

K3-48

同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いた噴流拡散および抑制の制御に関する研究 Study on Jet Diffusion and Suppression Control by the Coaxial Type DBD Plasma Actuator

井上和馬¹, 加藤諒也¹, 山根直人¹, ○山本一肇¹, 松森大記², 秋元雅翔³, 木村元昭³
Kazuma Inoue¹, Ryoya Kato¹, Naoto Yamane¹, *Kazutada Yamamoto¹
Hiroki Matsumori², Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

Abstract: In this study, we applied induced flow with coaxial type DBD plasma actuator to the jet and investigated the effect of the flow diffusion control by LDV. The jet was air. The peak-to-peak Voltage was 16 kV. The Reynolds number was set to 2000. As a result of the experiment, when plasma was applied, the main flow velocity distribution spread in the radial direction by the vortex. In addition, due to the influence of the induced flow, the flow velocity in the main flow direction in the vicinity of the center became slower than the vicinity of the nozzle wall surface.

1. 緒言

噴流はジェットエンジンや空調などの重要な工業製品の性能向上に関わる要素の一つであり^[1], その制御方法の一つにプラズマによって発生する誘起流を用いたものがある. 本研究では誘起流を発生させる DBD-PA(Dielectric Barrier Discharge-Plasma Actuator)^[2]を使用して, 主噴流に空気を用いて制御を行う. ここで, LDV(Laser Doppler Velocimeter)と高速度カメラを用いて DBD-PA による噴流制御の影響を明らかにする.

2. 実験装置・方法

本実験で用いる同軸型 DBD-PA の断面図と寸法を表した全体図を図 1(a), その主噴流と誘起流を図 1(b)に示す. 誘電体の材質はマシナブルセラミックスである. 内部電極, 外部電極の材質はリン青銅とし, どちらも厚さ 0.5mm の円筒状に加工した. 電極を誘電体にはめ込み DBD-PA を構成した. ここでノズル出口内径 $d=10\text{mm}$ である. 実験装置の説明を次に示す. ファンクションジェネレータの波形を高電圧電源にを入力し, ピーク電圧を 2000 倍に増幅して DBD-PA に印加する. 使用する電圧波形は正弦波とした. 噴出流体は空気とし, コンプレッサーから供給される空気の流量をフローコントローラで調節する. そして, シーディングジェネレータに通してトレーサ粒子を混入し, ノズルから噴出させ, 噴流の流速を LDV を用いて測定し, 高速度カメラを用いて 12000fps で可視化撮影した. 噴出させた空気はレイノルズ数 $Re=2000$ である.

ここで本実験で使うバースト波形を図 2 に示す. バースト周波数 f_{burst} はバースト波における電圧の on-off を含む周期 b の逆数であり, バースト比 a/b は 50% とした. この時印加する f_{burst} は自然発生周波数 f_n によ

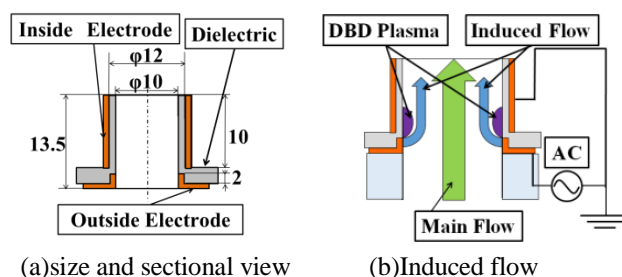


Figure 1. DBD-PA

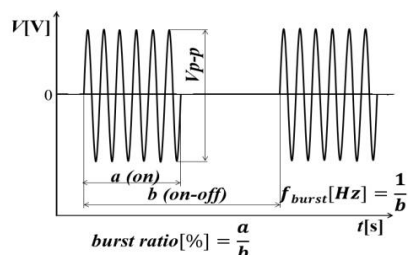


Figure 2. Burst-mode wave overview

で決定する. f_n とは, $Re=2000$ において自由噴流での渦が $x/d=1.5$ で発生する周波数のことである. 実験は f_{burst} を $V_{p-p}=16\text{kV}$ 一定のもと印加させた. また, ここで x は鉛直上向きを正とする. このとき高さ x/d を固定してノズルの中心軸から外側までを 0.1 または 0.25mm 間隔で測ることで, その高さにおける噴流の速度分布のデータを得る. このデータを印加する電圧と周波数について比較することで噴流の制御について考察する.

