

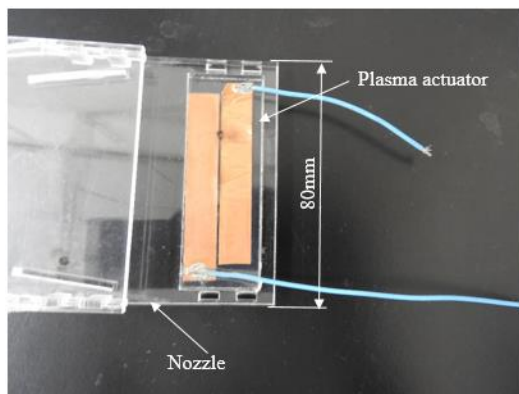


図2 改善前のノズル

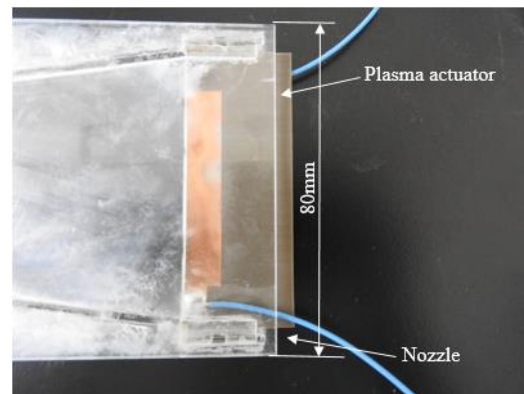


図3 改善後のノズル

正確な測定を行うには熱線流速計をテーブルに対して垂直に設置する必要がある。以前は熱線流速計を設置するのにスタンドを使用していたが、実験する毎に細かな調節を要し、必要以上の時間を費やすことになった。また、経年劣化等により支柱がゆがんでおり熱線流速計をテーブルに対して垂直に設置することが容易ではなかった。そこで、図4のような設置台を製作した。熱線流速計を差し込んで設置するもので、これにより細かな調節が減り以前より容易にテーブルに垂直に熱線流速計を設置することができるようになった。

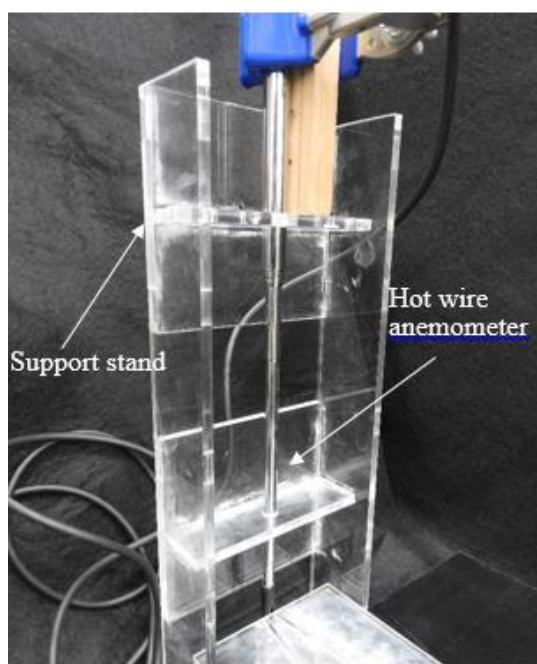


図4 熱線流速計設置台

鋸刃形状プラズマアクチュエータにおいて、最も効率よく気流を発生させることができる刃数 N を決定するための実験を行う。過去の研究結果に基づき、最適と考えられる電極厚さ $t=18\ \mu\text{m}$ 、電極部角度 $\theta=90^\circ$ と固定し、周波数を $F=20\text{kHz}$ とした。図5に電極部の形状を示す。ノズル出入口における連続の式を用いて、熱線流速計により測定したノズル出口部流速から誘起流速(ノズル入口部の流速) v_1 を導出した。

