

# 地球温暖化抑制を目指したガソリン機関の熱効率向上の実現

氏 家 康 成 (機械工学科)

## 1. 緒言

近年まで火花点火機関では予混合燃焼していると考えられてきた。しかしながら、計測技術の発展に伴い、ポート噴射、筒内直接噴射式いずれにおいても微粒化された燃料液滴が点火直前まで残留するという報告がなされている<sup>(1)</sup>。残留燃料液滴の燃焼は、雰囲気気体が燃料蒸気-空気混合気であるため、部分予混合燃焼とされる。部分予混合燃焼の燃焼機構は非常に複雑であるため、その燃焼特性も未だ不明な点が多い。これまで部分予混合燃焼の燃焼特性を把握するため、噴霧を単純化したモデルである均一分散・均一粒径の燃料液滴群-燃料蒸気-空気混合気(以下、均一噴霧)を用い燃焼実験が行われてきた。定圧<sup>(2)</sup>および定容<sup>(3)</sup>燃焼実験のいずれの場合も、予混合気中に均一噴霧を存在させた方が、同一当量比の予混合気よりも希薄領域において火炎伝播速度が増大していることが確認されている。これは、燃料液滴と未燃ガス間に生じる速度差<sup>(4)</sup>(以下、スリップ速度)によるものであると推察された。圧力の変化は燃料液滴の蒸発および燃焼特性に大きく影響を与えと考えられる。本研究では定容燃焼容器を用い、点火直前圧力を変化させて燃焼実験を行った。本報では点火直前圧力が火炎伝播挙動、火炎伝播速度および最大燃焼圧力に及ぼす影響を調べた結果を報告する。

## 2. 実験装置および方法

均一噴霧は飽和混合気を急速減圧することにより温度降下を起こさせ、燃料蒸気分圧を低下させることによって燃料蒸気の一部を凝集して生成した。実験装置の概略を Fig.1 に示す。実験装置は燃焼容器、温度制御装置および点火装置からなる噴霧生

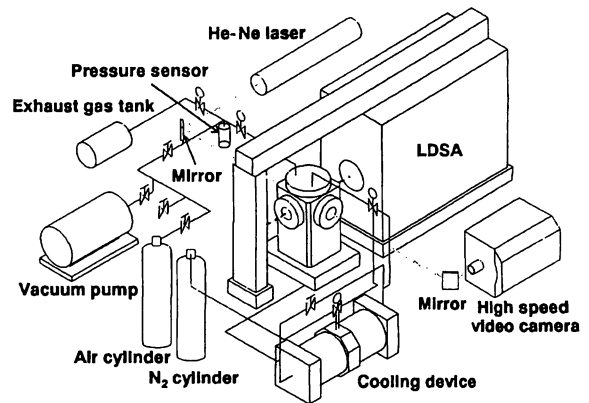


Fig.1 Schematic diagram of the experimental apparatus.

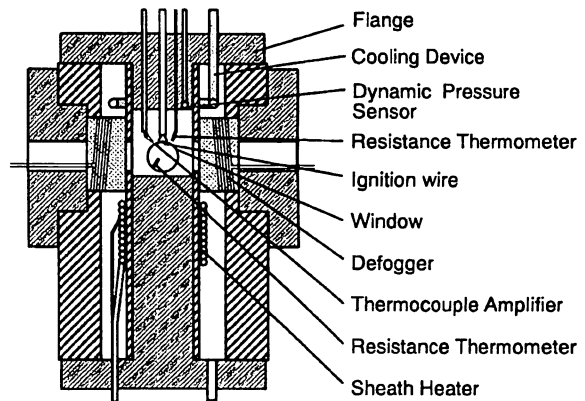


Fig.2 Combustion chamber.

成・燃焼装置と、光学計測装置、測温抵抗体、R種熱電対および圧力センサからなる計測装置に大別される。燃焼容器の詳細を Fig.2 に示す。燃焼室容積は 66 cc である。点火源には熱線を用いており、燃焼容器のほぼ中央に設置されている。燃焼室内の燃料蒸気-空気混合気が飽和状態になった後、高圧タンクと排気タンクの間で設けた減圧バルブを開くことにより、燃焼室内を急速減圧させ、均一噴霧

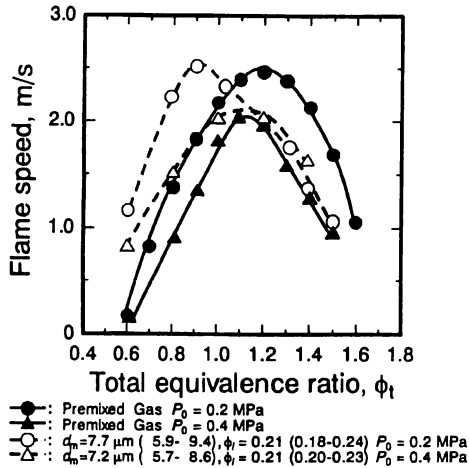


Fig.3 Flame speed as a function of total equivalence ratio.

