

K2-40

定容燃焼容器における筒内の圧力波が自発点火と火炎伝播に及ぼす影響 Influence of In-Cylinder Pressure Wave on Spontaneous Ignition and Flame Propagation in Constant-Volume Combustion Vessel

○小幡 充志¹, 島 和也¹, 日比 大雅², 田辺 光昭³
*Takashi Kohata¹, Kazuya Shima¹, Taiga Hibi², Mitsuaki Tanabe³

Abstract: Pressure oscillation which is caused by cool flame occurs before spontaneous ignition of end gas. In this study, influences of pressure wave on spontaneous ignition and flame propagation were investigated. As a method, we simulated pressure oscillation due to cool flame by generating ultrasonic waves in the combustion chamber. Ultrasonic waves are generated by using an ultrasonic horn whose resonant frequency is 27.7 kHz. As a result, wrinkles were generated on flame front by applying ultrasonic waves. Spontaneous ignition of end gas occurred near the cylinder wall by applying ultrasonic waves. There was little difference in flame propagation velocity in the presence or absence of ultrasonic waves.

1. 緒言

環境負荷の低減や燃料枯渇問題等により、内燃機関にはさらなる熱効率の向上が求められている。内燃機関の1つである火花点火機関では、熱効率向上の手段として高圧縮比化が有効である。しかし、高圧縮比化はノッキングの発生により制限されている。ノッキングとは火炎伝播によりエンドガスが圧縮され自発点火し圧力振動を生じさせる現象のことである。高圧縮比化実現のためにはノッキングの発生機構の解明が必要である。ノッキングの発生機構の一つとして、エンドガスが自発点火する前に冷炎による圧力振動が発生する^{[1][2]}ことが分かっている。また、エンドガスの自発点火は火炎面付近の高温側ではなく、低温側の壁面付近で起きる場合がある^[3]ことが分かっている。これは冷炎が発生した時に振幅が壁面付近で増幅したことが原因であると考えた。そこで、本研究では超音波ホーンを用いて圧力波を印加し冷炎による圧力振動を模擬することで、圧力波が自発点火と火炎伝播に及ぼす影響を調査した。

2. 実験装置及び方法

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。また、Fig. 1 に数値計算を用いて、ある時間における燃焼室内の圧力分布の計算結果を示す。計算条件は、初期圧力 2.6 MPa、初期温度 500 K、超音波ホーン振動面での振幅 50 μm とした。実験装置は定容燃焼容器とその周辺装置及び計測系で構成されている。超音波はファンクションジェネレータと高速バイポーラ電源によって信号を発信・増幅し、その信号を BLT 振動子と接続した超音波ホーンに伝えることで発生させる。また、スパークプ

ラグをシリンダ壁面に取り付け、その対向する壁面に圧力変換素子を設置した。スパークプラグにより火花点火させ、火炎が伝播することでエンドガスを自発点火させる。燃料はエンドガスの自発点火を発生しやすくするため、*n*-heptane (オクタン価 0) を使用した。また、燃焼室にサファイア窓を設け高速度カメラを用いて直接映像を取得した。本実験では初期圧力 2.6 MPa、初期温度 493 K、当量比 1.0 とした。撮影条件は解像度 256×256 pixel、撮影速度 30000 fps、露光時間 15 μs である。超音波の条件は、共振周波数 27.7 kHz、超音波ホーン振動面での振幅 50 μm 、波長 15.8 mm である。

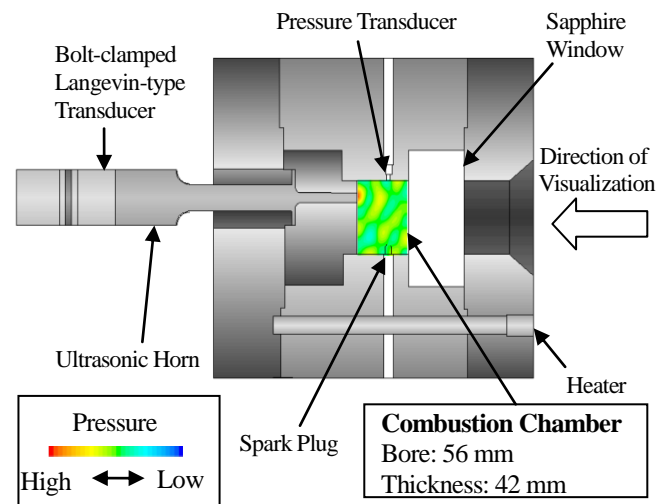


Figure 1. Experimental apparatus

3. 実験結果及び考察

Figure 2 に超音波なしの場合とありの場合の火炎伝播の挙動を示す。時間は火花点火時を 0 ms とした。ここで、Case 1 は超音波なし、Case 2 は周波数 27.7 kHz の超音波を印加して実験を行った。超音波を印加した

