

同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いた噴流制御に関する研究
 一誘起流れによるバイオガスを用いた拡散燃焼への影響一
 Study on Jet Control by a Coaxial Type DBD Plasma Actuator
 - Influence of diffusive combustion using the biogas by induced flow -

小川和将¹, ○小林翔¹, 新谷勇斗¹, 劉依辰¹, 岡田大和², 秋元雅翔³, 木村元昭³

Kazumasa Ogawa¹, *Sho Kobayashi¹, Yuto Shinya¹, Liu Yichen¹, Yamato Okada¹, Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

Abstract : In recent years, as a method of controlling the jet, studies using the induced flow by plasma has been made. The purpose of this study was to control the combustion using biogas, which is effective in combating environmental problems, in the main jet by DBD-PA (Dielectric Barrier Discharge-Actuator). By applying a voltage and frequency to DBD-PA, the induced flow by plasma is generated in the nozzle, to control the diffusion combustion of the mixture of methane and carbon dioxide. Two experiments were carried out using the jet control. First, the behavior of the diffusion flame in the continuous wave, it was confirmed a change in the combustion form. Thereafter, for the purpose of maintaining the raised flame, it was confirmed the behavior of the diffusion flame using the jet control in the burst wave. From these two experiments, it is possible to control the combustion form of the flame using the induced flow by DBD-PA, it was found that it is also possible to maintain it when changing the flow rate.

1. 緒言

噴流は空調やバーナーなどの重要な工業製品の性能向上に関わる要素の一つであり^[1], 近年, 噴流を制御する方法として, プラズマによって発生する誘起流れを用いた研究が行われている^[2]. エネルギー源として再生可能エネルギーであるバイオガス(可燃性ガスのメタンと二酸化炭素の混合気体)を利用する拡散燃焼は, 環境問題に対して有力である. 本研究では主噴流にバイオガスを用いて制御を行い, DBD-PA (Dielectric Barrier Discharge-Plasma Actuator) により主噴流と同方向, またその反対方向に誘起流れを発生させた時の火炎の挙動を, 実験を通して明らかにしていく.

2. 実験装置・方法

本実験で使用する同軸型 DBD-PA の断面図, 主噴流及び誘起流れの全体図を図 1 に示す. 誘電体の材質はマシナブルセラミックス, 電極の材質をリン青銅とし厚さ 0.5mm の円筒状に加工したものを使用した. これを誘電体にはめ込み DBD-PA を構成した. ノズル出口内径は $d=6\text{mm}$ である. 実験装置の説明を次に示す. 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 14kV, 印加周波数約 7kHz を印加する. ノズル内電極に高電圧を印加して発生する上向きの誘起流れを Up, 下向きの誘起流れを Down とする. 噴出流体はメタン 70%, 二酸化炭素 30% の混合気とし, 各ボンベから送られてくる気体をフローコントローラで調節し, 鉛直上向きにノズルから噴出させる. この噴流制御を用いて 2 つの実験を行った.

1) 連続波における拡散火炎の挙動実験

2) バースト波における拡散火炎の挙動実験

1)の実験では条件として印加電圧を一定のまま混合気の流速を 4m/s から 0.5m/s ずつ上げていき, 付着火炎が浮き上がり火炎に変化し吹き消えるまでの挙動を各印加電圧毎に確認する.

2)の実験では浮き上がり火炎を形成した後, プラズマを off にし混合気の流速を $U=12.5\text{m/s}$ へ上昇させると同時にプラズマを発生させ, バースト波のストローハル数 $St=(f \cdot d)/U$ の f : バースト周波数を変化させ, 火炎の挙動を確認する.

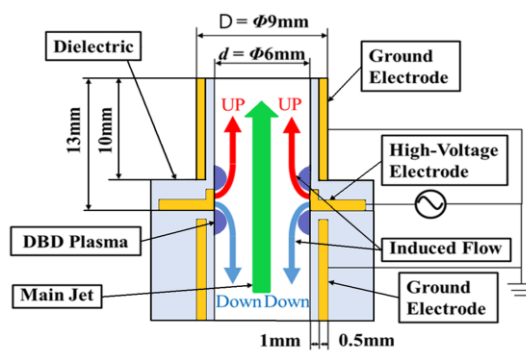


Fig.1 DBD-PA burner nozzle schematic diagram

3. 実験結果及び考察

3-1) 連続波における拡散火炎の挙動実験

表 1 は DBD-PA を off の状態, また連続駆動させ流速を上げていった際の燃焼形態の変化についての実験結果をまとめたものである. 燃焼形態の変化は○: 付

1 : 日本大学・理工・機械 2 : 日本大学・院(前) 3 : 日本大学・教員・機械

着火炎, ▲: 浮き上がり火炎, ×: 吹き消え, □: ノズル付近のみの燃焼を表している.

