

複雑流れ現象としての燃焼の解明とその応用

氏家 康成 (機械工学科)
野村 浩司 (機械工学科)

1. 緒言

燃焼が誘起する流れの中の現象は、流体運動、熱・化学種・運動量の拡散現象、素反応に基づく化学反応、反応による熱の発生などであり、これらが相互に影響を及ぼし合いながら並行して進行する極めて複雑な現象である。このような複合過程である燃焼現象も反応性流体力学の立場から実験的・理論的に解析が行われ、複雑な現象の解明が可能となってきた。

我々の生活において、ガソリン火花点火機関は最も身近な内燃機関の一つである。近年、省資源、公害低減の観点から、ガソリン機関において希薄燃焼が注目され、商品化されている。希薄燃焼においては混合気の点火が困難になるが、その解決方法の一つが層状給気燃焼である。これは、混合気の燃料濃度に偏りを生じさせ、点火プラグの電極付近に当量比が1に近い混合気が存在するように吸気を行う方法である。層状吸気方式の一つである筒内直接噴射方式のガソリン機関 (DISC 機関) は、今後のガソリン機関の主流になる可能性を秘めている。筆者らは、DISC 機関の筒内を単純化したモデルとしての静止した均一分散・均一粒径の燃料液滴-蒸気-空気混合気を用い、DISC 機関の燃焼に関する基礎研究を行ってきた。その成果の一つとして、ある適当な条件では、燃料液滴が分散する予混合気の方が同じ燃空比の均一な予混合気よりも火炎伝播速度が速くなることを見いだされた。この点に着目し、本プロジェクトでは予混合気中に均一分散する燃料液滴が混合気の点火や火炎の伝播に及ぼす影響を詳細に調べ、火炎伝播促進機構を明らかにすることを目的とする。

平成12年度は、既存の均一燃料液滴-蒸気-空気混合気燃焼実験装置と3次元 PDA (Phase Doppler Anemometer) を組み合わせ、粒径計測技術の確立を試みた。粒径の計測は、燃料液滴生成過程についてのみ行った。

2. 実験装置および方法

Fig.1 に実験装置概略を、Fig.2 に燃焼室を示す。実験装置は、燃料液滴-蒸気-空気混合気を燃焼室に生成し、定容燃焼させる装置と PDA システムから成る。定容燃焼容器内に均一燃料液滴-蒸気-空気混合気を生成する方法として、凝集法を採用した。これは、予め燃焼容器内に充填された飽和燃料蒸気-空気混合気を過飽和状態にし、燃料蒸気を霧状に凝集させる方法であり、Wilson の霧箱における霧生成原理と同じである。飽和燃料蒸気-空気混合気を過飽和状態にさせる方法として、急速減圧方式を採用した。

急速減圧方式は、飽和混合気を急速減圧させ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で燃料蒸気の一部を凝集させる方式である。燃焼室に高圧の飽和混合気

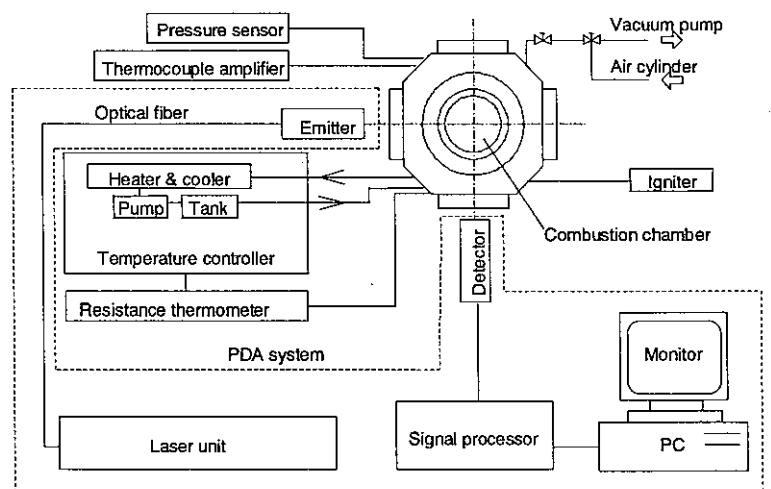


Fig. 1 Experimental apparatus.

