

エンジン燃焼基礎実験用急速圧縮機の開発と動作試験

日大生産工 ○氏家 康成 日大生産工(院) 飯村 隆弘 日大生産工 野村 浩司

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 の低減策は急務となっている。また同時に、化石燃料の枯渇化対策も強く求められており、この分野では種々の研究開発が進められている。 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、機関の熱効率を向上させることにつきる。後者は、 CO_2 削減と同時に燃料枯渇化対策にも共通する技術であり、内容は機関の高圧縮比化、希薄燃焼化および機械効率向上策に絞られる。

著者らは燃焼研究の基本的立場から、高圧縮比化と希薄燃焼化に着目してきた。両者ともに理論熱効率向上に寄与する技術であるが、周知の通り、高圧縮比化はノッキング現象で制約を受け、希薄燃焼はミスファイア(失火)、火炎伝播の遅れ等を招き、所期の目標を達成できない場合も多い。

エンジン燃焼の研究には、バーナや定容燃焼容器を用いた点火・燃焼特性等の基礎的研究から実機を用いた実用的研究まで、種々の段階がある。本研究で対象とする急速圧縮機を用いた研究は、実機を用いた研究の一步手前に位置し、基礎研究と実用的研究の橋渡しをするものと考えられている。急速圧縮機は、圧縮比変更が容易、実験目的に応じた燃焼室の変更が容易、あるいは実験条件を正確に設定できる等の特長を持っている。本研究は急速圧縮機を設計製作し、著者らが従来から提唱してきたフランジ付き点

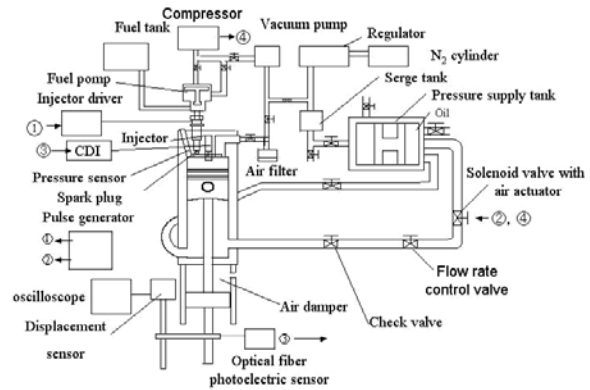


Fig. 1 Outline of rapid-compression machine.

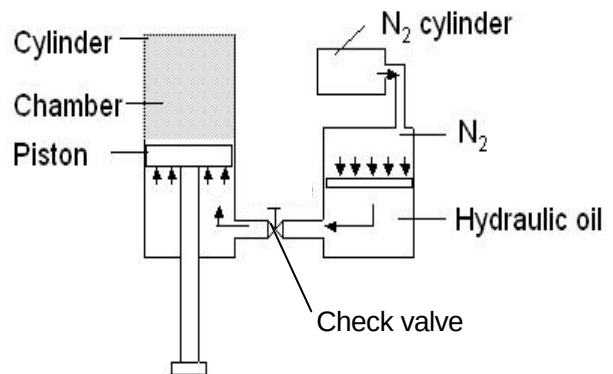


Fig. 2 Concept of rapid-compression machine.

火プラグ⁽¹⁾の高圧縮希薄燃焼機関への適用性を調べようとするもので、本稿ではその構造と動作試験の結果を報告する。

2. 実験装置および作動原理

設計製作をした急速圧縮機全体の概要を Fig.1 に示す。本実験装置は急速圧縮機本体、オイルドライバ、燃料噴射装置、点火系、計測系にて構成されている。

2.1 急速圧縮機

急速圧縮機本体は燃焼室、吸排気装置、ピストン減速・停止機構から構成される。

急速圧縮機システムの概念を Fig. 2 に示す。高圧窒素ガスにより加圧した作動油をピストン後背部に導くことで燃焼室を急速圧縮する。作動油が非圧縮性流体なので応答性に優れ、また逆止弁の働きと相まって燃焼圧による上死点からのピストン押しもどし現象も無いことが本装置の特徴である。

