

K-1

## 同軸型 DBD-PA によるバイオガスを用いた火炎の制御に関する研究

### Research on Control of Flame Using Biogas by Coaxial DBD-PA

○岩崎圭剛<sup>1</sup>, 川村優弥<sup>1</sup>, 中島竜<sup>1</sup>, 佐川芙蓉<sup>1</sup>, 秋元雅翔<sup>2</sup>, 木村元昭<sup>2</sup>

\*Keigo Iwasaki<sup>1</sup>, Masaya Kawamura<sup>1</sup>, Toru Nakajima<sup>1</sup>, Fuka Sagawa<sup>1</sup>, Masato Akimoto<sup>2</sup>, Motoaki Kimura<sup>2</sup>

In this experiment, a coaxial DBD-PA is installed in a double tube injection nozzle to control the flame and perform image analysis. In addition, we investigated what conditions suppress the vertical vibration of the flame under optimum driving conditions. As a method, a voltage applied to the DBD-PA is applied in a burst waveform and mixed gas is jetted from the inside of the double tube and air is jetted vertically upward from the outside. It is visualized by a high-speed camera and changes are compared. As a result, a lock-in phenomenon occurs when the burst frequency is 550 Hz, and vibration of the flame is suppressed. In conclusion, vibration of the flame is suppressed by using DBD-PA. Further, the vortex ring is stably collapsed by the lock-in phenomenon, the concentration and jet width of the gas are kept constant, and vibration of the flame is suppressed

#### 1. 緒言

流体が孔から噴出する噴流は流体力学における基本流れの一つであり、様々な工業分野で広く利用されている。バーナー燃焼を利用する際には、火炎の制御が問題になることが多い。<sup>[1]</sup>バイオガスなど、二酸化炭素を含む燃料は失火しやすい。その為、火炎の制御を行う事でこれら火炎の吹き消えなど異常現象を防止し安全に使用する。本実験では誘電体バリア放電(以下 DBD-PA)を噴流ノズルに設置し、それを駆動し火炎を制御する。画像解析で火炎の挙動を調査することで DBD-PA の最適な駆動条件を明らかにし、浮き上がり火炎の上下振動が抑制される事を調査した。

#### 2. 実験装置・方法

本実験で使用する DBD-PA の断面図、実験装置の概略図をそれぞれ図 1、図 2 に示す。図 1 について、誘電体ノズルの材質はマシナブルセラミックス、電極の材質はリン青銅、厚さ 1mm の円筒状に加工したものを使用した。この電極を誘電体にはめ込むことで DBD-PA を構成し、縮流比 19.4 である内側の先細ノズルの先端に配置した。外側のノズルの縮流比は 35.7 である。ここで内側ノズル出口内径は  $d_1=10\text{mm}$ 、外側ノズルの出口内径は  $d_2=16\text{mm}$  とする、使用した保炎器は外径 12mm 厚さ 2mm の円盤型であり、外側ノズル出口から鉛直方向に距離 16mm ( $x/d_2=1$ ) となる位置に取り付けた。次に図 2 の実験装置の説明を示す。ファンクションジェネレータを高電圧電源に入力し、増幅して DBD-PA に印加電圧 16kV で印加し、上向きの誘起流れを発生させる。印加する波形はバースト波形を用いる。噴流流体にはマスフローコントローラで内側のノズルから平均流速 10m/s でメタン 60%と二酸化炭素 40%の混合ガス(疑似バイオガス)、外側のノズルから空気を平均流速 5m/s でノズルから鉛直上向きに噴流した。この実験では、ハイスピードカメラを用いて可視化し、噴流に起こる挙動の変化や火炎形状がどのように変化するのかを比較する。

