

K-7

PIVによるDBD-PAを用いた噴流拡散の調査 Investigation of jet diffusion using DBD-PA by PIV

○長谷川卓哉¹, 稲田耕太¹, 田島恭平¹, 中川寛之², 秋元雅翔³, 木村元昭³
Takuya Hasegawa¹, Kota Inada¹, Kyohei Tajima¹, Hiroyuki Nakagawa², Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

Jet flow is widely used in various industrial fields. In this study, a DBD plasma actuator (DBD-PA) using a dielectric barrier discharge is installed in a nozzle and driven to control the jet flow. A disk-shaped bluff body was installed near the nozzle exit, and PIV analysis was performed on the jet driven in bursts under the condition of upward induced flow. As a result, a lock-in phenomenon occurred and the jet width expanded.

1. 緒言

流体が孔から噴出する噴流は流体工学における基本流れの一つであり、様々な工業分野で広く利用されている^[1]。噴流を利用する際には、混合と騒音が問題になることが多い。燃焼機関では燃料を噴出する際の混合が性能に重要な影響を及ぼす。本実験では誘電体バリア放電を用いたDBDプラズマアクチュエータ（以下DBD-PA）を噴流ノズルに設置し、それを駆動し噴流を制御する。PIV（粒子画像流速計）で噴流の挙動を調査することでDBD-PAの最適な駆動条件を明らかにし、噴流拡散が促進されることを調査した。

2. 実験装置・方法

本実験で使用するDBD-PAの断面図を図1に、実験装置の概略図を図2に示す。誘電体ノズルの材質はマシナブルセラミックス、電極の材質はリン青銅、厚さ0.5mmの円筒状に加工したものを使用した。この電極を誘電体にはめ込むことでDBD-PAを構成し、縮流比9.6の先細ノズルの先端に配置した。ここでノズル出口内径は $d = 10\text{mm}$ とする。ブラフボディは円盤型（外径10mm、厚さ2mm）をしたものを用意する。取り付け位置は、ノズル出口からの距離を x とすると、 $x = 10\text{mm}$ ($x/d = 1$)となる位置に設置した。次に図2の実験装置の説明を以下に示す。ファンクションジェネレータの波形を高電圧電源に入力し、増幅してDBD-PAに印加電圧16kVで印加する。ここで、ノズル内電極に高電圧を印加して上向きの誘起流れを発生させる。噴流流体には空気を用いて、デジタルマスフローコントローラで噴流を平均流速 $U = 10\text{m/s}$ に調整し、ノズルから鉛直上向きに噴出した。流速計測をPIVを用いて行い、印加電圧の周波数などを変えて可視化した。

