

K2-92

## 超急速圧縮装置による火炎伝播速度とノッキング強度の関係

## Relation between Flame propagation velocity and Knocking Intensity using a Super Rapid Compression Machine

○伊藤 俊貴<sup>1</sup>, 清宮 共弘<sup>1</sup>, 日比 大雅<sup>2</sup>, 田辺 光昭<sup>3</sup>\*Toshiki Ito<sup>1</sup>, Tomohiro Seimiya<sup>1</sup>, Taiga Hibi<sup>2</sup>, Mitsuaki Tanabe<sup>3</sup>

Abstract: High compression ratio is effective as a means of thermal efficiency improvement in spark ignition engines. Though, it is prevented by knocking occurring. Especially, high-speed knocking that occurs at a high engine speed is difficult to test because of giving mechanical damages to the engines. We investigated knocking characteristic by simulating the combustion of the high engine speed using a Super Rapid Compression Machine. As a method, we changed turbulence and flame propagation velocity in the combustion chamber. As a result, we could simulate the combustion of engine running at about 5000 rpm. Knocking intensity decreases when the combustion volume ratio is increased over about 60 %.

## 1. 緒言

現在、環境問題の観点から、内燃機関にはさらなる熱効率の向上が求められている。内燃機関の1つである火花点火機関では、熱効率向上の手段として高圧縮比化が有効である。しかし、高圧縮比化はノッキングの発生により妨げられている。ノッキングとは火炎伝播によりエンドガスが圧縮され自発点火し圧力振動を生じさせる現象のことであるが、高回転時に発生するノッキングは高負荷なため、エンジン破壊をもたらす危険がある。そのため、これまで実機を用いたデータ取得が困難であり明確な現象解明には至っていない。ノッキング強度 (K. I., ノッキングによる圧力振動の最大振幅) は、燃焼体積割合 (エンドガスが自発点火する時の燃焼室の体積に対する既燃ガスの体積割合) が約 6 割の時にエンドガスが自発点火すると、最大となると報告されている[1]。また、燃焼室内に強い乱れを与えると火炎伝播速度が上昇する[2]ため、自発点火時のエンドガスの割合が減少しノッキングを抑制することが出来ると言われている。そこで、本研究では高回転時の燃焼で発生するノッキング特性を解明するために火炎伝播速度と燃焼体積割合及びノッキング強度を比較し分析した。手段として、6000rpm 相当の圧縮行程を模擬できる超急速圧縮装置 (SRCM) [3]を用いた。また、漆原ら[4]の研究においてタンブル起源の渦によって燃焼速度が高くなるということが分かっている。そこで、渦によって火炎伝播速度を変化させた。

## 2. 実験装置及び方法

実験装置の概略図を Fig. 1 に示す。実験装置は SRCM とその周辺装置及び計測系で構成されている。SRCM は駆動ピストン、圧縮ピストンの 2 つのピストンを使用し、駆動ピストンを高圧ガスにより始動・加速後、圧縮ピストンと衝突することで急速圧縮を達成する。

スパークプラグをシリンダ壁面に取り付け、その対向する壁面に取り付けた圧力変換素子 (KISTLER, type6052C) により筒内圧力を測定した。シリンダヘッド部にサファイア製の窓を設け高速度カメラ (Phantom V12.1) を用いて直接撮影及びシュリーレン法による映像を取得した。

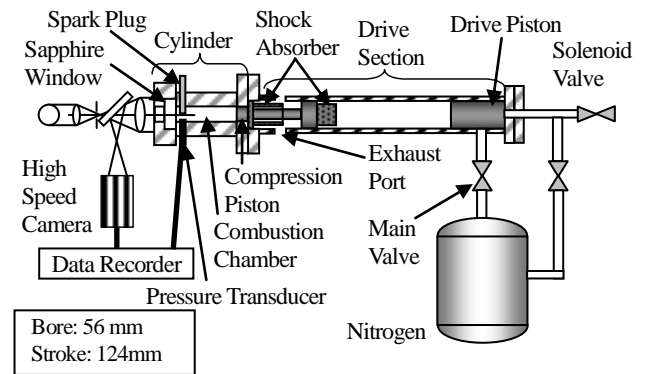


Fig. 1 Experimental apparatus

本実験では、初期圧力 0.1 MPa, 初期温度  $294 \pm 1$  K, 圧縮比  $14.0 \pm 0.5$ , ピストン圧縮時間は  $5.1 \pm 0.3$  ms, 火花点火時期はピストン圧縮開始後  $4.4 \pm 0.2$  ms (BTDC  $25^\circ$  相当) とした。また、燃料は *n*-heptane (10% vol) と *iso*-octane (90% vol) の混合物で PRF 90, 当量比 1.0 である。

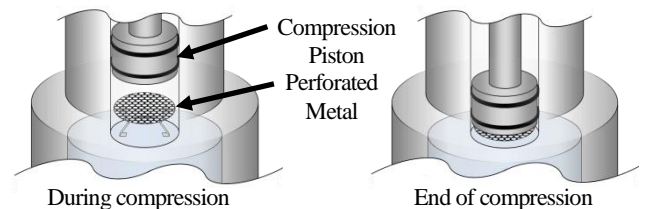


Fig. 2 Method of vortex generating

Figure 2 に実機におけるタンブル起源の渦を模擬する方法を示す。SRCM の燃焼室内に挿入物 (金網及び多孔板) を設置し、ピストンで押された混合気が挿入物の開孔部から噴出することで強い乱れを発生させ、

