

K2-74

## 筒内流動場の渦スケールが自発点火後の圧力上昇率に及ぼす影響

## Influence of eddy scale of in-cylinder flow on the rate of pressure rise after spontaneous ignition

○中川 あいこ<sup>1</sup>, 小幡 充志<sup>2</sup>, 渡邊 直哉<sup>2</sup>, 齊藤 允教<sup>3</sup>, 田辺 光昭<sup>4</sup>\*Aiko Nakagawa<sup>1</sup>, Takashi Kohata<sup>2</sup>, Naoya Watanabe<sup>2</sup>, Masanoti Saito<sup>3</sup>, Mitsuki Tanabe<sup>4</sup>

Abstract: The influence of eddy scale of in-cylinder flow on the rate of pressure rise after spontaneous ignition is investigated by using Rapid Compression Machine. The *Normal*-heptane/*iso*-octane/air mixture diluted by nitrogen is for fuel employed to simulate knocking phenomena under EGR condition. In-cylinder flow is generated by perforated plate in the cylinder. To change eddy scale, the hole diameter and pitch (5 mm and 6.5 mm, 10mm and 13mm) of perforated plate are changed under the characteristic velocity of 3 m/s. As a result, rate of pressure rise after spontaneous ignition becomes higher in the case of using the perforated plate with small hole diameter and narrow pitch.

## 1. 緒言

環境負荷の低減や燃料枯渇問題等により、内燃機関にはさらなる熱効率の向上が望まれている。火花点火機関において熱効率向上の手段として高圧縮比化が有効であるが、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、火炎伝播により圧縮された未燃ガスが高温高压となり自発点火することで圧力振動を生じさせる現象のこと[1]であり、機関破壊の原因となる。そのため、自発点火による燃焼の回避・抑制が求められている。ノッキングの制御手法として排気再循環 (EGR) が挙げられるが、点火ミスやサイクル変動を増大させる可能性を高める。よって、EGR 時のような希釈燃焼では筒内流動の役割が重要となる。Hibi ら[2]は超急速圧縮装置 (SRCM) に多孔板を挿入することで筒内の乱れ強さを変化させた。さらに、EGR を想定した窒素希釈条件下において、筒内流動場が自発点火後の未燃ガスの燃焼時間を変化させノッキング強度に影響を及ぼすことを報告している。これには筒内流動場における特性乱れ強さ[2,3]がパラメータとして用いられているが、渦スケールによる影響は考慮されていない。また、窒素希釈条件下において特性乱れ強さを変化させた場合、ノッキング強度に大きな差が見られないこと[2]が報告されている。本研究では SRCM を用いて窒素希釈条件下で実験を行い、筒内流動場の渦スケールが自発点火後の圧力上昇率に及ぼす影響について議論する。

## 2. 実験装置及び条件

実験では SRCM[2]を使用した。火炎伝播及び自発点火の挙動を観察するために、シリンダヘッドにはファイア製の窓を取り付け、高速度カメラを用いて直接

撮影及びシュリーレン法による映像を取得した。Figure 1に示すような穴の配置が 60°千鳥型の多孔板をシリンダヘッドから約 15 mm の位置に挿入した。ピストン圧縮の際に予混合気が開口部を通過することで縦渦を発生させ、強い筒内流動場を模擬した。燃焼室壁面や多孔板付近の温度の低いガスの巻き上げに影響を及ぼす可能性のあるパラメータの一つとして渦スケールが考えられる。さらに、同様な影響をもたらすパラメータとして特性乱れ強さ[2,3]が挙げられ、以下の式で定義される。

$$u_c' = \frac{U_m}{A_c \varepsilon} \quad (1)$$

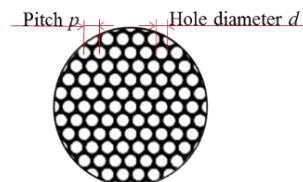


Figure 1. Perforated plate

$U_m$  は圧縮ピストンの平均速度、 $A_r$  は筒内開口率 (径方向の筒内断面積あたりの開口部面積)、 $\varepsilon$  は圧縮比を表している。本研究では特性乱れ強さを一定とする条件下でスケールの異なる渦を発生させるため、 $A_r$  を同値とする穴径  $d$  及びピッチ  $p$  の異なる多孔板を使用した。本研究では  $u_c'$  を  $3.00 \pm 0.15$  m/s、 $A_r$  を 60%、 $U_m$  を  $25.0 \pm 1.5$  m/s、 $\varepsilon$  を  $14 \pm 0.5$  として、 $d$ 、 $p$  がそれぞれ 5, 6.5 mm, 10, 13 mm の多孔板を用いた。実験条件は初期圧力 0.1 MPa、初期温度  $333 \pm 3$  K、圧縮時間は  $4.7 \pm 0.3$  ms、火花点火時期は BTDC  $0.4 \pm 0.2$  ms、撮影時間は 68400 fps とした。燃料は *n*-heptane (10% vol.) と *iso*-octane (90% vol.) の混合燃料を用いオクタン価 90 とした。当量比は 1.0 とした。窒素希釈率  $D_{N_2}$  は窒素及

