

急速圧縮機を用いたフランジ付き点火プラグの燃焼特性実験

日大生産工 (院) ○牧田 直希

日大生産工 野村 浩司 日大生産工 山崎 博司 日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

自動車用火花点火機関の排気ガスに含まれる二酸化炭素 CO_2 は地球温暖化問題を、一酸化炭素 CO 、炭化水素 HC 、窒素酸化物 NO_x 等は環境汚染を引き起こす有害物質であり、特に現在未解決となっている CO_2 低減策は急務となっている。また化石燃料の枯渇への対策も強く求められている。 CO_2 低減策は単位発熱量あたりの含有炭素比率が小さい燃料を用いるか、熱効率を向上させることにつける。熱効率の向上は CO_2 削減と同時に化石燃料枯渇への対策にも共通する技術であり、火花点火機関では圧縮比の増大および希薄燃焼による熱効率の向上が有効である。しかし圧縮比の増大はノッキングの発生、希薄燃焼では燃焼速度の低下による有効仕事の減少が問題となる。その対策として燃焼室にスワール、タンブル等の強い乱れを発生させて火炎伝播を促進させる方法があるが、火炎核から混合気や放電電極への熱損失が増大するため、失火が起きやすくなる。失火対策として、点火エネルギーを増大させることで点火確率の向上を図る方法もあるが、点火系の早期劣化や電磁波障害といった問題が発生する。そのため圧縮比の増大と希薄燃焼を実現するには、ノッキングの抑制および点火エネルギーの低減と確実な点火の成立が課題となる。過去の研究よりフランジ付き点火プラグにおいて点火エネルギーの低減と点火確率の向上については有用な結果が得られた。¹⁾²⁾

本研究では実機を模擬した急速圧縮機を用いて高圧縮希薄燃焼におけるフランジ付き点火プラグの燃焼特性の検討を行った。

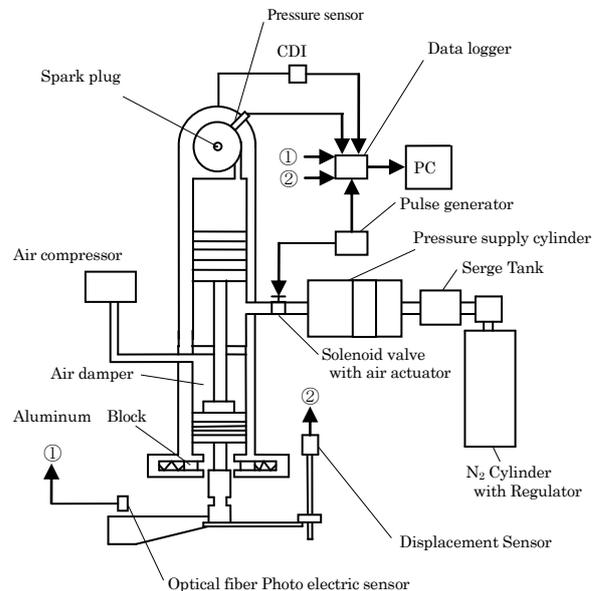


Fig. 1 Outline of rapid compression machine system

2. 実験装置および作動原理

本実験にて使用した実験装置全体の概要を Fig.1 に示す。本実験装置は急速圧縮機、点火系、オイルドライバ、計測系にて構成されている。高圧窒素ガスにより加圧した作動流体である灯油をピストン後背部に導くことでピストンを作動し、燃焼室の混合気を圧縮する。

2.1 急速圧縮機

急速圧縮機は急速圧縮機本体、燃焼容器、ピストン減速・停止機構から構成される。急速圧縮機本体はシリンダ内径 60 mm、行程 94.8mm から 179.0mm まで調整可能で、圧縮比は 10.0 から 18.0 まで可変である。燃焼容器の概要を Fig.2 に示す。燃焼容器は内径 50mm、幅 14mm の円筒形である。旋回流を生成するためのノズ

Experiments on Combustion Characteristics of Flanged spark plugs using Rapid Compression Machine

