

実機を模擬した急速圧縮機を用いたフランジ付き小径点火プラグの点火および燃焼特性

日大生産工(院) ○遠藤 孝純

日大生産工(院) 松川 周平

日大生産工 野村 浩司

日大生産工 氏家 康成

1. 緒言

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である。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を向上させる方法もあるが、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改善効果を検討した。

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

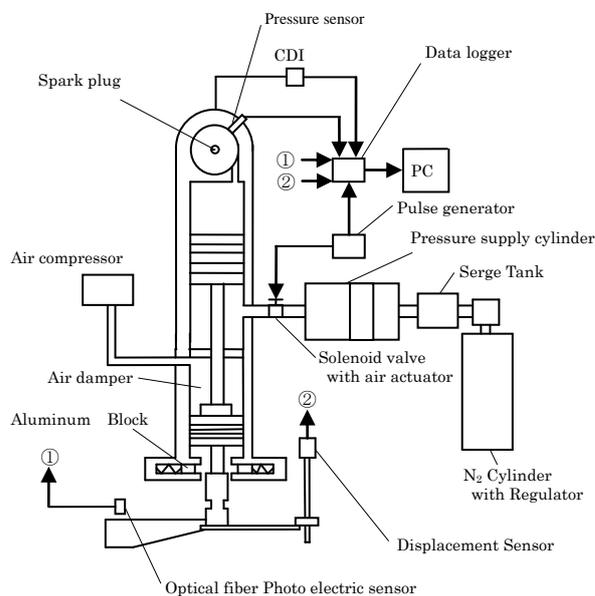


Fig. 1 Outline of rapid compression machine system

はシリンダ内径60 mm, 行程94.8 mmから179.0 mmまで可変で、圧縮比は10から18まで調整可能である。燃焼容器の概要をFig.2に示す。燃焼容器は内径50 mm, 幅14 mmの円筒形である。旋回流を生成するためのノズルは燃焼室円周壁面に沿うように設けられている。燃焼容器前面部には燃焼の観察を行うため石英ガラス窓を設けた。燃焼容器には圧力センサおよび燃料滴下、吸排気の穴を設けている。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ッパを設置し、急速圧縮した際にストッパ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。また、燃焼時の圧力上昇によるピストンの押し戻しを防ぐために、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戻しを防止している。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、下死点位置にもどる。

Combustion Characteristics and Ignition of Flanged Small-Diameter Spark Plug Using Rapid Compression Machine Simulating Actual

Takatsuna ENDO, Shuhei MATSUKAWA, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

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，自動二輪車用の小径点火プラグである NGK 社製の CR6E を使用した．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，(a)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），(b)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），円筒形フランジと円板形フランジを取り付けた(c)円筒円板組み合わせ形点火プラグ（以降，円筒円板形プラグ）を用いた．

円筒形プラグは，通常プラグのねじ部端面に直径 8 mm ，高さ 5 mm の SUS304 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 6 mm の円板形フランジを銀ロウで取り付けて製作した．円筒円板形プラグは，通常プラグの接地電極を取り去り，ねじ部内側に直径 6 mm の円筒形フランジを差し込み，外側に直径 1 mm の SUS304 棒を 3 本設置して円板形フランジを支持し，銀ロウで接合した．円板形フランジの中心に新たな接地電極として，直径 1 mm の SUS304 棒を取り付けた．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効果を狙ったものである．点火回路には CDI 回路を使用した．

2.3 オイルドライバ

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圧縮空気をソレノイドバルブに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．

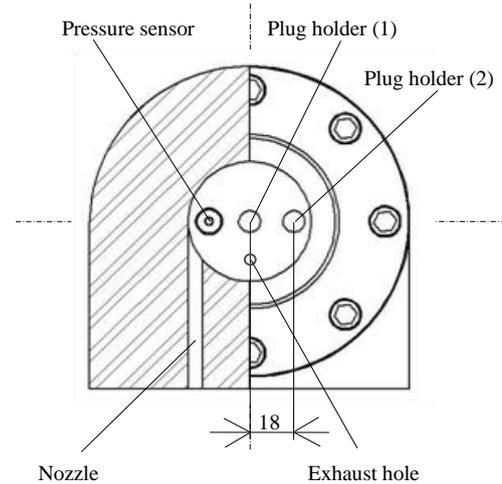
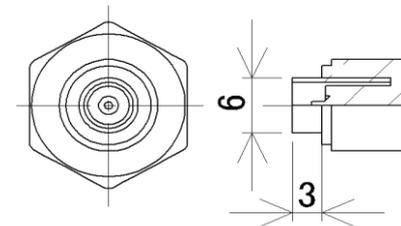
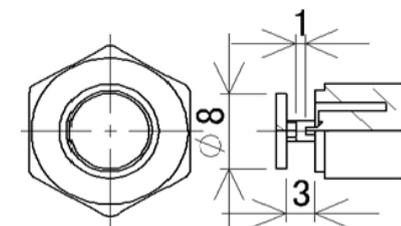