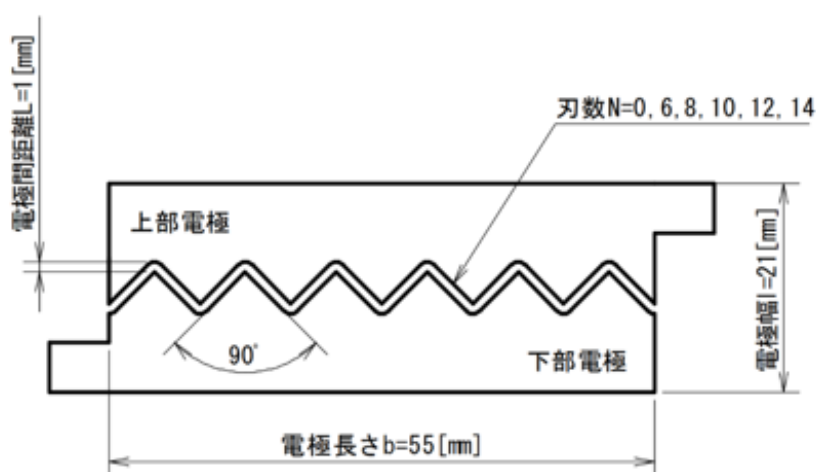


図5 電極部の形状

図6に導出した誘起流速 v_1 と印加電圧 E の関係を示す。図6より、印加電圧 V が大きくなると誘起流速 v_1 も大きくなるが、刃数については、いずれの電圧の場合も刃数 $N=10$ または 12 で最大値をと

っていることが分かる。刃数 $N=6\sim 8$ の領域において刃数 N の増加に伴って誘起流速 v_1 が大きくなっているのは、昨年度の研究で確認された、誘起流が刃の中心軸に集約される効果が、刃数 N の増加によって大きくなるからであると考えられる。また反対に、刃数 $N=12\sim 14$ の領域において流速が小さくなっているのは、同じく昨年度の研究で確認された、誘起流が上方方向に発散する力が発生する現象が強く表れた結果と考えられる。従って、今回の条件におけるプラズマアクチュエータ刃数の最適な値は $N=10$ であると考えられ、通常形状(刃数 $N=0$)と比較して $E=5\text{kV}$ において46%の性能改善が確認された。

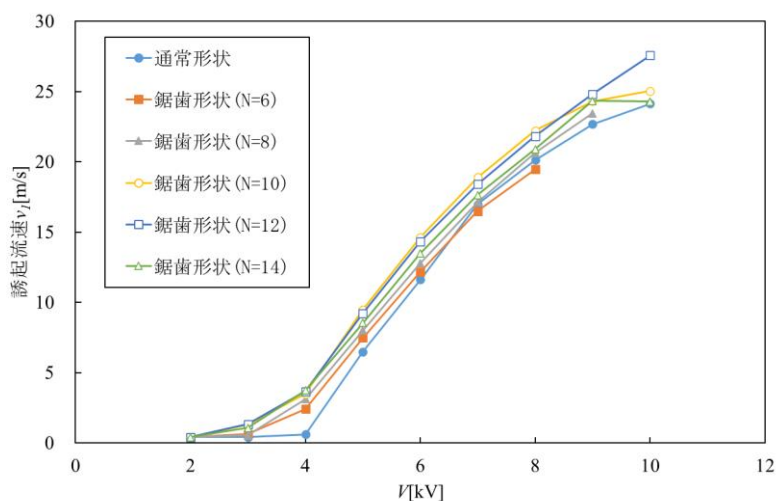


図6 誘起流速 v_1 と印加電圧 E の関係

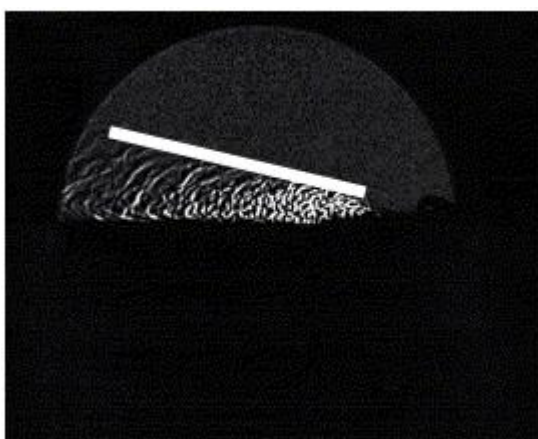
(2) プラズマアクチュエータの熱流動特性の検討

図7にシュリーレン装置を示す。今研究ではシステムシュリーレンSSシリーズ(カトウ光研、SS100)を使用した。シュリーレン法とは、主に温度差に起因して透明体の中の屈折率のわずかに異なる部分があるとき、光線の進行方向の変化を利用してその部分が明確に見えるようにするための光学的手法である。

