

K2-37

次世代代替燃料を用いた高効率過給 HCCI ガスエンジンの研究

A Study of a High-Efficiency Supercharged HCCI Engine used next generation alternative fuel.

○島貴大¹, 入澤優一¹, 鈴木隼人¹, 鈴木裕和¹, 望月啓佑², 石川芳広², 飯島晃良³, 庄司秀夫³

*Takahiro Shima¹, Yuichi Irisawa¹, Hayato Suzuki¹, Hiroataka Suzuki¹, Keisuke Mochiduki², Yoshihiro Ishikawa²

Akira Iijima³, Hideo Shoji³

Recently, there are petroleum resources draining and air pollution problem, internal combustion engine ask a high efficiency and clean exhaust gas. A detailed analysis was made of a supercharged Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) engine combustion using spectroscopic measurements and fourier transform infrared spectroscopy (FTIR). A mechanically driven supercharger was used to increase intake air pressure. The test fuel used in this study is dimethyl ether (DME) which attracted on alternative fuel for IC engine. We conducted effect of equivalence ratio on combustion. The results made clear the characteristics of ignition and the main combustion period.

1. 序論

近年, 石油資源の枯渇問題や CO₂ による地球温暖化, 更には大気汚染などの環境問題が深刻化しているため, 低炭素で高効率なエネルギー供給が求められる. 中でも内燃機関には高効率かつクリーンな燃焼が求められている. そこで燃焼温度が低く燃料分布が均一であり窒素酸化物 (NO_x) 及び粒子状物質 (PM) の同時低減が可能である予混合圧縮着火燃焼 (以下 HCCI 燃焼) に着目した.

しかし HCCI 機関の燃焼は不安定なため, その制御には筒内燃焼状態の把握が重要になる. そこで本研究では, 筒内分光測定とフーリエ変換赤外分光法 (以下 FTIR) による排ガス分析を行い, HCCI 燃焼の詳細な燃焼解析をし, そこから, 着火及び主燃焼時の特性を明らかにした. 今回の研究では過給器を使用することで吸気圧力を一定に保ち, 燃料は代替燃料として注目されているジメチルエーテル (DME) を用いて, 投入熱量を変化させ実験を行った.

2. 実験装置及び実験方法

図 1 は, 実験装置の概略である. 機関は 4 サイクル空冷単気筒機関をベースとした (行程容積 299 cm³, 圧縮比 17:1). 燃料である DME は, 質量流量計により流量制御し, 吸気管に気体で投入した. 吸気管途中の機械駆動式の過給機とインタークーラーを使用することで吸気圧力と吸気温度を調節した. 過給を行った際の新気の吹き抜けを最小限とするため, タペット隙間を調節してバルブオーバーラップをゼロとした. 急峻な燃焼においては比熱比変化率が熱発生率の算出結果に影響を与える. そのため熱発生率は, クランク角 θ [deg.] における筒

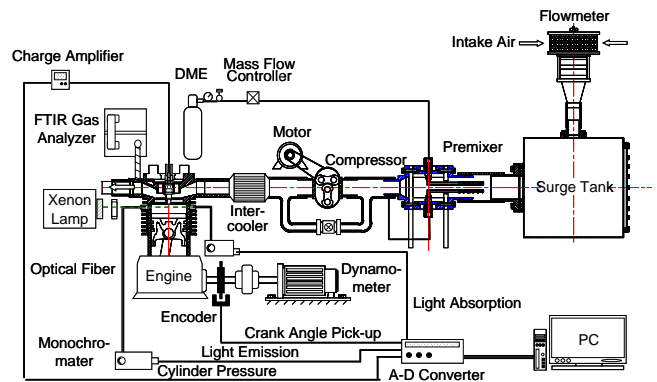


Fig. 1 Configuration of test equipment

内ガス組成 n_i [mol] と平均ガス温度 T [K] から比熱比 $\kappa (n_i, T)$ を算出し, 比熱比変化率 $d\kappa/d\theta$ と筒内ガス組成の変化を考慮した上で以下の式より計算した.

$$\frac{dQ}{d\theta} = \frac{1}{\kappa - 1} \left(V \frac{dP}{d\theta} + \kappa P \frac{dV}{d\theta} \right) - \frac{PV}{(\kappa - 1)^2} \cdot \frac{d\kappa}{d\theta}$$

吸光度の計測にはキセノンランプとレンズを組み合わせて燃焼室内に光を平行に照射し, 透過光を光ファイバを用いて分光器に導きホルムアルデヒド (HCHO) に特徴的な吸収波長である 293.1nm に分光した. 吸光度 A_{HCHO} の計算には下死点における透過光強度を E_0 とし, 任意のクランク角における透過光強度 E を用いて以下の式より算出した.

$$A_{HCHO} = 1 - \frac{E}{E_0}$$

3. 実験結果及び考察

図 2 に吸気圧力および吸気温度を概ね一定に保ち、1 サイクルあたりの DME 投入熱量を変化させて実験を行った結果を示す。図は上から筒内圧力 P 、熱発生率 HRR 、 $HCHO$ に相当する 293.1 nm の吸光度 A である。投入熱量と熱発生率の関係に着目すると、投入熱量の増加と共に、冷炎における熱発生率最大値が増加している。また、冷炎から熱炎に至るまでの期間が短期化している。これらのことから、投入熱量の増加に伴い燃焼が進角していることがわかる。