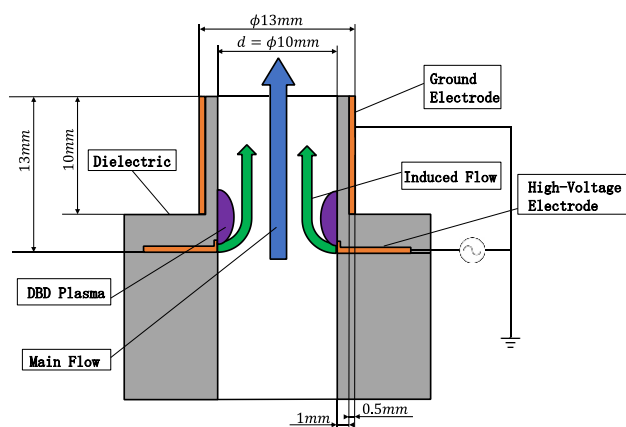


Figure 1. Coaxial type DBD-PA

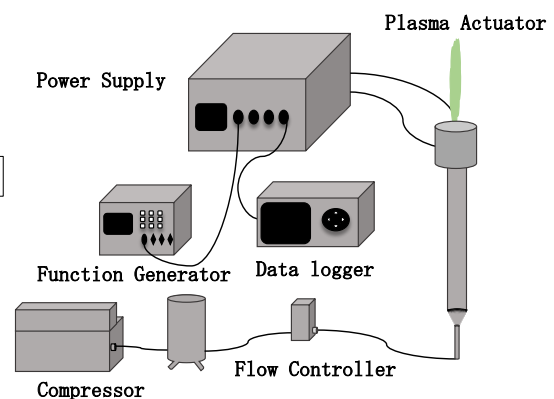


Figure 2. Experiment equipment schematic

3. 実験結果および考察

外径 10mm, 厚さ 2mm のブラフボディを設置し, DBD-PA を印加電圧 16kV, 上向きの誘起流れの条件でバースト駆動させた噴流に対して PIV 解析を行った結果を図 3 に示す. バースト駆動とは DBD-PA に, 一つに決まった電圧印加時間と電圧停止時間で構成されるバースト波形を繰り返し印加して駆動させることである. そうすることで間接的に誘起流れを発生させて噴流ノズル出口で積極的に速度変動を与えて, 噴流を制御する^[3]. この誘起流れを発生させる周波数がバースト周波数であり f_{burst} とする. 速度ベクトル及び温度は 1 秒間を平均して表示している. 図 2 で示した実験装置のノズル出口周辺に透明アクリルボックスを設置し, 周囲気体にトレーサ粒子としてオイル粒子を充填させ撮影を行った. レーザは YAG レーザ (波長: 532nm) を用いて流体中の噴出粒子にレーザを照射し, カメラはハイスピードカメラ (撮影速度 70000fps) を用いた.

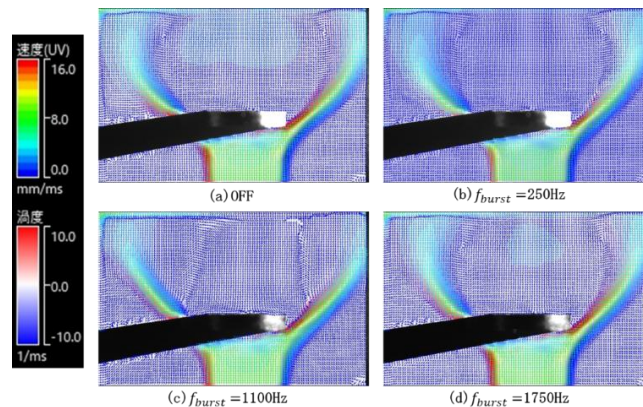


Figure 3. Analysis results by PIV

図 3 より, (c) に示すバースト周波数 $f_{burst} = 1100\text{Hz}$ では噴流幅が拡大し, (a) プラズマ OFF や (b) $f_{burst} = 250\text{Hz}$ (d) $f_{burst} = 1750\text{Hz}$ の条件では (c) に比べて噴流幅が拡大しなかった. これはロックイン現象によるものだと考えられる. ロックイン現象とは駆動した DBD-PA の周波数と, 渦輪の発生周波数が同期することである^[2]. これより渦輪の発生周期が一定となることで, 渦輪の間隔も一定となり, より下流でペアリングが行われた. そのため渦輪の崩壊が遅れ, 速度を保った流れが循環流に巻き込まれることなく, ノズルの半径方向に渦が広がり噴流幅が拡大したと考えられる. 一方でロックイン現象が生じていない (b), (d) では (c) での条件に比べ, 渦輪の発生周波数が一定にならず, より上流でペアリングが行われた. そのため渦輪の崩壊が早まり, 速度が遅くなった流れが循環流に巻き込まれ, 噴流幅が拡大しなかったと考えられる.

4. 結論

- 1) DBD-PA を使用することで噴流幅の拡大が促進される.
- 2) ロックイン現象により, 任意の周波数で渦輪が発生し, 渦輪の発生周期を制御できる.
- 3) $f_{burst} = 1100\text{Hz}$ でのロックイン現象では, 渦輪の発生周期が一定となることで渦輪の間隔も一定となり, ペアリングが遅れが生じ, 噴流幅が拡大した.

5. 謝辞

公益財団法人岩谷直治記念財団第 47 回岩谷科学技術研究助成金, JSPS 科研費 JP21K14079 の支援を受けて研究を実施した. 心より感謝します.

6. 参考文献

- [1] 社河内敏彦: 「噴流工学」, 森北出版, 2004
- [2] 亀本番司: 「渦放出とロックイン現象」, ターボ機械, 25 巻, 9 号, pp. 488-496, 1997
- [3] 秋元雅翔: 「円形噴流に生じる渦輪の発生要因と制御」, 日本大学, 2020, 博士論文