# K2-1

# 外部 EGR を用いた HCCI 機関の運転領域の調査

### Investigation of the Operating Range using External EGR in an HCCI Engine

○佐藤竜也¹, 高野竣太郎¹, 元木裕也¹, 森幸大¹, 田中寛人², 星野飄太², 樋口裕也², 飯島晃良³, 庄司秀夫⁴ \*Tatsuya Sato¹, Shuntaro Takano¹, Yuya Motoki¹, Yukihiro Mori¹, Hiroto Tanaka², Hyota Hoshino², Yuya Higuchi², Akira Iijima³, Hideo Shoji³

Abstract: Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion has attracted widespread interest because it achieves high efficiency. However, HCCI combustion process is rapid rise of the cylinder pressure. Therefore, stable engine operation is difficult at high loads and at high speed region. In this study, experiments were conducted to investigate the operating range of the effect of external EGR on the HCCI combustion by using in-cylinder pressure analyses.

### 1. はじめに

近年、高効率かつクリーンな燃焼方式として、予混合圧縮着火(以下、HCCI)燃焼が注目されている<sup>[1]</sup>. HCCI燃焼は希薄予混合気を吸気し、ピストン圧縮によって自着火させることで火炎伝播限界を超えた希薄燃焼が可能である。しかし、燃焼が多点での同時着火であるため、高負荷時においては燃焼が急峻になり<sup>[2]</sup>、機関に多大な負荷を与えてしまう。また、高回転域でのHCCI燃焼は単位時間当たりの圧力上昇率が高く急峻な燃焼が生じてしまい運転が困難である。そのため、運転領域は限られている。

そこで本研究では、HCCI 機関においての運転領域を調べ、外部 EGR が及ぼす HCCI 燃焼の運転領域の拡大効果を指圧解析によって調査した.

#### 2. 実験装置及び方法

供試機関は 4 ストローク単気筒エンジン (OHV) である. 吸気温度  $T_{in}$  [K] はインタークーラーを用いて調節を行い,筒内圧力 P [MPa] は,シリンダヘッド上部に設置した水晶圧力変換器により測定した. <sup>[3]</sup>また,測定した圧力から熱発生率 HRR [J/deg.] を算出した.

## 3. 実験結果及び考察

# 3. 1 投入熱量変化及び外部 EGR による影響

表 1 に実験条件を示す. Case 1 の実験では投入熱量を 250~400 J/cycle まで変化させる実験を行った. 計測データ数は 12 データであり, それらの計測波形を図 1 に示す. Case 2 の実験では Case 1 でより激しいノック強度を示した投入熱量の条件に外部 EGR を用いた. 計測データ数は 6 データあり, その中で条件の近い 3 データの計測波形を図 2 に示す. 波形は図1,2 共にクランク角  $\theta$  [deg.] に対する, 筒内圧力 P [MPa],

熱発生率 HRR [J/deg.] を示している. なおシリンダ内 圧力は 20 サイクル分取得し、平均化を行っている.

図 1 の熱発生率に着目すると,投入熱量の増加に伴い,主燃焼における最大熱発生率が上昇し,燃焼時期が進角しているのが確認できる (矢印 A).

図 2 の筒内圧力に着目すると, EGR を用いることで強い圧力振動を抑制しているのが確認できる (領域B). また, 熱発生率に着目すると EGR の増大に伴い, 主燃焼における最大熱発生率が減少し, 燃焼時期が遅角しているのが確認できる (矢印 C). これらは EGR を用いたことで比熱比が低下し, 温度上昇が抑制されためであると考えられる.

#### 3. 2 外部 EGR が運転領域に及ぼす効果

図 3 に Case 1, Case 2 で取得した計 18 データにおける最大熱発生時期  $\theta$  [deg.] に対する最大熱発生率 HRR [J/deg.] 及び投入熱量に対する図示平均有効圧力 IMEP [MPa] を示す. また、今回の実験では運転可能領域をノック強度  $P_{ki}$  [MPa] (圧力振動の最大振幅)及び IMEP 変動率  $COV_{IMEP}$  [%] を用い、以下のように定義した.