を充填し、配管の一部に設けられた排気タンクに低圧の空気を充填する。燃焼室と排気タンク間に設けられ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、燃料の霧を生成させた。

燃料には蒸気圧が適当なこと、すすが発生しにくいことなどの理由から、エタノールを用いた。燃焼室の温度制御は、燃焼室周囲に循環させる水の温度を変化させることにより行った。液滴直径の計測には本年度導入した3次元 PDA を用いた。既存の燃焼容器を使用したため、PDA の送光用プローブの光軸と受光用プローブの光軸のなす角は90度となった。

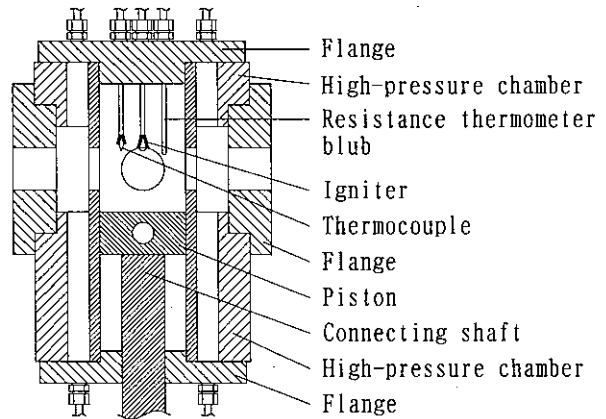


Fig. 2 Combustion chamber

3. 実験結果

Fig. 3 に、急速減圧方式により均一燃料液滴-蒸気-空気混合気を生成した場合の燃焼室内温度と平均液滴直径の時間履歴を示す。平均液滴直径 d_m にはザウター平均液滴直径を用い、PDA システムにより測定した。時刻ゼロに燃焼室内の減圧が開始され、温度が急速に降下している。その後、液滴が急速に成長していることがわかる。燃焼室の減圧が終了し、温度が緩やかな上昇に転じると、 d_m が緩やかに減少することがわかる。現象がほぼ平衡を保ちながら推移していることが推察される。時刻 2 s で混合気を点火した。点火後の液滴直径計測を試みたが、データの取得はできなかった。火炎伝播中の液滴直径計測は今後の課題とする。

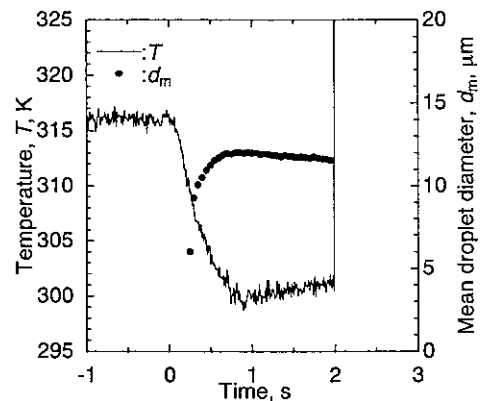


Fig. 3 Histories of mean droplet diameter and temperature.

Fig. 4 は、均一燃料液滴-蒸気-空気混合気の液滴直径分布を PDA により測定した結果である。図中の棒グラフは液滴直径分布を示しており、曲線は累積体積を示している。 $d(10)$ および $d(90)$ は、それぞれ累積体積が 10% および 90% となる液滴直径である。図の左は平均液滴直径が小さい例、右は大きい例である。生成条件を変化させることにより、平均液滴直径を変化させることができる。また、平均液滴直径が変化しても、直径分布の形に大きな変化がないことがわかる。種々の条件で液滴直径分布を測定した結果、 $d(10)$ および $d(90)$ はそれぞれ d_m のおよそ 0.8 倍および 1.5 倍であることがわかった。

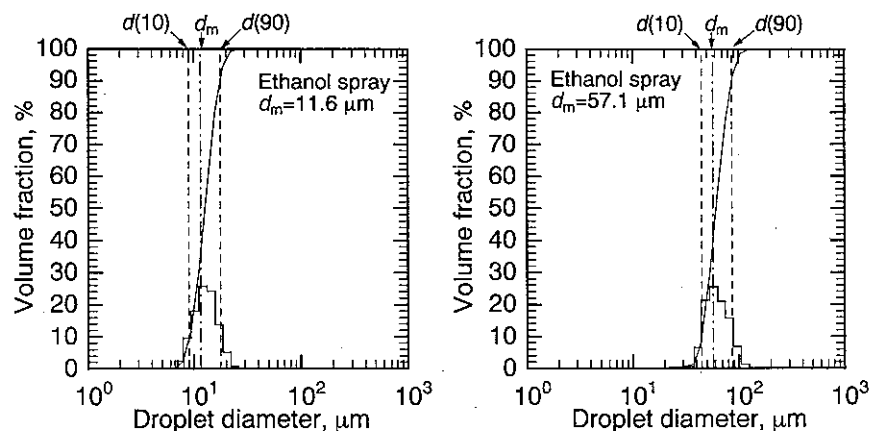


Fig. 4 Droplet diameter distributions.

4. まとめ

平成 12 年度に導入した PDA システムにより、急速減圧方式で生成した均一燃料液滴-蒸気-空気混合気の液滴直径分布を測定することに成功した。液滴速度および燃焼中の液滴直径測定が今後の課題として残った。