601 軽油および DME を着火源とする天然ガス希薄燃焼機関に関する研究

Natural gas lean burn engine ignited by diesel fuel and DME

正 金野 満 (茨城大) 〇学 谷岡 謙一 (茨城大院)
正 梶谷 修一 (茨城大) 正 陳 之立 (茨城大)

Mitsuru KONNO, Ibaraki University, 4-12-1, Nakanarusawa, Hitachi
Ken-ichi TANIOKA, Graduate Student Ibaraki University
Shuichi KAJITANI, Ibaraki University
Zhili CHEN, Ibaraki University

In order to reconcile ultra low NO_x emission with homogeneous charge compression ignition combustion (HCCI) and ignition control with spray combustion, dual fueled combustion was investigated. The premixed lean natural gas /air mixture was ignited by a diesel fuel or DME burned gas from a small auxiliary chamber. With this system, the inflammable lean limit was extended to equivalence ratio of 0.2. Thermal efficiency was reduced by 20% or more compared with a base diesel engine, whereas, smoke level maintained below 0.3 BSU even under the high load condition. NO_x was very low in low and middle load range, while NO_x increased rapidly in high load range over equivalence ratio of 0.4.

Key Words: Diesel Engine, Dual Fuel, Lean Burn, Natural Gas, Diesel Fuel, DME, NO_x

1. まえがき

希薄予混合圧縮着火燃焼は NO_x 生成量を極めて低いレベルに抑えることができるが⁽¹⁾、燃焼が化学反応律速となるため、着火および燃焼制御が困難で、運転可能な当量比はごく狭い領域に限られる。一方、従来の噴霧燃焼は混合律速であるため着火制御が容易であるが、燃焼場の当量比分布が量論近傍に集中するため NO_x 生成量が高くなる。本研究では、希薄予混合自着火燃焼による低 NO_x と噴霧燃焼による着火制御の両立を狙いとして⁽²⁾、天然ガスの主成分であるメタンの希薄予混合気を少量の軽油あるいは DME により着火することを試みた。

2. 実験装置および方法

供試機関は、ボア×ストローク $\phi 92[\text{mm}] \times 96[\text{mm}]$ 、行程容積 638[cc]、圧縮比 16.2 の横型 4 サイクル水冷単気筒ディーゼル機関であり、シリンダーヘッド部に容積 3.8cc の副燃焼室と副噴射系を装備している。主燃焼室と副燃焼室は直径 $\phi 3.7\text{mm}$ の連絡孔で結ばれている。主燃料となるメタン予混合気は、吸気管上流にメタンを供給し、ミキサで空気と十分攪拌して主燃焼室に導いた。着火燃料には軽油および DME を用いた。着火方式の概略図を Fig.1 に示す。副燃焼室に少量の着火燃料を噴射して燃焼させ、それによる強力な燃焼ガスジェットを主燃焼室内に導入することによりメタン希薄予混合気を着火させた。軽油および DME のノズル開弁圧はそれぞれ 21MPa および 9MPa とし、着火燃料の動的噴射時期はとくに断らない限り上死点前 15 $^{\circ}\text{CA}$ に設定した。機関回転速度は 960rpm 一定とした。

実験では、まずそれぞれの着火燃料に対して最低必要量とメタン予混合気の安定可燃範囲を調べて着火燃料の選択を行った。次により適切と判断された着火燃料を用いて、本燃焼法の燃焼形態、燃焼制御性、機関性能および NO_x 低減効果について検討を行った。

3. 実験結果および考察

Fig.2 に軽油および DME を着火燃料とした場合のメタン予混合気の着火範囲を示す。図において、どちらの燃料を用いても当量比 0.2 の希薄なメタン混合気の着火が可能で

