

K2-7

過給 HCCI 燃焼における液体・気体混合燃料を用いた多段熱発生現象の解析

An Analysis of Multi-stage Heat Release in a Supercharged HCCI Combustion

using Blended Fuel of Liquid and Gaseous Fuels

○阿部泰英¹, 石井京太¹, 石澤雄馬¹, 江森剛², 浅沼光雄², 飯島晃良³, 庄司秀夫³*Yasuhide Abe¹, Keita Ishii¹, Yuma Ishizawa¹, Go Emori², Mitsuo Asanuma², Akira Iijima³, Hideo Shoji³

Homogeneous Charge Compression Ignition (HCCI) combustion has attracted widespread interest because it achieves high efficiency. However, because ignition of the mixture occurs simultaneously at multiple points in the HCCI combustion process, the resultant rapid rise of the cylinder pressure makes stable engine operation difficult at high loads. In this study, experiments were conducted to investigate the effects of blended fuel on combustion characteristics of a supercharged HCCI engine.

1. はじめに

高効率かつクリーンである予混合圧縮着火 (HCCI) 燃焼⁽¹⁾が注目されているが, 圧力上昇が急峻であるため高負荷時の運転が困難である. この課題の解決策として過給や二種混合燃料を用いた方法が挙げられる.

これまでの研究で過給とジメチルエーテル (DME : CH₃OCH₃) / メタン (CH₄) の混合燃料を使用し適切な温度場にて運転を行うと, 熱炎部が二段階熱発生し, 燃焼の緩慢化が可能であると確認されている. しかし, DME / プロパンの混合燃料では, 熱炎部の二段階熱発生は確認されていない⁽²⁾. よって DME / メタンによる熱炎の二段熱発生は, 自着火のしにくいメタンが重要であると考え, 本研究では混合燃料の組み合わせに着目し, DME 及び標準燃料である n-heptane (C₇H₁₆) をメタンと混合し, 混合割合変化及び過給による燃焼の影響を分光学的手法を用いて比較, 調査を行った.

2. 実験装置及び方法

供試機関には四サイクル空冷単気筒機関を用いた. 機関回転数を 1400 rpm 一定に保ち, 圧縮比 11.5 : 1 で実験を行った. シリンダーヘッド上部に設置した水晶圧力変換器により筒内圧力を測定し, 測定した値から熱発生率 HRR [J/deg.] を算出した. 当量比 ϕ [-] は, 外部過給器によって調節を行った. 過給による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, バルブオーバーラップをゼロとした. 着火時期は吸気温度 T_{in} [K] を変化させることにより一定に保った.

筒内に石英製観測窓を設け, 燃焼室内ボア方向の火炎光を採取し光ファイバーによって分光器へと導入, 395.2 nm の波長に分光した. この波長は 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, 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.

供試燃料には n-heptane, DME, メタンを用いた. n-heptane は自着火しやすい燃料である. DME は自着火しやすく, HCCI 燃焼において特徴的な低温酸化反応を顕著に示す. メタンは, 低温酸化反応がほとんど見られず非常に自着火しにくい特徴を持つ.

3. 実験結果及び考察

本実験条件を表 1 に示す. 投入熱量一定の下, DME / メタンにおいて熱炎部における二段階熱発生が確認できる当量比 $\phi = 0.3$, 着火時期による熱炎の熱発生への挙動の影響をなくするため, BTDC 10 deg. 付近一定として運転を行った.

図 1, 2 は Case 1 及び Case 2 における, 筒内圧力 P [MPa], 熱発生率 HRR [J/deg.], 筒内平均ガス温度 T [K], 395.2 nm の発光強度 $E_{395.2}$ [A.U.] を縦軸に, クランク角度 [deg.] を横軸に示している. Case 1 ではメタン投入熱量割合 $\gamma_{CH_4} (= Q_{CH_4} / Q_{in} \times 100) = 20, 40 \%$ において, 熱炎部の熱発生の挙動が $\gamma_{CH_4} = 0 \%$ に比べ大きく変化し, 二段階熱発生になっていることがわかる (領域 A). また, メタン投入熱量割合の増加に伴い, 後半部の熱発生が大きくなっている. よって, 熱炎部の二段階熱発生の後半部はメタンの影響であると考えられる. 対して Case 2 では, メタン投入熱量割合を変化させても単段熱発生であり, 熱炎部

Table 1 Experimental conditions

Fuels	Case 1	Case 2
	DME / Methane	n-heptane / Methane
Injected Heat Value Q_{in} [J/cycle]	450	450
Equivalence Ratio ϕ [-]	0.3	0.3
Share of Methane Ratio γ_{CH_4} [%]	0 ~ 40	0 ~ 40

