

K2-1

外部 EGR が過給 HCCI 機関の自着火に及ぼす影響 Effect of External EGR on Autoignition in a Supercharged HCCI Engine

○樋口裕也¹, 高橋伊吹¹, 西潟健太郎¹, 松石宗大², 阿部泰英², 石澤雄馬², 飯島晃良³, 庄司秀夫³

*Yuya Higuchi¹, Ibuki Takahashi¹, Kentaro Nishigata¹, Munehiro Matsuishi², Yasuhide Abe², Yuma Ishizawa², Akira Iijima³, Hideo Shoji³

Abstract: Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion has attracted widespread interest because it achieves high efficiency and can reduce particulate matter (PM) and nitrogen oxides (NOx) emissions simultaneously. However, HCCI combustion process is rapid rise of the cylinder pressure. Therefore, stable engine operation is difficult at high loads. Supercharging and EGR is the effective methods to expand the operation range of HCCI engines. In this study, experiments were conducted to investigate the effects of EGR on combustion characteristics of a supercharged HCCI engine. The HCCI combustion process was analyzed in detail by using spectroscopic measurement methods by means of light emission and light absorption spectroscopy.

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^[1]. 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り, NO_x, PM を同時低減可能な燃焼方法である. しかし HCCI 燃焼は火花点火, 燃料噴射等の物理的着火手段を持たず, 着火時期の制御が困難である. 加えて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, 機関に多大な負荷を与えてしまう. これまでに過給や EGR, 成層燃焼を用いた研究が行われてきた.

そこで本研究では, 外部 EGR が過給 HCCI 燃焼に与える影響を分光学的手法を用いて詳細に調査した.

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をを用いた. 筒内圧力 P [MPa] は, シリンダーヘッド上部に設置した水晶圧力変換器を用いて測定を行い, 測定した圧力から熱発生率 HRR [J/deg.], 筒内平均ガス温度 T [K] を算出した. 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, K 型シース熱電対によって測定を行った. 過給圧は外部過給機によって調節を行った. EGR 率は以下の式によって算出した. ここで F_0 [l/min] は EGR を導入する前の吸入空気量であり, F_A [l/min] は EGR を導入した際の吸入空気量である.

$$\gamma_{EGR} = \frac{F_0 - F_A}{F_0} \times 100 [\%]$$

HCCI 燃焼の火炎光及び光の吸収の計測を行うため, シリンダに石英観測窓を設け, ボア方向の筒内火炎光及びキセノン光源による透過光を採取した^[2]. 火炎光及び透過光は光ファイバによって分光器へと導入され, 火炎光は 395.2 nm, 透過光は 293.1 nm の波長に分光される. 前者は, CO と O の再結合反応による強い連続スペクトル発光 (CO-O 放射) の波長の一部であり, 主に熱炎発生時期に放射されるため熱炎の挙動を調べるのに有効である. 後者は HCCI 機関にて特徴的な中間生成物であるホルムアルデヒド (HCHO) の挙動を捉えるのに有効な波長である. 光電子増倍管で検出した透過光の強度 E_A [A.U.] を用いて, 次式によって吸光度 $A_{293.1}$ [-] と定義した. ここで, E_0 [A.U.] は下死点付近の透過光強度の平均である.

$$A_{293.1} = \frac{E_0 - E_A}{E_0} [-]$$

3. 実験結果及び考察

本実験には燃料に PRF (50 RON)を用い, 機関回転数 1400 rpm, 吸気温度 $T_{in} = 324$ K, 投入熱量 $Q_{in} = 700$ J/cycle, 過給圧 $P_b = 180$ kPa 一定に保ち, EGR 率 γ_{EGR} [%] を 0 %, 30 %, 47 %, 57 % に変化させて実験を行った. 圧縮比 ε [-] は 14 である.

図 1 は横軸にクランク角 θ [deg.], 縦軸に筒内圧力 P [MPa], 熱発生率 HRR [J/deg.], 筒内平均ガス温度 T [K], 293.1 nm の吸光度 $A_{293.1}$ [-], 395.2 nm の発光強度 $E_{395.2}$ [A.U.] を示した図である. なお, 計測は 20 サイクル取得し, 平均化を行っている. はじめに筒内圧力に着目すると, EGR 率の増加により圧力振動が抑制さ