ある。メタン予混合気の着火に必要な着火燃料の最低当量比は軽油で 0.045、DME で 0.13 程度であり、軽油の方が少ないことが明らかである。

Fig.1 Schematic of combustion system

Fig.3 は、Fig.2 中の着火範囲内の測定点に関して、総括当量比に対する図示平均有効圧を示したものである。図より、総括当量比が同じであれば、着火燃料として軽油を用いた方が DME を用いた場合に比べてより高出力を得られることがわかる。

以上の結果から、本燃焼方式の着火燃料としては軽油が適していると判断できるので、以下軽油を着火燃料とした場合の燃焼特性および機関性能について検討を加える。

Fig.4 に、メタン予混合気の当量比 0.4、軽油当量比 0.045(噴射量 2.1mg/cycle)の条件において軽油の噴射時期を上死点前 26 $^{\circ}\text{CA}$ 、15 $^{\circ}\text{CA}$ および 5 $^{\circ}\text{CA}$ とした際の熱発生率を示す。この運転条件における全投入熱量に対する軽油の熱量割合は 10%である。図において、熱発生率は、軽油の噴射時期に関わらず火花点火機関に類似した三角形状をしている。熱発生率の立ち上がりは軽油噴射時期に伴って移動しており、着火燃料の噴射時期によって着火時期を制御することが可能である。

Fig.5 に軽油当量比 0.045、噴射時期上死点前 15 $^{\circ}\text{CA}$ としたときの熱消費率、NO_x 排出量および SMOKE をベース軽油ディーゼル機関と比較して示す。熱消費率は軽油ディーゼル機関に比べて低負荷で約 50%、高負荷で約 20%悪化

している。未燃炭化水素が 0.5~1%程度排出されていることから判断して、熱消費率悪化の原因は燃焼効率が低下したためと考えられる。SMOKE については、軽油ディーゼル機関が高負荷になるにつれて増加するのに対し、本燃焼方式は広い負荷範囲で 0.3 BSU 以下に抑えられる。一方、NO_x 排出量は正味平均有効圧 0.3MPa までは 30ppm 以下であるが、正味平均有効圧が 0.4MPa を超えると急激に排出量が増加し、軽油ディーゼル機関を上回る。

Fig.6 にメタン均一濃度場を仮定して圧力 5MPa 一定、初期温度 700K の条件で拡大 Zeldovich 機構により求めた NO の平衡濃度および反応開始から 10msec 後の濃度を本実験の結果とともに示す。実験における NO 排出濃度は均一混合気濃度場における NO 平衡濃度と 10msec 後の NO 濃度の間に位置しており、その生成傾向は良好に一致している。したがって、本燃焼法は着火源として熱量割合で 10%程度の軽油噴霧燃焼が存在するものの、基本的に均一予混合気の燃焼が主となっていると推察される。

4. まとめ

1. 副燃焼室から噴出する燃焼ガスジェットを着火源とすることにより、メタン希薄予混合気の希薄可燃限界を当量比 0.2 まで拡大することができる。
2. 副燃焼室に供給する着火燃料としては、必要量が少量であることから軽油が適当であり、その噴射時期を変えることで着火時期の制御が可能である。
3. 熱消費率は軽油ディーゼル機関に比べて 20%以上悪化するが、SMOKE は 0.3 BSU 以下に抑えられる。NO_x については、中負荷以下では極めて低いレベルであるが、中負荷を超えると軽油ディーゼル機関より排出量が高くなる。

参考文献

- (1) Zhili Chen and Konno, M. SAE paper NO.2000-01-0329 (2000)
- (2) 草鹿 仁, 他 4 名, 自動車技術会学術講演会前刷集 NO.72-99. (1999). 5-8

Fig.2 Operating range concerning with equivalence ratio of methane and sub fuel

Fig.3 Difference in IMEP between diesel fuel and DME as a sub fuel

Fig.4 Rate of heat release for difference injection timing of diesel fuel

Fig.5 Engine performance of natural gas lean burn engine (NLE) compared with DI diesel engine

Fig.6 Comparison of NO concentration between experimental and calculated results