

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 CO₂における間欠制御の影響

Jet diffusion Control by a Type DBD Plasma Actuator Influence of the Jet by Intermittent Control in Carbon Dioxide

荒矢祥平¹, ○植木英夫¹, 佐用謙太郎², 宮城徳誠³, 木村元昭⁴
Shohei Araya¹, Hideo Ueki¹, Kentaro Sayo², Norimasa Miyagi³, Motoaki Kimura⁴

Abstract: In this research, the coaxial type DBD plasma actuator which generates an induction flow in a jet and the direction of the coaxial is studied. A synthesizer is used and intermittent control of plasma is performed. To investigate a simulated mixed diffusion of air and fuel, we attempted to intermittent control by plasma actuator using the same molecular weight of carbon dioxide and propane. It experimented in what kind of influence it has on the main jet stream, and reported. As a result, it was able to confirm that a center speed of the jet flow was decelerated by increase in the duty ratio. In addition, Nozzle wall velocity was accelerated. Further, as duty ratio is increased, the position begin to collapse of the jet shape is closer to the nozzle exit.

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た印加電圧の on, off による間欠制御を行い、間欠比 *duty* と間欠周波数 f_d を変化させた場合による空気の拡散制御を試みている^[2]。今回の実験ではプロパンと分子量の等しい二酸化炭素を用いてプラズマアクチュエータによる間欠制御を試みた。その際、間欠比 *duty* を変化させた場合に噴流にどのような影響が及ぶか実験、報告する。

2. 実験装置・実験方法

図 1 に主噴流と同方向にブローイング力が働くよう設計した DBD (dielectric barrier discharge) プラズマアクチュエータの寸法を示す。図 2 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。DBD プラズマアクチュエータを内径 $d=10\text{mm}$ のアクリル製円形絞りノズルの出口に配置し、電源(PSI:PSI-PG1040F)より印加電圧 5.9kV 付近、周波数 8kHz の交流電圧をシンセサイザ(NF 回路設計ブロック:WF1944)により間欠制御する。この交流電圧を利用して図 2 のように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 3 に実験装置概略図を示す。実験では二酸化炭素ボンベから二酸化炭素を供給しデジタルマスフローコントローラー(山武:CMQ0050)により $Re=2000(1.65\text{m/s})$ の条件でノズルから噴出させた。噴流の可視化には

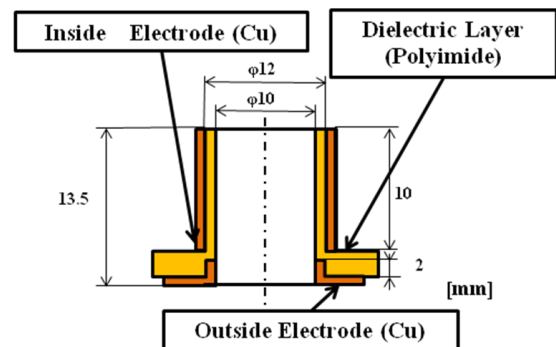


Figure 1. Size of Electrode

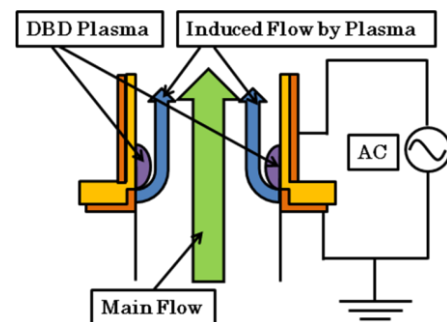


Figure 2. Overall View of Induced Flow

1 μm 程度のシード粒子(シエル: オンジナオイル 15)を二酸化炭素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: LA-D40-CW, $\lambda=532\text{nm}$ 最大出力 5.50W)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: FASTCAMSA1.1)を用いて噴流への影響を撮影した。また、撮影条件は 6000fps, 撮影枚数は 2000 枚である。

1: 日大理工・学部・機械, 2: 日大理工・院(前)・機械, 3: 日大短大・教員・機械, 4: 日大理工・教員・機械

3. 実験結果及び考察

本実験ではオシロスコープよりフーリエ変換で算出したプリファード周波数である 105Hz の倍数付近であり、変化が一番鮮明であった間欠周波数 $f_d=162.5\text{Hz}$ を使用し、印加周波数 8kHz、電圧 5.9kV 付近で、*duty* を変化させ実験を行う。

図 4 にプラズマ off, *duty*=10%, 50%, 90% 及び連続の噴流の可視化画像を示す。この可視化画像から、*duty* の上昇と共に、 $x/d>2.5$ において噴流の形状が崩れていることが分かる。これは *duty* が上昇するにつれてプラズマの発生時間が伸び、噴流に与える誘起流れの影響が強くなる。これによりノズル出口付近の噴流境界層で小規模渦輪列が発生し噴流が不安定になるため、*duty* が大きいほど噴流形状の崩壊が早いと考えられる。

