

K3-45

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補足— Control for diffusion of a round jet by a plasma actuator

○白壁潤一¹, 宮城徳誠², 村松旦典³, 木村元昭⁴

*Junichi Shirakabe, Norimasa Miyagi, Akinori Muramatsu, Motoaki Kimura

A plasma actuator (PA) induces a flow of ambient gas through the use of electrical hydrodynamic effects. The PA 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 is measured using a hot-wire anemometer to examine the different flow patterns.

1. 緒言

噴流の混合制御はバーナー火炎において高効率化, 高性能化, 小型化につながるとされている. 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.

最近の流体制御デバイスとして, DBD プラズマによる誘起流れを用いた, プラズマアクチュエータ (以下 PA と表記する) が注目されている^[1-2]. 本研究では円形噴流の拡散制御に適用している^[3]. 著者らの研究において, PA 間欠駆動周期に対する, PA-ON 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^[4]. 本実験は, 熱線流速計による誘起流れの補足と噴出条件の定量評価, また誘起流れの噴流拡散に対する挙動の解明を目的とした.

2. 実験装置及び方法

図 1 (a) に 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 PA をノズル出口に設置し, 静止空气中に空気噴流を鉛直上方 (x 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に噴出速度 U_0 を決定し, PA の入力電圧 V は 6.0 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.

間欠駆動の duty 比による影響を観察するため duty 比を 0% から 100% の範囲で設定した. $duty=0\%$ は PA が作動していない状態であり, $duty=100\%$ は連続駆動している状態である. $x/d = 1, 2, 4, 6$ の位置において半径方向 (r 方向) にトラバース装置を用いて, 熱線流速計プローブを 0.1 mm/s で移動させつつ, 噴流の中心軸から外側に向け, それぞれの断面の速度分布計測を行った. 熱線流速計 (Kanomax : HW7000Sr) の出力をデータロガー (AandD : RM1100) を用いて, 1 秒間に

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	6.0 kV
Input frequency f	4.0 kHz
duty ratio	0, 10, 30, 50, 70, 90, 100 %



