

PRF を用いた過給 HCCI 機関における燃焼解析 Combustion Analysis of a Supercharged HCCI Engine using PRF

○松石宗大¹, 小池真人¹, 大和和夫¹, 阿部泰英², 石澤雄馬², 江森剛², 飯島晃良³, 庄司秀夫³
*Munehiro Matsuishi¹, Masato Koike¹, Kazuo Yamato¹, Yasuhide Abe², Yuma Ishizawa², Go Emori², 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 and nitrogen oxide emissions simultaneously. However, because ignition of the mixture occurs simultaneously at multiple points in the HCCI combustion process, the resultant rapid rise of cylinder pressure makes stable engine operation difficult at high loads. In this study, the supercharged HCCI combustion process was analyzed in detail by using spectroscopic measurement methods.

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。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 を同時低減できる燃焼方法である。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。過去の研究において、過給を用いることで燃焼の緩慢化を行う方法が報告されている^[1]。

本研究では、燃料に PRF を用い、HCCI 機関の急峻な燃焼を過給により緩慢化させ、各パラメータの比較、考察を行う。

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）であり、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。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測定を行い、測定した圧力から熱発生率 HRR [J/deg.] を算出した。過給圧は外部過給器によって調節を行った。過給による新気吹き抜けを最小限に抑えるため、タペット隙間を調節し、バルブオーバーラップをゼロとした。

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。

実験は燃料に PRF（50 RON）を用い、機関回転数 1400 rpm、吸気温度 $T_{in} = 335$ K、投入熱量 $Q_{in} = 450$ J/cycle 一定に保ち、過給圧 P_b [kPa] (abs) を 120 kPa から 180 kPa まで 20 kPa の間隔で行った。圧縮比 ε [-] は 15 である。

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

3. 実験結果及び考察

図 1 は上から筒内圧力 P [MPa]、熱発生率 HRR [J/deg.]、筒内ガス温度 T [K]、395.2 nm の発光強度 $E_{395.2}$ [A.U.]、293.1 nm の吸光度 $A_{293.1}$ [-] を示した図である。図 2 は図 1 における HRR [J/deg.]、 $E_{395.2}$ [A.U.]、 $A_{293.1}$ [-] を横軸に状態方程式より算出した筒内平均温度 T [K] でまとめた図である。

図 1 の熱発生率に着目すると、過給を行うことで熱炎による熱発生率は減少し、最高ガス温度は低下している（矢印 A, B）。そして冷炎の発生は進角していることがわかる（矢印 C）。前者は過給による筒内ガスの熱容量の増大によるものと考えられ、後者は冷炎発生時のガス温度に大差は見られない（領域 D）ことから過給による筒内圧力の上昇で他条件よりも早期に冷炎発生の条件を満たしたと考えられる。また、過給圧の増加によって主燃焼前後の筒内圧力も増加傾向に