図 4 と同条件での噴流中心の平均速度分布図を図 5 に示し、図 4 と同条件の $x/d=1$ における速度分布図を図 6 に示す。図 5 より *duty* が上昇するほどノズル出口付近の噴流中心速度は減速していることが分かる。また、図 6 より *duty*=50%, 90% 及び連続では噴流の中心速度が減速し、噴流境界層付近の速度が増速する。さらに、噴出直後にノズル半径方向へ速度が拡張することが分かる。これはプラズマの発生時間が長くなったことにより、噴流に与える誘起流れの影響が大きくなったことでノズル壁面速度が増加する。これにより噴出流量を一定にしているためノズル壁面の速度が増速した分、中心速度が減速したと考えられる。また、ノズル壁面の速度が半径方向にも増加したのは前述した小規模渦輪列が発生したためであると考えられる。

4. 結論

間欠制御を用いた同軸型 DBD プラズマアクチュエータの噴流拡散制御を行い次の知見を得た。

- (1) *duty* が上昇すると、噴流形状の崩壊し始めがノズル出口に近づく。これはノズル出口付近に小規模渦輪列が発生し、噴流が不安定になるためである。
- (2) ノズル出口付近の中心速度は、*duty* の上昇に伴い減速する。これは流量一定のためノズル壁面速が増加した分、中心速度が減少したためである。また小規模渦輪列により半径方向速度も発生した。

5. 参考文献

- [1] 深潟ら：ながれ, Vol.29, No.4, pp.243-250, 2010.
- [2] 佐用ら：同軸型 DBD プラズマアクチュエータによる噴流拡散制御, 日本機械学会 2013 年次大会講演論文集, No.13-1, 2013.

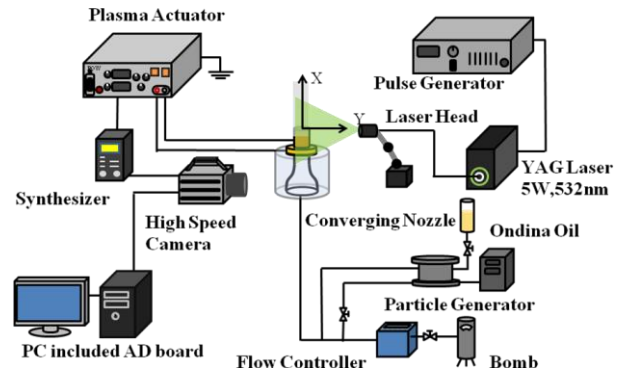


Figure 3. Experimental Apparatus

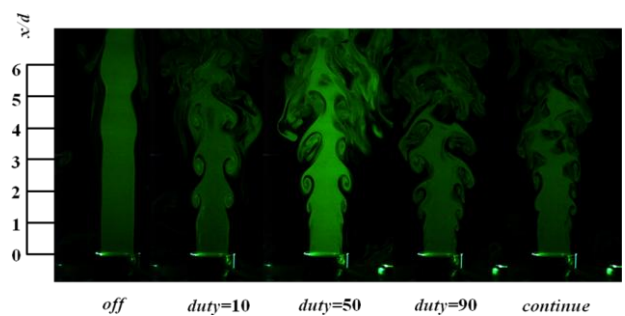


Figure 4. Visualization of Flow Duty Change (5.9kV, 8kHz, $f_d=162.5\text{Hz}$)

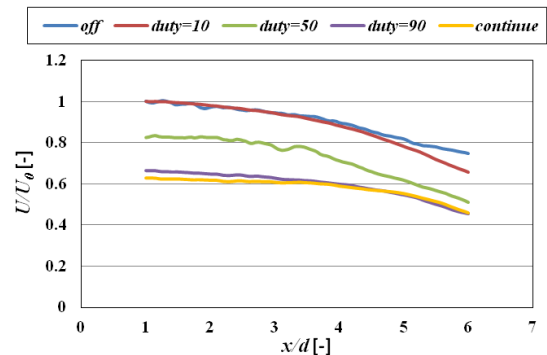


Figure 5. Mean Velocity Distribution of the Jet Axis (5.9kV, 8kHz, $f_d=162.5\text{Hz}$)

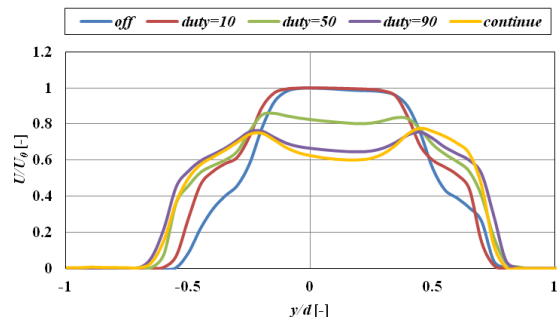


Figure 6. Velocity Distribution Around the Nozzle ($x/d=1$, 5.9kV, 8kHz, $f_d=162.5\text{Hz}$)

謝辞

本研究は JSPS 科研費 22560176, 25420132[基盤研究(C)]の助成を受けたものであり、謝意を表す。