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

Figure 1. Photographs of plasma actuator

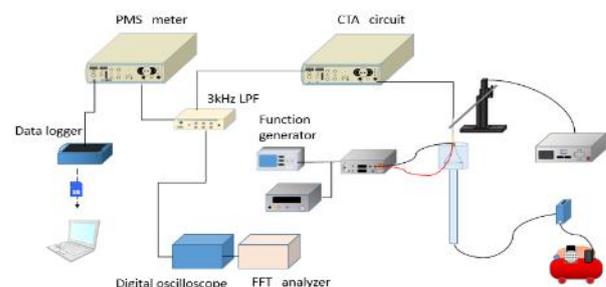


Figure 2. Experimental apparatus

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

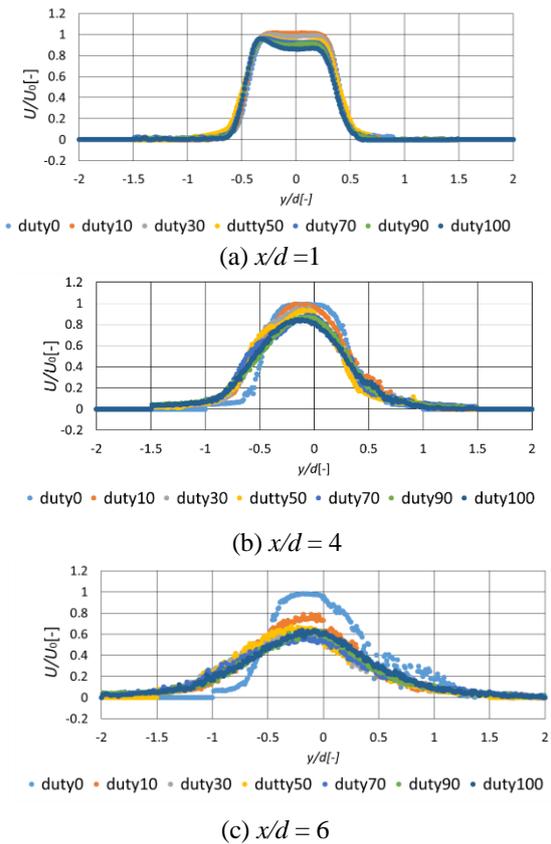


Figure 3. Mean velocity profiles

10 kS で取得し保存した。その後パソコンにて、1 秒毎の局所時間平均値を取得し、移動座標とあわせて速度分布を得た。

3. 実験結果

図 3 に時間平均速度分布を示す。図 3 (a) は出口近傍の $x/d=1$ ，図 3 (b) は渦輪の干渉領域である $x/d=4$ ，図 3 (c) は完全発達領域 $x/d=6$ での速度分布を示す。図 3 (a) の出口近傍では 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) 及び (c) では PA が ON の場合、渦輪の発達により噴流の幅は広がったが duty 比による大きな変化は見られなかった。

図 4 は乱流強度を示す。図 4 (a) の出口近傍では噴流のせん断層 $y/d = \pm 0.5$ 付近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と考えられる。また $duty = 50\%$ のときに変動値が最大となった。図 4 (b) 及び (c) では、下流においても誘起流れによるものと思われる変動が見られ、 $duty = 0\%$ と比較しても拡散混合が促進していることがわかる。 $duty = 50\%$ 及び 70% のときは中心速度の変動が特に増加しており、 $duty = 10\%$ 及び $duty = 90\%$ と 100% のとき、中心速度の変動が減少していることが確認された。

図 5 に $duty = 30\%$ ， $x/d = 6$ ， $r/d = 0.20$ の位置での速

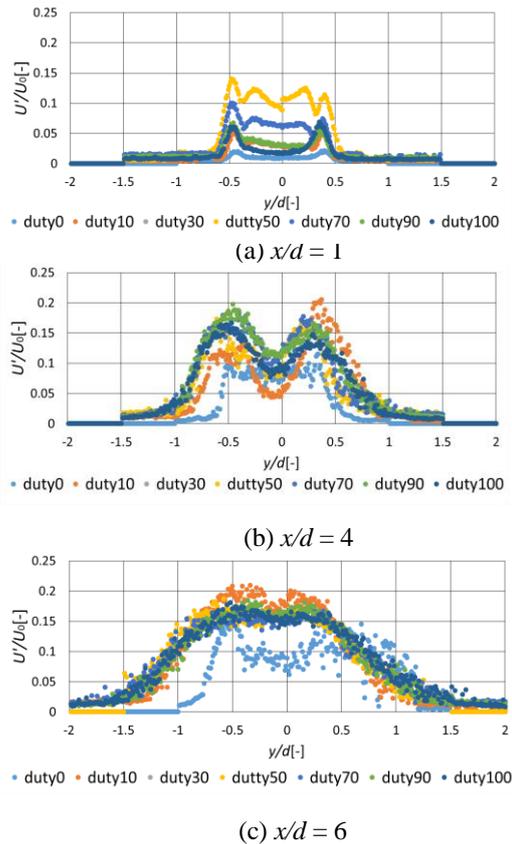


Figure 4. Turbulent Intensity profiles

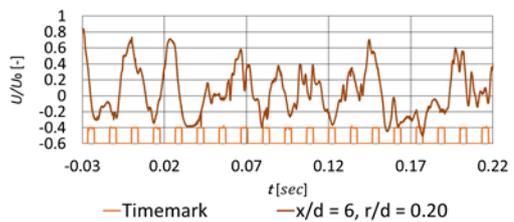


Figure 5. Velocity fluctuation ($x/d = 6$)

度変動の波形を示す。 $t = 0.02 \text{ sec}$ 付近において綺麗な正弦波が観察された。これはこの位置で渦輪が発生したと考えられる。

4. 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．日本機械学会論文集 B 編，79(806) 2041-2052.
 [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 (CO₂ ガスへの適用)，日本機械学会年次大会，S0510504 (2014).