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、形状は上下面を平面とし、シリンダ内径 60mm，隙間容積 28.3cm^3 ，隙間容積高さを 10mm としている。シリンダヘッドには、点火プラグ、インジェクタ、吸排気弁および圧力センサ設置用の穴を設けており、圧力センサ設置穴には圧力センサに直接火炎の影響が及ばないように、スリット穴つき保護板を設置した。

ピストン減速装置にはエアダンパーを使用している。エアダンパー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。

吸排気装置は 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。この管に大気開放用と真空用のバルブを設置し吸排気を行う。

2.2 オイルドライバ

オイルドライバは窒素ポンプ、サージタンク、作動油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ボールバルブ、流量調節弁および逆止弁を設置している。

窒素ポンプから供給された高圧窒素ガスが作動油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。

コンプレッサから 1 MPa の空気をソレノイ

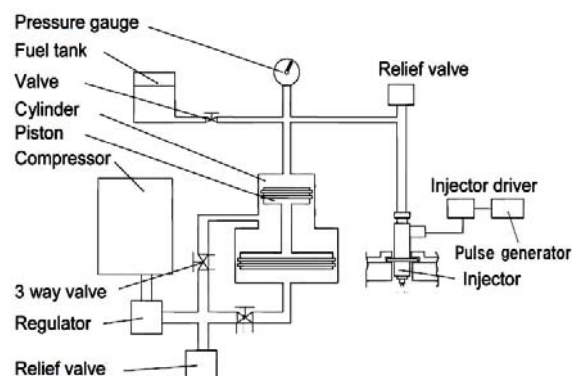


Fig. 3 Outline of fuel jet device.

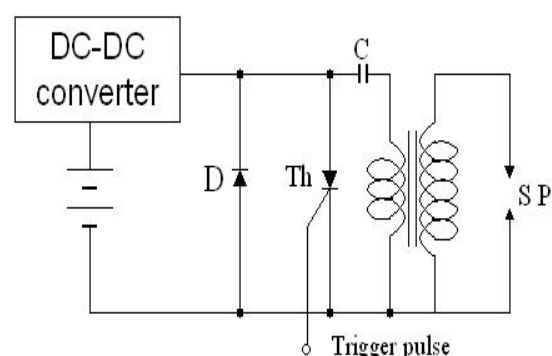


Fig. 4 CDI circuit.

ドバルブに供給し、トリガ信号を与えることでバルブが開き、エアアクチュエーターを作動させると主弁が開き、作動流体を急速圧縮機のピストン後背部へ流入させることで急速圧縮を行う。高圧作動流体を急速に制御するためにこのシステムを採用した。

2.3 燃料噴射装置

燃料噴射装置の概略を Fig. 3 に示す。

燃料噴射装置はコンプレッサ、段付きピストンシリンダ、インジェクタ、インジェクタドライバ、およびパルスジェネレータから構成されている。インジェクタには筒内直噴型の高圧噴射可能なインジェクタを使用している。

コンプレッサから高圧空気を段付きピストンに供給し、最大 5 MPa まで燃料を昇圧して、パルスジェネレータからインジェクタドライバに電気信号を送り、燃料を噴射する。噴射量の調整はパルス時間幅および燃料噴射圧力で調整する。

2.4 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。回路図を Fig. 4 に示す。コンデンサ C に充電された電荷を、サイリスタ Th 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、1 次コイルに急激な電流変化を生じさせて 2 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 2 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。

2.5 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、燃料噴射圧計測用ブルトン管およびオシロスコープで構成されている。また点火タイミング検出には 2 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オシロスコープ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 動作試験結果および考察

