

411 成層燃焼場での燃焼特性に及ぼす液滴粒径と燃料性状の影響について(熱工学II)

小田, 一馬 / KAWAKAMI, Tadashige / ODA, Kazuma / 川上, 忠重

(出版者 / Publisher)

日本機械学会東北支部

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

日本機械学会東北支部総会・講演会講演論文集 / 日本機械学会東北支部総会・講演会講演論文集

(号 / Number)

39

(開始ページ / Start Page)

152

(終了ページ / End Page)

153

(発行年 / Year)

2004-03-13

成層燃焼場での燃焼特性に及ぼす液滴粒径と燃料性状の影響について

A study of the influence of droplet diameter and fuel on the combustion characteristic in the stratified charge combustion

○学 小田 一馬 (法大院) 正 川上 忠重 (法政大)

Kazuma ODA, Faculty of Engineering Hosei University, Kajino-cho 3-7-2, Koganei Tokyo

Tadashige KAWAKAMI, Faculty of Engineering Hosei University, Kajino-cho 3-7-2, Koganei Tokyo

Key Words : Burning Pressure, Total Burning Time, Stratified Charge Combustion, Impinging Spray

1. 緒論

近年、エネルギー及び資源の大量消費により、酸性雨や地球温暖化など地球規模での環境問題が深刻化しており、環境保全と省資源の観点から、ガソリン機関に対する性能要求はより厳しくなっている。それに伴い、希薄混合気を用いた成層燃焼場のシミュレーションや実機を用いた研究が多くの研究者によって行われている。^{1), 2)} しかしながら、実機を用いた場合には、燃焼室容積の制限から燃焼安定性の問題や混合気流動の燃焼特性への影響も指摘されている。³⁾ そこで本研究では、成層燃焼場での燃焼特性を正確に把握するために、定容容器内の希薄プロパン-空気混合気中に液体燃料を直接噴霧させることにより、擬似的な成層燃焼場を実現させ、その燃焼特性(燃焼圧力、全燃焼時間)を観察することにより、それらに及ぼす噴霧燃料の液滴粒径及び噴霧燃料成分の影響について検討を行った。

2. 実験装置および方法

(1) 実験装置

Fig.1 に実験装置の概略を示す。実験装置は主に燃焼容器、点火装置、バッテリー、圧電式圧力ピックアップセンサ(ピエゾ式)、液体燃料導入用電磁弁、噴射ノズル、遅延回路及び圧縮空気タンク等により構成されている。本実験で用いられた燃焼容器を Fig.2 に示す。この燃焼容器は、内径 130mm、長さ 130mm の円筒形で、その内容積は約 1725cm³ である。

(2) 実験方法

実験に際してまず、予め設定された当量比のプロパン-空気混合気を燃焼容器に導入した後、噴霧用液体燃料(エタノール: C₂H₅OH 沸点 78.3°C、n-ヘプタン: C₇H₁₆ 沸点 98.4°C、n-ヘキサデカン: C₁₆H₃₄ 沸点 287.0°C)を液体燃料注入口に、それぞれシリンジを介して所定量を注入する。つぎに、点火用スイッチを投入することにより、遅延回路を介して点火用ニクロム線の赤熱およびプロパン-空気混合気への噴霧が開始させられる。なお、本実験では対向型噴霧を行うため、中心軸上に2個の噴射ノズルを水平に対向させて設置した。この噴射間距離(110mm、60mm、40mm)を変えることにより、液滴粒径を調整することが可能となっている。また、本実験においては、プロパン-空気混合気に液体燃料を噴霧した場合の総括当量比φはφ=0.6、0.7になるようにプロパン-空気混合気の当量比によって燃料注入量を変化させた。使用したプロパンの燃料純度は99.9%、液体燃料は特級である。また、空気組成の代用として乾燥空気(酸素 21vol%、窒素 79vol%)が用いられ、実験は室温・大気圧下で行われた。

3. 実験結果及び考察

本実験において、φ: 燃料噴霧前の定容容器に導入されたプロパン-空気混合気の当量比、Φ: 噴霧後の計算された総括当量比と定義した。

Fig.3 に総括当量比Φ=0.7 で n-ヘプタンを噴霧した場合の、点火からの時間に対する燃焼圧力を噴霧量、噴射間距離をパラメータとして示す。この図から明らかなように、総括当量比Φ=0.7 で n-ヘプタンを噴霧した場合には、いずれの噴射間距離、燃料噴霧量においても、得られた燃焼圧力は、プロパン-空気混合気のみ

