

プラズマ環状流による噴流の拡散制御

—熱線流速計を用いた噴流構造の測定—

Control for diffusion of a round jet with annular plasma

-Measurement of the flow structure using a hot wire anemometer-

○勝俣翔平<sup>1</sup>, 宮城徳誠<sup>2</sup>, 村松旦典<sup>3</sup>, 木村元昭<sup>4</sup>

\*Shohei Katsumata<sup>1</sup>, Norimasa Miyagi<sup>2</sup>, Akinori Muramatsu<sup>3</sup>, Motoaki Kimura<sup>4</sup>

A Plasma actuator (PA) induces a flow of ambient gas by electrical hydrodynamic effects. In this study, the backward plasma induced flow was applied to control jet diffusion. In the case of high duty ratio, the PA induced flow generated faster than main stream velocity at the nozzle exit. However, the main flow velocity of the jet decreased rapidly and the diffusion of the jet was promoted. In this paper, the velocity in the controlled jets by PA is measured using a hot-wire anemometer to examine the different flow patterns.

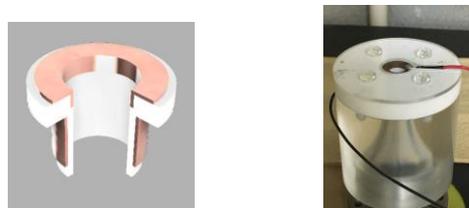
1. 緒言

噴流は燃焼, 伝熱, 攪拌の様々な工業分野で利用されている流れである。噴流を利用した機器の性能向上には, 噴流の制御技術は必要不可欠である。例えば, 噴流を用いた燃焼器の小型化に伴い空気と燃料の混合に伴う燃焼負荷率の低下等が発生すると考えられる<sup>[1]</sup>。これを改善するために, 能動制御の一つである DBD プラズマアクチュエータ (以下 PA) などの新規のアクチュエータを用いた研究が注目されている<sup>[2-3]</sup>。円形噴流の拡散制御に PA を適用し<sup>[4]</sup>, これまでに, PA により主流方向と同方向の誘起流れを与えた場合の間欠比駆動周期に対する, PA-ON を表す duty 比によって, 3つのパターンが生じることが確認されている<sup>[5]</sup>。

本研究では, 熱線流速計を用いて噴流方向に対して逆向きの誘起流れを与えた場合について, duty 比による噴出パターンの定量評価, 誘起流れの噴流拡散に対する挙動の解明を目的として実験を行った。

2. 実験装置及び実験方法

図 1(a)に本研究で用いた PA を, 図 1(b)にノズルに装着した状態の PA を示す。リング型電極周辺に環状プラズマが発生し, 電離作用により主流と逆向きの誘起流れが発生する。図 2 に実験装置の概用図を示す。出口直径  $d$  が 10 mm のノズルに同じく直径 10 mm の PA を出口ノズルに設置し, 静止空气中に空気を鉛直上方向に噴出させた。表 1 に実験条件を示す。 $Re$  は 1000 付近の値となるよう噴出速度  $U_0$  を決定し, PA の入力電圧を 7.5 kV, 入力周波数は  $f = 4.0$  kHz, 間欠駆動の周波数  $f_d$  は, 噴流の初期変動周波数より 75 Hz とした。また, PA 間駆動の duty 比による影響を観察するため,



(a) Plasma actuator (b) A nozzle fitted with PA

Figure 1. Photographs of a plasma actuator

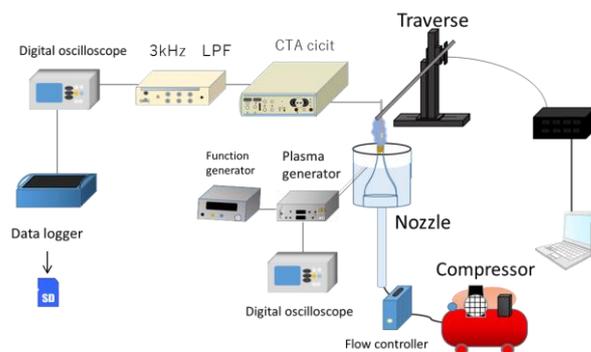


Figure 2. Experimental apparatus

Table 1. Experimental conditions

Jet fluid	Air
Nozzle diameter $d$	10 mm
Issuing velocity $U_0$	1.55 m/s
Flow rate $Q$	7.2 L/m
Reynolds number $Re$	1060
Drive frequency $f_d$	75 Hz
Input voltage $V$	7.5 kV
Input frequency $f$	4.0 kHz
duty ratio	0, 10, 50, 90, 100 %

1 : 日大理工・学部・航空  
3 : 日大理工・教員・航空

2 : 日大短大・教員・ものづくりサイエンス  
4 : 日大理工・教員・機械

duty 比 = 0 - 100 % の範囲に設定した. duty 比 = 0 % は PA が作動していない状態, duty 比 = 100 % は 連速駆動している状態である.

座標系はノズル出口中心を原点とし, 噴出方向 ( $x$  方向) 及び半径方向 ( $r$  方向) の極座標とする.  $x/d=0 \sim 10.0$  の位置において, トラバース装置を用いて  $r$  方向に噴流の中心軸から外側に向け, 熱線流速計プローブを  $0.1 \text{ mm/s}$  ずつ移動させながら計測した. 取得したデータから時間平均速度  $U$  と乱流強度  $u'$  を算出し, いずれも噴出速度  $U_0$  で割り無次元化した. 噴出方向及び半径方向の座標はノズル出口直径  $d$  で無次元化した.

