

K2-49

エタノール - 空気混合気における自発点火時の火炎の広がり方が圧力振幅に与える影響 Influence of the Flame Spread Pattern at Spontaneous Ignition on Pressure Amplitude in Ethanol-Air Mixture

○関谷 耕平¹, 渡部 義矢¹, 吉田 洗紀², 齊藤 允教³, 田辺 光昭³
Kohei Sekiya¹, Yoshiya Watanabe¹, Koki Yoshida², Masanori Saito³, Mitsuaki Tanabe³

Abstract: The influence of the flame spread pattern at spontaneous ignition on pressure amplitude in ethanol-air mixture is investigated with HCCI mode. As a result, two patterns are found. One is flame surface progresses along the wall and collides with each flame the other is flame progress from the top to the bottom. In the former case, the pressure amplitude is larger than the latter case. It is thought that the collision of the flame generates the strong pressure wave.

1. 緒言

燃料枯渇問題や地球環境問題等の改善のため、内燃機関にはさらなる熱効率向上が求められている。その手段の1つとして、火花点火機関には高圧縮比化が有効であるが、機関破壊の原因の1つである異常燃焼（ノッキング）の発生によって妨げられている。ノッキングは、未燃ガスの自発点火に起因することから、この自発点火過程を詳細に解析していく必要がある。

ノッキングに関する研究では、Hibi et al.^[1]は自発点火後の燃焼室内の未燃ガスの燃焼時間に依存していることを示している。Bradley^[2]らは筒内の温度不均一性により生じる温度の空間勾配と、予混合気によって変化する自発点火遅れ時間の温度依存性で表される自発点火伝播速度が、自発点火に伴う圧力波生成過程に関連していることを式(1)で示している。

$$\xi = \frac{a}{u_a} = a \left(\frac{dT}{dr} \right)^{-1} \left(\frac{d\tau_i}{dT} \right)^{-1} = a \left(\frac{dT}{dr} \right)^{-1} \left\{ -\tau_i \left(\frac{E}{RT^2} \right) \right\}^{-1} \quad (1)$$

式(1)の ξ はデトネーション遷移条件に関する無次元パラメータであり、 a は音速、 u_a は自発点火伝播速度、 T は温度、 r は温度勾配方向距離、 τ_i は自発点火遅れ時間、 E は見かけの活性化エネルギー、 R は気体定数である。本多ら^[3]は未燃ガスの自発点火に伴う圧力波の成長要因の1つが、自発点火伝播速度であることを明らかにした。そこで、本研究では超急速圧縮装置（SRCM）を用いて、自発点火時の火炎の広がり方の違いが圧力振幅に与える影響を議論した。

2. 実験装置及び実験条件

実験装置に用いた SRCM は実機において1度の圧縮・燃焼過程を模擬可能であり、シリンダの最大ストロークは128 mm、ボアは56 mmである。ピストンの駆動に高圧のガスを用いることで、従来の急速圧縮装置では実現できない4~5 msでの急速圧縮が可能である。圧縮中の巻き上げ渦を抑制できるクレビスピストンを用いた。以下、Table.1に実験条件を示す。

Table.1 Experimental conditions

燃料	エタノール	
当量比 ϕ	1.0	
空気組成 [%mol]	酸素	21
	窒素	79
圧縮端圧力 P_1 [MPa]	2.00 ± 0.20, 4.00 ± 0.40	
圧縮端温度 T_1 [K]	780 ~ 880	

3. 実験結果及び考察

Figure. 1 及び 2 に自発点火時における火炎の進行の違いを示す。Fig. 1 では火炎が燃焼室の下部から壁面に沿って上部に進行し、Fig. 2 では燃焼室内上部から中心を通り下部に進行していくことが今回確認された。

