

K6-80

同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いた噴流拡散制御 Jet Flow Control by DBD Plasma Actuator of Same Axis

○佐用謙太郎¹, 富田康介¹, 吉野伸昭¹, 朝倉洵², 大西真澄², 金洪宇², 木村元昭³
Kentaro Sayo¹, Kosuke Tomita¹, Nobuharu, Yoshino¹, Jun Asakura², Msazumi Onishi, Hongyu Jin,
Motoaki Kimura

A dielectric barrier discharge (DBD) plasma actuator has been investigated as a device for flow control by many laboratories. In this study, we think that we will use it for the jet diffusion such as engines. In this experiment, we examined the difference of the influence given to the primary jet when it change the cylinder sizes of the electrode set up in the same axis at the nozzle exit. Moreover, it measured it when the voltage and the frequency were changed. As a result, the spreading effect of the jet flow was seen by the rise of the voltage and the frequency.

1. 緒言

近年, 大気圧放電により生成されるプラズマを利用した流体制御技術 (プラズマアクチュエータ) が大きな注目を集めている^[1]. 従来の実験は噴流の初期領域においてプラズマを発生させ, その誘起流れを用いて速度変動を生じさせ噴流の拡散制御を試みている^[2]. 今回の実験では主噴流と同軸方向に誘起流れを発生させるプラズマアクチュエータを用いて, 主噴流にどのような影響を及ぼすか実験を行い, その際の電圧と周波数を変化させた場合について報告する.

2. プラズマアクチュエータの作動原理

誘電体バリア放電 (DBD: dielectric barrier discharge) を発生させる方法として, テフロン, ポリイミド等の誘電体の表裏に薄い電極を図 1 のように壁面上に配置し, 数 kV 程度の交流 (印加周波数 数 kHz) 電圧を印加する. 裏面には放電を抑えるための絶縁処理を施す. 電圧を印加すると同図に示すように DBD プラズマが起り, 外側電極から内側電極に向かう向きに外力による誘起流れ (ブローイング力) が発生する. 壁付近に誘起される流れは壁面剪断層の速度分布に影響を与える効果があることが報告され^{[2][3]}, これを噴流の制御に用いる.

3. 実験装置・方法

図 2 に電極寸法を示す. 銅製の内電極・外電極の厚さは共に 0.5mm でポリイミド製の誘電体の厚さは 1.0mm である. 図 3 に円形ノズル出口に設置された DBD プラズマアクチュエータの断面と主噴流および誘起流れの全体図を示す. 内径 $d=10\text{mm}$ のアクリル製軸対称速度均一ノズルに, 図 3 のように電極を同軸に配置し, DBD プラズマアクチュエータを成形した. 電源 (PSI 製: PSI-PG1040F) より印加電圧 2kV~6kV, 周波数 4kHz~15kHz の交流電圧を加えてプラズマを発生させ, ノズルから噴出する噴流の拡散制御を試みた.

図 4 に実験装置を示す. 実験では空気を圧縮機からノズルに供給し, $Re=1000$ (2.3m/s) の条件で実験を行った. 噴流の可視化には $1\mu\text{m}$ 程度のシード粒子 (オンジンオイル) を空気に混入してからノズルより大気中, 鉛直上方に噴出し, Nd:YAG レーザ (Omicron 製:

