812 旋回流を用いた希薄予混合火炎の燃焼改善 Combustion improvement by using swirl flow for lean premixed flame

○学 粕谷 賢一 (法大院)

正 川上 忠重 (法政大)

Kenichi Kasuya, Faculty of Engineering Hosei University, 3-7-2 Kajino-cho koganei Tokyo

Tadashige Kawakami, Faculty of Engineering Hosei University, 3-7-2 Kajino-cho koganei Tokyo

It is very important to achieve the low emission of internal combustion engines, it is well known that the lean combustion is very useful method to reduce the emission by control of flame temperature.

In this study, experiments have been carried out to examine the influence of swirl flow on combustion characteristics for extremely lean premixed propane-air mixtures in combustion tube. The main conclusions are as follows;

- 1) The Swirl flow is very effective to increase the flame speed for extremely lean mixtures.
- 2) The increasing ratio of average flame speed depends on the swirl flow characteristics.

Key Words: Swirl flow, Lean premixed flame, Combustion tube, Flame speed

1. 緒論

近年、環境問題として、地球温暖化や大気汚染等が深刻化している。その一因として、自動車エンジンなどの内燃機関から排出されるガスに含まれる環境汚染物質である、NOx, SOx, HC, PM, CO 及び CO₂ 等が挙げられる。また、内燃機関に使用される燃料の大部分は化石燃料を使用しており、化石燃料は枯渇の恐れがあり、深刻な問題となっている。

そのため内燃機関には、これらの燃焼生成物に含まれる環境汚染物質の低減、資源の有効活用、高効率化などの燃焼改善が求められている。内燃機関の燃焼改善の手法としては、希薄燃焼や排気ガス再循環方式 (EGR) 等の火炎温度低減による手法が挙げられる。しかしこれらの手法では、過度の希薄化による着火性の低下、不規則火炎の発生、燃焼時間の増大等の問題がある。(1)

そこで本研究では、管内進行火炎観察装置を用い、旋回流による希薄燃焼領域での火炎挙動、火炎伝播速度に及ぼす影響について検討を行った。

2. 実験装置及び実験方法

Fig.1 に本実験における実験装置の概略図を示す。装置内には、燃焼管、混合管、バッテリー (24V)、点火装置、流量計、遅延回路、タイマーおよびスイッチから構成されている。使用した燃焼管は、内径 70mm×全長 770mm (燃焼部 670mm) のアクリル製円筒管であり、その内容積は約 2578cm³ である。燃焼管の両端には、ABS 樹脂製の栓が設けられている。点火側の栓には、燃料導入用のバルブとニクロム線を用いた点火装置、他端には、排気用バルブが設けられている。点火装置は、内径 70mm の ABS 樹脂製の栓の二箇所に電極を取り付け、それらを結線するように 200W のニクロム線を取り付けた。旋回流装置は、点火端から 250mm の位置に静止羽根を取り付けた。静止羽根は 11 枚、9 枚、7 枚、6 枚、3 枚の 5 種類を使用した。11 枚、9 枚、7 枚はそれぞれ違う羽根の形状で、6 枚、3 枚は 9 枚と同様の形状で羽根数を減らしたものである。燃焼管内の火炎挙動は点火端から 300mm、550mm の位置に計 2 台のビデオカメラを設置し、直接撮影法で観察した。

本研究は管内進行火炎伝播法を用いた。まず実験条件を表 1 に示す。室温、大気圧下で実験は行われた。なお、燃料は純度 99.9% のプロパン (C₃H₈)、乾燥空気が使用された。

本実験では、伝播する火炎が旋回装置を通過した後に徐々に旋回が弱くなり、通常の火炎伝播形状に戻る。そのため、撮影した画像から旋回区間を選定した。また、旋回区間の火炎伝播速度は減少するため、一定値とならなかった。そこで、本研究で用いる火炎伝播速度は、観察範囲内の火炎伝播速度の平均値である平均火炎伝播速度 (Average Flame Speed) と、観察範囲内の火炎伝播速度の最大値である最高火炎伝播速度 (Maximum Flame Speed) を用いた。また、本実験では各データに対して 10 回以上実験を行い、算術的平均値を用いて火炎伝播速度を求めた。