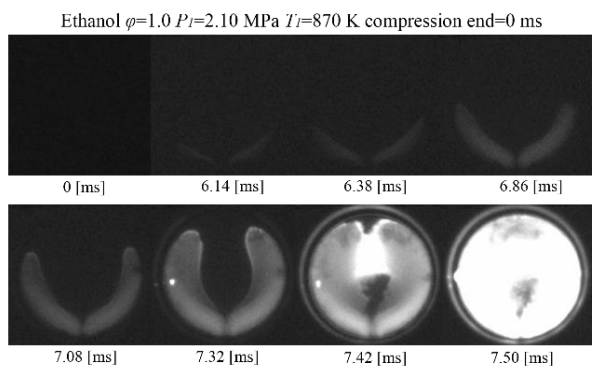


Fig. 1 Flame progress along the wall

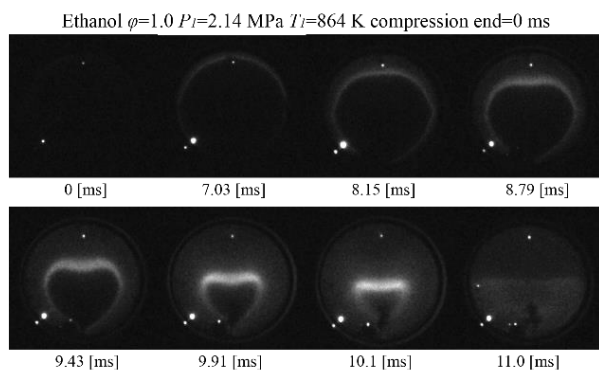


Fig. 2 Flame progress from the top to the bottom

また、Figure. 3 に自発点火伝播速度と圧力振幅の関係を示す。自発点火伝播速度は、火炎が Fig. 3 における①、②の線分の通過時間から算出した。

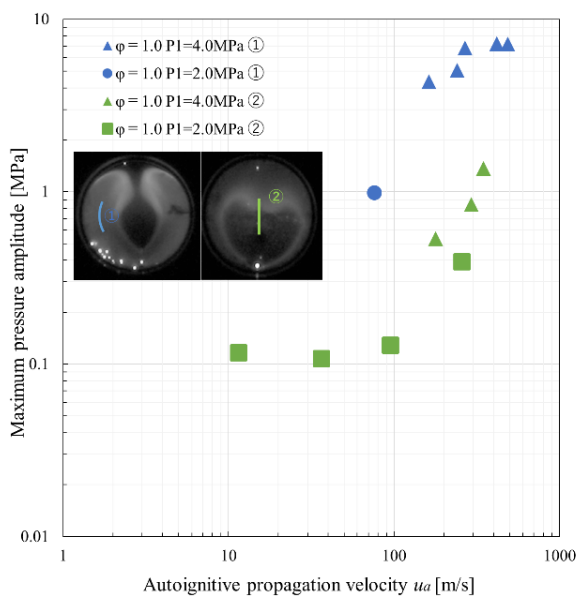


Fig. 3 Dependence of maximum amplitude on autoignitive propagation velocity

Fig. 3 から、②に対して①の圧力振幅は圧縮端圧力に関わらず、約 5 ~ 8 倍になった。この原因として左右に分かれた火炎は、Fig. 1 における 7.42 ms のときに衝突する。このとき、二手に分かれ進行した火炎の衝突により、圧力振幅が増大したと考えられる。また、このときの映像より、燃焼室内の一部で輝度が大きく上昇していることがわかる。このため、この部分で大きく圧力波の上昇が起きていると考えられる。また、燃焼室上部に残された未燃ガスが圧縮され、自発点火に繋がると考えられる。

4. 結言

圧力振幅は燃焼室内の火炎の広がり方の影響を受け、火炎の衝突時に強い波が発生する可能性がある。

5. 謝辞

本研究は総合科学技術・イノベーション会議の SIP (戦略的イノベーション創造プロジェクト)「革新燃焼技術」(管理法人: JST) によって実施された

参考文献

- [1] T, Hibi. et al., Journal of Thermal Science and Technology, Vol.8pp. 460-475, 2013
- [2] D, Bradley. Autoignition and detonations in engines and ducts, Philosophical Transaction of the Royal Society A, 370, 689-714, 2012
- [3] 本多浩詩ら, 乱流条件下で希薄予混合気の自発点火遅れ時間の温度依存性が自発点火時の圧力波生成に及ぼす影響, 第 27 回内燃機関シンポジウム, 2016