

実機を模擬した急速圧縮機を用いたドーム形フランジ付き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 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。数種類あるフランジの中でも半球状のフランジを取り付けた点火プラグで火花間隙間の流動抑制と、火花放電時に発生する衝撃波のエネルギー回収効果が得ることができ、点火確率が向上する知見を得た¹⁾²⁾³⁾。本研究では急速圧縮機を用いて高圧縮比希薄燃焼におけるドーム形

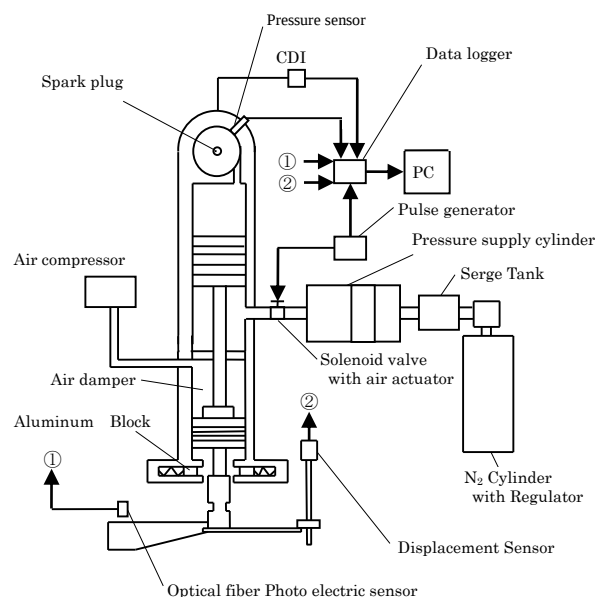


Fig. 1 Outline of rapid compression machine system

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。

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 94.8 mm から 179.0mm 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

Ignition and Combustion Characteristics of Dome Flanged Spark Plug

Using Rapid Compression Machine Simulated a SI engine

Takatsuna ENDO, Hiroshi NOMURA and Yasushige UJIIE

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で押し戻しを防止している。

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。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 CR7EIX を使用した。本実験で使用している点火プラグの形状を Fig.3 に示す。点火プラグに取り付けるフランジの寸法、ガス交換用の穴径は全て統一し、穴の個数を 2 つから 5 つに変更し製作した。ドーム形フランジ付き点火プラグは、通常プラグの接地電極を取り去りドーム形フランジの中心に新たな接地電極として直径 1.0 mm の SUS304 棒を取り付けた。火花間隙は 1.0 mm とした。

オイルドライバは窒素ポンプ、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。窒素ポンプ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後背部を加圧し、圧縮が行われる。