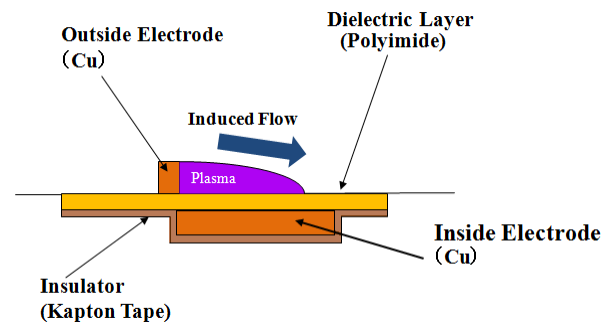


Figure 1. DBD plasma actuator

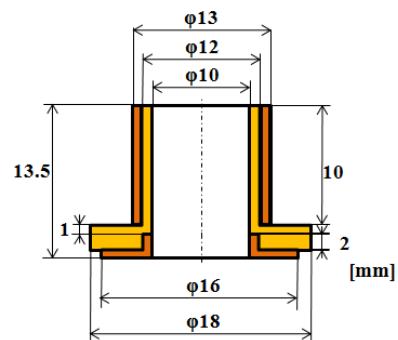


Figure 2. Size of electrode

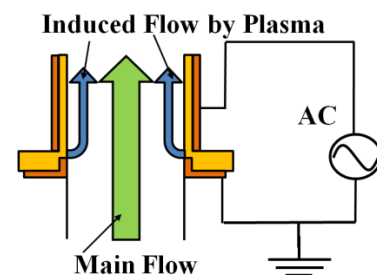


Figure 3. Overall view of induced flow

LA-D40-CW, $\lambda=532\text{ nm}$)を用いたレーザーライトシート法により噴流軸中心上を可視化し, ハイスピードカメラ (Photron 製: FASTCAMSA1.1)を用いて噴流の初期領域: $x/d=6$ までの影響を撮影した. ここで, x はノズル出口から噴出方向, y はノズル中心から直径方向の距離を示す. さらに PIV 解析を行った.

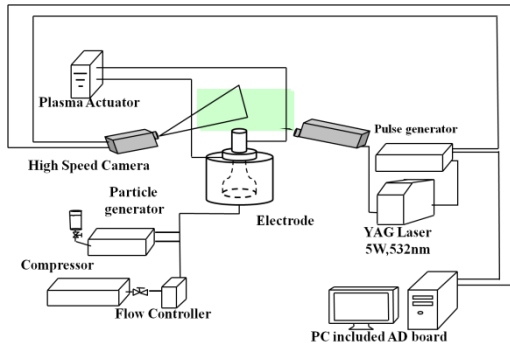


Figure 4. Experimental apparatus

4. 実験結果および考察

図 5 に $Re=1000$ のプラズマを発生させない場合 (OFF) の可視化画像と周波数を 4kHz に固定し電圧を変化させた場合の可視化画像を示す。OFF と電圧が 3.38kV の場合とを比較すると拡散効果が見られないが、電圧を高くするにつれ誘起流れが主噴流に渦輪を発生させ、 $x/d=4$ の位置で拡散している。これは電圧が高くなる事でプラズマによって発生する誘起流れが増加し主噴流に与える乱れが大きくなるからと考えられる。

図 6 に 5.5kV 付近の電圧で周波数を変えた場合の可視化画像を示す。また、図中の線は噴流が乱れ始める位置を示す。この図から周波数が高くなるにつれ主噴流の拡散が大きくなり、乱れる位置が噴出口に近くなる事が分かる。このことから周波数を高くする事で発生する誘起流れが電圧を変えた場合よりも速いため、主噴流に与える影響が強くと考えられる。

図 7 に $x/d=1$ の位置のプラズマを発生させない場合の速度分布図と 5.5kV 付近の電圧で周波数を変えた場合の速度分布図を示す。ここで、 u_0 はプラズマを発生させない場合の $x/d=1$ の中心速度を表す。この図からプラズマを発生させない場合に比べて発生させている場合は周波数が高くなるにつれ $y/d=\pm 0.4$ 付近の噴流の速度が速くなり、それに伴い中心平均速度が遅くなる事が分かる。これはプラズマの発生によって生じた誘起流れにより $y/d=\pm 0.4$ 付近の流れが加速したためである。また中心平均速度が遅くなったのは噴出させる流量が一定のため、 $y/d=\pm 0.4$ 付近の流れが加速した分だけ減速したからだと考えられる。