Naoki MAKITA, Hiroshi NOMURA, Hiroshi YAMASAKI and Yasushige UJIIE

ルは燃焼室円周壁面に沿うように設けられている。燃焼容器背面部には圧力センサおよび燃料滴下用の穴を設けている。燃料滴下用の穴は吸排気にも使用する。ピストン減速・停止機構は、ピストンに接続されているロッドにストoppaを設置し、急速圧縮した際にストoppaがシリンダの底面に衝突することで圧縮が終了する。その際の衝突を緩和させるため、エアダンパを使用している。エアダンパシリンダに設けてある空気穴径を調節することにより圧縮速度の微調整を行うと共にピストン停止時の衝撃を和らげる。また、燃焼時の圧力上昇によるピストンの押し下がりを防ぐために、ロッドに切り欠きを設置し、上死点でアルミブロックが切り欠きに入ることによって押し下がり防止している。エアダンパシリンダには、エアコンプレッサから空気を供給できるように配管が設けられ、エアダンパピストンを空気で押し下げることによってピストンが連動して押し下げられる。

2.2 点火系

点火系は点火プラグ、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。本実験で使用している点火プラグの形状を Fig.3 に示す。点火プラグは、実機での吸排気バルブの拡大に伴う点火プラグの細径化を考慮し、自動二輪車用の細径点火プラグである NGK 社製の CR6E を使用した。(a)無加工の点火プラグを通常点火プラグ（以降、通常プラグ）とし、(b)円筒形フランジを取り付けた円筒形フランジ付き点火プラグ（以降、円筒形プラグ）、(c)円板形フランジを取り付けた円板形フランジ付き点火プラグ（以降、円板形プラグ）を用いた。円筒形プラグは、通常プラグのハウジング端面に直径 8 mm、高さ 5mm のステンレスパイプを銀ロウで取り付けて作製した。円板形プラグは、通常プラグの接地電極に直径 8 mm の円板形のフランジを銀ロウで取り付けて製作した。フランジ付き点火プラグは火花間隙周辺の混合気流動抑制と、火花放電時の衝撃波エネルギーの回収

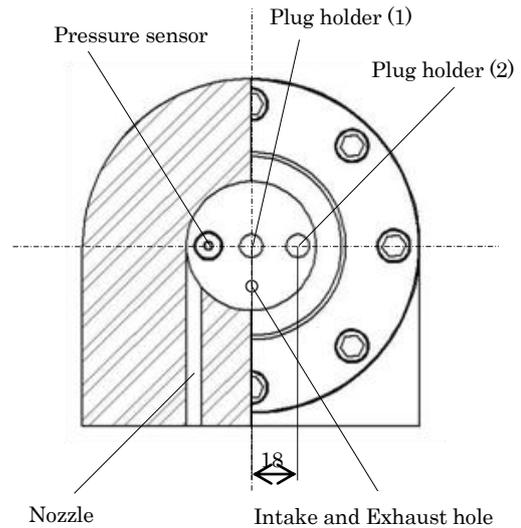
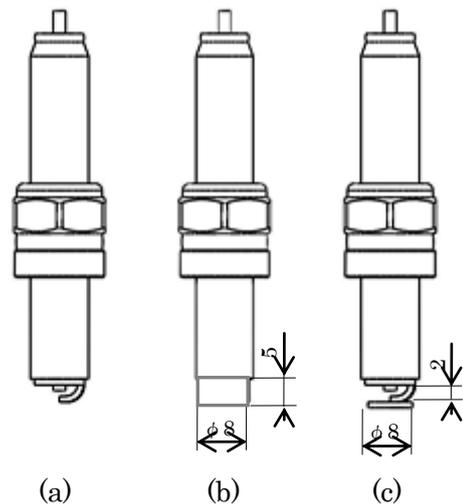


Fig. 2 Outline of Combustion chamber



- (a) Conventional spark plug
- (b) Cylindrical flanged spark plug
- (c) Disk flanged spark plug

Fig. 3 Shape of spark plugs

効果を狙ったものである。点火回路には CDI 回路を使用している。コンデンサに充電された電荷を、サイリスタのゲートにトリガ信号を与えて導通させることによって放電し、一次コイルに急激な電流変化を生じさせて二次側に高圧電流を発生させる。一般の一次電流遮断式と比較して、誘導放電の継続時間が短い。また二次電圧の立ち上がりが急峻なため、点火プラグが汚損して絶縁抵抗が低下した場合でも火花を発生できるという特徴を有する。点火タイミングは

