

K2-41

## 同軸型DBDプラズマアクチュエータを用いた希薄燃焼の継続についての研究 —誘起流れによる速度分布の変化—

Study on continuation of lean combustion using coaxial type DBD plasma actuator

—Changes in velocity distribution due to induced flow—

石田洋輔<sup>1</sup>, ○清田亮<sup>1</sup>, 平山裕一<sup>1</sup>

金井翔太<sup>2</sup>, 土田紘司<sup>2</sup>, 吉田幸司<sup>3</sup>, 秋元雅翔<sup>3</sup>, 木村元昭<sup>3</sup>

Yousuke Ishida<sup>1</sup>, \*Ryo Kiyota<sup>1</sup>, Yuuichi Hirayama<sup>1</sup>

Shota Kanai<sup>2</sup>, Hiroshi Tsuchida<sup>2</sup>, Koji Yosihida<sup>3</sup>, Masato Akimoto<sup>3</sup>, Motoaki Kimura<sup>3</sup>

Abstract: In this study was conducted for combustion promotes effect by a coaxial DBD plasma actuator. Applied voltages were set to 4, 10, and 14 kV, and photographs of flames in a lean state were taken. As a result, when the voltage was applied, continuation of the flame could be confirmed, but at 14 kV the flame was disturbed. Even in study of flow visualization, the case of 14 kV was disturbed. Flow velocity was measured using LDV. As a result, when the flame was disturbed at 14 kV, a large velocity change was confirmed.

### 1. 緒言

我々は、火炎の吹き飛びや希薄燃焼の安定した継続を可能にするため、同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いて、火炎の制御を試みた。同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いた結果、本来失火してしまう低当量比においても、プラズマを発生させることにより燃焼の継続が可能となった。その要因としては、誘起流れや化学活性種が考えられる。そこで本研究の目的は、予混合火炎に同軸型 DBD プラズマアクチュエータを使用した時の誘起流れによる火炎の挙動を明らかにすることである。

### 2. 実験装置・方法

今回の実験で使用する同軸型 DBD プラズマアクチュエータの作動原理を Fig. 1 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。噴流出口内径は  $d=6\text{mm}$  である。誘電体の厚さは  $1\text{mm}$ 、内電極と外電極の厚さは  $0.5\text{mm}$  である。電源より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誘起流れが発生する。誘起流れを用いて予混合気にも速度変化を起し火炎の制御を試みた。

実験装置の概略図を Fig. 2 に示す。今回の実験では、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(アズビル株式会社 空気:MQV0005 プロパン:MQV9500)によりチャンバ内で混合空気にし、流量を  $Q=3.31\pm 0.01\text{L/min}$  ( $U_{\text{ave}}\cong 1.95\text{m/s}$ )で供給した。当量比  $\phi=$

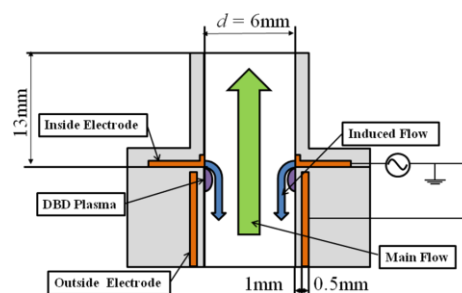


Fig. 1 Summary view of the nozzle

0.80~1.00 まで 0.05 ずつ変化するように混合させ、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交流電源(松定プレジジョン株式会社, HAP-20B20) 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  $V=4\text{kV}$ ,  $10\text{kV}$ ,  $14\text{kV}$  と変化させた。以上の条件で今回は 3 つの実験を行った。まず 1 つ目はハイスピードカメラ (Photron, FASTCAM Mini AX100) を用いた火炎の形状の比較実験。そして 2 つ目は線香粒子を用いた流れの可視化実験。そして最後に LDV (DANTEC DYNAMICS, Flow Explorer)による流速測定実験を行った。

それぞれの条件は、火炎の形状比較実験は撮影速度を  $125\text{fps}$  とした。流れの可視化実験は空気のみを流し、そこに線香粒子を混ぜ、火炎の撮影時と比較するため  $\phi=1.00$  と同じ状態のレイノルズ数  $Re=870$  ( $Q=3.48\pm 0.01\text{L/min}$  ( $\cong 2.08\text{m/s}$ ))とし、撮影を行った。撮影速度は  $12000\text{fps}$  をとした。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、 $y$  軸を  $0.25\text{mm}$  刻みで原点から  $y = \pm 3.5\text{mm}$

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

まで 29 点の測定を行った。また測定位置は  $z/d = 0.5$ , 測定点の大きさは  $dx \times dy \times dz \cong 50 \times 50 \times 300 \mu\text{m}^3$  である。