1 : 日大理工・学部・航宇

2 : 日大理工・院 (前) ・航宇

3 : 日大理工・院 (後) ・航宇

4 : 日大理工・教員・航宇

び空気モル数をそれぞれ  $n_{N_2}$ ,  $n_{air}$  として式 (2) のように定義し、30%とした。

$$D_{N_2} = \frac{n_{N_2}}{n_{air} + n_{N_2}} \quad (2)$$

### 3. 実験結果及び考察

Figure 2 に燃焼室内の圧縮開始を 0 ms とする圧力履歴及び自発点火後の圧力上昇率の定義を示す。この圧力履歴は、実験により得られた圧力履歴にカットオフ周波数を 2.5 kHz[4]とするローパスフィルタを適用したものを使用している。自発点火後の圧力上昇率は、自発点火後における時間に対する圧力の増加量  $dP/dt$  のピーク値と定義した。

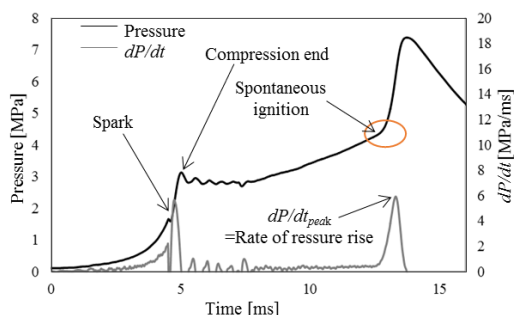


Figure 2. Pressure time history and definition of rate of pressure rise

Figure 3 に各多孔板を挿入した時の自発点火後の圧力上昇率を示す。  $d$ ,  $p$  が 10,13 mm の方が自発点火後の圧力上昇率が低い傾向であることが分かる。この原因として、  $d$ ,  $p$  が 10,13 mm の方が場所による自発点火遅れ時間の差が大きいこと[5]が考えられる。場所による自発点火遅れ時間の差を、自発点火によって燃焼する未燃ガスの量が一定である燃焼映像から比較する。Figure 4 に各多孔板を挿入したときの自発点火の挙動を示す。画像は自発点火直前の燃焼体積割合(既燃ガス体積と燃焼室容積の比)が約 0.47 のものであり、自発点火直前を 0 ms とし未燃ガスの発光が全体に広がるまでを示している。Figure 5 に Fig. 4 の 0 ms における未燃ガス部の平均輝度の時間変化を示す。  $d$ ,  $p$  が 10,13 mm の方が自発点火による発光の輝度のピーク値に達するまでの時間が長いことから、10,13 mm の方が自発点火遅れ時間の差が大きい可能性がある。佐藤ら[6]は空間的な温度不均一性が高いと場所による自発点火遅れ時間の差が大きくなると示している。また、数値計算により  $d$ ,  $p$  が 10,13 mm の方が空間的な温度の不均一性が高い可能性があることが示されている[6]。よって、  $d$ ,  $p$  が 10,13 mm の方が空間的な温度不均一性が高いことで場所による自発点火遅れ時間の差が大きく

なり、自発点火後の圧縮上昇率が低い傾向になったものと推測される。

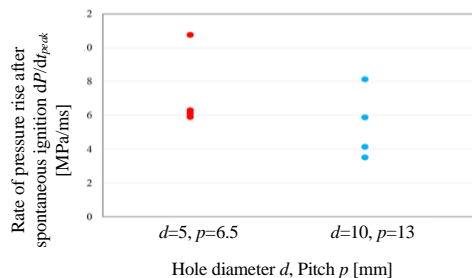


Figure 3. Rate of pressure rise with each inserts

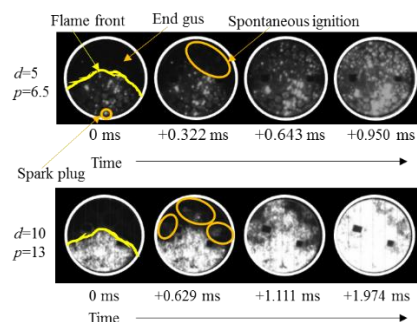


Figure 4. Behavior of spontaneous ignition of end gas with each inserts

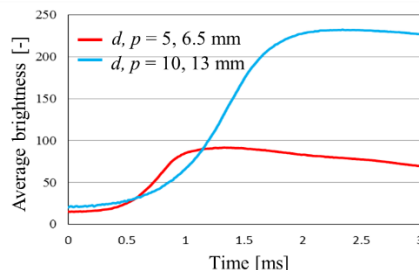


Figure 5. Average brightness time history with each inserts

### 4. 結言

SRCM の燃焼室内の乱れ強さを固定させた条件下において、  $d$ ,  $p$  がそれぞれ、5,6.5 mm, 10,13 mm の多孔板を挿入した場合、10,13 mm の方が、自発点火後の圧力上昇率が低くなる傾向にある。

### 5. 参考文献

- [1]樺山紘一ほか, 火の百科事典, 丸善株式会社, 449(1999)
- [2]Taiga, H., et al., Journal of Thermal Science and Technology. 8, 460-475(2013).
- [3]Mitsuaki, T., et al., 5<sup>th</sup> PACME(2012).
- [4]He, X., et al., Combustion and Flame, 142, 266-275(2005).
- [5]反町侑貴ほか, 第 24 回内燃機関シンポジウム(2013).
- [6]Sato, K., et al., AIAA Aerospace Sciences Meeting(2013).
- [7]渡邊直哉ほか, 第 52 回燃焼シンポジウム掲載予定 (2014).