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 —誘起流れが燃焼に与える影響— Study of the jet flame using a coaxial type DBD plasma actuator —Effect of induced flow has on the combustion—

金井翔太¹, 〇松森大記¹, 安田侑幹¹, 富田健斗², 吉田幸司³, 木村元昭³ Shota Kanai¹, *Hiroki Matumori¹, Yuki Yasuda¹, Kento Tomita², Koji Yosihida³, Motoaki Kimura³,

Abstract: Experiment of laminar flame by coaxial DBD plasma actuator was conducted. In an experiment, digital mass flow controller changed an equivalence ratio of propane .The impressed voltage is 4kV,10kV and 16kV.The frequency is 1kHz,4kHz and 8kHz.And spectroscope experiment was conducted in order to identify the DBD plasma actuator generated the chemically active species.From these experiments, it was possible to confirm the continuity of the flaming combustion at the equivalence ratio 0.95.And increment of the chemically active species of OH could be confirmed by the spectroscope experiment.

1. 緒言

近年,新しい流体制御技術として,プラズマアクチ ュエータが注目を集め,多くの研究が行われている¹⁾. そこで,我々の研究室では燃焼ノズルに,電極を設 置し同軸型 DBD プラズマアクチュエータの開発,試 作を行った. 今回,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.我々は,誘起流れが発生する方向に 着目し,プラズマの発生位置を変化させ実験を行った.

また, DBD プラズマアクチュエータには, 化学活性 種を発生させる効果を持つとされているので, 発生し ている化学活性種を同定するために分光測定を行う.

本研究の最終目的としては、プラズマおよび、プラ ズマによって発生する誘起流れが燃焼に与える影響を 明らかにすることである.

2. 実験装置·方法

我々は、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 れにより、誘起流れが発生し、流体を制御できる.

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*=6mm 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外力が働き,誘起流れが発生す るので、燃料に速度変化を生じさせ火炎の制御を試みる.誘起流れが主流に沿う方向に発生する場合のプラズマ発生場所を position A 、主流に逆らう方向に発生する場所を position B とする。



and Size of Electrode

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 $Q=3.31\pm0.01L/min(=1.95[m/s])$ の範囲で供給し、当量 比 $\varphi=0.95\sim1.05$ まで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矩形電圧を 印加し、印加電圧 $V=4kV\sim16kV$ 、印加周波数印加 $f=1kHz\sim8kHz$ と変化させ予混合気を点火させ、火炎を 撮影した.

また、プラズマ発生時における火炎の強度と波長を 調べるため、分光器を用いた化学活性種の同定実験を 行った. 概略図を図 2、3 に示す. 図 3 のようにレン ズを設置し、当量比 $\varphi=1.00$ において、印加周波数 4kHz 一定とし、電圧を $4k\sim16kV$ と変化させた場合と、 印加電圧 10kV 一定とし、周波数を $1k\sim8kHz$ 変化させ る場合で実験を行った.

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



実験結果・考察

当量比 0.95 印加電圧 4kV~16kV での DBD プラズ マ position A および, position B での ON 時と OFF 時 の予混合火炎の比較画像を図 4, 5 に示す. 図 4, 5 の 当量比 0.95 では,希薄燃焼となり燃焼速度が低下し, プラズマ 0FF 時に火炎は吹き消えてしまった. しか し, position A, B において印加電圧 4k~16kV を印加 した場合,共に火炎は吹き消えずに燃焼が継続した.





position A において印加電圧 16kV まで上昇させた 場合,火炎形状が安定せず半浮き上がり火炎となる現 象が生じた.position B では 10kV で 火炎の形状に少 し乱れが生じ,16kV になると火炎が大きく乱れるが, 浮き上がり,吹き消えなどの現象は見られなかった。 電圧を印加することにより燃焼が継続することから, 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 0.95 でも燃焼が促進され,吹き消えを抑制したと 考えられる.印加電圧 16kV の際は,position A 燃焼促 進効果よりも境界層付近の速度が上昇し,壁面におい て流速が燃焼速度を上回り半浮き上がり火炎現象が生 じたと考えられる.反対に position B では誘起流れが 主流に逆らうように発生するので,壁面で吹き飛びを 抑え込む形となり,結果として火炎形状の乱れに繋が ったと考えられる.

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6より波長のピークは 310nm, 390nm, 430nm, 470nm, 520nm, 560nm, 付近にあり 310nm は OH, 390nm, 430nm は CH, 470nm, 520nm, 560nm は C2 に関連していると考えられる²⁰. また高電圧,高周波数に伴い化学活性種も増加する傾向となる.



Figure 6. Emission Spectrum using Plasma at position A 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 0.95 において,印加電圧 4k~16kV 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, DBD プラズマアクチュエータを使 用すると, 波長のピークが 310nm 付近に OH と考 えられる化学活性種が増加していることから, プ ラズマには火炎の燃焼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, 謝辞を表する.

6. 参考文献

- 1) 深潟康二ら:(2010)「プラズマアクチュエータの基礎と研究動向」,「ながれ 29」pp.243-250.
- 2) A.G.GAYDON : (1957) THE SPECTROSCOPY OF FLAMS].