

急速圧縮機によるフランジ付き点火プラグのノッキング抑制効果の検討

日大生産工 (院) ○清水 率貴 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．また同時に化石燃料の枯渇への対策も強く求められている． CO_2 低減策は基本的に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きる．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が有効である．

しかし圧縮比の増大によるノッキングの発生，希薄燃焼では燃焼速度の低下によるノッキング発生と有効仕事の減少という問題がある．その対策として燃焼室内にスワール，タンブルなど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，強い乱れによって火炎核の熱損失が増大するため，失火が起きやすくなる．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においては，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両立が課題となる．

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およびノッキング抑制効果の検

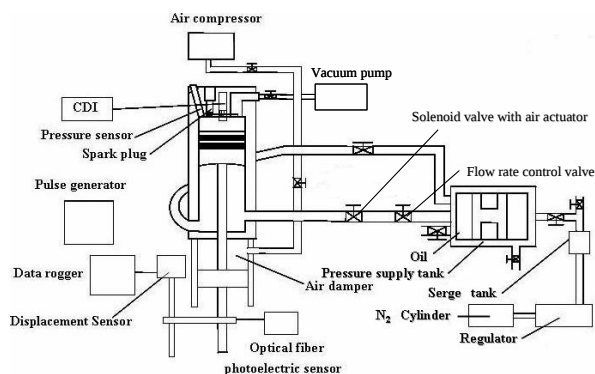


Fig. 1 Outline of rapid compression machine

討を行った．

2. 実験装置および作動原理

本実験にて使用した急速圧縮機全体の概要をFig.1 に示す．高圧窒素ガスにより加圧した作動流体をピストン後背部に導くことで燃焼室を急速圧縮する．本実験装置は急速圧縮機本体，オイルドライバ，点火系，計測系にて構成されている．

2.1 急速圧縮機本体

急速圧縮機本体は燃焼室，排気装置，ピストン減速・停止機構から構成される．

燃焼室はシリンダ，シリンダヘッドおよびピストンから構成され，形状は上下面が平面でありシリンダ内径 60 mm，隙間容積 28.3 cm^3 ，隙間容積高さ 10 mm とし，圧縮比は 18 まで可変である．シリンダヘッドには，点火プラグ，排気弁，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気にも使用する．

ピストン減速・停止機構には，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。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。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燃焼容器のピストンが連動して押し下げられて吸気する。また燃焼容器のピストンの下死点も変更できるため圧縮比の変更が容易である。

排気装置は 1/16 インチの管を燃焼室に接続し燃焼室容積を増大させないようにした。この管に真空用のバルブを設置し真空ポンプにより排気を行う。

2.2 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、および急速圧縮機本体までの配管で構成される。配管中にはエアアクチュエーター付きソレノイドボールバルブ、流量調節弁を設置している。

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。その際に窒素の減圧を少なくするためサージタンクを用いている。また配管は最大接続管径 1 inch のステンレス製のものを使用している。耐食性と粘性を考慮し、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 0.8 MPa の空気をソレノイドバルブに供給し、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へ流入し、急速圧縮が行われる。また急速圧縮後に燃焼室内での圧力上昇によりピストンが押し下げられ、オイルドライバ内に灯油が逆流してしまう。そこで急速圧縮終了と

同時にボールバルブを閉じ、灯油の逆流を防いでいる。

2.3 点火系

点火系は点火プラグ、点火回路、ソリッドステート・リレーおよびファイバ光電センサから構成されている。

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。

2.4 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ガー NR2000 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ガー NR2000 に出力することでピストン変位および燃焼室内圧力履歴を得ている。

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およびノッキング抑制効果の検討のため、燃料にオクタン価 0 の正ヘプタンを用いた。Fig.2 のようなスワールを形成する邪魔板を燃焼室内に取り付けて燃焼実験を行った。圧縮速度は 1000 rpm 相当、圧縮比 10、当量比は 0.6 から 1.2 まで 0.1 刻みで変更した。点火プラグには通常点火プラグ（以降、通常プ

ラグ), 円筒形フランジ付き点火プラグ (以降, 円筒形プラグ), 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。