次に、熱発生率と $HCHO$ の関係を見る。冷炎の発生に伴い吸光度の値が大きくなっているため、 $HCHO$ が生成されているのがわかる。また、熱炎の発生と共に $HCHO$ が急減しているのがわかる。これについて、 $Q = 362\text{ J}$ と $Q = 96\text{ J}$ のデータを比較する。投入熱量 $Q = 96\text{ J/cycle}$ にした時の熱発生率を見ると熱炎が発生していないことがわかる。この時の $HCHO$ のデータを見ると、冷炎の発生と共に $HCHO$ が生成されるが、その後 $HCHO$ は急減していない。このことから、 $HCHO$ は熱炎によって消費されていると考えられる。

また、FTIR を用いた排気測定から $HCHO$ 、 CO 、 CO_2 それぞれと投入熱量 Q_{in} との関係性について述べる。図 2 において、投入熱量が $Q_{in4} = 96\text{ J/cycle}$ の時、冷炎が発生しているが熱炎は起こっていない。この時、図 3 に示すように $HCHO$ は生成されているが、 CO 、 CO_2 はあまり生成されていないことがわかる。

次に、投入熱量 $Q_{in4} = 96\text{ J/cycle}$ から $Q_{in3} = 210\text{ J/cycle}$ までの過程について見ていく。熱炎が発生するため、 $HCHO$ が減少し、 CO 、 CO_2 の生成量が増加していることがわかる。このことから、冷炎から $HCHO$ が発生し、熱炎の領域で、 $HCHO$ から、 CO 、 CO_2 に酸化されていると考えられる。

次に、投入熱量 $Q_{in3} = 210\text{ J/cycle}$ から $Q_{in2} = 287\text{ J/cycle}$ までの過程について見ていく。DME の投入熱量の増加に伴い冷炎の熱発生率の増加や冷炎と熱炎の間隔が狭くなることで燃焼が活性化されるため、完全燃焼領域へ近づいていき CO 、 CO_2 共に滑らかに増加する。 $Q_{in} = 270\text{ J/cycle}$ 付近で CO が急に減少しつつ、 CO_2 の生成量が増加していくのが分かる。この要因として、投入熱量を増加させたため、燃焼温度が増大し、それによって CO が CO_2 に酸化されるのに十分な温度場が得られたためと考えられる。よって $Q_{in} = 270\text{ J/cycle}$ 付近で完全燃焼領域に入っていると考えられる。

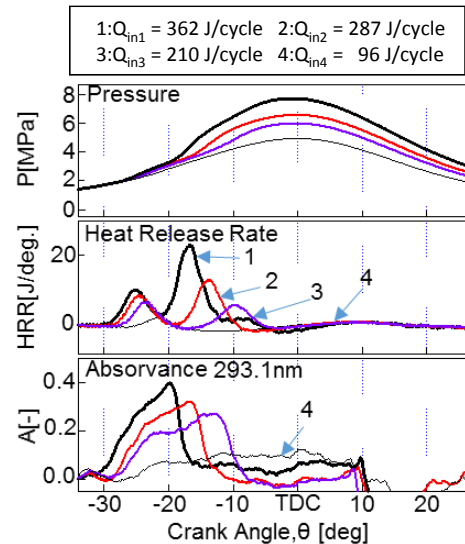


Fig. 2 Measured waveforms during FTIR experiments

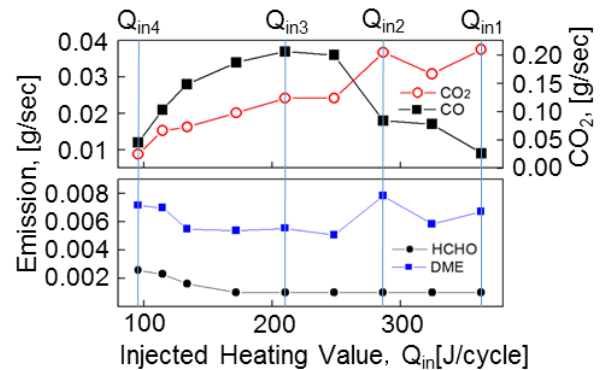


Fig. 3 FTIR analysis of DME HCCI combustion

4. 結論

- (1) 冷炎の発生に伴い $HCHO$ が増加し、熱炎の発生と共に消費されることが考えられる。
- (2) FTIR の解析結果より、投入熱量割合による中間生成物の生成量の変化、完全燃焼領域における燃焼生成物の生成特性を解析することができた。
- (3) 分光測定と FTIR を同時に用いることで、 $HCHO$ 、 CO 、 CO_2 の生成のプロセス、HCCI 燃焼の反応がどのように進行していくかを実測することが可能になった。

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）の一環として実施した。

6. 参考文献

- [1] 廣安博之 實諸幸男 大山宣茂：改訂内燃機関 p.68 -69
- [2] 飯島晃良：発光・吸収分光測定による HCCI 燃焼およびノッキング現象の研究, エンジンテクノロジーレビュー, Vol. 2, No. 6, p. 82-91 (2011)