表 1 より off 時には浮き上がり火炎が形成されず, 16.5m/s で吹き消えた. Up 時では 9m/s で浮き上がり火炎が形成され, 11m/s で吹き消えた. Down 時では 18m/s でノズル付近でのみ燃焼が起こり, 25m/s で吹き消えた. Up 時に浮き上がり火炎が生じたのは, 上向きの誘起流れによって壁面付近での流速が速くなり, 燃焼速度を上回ってしまったためであると考えられる. 一方, off 時に比べ Down 時の方が速い流速でも付着火炎が維持できたのは, 下向きの誘起流れによって壁面付近での流速が遅くなり, 燃焼速度を超えずにいたためであると考えられる.

Table1.DBD-PA Continuous driving test results(When the flow rate rises)

Velocity [m/s]	off		Velocity [m/s]	14[kV]				
	Velocity [m/s]			Up	Down			
			Velocity [m/s]		Velocity [m/s]			
4.0	○	15.0	○	4.0	○	○	15.0	○
4.5	○	15.5	○	4.5	○	○	15.5	○
5.0	○	16.0	○	5.0	○	○	16.0	○
5.5	○	16.5	×	5.5	○	○	16.5	○
6.0	○	17.0		6.0	○	○	17.0	○
6.5	○	17.5		6.5	○	○	17.5	○
7.0	○	18.0		7.0	○	○	18.0	□
7.5	○	18.5		7.5	○	○	18.5	□
8.0	○	19.0		8.0	○	○	19.0	□
8.5	○	19.5		8.5	○	○	19.5	□
9.0	○	20.0		9.0	▲	○	20.0	□
9.5	○	20.5		9.5	▲	○	20.5	□
10.0	○	21.0		10.0	▲	○	21.0	□
10.5	○	21.5		10.5	▲	○	21.5	□
11.0	○	22.0		11.0	×	○	22.0	□
11.5	○	22.5		11.5		○	22.5	□
12.0	○	23.0		12.0		○	23.0	□
12.5	○	23.5		12.5		○	23.5	□
13.0	○	24.0		13.0		○	24.0	□
13.5	○	24.5		13.5		○	24.5	□
14.0	○	25.0		14.0		○	25.0	×
14.5	○			14.5		○		

3-2) バースト波における拡散火炎の挙動実験

浮き上がり火炎を形成した後, プラズマを off にし混合気の流速を上昇させた場合, 12m/s までは浮き上がり火炎は形成され続けたが, 12.5m/s では吹き消えた. これより表 2 に平均流速 12.5m/s で燃焼させ, St 数を変えた際の燃焼形態の変化を表した実験結果を示す. 表 2 より印加電圧 14kV での Up 時には St=0.1 で浮き上がり火炎が形成され続け, Down 時には St=0.1, 0.8

で浮き上がり火炎が形成され続けた. 図 2 に 14kV (Up : St=0.1, 0.3 Down : St=0.8, 0.9) での火炎の燃焼の比較画像を示す. この図より浮き上がり火炎を維持できなかった条件に比べ維持できた条件の方が, 火炎基部より上流の渦輪が一定の周期で生成され, 上手く周囲の気体を取り込むことで主流の流速が遅くなり, 火炎基部が下降し, 低い位置で安定したと考えられる.

今後の実験では, 火炎の流れの可視化実験を行い, 壁面付近の渦について明らかにしていく.

Table2.DBD-PA Burst driving test results

U=12.5[m/s]	Burst wave									
	St [-]									
	0.1	0.3	0.5	0.7	0.8	0.9	1.1	1.3	1.5	
14[kV]	Up	▲	×	×	×	×	×	×	×	×
	Down	▲	×	×	×	▲	×	×	×	×

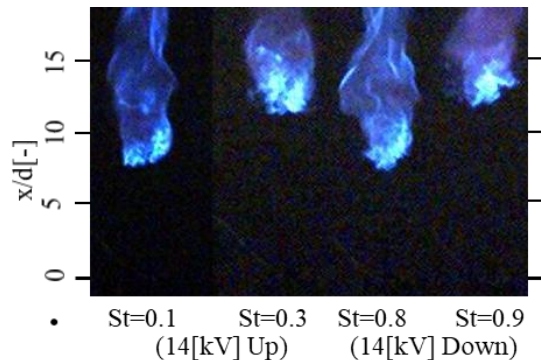


Fig.2 Flame Comparison

4. 結論

- 1) DBD-PA の誘起流れによってバイオガスをを用いた燃焼火炎の形態に影響を及ぼす.
- 2) バースト波 {14kV(UP : St=0.1 Down : St=0.1, 0.8)} によって, 火炎を安定させ, 浮き上がり火炎の形成を維持することができる.

5. 謝辞

本研究は公益財団法人天野工業技術研究所研究助成金の助成を受けたものであり, 謝辞を表す.

6. 参考文献

[1] 社河内敏彦:「噴流工学 基礎と応用」, 森北出版, pp22, 2004.
 [2] 佐宗章弘:「可動部のない流体制御装置: プラズマアクチュエータ」, 日本機械学会誌, Vol.110, No.1061, pp.58, 2007.