

K2-42

同軸型DBDプラズマアクチュエータを用いた層流予混合火炎の制御 -誘起流れと火炎の挙動の関係-

Control of Premixed Laminar Flame using Coaxial Type DBD Plasma Actuator -The Effect of Induced Flow on Flame Behavior-

○青木陸¹, 佐々木烈¹, 鈴木康大¹
土田紘司², 吉田幸司³, 秋元雅翔³, 木村元昭³
*Riku Aoki¹, Retsu Sasaki¹, Yasutomo Suzuki¹
Hiroschi Tsuchida², Koji Yoshida³, Masato Akimoto³, Motoaki Kimura³

Abstract: In this study, we attempted to control laminar flow premixed flame using coaxial type DBD plasma actuator. Experiments were conducted with applied voltages of 4kV, 10kV and 14kV. When voltage was applied, it was confirmed that the flame continued to burn in $\phi=0.95$. At 14kV, the flame was greatly disturbed. In addition, the flow velocity became slower in the vicinity of the boundary layer than in the off state, and the flow velocity became faster in the central portion of the nozzle than in the off state. These changes are thought to be caused by the induced flow generated by the coaxial type DBD plasma actuator. It is also thought that this induced flow is also related to the continuation factor of lean burn.

1. 緒言

近年, 放電により生成される DBD プラズマを利用した流体制御技術が注目を集めている. そこで, 我々は同軸型 DBD プラズマアクチュエータを作成し, 層流予混合火炎へ適用し制御を試みた. その結果, 本来失火してしまう低当量比において, DBD プラズマを発生させる事により, 燃焼継続が可能となった. 本研究の目的は同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用い, 火炎を制御し, 吹き消え抑制とその要因を明らかにする事である.

2. 実験装置・方法

本研究で使用する同軸型 DBD プラズマアクチュエータのノズル断面図を図 1 に示す. 誘電体の材質は絶縁性及び耐熱性を考慮し, ホトベール II, グランド電極と陽極電極の材質はリン青銅に金メッキを施したものを使用, 噴流出口内径は $d=6\text{mm}$ である. 誘電体の厚さは 1mm, グランド電極と陽極電極の厚さは 0.5 mm である. 電源より交流電圧を印加すると, 陽極電極からグラ

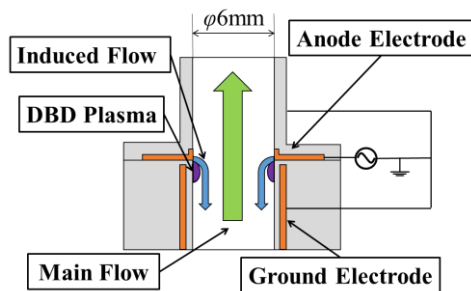


Figure. 1 Cross Section of the Nozzle

ンド電極の向きに DBD プラズマが発生し, これに伴い, 主流と逆向きに誘起流れが発生する. この誘起流れを用いて予混合気へ速度変化を起し火炎の制御を試みた.

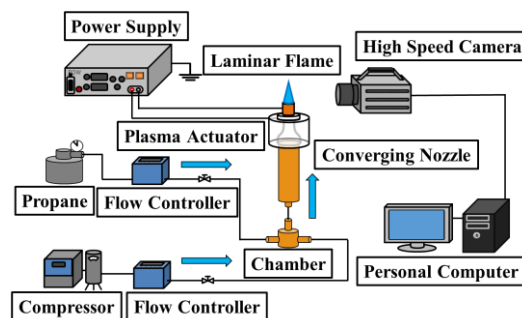


Figure. 2 Experimental Apparatus

実験装置の概略図を図 2 に示す. 本研究では, コンプレッサから空気を, 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により流量を調整し, チャンバ内で予混合気体にし, 流量を $Q=3.31\pm 0.01\text{L/min}$ ($U_{\text{ave}}\approx 1.95\text{m/s}$) で供給した. 当量比 $\phi=0.90\sim 1.05$ まで 0.05 ずつ変化するように混合し, ノズルの先端で点火する. その後, 同軸型 DBD プラズマアクチュエータに電源から交流矩形電圧を印加する. 駆動条件を印加周波数 $f=4\text{kHz}$ に固定し, 印加電圧 $V=4\text{kV}$, 10kV , 14kV と変化させ, 3 つの実験を行った. 1 つ目はハイスピードカメラを用いた火炎の形状の撮影実験. 2 つ目は線香粒子を用いた流れの可視化実験. 3 つ目に LDV による流速測定実験を行った.

