

K2-66

同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いた層流火炎の研究

Study of the jet flame using a coaxial type DBD plasma actuator

○安藤秀人¹, 池田哲¹, 菅谷貴大¹, 奥山航輝², 吉田幸司³, 木村元昭³
 *Hideto Ando¹, Tetsu Ikeda¹, Takahiro Sugaya¹, Koki Okuyama², Koji Yoshida³, Motoaki Kimura³

Abstract: The coaxial DBD plasma actuator was applied to the control of jet flame. In an experiment, the flow of propane and air can be adjusted with a digital flow controller, and it can mix within a chamber. The induced flow by the coaxial type DBD plasma actuator was given to the jet flame. The equivalence ratio when propane was mixed with air was changed from 0.7 to 1.2 on the mixture ratio. The impressed voltage is 6kV, 7kV and 8kV. In this case, an induced flow measures change of the influence by the observation of the flame with the high speed camera and spectrometry which it has on a jet flame by changing an equivalence ratio and voltage.

1. 緒言

世界のエネルギーが燃焼によって供給され、その消費量が多くなるにつれ、燃焼排気による局的大気汚染が重大な社会問題になっている¹⁾。よって、流体運動を制御することによって燃焼効率の改善、安定な燃焼形態の保持が期待されている。私達は効率的な燃焼方法を確認するために、プラズマにより流体の操作を可能とし、化学活性種を発生させる効果を持つ DBD プラズマアクチュエータを用いて層流火炎の制御を試み、本来失火してしまう低当量比での燃焼に成功した。今回の実験では、この現象の原因であると考えられる化学活性種の有無やその種類を同定するため分光測定を行った。

2. 実験装置・方法

私達は、ハイスピードカメラによる火炎の比較実験及び小型分光器(SEC2000 Spectra System)を用いたプラズマによる火炎の燃焼促進効果を調べる実験を行った。実験に使用する同軸型 DBD プラズマアクチュエータの作動原理を図 1 に示す。図 1 のように電圧を印加すると、ノズル壁面に DBD プラズマが発生する。このプラズマにより、誘起流れが発生し、流体を制御できる。筒状電極と誘電体を図 2(a)のように組み立てる。また、同軸型 DBD プラズマアクチュエータの電極寸法を図 2(b)に示す。誘電体の材質は絶縁性及び耐熱性を考慮し、マシナブルセラミックス、外電極と内電極の材質は銅を使用する。噴流出口の内径は $d=6\text{mm}$ である。誘電体の厚さは 1mm、内電極と外電極の厚さは 0.5mm である。電源(PSI-PG1040F)により印加電圧 $V=6\text{kV}\sim 8\text{kV}$ 、周波数 $f=8\text{kHz}$ の交流電圧を加えてプラズマを発生させ、外電極から内電極の向きに外力が働き、誘起流れ

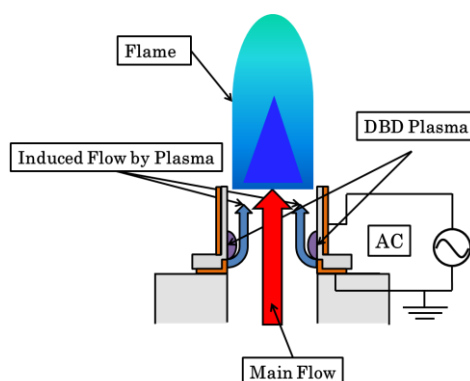


Figure 1. Flame Control by an Induction Flow

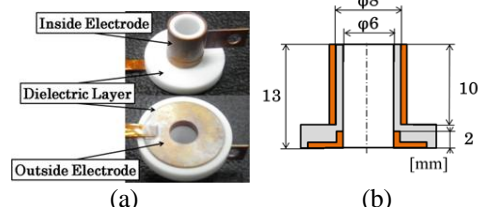


Figure 2. Size of Electrode

が発生するので、燃料に速度変化を生じさせ火炎の制御を試みた。ハイスピードカメラによる実験では、コンプレッサーから空気を、ガスボンベから工業用純プロパンを供給する。それぞれデジタルマスフローコントローラーによりチャンバー内で混合気を $Q=3.31\pm 0.01\text{L/min}$ の範囲で供給し、当量比 $\phi=0.7\sim 1.2$ まで 0.1 ずつ変化するように混合させる。その後同軸型 DBD プラズマアクチュエータに電圧を印加し、プラズマによる誘起流れを発生させ、ノズルから予混合気を点火する。この方法を用い、火炎を撮影した。空気にプラズマを流した際の光の強度と波長を調べるため、分光器を用いた実験の概略図を図 3 に示す。図 4 のように分光器からレンズを取り付けた光ファイバーを設置し、印加電圧 8kV をかける。その様子をノズル中心から 4mm まで 1mm 間隔で測定を行った。

