21113 小型急速圧縮装置を用いたDME-プロパン-空気混合気の燃焼特性に関する研究

The study of combustion characteristics for DME-propane-air mixtures using small type rapid compression machine

○学 武居 哲生 (法大院)

正 川上 忠重 (法大工)

Tetsuo TAKEI, Faculty of Engineering Hosei University, Kajino-cho3-7-2, Koganei, Tokyo

Tadashige KAWAKAMI, Faculty of Engineering Hosei University, Kajino-cho3-7-2, Koganei, Tokyo

Recently, as the environmental problems become more serious, small gasoline engines need to achieve low emissions and fuel consumption. Nevertheless, only very limited information is available for reducing the emissions and fuel consumption of small gasoline engines (50-125cc). In this study, using small type rapid compression machine the experiments have been carried out to obtain essential data on combustion characteristics of DME-propane-air mixtures influenced by high heat losses. Maximum burning pressure and the flame speed of DME-propane-air mixtures have been investigated. The main conclusions are as follows: 1) Maximum burning pressure of DME-propane-air mixtures is observed in the vicinity of equivalence ratio $\Phi = 1.5$ in a small type internal combustion engine. 2) The maximum flame speed is obtained at overall equivalence ratio $\Phi = 1.3$ in the lean side of DME-propane-air mixtures. 3) In a low oxygen concentration, the maximum burning pressure of DME-propane-air mixtures is influenced by overall equivalence ratio.

Key words: High heat losses, Spark ignition engine, DME, High pressure and temperature

1. 緒論

近年、環境問題の悪化を受けて、自動車から排出される環境排気物質の低減が急務であり、内燃機関の規制は年々厳しくなっている。特に小型機関(50-125cc)の燃焼生成物低減については、大國を中心として積極的に取り組みが始まっている。小型内燃機関においては燃焼室形状がコンパクトであるため、点火端付近、燃焼末端部(火炎伝播完了近傍)での熱損失が多く、燃焼生成物の燃焼工学的見地からの制御が極めて困難であり、中型・大型内燃機関と比較してその規制対策が十分に行われていない現状である。¹⁾

そこで本研究では新たにサイクル変動等の影響を除いて観察が可能な汎用型小型ガソリン機関をベースとした単発型の急速圧縮装置を開発し、ガソリン機関の実用運転範囲である高温・高圧下での燃焼特性を把握することにより、小型内燃機関の性能改善および燃焼生成物低減に関する指針を得ることを目的とする。本研究ではまず手始めとして、代替燃料であるジメチルエーテル(DME)に着目した。DMEにはスス排出が少ないという利点がある一方で、発熱量が低く、またオクタン価も小さいという欠点があり、ここではプロパンを添加することによる改善効果について検討を行った。また、その燃焼特性(最高燃焼圧力、火炎伝播速度)を炭化水素燃料(プロパン、メタン)と比較・検討した。

2. 実験装置及び実験方法

図1に、本実験で新たに開発された小型急速圧縮装置の概略を示す。本体は主に、燃焼観察用エンジン、モーター駆動部、点火装置、燃焼供給装置および火炎伝播観察装置(データ処理含む)から構成されている。本実験では、機関のサイクル変動の影響を取り除くため、実用の小型機関を用いているが、燃焼による連続運転は行わず、モーター駆動による1回の圧縮→燃焼→膨張による燃焼観察が行われた。

実験に際してまず、あらかじめ作成された所定の当量比の混合気を、燃料作成用混合タンクから機関燃焼室内に導入する。つぎにクランクを手動により吸排気バルブ開閉用ハンドルを回

転させることにより、吸気バルブ、排気バルブの順に弁が閉じられる。この時、燃焼室の容積の関係から、燃焼室内の混合気圧力は大気圧以上になっているため、先と同様に吸排気開閉用ハンドルを用いて、排気バルブの開閉により燃焼室内は大気圧となる。さらにマニュアルスイッチを投入することにより、クランク軸と継ぎ手を介して直結されたエンジン駆動用モーター(コンデンサ始動型)への通電が開始することにより、機関の急速圧縮・膨張が開始させられる。なお、混合気への点火方式は、遅延回路を用いて容量放電により行った。本装置による平均ピストンスピードは約1.97m/sであり、機関回転数1500rpm相当である。本研究での燃焼圧力の観察は、ピエゾ型圧力変換器が用いられ、火炎伝播速度の観察は、点火位置から4mm、8mmおよび12mmの位置に設置されたイオンプローブを用いて行われた。なお電気信号は、Kyowa Electric Instruments CO. LTD. 社製のPCDを用いて、記録・観察をパーソナルコンピュータで処理した。