火炎の形状比較実験は撮影速度を 125fps とし印加電圧を変化させ実験を行った. 流れの可視化実験は空気

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

のみを流し、火炎の撮影時とレイノルズ数($Re=870$)を同じにするため、 $Q=3.48\pm 0.01\text{L/min}$ ($\approx 2.08\text{m/s}$)で撮影を行い、撮影速度は 12000fps とした。LDV を用いた流体測定実験は、流れの可視化実験と同じ条件で行った。座標系の設定はノズル出口中心を $(x, y, z) = (0, 0, 0)$ とし、主流方向を z 軸の正とした。測定箇所は y 軸上を原点から $\pm 3.5\text{mm}$ の範囲を 59 点測定した。また測定位置は $z/d = 0.5$ 、測定点の大きさは $dx \times dy \times dz \approx 50 \times 50 \times 250\mu\text{m}^3$ である。

3. 実験結果・考察

当量比 $\phi=0.95$ での off 時と当量比 $\phi=0.95$ 、印加電圧 $V=4\text{kV}$, 10kV , 14kV での電圧印加時の火炎の比較結果を図 3 に示す。

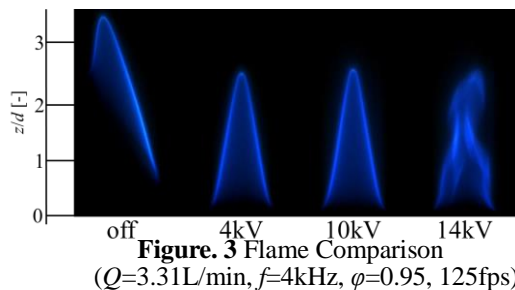


Figure 3 Flame Comparison ($Q=3.31\text{L/min}$, $f=4\text{kHz}$, $\phi=0.95$, 125fps)

図 3 より全ての電圧印加時で吹き消えを抑制できた。また、off 時は火炎が吹き飛んだ。これは、低当量比になると燃焼速度が流速を下回ることによって付着領域がなくなり、吹き消えが生じたと考えられる。^[1] 4kV , 10kV は安定した燃焼継続ができ、 14kV では火炎が大きく乱れた。そこで、変化が大きかった 14kV に着目し流れの可視化実験を行った。その可視化結果を図 4 に示す。

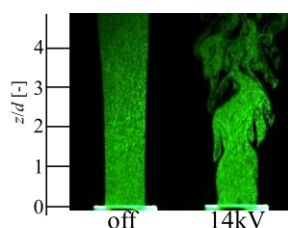


Figure 4 Flow Visualization ($Q=3.48\text{L/min}$, $f=4\text{kHz}$, 12000fps)

図 4 より、流れが乱れているのが確認できた。これは、主流と逆向きに発生している誘起流れが考えられる。この誘起流れが壁面近傍の流速を抑えたため、流体内で速度差が大きくなり、その速度差と粘性により渦が生じ、流れが乱れたと考えられる。そこで、この乱れを数値として確認するため流速測定実験を行った。その結果を図 5 に示す。図中プロットにおいて、off を黒、 14kV を赤とする。左の縦軸と白抜きのプロットは速度 U をノズル中心の出口速度 U_0 で除した無次元数で、速度分布を表わす。右の縦軸と塗りつぶしたプロ

ットは乱れ強さ u' をノズル中心の出口速度 U_0 で除した無次元数で、乱れ強さ分布を表わす。横軸を y とする。

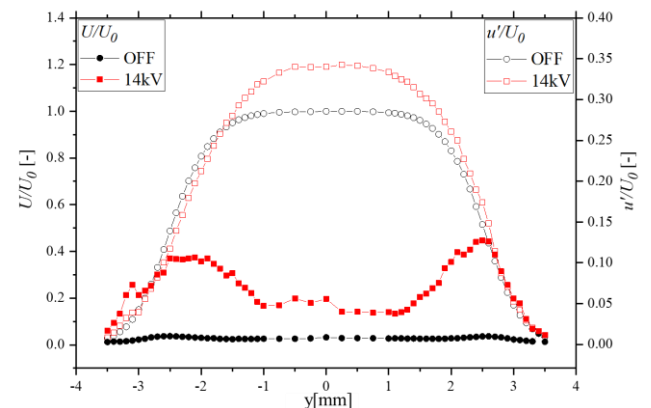


Figure 5 Flow Velocity ($Re = 870$, $z/d = 0.5$, $f = 4\text{kHz}$)

図 5 の乱れ強さ分布から、電圧を印加すると off と比べて、全体的に乱れ強さが大きくなることが確認できた。またノズル中心より境界層付近の方が乱れ強さは大きくなっている。これは、ノズル壁面で主流と逆向きに発生させた誘起流れが起因し、図 3, 4 で確認できた乱れに繋がったと考えられる。また速度分布から、電圧を印加すると、off と比べてノズル中心の流速が速く、境界層付近では若干遅いことが分かる。これは、誘起流れを壁面近傍で主流と逆向きに発生させたため、壁面近傍では遅くなり、その分、流量一定のためノズル中心では速くなったと考えられる。よって、希薄燃焼が継続できたのは、誘起流れにより火炎の上流端で流速が下がったことで、燃焼速度と流速が釣り合い、付着領域ができ、燃焼継続が可能となったと考えられる。

4. 結論

- 1) 同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いる事で、誘起流れが発生し、希薄燃焼でも火炎の吹き消えを抑制し、安定した燃焼継続が可能になった。
- 2) 印加電圧 14kV において、壁面近傍の流速が誘起流れにより抑えられ、燃焼速度と予混合気の流速が釣り合い、火炎の付着領域が生じ燃焼継続が可能になった。

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 JP16K06131 および平成 30 年度日本大学理工学部研究助成金の助成を受けたものであり、謝辞を表わす。

6. 参考文献

- [1] 基礎燃焼学 R・A・ストリーロ著、水谷幸夫訳 p227, 1973 年。