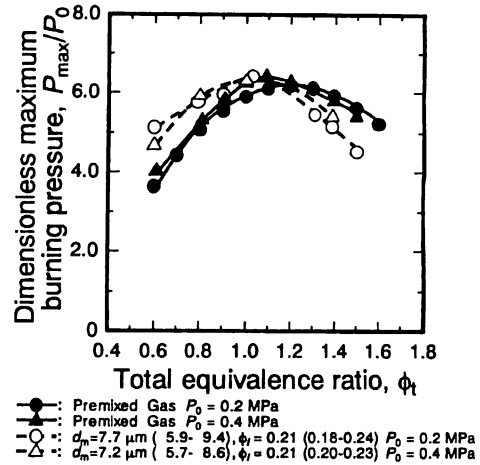


Fig.4 Corrected maximum burning pressure as a function of total equivalence ratio.

を生成させた。燃料蒸気-空気混合気を急速減圧させている間は、燃焼室壁から混合気への熱流入が問題となるため、冷却装置を用いて減圧直前に燃焼室壁を冷却することにより熱流入を抑制した。

噴霧の平均液滴直径の計測には、レーザ光散乱方式粒度分布測定装置 (LDSA) を用いた。LDSA は、レーザ光の散乱を利用して液滴の粒度分布を測定する計測器である。ヒータを観察用窓に設置することにより、窓の曇りを抑制し、LDSA の計測を安定させた。燃料には、蒸気圧が適当なこと、燃焼によるすすの発生が少ないことなどの理由により、エタノールを用いた。火炎伝播挙動観察には影写真法を用い、高速度ビデオカメラで撮影した。火炎伝播速度は、高速度ビデオカメラで撮影した画像から、火炎直径の時間変化を測定することにより求め、火炎直径が 20 mm の時点での火炎伝播速度を代表値として用いた。最大燃焼圧力  $P_{max}$  は、考察を行いやすくするため、点火直前圧力  $P_0$  で除し、燃料の一部が液化したことによる体積効率の増大分を減算した値を示した。

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 点火直前圧力が火炎伝播速度に及ぼす影響

Fig.3 に平均液滴直径を 7.7 および 7.2  $\mu\text{m}$  で、液

体当量比を 0.21 で、点火直前圧力を 0.2 および 0.4 MPa で一定とした時の火炎伝播速度の総当量比依存性を示す。予混合気では点火直前圧力が増大すると火炎伝播速度は減少した。これは層流燃焼速度の圧力依存性によるものであると考えられる。エタノールの場合、圧力の増加とともに層流燃焼速度が減少するため、火炎伝播速度は減少する。点火直前圧力 0.2 MPa の予混合気と均一噴霧を比較した場合、予混合気中に均一噴霧を存在させることにより、希薄領域では増速し、過濃領域では減速する傾向にある。スリップ速度の影響により、反応帯の局所気体当量比が増大したためであると考えられる

(3). 反応帯における局所気体当量比  $\phi'_g$  は

$$\phi'_g = \phi_g + K \phi_l \left( 1 + \frac{V_s}{S_L} \right)$$

で表される。ここで、 $K$  は蒸発割合、 $V_s$  はスリップ速度、 $S_L$  は層流燃焼速度である。点火直前圧力 0.4 MPa の予混合気と均一噴霧を比較すると、過濃領域でも火炎伝播速度は上回った。圧力の増大が燃料液滴の蒸発を抑制し、蒸発割合を減少させたため、反応帯の局所気体当量比を減少させることによって、火炎伝播速度が増大したと考えられる。総当量比 0.6 における点火直前圧力 0.2 MPa と 0.4 MPa の増速割合を比較すると、0.2 MPa の方が大

きい。このことは、0.4 MPaの方が0.2 MPaよりも局所気体当量比が小さいことを意味している。スリップ速度が圧力に依存しないとすると、局所気体当量比は層流燃焼速度と蒸発割合で決定される。圧力が增大すると層流燃焼速度は減少するため、0.4 MPaは0.2MPaと比較して蒸発割合が減少していることがわかる。