Fig.1 Rapid Compression Machine

3. 実験結果および考察

図2に、本実験で得られたメタン、プロパンおよびDME-空気混合気の当量比に対する、最高燃焼圧力を示す。この図から明らかなように、メタン、プロパン-空気混合気を用いた場合

には、最高燃焼圧力が当量比 $\Phi=1.1\sim1.2$ 付近で最大となり、希薄側および過濃側への移行に伴って単調に減少している。一方、DME-空気混合気については最高燃焼圧力が当量比 $\Phi=1.5$ 付近で最大となっている。ここで、最高燃焼圧力が得られる当量比が理論量論比から過濃側へ移行するのは、熱解離の影響によるものであると思われる。

図3に、燃料の混合割合を総括当量比 $\Phi=1.1, 1.3, 1.5$ の場合の、DMEの各当量比に対する最高燃焼圧力及びDME-プロパン-空気混合気の最高燃焼圧力をそれぞれ示す。この図から明らかなように、DME-空気混合気を用いた場合には、最高燃焼圧力の最大値は当量比 $\Phi=1.5$ 付近で観察される。一方、DME-プロパン-空気混合気を用いた場合には、同一の総括当量比においては、DME-空気混合気の理論量論比付近でほぼ一定値をとり、DME-空気混合気の希薄側への移行に伴って若干ではあるが、増大している。これはDME-空気混合気の希薄側への移行に伴って、プロパンの添加濃度が増大したことにより、火炎温度が増加したためと考えられる。

図4に先と同様に、DME-プロパン-空気混合気の総括当量比 $\Phi=1.1, 1.3, 1.5$ とした場合の、DME-空気混合気の各当量比に対する火炎伝播速度を示す。この図から明らかなように、総括当量比 $\Phi=1.3$ で火炎伝播速度は最大となっている。すなわちこれは、プロパン添加による燃焼制御には、最適な総括当量比が存在することを示唆しており、今後詳細に検討を行う予定である。

図5に、DME-プロパン-空気混合気の燃焼特性に及ぼす雰囲気酸素濃度の影響を検討するために、DME-空気混合気の当量比に対する最高燃焼圧力を、総括当量比及び雰囲気酸素濃度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 $\Phi=1.3$ 及び 1.5 の場合には、雰囲気酸素濃度の低下に伴って、最高燃焼圧力は同一のDME-空気混合気の当量比において単調に減少している。これは、当然、火炎温度の減少によるものであるが、総括当量比 $\Phi=1.1$ に着目してみると、最高燃焼圧力が若干であるが増大している。これは混合燃料を用いた場合の熱解離の影響に起因しているものと考えられる。

4. 結論

小型急速圧縮装置を用いた、炭化水素、DME、DME-プロパン-空気混合気の高圧・高圧下における燃焼特性について検討を行った。以下に結果を示す：

- 1) 小型機関においてDME-空気混合気の最高燃焼圧力は、当量比 $\Phi=1.5$ 付近で観察される。
- 2) DME-プロパン-空気混合気の希薄領域においては、総括当量比 $\Phi=1.3$ で火炎伝播速度は最大となる。
- 3) DME-プロパン-空気混合気の最高燃焼圧力に及ぼす雰囲気酸素濃度の影響は、総括当量比により差異が発生する。

参考文献

- 1) 中島泰夫・他6名、改定・自動車用ガソリンエンジン(1999)、P35-37

Fig.2 Maximum Burning Pressure

Fig.3 Maximum Burning Pressure (DME-Propane-Air Mixtures)

Fig.4 Flame Speed (DME-Propane-Air Mixtures)

Fig.5 Maximum Burning Pressure (Oxygen Concentration 21%, 18%)

- 2) T.Kawakami, S.Okajima and K.Iinuma: Combustion Characteristics of Hydrocarbon-air Mixtures at High Temperature and Pressure Achieved by Spark-Ignited Rapid Compression Machine/Combustion Processes Vol.6 No3/4, pp.191-199(1986)