

不平等電界が水素-空気予混合気の火炎伝ばに及ぼす影響

Effects of Non-Uniform Electric Field on Flame Propagation of Homogeneous Hydrogen-Air Mixture

江森直樹¹, ○林隆樹¹, 三輪亮輔¹, 吉野恭平², 山口龍一³, 吉田幸司⁴
 Naoki Emori¹, *Takaki Hayashi¹, Ryosuke Miwa¹, Kyohei Yoshino², Ryuichi Yamaguchi³, Koji Yoshida⁴

This study explored the flame propagation behavior of homogeneous hydrogen-air mixture under the application of non-uniform electric field and three equivalence ratios, 0.4, 1.0 and 3.5 were tested. In case of lean mixture, the wrinkled flame appeared by the preferential diffusion and the wrinkle was enhanced by the corona wind due to low burning velocity. When a negative polarity non-uniform electric field was applied, the combustion was not affected by the electric field because the corona wind was not generated. Therefore, the corona wind which is generated by the positive brush corona only influences the combustion process.

1. まえがき

火炎は弱電離プラズマであるため、電界は火炎面挙動に影響を与える。⁽¹⁾本研究は、高電圧不平等電界が予混合燃焼に与える影響を実験的に明らかにすることを目的とし、当量比の異なる水素-空気予混合気を用い、正または負極性不平等電界が予混合火炎伝ばに及ぼす影響を火炎面挙動と燃焼圧力測定から解析した。

2. 実験装置及び方法

実験装置図を図 1 に示す。燃焼室は縦、横、高さ 50 mm、容積 125 cm³ の立方体であり、燃焼室上部に不平等電界発生用電極として針状電極を、下部にアース極として平板電極を設置した。針状電極に正及び負極性直流高電圧を印加し、不平等電界を発生させた。印加電圧は、0 kV から針状電極から平板電極に短絡するまで 2 kV 毎増加させた。実験には当量比 0.4, 1.0, 3.5 の水素 - 空気予混合気を使用し、常温、大気圧にて燃焼室内に充填した。エネルギー約 110 mJ のレーザー光をレンズを用いて燃焼室中央に集光し、レーザー誘起ブレイクダウン⁽²⁾により着火した。火炎伝ば過程はシュリーレン法を用いて可視化し、ハイスピードカメラにて撮影した。また、燃焼室内圧力も測定した。

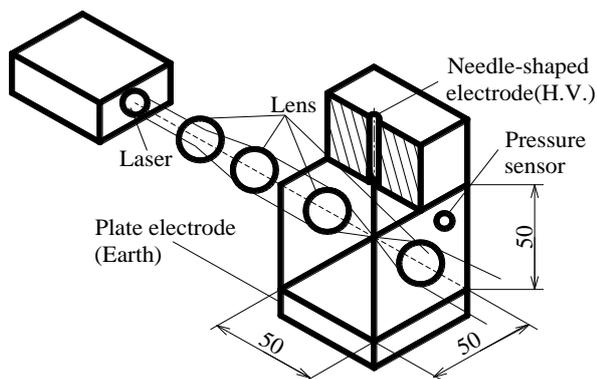


Fig. 1 Experimental apparatus

3. 実験結果及び考察

図 2 に、当量比 0.4, 1.0 にて電圧 ±16 kV 印加した場合及び当量比 1.0 にて印加電圧 0 kV すなわち通常燃焼における火炎成長過程を燃焼期間の 10, 30, 50, 70 % 時にて示す。通常燃焼は、球状に層流火炎が伝ばする。正極性印加電圧 16 kV の場合、当量比 0.4 では燃焼室の下方方向に伸長した火炎形状となる。これは、選択拡散によって層流しわ状火炎が発生し、火炎面上の乱れがコロナ風によって増加したため及び燃焼速度が遅いため不平等電界により発生したコロナ風の影響を強く受けたためと考えられる。当量比 1.0 の場合、正極性不平等電荷を与えても通常燃焼と同様に火炎は伝ばし、コロナ風のほとんど発生しない負極性印加電圧の場合、どちらの当量比でも通常燃焼と同様に火炎が伝ばする。

図 3 に、通常燃焼及び火炎を通じて針状電極から平板に短絡しない最大印加電圧、当量比 1.0 では 20 kV、

t %	φ 1.0			φ 0.4	
	0 kV	Positive	Negative	Positive	Negative
		16 kV	-16 kV	16 kV	-16 kV
10					
30					
50					
70					

Fig. 2 Flame propagation. (t: non-dimensional time)

当量比 0.4, 3.5 では 16 kV(図中 Maximum と称す)を与えた場合の燃焼圧力波形を示す。当量比 1.0 及び 3.5 場合, 正または負極性不平等電界を与えても燃焼圧力波形は通常燃焼とほぼ同一である。当量比 0.4 の場合, 負極性の場合通常燃焼と同様であるが, 正極性場合, 燃焼時間が短縮し, 最高燃焼圧力が若干低下する。これは, 火炎面形状の変化により火炎が早期に燃焼室底部に到達し, 冷却損失が増加するためと考えられる。

図 4 に当量比 0.4 の通常燃焼, 印加電圧 10 kV 及び最大印加電圧 16 kV を与えた場合の任意の時刻に対する火炎投影面積比を示す。ここで火炎投影面積比とは, 火炎投影面積を燃焼室側面面積で除し, 無次元化したものである。正極性印加電圧 16 kV の場合, 燃焼初期から火炎投影面積比は増加し, 燃焼期間が短縮する。しかし, それ以外の場合通常燃焼と同様である。

