

K2-43

同軸型 DBD プラズマアクチュエータを用いた噴流制御に関する研究 —噴流挙動が火炎に与える影響—

Study on Jet Control by a Coaxial Type DBD Plasma Actuator —Influence of jet behavior has on the flame—

岡田大和¹, ○福井優太¹, 山中諒平¹, 秋元雅翔², 木村元昭²Yamato Okada¹, *Yuta Fukui¹, Ryohei Yamanaka¹, Masato Akimoto², Motoaki Kimura²

Abstract Jet is one of the factors related to the performance improvement of important industrial products such as air conditioning and burners, and some studies using the induced flow generated by plasma are actively conducted as one of the control methods. We control it using mixed gas of the flammable gas and air for the main jet in this study and we will clarify the behavior of flames when using DBD - PA (Dielectric Barrier Discharge - Plasma Actuator) which generates induced flow in the direction coaxial to the main jet and in the opposite direction.

1. 緒言

噴流は空調やバーナーなどの重要な工業製品の性能向上に関わる要素の一つであり^[1], その制御方法の一つとしてプラズマによって発生する誘起流れを用いた研究が一部盛んに行われている^[2]. 本研究では主噴流に可燃性ガスと空気の混合気体を用いて制御を行い, 主噴流と同軸方向, またその反対方向に誘起流れを発生させる DBD-PA(Dielectric Barrier Discharge-Plasma Actuator)を使用した時の火炎の挙動を, 実験を通して明らかにしていく.

2. 実験装置・方法

本実験で使用する同軸型 DBD-PA の断面図, 同軸型 DBD-PA の主噴流及び誘起流れの全体図を図 1 に示す. それぞれ誘電体の材質はマシナブルセラミックス, 高電圧印加電極, グラウンド電極の材質をリン青銅とし厚さ 0.5mm の円筒状に加工した. これを誘電体にはめ込み DBD-PA を構成した. ここで出口内径 $d=6\text{mm}$ である. 実験装置の説明を次に示す. ファンクションジェネレータの波形を高電圧電源に入力し, 増幅して DBD-PA に印加する. 噴出流体は空気, プロパンの混合気とし, コンプレッサーから送られてくる空気, ポンプから送られてくるプロパンを調節するためにフローコントローラを通過し, ノズルから噴出させる. この噴流に線香粒子を混入し, Nd:YAG レーザーのシート光を照射し, 高速度カメラを用いて可視化撮影を行う. また交流電圧を印加させる際は, オシロスコープを用いて波形の確認を行った. 実験は空気 80%, プロパン 20%の部分予混合気を鉛直上向きに噴出させる. 火炎点火後に DBD-PA に $V_p=14\text{kV}$ 一定のもと印加させて連続駆動し, プラズマによる誘起流れを発生させる. ここで, ノズル内電極に高電圧を印加して発生する上向きの誘起流れを UP とし, 下向きの誘起流れを Down とする. その後流速を向上させた際の燃焼形態の変化, 反対に流速を一度上げて浮き上がり火炎を形成させた後, 低速に落としていった際の燃焼形態の変化を高速度カメラを用いて可視化撮影を行い観察する. また, 連続駆動する駆動周波数は 7kHz , 印加波形は正弦波とする.

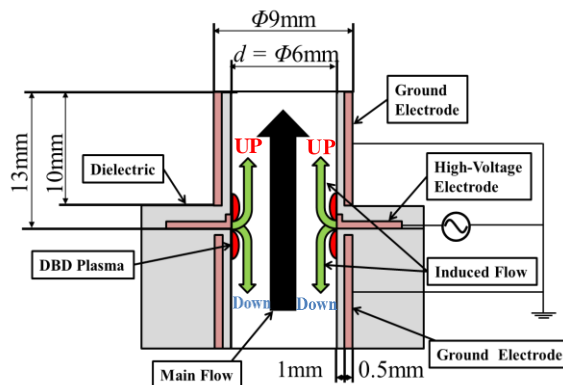


Fig1. DBD-PA burner nozzle schematic diagram

3. 実験結果および考察

表 1 は流量より算出した平均流速 4m/s で燃焼させ, その後流速を 0.5m/s ずつ上げていき, DBD-PA を OFF の状態, また DBD-PA を連続駆動させた際の燃焼形態の変化を表した実験結果である. 表 2 はプラズマ OFF で流速を 12.5m/s に上げ, 浮き上がり火炎を形成した後, 流速を低速にしていき, DBD-PA を OFF の状態, また DBD-PA を連続駆動させた際の燃焼形態の変化を表した実験結果である. ●は付着火炎, ▲は浮き上がり火炎, ✖は吹き消えを表している.

