

HCCI 燃焼における EGR 及び二種燃料が及ぼす影響

Effect of EGR and Fuel Blends on HCCI Combustion

佐藤広大¹, 寺島昂¹, 東條智也¹, 須山謙太², 高橋勇介², 飯島晃良³, 庄司秀夫³

Kodai Sato¹, Akira Terashima¹, Tomoya Tojo¹, Kenta Suyama², Yusuke Takahashi², Akira Iijima³, Hideo Shoji³

Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion offers the advantages of high efficiency and low emissions of pollutants. However, ignition timing control and expansion of the stable operation region are issues remaining to be addressed in this combustion process. Detailed analyses of ignition and combustion characteristics are needed to resolve these issues. In an earlier study, the ignition timing can be controlled and the rapidity of combustion can be lessened by using a fuel having two components with different ignition characteristics. In this study, the behaviors of the autoignition from cool flame in HCCI combustion processes were investigated in detail by using spectroscopic measurement.

1. 序論

予混合圧縮着火 (Homogeneous Charge Compression Ignition 以下 HCCI) 機関は高効率かつ低公害の内燃機関として期待され、研究されている。しかし、HCCI 機関はその燃焼特性から着火時期の制御や高負荷時における急峻な燃焼の抑制が必要である⁽¹⁾。これらの課題の解決手段として、着火性の異なる多種燃料の使用や排ガス再循環 (Exhaust Gas Recirculation 以下 EGR) の使用などが挙げられる。そこで本研究では、冷炎反応から着火までの燃焼挙動に着目し、実機を用い、多種燃料及び EGR を用いた実験を行い、検討を行った。

2. 実験方法及び計算方法

2.1. 供試機関及び実験条件

供試機関仕様及び実験条件を表 1 に示す。供試機関には、シュニーレ掃気方式の二ストローク空冷単気筒ガソリン機関を用いた。本実験では、供試燃料に n-heptane (0 RON) 及び iso-octane (100 RON) を用いた。EGR は排気口の出口部に設けた EGR バルブを絞ることによって排ガスをシリンダ内に戻す内部 EGR と水冷式の EGR クーラーによって排ガスの一部を冷却し、吸気ポートから与える外部 EGR を用いた。

2.2. 測定項目及び測定位置

代表的な測定項目はシリンダ内圧力 (P [MPa]), 吸気温度 (Tin [K]), 掃気温度 (Tsc [K]), 排気温度 (Tex [K]), 低温酸化反応に特徴的な中間生成物であるホルムアルデヒド (以下 HCHO) に相当する吸収波長 293.1 nm⁽²⁾ の透過光強度 (E_{293.1} [V]) である。ここで、図 1 にシリンダヘッドの透過光強度の測定位置を示す。シリンダヘッド側部に取りつけた一方の石英観測窓 (図 1, “In”) から、キセノンランプによって平行光を照射し、対向するもう一方の観測窓 (図 1, “Out”) より透過光を採取した。採取した光はコア径 1 mm の光ファイバを用いて、分光器に導き、測定波長に分光した。分光した光は光電子増倍管により電気信号に変換され、その出力電圧を透過光強度とした。そして、圧縮開始時から低温酸化反応直前までの透過光強度の

Table 1 Specifications of test engine and test condition

2 Stroke Air Cooled Single Cylinder Gasoline Engine	
Bore × Stroke	72 × 60 mm
Displacement	244 cm ³
Effective Compression Ratio	ε = 10 : 1
Engine Speed	Ne = 1000 rpm

Table 2 Fuel injected heat value condition

Case No.	Fuel Injected Heat Value [J/cycle]		
	n-heptane, Bn	iso-octane, Bi	Total, Bt
Case1	395	0	395
Case2	320	0	320
Case3		120	440

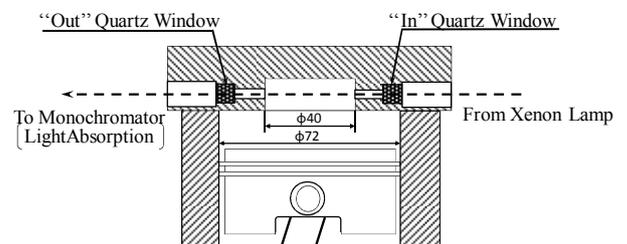


Fig. 1 Absorbance measurement position

平均値を E_{293.1 (Avg)} [V], 任意のクランク角における透過光強度を E_{293.1 (θ)} [V] とし、(1) 式を用いて吸光度に変換した⁽¹⁾。

$$A_{293.1} [-] = \frac{E_{293.1(Avg)} - E_{293.1(\theta)}}{E_{293.1(Avg)}} \quad (1)$$

2.3. EGR 率の定義

本実験では、排気口直後に設けたバルブを開閉することにより、意図的に変化が可能な既燃ガスを EGR とした。また、シリンダ内のガス交換は完全混合掃気が成立すると仮定し、掃気効率 (η_S [%]) を求めた。そこで、EGR を用いたとき、用いないときの掃気効率をそれぞれ η_{S (EGR)}, η_{S (Limit)} とし、(2) 式のように EGR 率 (γ_{EGR} [%]) を定義した。

$$\gamma_{EGR} [%] = \eta_{S(Limit)} - \eta_{S(EGR)} \quad (2)$$

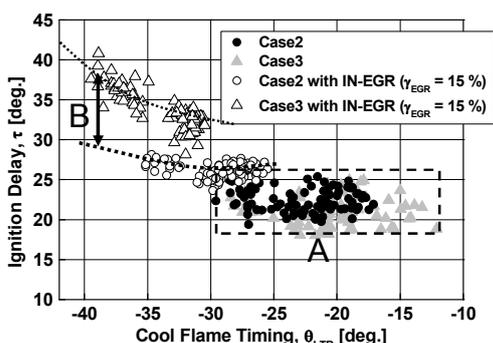


Fig. 2 Cool flame timing vs. ignition delay (Cases 2, 3 with internal EGR)