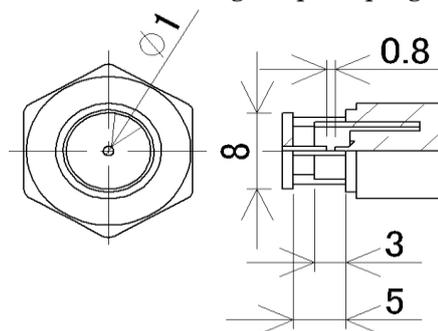
Fig. 2 Outline of combustion chamber



(a) Cylindrical flanged spark plug



(b) Disk flanged spark plug



(c) Cylindrical and disc flanged combination spark plug

Fig. 3 Shape of spark plugs

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

本実験では高圧縮比希薄燃焼でのフランジ付き点火プラグの燃焼特性を解明する。燃料はオクタン価90に調整した正ヘプタンとイソオクタンの混合燃料を用いた。圧縮速度は900 rpm相当、点火時期BTDC20 deg相当、圧縮比14、 ϕ 1.00から0.80まで0.05刻みずつ変更した。実験手順として、まずピストンの下死点を目的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、膨張することで燃焼室に均一な予混合気を生成する。その後圧縮、点火を行い、圧力履歴、ピストン変位および点火時期を記録した。

4. 実験結果および考察

4.1 円筒形フランジの燃焼特性

プラグホルダ(1)、(2)に点火プラグを設置し、 ϕ 1.00から0.80における燃焼実験を行った。プラグホルダ(1)、 ϕ 0.95における通常プラグの圧力履歴をFig.4(a)に、プラグホルダ(2)、 ϕ 0.95における通常プラグと円筒形プラグの圧力履歴Fig.4(b)に示す。

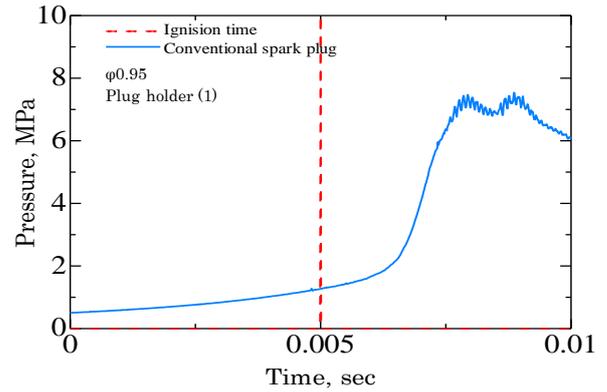
Fig.4(a)ではプラグホルダ(1)、 ϕ 1.00における通常プラグの最大燃焼圧付近で細かな圧力変動が顕著に現れていることから、ノッキングの発生を確認できた。これは火炎伝播速度が低いことから周辺部の未燃混合気が自着火を起こしたと考えられる。Fig.4(b)ではプラグホルダ(2)、 ϕ 0.95における通常プラグの燃焼は確認できなかった。これは乱れにより火炎核から混合気への熱損失が増大し、失火が起きたと考えられる。円筒形プラグにおいては、燃焼とFig.4(a)の圧力履歴に比べノッキングが抑制されていることが確認できた。これはフランジの流動抑制効果と衝撃波エネルギーの回収効果により火炎核の保炎作用が有効に働き燃焼したと考えられる。またスワールにより火炎伝播が促進され、自発点火の発生以前に火炎が伝播し、ノッキングを抑制することができたと考えられる²⁾。