ノック限界: Pki > 0.6 MPa

運転領域: Pki < 0.6 MPa, COVIMEP < 5%

失火限界: COV IMEP > 5%

Table 1. Experimental conditions

	Case 1	Case 2
Effective Compression Ratio [-]	12:1	
Engine Speed [rpm]	2400	
Test Fuel	n - heptane (PRF 0)	
Input Heat Energy, Qin [J/cycle]	250 ~ 400	$375 \pm 15$
Intake Air Pressure, P <sub>b</sub> [kPa]	100 (NA)	
Intake Air Temperature, T <sub>in</sub> [K]	333	
Combustion Chamber Wall	353	
Temperature, T <sub>w</sub> [K]		
EGR Ratio, γ <sub>EGR</sub> [%]	0	0, 39, 42

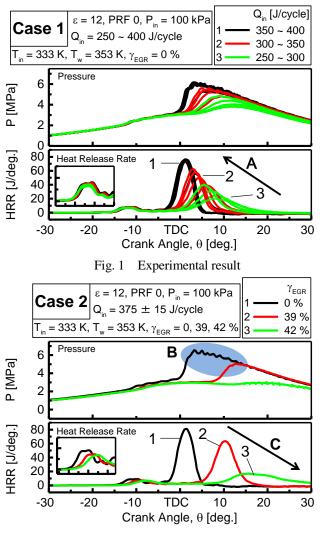
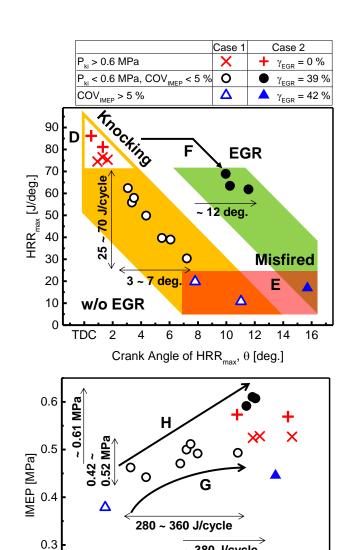


Fig. 2 Experimental result

図 3 のノック限界条件 (領域 D) に着目すると, 主燃 焼時期が TDC 付近に近づき,最大熱発生率が 70 J/deg. を超える条件で激しい圧力振動を伴うことが分 かった. 次に失火条件 (領域 E) について着目すると, 主燃焼時期が遅角したことにより最大熱発生率が 25 J/deg. を下回る領域で、部分燃焼及び失火に至るとい うことが分かった.また、EGR を用いた条件では、 高い最大熱発生率を保ったまま、Case 1 で失火に及ぶ 主燃焼時期まで遅角することが出来る (矢印 F). また 平均有効圧力 IMEP について着目すると、EGR 無し の条件では投入熱量を増大させてもさほど IMEP が 上昇していないが (矢印 G), EGR を用いることで IMEP が大きく上昇し、より高い IMEP で運転が可能 であること分かる (矢印 H).

### 4. 結論

高負荷域での HCCI 燃焼の運転領域の拡大を目指 し、運転領域及び外部 EGR による効果を調査した.



Condition of the operating range

240 260 280 300 320 340 360 380 400 420

Q<sub>in</sub> [J/cycle]

~ 380 J/cycle

その結果,外部 EGR を用いることで,高い負荷を保 ったまま,本来失火する時期まで主燃焼を遅角するこ とが可能であり、大幅に運転領域を拡大することが出 来る.

#### 5. 参考文献

Δ

0.

- [1] Thring, R. H.: Homogeneous Charge Compression -Ignition (HCCI) Engines, SAE Paper 892068 (1989)
- [2] Andreae, M. et al.: On HCCI Engine Knock, SAE Paper 2007 - 01 - 1858, 2007.
- [3] Iijima, A., Abe, Y., Ishizawa, Y., Emori, G., Shoji, H., Misawa, K., Yamamoto, K., Kojima, H. and Nakama, K.: A Study of Autoignition and Combustion Behavior in a Supercharged HCCI Engine by using In-cylinder Spectroscopic Measurements, Proceedings of the 35th FISITA World Automotive Congress (2014)