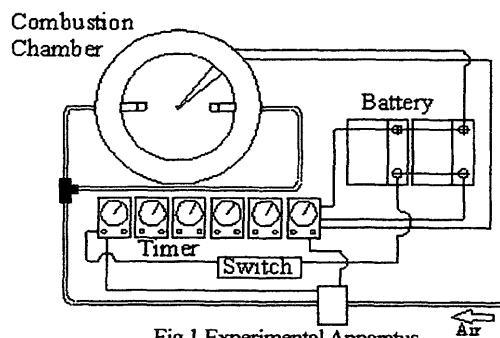


Fig.1 Experimental Apparatus

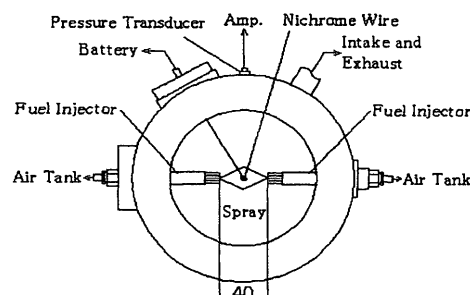


Fig.2 Combustion Chamber

で燃焼させた場合より著しく増大した。また、いずれの条件においても、その増大率に大きな差異は観察されず、ほぼ 1.6 倍程度であった。すなわち、添加燃料として n-ヘプタンを用いた場合には、噴射間距離及び噴霧量の変化による液滴粒径の影響は余りないものと考えられる。

Fig.4 に総括当量比Φ=0.7 で n-ヘプタンを噴霧した場合の全燃焼時間を示す。ここでの全燃焼時間とは、点火から最高燃焼圧力が観察されるまでの時間と定義した。この図から明らかなように、本実験範囲においては n-ヘプタンを噴霧させた場合には、先の燃焼圧力の結果と同様に、プロパン-空気混合気のみで燃焼させた場合よりも全燃焼時間は約 50%程度短縮し、また、噴射間距離および噴霧量に余り依存していないことがわかる。

Fig.5 に噴射間距離に対する総括圧力上昇率(最高燃焼圧力/全燃焼時間)を、総括当量比をパラメータとして示す。ここで Propane φ 0.7 および Propane φ 0.6 は、それぞれ、各総括当量比においてプロパン-空気混合気でのみ燃焼させた場合であり、当然ながら噴射間距離の影響はないものとなっている。この図から明らかなように、本実験範囲内では、噴射燃料として n-ヘプタンを用いた場合には、総括当量比Φ=0.7 においては、対向噴霧を行うことにより著しい総括圧力上昇率の増加が確認されたが、総括当量比Φ=0.6 の場合には、総括圧力上昇率の増大は、どの噴射間距離においても観察されなかった。また、総括圧力上昇率に及ぼす噴射間距離の影響に着目してみると、噴射間距離が 60mm~110mm 程度の範囲内に最適噴射間距離が存在する傾向が見られた。噴射間距離 40mm の場合に総括圧力上昇率が低くなっているのは、噴射間距離が短縮されることにより燃料液滴同士の衝突による微粒化は周囲において促進されているが、中心軸上に非常に高濃

度の液滴群が発生し、そのため外郭燃焼⁴⁾の燃焼形態となった効果により、液滴塊温度が低下したためと考えられる。さらに噴射燃料としてエタノールを用いた場合も n-ヘプタンを用いた場合と同様に、総括当量比 $\Phi=0.7$ においては、対向噴霧を行うことにより著しい総括圧力上昇率の増加が確認されたが、総括当量比 $\Phi=0.6$ の場合には、同程度の総括圧力上昇率の増大は、どの噴射間距離においても観察されなかった。また、噴射間距離 60mm の場合には約 1.8 倍程度ではあるが増加している。ここで、どの噴射間距離においても、総括圧力上昇率は先の n-ヘプタンと比較すると緩慢ではあるが、若干減少している。これは、燃料としてエタノールを用いた場合には、n-ヘプタンと比較して沸点が低いため、対向噴霧による液滴衝突開始から着火開始までの時間が短縮し、エタノール噴射による成層燃焼場での燃焼促進(乱れの効果を含む)効果が得られる前に、火炎伝播が開始したためと考えられる。すなわち、噴射燃料としてエタノールを用いた場合には、対向衝突角度や噴射圧力を制御することが必要であり、燃料性状により噴射間距離、噴射圧力および噴射角度、及びエタノールを用いた場合の希薄燃焼領域における液滴粒径の影響を詳細に検討し、最適化を行う必要がある。

Fig.6 に総括圧力上昇率に及ぼす噴霧量の影響を検討するために、総括当量比 $\Phi=0.7$ 、噴射間距離 60mm における、噴霧燃料の分子量に対する総括圧力上昇率を示す。なお、総括圧力上昇率に及ぼす噴霧燃料の沸点の影響を更に検討するために、沸点の高いヘキサデカンのデータも併記した。この図から明らかなように、噴射間距離 60mm において、プロパン-空気混合気の当量比 $\phi=0.5$ 中に液体燃料(約 40 μ l)を噴霧した場合の分子量に対する総括圧力上昇率と、プロパン-空気混合気の当量比 $\phi=0.6$ 中に液体燃料(約 20 μ l)を噴霧した場合を比較すると、どの燃料を用いた場合においても $\phi=0.5$ 中に噴霧した場合のほうが、 $\phi=0.6$ 中に噴霧した場合よりも総括圧力上昇率は減少し、また、その減少割合は燃料性状に著しく依存していることがわかる。さらに、 $\phi=0.6$ 中に噴霧した場合には、総括圧力上昇率に及ぼす燃料性状の影響の差異は余り観察されない。すなわち、より効果的な燃焼改善手法として成層燃焼の積極的な利用を行うためには、同一総括当量比においてもある程度の予混合領域が必要であり、このことは、選択拡散伝ば理論⁵⁾

