

補助事業番号 28-128  
補助事業名 平成28年度 輸送機器に設置するプラズマアクチュエータによる空力特性の最適化補助事業  
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

## 1 研究の概要

近年、抗力低減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、まず数値流体力学解析により輸送機器表面にプラズマアクチュエータの設置することによる空力特性改善の可能性を示し、また実際にプラズマアクチュエータを製作し流速測定を行った。

## 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、抗力低減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。

本研究の最終的な目標は、輸送機器表面にプラズマアクチュエータの設置することによる空力特性改善の可能性を検討し、プラズマアクチュエータの有無による剥離抑制に対する最適な形状と設置位置を検証することである。本報告では、一連の研究の第一段階として、誘電体バリア放電プラズマアクチュエータ（以下、PAと略記）によって誘起される流速測定実験および数値流体力学解析（以下、CFD解析と略記）による風洞解析から、最適な流速領域の考察を行う。

## 3 研究内容 (<http://www.miyakonojo-nct.ac.jp/files/9914/9473/5842/28.pdf>)

### (1) PA流速測定実験

図1には実験で使用した装置全体図を、図2にはPAとノズル部の詳細図を示す。高周波・高電圧の生成にはオゾン発生用高圧電源（ロジー電子、LHV-12AC）を使用し、印加電圧の調整には高圧電源への入力をスライドトランスで変化させた。また、PAから誘起される流速はノズル出口部（W 5.2×H 2.0mm）に設置された熱線流速計（testo 425）により測定した。な

お、PAから誘起される流れは十分に小さい。そのため、PA上面に設置した二次元ノズルにおいてPAから誘起された流れを大きくすることにより熱線流速計の測定精度を確保した。なお、PAから誘起された流れは、上面に設置したアクリル製二次元ノズルを介して、出口へと導かれる。プラズマを発生させる誘電体の上部電極（気流誘起側）および下部電極（接地側）には、長さ70mm、幅10mm、厚さ80 $\mu$ mの銅箔テープ（銅箔厚さ30 $\mu$ m+粘着剤）を取り付けた。ただし、実験においては、厚さ90 $\mu$ mのPTFEテープを誘電体として三枚重ねて使用した。PAから誘起される管路入口の流速 $v_1$ については、式(1)より求めた。

$$v_1 = \left( \frac{A_2}{A_1} \right) v_2 \dots\dots\dots (1)$$

ここで、 $A_1$ は銅箔厚さ30 $\mu$ m $\times$ 銅箔長さ70mmで構成される入口断面積、 $A_2$ はノズル出口部断面積（W 5.2 $\times$ H 2.0mm）、 $v_2$ は熱線流速計で測定したノズル出口の流速である。

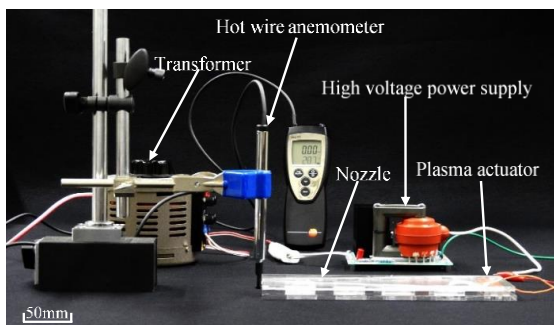


図1 実験装置

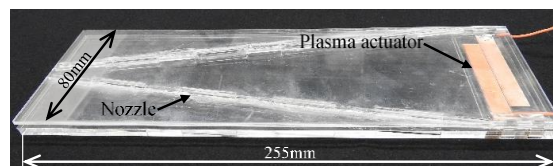


図2 PAとノズル部の詳細図

図3には、実験における入力電圧に対するPAから誘起された流速の関係を示す。図3から、流速が誘起されるためには一定の電圧が必要となり、入力電圧が20Vを超えると、流速は入力電圧に対し大きくなり、入力電圧が75Vで最大流速となる。その後、電圧を上昇させても流速は大きくならない。これはプラズマ生成時に発生する熱によって誘電体であるPTFEテープが溶け、正常なプラズマ生成ができなくなることに起因すると考えられる。