本実験装置の性能を評価するため急速圧縮、自発点火および火花点火実験を行った。

3.1 急速圧縮実験

圧縮比 10 となるピストン行程 90 mm にて行った急速圧縮実験のピストン変位を Fig. 5 に示す。縦軸はピストン変位量、横軸は圧縮開始からの経過時間を表している。ピストンが上死点位置にて完全に停止していることが確認できた。また燃焼時においても同様に上死点にてピストンは停止し、おし戻されないことが確認できた。

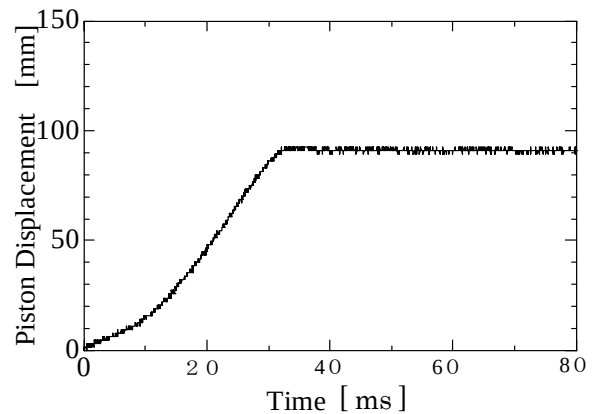


Fig. 5 Piston displacement history.

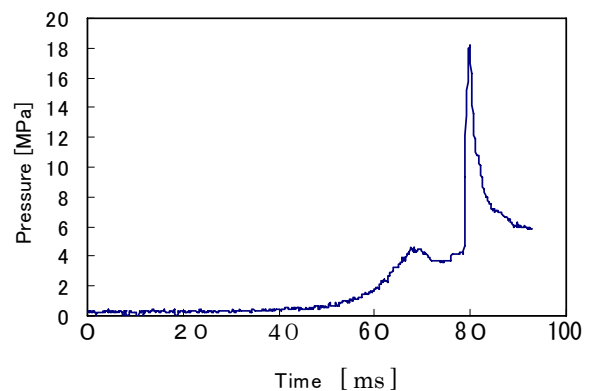


Fig. 6 Pressure history in combustion chamber.

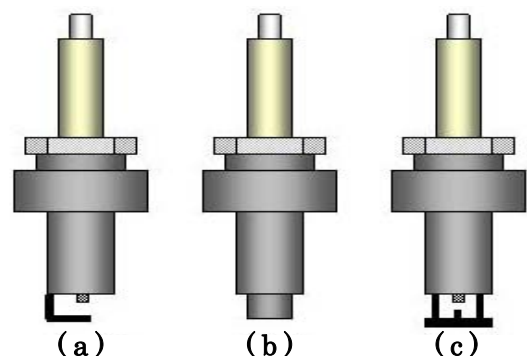


Fig. 7 Figure of normal plug (a), cylindrical flanged plug (b) and disk flanged plug (c).

3.2 自発点火実験

本実験機においてノッキングが起これる環境かを調べるため、ガソリンを燃料として自発点火における燃焼室内圧力の計測を行った。当量比 0.7、圧縮比 17 にて行った燃焼圧力履歴を Fig. 6 に示す。Fig. 6 において 0.08 sec 付近にて急激に圧力が上昇している。これにより燃焼室内にて自発点火をしていることが確認できた。また各当量比においても同様の波形が得られている。したがって本実験装置にて自発点火

が可能である。これによりノッキングが十分起こりうる環境であり、その制御手法を検討する本研究の目的に利用できることが確認できた。

3.3 火花点火実験結果および考察

本実験において使用する点火プラグには通常点火プラグ、円筒形フランジ付き点火プラグおよび円板形フランジ付き点火プラグを使用した。各プラグのフランジ形状概要を Fig. 7 に示す。円筒形は、通常プラグの中心および設置電極部を管材で覆う形になっている。