Fig.1 Experimental Apparatus

Table1 Experimental conditions

Fuel	Propane
Equivalence Ratio	$\phi=0.475\sim0.600$
Oxygen Density	21vol%
Atmosphere Pressure	0.10MPa
Atmosphere Temperature	293K
Humidity	0%

3.実験結果及び考察

Fig.2 に、雰囲気酸素濃度 21vol%, 当量比 $\phi=0.550$ の火炎形状の代表例を示す。

これらの図から明らかなように、旋回していない火炎形状は、浮力の影響を受けて上方向に持ち上げられながら伝播している。一方、旋回している火炎の火炎形状は、火炎表面積が著しく増大し、顕著な上方向への浮力の影響は観察されなかった。

Fig.3 に、旋回による燃焼促進効果を検討するために、管内に充填されているプロパン - 空気混合気の各当量比 ϕ に対する平均火炎伝播速度を示す。この図から明らかなように、どの当量比においても、旋回流を管内に発生させることにより、平均火炎伝播速度は著しく増大している。これは、旋回流による火炎面積の増大によるものであり、希薄予混合火炎の燃焼促進効果には、旋回流が有効であることが示唆される。なお、本実験範囲内において、羽根枚数 3~11 枚の当量比 $\phi=0.6$ および羽根枚数 6~11 枚の当量比 $\phi=0.575$ においては、著しい火炎伝播速度の増大の為、旋回流発生中に火炎先端が、燃焼管端に到達してしまい、火炎伝播速度が観察出来なかったことを明記しておく。

Fig.4 に、当量比に対する最高火炎伝播速度を、羽根枚数をパラメータとして示す。この図から明らかなように、先の平均火炎伝播速度と同様に、どの当量比においても観察された最高火炎伝播速度は著しく増大している。また、その増大率は、当量比の理論量論側への移行に伴って増加している。さらに、当量比 $\phi=0.6$ においては、約 6 倍程度の最高火炎伝播速度の増加も観察された。

Fig.5 に管内進行中の平均火炎伝播速度に及ぼす羽根枚数の影響を検討するために、当量比に対する平均火炎伝播速度の増大率を、羽根枚数をパラメータとして示す。ここでの火炎伝播速度増大率は、以下の式から算出された。

$$\text{Increase Rate of Flame Speed} = \frac{(u_{sn} - u_n) \times 100}{u_n}$$

u_{sn} = Average Flame Speed of Swirl Flow
 u_n = Average Flame Speed of Swirl Flow

この式から明らかなように、火炎伝播速度の増大率は、希薄領域においても羽根枚数の影響を著しく受けているが、定量的な評価結果は、現在得られていない。また、各羽根枚数における当量比の理論量論側への移行に伴う火炎伝播速度の増大率は、羽根枚数の増大に伴って増加する傾向が観察された。これは、羽根枚数増加による乱れ強さの増加に起因すると考えられるが、今後、乱れ強さ及び火炎形状の変化を含めて詳細に検討を行う予定である。

Fig.3 Average Flame Speed
(O₂ Concentration 21vol%)

Fig.4 Maximum Flame Speed
(O₂ Concentration 21vol%)

Fig.5 The Increase Rate of Flame Speed
(O₂ Concentration 21vol%)

4.結論

本研究では、管内進行火炎を用いて、管内に火炎伝播中に旋回流を発生させた場合の火炎形状、火炎伝播速度に及ぼす影響について検討を行った。以下に結果を示す。

- (1) 管内進行火炎伝播の平均火炎伝播速度は、旋回流の発生により著しく増大する。
- (2) 最高火炎伝播速度の増大率は、当量比の理論量論側への移動に伴って増加する。
- (3) 希薄領域における、同一当量比での平均火炎伝播速度の増加による燃焼促進効果には、最適な旋回流の条件が存在する。

5.参考文献

- (1) 新岡嵩他, 燃焼現象の基礎, (2001), オーム社, PP.259-277