ピストンロッド下端に設置した遮光板とファイバ光電センサの位置関係を変えることにより自由に調整できる。

2.3 オイルドライバ

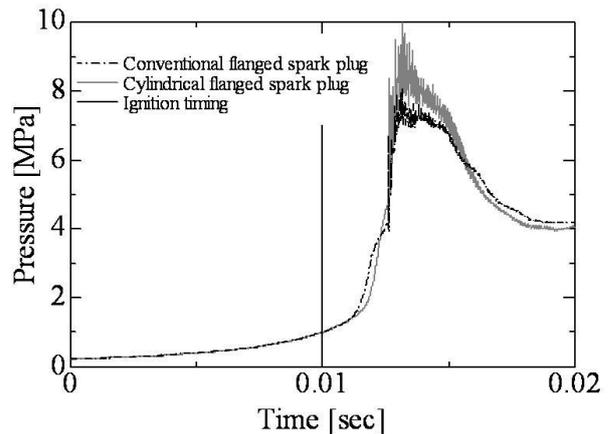
オイルドライバは窒素ポンペ, サージタンク, 作動流体加圧ピストンシリンダ, および各部品を接続する配管で構成される。配管中にはエアアクチュエータ付きボールバルブを設置している。窒素ポンペから供給された高圧窒素ガスが作動流体加圧ピストンシリンダ内のフリーピストンを介し作動流体を加圧する。その際に窒素の圧力降下を低減するため, サージタンクを用いている。耐食性を考慮し, 作動流体には灯油を使用している。エアコンプレッサから 1.0 MPa の圧縮空気をソレノイドバルブを介してエアアクチュエータ付きボールバルブに送る。パルスジェネレータにより電気信号を与えることでソレノイドバルブが開き, エアアク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。

2.4 計測系

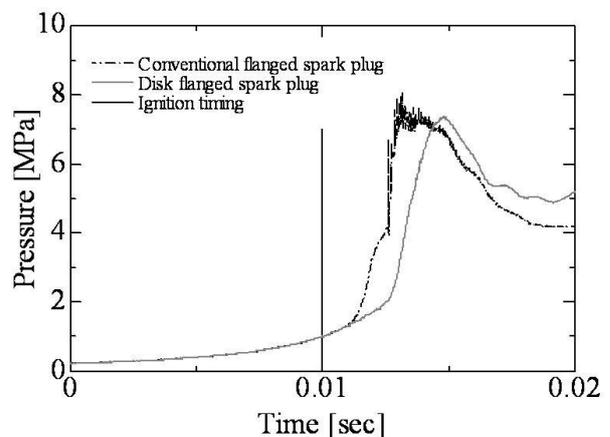
計測系は磁歪式リニア変位センサ, 圧力センサ, 直流増幅器およびデータログで構成されている。また点火タイミング検出には二次側高電圧コードに設けたコイルに生じる誘導電流を利用した。変位センサおよび圧力センサは共にデータログに出力することでピストン変位および燃焼室圧力履歴を取得している。

3 実験方法

本実験では高圧縮希薄燃焼でのフランジ付き点火プラグの燃焼特性として, ノッキング抑制効果を検討するため, 燃料にオクタン価 0 の正ヘプタンを用いた。圧縮速度は 900 rpm 相当, 点火時期 BTDC 30 deg 相当, 圧縮比 13, 当量比は 0.6 から 1.0 まで 0.1 刻みで変更した。実験手順として, まずピストンの下死点を目的



(a) Conventional spark plug and Cylindrical flanged spark plug



(b) Conventional spark plug and Disk flanged spark plug

Fig.4 Pressure history in combustion chamber ($\phi=0.8$)

の圧縮比になるよう設定する。マイクロシリンジを用いて燃料をシリンダ内に滴下して一定の時間をおき, 圧縮, 膨張することで均一な予混合気を生成する。その後圧縮, 点火し, 圧力履歴, ピストン変位および点火時期を測定した。

4 実験結果および考察

4.1 ノッキング抑制効果

プラグホルダ(1)に点火プラグを設置し当量比 0.8 における燃焼実験を行った。通常プラグと円筒形プラグにおける燃焼室圧力履歴を Fig.4(a) に, 通常プラグと円板形プラグの燃焼室圧力履歴を Fig.4(b) に示す。通常プラグは最大燃焼圧力付近での細かな圧力変動が現れてい