Fig. 8 に当量比 1.0 での通常点火プラグにて点火を行ったときの燃焼室圧力履歴を示す。30 ms で急激に圧力が増大していることから、燃焼が確認できる。またこれと同様に当量比、プラグの種類を変え実験を行った。結果を Fig. 9 に示す。当量比が 0.9 以上での最大燃焼圧力は各点火プラグに大きな違いが見られない。当量比 0.8 では、円板形フランジ付き点火プラグを用いたときに最も最大燃焼圧が高くなった。これは円板形フランジと電極部の間にピストン上昇に伴う混合気流が巻き込まれて乱れが強くなり、火炎の成長が促進されたためと考えられる。また、当量比 0.7 において円筒形フランジ付き点火プラグ使用時には燃焼が確認できない。円筒形フランジの場合、ピストン上昇時に発生する流れを直接放電部に受けるため失火すると考えられる。

以上のことから、製作した急速圧縮機は、実機では困難な種々のパラメータ変更が容易で、エンジン燃焼の研究に有用であることが確認された。

4. 結言

急速圧縮機を設計、製作し、動作試験を行った。以下に得られた知見を記す。

- 1) 本急速圧縮機が急速圧縮を行った際、ピストンが上死点にて燃焼圧力に押し戻されることなく完全に停止することが確認できた。
- 2) 本実験機において自発点火を発生させることが可能なため、ノッキングが十分起きる環境であることがわかった。

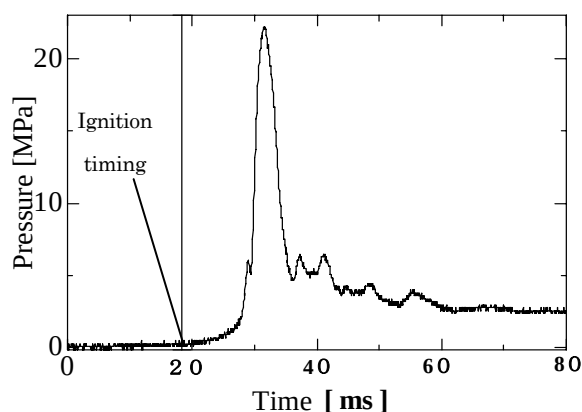


Fig. 8 Pressure history in combustion chamber.

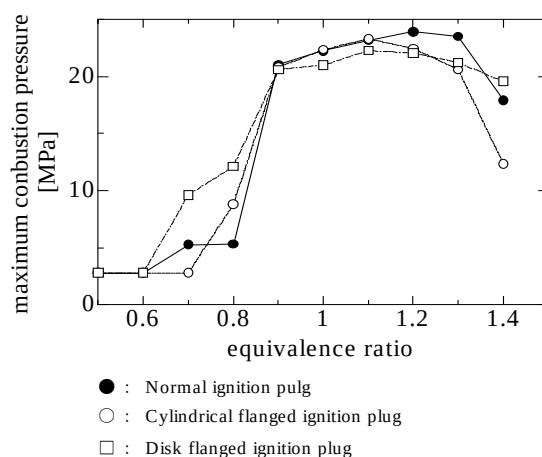


Fig. 9 Relations between equivalence ratio and maximum pressure.

- 3) 火花点火において燃焼が確認されたことにより、本実験機がエンジン燃焼の基礎研究において十分に有効であることが確認できた。
- 4) 渦流を形成しないときにおいて、通常の点火プラグと比べ円板形フランジ付き点火プラグは低当量比において燃焼を促進することがわかった。また円筒形フランジ付き点火プラグは当量比が低くなりすぎると失火することが確認された。

以上のことから、本実験機はフランジ付き点火プラグの高圧縮比希薄燃焼機関への適用性を調べる性能を有していることが認められた。

参考文献

- 1) 氏家, 江間, 野村, 鳥居, フランジ付き点火プラグの基本特性と天然ガスエンジンへの応用, 機論 B 編, 70-694, j604~1609 (2004)