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 - 電圧波形による噴流への影響 -Jet Diffusion Control by a Coaxial Type DBD Plasma Actuator ~ influence on the jet by the voltage waveform ~

秋元駿平¹, 木村嵐¹, 洪昇徹¹, 植木英夫², 宮城徳誠³, 木村元昭⁴ Shunpei Akimoto¹, Arasi Kimura¹, Shoutetsu Kou¹, Hideo Ueki², Norimasa Miyagi³, Motoaki Kimura⁴

Abstract: In this experiment, the diffusion control of the jet was carried out using plasma actuators. It found out influence on the jet when changing the waveform. Jet becomes unstable by the voltage waveform. Also the time until the vortex ring was found to differ in terms of waveform. When changing the ramp waveform from 0% to 100%, ramp50% was the most jet instability among other conditions.

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った. 間欠 比 duty と間欠周波数 faを変化させた場合による二酸化 炭素の拡散制御を試みている^[2].今回の実験では円形 絞りノズルにプラズマアクチュエータを作用させ、空 気を流して実験し、電圧、周波数を変え、波形は、正 弦波, 矩形波, ramp 波 (ramp=50%)にした場合に噴流 にどのような影響が及ぶか報告する.

2. 実験装置·実験方法

図 1 の(a)に、設計した DBD (dielectric barrier discharge) プラズマアクチュエータの寸法を示し、(b) 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=10mm のア クリル製円形絞りノズルの出口に配置する. 印加電圧 はファンクションジェネレータ(NF 回路設計ブロッ ク:WF1974)より交流電圧 5V, 周波数 8kHz の信号を高 電圧電源(松定プレシジョン:HAP-20B20)に入力し電圧 を1000倍に増幅する.印加電圧波形は正弦波,矩形波, ramp 波とする.

図2に実験装置概略図を示す.実験ではコンプレッ サーから空気を供給してデジタルマスフローコントロ ーラー(山武: CMQ0050)により Re=2000 (3.1m/s)の条件 でノズルから噴出させた. 噴流の可視化には 1µm 程度 のシード粒子(シェル:オンジナオイル15)を空気に混



(b)Overall View of Induced Flow



Figure 2. Experimental Apparatus

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, λ=532nm 最大 出力5.50W)を用いたレーザライトシート法により噴流 軸中心上を可視化し,高速度カメラ(Photron: FASTCAM SA1.1)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 3000 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

図3に矩形波と ramp=50%の波形を示す. 図4 にプ ラズマ off, 正弦波, 矩形波, ramp=50%時について波 形変化別に並べた噴流の可視化画像を示し、この可視 化画像から, x/d>4 において正弦波, 矩形波の噴流が 崩壊していて ramp=50%の時は K-H 不安定から渦輪 形成までの過程が遅れているのが確認できる. これは 電圧波形のピーク時までの傾き: dv/dt と電圧のピーク の持続時間:t_cが関係している.持続時間が長く,電圧 のピークの傾きが急なほど、噴流が不安定になること が図3の波形の形から分かる.よって, ramp 波は電圧 のピーク時の持続時間が最も短く、さらに電圧のピー ク時の傾きが緩やかなため崩壊が他の波形より遅れて いる.しかし正弦波は電圧のピーク時の持続時間が長 く,矩形波は電圧のピーク時の持続時間が最も長く, さらに電圧のピーク時の傾きが急なため噴流は早期に 崩壊に至った.この結果から,立ち上がり時間が短く, 持続時間が長い方が崩壊しやすいと観察できた.また. 渦輪が形成されるまでの時間は ramp=50%, 矩形波, 正弦波の順で長くなることが、可視化画像と動画から 分かった.

次に,図5に ramp 波のシンメトリが0%と100%の 波形を示す. ramp 波のシンメトリを0%から100%ま で変化させた噴流の可視化画像を図6に示し,この可 視化画像から ramp=50%の時は最も噴流が不安定であ った.しかし,他の条件では,噴流が安定しているの が分かった.これは,電圧波形の立ち上がり時間と立 ち下がり時間の比が同じ場合に噴流が不安定になるた めだと推測した.これからの実験で注目したい.

4. 結論

同軸型 DBD プラズマアクチュエーターの噴流拡散 制御において,電圧波形について実験を行った結果, 次の知見を得た.

- (1) 正弦波と矩形波の噴流は崩壊し, ramp 波は K-H 不安定から渦輪形成までの過程が遅れていた.こ れは電圧波形のピーク時までの傾きと電圧のピー クの持続時間が関係しているためである.
- (2) 渦輪が形成されるまでの時間は波形の条件によっ て異なることが分かった.
- (3) ramp 波のシンメトリを変化させた時, ramp=50% の時は最も噴流が不安定であり,他の条件では, 噴流が安定しているのが分かった.これは,電圧 波形の立ち上がり時間と立ち下がり時間の比が同 じ場合に噴流が不安定になためであると考えた.







Figure 4. Visualization of Flow by Voltage Waveform





Figure 6. Visualization of Flow by Ramp Symmetry Change (PA : 5V, 8kHz)

5. 参考文献

[1] 深潟ら: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.

[2] 植木ら:DBD プラズマアクチュエータによる二酸 化炭素噴流の拡散制御,日本機械学会関東学生会第53 回卒業研究発表講演会前刷集,No.301,2014.

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, 謝意を表する.