

同軸型 DBD プラズマアクチュエータによる噴流拡散制御の研究 Research on Jet Diffusion Control by Coaxial Type DBD Plasma Actuator

○川口太一¹, 栗原歩¹, 高橋駿輝¹, 中川寛之², 秋元雅翔³, 木村元昭³

Taichi Kawaguchi¹, Ayumu Kurihara¹, Shunki Takahashi¹, Hiroyuki Nakagawa², Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

The jet phenomenon has a variety of applications in industry. In this study, a dielectric barrier discharge plasma actuator (hereinafter referred to as DBD-PA) was used for jet control and its effect on jet diffusion was investigated. DBD-PA was controlled by burst drive to generate induced flow. In addition, a circular flame stabilizer was installed near the nozzle exit. As a result, the diffusion of the jet was successfully controlled. In addition, lock-in phenomenon was generated and the width of the jet was expanded.

1. 緒言

スリットやノズルなどの小孔から速度をもった流体が空間中に噴出する現象、いわゆる噴流現象は身の回りで多くの例がみられるだけでなく産業分野においてさらに多種多様な噴流現象が利用されている^[1]。噴流を制御することで、これらを利用する機器の高効率化やそれに伴うCO₂削減による環境への負荷軽減が期待されているため、噴流制御は極めて重要である。今回の噴流制御には誘電体バリア放電（以下 DBD-PA）を利用する。DBD-PA は電極と誘電体から構成され、電極に交流電圧を印加させるバースト駆動を行うことで誘電体表面にプラズマが生じ誘起流を発生させる。これにより噴流制御を行うことができる。DBD-PA のメリットとしては構造の単純さや高い応答性等があり、幅広い応用が期待されている。本実験では、DBD-PA とブラフボディを組み合わせることで噴流拡散にどのような影響が生じるのか調査した。

2. 実験装置・方法

本実験で使用する同軸型 DBD-PA の断面図を図 1、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とし、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 $d = 10\text{mm}$ (半径 $r = 5\text{mm}$) である。本実験で使用するブラフボディは外径 10mm、厚さ 2mm、内径 2mm のドーナツ型をしたものである。取り付け位置は、ノズル出口面からの鉛直方向への距離を x とすると $x = 10\text{mm}$ ($x/d = 1$) となる位置に設置した。

次に実験方法の説明を示す。まず熱線流速計（以下、熱線）を $x/d = 4$ の位置に設置する。次に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させる。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。このバースト駆動の電圧を印加する時間間隔の逆数をバースト周波数（以下、 f_{burst} ）という。そして、 x 軸方向に対し鉛直な y 方向に熱線を移動させ流速の変化を測定する。これを熱線が $x/d = 6, 8$ のときにおいても行う。噴出流体には空気を用い、その流速を測定した。

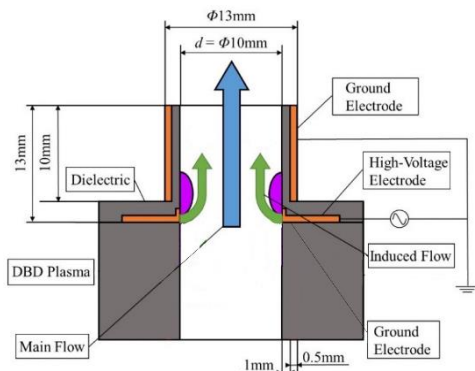


Fig1. Caxial type DBD-PA

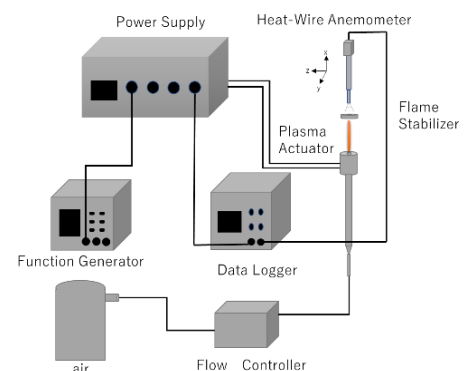


Fig2. Experimental equipment schemata

3. 実験結果及び考察

外径 10mm, 厚さ 2mm, 内径 2mm のブラフボディを設置し, DBD-PA を電圧を印加しない off と印加電圧 16kV でバースト周波数をそれぞれ $f_{burst} = 250, 1100, 1750\text{Hz}$ という 4 条件でバースト駆動を行った際の巻き込み流量の結果を図 3 に示す. 尚, 平均流量の計算範囲について $x/d = 4$ は $y/r = 8$, $x/d = 6$ は $y/r = 10$, $x/d = 8$ は $y/r = 12$ までを有効とした.

実験データより得られた, 流れの方向の任意の断面を通過する平均流量 Q_i は(1)式によって求められる. 尚, U_i を実験データから得られた流速とし, ノズル出口中心からの距離を δ とする.

$$Q_i = 2\pi \int_0^{\delta} U_i y dy \quad (1)$$

図 3 より, $f_{burst} = 1100\text{Hz}$ の平均流量は off や $f_{burst} = 250, 1750\text{Hz}$ と比較すると, どの x/d の位置においても大きいことが分かる. これは $f_{burst} = 1100\text{Hz}$ においてロックイン現象が起きており下流まで渦輪を保つため多くの周囲気体を巻き込むからだと考えられる. 尚, ロックイン現象とは, 駆動させた DBD-PA の周波数と, 発生している渦輪の周波数が同期していることである [2]. それに対し, off や $f_{burst} = 250, 1750\text{Hz}$ では早期に渦輪が崩壊してしまうため, 少ない周囲気体しか巻き込むことができず平均流量の増加が少なかったと考えられる.

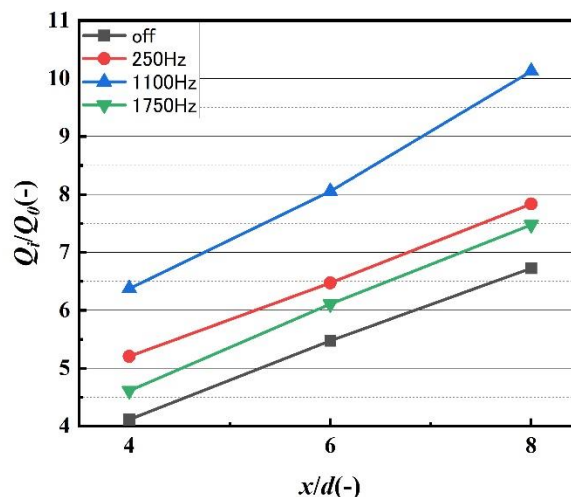


Fig3. Comparison of Average flow rate

4. 結論

- 1)同軸型 DBD-PA を用いて噴流拡散制御を用い噴流の拡散を促進することができる
- 2)ロックイン現象が生じるバースト周波数の範囲では渦輪の発生を任意の周波数に制御できる
- 3)ロックイン現象が生じると, 下流まで渦輪を保つことで巻き込み流量が増加し, 平均流量が大きくなる

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及び 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:「噴流の拡散とその受動制御」, 日本機械学会誌, 110 巻, 1059 号, pp.128-130, 2007.
- [2] 亀本喬司:「渦放出とロックイン現象」, ターボ機械, 25 巻, 9 号, pp.488-496, 1997.