1 : 日大理工・機械 2 : 日大理工・院（前） 3 : 日大理工・教員・機械

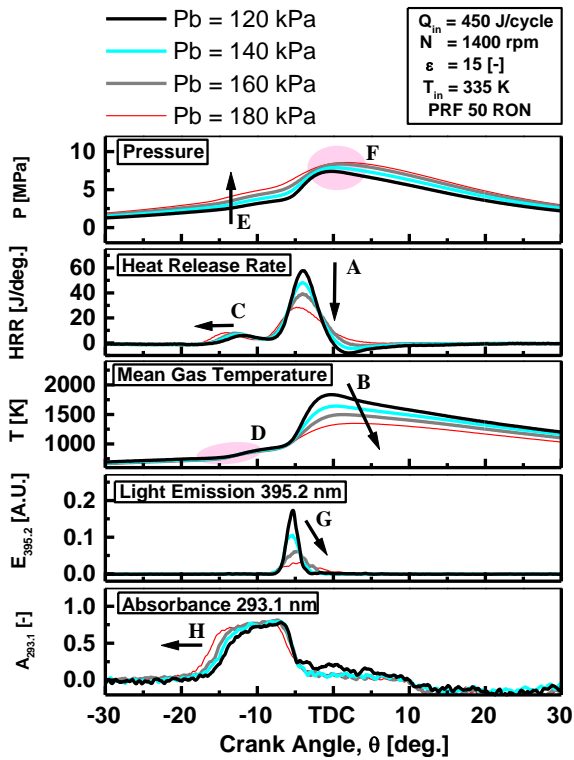


Figure 1 Influence of intake pressure

あるが (矢印 E), 前述と同様, 燃焼が緩慢になったことにより筒内最大圧力点付近 (領域 F) においてはその差が縮まっている。

次に発光強度に着目すると, 熱発生率と同様に過給により緩慢化していることがわかる (矢印 G). また, 発光開始時期はいずれも 7.5 deg. BTDC 付近にあり, 過給圧変化によっても熱炎開始時期は変化していないことがわかる. さらに図 2 から, 発光強度は各過給圧でその発光開始時の温度域が大きく変化していないことから, 熱炎発生の温度域は過給圧に依存しないと考えられる. 吸光度に着目すると, 冷炎発生時期に増加し, 熱炎発生時に減少していることから, 冷炎による HCHO の生成, 熱炎による HCHO の消費を捉えたものと考えられる. 吸光度の立ち上りは熱発生率と同様に過給により進角していることが確認できる (矢印 H). また, HCHO が消費される時期は過給圧変化によっては変化していないことがわかる。

図 3 は横軸を吸気圧力 P_b [kPa], 縦軸を最大圧力上昇率 $(dP/d\theta)_{max}$ [MPa/deg.] 当量比 ϕ [-] をとったものである. 本実験では, 投入熱量一定のもと過給を行っているため, 過給圧の上昇によって, 混合ガス量に対する燃料量が相対的に下がるため当量比は減少する. 過給による燃焼緩慢化のため, 最大圧力上昇率は減少し, 機関への負荷を軽減させることが可能であると考えられる。

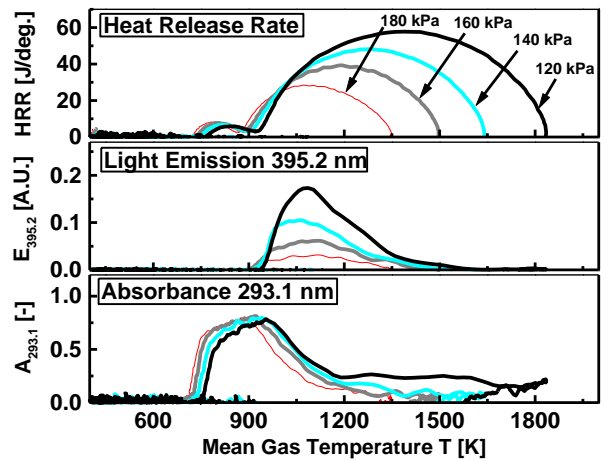


Figure 2 Temperature dependence on HRR, light emission and absorbance

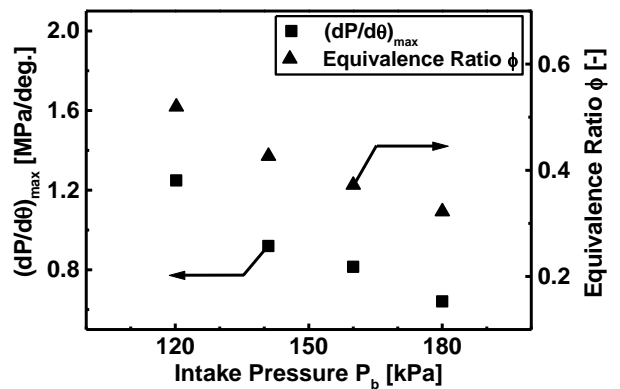


Figure 3 Pressure rise rate and equivalence ratio in each intake pressure

4. まとめ

HCCI 燃焼における過給の影響を調べるために実験を行った結果, 以下の知見を得た。

- (1) 過給を行うことにより, 筒内圧力は上昇するが, 筒内ガスの熱容量増加, 当量比低下等により主燃焼が長期化し, 最大熱発生率, 最大圧力上昇率が減少する. これにより, 燃料投入量を増加させることが可能である.
- (2) 筒内圧力の上昇により, 冷炎発生時期は進角するものの, 熱炎発生の時期は大きく変化しないため, 着火時期制御は過給圧変化のみでは困難である.

5. 参考文献

- [1] 堤, 飯島, 庄司, 過給が HCCI 機関の熱発生に与える影響, 自動車技術会論文集, Vol. 40, No. 4, p. 1023-1028 (2009)
- [2] 飯島, 庄司, 発光・吸収計測による予混合圧縮着火燃焼の研究, 自動車技術会論文集, Vol. 38, No. 6, p. 83-88 (2007)