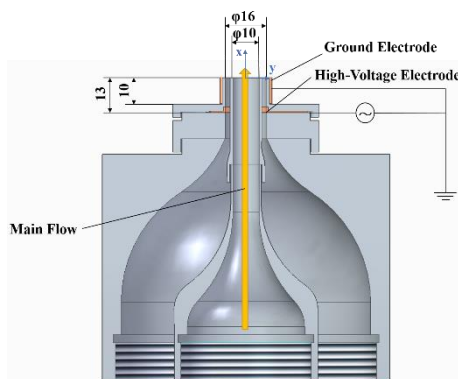


Figure 1. Coaxial type DBD-PA

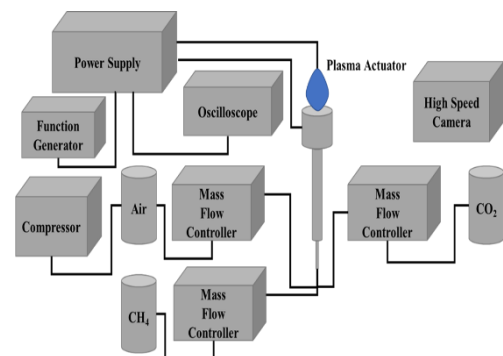


Figure 2. Experiment equipment

### 3. 実験結果・考察

図3にバースト周波数 off, 250Hz, 550Hz および 1000Hz における時間と火炎の振動の比較グラフを示す. このグラフの縦軸は, 観察した画面内に占める火炎の面積を表す. この4つの比較グラフを見てみると 550Hz のグラフが1番振幅が小さいのが見て取れ, 火炎の振動が抑制されていることが分かる. 550Hz が他の周波数と違い, 火炎の振動が抑制できる理由については off や 250Hz と比べると空気側の渦輪が発達し, 1000Hz と比べると 550Hz の方が渦輪が遅く崩壊するからであると考えた. off や 250Hz および 1000Hz の場合, 保炎器付近で発生している循環流れに混合気が巻き込まれ, また渦輪が保炎器付近で合体し崩壊してしまう為, 噴流が拡散されず火炎の幅が狭まってしまっている. しかし, 550Hz の場合では一定周期で渦輪が生成され, 保炎器付近で合体していない為, 循環流れに巻き込まれる事が無い. その為, 保炎器下流まで渦輪が維持されることで, 他の条件よりも噴流が拡散され, 火炎の幅が広がる事で安定するのだと言える. これは図4からも読み取ることができる. この時外側ノズル先端から 8mm ( $x/d_2=0.5$ ) の地点にて発生する渦輪の周波数を確認したところバースト周波数である 550Hz となった為, ロックイン現象が生じていると考察した.<sup>[2][3]</sup> ロックイン現象とは駆動した DBD-PA の周波数と, 渦輪の発生周波数が同期する現象である.

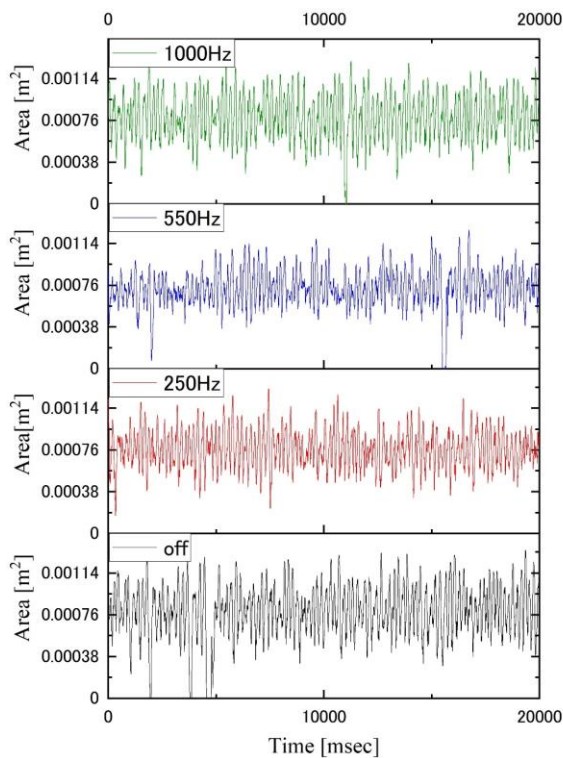


Figure 3. the waveform of the vibration of a flame

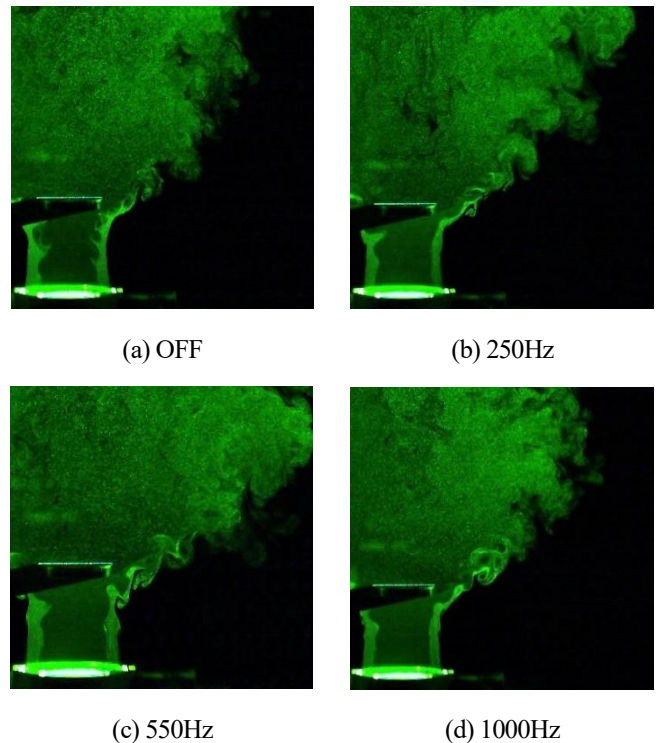


Figure 4. Analysis results by high speed camera

### 4. 結論

- 1) DBD-PA を使用することで火炎の振動が抑制される.
- 2) ロックイン現象により, 渦輪は保炎器下流まで維持される.
- 3) DBD-PA を制御することにより, ロックイン現象が生じて渦輪が安定的に崩壊し, ガスの濃度や噴流幅が一定に保たれ, 火炎の振動は抑制された.

### 4. 参考文献

- [1] 藤峰智也, 仲町一郎, 速川敦彦: 「ガスバーナーの燃焼安定性」 日本燃焼学会誌, 51 巻, 156 号, pp. 85-87, 2009
- [2] 亀本喬司: 「渦放出とロックイン現象」, ターボ機械, 25 巻, 9 号, pp. 488-496, 1997
- [3] 中川寛之: 「DBD-PA」とブラフボディを用いた空気噴流とバイオガス燃焼の制御」, 日本大学理工学部機械工学科卒業研究報告書, pp52-58, 2021