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。

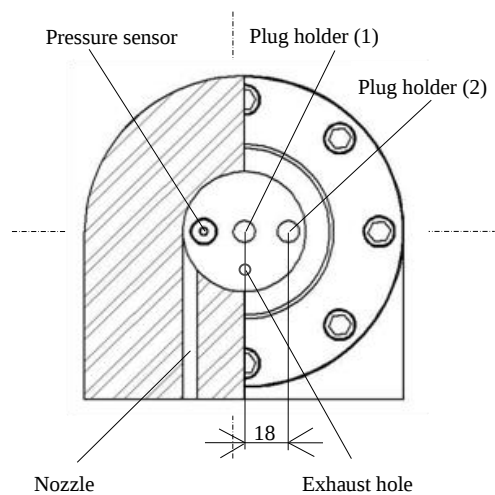


Fig. 2 Outline of combustion chamber

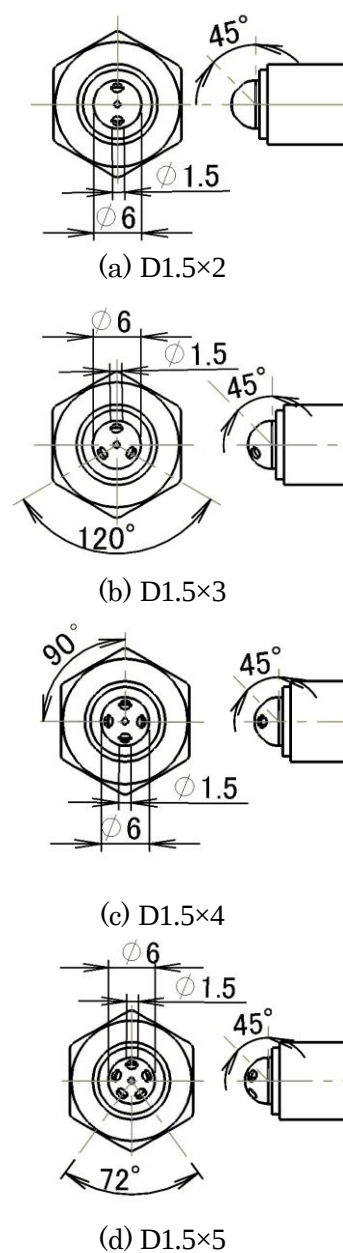


Fig. 3 Dome flanged spark plugs

3. 実験方法

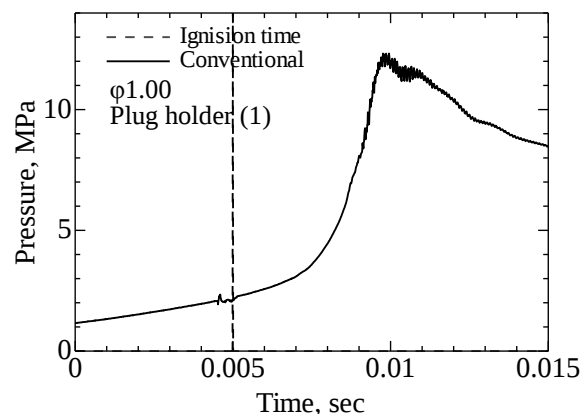
本実験では高圧縮比希薄燃焼でのフランジ付き点火プラグの燃焼特性を解明する。燃料はオクタン価 90 に調整した正ヘプタンとイソオクタンの混合燃料を用いた。圧縮速度は 900 rpm 相当、点火時期 BTDC20 deg 相当、圧縮比 14、 $\phi 1.00$ から 0.80 まで 0.05 刻みずつ変更した。実験手順として、まずピストンの下死点を目的の圧縮比になるよう設定する。マイクロシリンジを用いて燃料をシリンダ内に滴下して一定の時間をおき、圧縮、膨張することで燃焼室に均一な予混合気を生成する。その後圧縮、点火を行い、圧力履歴、ピストン変位および点火時期を記録した。

4. 実験結果および考察

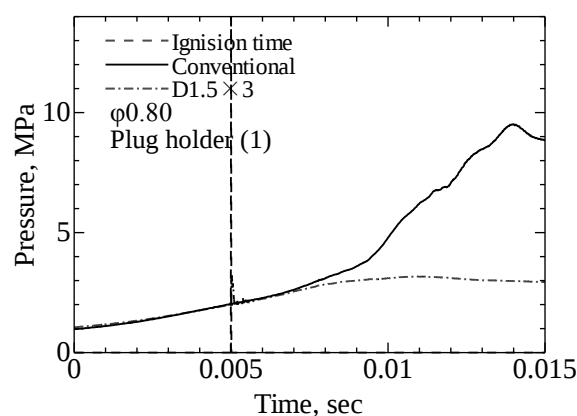
燃焼容器中心のプラグホルダ(1)、および中心から 18mm 周辺部寄りのプラグホルダ(2)に点火プラグを設置し、 $\phi 1.00$ から 0.80 における燃焼実験を行った。プラグホルダ(1)、 $\phi 1.00$ における通常プラグの圧力履歴を Fig.4 (a) に示す。Fig.4 (a)における通常プラグの最大燃焼圧付近で細かな圧力変動が顕著に現れていることから、ノッキングの発生を確認できた。これは火炎伝播速度が低いことから周辺部の未燃混合気が自着火を起こしたと考えられる。