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

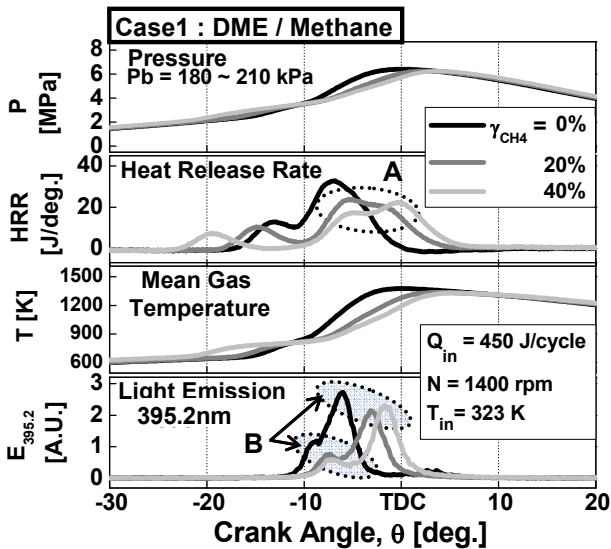


Fig. 1 Experimental result of Case 1

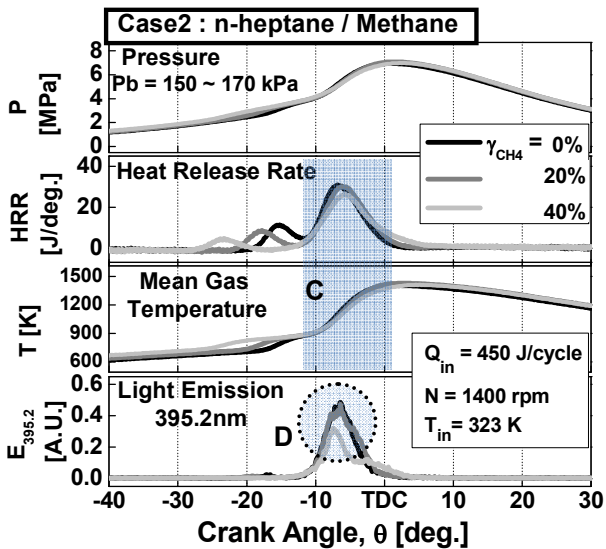


Fig. 2 Experimental result of Case 2

の熱発生挙動及び最大熱発生率に大きな変化は見られなかった。また、熱炎部の筒内平均温度はどのメタン投入熱量割合でも大きな変化は見られなかった（領域 C）。発光強度に着目すると Case 1 では二段の発光を見ることができる（領域 B）。よって DME / メタンの場合、過給を行うことにより二段の発光及び熱炎の二段階熱発生が確認でき、燃焼を緩慢化することができる。一方 Case 2 では、発光強度においても二段の発光は確認できない（領域 D）。よって n-heptane / メタンでは、過給を行っても熱炎の挙動には変化が見られず、燃焼の緩慢化の効果は少ないと考えられる。

熱炎の二段熱発生における特性を明らかにするため、燃焼に関わってくる筒内ガス温度、及び熱発生率に着目した解析を行った。図 3 は、Case 1, Case 2 の熱発生率を縦軸にとり、状態方程式より算出した筒内平均ガス温度 T [K] を横軸にとった図であり、どの温度領

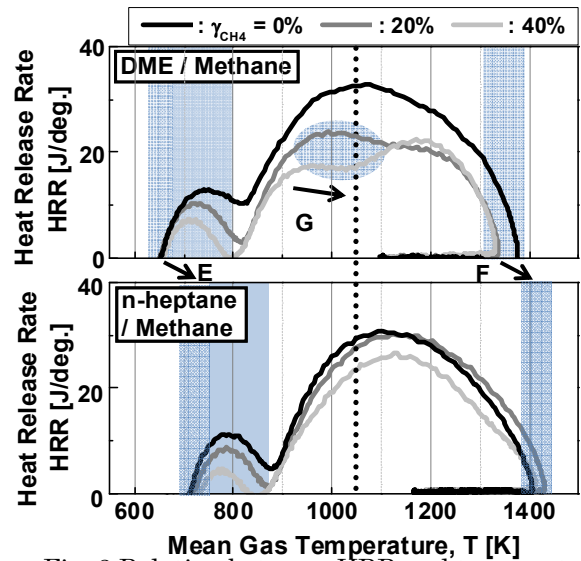


Fig. 3 Relation between HRR and temperature

域において熱発生が起こっているかを示している。Case 1 と Case 2 を比較して、Case 1 の冷炎及び主燃焼の開始時の温度が Case 2 において上昇しており（矢印 E）、最大到達温度においても同様の温度上昇が確認できた（矢印 F）。熱炎の二段階熱発生が確認された Case 1 における $\gamma_{CH_4} = 20, 40\%$ 時では、約 1050 K に達するまでに熱発生率の減少傾向（領域 G）が確認でき、特に $\gamma_{CH_4} = 40\%$ 時には、1050 K 付近を境に再び熱発生率の上昇が確認できた。よって、メタンとの混合燃料に伴う熱炎の二段階熱発生は約 1050 K を境に燃焼が生じ、Case 2 の条件では、冷炎発生温度の上昇に伴う全体的な高温化により、燃焼は一段になったものと考えられる。

4. まとめ

本実験により、以下の知見を得た。

- (1) n-heptane / メタンの組み合わせにおいて、過給及び、n-heptane の混合割合が熱炎に与える影響は、DME / メタンの組み合わせに比べて非常に小さく、また実験においては熱炎の二段階熱発生を確認することはできなかった。
- (2) メタンとの混合燃料において熱炎の二段階熱発生を起こすには、DME のような低温域で発熱する燃料との混合が必要であると考えられる。

5. 参考文献

- (1) Thring, R. H.: Homogeneous-Charge Compression-Ignition (HCCI) Engines, SAE paper 892068 (1989)
- (2) 飯島, 石川, 浅沼, 吉田, 庄司: 自動車技術会, 学術講演会前刷集, No. 24-12, p. 27-32 (2012)