場合は超音波なしの場合に比べ火炎面に大きな皺を確認できた。Figure 3 に火炎伝播における時間と火炎伝播距離の関係を示す。火炎伝播距離は点火位置から燃焼室中心を通る線上を伝播する火炎につき測定した。Figure 2 より超音波を印加した場合は火炎面に皺が発生しているため、超音波を印加しない場合と比べて火炎面面積は増大していると考えられる。これにより火炎伝播速度は上昇することが考えられるが、Fig. 3 より超音波の印加の有無による火炎伝播速度の違いは見られなかった。超音波は熱伝達や活性分子の拡散を促進させる^[4]と言われているが、今回は火炎伝播速度にはほとんど影響を与えなかったことが考えられる。

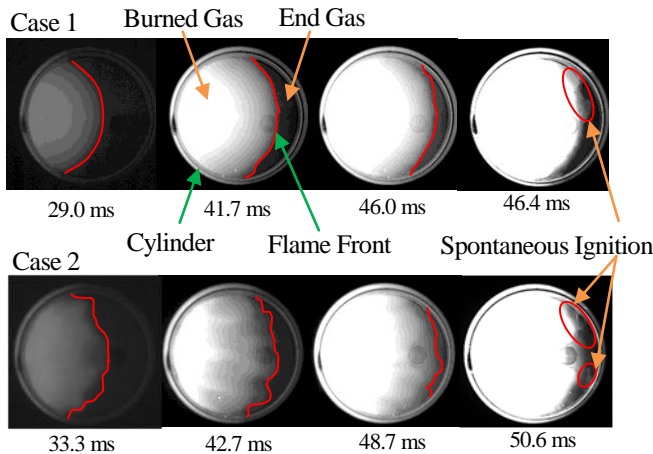


Figure 2. Behavior of the flame propagation in the presence and absence of ultrasonic waves

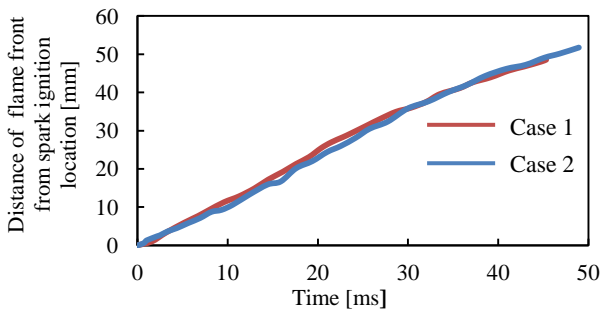


Figure 3. Comparison of distance of flame front from spark ignition location

Figure 4 に自発点火時の画像の拡大図と自発点火前後の差分をとった画像を示す。差分画像の丸で囲った赤色の部分は、自発点火前後で発光が特に増加したことを表している。また、Fig. 4 から自発点火が起きている場所は差分画像における赤色の部分と一致している。Case 1 に着目すると壁面側ではなく火炎側で自発点火していることが分かる。一方 Case 2 では壁面側で自発点火していることが分かる。これは超音波を印加する

ことにより反応が促進されることで壁面付近で振幅が増幅したためと考えられる。

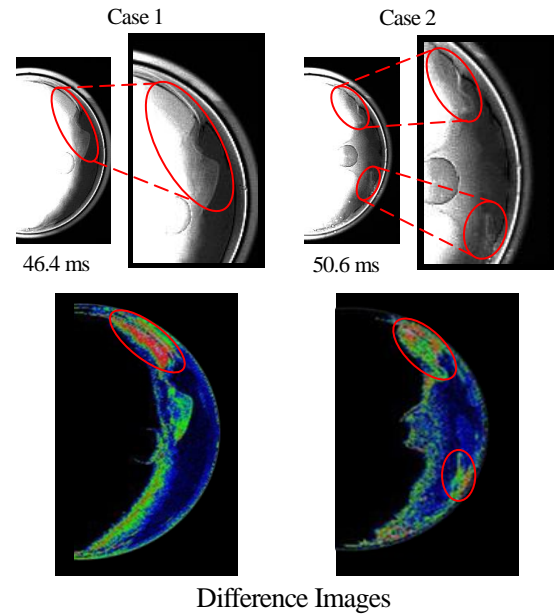


Figure 4. Difference in spontaneous ignition location in the presence or absence of ultrasonic waves

4. 結論

- ・ 燃焼室に超音波を印加することで火炎面に皺ができた。
- ・ 今回の実験では超音波の印加の有無にかかわらず、火炎伝播速度に大きな違いは見られなかった。
- ・ 圧力振動を印加することで、エンドガスの自発点火は壁面付近から起こりやすくなることが分かった。

謝辞

超音波ホーンの開発にあたり日本大学理工学部電気工学科の三浦光教授、可視化にあたりスズキ株式会社の中間健二郎氏にご協力いただいた。ここに深謝する。

5. 参考文献

- [1] Ball, C. A., Fifth Symposium (International) on Combustion, p. 366-372 (1955)
- [2] 志賀聖一, 他, 日本機械学会論文集 (B 編) Vol.51, No.465,p.1591-1599 (1985)
- [3] 齊藤勇人, 他, 自動車技術会論文集 Vol.41, No.2 P283-288(2010)
- [4] 熊谷清一郎, 日本機械学会誌 第 55 卷 第 406 号, p730-736 (1952)