プラグホルダ(1)、 $\phi 0.80$ における通常プラグと D1.5 $\times$ 3 の圧力履歴を Fig.4 (b) に示す。プラグホルダ(1)、 $\phi 0.80$ における D1.5 $\times$ 3 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、ドーム形フランジの形状により得ることのできる衝撃波エネルギー回収効果よりもフランジへの熱損失が上回ったために失火が起きたと考えられる。プラグホルダ(1)、 $\phi 0.80$ において、D1.5 $\times$ 2、D1.5 $\times$ 4、D1.5 $\times$ 5 についても実験を行ったが、燃焼を確認することができなかった。失火の原因については上記と同様のことが考えられる。

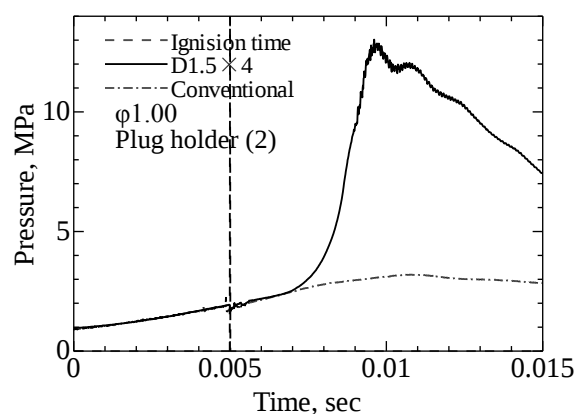
プラグホルダ(2)、 $\phi 1.00$ における通常プラグと D1.5 $\times$ 4 の圧力履歴を Fig.4 (c) に示す。通常プラグの燃焼は確認できず、D1.5 $\times$ 4 の燃焼は確認できた。これは D1.5 $\times$ 4 のフランジ形状の衝撃波エネルギー回収効果と流動抑制効果により火炎核の保炎作用が有効に働き燃焼したと考えられる。プラグホルダ(2)、 $\phi 1.00$ において、D1.5 $\times$ 2、D1.5 $\times$ 3、D1.5 $\times$ 5 においても実験を行ったが、燃焼を確認することができなかった。D1.5 $\times$ 2、D1.5 $\times$ 3 の失火原因については先ほど述べた通り、D1.5 $\times$ 2、D1.5 $\times$ 3 のフランジ形状により、得ることのできる衝撃



(a) Conventional



(b) Conventional and D1.5 $\times$ 3



(c) Conventional and D1.5 $\times$ 4

Fig. 4 Pressure history

波エネルギー回収効果よりもフランジへの熱損失が上回ったためだと考えられる。D1.5 $\times$ 5 の失火原因についてはフランジの穴の個数が 5 つと増えたことでフランジ内の乱れが強くなったことによって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。

各プラグの各当量比におけるノッキング強度を Fig.5(a), Fig.5(b), Fig.5(c), Fig.5(d), Fig.5(e)に示す. Fig.5(b)に示されるように, 穴数が少ないときにはノッキングが助長されるケースもあった. プラグホルダ(2)における D1.5×4 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.

4. 結言

実機を模擬した急速圧縮機を用いて高圧縮比希薄燃焼でのドーム形フランジ付き点火プラグの燃焼実験を行い, 以下の知見を得た.

- (1) 旋回流動上に点火プラグを設置した場合において, D1.5×4 は衝撃波エネルギー回収効果と流動抑制効果により火炎核の保炎作用が有効に働き, 通常プラグより優れた点火性能が得られた.
- (2) 燃焼容器中心に点火プラグを設置した場合において, ドーム形点火プラグは希薄域での点火確率の向上が認められなかった.