点火プラグの形状をFig.3 に示す。円筒形プラグは, 市販の点火プラグの電極部周りに直径 9 mm, 高さ 6 mm のステンレスパイプを銀口ウで取り付けて作製した。円板形プラグは, 市販の点火プラグから接地電極を取り除きそこに ϕ 1.6 mm のステンレス棒を 3 本設置し, フランジ間隔を 4 mm として直径 9 mm の円板形のフランジを支持した。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効果をねらったものである。

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, 所定の予混合気を生成する。その後圧縮, 点火し燃焼室内圧力を測定した。

4 実験結果および考察

4.1 スワールによるノッキング抑制効果

当量比 0.7 において通常プラグで点火を行ったときのスワール形成時とスワール未形成時の燃焼室内圧力履歴を Fig.4 に示す。最大燃焼圧力以降での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が確認できる。

スワール形成時は, スワール未形成時に比べて圧力の立ち上がりも早く, 最大燃焼圧力を迎えるまでの時間も短い。また最大燃焼圧力後のノッキングも抑えられている。このノッキングの抑制は各当量比でも確認することができた。

ここで, 点火タイミングから燃焼圧力が最大になるまでの経過時間を燃焼時間と定義し, 通常プラグでの各当量比におけるスワール形成時とスワール未形成時の燃焼時間を Fig.5 に示す。各当量比において, スワール形成時はスワール未形成時より燃焼時間が短くなっていることがわかる。このことより, スワール形成時は燃焼が促進されてノッキングの抑制につなが

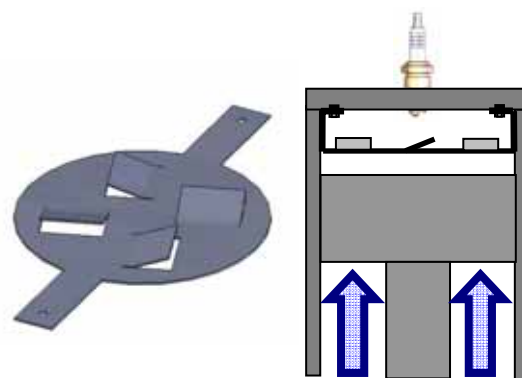
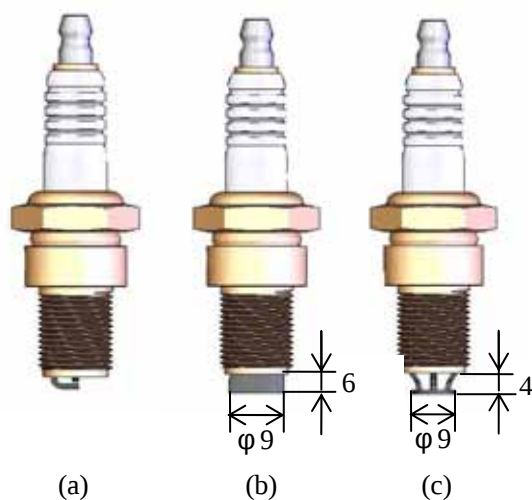


Fig. 2 Obstructive plate



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

Fig. 3 Shape of spark plug

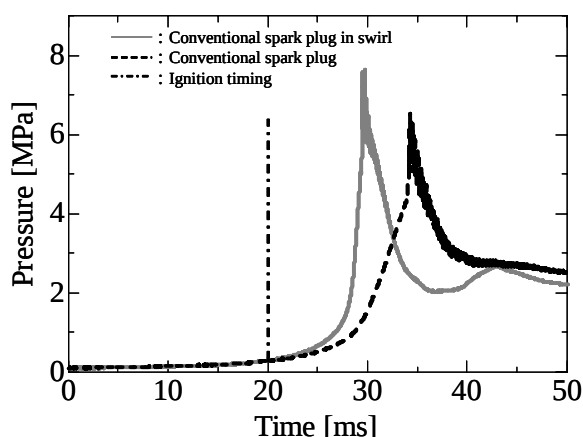


Fig. 4 Pressure history in combustion chamber ($\phi = 0.7$)

