

K2-1

## 過給 HCCI 燃焼における DME とメタンの混合燃料を用いた燃焼解析

### An Analysis of Supercharged HCCI Combustion Using Blended Fuel of Methane and DME

○廣瀬大輔<sup>1</sup>, 江森剛<sup>1</sup>, 奥山勇輝<sup>1</sup>, 浅沼光雄<sup>2</sup>, 稲葉州亮<sup>2</sup>, 飯島晃良<sup>3</sup>, 庄司秀夫<sup>3</sup>  
 \*Daisuke Hirose<sup>1</sup>, Go Emori<sup>1</sup>, Yuki Okuyama<sup>1</sup>, Mitsuo Asanuma<sup>2</sup>, Shusuke Inaba<sup>2</sup>, Akira Iijima<sup>3</sup>, Hideo Shoji<sup>3</sup>

In late years, high efficiency and a clean combustion Homogeneous Charge Compression Ignition (following HCCI) Combustion attracts attention. However, combustion proceeds extremely rapidly in the HCCI process due to simultaneous ignition at multiple locations in the cylinder. Accordingly, the rapid nature of HCCI combustion must be moderated in order to expand the operating range on the high load side. The effects on combustion of varying the heating value of the injected fuel and the intake air pressure were investigated using dimethyl ether (DME) as the test fuel. In addition, a blended fuel of methane and DME was used to examine the effects on combustion of varying the fuel mixing ratios and the ignition timing. In both sets of experiments, the HCCI combustion process was analyzed by using a spectroscopic measurement method and measure the light absorption characteristics.

#### 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<sup>[1], [2]</sup>）燃焼が注目されている。しかし、HCCI 燃焼は多点同時着火であるため、圧力上昇が急峻であり高負荷時において、運転が困難である。よって運転領域の拡大には燃焼の緩慢化が必要である。過去の研究から、過給を行うことで燃焼は緩慢化し、運転領域の拡大が可能であることが分かっている<sup>[3]</sup>。また、二種混合燃料を用いることによって、燃焼の緩慢化及び着火時期の制御に効果があることがわかっている。

そこで本研究では、HCCI 燃焼において、ジメチルエーテル（以下、DME）及びメタンの混合割合の変化が燃焼の急峻性や着火特性、失火に与える影響を分光学的手法を用いて詳細に解析を行った。

#### 2. 実験装置及び実験方法

図 1 及び表 1 に本実験で用いた実験装置の概略図及び仕様を示す。供試機関は四サイクル空冷単気筒機関（行程容積 299 cm<sup>3</sup>, 圧縮比 11.5 : 1）を用いた。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することで、バルブオーバーラップをゼロとした。吸気温度  $T_{in}$  [K] はインタークーラを用いて調節した。外部過給機を取り付け吸気圧を調節した。筒内圧力  $P$  [MPa] は、シリンダヘッド上部に設置した水晶圧力変換器を用い、測定した圧力から熱発生率  $HRR$  [J/deg.] を算出した。

使用する燃料には、DME とメタンを用いた。DME はセタン価が高く、自着火し易い。また、低温酸化反応機構を有する燃料である。一方メタンはセタン価がゼロであり、自着火しにくいという特徴を有する燃料である。これら二種の燃料をマスフローコントローラにて流量制御し、吸気管内に投入、予混合を行うことにより実験を行った。

HCCI 燃焼の火炎光の分光計測を行うためシリンダヘッド、シリンダ間に石英観測窓付きのスペーサを取り付け、ボア方向の筒内火炎光を採取した<sup>[3]</sup>。火炎光は光ファイバによって分光器へと導入され、395.2 nm の波長に分光される。