### 3.2 点火直前圧力が最大燃焼圧力に及ぼす影響

Fig.4にFig.3と同条件の圧力比の総当量比依存性を示す。最大燃焼圧力は火炎伝播速度の増減の傾向とほぼ一致する。しかしながら、点火直前圧力0.4 MPaの場合、過濃領域で均一噴霧の方が予混合気よりも火炎伝播速度が増大しているにもかかわらず圧力比は減少している。このことから、点火直前圧力0.4 MPaの方が0.2 MPaに比べてより選択拡散の効果が表れ、火炎伸長の影響を強く受け、火炎が不安定になり消炎していることが示唆される。

### 3.3 点火直前圧力が火炎面形状に及ぼす影響

Fig.5に総当量比を1.4とし、点火直前圧力を変化させたときの予混合気および均一噴霧の影写真を示す。予混合気は点火直前圧力を変化させても、滑らかな火炎面を形成する。均一噴霧は点火直前圧力を増大させると、より細かいしわを形成する。しわの発生は選択拡散によるものであると考えられる。点火直前圧力0.2MPaと比較して0.4 MPaの方が細かいしわを発生させるのは、圧力の増大により蒸発を抑制し、燃料液滴が蒸発しきらず燃え残ることで選択拡散の影響が強くなったと推察される。

## 4. 結言

定容燃焼容器を用いて、均一噴霧の燃焼実験を行った。得られた知見を以下に示す。

1. 予混合気中に燃料液滴を分散させることにより、点火直前圧力を変化させても、希薄領域で

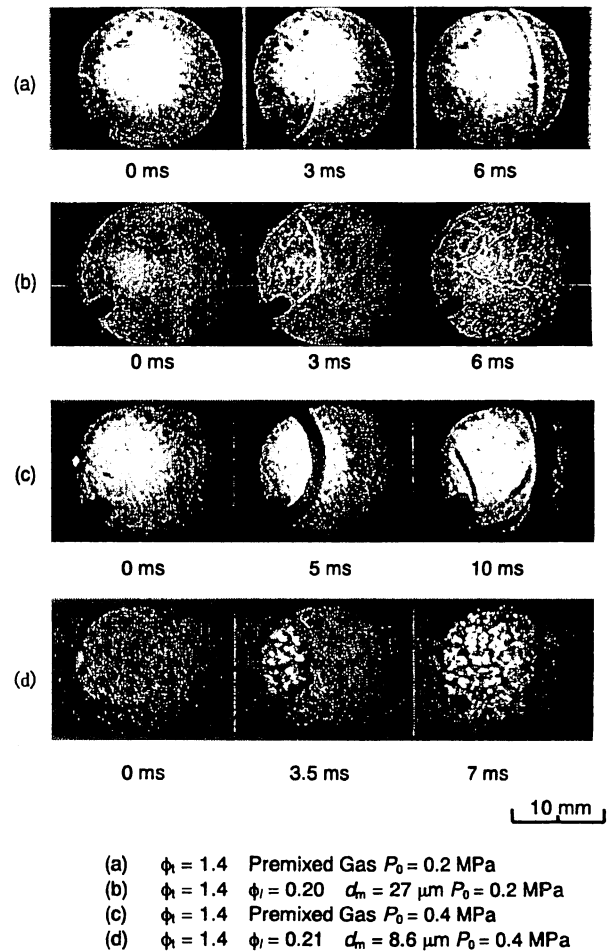


Fig.5 Flame propagation behavior.

火炎伝播速度および最大燃焼圧力が増大することが認められた。

2. 点火直前圧力増大させると、過濃領域で増速する現象がみられた。また、希薄領域における増速割合も減少した。これらの点から、圧力の増大が燃料液滴の蒸発を抑制していることが示唆された。

## 文献

1. Kadota, T., Mizutani, S., Wu, C. and Hoshino, M., Droplet Size Measurements in the Combustion Chamber of a Motored SI Engine via Laser Mie Scattering, SAE Technical Paper Series 900477, (1990).

2. Nomura, H., Koyama, M., Miyamoto, H.,  
Ujii, Y., Sato, J., Kono, M. and Yoda, S., The  
Proc. Combust. Inst. 28, 999-1005, (2000).
3. 浜崎豊宏・野村浩司・氏家康成・佐藤順一, 第  
40回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.513-514  
(2002).
4. Sun, J., Dobashi, R. and Hirono, T., 17<sup>th</sup>  
International Colloquium on the Dynamics of  
Explosions and Reactive System, Heidelberg,  
Germany, July, (1999).