たとえられる。この燃焼時間の短縮とノッキング抑制効果は各フランジ付き点火プラグでも同様に確認することができた。

4.2 スワール形成時でのフランジ付き点火プラグのノッキング抑制効果の検討

当量比 0.7 でのスワール形成時の通常プラグと円筒形プラグの燃焼室内圧力履歴を Fig.6 に示す．通常プラグに比べ円筒形プラグはノッキングが抑制されている．また圧力の立ち上がり時期が早く，圧力上昇が緩やかになっている．

スワール形成時では電極近傍の流速が遅くなることに加え，円筒フランジの流速抑制効果によりフランジ内でよどみが発生する．またフランジの衝撃波エネルギーの回収効果が相まって点火遅れが短くなり，通常プラグよりも圧力の立ち上がり時期が早くなったと考えられる．しかし，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る．またピストン方向に火炎が燃え広がるために邪魔板への熱損失が起こり，スワールの燃焼促進効果を上回ったために通常プラグに比べ急激な圧力上昇が抑えられたと考えられる．結果的に燃焼時間は長くなっているが急激な圧力上昇を抑えられたため，ノッキングが抑制されたと考えられる．

通常プラグと円板形プラグでは圧力上昇，燃焼時間およびノッキングの発生に大きな違いが見られなかった．円板形プラグではスワールにより火炎核の滞留の期間が短く，フランジへの熱損失が少ないと考えられる．また燃焼室の壁面方向に火炎伝播しやすいために邪魔板への熱損失が少なく，スワールによる燃焼促進効果の影響を受けて急激な圧力上昇が起きたためノッキングの抑制効果が現れなかったと考えられる．

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. スワール形成時はスワール未形成時に比べ，燃焼が促進されるため各点火プラグでノッキング抑制効果がある．
2. スワール形成時の円筒形フランジ付き点

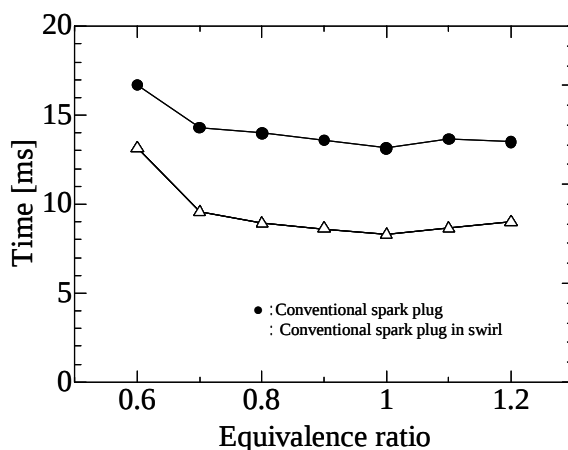


Fig.5 Relations between equivalence ratio and burning time

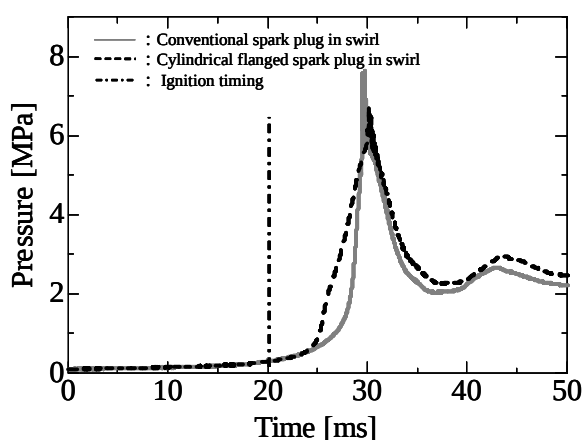


Fig.6 Pressure history in combustion chamber ($\phi = 0.7$, Swirl)

火プラグでは流速抑制効果と衝撃波エネルギーの回収効果により点火遅れが短くなる．

3. スワール形成時の円筒形フランジ付き点火プラグでは熱損失が増大するが，燃焼圧力の急激な上昇が抑えられ，ノッキングの抑制につながった．
4. スワール形成時の円板形フランジ付き点火プラグではノッキング抑制効果を得ることができなかった．

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)