高回転時の燃焼を模擬する。設置位置は、シリンダヘッドから約 15 mm である。開孔率（シリンダ断面積当りの開口部分面積）、ピッチ（隣り合う穴またはメッシュの間隔）の違う数種の挿入物により、燃焼室内の乱れを変化させ実験を行った。使用した多孔板及び金網の仕様を Table 1 に示す。多孔板は、60°千鳥型のものを使用した。

Table 1 Specifications of perforated plate and mesh

		Open area ratio [%]			
		Perforated plate		Mesh	
		20	50	85	90
Pitch [mm]	3	○			
	4.5	○			
	6	○	○		
	8	○	○		
	12.5			○	
	19				○

### 3. 実験結果及び考察

Figure 3 はピストン圧縮を開始した時点からの圧力履歴である。ここで、Case 1 は挿入物無し、Case 2 は金網（開孔率約 85 %、ピッチ 19 mm）、Case 3 は多孔板（開孔率約 20 %、ピッチ 8 mm）を挿入した条件で実験を行った。全ての Case において火炎伝播によって筒内の圧力が上昇しノッキングによる圧力振動が発生していることが確認できる。ここで、Case 3 での燃焼時間（火花点火から燃焼室内の混合気が燃え切るまで）に着目する。燃焼時間は約 1.3 ms であり、実機における約 5000 rpm に相当する燃焼を模擬出来ていると考えられる。これは、圧縮時に予混合気が挿入物の開孔部を通過することにより燃焼室内に強い乱れが発生し、乱流火炎になったことで燃焼速度が高くなったためと考えられる[2]。次に Case 1, 2, 3 の燃焼時間を比較する。Figure 3 より燃焼時間が短くなりノッキング発生時期が早くなるに伴いノッキングによる圧力振動が小さくなっていることが分かる。また、図中の A, B, C に示すノッキング発生直前の圧力が高くなるに伴い圧力振動が小さくなっていることが分かる。ここで、火炎伝播速度とノッキング強度及び燃焼体積割合の関係を Fig. 4 に示す。火炎伝播速度の上昇に伴い燃焼体積割合が増加し、ノッキング強度が低下することが分かる。Case 1 に着目すると燃焼体積割合はノッキング強度が最大となるとされている約 6 割[1]であった。

乱れにより火炎伝播速度が上昇すると、ノッキング発生直前の圧力が高くなるためノッキング発生時期は早くなった。また、Case 1 以外の条件では、火炎伝播速度の上昇によって、燃焼体積割合が 6 割よりも増加したためノッキング強度が低下したと考えられる。

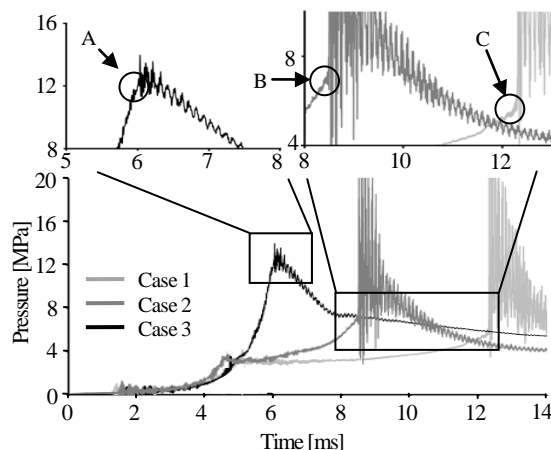


Fig. 3 Cylinder pressure history

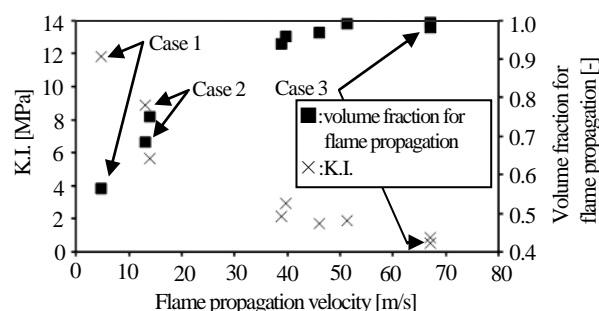


Fig. 4 Dependence of K.I. and volume fraction for flame propagation on flame propagation velocity

### 4. 結言

- 燃焼室内に強い乱れを与えることで実機における 5000 rpm 相当までの燃焼時間を模擬することが出来た。
- 火炎伝播速度を上昇させることで自発点火時の燃焼体積割合が増加した。
- 乱れによって火炎伝播速度を上昇させ、燃焼体積割合を 6 割よりも増加させるとノッキング強度が低下する傾向が得られた。

### 謝辞

本研究は日本大学理工学部シンボリックプロジェクトにより実施されたものである。

### 5. 参考文献

[1] Kono, M. et al. : “Combustion and Flame”, 54: pp.33-47 (1983)  
 [2] 富田栄二, 浜本嘉輔, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol. 56, No. 523, pp.269-275(1990)  
 [3] Katsumata, M. et al., JSAE; 20119310(2011)  
 [4] 漆原友則, 他, 日本機械学会論文集 (B 編), Vol.60.No. 580, pp.302-308(1994)