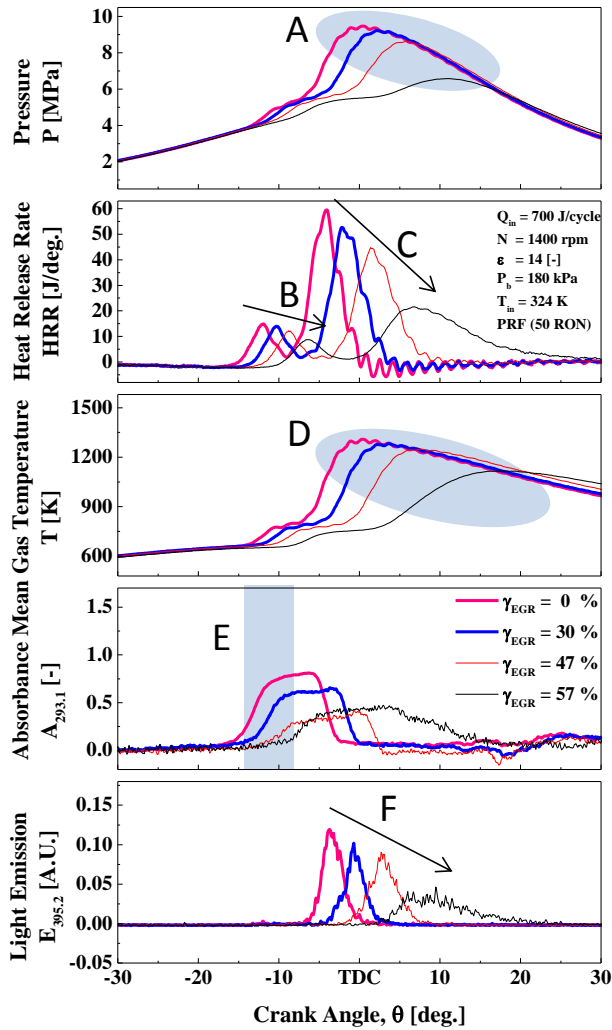


Fig. 1 Experimental result

れ燃焼の緩慢化が確認された (領域 A) . また低温酸化反応及び主燃焼時の最大熱発生率が低下している (矢印 B, C). これは EGR 率の増加により比熱比 κ が低下し, 筒内平均ガス温度からも分かるように温度上昇が抑制され (領域 D), 反応が緩慢になったためであると考えられる. また吸光度の立ち上がり (領域 E) や発光強度の最大値 (矢印 F) から反応が抑制されていることが確認できる. このことから外部 EGR は燃焼温度を下げ, 燃焼を緩慢にする効果があると考えられる.

次に外部 EGR が着火に与える影響を調べるため, 図 2 に, 外部 EGR 率 γ_{EGR} [%] に対する低温酸化反応時の最大熱発生率 HRR_{LTRmax} [J/deg.], 主燃焼時の最大熱発生率 HRR_{max} [J/deg.], 395.2 nm の最大発光強度 $E_{395.2max}$ [A.U.], 着火遅れ期間 τ [deg.] を示す. 本研究では, 着火遅れ期間は低温酸化反応の最大熱発生率時期から主燃焼の最大熱発生率時期までの期間と定義した (図 2 中 τ). 着火遅れ期間に着目すると EGR 率

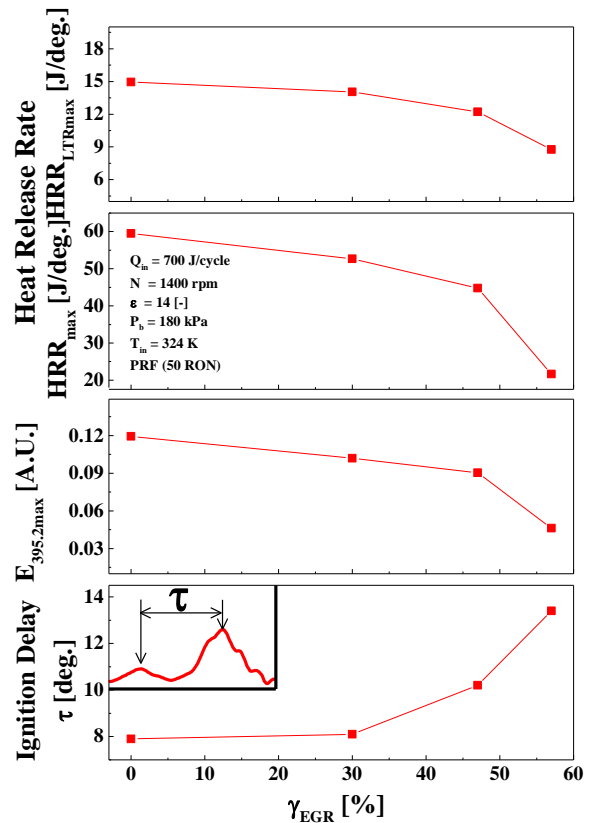


Fig. 2 Effect of external EGR

を増加させることによって長期化している.これは外部 EGR によって低温酸化反応時の最大熱発生率が減少したために, 主燃焼発現温度に達するまでの時間が長期化したためであると考えられる. 主燃焼の熱発生率のピーク値や最大発光強度が低下したのも, 着火遅れ期間が長期化しピーク時期が上死点後に移行したためであると考えられる.

4. 結論

外部 EGR が過給 HCCI 燃焼に与える影響を調べるために, 吸気温度及び吸気圧力一定の下, EGR 率を変化させる実験を行った. その結果, 外部 EGR を導入することで低温酸化反応による発熱が抑制され, 着火遅れ期間が長期化する. そのため, 主燃焼の時期が遅角化し, 燃焼が緩慢になる.

5. 参考文献

[1] Thring, R. H.: Homogeneous - Charge - Compression - Ignition (HCCI) Engines, SAE Paper 892068 (1989)
 [2] 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)