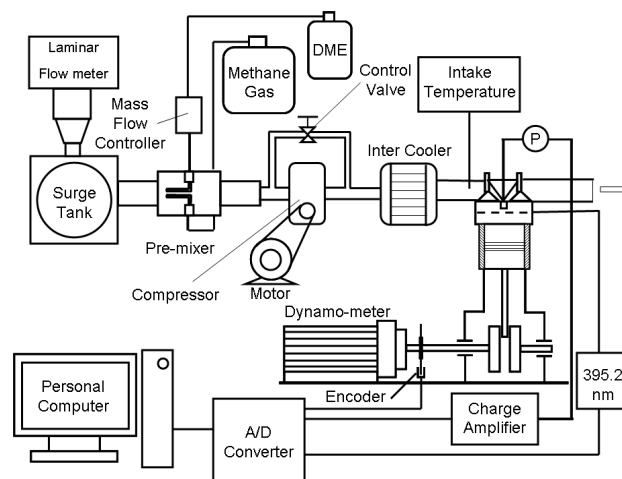


Fig. 1 Specification of test equipment

Table 1 Specifications of test equipment

4-Cycle Air-cooled Single Cylinder Engine	
Bore × Stroke	76 × 66 mm
Displacement	299 cm <sup>3</sup>
Compression Ratio	11.5 : 1
Engine Speed	1400 rpm
Valve Arrangement	OHV

#### 3. 実験結果及び考察

二種混合燃料の混合割合における燃焼への影響を調査するため、実験条件を次の 2 通りに分けて実験を行った。

- (1) Case 1 : 総投入熱量を  $Q_{in} = 450$  J/cycle 一定に保ち、メタン混合割合  $\gamma_{CH4}$  を変化させる。
- (2) Case 2 : Case 1 における吸気温度  $T_{in}$  [K] を上げ、着火時期を早期化させる。

図 2, 3 は、Case 1, Case 2 における筒内圧力  $P$  [MPa], 熱発生率  $HRR$  [J/deg.], 395.2 nm の発光強度  $E_{395.2}$  [A.U.] を示している。熱発生率波形より、メタン混合割合  $\gamma_{CH4}$  が増加（DME の混合割合が減少）することで着火時期が遅角している。それに伴い燃焼は緩慢化し、また熱炎の熱発生は両図中 A に示す波形において二段

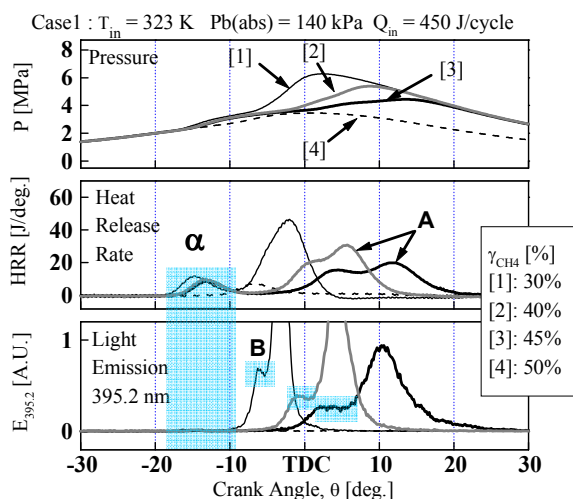


Fig. 2 Influence of methane ratio (Case1)

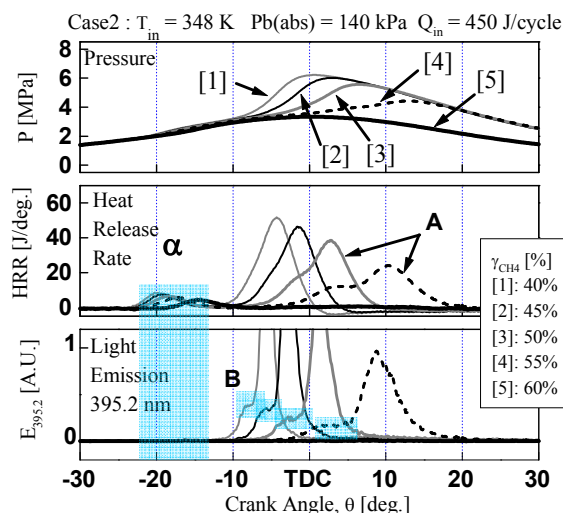


Fig. 3 Influence of methane ratio (Case2)

となった. Case 1 では図 2 中 A にあたる  $\gamma_{CH_4} = 40\%$ ,  $45\%$  時において二段の熱発生がみられるが, Case 2 の同メタン混合割合 (図 3 中 [1][2],  $\gamma_{CH_4} = 40\%$ ,  $45\%$ ) では一段の燃焼となっている. よって, 二段熱発生は DME 量及び吸気温度の変化による着火時期の影響を大きく受けると考えられる.

