K2-34

同軸型DBDプラズマアクチュエータを用いた燃焼促進作用についての研究
—化学活性種が火炎に与える影響—
Study of the combustion promoting action using a coaxial DBD plasma actuator
—Effect of chemically active species on a flame—

○敷波庸介[1]，　土田紘司[1]，　堀竜郎[1]，　前川聖樹[1]
金井翔太[2]，　富田健斗[2]，　吉田幸司[3]，　秋元雅翔[3]，　木村元昭[3]
*Yosuke Shikinami[1]，Hiroshi Tsuchida[1]，Tatsuro Hori[1]，Masaki Maekawa[1]
Shota Kanai[2]，Kento Tomita[2]，Koji Yosihida[3]，Masato Akimoto[3]，Motoaki Kimura[3]

Abstract: The experiment was conducted for combustion promotes working by a coaxial DBD plasma actuator. In this experiment, the equivalent ratio was 0.95, applied frequency was 4kHz, applied voltage was 4kV, 10kV, and 16kV, took a picture of flame. As a result, 4kV, 10kV was able to continue the flame. Equivalent ratio 1.10, raising the applied frequency 4kHz, the applied voltage from OFF to 16kV by 2kV was chemically active species measurement experiment using a spectroscope. Measurement conditions were at integration time 40 ms, average 20 times. As a result, chemically active species is increasing by high voltage.

1. 緒言

現在，工業での低燃費化が盛んである. そのため，燃焼効率の改善が求められ「燃焼」の在り方が見直されている．そこで，我々は火炎の吹き飛び抑制や安定した希薄燃焼の継続を可能とするために，DBD プラズマアクチュエータを用いて火炎制御を試みた. DBD プラズマアクチュエータとは，化学活性種を発生させる効果を持つ誘電体バリア放電(DBD: dielectric barrier discharge)を起こす装置である．化学活性種は燃焼促進効果があるとされており，その結果，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．しかし，誘起流れと化学活性種は同時に作用してしまい，どちらが燃焼の継続に深く関わっているのかあまり研究がなされていない．そこで本研究の目的は，化学活性種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(FASTCAM Mini AX100) による火炎の比較実験，線香粒子を用いた流体の可視化実験，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．今回の実験では，化学活性種の反応を顕著にするため，プラズマ発生部をノズル出口近傍に配置し，図 1 に示した形状のノズルを使用して実験を行った．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リン青銅を使用する．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．電源より交流矩形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.

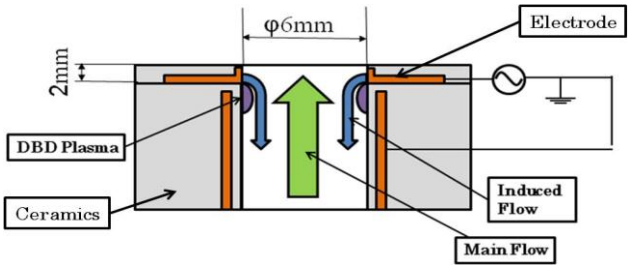

Fig1.Flame Control by an Induced Flow and Size of Electrode

実験装置の概略図を図 2 に示す. ハイスピードカメラによる実験では，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(型番　空気:MQV0005 プロパン:MQV9500) によりチャンバ内で混合気を Q = 3.31±0.01L/min (≒1.95m/s) の範囲で供給し，当量比 φ を 0.80 から 1.10 まで変化するように混合させ，予混合気を点火する．その後，Function Generator と高圧電源を用いて交流矩形電圧

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

を同軸型 DBD プラズマアクチュエータに印加する．印加電圧の条件を印加周波数 f = 4kHz, 印加電圧 V = 4kV，10kV，16kV と変化させ，125fps で火炎を撮影した．流体の可視化実験は空気のみを流し火炎の撮影時と同じく φ ＝ 1.00 と同じレイノルズ数 Re = 870 (Q = 3.48±0.01L/min(≒2.08m/s)) に合わせて実験を行った．また，プラズマ発生時における化学活性種の増加の有無を調べるため，分光器を用いた化学活性種の測定実験を行った．最も変化が激しい CH ラジカルと考えられる波長 432nm と，火炎の燃焼に関わっているとされる OH ラジカルの波長 311nm に着目して実験を行う [1)]．集光方法として平凸レンズを 2 枚を組合せ，焦点部分に分光器受光部を設置し，火炎の自発光を光ファイバーを通して分光器に導く．当量比 φ ＝ 1.10 において，印加周波数 4kHz 一定とし，電圧を OFF 時から 16kV まで 2kV ずつ上昇させた．測定条件は積算時間 40ms のデータを 20 回取得し，その平均値を出す．