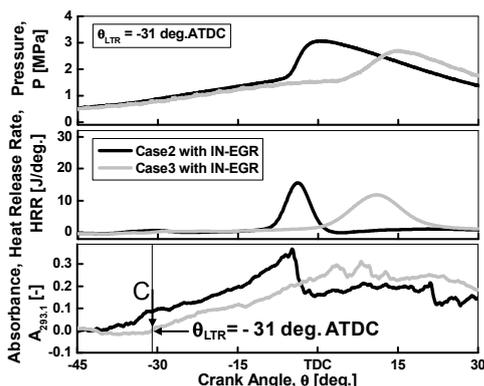


Fig. 3 Typical waveforms (Cases 2, 3 with internal EGR)

3. 結果及び考察

3.1. n-heptane 投入量一定条件で総投入熱量が異なる場合における内部 EGR が着火遅れに与える影響

図 2 に Case 2, 3 及び Case 2, 3 に内部 EGR を体積率 15% で投入した際の冷炎発生時期と着火遅れの関係を示す。図より Case 2, 3 の着火遅れはほぼ同一の範囲にあることが確認できる (領域 A)。これは着火遅れが中間生成物の生成に影響され、中間生成物の生成は n-heptane の投入量に依存し、n-heptane の投入量が同一なら、iso-octane を投入しても着火遅れは変化しないためである⁽¹⁾。しかし、内部 EGR を投入した条件での Case 2, 3 では着火遅れに差が現れている (矢印 B)。これは Case 2, 3 では総投入熱量が異なり、内部 EGR の成分や温度に違いが生じたため、n-heptane の投入量が同一でも着火遅れに差が生じたと考えられる。また、図 3 に同一冷炎発生時期で内部 EGR を投入した条件での Case 2, 3 のシリンダ内圧力、熱発生率、吸光度の波形を示す。図より、冷炎発生時期において Case 3 に EGR を投入した方が Case 2 に EGR を投入するよりも吸光度の値が低いことが確認できる (矢印 C)。このことから総投入熱量が多い EGR を投入した方が冷炎発生時期において中間生成物の生成が少ないことが考えられる。しかし、以上の結果だけでは EGR の成分と温度による影響の強さが分からない。そこで EGR の成分と温度による影響の強さ比べるために内部 EGR と外部 EGR の比較を行った。

3.2. 内部 EGR と冷却外部 EGR の比較

内部 EGR は外部 EGR に比べて高温でガス密度が小さく、外部 EGR はガス密度が大きいので同体積率で投入した場合、EGR のガス密度と成分による影響の強さを比べることができる。EGR の投入体積率はそれ

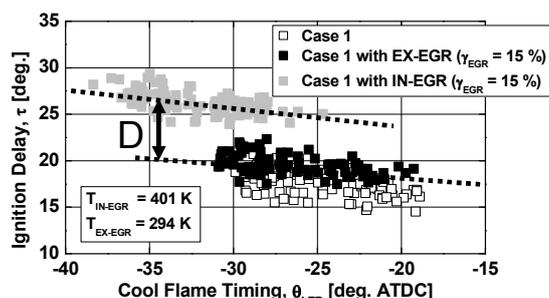


Fig. 4 Cool flame timing vs. ignition delay (Cases 1 with external EGR and internal EGR)

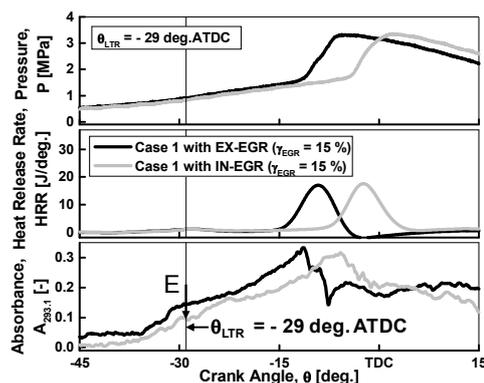


Fig. 5 Typical waveforms (Cases 1 with external EGR and internal EGR)

ぞれ 15% とした。また、外部 EGR は室温と同等まで冷却した。図 4 に Case 1 および Case 1 に内部 EGR, 外部 EGR を用いた冷炎発生時期と着火遅れの関係を示す。図より、EGR を使用しない場合に対し外部 EGR より内部 EGR を使用した場合の方が大きく着火遅れが増加していることが確認できる (矢印 D)。この結果から、EGR の成分の増加よりも高温でガス密度が小さいことの方が着火遅れに大きく影響していると考えられる。また、図 5 に同一冷炎発生時期での Case 1 に内部 EGR, 外部 EGR を使用した場合の圧力、熱発生率、吸光度の波形を示す。図より、高温な EGR を用いた方が冷炎発生時期において HCHO の生成を抑制していることが確認できる (矢印 E)。

4. 結論

- (1) EGR を投入すると冷炎発生時期における HCHO の生成を抑制する。
- (2) 温度が高い内部 EGR を投入した方が冷炎発生時期での HCHO の生成を抑制する効果大きい。

5. 謝辞

本研究は理工学部シンボリックプロジェクト (熱工学システム) の一環として実施された。

6. 参考文献

- [1] Saitou, K., Iijima, A., Yoshida, K., Shoji, H., et al.: SAE Int. J. Engines, Vol. 3, Issue 2, p. 529-536, 2010
- [2] Gaydon. A. G : The Spectroscopy of Flame-2nd Edition, London, Chapman and Hall Ltd, 1974, 412p.