### 3. 実験結果

図 3 に各断面における時間平均速度分布を示す. PA を印可した場合に, ノズル出口近傍( $x/d=0$ )の噴流中心速度は速くなる.  $x/d=0$  から  $x/d=3.0$  にかけて急速に減速し, duty 比が大きいもの程,  $x/d=6.0$  での速度が遅くなっている.

図 4 に拡散する噴流半値半径の流れ方向( $x/d$ )に対する変化を示す. ノズル出口付近( $x/d=0-3.0$ )では, duty 比が大きいもの程, 逆向き誘起流れによる縮流が確認出来る.  $x/d=3.0$  以降から, 噴流の半値半径が広がりはじめ,  $x/d=6.0$  では大きく広がっている.

図 5 に各断面における乱流強度を示す. 誘起流れの作用より, ノズル出口近傍における噴流のせん断層は  $r/d = \pm 0.4$  付近で速度変動が大きくなっている.  $x/d=3.0$  では噴流中心まで速度変動が発生し, 乱流強度が強くなっている.  $x/d=6.0$  では断面全体の乱流強度が弱くなっている. これは, PA の誘起流れの影響より剪断層が急激に発達したためであると考えられる.

### 4. 参考文献

- [1] 栗本直規ら, マイクロ・アクチュエータ群による同軸 2 重噴流混合の能動制御, 日本機械学会論文集 B 編, 70(694) 03-1311(2004)
- [2] 西田浩之ら, DBD プラズマアクチュエータの作動原理と基本特性, J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.10 651-656(2015).
- [3] 瀬川武彦ら, プラズマアクチュエータの産業応用, J. Plasma Fusion Res. Vol.91, No.10 (2015)665-670.
- [4] 宮城徳誠ら, 同軸型 DBD プラズマアクチュエータによる円形噴流拡散制御, 日本機械学会論文集 B 編, 79(806) 2041-2052(2014).
- [5] 宮城徳誠ら, 同軸型プラズマアクチュエータによる噴流拡散制御(誘起流れによる噴流境界層の不安定

性への影響), 日本機械学会年次大会, 0530401(2017)

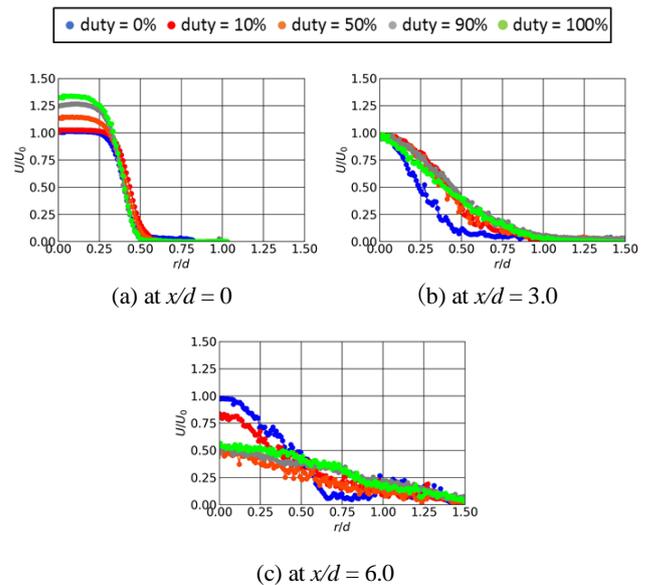


Figure 3. Mean velocity profiles for various duty ratio.

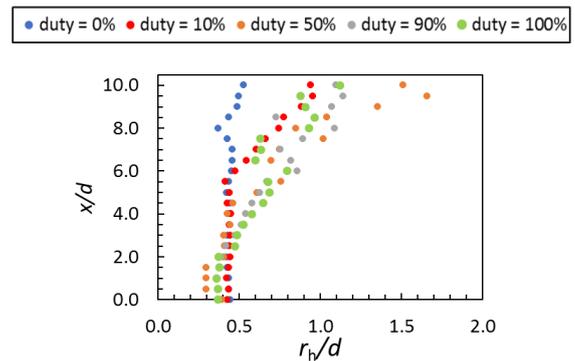


Figure 4. The diffusion widths of the jet for various duty ratio.

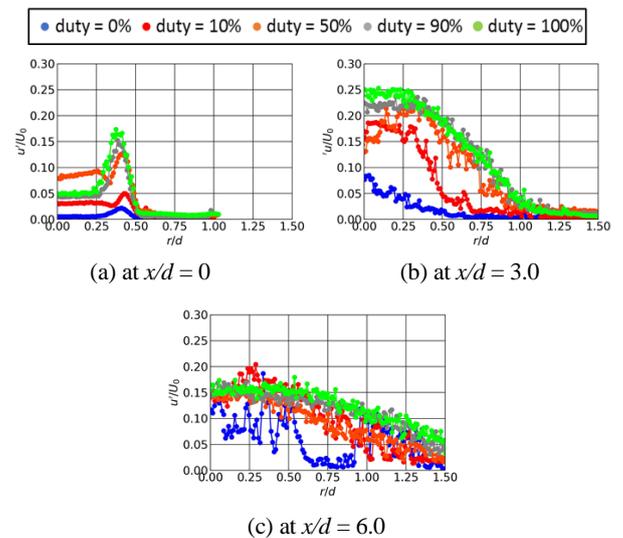


Figure 5. Turbulent intensity profiles for various duty ratio.