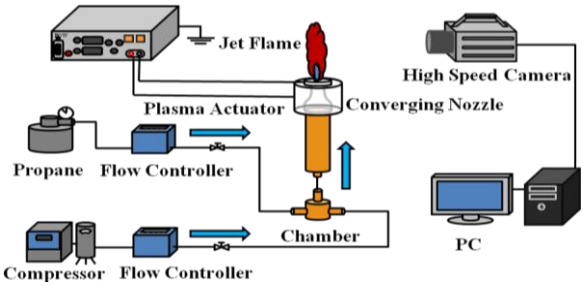

Fig2. Experimental Apparatus

3. 実験結果・考察

今回使用したノズルの当量比 0.95，印加周波数 f = 4kHz，印加電圧 4kV，10kV，16kV でのプラズマ ON 時と OFF 時の予混合火炎の比較画像を図 3 に示す，また流体の可視化実験の比較画像を図 4 に示す．

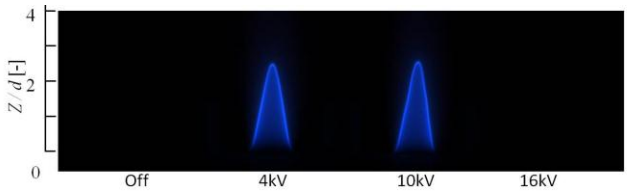

Fig3. Flame Comparison

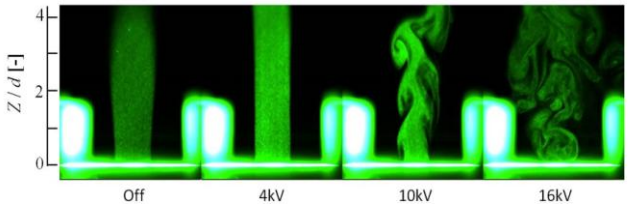

Fig4. Flow Visualization

図 3 から印加電圧 4kV, 10kV 時は燃焼の継続が確認できた．しかし 16kV 印加時は燃焼が継続せず吹き飛びがみられた．図 4 の 16kV の流体の動きに着目すると，あらゆる方向からの気体の巻き込み(Entrainment)が起こり，乱れているのがわかる．そのため未燃物質が反応を開始するのに必要なだけの燃料が十分に供給されず，火炎が希薄側に寄ったため燃焼速度が低下し吹き飛んだと考えられる [2)]．また，火炎伸長により火炎そのものの温度が下がってしまったため火炎が継続できなくなったと考える．

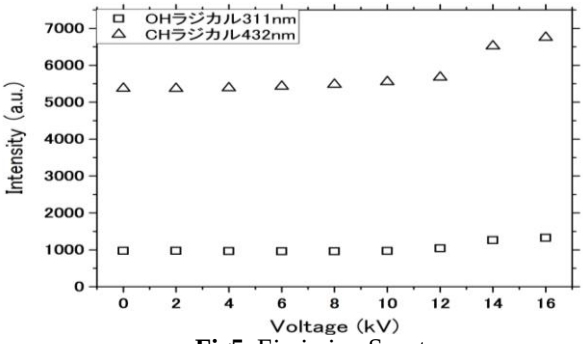

Fig5. Eimission Spectrum

図 5 に電圧の増加に伴う化学活性種の強度の推移を示す．これより，電圧 12kV から化学活性種が増加していることがわかる．よって高電圧に伴い化学活性種も増加していると言える．しかし 16kV では化学活性種が最大値となっているが，火炎が継続せずに吹き消えてしまった．火炎の継続には，化学活性種の量を多くすればよいと言うものではなく，誘起流れや Entrainment とのバランスが重要だと考える．

4. 結論

1)DBD プラズマアクチュエーターを用いてプラズマを発生させることにより通常では失火してしまう当量比でも燃焼の継続を確認できた．

2)燃焼の継続には化学活性種だけでなく，周辺気体の巻き込みや火炎伸長が影響すると考えられる．

5. 謝辞

本研究は JSPS 科研費 22560176，25420132，16k06131 の助成を受けたものであり，謝辞を表する．

6. 参考文献

1) A.G.GAYDON: THE IDENTIFICATION OF MOLECULAR SPECTRA Chapman and Hall LTD (1950).pp.263-264.

2) 水谷幸夫:燃焼工学第 3 版(2002).pp84.