ることからノッキングの発生が確認できる。これは燃焼圧の急激な上昇により未燃混合気が圧縮され、自着火を起こしたためと考えられる。

円筒形プラグは、通常プラグに比べ圧力の立ち上がりが遅く、ノッキングの発生が確認できる。円筒形プラグではフランジ内で火炎核の滞留が起こり、フランジへの熱損失が大きくなったため圧力の立ち上がりに遅れが生じたと考えられる。また、フランジによるエッジ効果から火炎伝播が促進され、急激な圧力上昇が起こり、ノッキングを誘発したと考えられる。

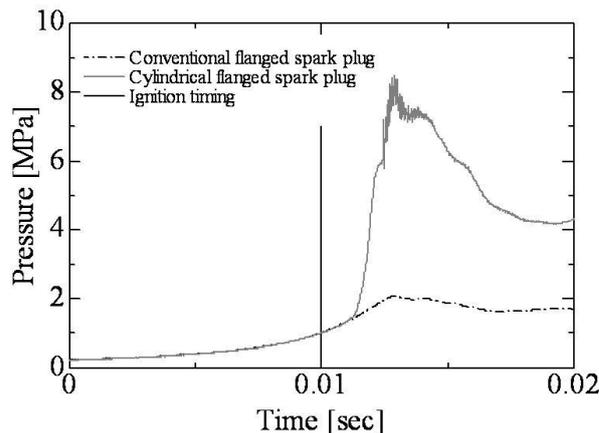
円板形プラグは圧力の立ち上がりが遅く、通常プラグに比べノッキングが抑止されている。これは、フランジにより燃焼室軸方向への火炎伝播が阻害され、燃焼室背面部へと火炎が伝播し、熱損失が生じ急激な圧力上昇が抑制されたためと考えられる。

4.2 フランジによる点火性能の向上

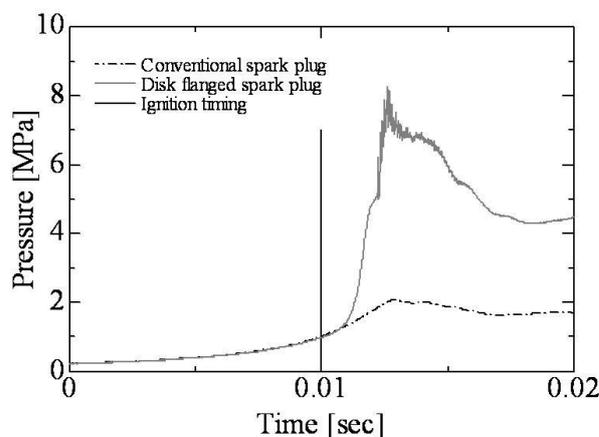
プラグホルダ(2)に点火プラグを設置し当量比 0.8 における燃焼実験を行った。通常プラグと円筒形プラグにおける燃焼室圧力履歴を Fig.5(a) に、通常プラグと円板形プラグの燃焼室圧力履歴を Fig.5(b) に示す。通常プラグは燃焼が確認できなかった。これは、火炎核から混合気への熱損失が増大し、失火が起きたためと考えられる。円筒形プラグ、円板形プラグにおいては燃焼が確認できた。これは、フランジによる衝撃波エネルギーの回収効果により、火炎核の保炎作用が働いたためと考えられる²⁾。また、円板形プラグと比較し、円筒形プラグは圧力の立ち上がり時期が遅いことから、フランジ内での火炎核の滞留、火炎伝播の阻害が生じていると考えられる。

5 結言

急速圧縮機を用いて高圧縮希薄燃焼でのフランジ付き点火プラグの燃焼実験を行った結果、以下の知見を得た。



(a) Conventional spark plug and Cylindrical flanged spark plug



(b) Conventional spark plug and Disk flanged spark plug

Fig.5 Pressure history in combustion chamber ($\phi=0.8$)

1. 円板形プラグにおいて、ノッキング抑制効果が得られた。
2. 円筒形プラグにおいて、ノッキング抑制効果が得られなかった。
3. 円筒形プラグおよび円板形プラグにおいて、通常プラグより高い点火性能が得られた。

参考文献

1. 太田・氏家ほか, 第 44 回燃焼シンポジウム 公演論文集, pp. 82-83 (2006)
2. 小島・山崎・氏家ほか, 第 45 回燃焼シンポジウム 公演論文集, pp. 8-9 (2007)