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

3. 実験結果・考察

当量比 0.8, 1.0, 印加電圧 6kV~8kV での DBD プラズマ ON 時と OFF 時の予混合火炎の比較画像を図 5, 6 に示す. 図 5 の当量比 0.8 では, 希薄燃焼のため, 燃料の濃度が足りず, プラズマ OFF 時に火炎は吹き消えてしまった. しかし, 印加電圧 6kV, 7kV をかけた場合, 火炎は吹き消えずに燃焼した. 印加電圧 8kV をかけた場合, 火炎は燃焼せずに吹き消えてしまった. 印加電圧 6kV, 7kV をかけた場合に火炎が燃焼したことから, 誘電体バリア放電による化学活性種の発生により, 当量比 0.8 でも燃焼が促進され, 吹き飛びを抑制したと考えられる. 印加電圧 8kV をかけた際には, 燃焼促進効果よりも境界層付近の速度が上昇したために吹き消えてしまったと考えられる. 図 6 の当量比 1.0 では, 印加電圧 8kV をかけた場合, 燃焼促進効果よりも境界層付近の速度が上昇したために安定していた火炎が乱れたと考えられる. この化学活性種を同定するための分光器実験を行った. 分光器を用いた実験では, 図 7 よりノズル中心から 3mm 移動した場合に最も光の強度が強く出ている. また, 波長のピークが 306nm, 336nm, 354nm 付近にあり 306nm 付近は OH, 336nm 付近は NH, 354nm 付近は HNO₂ に関連していると考えられる²⁾. よって化学活性種が発生していることから, プラズマには火炎の燃焼促進を促す効果があると考えられる.

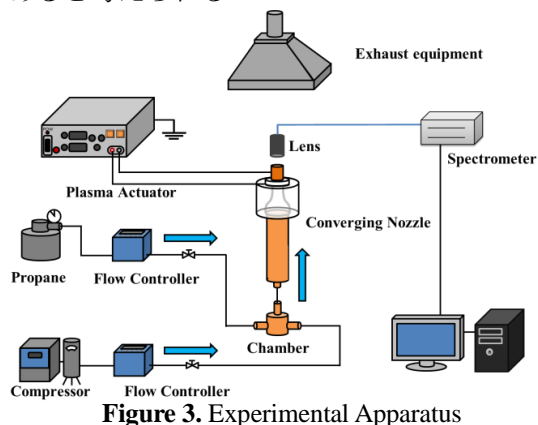


Figure 3. Experimental Apparatus

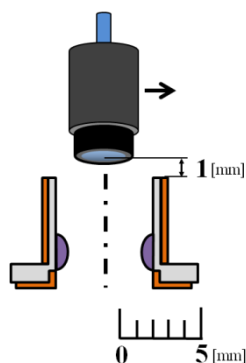


Figure 4. Experimental Apparatus Enlarged

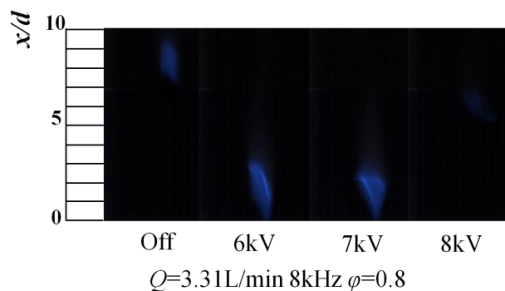


Figure 5. Inner Flame Form(C₃H₈)

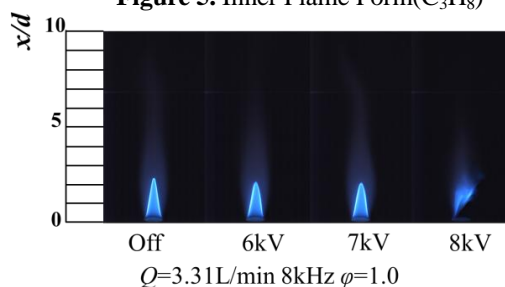


Figure 6. Inner Flame Form(C₃H₈)

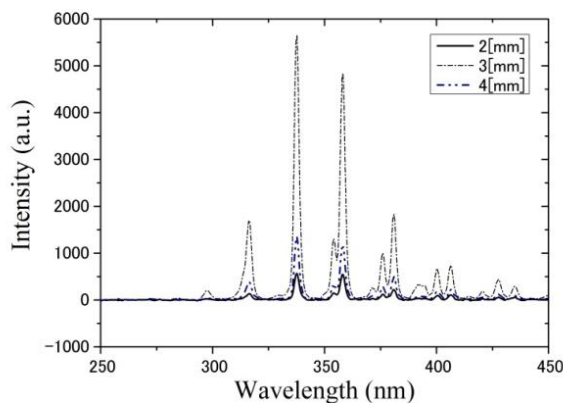


Figure 7. Emission Spectrum

4. 結論

同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いて層流火炎の制御を行う実験を試み, 以下の知見を得た.

- 1) 当量比 0.8 において, 印加電圧 6kV, 7kV で DBD プラズマアクチュエータを使用すると, 希薄状態の火炎が吹き消えるのを抑制できた.
- 2) 分光結果より, 波長のピークが 306nm 付近に OH と考えられる化学活性種が存在していることから, プラズマには火炎の燃焼促進を促す効果が考えられる.

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22560176, 25420132 の助成を受けたものであり, 謝辞を表す.

6. 参考文献

- 1) 秋田一雄, 疋田強ら:「燃焼概論」, 1971.
- 2) A.G.GAYDON, “THE SPECTROSCOPY OF FLAMES”, 1957.