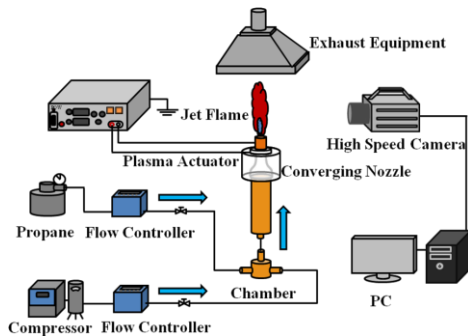


Fig. 2 Experimental Apparatus

### 3. 実験結果・考察

今回、全ての電圧で吹き飛びを抑制できた当量比  $\phi = 0.95$ , 印加周波数  $f = 4\text{kHz}$ , 電圧  $V = 4\text{kV}, 10\text{kV}, 14\text{kV}$  でのプラズマ on 時と off 時の予混合火炎の比較画像を Fig. 3 に示す。撮影速度は 125fps である。

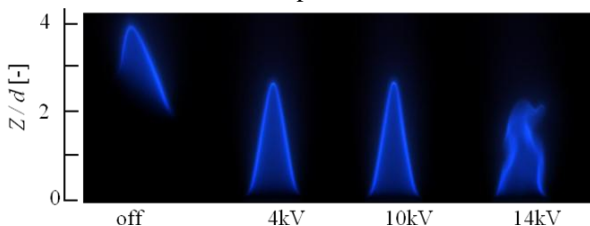


Fig. 3 Flame Comparison

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

Fig. 3 より off 時は火炎が吹き飛び、4kV, 10kV の時は安定した燃焼継続が起きていたが、14kV の時だけ大きく火炎が乱れているのが見て分かる。これは、誘起流れの影響で流れが乱れ、火炎が乱れたと考えられる。そこで、火炎が乱れた 14kV に着目して流れの可視化の実験を行い、その画像を Fig. 4 に示す。こちらの撮影速度は 12000fps である。

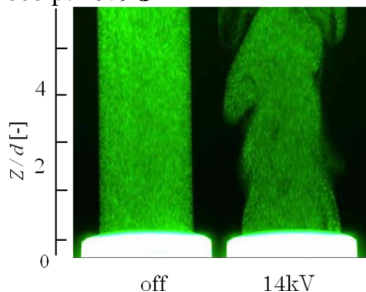


Fig. 4 Flow Visualization

( $Q=3.31\text{L/min}$ ,  $f=4\text{kHz}$ ,  $Re=870$ , 12000fps)

Fig. 4 の線香粒子の動きに着目すると、流れが乱れているのが分かる。これはノズル壁面に逆向きに発生する誘起流れによるものではないかと考えた。そこで誘起流れが流体にどのように速度の変化を与えるか調べ

るため流速測定実験を行い、その結果を Fig. 5 に示す。

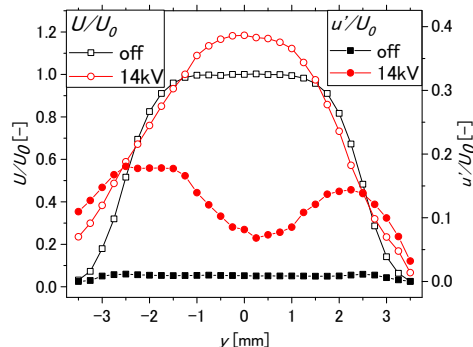


Fig. 5 Flow Velocity ( $Re = 870$ ,  $z/d = 0.5$ ,  $f = 4\text{kHz}$ )

図中のプロットで off 時のものを黒、印加電圧 14kV を赤とする。また、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  $U_0$  で割った無次元数、右の縦軸と塗りつぶしたプロットは乱れ強さ  $u'$  にノズル中心の出口速度  $U_0$  を割った無次元数、横軸を  $y$  とする。Fig. 5 の乱れ分布より off 時と比べ、大きな変化が見られた。その為、火炎の乱れにつながったと考えられる。また速度分布では off 時に比べて、電圧を印加すると、ノズルの中心部分の流速が速くなり、壁面付近では流速が遅くなることが確認できた。これは、壁面付近に誘起流れが逆向きに発生したことで壁面付近では流速が遅くなり、その分流量が一定のため、ノズル中心では速度が速くなったと考えられる。以上より低当量比になると燃焼速度が火炎のいずれの点においても流速を下回ったことで付着点がなくなり吹き飛んでしまうが、印加電圧 14kV では、火炎の基部での流速が下がったことで燃焼速度とのつり合いが取れ、付着点ができたため燃焼継続が可能に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ことで、当量比 0.95 の希薄状態でも、吹き飛びを抑制し希薄燃焼の安定した継続を確認できた。
- 2) 14kV においては誘起流れにより流速が下がったことで燃焼速度とのつり合いが取れ燃焼継続ができたと考えられる。

### 5. 謝辞

本研究はJSPS 科研費 JP16K06131, JP25420132 の助成を受けたものであり、謝辞を表す。

### 参考文献

- 1) 水谷幸夫, 燃焼工学第 3 版(2002).p91