1 : 日大理工・学術・機械、 2 : 日大理工・教員・機械

表 1 から顕著な違いとしてそれぞれの条件により火炎の燃焼形態に大きな違いが見られる。プラズマ OFF 時の初期条件では 10m/s まで付着火炎となり、そして浮き上がり火炎を形成する。その後 13m/s で火炎が吹き消える。プラズマ UP に駆動した際、7.5m/s で浮き上がり火炎の形成が始まり、OFF 時と比較して早い段階に浮き上がり火炎が生じる。その後 10.5m/s で吹き消えが生じ、OFF 時より低い流速で吹き消える。プラズマ Down に駆動した際は浮き上がり火炎は生じず、21m/s まで付着火炎が形成される。OFF 時に吹き消えが発生する 13m/s を超えて 21.5m/s で吹き消える。これよりプラズマの影響による噴流挙動の変化が燃焼形態に変化をもたらしていると考えられる。プラズマ UP に駆動すると、上向きの誘起流れによりノズル壁面付近の流速が速くなり、周囲気体との境界層速度こう配が大きくなることで、プラズマ OFF 時に比べ早期に浮き上がり火炎になると考えられる。また、反対にプラズマ Down に駆動すると下向きの誘起流れによりノズル壁面付近の流速が遅くなり、周囲気体との境界層速度こう配が小さくなることで、OFF 時に比べ付着火炎を長く形成することができると考えられる。また、流速が 21.5m/s で吹き消えがみられるのは燃焼速度が流速を下回ったため、付着点がなくなり火炎が吹き飛んだ³⁾と考えられる。

表 2 より、表 1 と同様に燃焼形態に違いが見られる。プラズマ OFF の初期条件では 5m/s まで浮き上がり火炎が形成され、4.5m/s で付着火炎となる。プラズマ UP に駆動した際は 6m/s まで浮き上がり火炎が形成され、5.5m/s で付着火炎となる。OFF 時に比べ、速い流速で付着火炎となる。プラズマ Down に駆動した際は浮き上がり火炎は形成されず、9.5m/s まではプラズマ OFF で形成した浮き上がり火炎が吹き消えてしまう。9m/s より低速では OFF で形成した浮き上がり火炎がノズルに付着し、付着火炎が形成される。この結果より、プラズマ駆動時のほうが速い流速で浮き上がり火炎から付着火炎になっている。これは可視化撮影行った結果、プラズマ駆動させた際、未燃部分に形成される渦による影響が燃焼形態に変化をもたらしていると考えられる。形成された渦が重なり崩壊することで流速が低下し、燃焼速度と流速が釣り合い、火炎が下降すると考えられる。火炎が周囲にあると粘性が高くなり、渦輪が発達せず流れが層流になったため、浮き上がり火炎が付着火炎になったと考えられる。

4. 結論

同軸型 DBD プラズマアクチュエータの連続駆動による火炎形態の変化の実験において次の知見を得た。

- 1)DBD プラズマアクチュエータを用いることで火炎の燃焼形態を制御できる。
- 2)DBD プラズマアクチュエータを用いてプラズマを発生させることにより通常では吹き消えてしまう流速での燃焼の継続が明らかになった。

5. 参考文献

- [1] 社河内敏彦：「噴流工学 基礎と応用」，森北出版，pp.22，2004.
- [2] 佐宗章弘：「可動部のない流体制御装置：プラズマアクチュエータ」，日本機械学会誌，Vol110，No.1061，pp.58，2007.
- [3] 水谷幸夫：燃焼工学第 2 版，pp.89，1989.

Table 1. DBD-PA Continuous driving test results (When the flow rate rises)

Velocity [m/s]	Plasma OFF	Plasma UP	Plasma Down		
			Velocity[m/s]		
4	●	●	●	13.5	●
4.5	●	●	●	14	●
5	●	●	●	14.5	●
5.5	●	●	●	15	●
6	●	●	●	15.5	●
6.5	●	●	●	16	●
7	●	●	●	16.5	●
7.5	●	▲	●	17	●
8	●	▲	●	17.5	●
8.5	●	▲	●	18	●
9	●	▲	●	18.5	●
9.5	●	▲	●	19	●
10	●	▲	●	19.5	●
10.5	▲	*	●	20	●
11	▲		●	20.5	●
11.5	▲		●	21	●
12	▲		●	21.5	*
12.5	▲		●		
13	*		●		

Table 2. DBD-PA Continuous driving test results (When the flow rate decrease)

Velocity [m/s]	Plasma OFF	Plasma UP	plasma Down
4	●	●	●
4.5	●	●	●
5	▲	●	●
5.5	▲	●	●
6	▲	▲	●
6.5	▲	▲	●
7	▲	▲	●
7.5	▲	▲	●
8	▲	▲	●
8.5	▲	▲	●
9	▲	▲	●
9.5	▲	▲	*
10	▲	▲	
10.5	▲	*	
11	▲		
11.5	▲		
12	▲		
12.5	▲		
13	*		