

急速圧縮機を用いた水素-軽油混焼における 水素混合割合が燃焼時間に及ぼす影響

日大生産工(院) ○塩澤 武留
日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司

1. 緒言

地球温暖化や化石燃料の枯渇などの環境問題が発生し、21世紀に入り、世界的に環境改善に向けた取り組みがいっそう盛んになっていく。また原油価格の高騰など、石油をエネルギーとして使用する産業や自動車などの交通機関に与える打撃は大きく、既存の内燃機関では対応することが困難になる。トラックやバスなどの輸送機器や農機具のエンジンには、熱効率が高く、低速トルクが優れていることから世界でもディーゼル機関が多く使用されている。仕様環境から電動化することは困難であり、今後もディーゼル機関が使用されることが想定される。排出ガス対策に対し、ガソリンエンジンは三元触媒により画期的にNOxを低減できる一方で、ディーゼルエンジンでは排ガス中に酸素が存在するため、三元触媒を使うことができないなど技術的な対応が困難だった。しかしながら、ディーゼルエンジンの欠点であった黒煙の排出を限りなく除去する技術やエンジン騒音

の低減、NOx対策が行われたこと、ディーゼルエンジンはガソリンエンジンと比較して熱効率が高いため、燃料消費量が少ない。つまりCO₂の排出量が少なくなる。ほかにも、ディーゼルエンジンの燃料である軽油はガソリンと比較して燃料製造段階におけるCO₂排出量が少ないと注目されている理由として挙げられる。近年、より強化される排ガス規制[1]や騒音規制をクリアするとともに、燃料経済性のさらなる向上、コスト、始動性などの改善が強く望まれている。これらの改善方法の一つとして乗用車用ディーゼルエンジンでは低圧縮比化が挙げられる[2-4]。従来のディーゼルエンジンの開発では、理論熱効率を向上させるために高圧縮比にする傾向にあった。しかしながら、高圧縮比化にすることで摩擦の増大や圧力上昇による機械的強度が必要となることから、コストや重量、振動の増大に繋がるという問題がある。また、燃焼温度が高くなり、NOxの排出量が増大することも問題として挙げられる。一

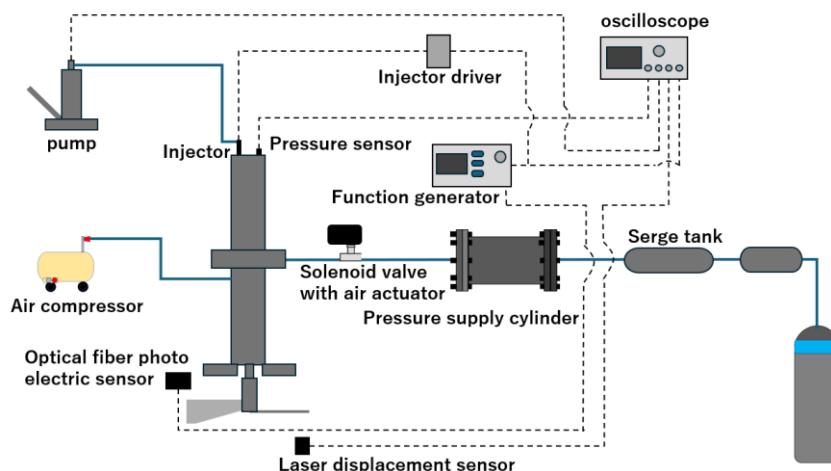


Fig.1 Experimental apparatus.

Effect of Hydrogen Mixture Ratio on Combustion Time in Hydrogen-Light Oil Co-firing Using a Rapid Compression Machine

Takeru SHIOZAWA, Yusuke SUGANUMA and Hiroshi NOMURA

方, 低圧縮比化することで理論熱効率は下がるが, 機械効率が大きく向上し, コストや重量, 振動を低減することが可能となる. また, 燃焼温度の低下によってNOxの排出量を低減することができる. 低圧縮比ディーゼルエンジンの大きな課題として, 筒内温度の低下による自着火温度不足になることが挙げられる.

近年ディーゼルエンジンの燃料に水素を添加しCO₂の排出量低減を目指した取り組みが多く進められている. 水素を混合した場合, 水素の火炎伝播速度の高さから, 最高燃焼圧力の上昇やNOxの排出量増大, ノッキングの発生が懸念される. また, 最小点火エネルギーが小さいゆえに, 早期点火といった問題が生じる. これらの課題について詳細な検証を行うため, 本研究では急速圧縮機を用いた水素-軽油混焼実験を行う. 水素を経由に添加して燃焼させた際の最適燃焼比率, 各燃料噴射タイミングが燃焼時間に及ぼす影響を調べる計画である. 本報では, 軽油を燃焼させた際の燃焼圧力および噴射圧力が及ぼす影響について報告する.

2. 実験方法および実験方法

Fig.1 に本研究で使用する実験装置の概略を示す. 実験装置は, 急速圧縮機, オイルドライバ, 計測装置系から形成される. シリンダ内径は60 mm, ピストン行程100 ~135 mmである. 想定回転数は900 rpm, 圧縮比は11~17まで変更可能である. オイルドライバは窒素ボンベ, サージタンク, 作動流体加圧ピストン, および各部品を接続する配管で構成される. 配管中にはエアアクチュエータ付きボールバルブを設置している. オイルドライバの概要をFig.2に示す. 窒素ボンベから供給された高圧窒素ガスが作動流体加圧ピストンシリンダ内のフリーピストンを介し作動流体を加圧する. 低粘性と耐食性を考慮し, 作動流体には灯油を使用している. エアコンプレッサからソレノイドバルブを介して圧縮空気をエアアクチュエータ付きボールバルブに送る. ファンクションジェネレータにより電気信号を与えることでソレノイドバルブが開き, エアアクチュエータが作動してボールバルブが開く. これにより, 灯油が急速圧縮機のピストン背後部を加圧し, 圧縮が行われる. 計測装置系は, レーザ変位計, 光ファイバセンサ, 圧力センサ, オシロスコープで構成される.

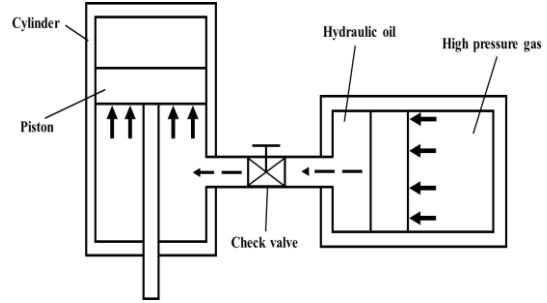


Fig.2 Principle of rapid compression machine system

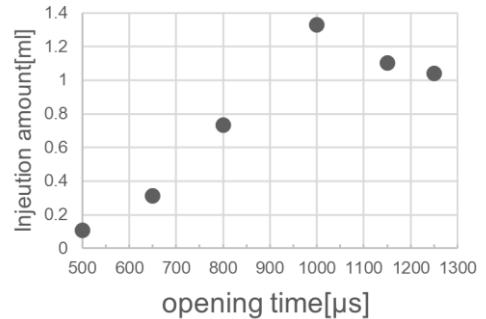


Fig.3 Injection volume during opening time

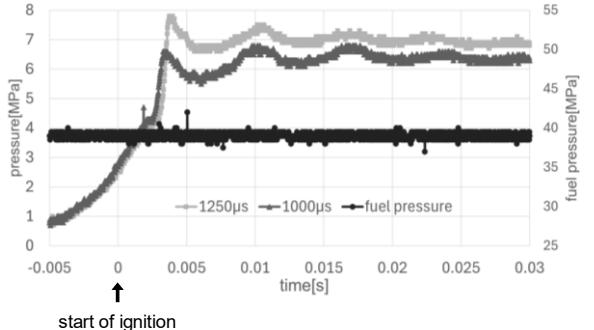


Fig.4 Relationship between combustion pressure and time history

3. 実験結果および考察

実験に使用する燃料噴射装置(デンソー製インジェクタ, 型番23670-30300)の噴射特性を調べるために, 空気中でインジェクタを噴射させて噴射量を計測した. 燃料の供給圧力は40 MPaとし, 105回作動させて噴射された燃料をバイアル瓶で捕集して電子天秤を用いて燃料の質量を計測した. Fig.3に, 軽油インジェクタの設定として開口時間のみ変更し, 軽油の密度を0.85 g/cm³とした. インジェクタの開口時間は機器の仕様の都合により1250 μsが上限値である. 開口時間の増大に伴って噴射量は増大し, 1000 μs時に最大値1.33 mlが噴射された.

さらに開口時間を増大させると噴射量が減少した。

Fig.4に燃焼圧力と時間履歴のグラフを示す。計測した噴射量を基に、開口時間を変更させたときの燃焼圧力を計測した。実験条件は軽油のみを噴射し、噴射圧力40 MPa、圧縮比17、オイルドライバ供給圧力7 MPa、燃料噴射時期BTDC20 degとした。燃焼圧力および燃料噴射開始時間も同様に図中に示した。空気過剰率 λ は開口時間1000 μ s、1250 μ sそれぞれの条件で2.87、3.67であった。1250 μ s時は最大燃焼圧力が7.8 MPaを示した原因として、酸素供給が増えたため、燃料の濃い部分が減少し、燃焼が完全に進んだためだと考える。本実験条件下においては $\lambda=3.67$ が最適であることが確認することができた。

4. 結言

実験装置の検証として、燃料噴射装置の噴射特性の実験および、軽油の燃焼実験を行った。以下に得られた知見を示す。

(1)燃料噴射装置の開口時間を増大させると、燃料噴射量が増大し、開口時間1000 μ sで最大噴射量となり、以降は開口時間を増大させると噴射量は減少する傾向を示した。

(2)燃焼試験では、開口時間1250 μ s時に空気過剰率 $\lambda=3.67$ で最大燃焼圧力が7.8 MPaになった。

参考文献

- [1]近藤千尋, 山根浩二, 熊澤直人, 河崎澄, 高セタン価 FAME を用いた低圧縮比直接噴射式ディーゼル機関の火花放電による着火促進, 日本機械学会論文集(B 編), 78-792, pp.1441-1450, (2012)
- [2]小山 崇, 藤原 清, 長江 正浩, 伊藤 寿記, 大木 久, 友田 晃利, トヨタ自動車(株)“乗用車用ディーゼルエンジンの低圧縮比化技術の研究”自動車技術会論文集 42(3), 747-752, (2011)
- [3]人見 光夫, 中井 英二, 寺沢 保幸, 高松 宏志, 志茂 大輔, “走る歓びと環境性能を両立する新世代クリーンディーゼルエンジン(2.2L)の開発：超低圧縮比 14.0 コンセプトの実現”, 日本機械学會誌 116(1134), 300, (2013)
- [4]平成 29 年度修士論文, 関根元輝, 急速圧縮機を用いたマイクロプラズマに関する噴霧液滴の点火・燃焼促進効果に関する研究