参考文献

1. 小島・山崎・氏家ほか, 第 45 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.8-9 (2007)
2. 市東・山崎・氏家ほか, 第 51 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp. 440-441 (2013)
3. 遠藤・野村・氏家ほか, 第 51 回燃焼シンポジウム講演論文集, pp.442-443 (2013)

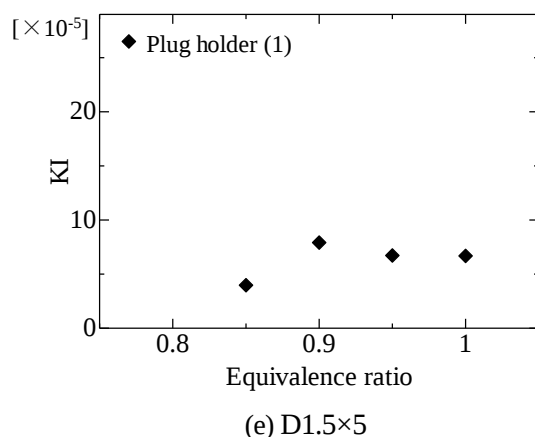
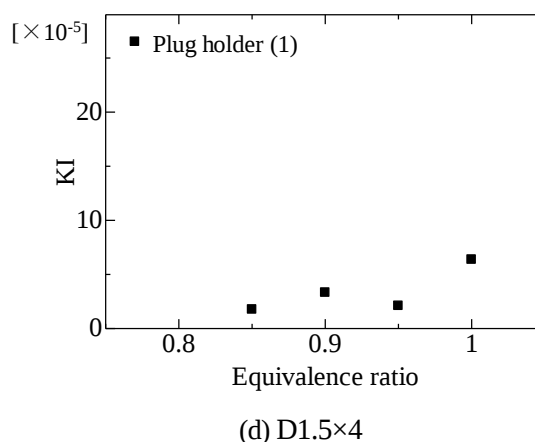
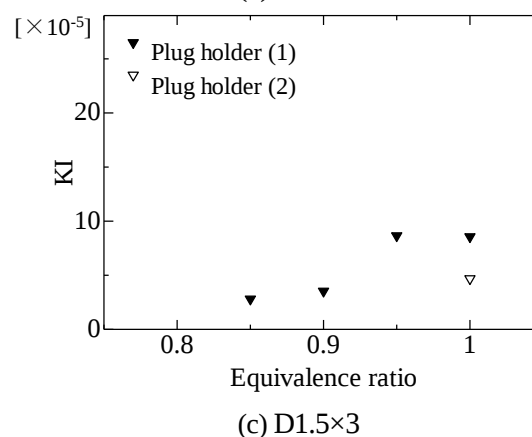
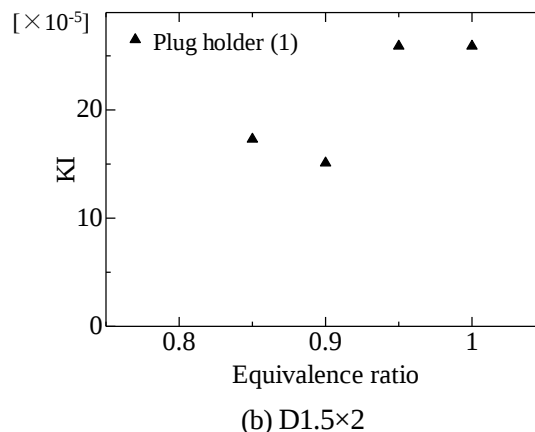
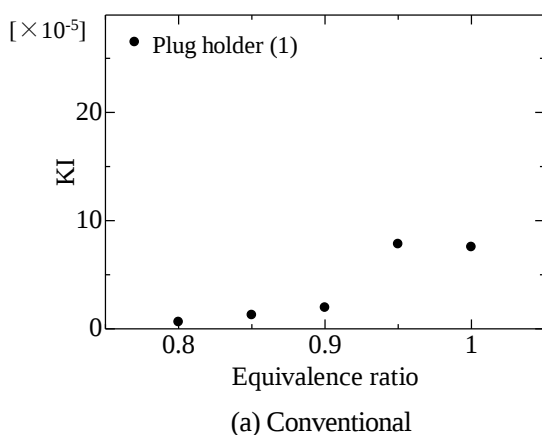


Fig.5 Knocking Intensity