5. 結論

今回、同軸型 DBD プラズマアクチュエーターを用いた噴流拡散制御を行い次の知見を得た。

- (1) 周波数を固定し電圧を上げていくことで主噴流への拡散効果が大きくなる。
- (2) 周波数を上げると主噴流への拡散効果が大きくなった。また周波数を上げることで主噴流の、乱れる位置が噴出口に近くなる。
- (3) プラズマを発生させた場合、 $y/d=\pm 0.4$ 付近の流れの速度が速くなり、中心速度はプラズマを発生させていない場合より遅くなる速度分布図となった。

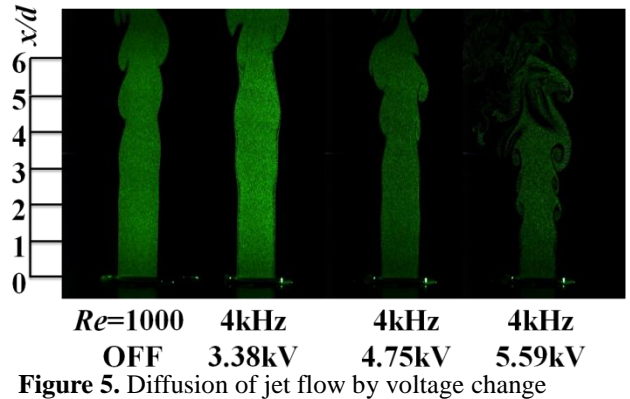


Figure 5. Diffusion of jet flow by voltage change

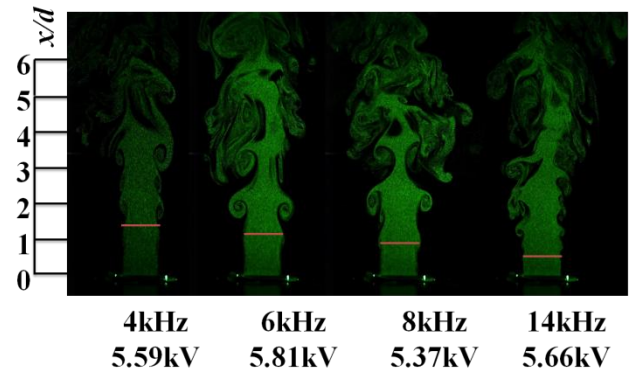


Figure 6. Diffusion of jet flow by frequency change

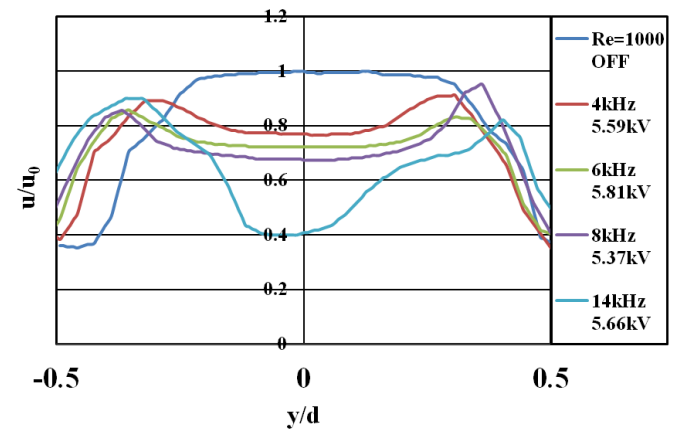


Figure 7. Velocity distribution around the nozzle ($x/d=1$)

謝辞

本研究は文部科学省科学研究費補助金(基盤研究(C), 課題番号: 22560176)による。特記して深く感謝の意を表す。

引用文献

- [1] 深瀬康二, 山田俊輔, 石川仁: ながれ 29(2010)245.
- [2] 高野智和, 金洪宇: 平成 21 年度卒業研究報告書, (2010)3.
- [3] 溝田祐樹, 永江剛典ら: 第 22 回数値流体学シンポジウム, N3-5(2008)1.
- [4] 瀬川武彦, 吉田博夫ら: ながれ 27-1(2008)65.