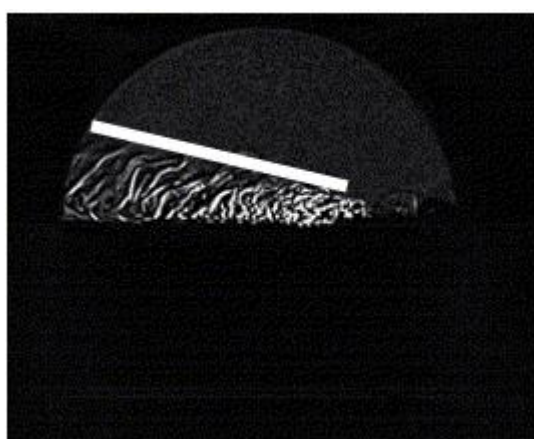


図7 シュリーレン装置

図8、9にそれぞれ、歯数 $N=8$ および $N=10$ における画像処理後の誘起気流の可視化結果を示す。各図の(a)は印加電圧 $E=8\text{kV}$ 、(b)は $E=9\text{kV}$ の場合である。図中の白線は気流の角度をわかりやすくするために引いたものである。図8、9から、刃数 $N=8$ のプラズマアクチュエータから誘起した気流は広がるように、刃数 $N=10$ のプラズマアクチュエータから誘起した気流は比較的まとまって流れている。これは数値による比較での考察同様誘起流が刃の中心軸に集約される効果に関係していると考えられる。刃の枚数が増加することでその効果が大きくなるため、刃数 $N=10$ のプラズマアクチュエータから誘起される気流は広がることなく流れていると考えられる。



(a) 印加電圧 $E=8\text{kV}$

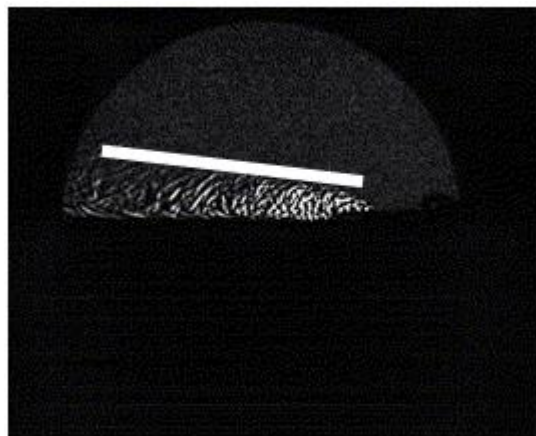


(b) 印加電圧 $E=9\text{kV}$

図8 歯数 $N=8$ における誘起気流の可視化結果



(a) 印加電圧 $E=8\text{kV}$



(b) 印加電圧 $E=9\text{kV}$

図9 歯数 $N=9$ における誘起気流の可視化結果

4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究成果は、プラズマアクチュエータを実用化に向けた一助になるものと考えられる。プラズマアクチュエータの実用性が向上することで、航空機、鉄道はもとより、風力発電、冷却設備、ビル風の抑制等空気の流れが関わるあらゆる局面で採用されることが期待される。また、

これまで着目されてこなかった、剥離抑制に対するプラズマアクチュエータの熱的影響を明らかにすることにより、様々な局面におけるプラズマアクチュエータの有効利用への道が拓かれることが期待される。

5 教歴・研究歴の流れにおける今回研究の位置づけ

研究代表者は、熱工学、伝熱工学、熱流体工学に関連した教育・研究活動を行ってきており、特に最近では、スターリング冷凍機、サーモサイフォン(特に凝縮熱伝達)、流下液膜式熱交換器、プラズマアクチュエータ等に関する研究を行っている。本事業で行ったプラズマアクチュエータによる車両の空力特性改善に関する研究は、研究代表者が対象とする研究領域において、主要テーマの一つとして位置付けており、引き続きプラズマアクチュエータの性能改善やいずれの車両にも当てはまるプラズマアクチュエータの最適な表面吹出し位置に関する普遍的な法則性について検討を行っていく予定である。

6 本研究にかかわる知財・発表論文等

- (1) 白岩寛之, 省エネ機器開発に関する産学連携研究, 一般社団法人霧島工業クラブ令和2年10月度例会, (2020.10.8)

7 補助事業に係る成果物

- (1)補助事業により作成したもの
該当なし
- (2)(1)以外で当事業において作成したもの
該当なし

8 事業内容についての問い合わせ先

所属機関名: 都城工業高等専門学校(ミヤコノジョウコウギョウコウトウセンモンガッコウ)

住 所: 〒885-8567

宮崎県都城市吉尾町473番の1

担 当 者: 准教授 白岩寛之(ジュンキョウジュ シライワヒロユキ)

担 当 部 署: 機械工学科(キカイコウガッカ)

E-mail: shiraiwa@cc.miyakonojo-nct.ac.jp

URL : <https://www.miyakonojo-nct.ac.jp/>