4.3 円板型プラグの燃焼特性

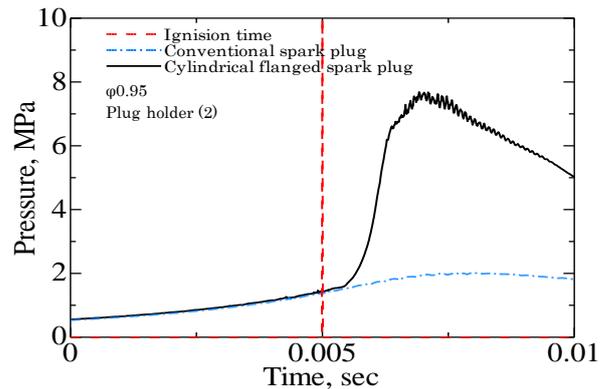
プラグホルダ(1)、 ϕ 0.80における通常プラグと円板形プラグの圧力履歴をFig.4(c)に示す。プラグホルダ(1)、 ϕ 0.80における円板形プラグの燃焼は確認できず、通常プラグの燃焼は確認ができた。これはフランジの形状から流動抑制効果が得ることができず、フランジへの熱損失により失火が起きたと考えられる。

4.4 円筒円板形プラグの燃焼特性

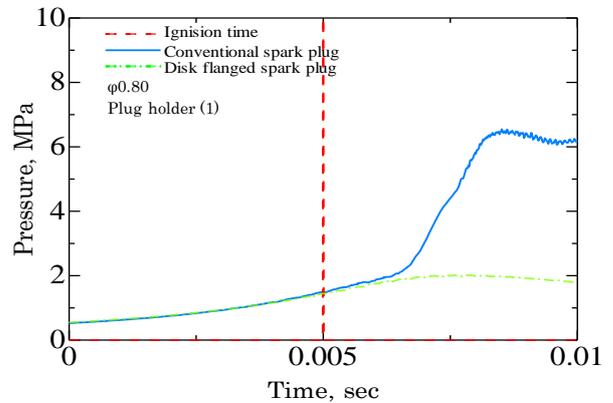
プラグホルダ(2)、 ϕ 1.00における通常プラグと円



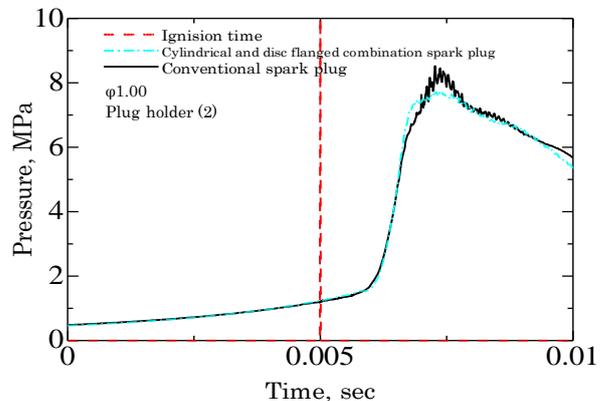
(a) Conventional spark plug



(b) Conventional spark plug and Cylindrical flanged spark plug



(c) Conventional spark plug and Disk flanged spark plug



(d) Conventional spark plug and Cylindrical and disc flanged combination spark plug

Fig.4 Pressure history

筒円板形プラグの圧力履歴を Fig.4(d)に示す。円筒円板形プラグにおいて、通常プラグより燃焼圧の立ち上がりに若干の遅れが見られるが、その後、急勾配で上昇している。これは、火炎核を囲うフランジ形状であるため火炎がフランジ内に留まることによるものと考えられる。また、最大燃焼圧付近を比較すると通常プラグよりノッキングが抑制されていることが確認できた。これは、フランジによる火炎の吹き出しとエッジ効果が有効に働き通常プラグより急速な燃焼が行われ、ノッキングを抑制することができたと考えられる。

4.2 ノッキング抑制効果

プラグホルダ(1), (2)に点火プラグを設置し、 $\phi 1.00$ から 0.80 における燃焼実験を行った。通常プラグの各当量比におけるノッキング強度を Fig.5(a)に、円筒形プラグの各当量比におけるノッキング強度を Fig.5(b)に、円板形プラグの各当量比におけるノッキング強度を Fig.5(c)、円筒円板形プラグの各当量比におけるノッキング強度を Fig.5(d)に示す。プラグホルダ(2)における通常プラグ、円筒形プラグ、円板形プラグ、円筒円板形プラグのノッキング強度はプラグホルダ(1)におけるノッキング強度に比べ、低減されていることが確認できる。これはスワールにより、火炎伝播が促進され、末端混合気の自発点火発生以前に正常火炎が伝播し、ノッキングを抑制することができたためと考えられる。