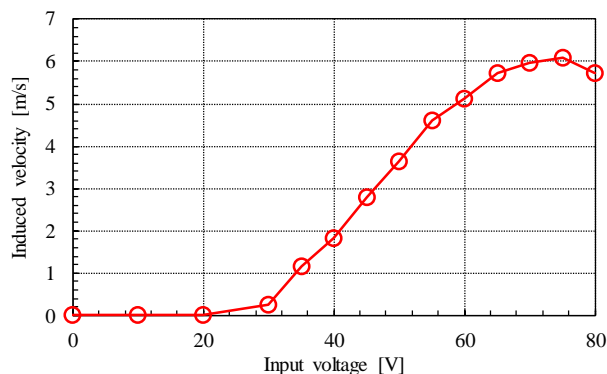


図3 PA誘起流速

## (2) CFDによる風洞解析

二次元CFD解析ソフトウェアFlowsquareにおいて、解析領域寸法を $L_x=5\text{m}$ 、 $L_y=2.5\text{m}$ （分割数 $N_x=512$ 、 $N_y=256$ ）として解析を行った。なお、今回の解析では、四次精度中心差分法およびLax-Wendroff法を採用した。図4には、解析対象とした輸送機器モデルを示す。車両モデルは下部移動壁から40mmの高さに配置し、車両モデルの頭頂部通過後の車両表面（ $x=1.9\text{m}$ 、 $y=0.7\text{m}$ ）の1格子に $x$ 方向の流速を与えることによりPAにより誘起される流れを仮定する。具体的には、車両表面に流速を与えることにより、剥離や乱れによって生じる渦の抑制を検討した。空気抵抗低減については、PA近傍および車両後端近傍の渦度を解析することにより評価する。表1は境界条件における $x$ 方向流速を示す。なお、 $y$ 方向流速はいずれも $0\text{m/s}$ であり、流体は $20^\circ\text{C}$ の空気とする。

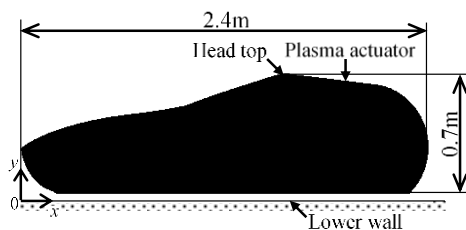


図4 輸送機器モデル

表1  $x$ 方向流速の境界条件

Inlet of velocity	8.33m/s ( $Re=1.32 \times 10^6$ )
Moving boundary of lower wall	8.33m/s
Plasma actuator	0, 1.91, 2.43, 2.76, 2.88, 3.35, 3.83, 4.30m/s

図5には、CFD解析におけるPAの流速に対するPAおよび車両後端近傍の渦度の最大値の関係を示す。図の縦軸に絶対値で示している点に留意されたい。図5から、いずれの箇所においても流速が大きくなるに伴い、渦度が小さくなり、流速が $2.4\text{m/s}$  から $2.9\text{m/s}$  にかけて大きく減少することわかる。すなわち、PAにより与える最適な流速範囲の目安になると考えられるが、詳細については今後の検討課題とする。

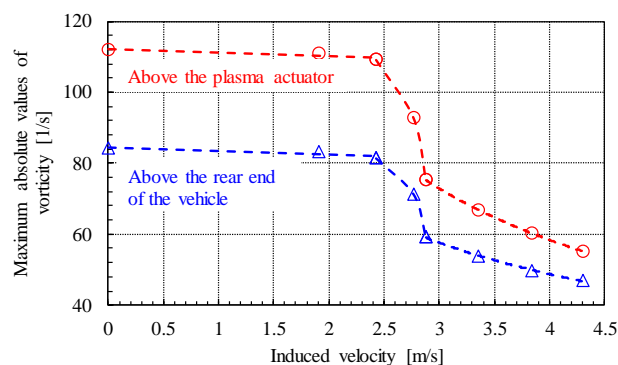


図5 PA流速と渦度の関係

## 4 本研究が実社会にどう活かされるか—展望

本研究において設計、製作した二次元風洞によるプラズマアクチュエータの流速測定、および二次元CFD解析による渦度の定量的な評価を行った結果、プラズマアクチュエータによ

る剥離抑制および抗力係数低減の可能性が示された。これらの成果について、学会発表等を通して積極的に情報発信を行ったことにより、プラズマアクチュエータの応用（特に輸送機器表面の剥離抑制）に関連する分野の研究の進展に寄与することが期待できる。

#### 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、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輸送機器表面の剥離抑制に関する研究は、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プラズマアクチュエータの最適な設置位置等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) 新田真史, 白岩寛之, 前田康貴, 亀田良平, 野村武司, 藤川俊秀, 輸送機器に設置するプラズマアクチュエータによる空力特性の最適化に関する研究, 日本実験力学会講演論文集 (2016年度年次講演会), 16 (2016.9.1), pp. 21-22.
- (2) 新田真史, 輸送機器に設置するプラズマアクチュエータによる空力特性の最適化に関する研究, 平成28年度都城工業高等専門学校卒業論文, (2017.1.31), pp. 1-29.
- (3) 新田真史, 前田康貴, 亀田良平, 野村武司, 白岩寛之, 藤川俊秀, 輸送機器に設置するプラズマアクチュエータによる空力特性の最適化に関する研究, 日本機械学会九州支部宮崎地区第9回学生研究発表会講演論文集, (2017.3.6), pp. 24-27.
- (4) 白岩寛之, 新田真史, 前田康貴, 藤川俊秀, プラズマアクチュエータによる輸送機器の空力特性改善-剥離抑制に適した流速領域の検討-, 実験力学へ投稿中.

#### 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473-1  
申 請 者： 准教授 白岩 寛之（シライワ ヒロユキ）

担当部署： 機械工学科（キカイコウガクカ）

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

U R L： [http://www.miyakonojo-nct.ac.jp/school-guide/outline/研究者総覧  
/機械工学科/白岩 寛之/](http://www.miyakonojo-nct.ac.jp/school-guide/outline/研究者総覧/機械工学科/白岩 寛之/)