3. 実験結果および考察

バースト周波数について自然周波数と同じ周波数, すなわち $f_{burst}=1.0f_n$ について考察する. x/d ごとの LDV で測定した噴流の流速分布を図 3, 4 に示す. グラフは縦軸が主流方向平均流速 U , 横軸をノズル中心軸からの距離 y と半径 r との比としている. 図 3 は自由噴流(以

1 : 日大理工・学部・機械, 2 : 日大理工・院 (前)・機械, 3 : 日大理工・教員・機械

下 off とする), 図 4 は電圧を印加した場合の噴流(以下 $1.0f_n$ とする)である. この 2 つの図の比較から分かる点が 2 つある. 1 つ目は自由せん断層外周より内側の速度分布の形が異なる点である. off に比べて $1.0f_n$ は中心付近で減速し, 壁面付近で増速した. 壁面での増速は誘起流がノズル壁面で作用するためで, 中心付近での減速は, 流量が一定であるために壁面付近で U が速くなった分中心付近の U が減速するためである. 2 つ目は半径方向に U 分布が拡大する点である. 例として $y/r=1.5$ に注目すると $x/d=2.0$ 以上では off に比べ $1.0f_n$ において流速が速いことが分かる. この要因は図 5 の $x/d=1.0$ での半径方向平均流速 V 分布により分かる. V の値は正が半径方向, 負が中心方向を向く流速である. 図 5 からノズル壁面($y/r=1.0$)より内側で $1.0f_n$ では, V は正の大きな値をとっている. ここから, 主流中心の流れが V の増加で噴流の外側へ拡大するために, off に比べ U の分布が $x/d=2.0$ 以上で半径方向に拡大した. ここでノズル壁面内側で V が増加する要因について図 6, 7 より述べる. 図 6 では $x/d=1.0$ での主流方向と半径方向の根平均二乗速度分布を表し, 図 7 は噴流の xy 断面の可視化画像で, (a)は off, (b)は $1.0f_n$ である. 図 6 では壁面より内側($y/r=0.5$)で大きな乱れが発生するが, これは図 7(b)より壁面より内側まで作用する大きな渦の影響を表していると考えられる. この渦により, 壁面内側で V が増加したと考えた.

4. 結論

同軸型 DBD プラズマアクチュエータについて噴流の速度分布の測定により以下のように結論を導いた.

- (1) 誘起流の影響で主流流速分布についてノズル壁面付近で流速が速くなり, 中心で流速が遅くなる.
- (2) DBD-PA の駆動によって大きな渦が発生し半径方向の流速が増速することで, 自由噴流に比べ, 噴流を半径方向へ拡散させることができる.

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 25420132, 16K06131[基盤研究(C)]の助成を受けたものであり, ここに謝辞を表す.

6. 参考文献

[1] 社河内敏彦:「噴流工学 基礎と応用」, 森北出版, pp. i, pp.22, 2004.
 [2] 深淵康二, 山田俊輔, 石川仁:「プラズマアクチュエータの基礎と研究動向」, ながれ, Vol.29, No.4, pp.243-250, 2010.

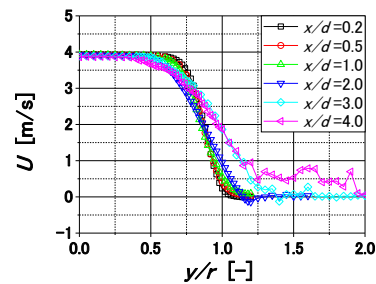


Figure 3. Velocity of main flow direction-distance from the center/radius of the nozzle (off, $Re=2000$)

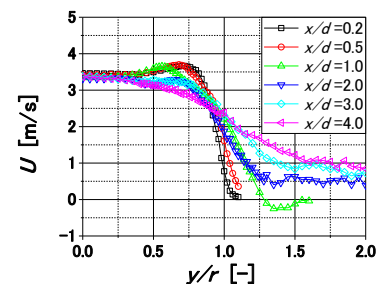


Figure 4. Velocity of main flow direction-distance from the center/radius of the nozzle (burst, $1.0f_n$, $Re=2000$)

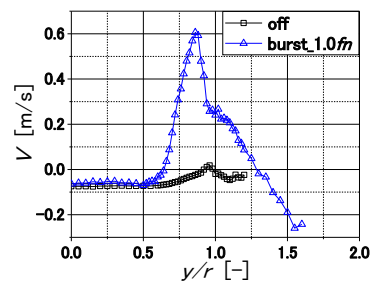


Figure 5. Velocity of radial direction-distance from the center/radius of the nozzle (burst, $x/d=1.0$, $Re=2000$)

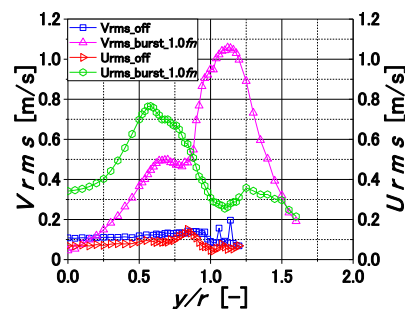


Figure 6. root-mean-square Velocity of main flow and radial direction-distance from the center/radius of the nozzle (burst, $x/d=1.0$, $Re=2000$)

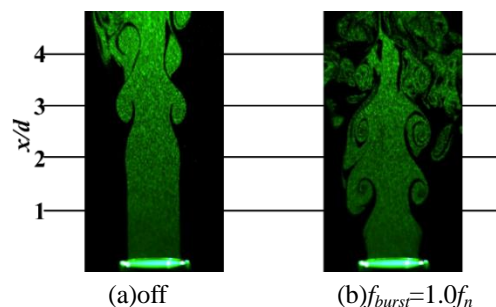


Figure 7. Visualization of flow($Re=2000$, section of xy)