発光強度波形より, 熱発生率の変化と同様に, DME 量の減少で発光の開始時期は遅角し発光期間は長期化しているほか, 一段目の発光の立ち上がりも緩やかとなっている (両図中 B). この発光は CO-O 放射によるものであると考えられ, 一段目は DME により冷炎反応領域で生成された HCHO が CO になる反応であり, 二段目は CO が  $CO_2$  になる反応によるものであると考えられる. 失火時 ( $\gamma_{CH_4} = 50\%$  (Case 1),  $\gamma_{CH_4} = 60\%$  (Case 2)) にはこの反応が一樣にみられなかった. すなわち DME とメタンの混合燃料を用いた場合においても, CO-O 放射を測定することで燃焼の緩慢化及び失火の様子が推察できると考えられる.

次に Case 1, Case 2 の失火の原因について考える.

図 2, 3 において  $\gamma_{CH_4} = 50\%$  (Case 1),  $\gamma_{CH_4} = 60\%$  (Case 2) 時では冷炎反応後の熱炎の発生がみられず, 失火している. Case 1 で失火に至った  $\gamma_{CH_4} = 50\%$  時であるが, 同一混合割合である Case 2 の場合においては熱炎の発生がみられる. よって  $\gamma_{CH_4} = 50\%$  (Case 1) の失火の原因は着火時期に関係があると推察できる. すなわち DME 量の減少は着火時期を遅角させ,  $\gamma_{CH_4} = 50\%$  (Case 1) においては冷炎終了時が上死点付近であるため, それ以後の圧縮によるエネルギーが得られないため反応が促進されず, 着火に至らなかったと考えられる. 次に Case 2 で失火に至った  $\gamma_{CH_4} = 60\%$  時であるが, 冷炎発生時期が Case 1 における  $\gamma_{CH_4} = 30\%$  時と同時期であるため,  $\gamma_{CH_4} = 30\%$  (Case 1),  $\gamma_{CH_4} = 60\%$  (Case 2) 時における冷炎発生時期を発光強度波形及び熱発生率

(図 2, 3 中  $\alpha$  領域) を拡大したものを図 4 に示す. 図 4 において冷炎発生時期が揃っている (図 4 中矢印 C) ことから, この失火の原因は DME の発熱量の影響を受けていると推察できる. DME の減少に伴ってメタンを燃焼させるのに十分な低温酸化反応での発熱が得られず, 着火に至らなかったからであると考えられる.

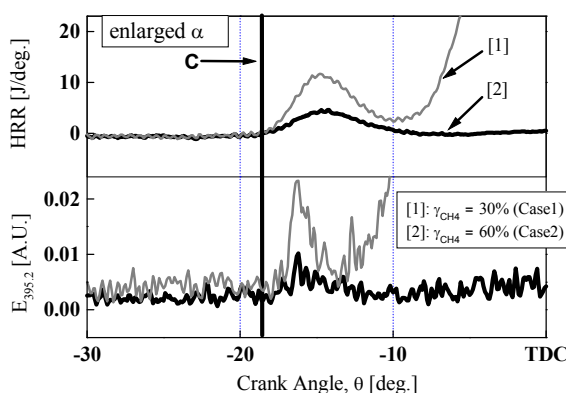


Fig. 4 Comparison of ignition timing

#### 4. 結論

- 過給 HCCI 燃焼における二種混合燃料が燃焼に与える影響について分光学的手法により以下の知見を得た.
- (1) 熱炎部の二段熱発生は, DME 量及び吸気温度による着火時期の影響により挙動が大きく変化する.
  - (2) メタン量の増加で発光開始時期が遅角し発光期間が長期化しており, 発光の立ち上がりも緩やかになっていることから, CO-O 放射を測定することで燃焼の緩慢化及び失火の様子が推察できる.
  - (3) メタン混合割合を過剰にすると, DME による低温酸化反応による発熱が十分に得られず, 失火に至る.

#### 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] Thring, R. H. : Homogeneous - Charge Compression - