

マイクロ波プラズマ点火が噴霧燃焼に及ぼす影響に関する研究

日大生産工(院) ○関根 元輝

日大生産工 菅沼 祐介 日大生産工 野村 浩司 東京大 工 中谷 辰爾
東京大 工 津江 光洋 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

近年、エネルギーの有効活用や環境負荷低減に対する関心が強まってきており、自動車業界では課題の一つとして、内燃機関の高効率化および環境負荷低減が急務となっている。ディーゼルエンジンは、優れた燃料経済性やトルク性能に優れていることから、商用車や農・建産機などに搭載されている。しかし、克服すべき課題も多く、より強化される排ガス規制や騒音規制をクリアするとともに、燃料経済性の更なる向上、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、ディーゼルエンジンの低圧縮比化が挙げられる。

低圧縮比化することにより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、振動を低減できる。また、燃焼温度が下がり NO_x の発生を抑制することができる。しかし、低圧縮比化によって自己着火が困難になるという問題を抱えている。この問題を解決し、低圧縮比化を実現させるために必要な新たな技術が求められている。

本研究では確実な点火¹⁾と NO_x の低減²⁾、燃焼の促進を実現するマイクロ波プラズマ点火に着目した。急速圧縮機の燃焼室内に噴霧した軽油に対して、マイクロ波プラズマを印加し、その有効な印加時期が点火・燃焼特性に及ぼす影響を検証した。

2. 実験装置

本研究で用いた実験装置を Fig.1 に示す。実験装置は、急速圧縮機、オイルドライバ、点火装置系、計測装置系、マイクロ波導入装置系から構成される。シリンダ内径は 60mm、ピストン行程 100 ~ 130mm 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で構成される。点火系はトリガースパーク電極、マイクロ波放射用アンテナ、点火回路およびファイバ光電センサから構成されている。計測装置系は、磁歪式リニア変位センサ、圧力センサ、直流増幅器およびデータロガーで構成される。

Fig.2 に示すマイクロ波導入装置系は、マイクロ波発生装置、導波管、スラグチューナー、アンテナより構成されている。マグネトロンは作動周波数 $2.45\text{GHz} \pm 50\text{MHz}$ 、マイクロ波出力 50 ~ 500W である。導波管に取り付けたサンケン製 SDT-50S の検波器を用いてマイクロ波の進行波と反射波の出力を測定した。トリガースパーク電極とアンテナとの間隙においてスパークを印加させることによりプラズマを発生させる。

3. 実験方法

本実験では圧縮比 $\varepsilon=13$ 、圧縮速度 900rpm 相当、燃料噴射時期 BTDC15deg 相当として燃焼実験を行った。燃料は軽油を使用し、空気過剰率 $\lambda=2$ になるようインジェクターの開口時間を調整した。噴射ポンプより燃料噴射圧を 40MPa 一定にし、インジェクター(6 噴口)を用いて、所定のタイミングで燃料噴射を行った。また、それぞれの印加時期においてトリガースパークを与えマイクロ波を放射した。圧力履歴、ピストン変位およびマイクロ波プラズマ印加時期を記録し、マイクロ波を印加させた場合と自着火のみの場合を比較した。マイクロ波の繰り返し周波数を 15kHz とし、トリガースパークと同期させた。

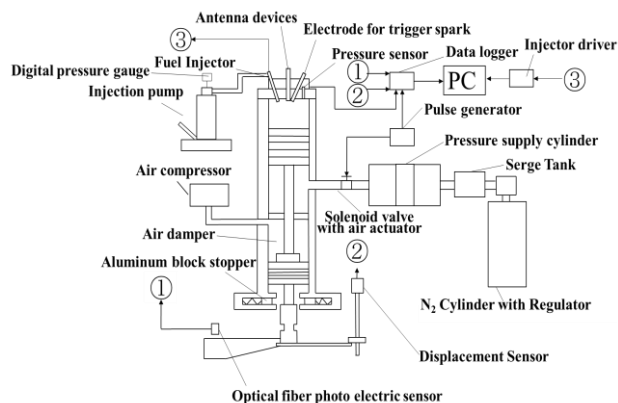


Fig.1 Outline of rapid compression machine system

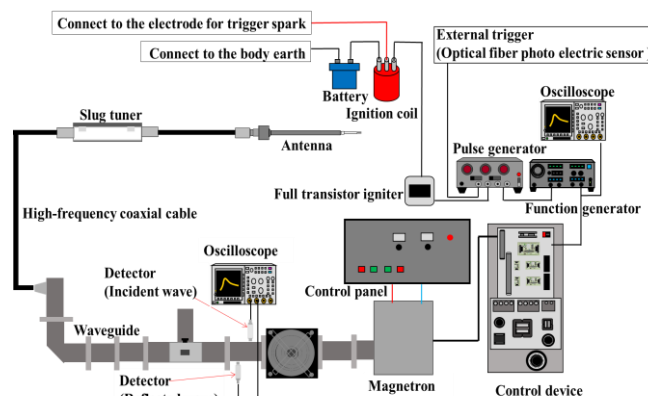


Fig.2 Microwave generator

Study on the effects of microwave plasma ignition on the spray combustion

Genki SEKINE, Yusuke SUGANUMA, Hiroshi NOMURA,
Shinji NAKAYA, Mitsuhiro TSUE, Yasushige UJIIE

4. 実験結果および考察

4.1 マイクロ波プラズマが燃焼に及ぼす影響

Fig.3 に自着火のみの場合とマイクロ波プラズマを印加した場合（燃料噴射開始時と同期している場合）を比較した圧力履歴を示す。0msec を燃料噴射開始時としている。圧力履歴より、マイクロ波プラズマを印加した場合について、自着火のみの場合と比較したとき、最大燃焼圧力については大きな差はみられなかった。しかし、燃焼圧の立ち上がりが急峻になっており、燃料噴射開始から最大燃焼圧に達するまでの時間が短縮されている。これは、マイクロ波プラズマを印加することで着火遅れが短縮し、その後の火炎伝播の促進につながったものだと考えられる。

4.2 印加時期が点火・燃焼特性に及ぼす影響

燃料噴射開始時を基準として、マイクロ波プラズマの印加時期を 50 μ s 間隔で遅らせ 0~250 μ s について燃焼実験を行った。

Fig.4 に印加時期と燃料噴射開始から最大燃焼圧にまで達するまでの時間の関係について示す。印加時期を遅らせた場合について、印加時期を遅らせていない場合と比較したとき、どの条件下においても、燃料噴射開始から最大燃焼圧にまで達するまでの時間が短縮される傾向がみられた。特に 50 μ s ~100 μ s 遅らせた場合に効果が大きかった。これは燃料噴射開始時から印加時期を遅らせることにより、プラズマ生成部に十分な量の燃料が達し、マイクロ波プラズマによる着火・燃焼促進が効率よく行われたためであると考えられる。

Fig.5 に印加時期を遅らせた場合と遅らせていない場合の圧力履歴の比較を示す。50 μ s と 100 μ s 遅らせた場合において、遅らせていない場合よりも燃焼圧力の立ち上がりが急峻になり、燃料噴射開始から最大燃焼圧にまで達するまでの時間が短縮された。しかし、200 μ s 遅らせた場合では、大きな差はみられなかった。このことから、有効な印加時期は燃料噴射開始時から 50 μ s ~100 μ s 遅らせた範囲であると考えられる。

5. 結言

急速圧縮機を用いて噴霧液滴に対しマイクロ波プラズマを印加し、印加時期を変更したときの点火・燃焼特性について調査した結果、以下の結論を得た。

- (1) 自着火のみの場合とマイクロ波を印加させた場合の圧力履歴を比較すると燃焼圧の立ち上がりが急峻となる傾向がみられた。
- (2) 印加時期を遅らせることによって、より効率よく着火させることができる。
- (3) 本実験条件においては、印加時期は燃料噴射開始から 50 μ s ~100 μ s 遅らせた場合が有効である。

参考文献

- 1) 佐藤清太郎・中谷辰爾・津江光洋, 第51回燃焼シンポジウム講演論文集 pp.140-140 (2013)
- 2) 服部仁樹, 安里勝雄, 宮坂武志, 坂本昌寛, 日本機械学会熱工学コンファレンス2010 講演論文集, pp.295-296(2010)

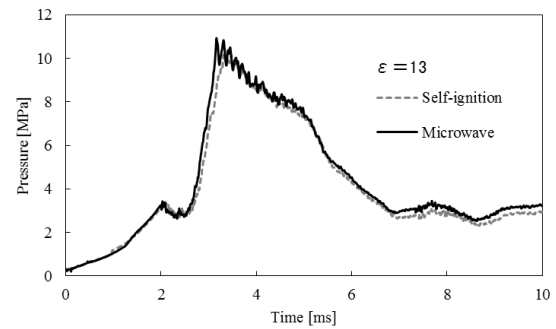


Fig.3 Pressure history

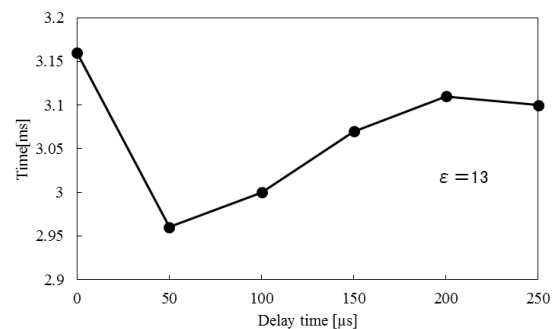
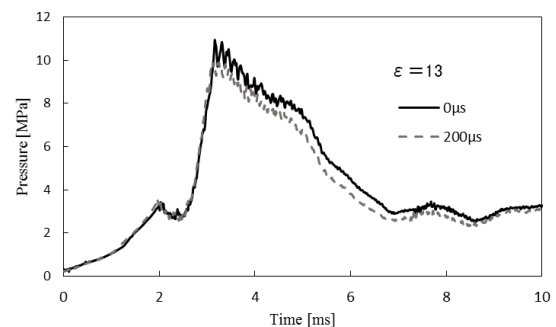
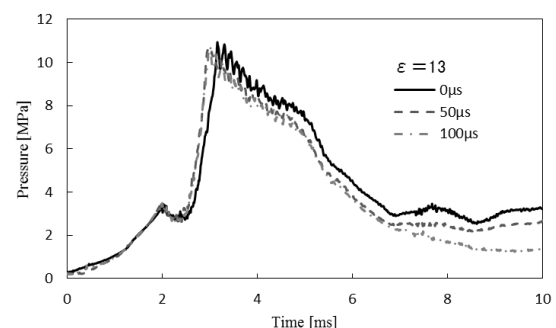


Fig.4 Relationship between application timing and time to reach maximum combustion



A (Delay time 0 μ s, 50 μ s and 100 μ s)



B (Delay time 0 μ s and 200 μ s)

Fig.5 Comparison of delayed and non-delayed conditions