

K3-52

## プラズマアクチュエータによる噴流の制御 —熱線流速計による誘起流れの測定—

### Control for diffusion of a round jet by a plasma actuator -Measurement of induced flow using a hot wire anemometer-

○清水巧<sup>1</sup>, 宮城徳誠<sup>2</sup>, 村松旦典<sup>3</sup>, 木村元昭<sup>4</sup>

\*Takumi Shimizu, Norimasa Miyagi, Akinori Muramatsu, Motoaki Kimura

A plasma actuator (PA) induces a flow of ambient gas by electrical hydrodynamic effects and is applied to control jet diffusion. The controlled jets are classified to 3 kinds according to the duty ratio of the PA. Velocity in the controlled jets by PA is measured using a hot-wire anemometer to examine the different flow patterns. As a result, the velocity fluctuation due to the induced flow by the plasma near the nozzle exit is the largest when the duty ratio is 50%.

#### 1. 緒言

噴流の制御はバーナー火炎など様々な工業技術に使用されており, 可燃ガスの混合を制御することで高性能化, 高効率化, 小型化が可能である. そのため, 噴流の拡散促進, または抑制は重要な研究分野であると考えられる. また, 最近では DBD プラズマアクチュエータ (以下 PA) など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>[1-2]</sup>. さらに, PA の駆動周期に対する作動時間割合を示す duty 比によって, 3 つの噴出パターンが生じることが確認されている<sup>[3]</sup>.

本研究では, 熱線流速計を用いた誘起流れの測定, 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実験を行った.

#### 2. 実験装置及び実験方法

図 1(a)に本実験に用いた PA を, 図 1(b)にノズルに装着した状態の PA を示す. 図 2 に実験装置の概要図を示す. 出口直径  $d$  が 10 mm のノズルに同じく直径 10 mm の円筒型 PA をノズル出口に設置し, 静止空気中に空気を鉛直上方に噴出させた. 表 1 に実験条件を示す.  $Re$  は 1000 付近の値となるように噴出速度  $U_0$  を決定し, PA の入力電圧  $V$  は 12 kV (ギャップ電圧は 10 kV), 入力周波数  $f$  は 4.0 kHz, 間欠駆動の周波数  $f_d$  は, 噴流の初期変動の周波数より 75 Hz とした. また, PA 間欠駆動の duty 比による影響を観察するため duty 比を 0 ~ 100% の範囲で設定した.  $duty = 0\%$  は PA が作動していない状態,  $duty = 50\%$  は PA が一周期 (13.3 ms) 当たり, 50% の時間 (6.66 ms) 作動している状態,  $duty = 100\%$  は連続駆動している状態である.

測定条件はノズル出口中心を原点とし, 噴出方向 ( $x$  方向) および半径方向 ( $r$  方向) の二次元座標とする.  $x/d = 1.0 \sim 6.0$  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



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

Figure 1. Photographs of a plasma actuator

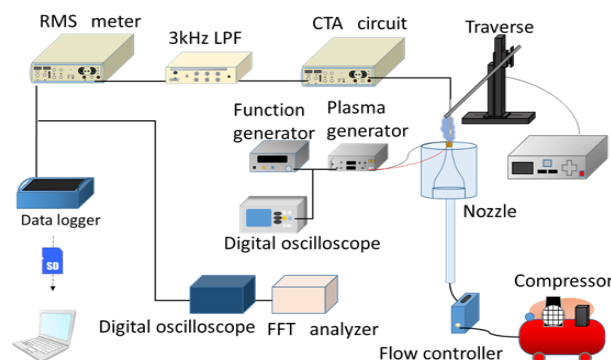


Figure 2. Experimental apparatus

Table 1. Experimental conditions

Jet fluid	Air
Nozzle diameter $d$	10 mm
Issuing velocity $U_0$	1.54 m/s
Flow rate $Q$	7.4 L/min
Reynolds number $Re$	1024
Drive frequency $f_d$	75 Hz
Input voltage $V$	12 kV/10kV
Gap voltage	(P-P)
Input frequency $f$	4.0 kHz
duty ratio	0, 10, 30, 50, 70, 90, 100 %

1 : 日大理工・学部・航宇

2 : 日大短大・教員・ものづくりサイエンス

3 : 日大理工・教員・航宇

4 : 日大理工・教員・機械

線流速計プローブを 0.1 mm/s で移動しながら計測した。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、いずれも噴出流速  $U_0$  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(a)に時間平均速度分布, (b)に乱流強度分布を示す。ここではノズル出口近傍の  $x/d=1.0$  のみ取り扱った。図 3(a)より duty 比を変化させてもほとんど速度分布に変化は見られなかった。図 3(b)より噴流のせん断層である  $r/d = \pm 0.4$  付近で速度変動が大きくなっている。これは PA による誘起流れの影響であると考えられる。また、中心軸上の速度変動が  $duty = 50\%$  のときに変動値が最大となる。