^{1), 6)}とも一致する。今後実機に近い雰囲気状況での検討を、急速圧縮装置を用いて行う予定である。

4. 結論

成層燃焼場を利用し、プロパン-空気混合気中に液体燃料を噴霧させた場合の燃焼特性について検討を行った。以下に結果を示す。

- (1) 対向型噴霧方式を用いて、希薄プロパン-空気中に液体燃料を噴霧させた場合には、同一総括当量比($\Phi=0.7$)のプロパン-空気混合気でのみ燃焼させた場合よりも約 60~80%程度最高燃焼圧力は増大し、全燃焼時間は 50%程度減少する。
- (2) 対向噴霧方式による成層燃焼場の燃焼改善には、燃料性状における最適噴射間距離、最適噴霧量が存在する。
- (3) 対向噴霧方式を用いて燃焼改善手法として成層燃焼の積極的な利用を行うためには、雰囲気混合気濃度がある程度必要である。

参考文献

- 1) 吉田・ほか 2 名, 機論, 56-528, B (1990), pp.2483-2488
- 2) 菊田・ほか 3 名, 機論, 65-633, B (1999), pp.1838-1844
- 3) 横井・ほか 3 名, 機論, 58-546, B (1992), pp.613-618
- 4) 新岡・ほか 3 名, 燃焼現象の基礎, pp.204-216
- 5) 水谷幸夫, 燃焼工学, pp.156-158
- 6) 中部・ほか 2 名, 機論, 53-486, B (1987), pp.636-642

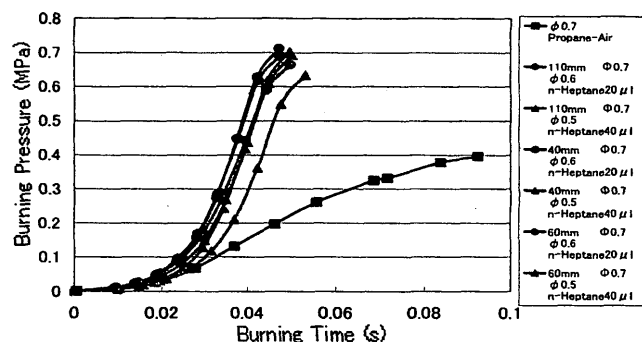


Fig.3 Burning Pressure ($\Phi=0.7$, n-Heptane)

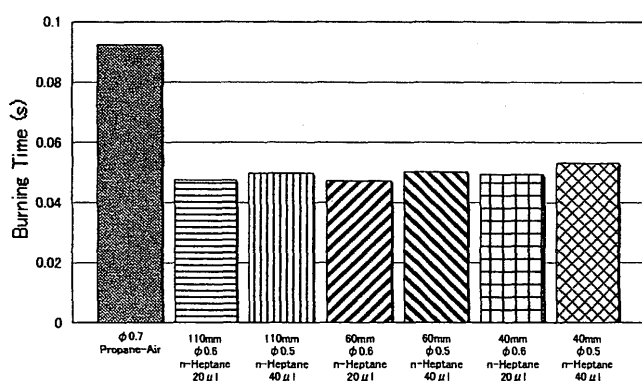


Fig.4 Total Burning Time ($\Phi=0.7$, n-Heptane)

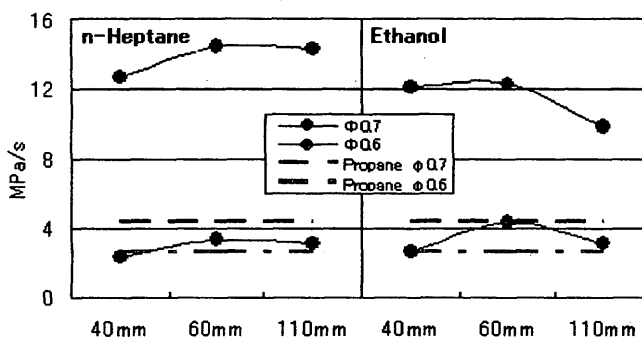


Fig.5 The rate of increase of Burning Pressure

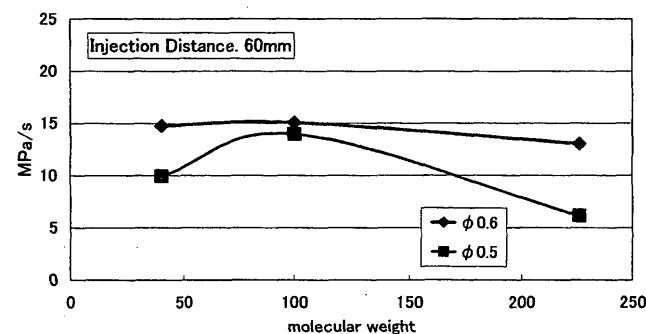


Fig.6 The rate of increase of Burning Pressure ($\Phi=0.7$)