図 5 に印加電圧に対する燃焼促進率を示す。ここで, 燃焼促進率 ϕ とは, 各当量比の通常燃焼期間 t_{con} と燃焼期間 t から $\phi=1-t/t_{con}$ と定義する。当量比 0.4 に正極性電圧を印加すると, コロナ風の発生する 12 kV から燃焼促進率は印加電圧の増加に従い増加する。しかしその他の場合, 印加電圧はほとんど影響を及ぼさない。

図 6 に印加電圧に対する上下方向の火炎伝ば速度比を示す。ここで火炎伝ば速度比とは, 上下方向の火炎伝ば速度を通常燃焼時の火炎伝ば速度で除し, 無次元化したものである。下方向火炎伝ば速度は正極性電圧の場合, 印加電圧 10 kV 以上においてどの当量比においても速度が増加し, 当量比 0.4 の場合, 顕著に増加する。これは, 正極性高電圧を印加した場合に針状電極から平板電極へ向かって流れるコロナ風の影響と考えられる。水素-空気予混合気の場合, 火炎中にイオン等の荷電粒子がほとんど存在しないため, 電界は水素-空気混合気の火炎伝ば過程に影響を与えず, コロナ風のみが火炎伝ばに影響すると考えられる。

4. 結論

量論比及び過濃水素-空気混合気に不平等電界を与

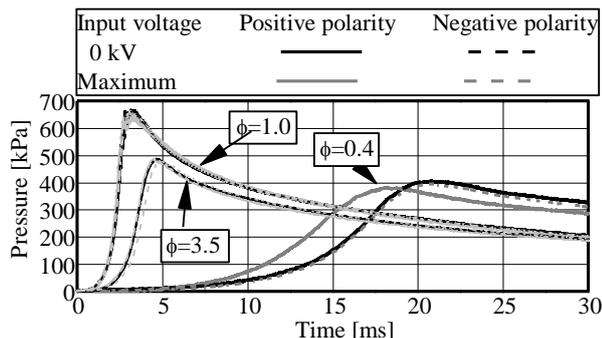


Fig. 3 Combustion pressure records.

えても火炎伝ば程はほとんど変化せず, 希薄混合気に正極性高電圧を与えた場合のみコロナ風により火炎が下方向に移動し, 燃焼が促進される。よって, 電界は水素予混合気火炎伝ばにほとんど影響を与えない。

5. 参考文献

- (1)新井他 2 名:機論, Vol.64, No.627, B, (2000) 3881
- (2)高橋他:平成 11 年度衝撃波シンポジウム, (2000)

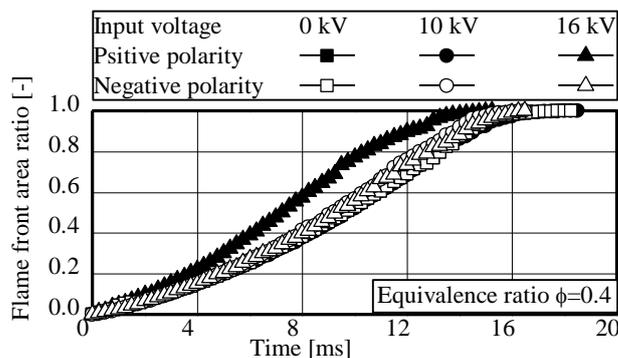


Fig. 4 Flame front area ratio as a function of time.

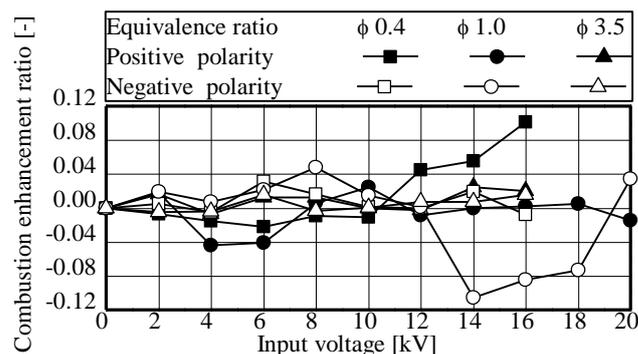


Fig. 5 Combustion enhancement ratio as a function of input voltage.

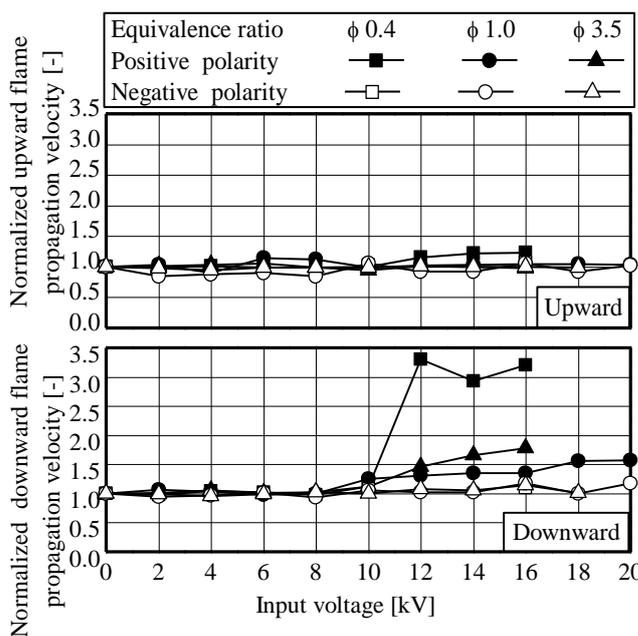


Fig. 6 Normalized each direction flame propagation velocity as a function of input voltage.