図 4 に速度変動の波形を示す。ここでは時間平均速度分布より最も特徴的な duty 比 ( $duty = 0\%, 10\%, 50\%, 90\%$ ) のみ取り扱った。図 4 より  $u'/U_0$  について、 $duty = 0\%$  のとき振幅はとて小さな変動となる。また周期に乱れが見られ、これはせん断層による影響と考えられる。次に  $duty = 10\%$  のとき振幅は約 0.1 となり、 $duty = 0\%$  の振幅よりも大きくなる。 $duty = 50\%$  のとき振幅は約 0.25 となり、実験条件の中で最大となる。また、周期的にきれいな三角波のような変動となる。 $duty = 90\%$  のとき周期に変化は見られないが、振幅は 0.1 ~ 0.2 の間で変化する。さらに、速度変動の時間的な変化のパターンについて、他の duty 比に比べ、 $duty = 90\%$  のとき  $t=0.2$  sec ごとに振幅が減衰するパターンが確認できた。

最後に、速度変動波形の周波数成分の流れ方向の変化を評価するため、パワースペクトル密度 (以下 PSD) を算出した。図 5 に  $duty = 50\%$  のときの PSD を示す。PSD は  $x/d = 1.0$  における各 duty 比、座標ごとでそれぞれの乱流強度をとって無次元化し、横軸に周波数、縦軸に PSD、奥行き軸に噴出方向断面座標を示す。ここでは速度変動波形より最も特徴的な duty 比のみ取り扱った。図 5 より  $x/d=1.0 \sim 4.0$  のとき 75 Hz の値でピークになり、 $x/d = 5.0, 6.0$  では散逸している。また、PSD の強さはノズル出口付近である  $x/d=1.0$  で最大値をとっており、下流に行くに従いピークの値は小さくなる。

### 4. 結論

- 図 1, 2 よりプラズマによる誘起流れは  $duty = 50\%$  で大きく影響を及ぼす。
- 図 3, 4 より噴流は駆動周波数の影響で変化し、噴流の拡散は  $duty = 50\%$  で起こりやすい。

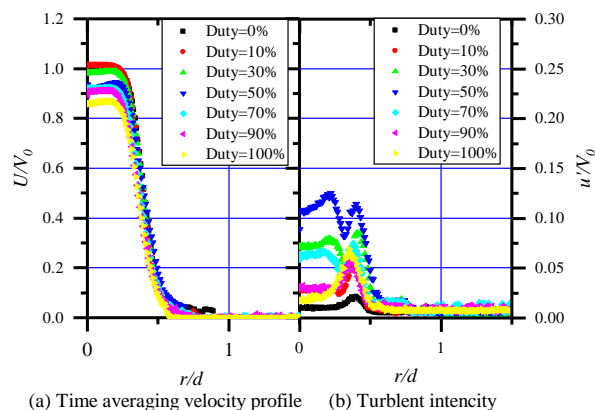


Figure 3. Velocities profiles ( $x/d = 1$ )

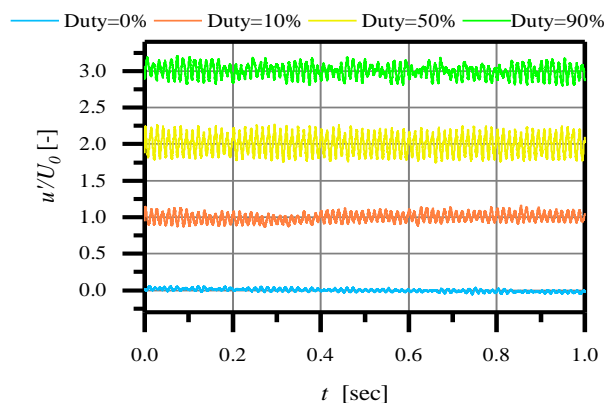


Figure 4 Velocity fluctuations ( $x/d = 1.0, r/d = 0.4$ )

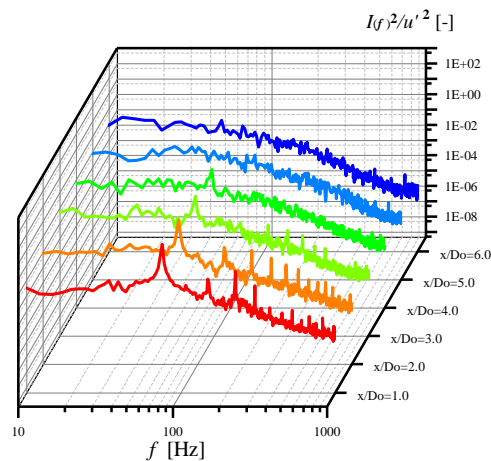


Figure 5. Power spectra ( $duty = 50\%, r/d = 0.4$ )

### 5. 参考文献

- [1] 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 (2015)651-656.
- [2] 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.
- [3] 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(CO<sub>2</sub>ガスへの適用), 日本機械学会年次大会, S0510504 (2014).