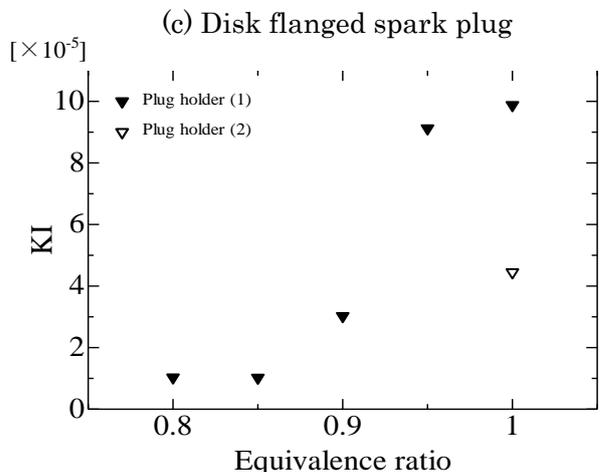
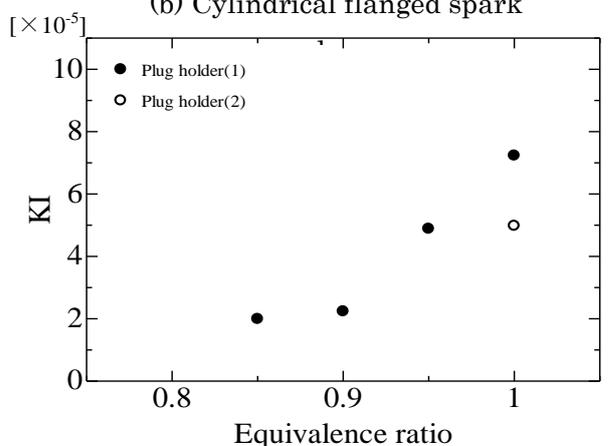
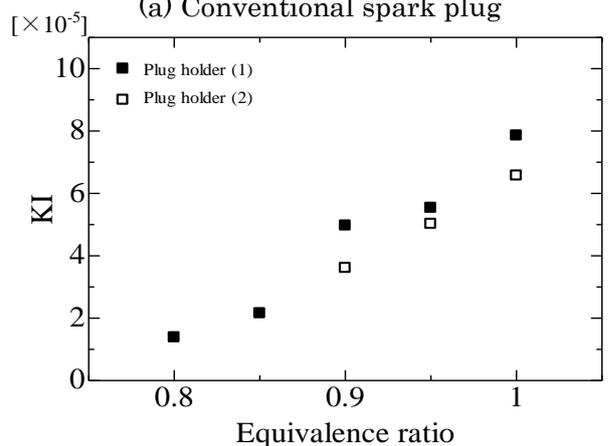
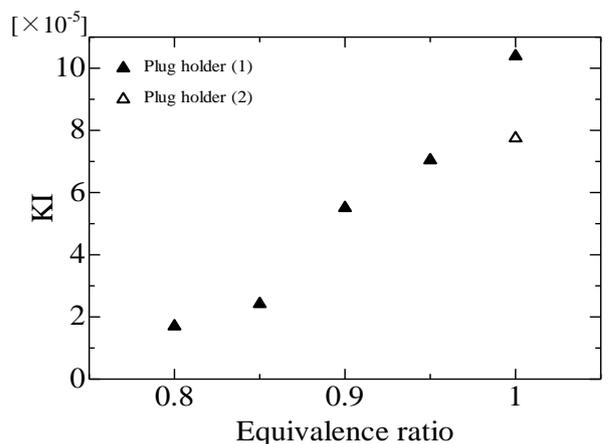
5. 結言

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。

1. 点火プラグを旋回流動中に設置した場合、火炎伝播が促進され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、通常プラグより高い点火性能が得られた。
3. 円板形プラグでは、通常プラグに比べ点火性能の優位性が認められなかった。
4. 円筒円板形プラグにおいて、フランジによる火炎の吹き出しとエッジ効果が有効に働き急速な燃焼が行われ、通常プラグよりノッキングを抑制することができた。

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)



(d) Cylindrical and disc flanged combination spark plug

Fig.5 Knocking Intensity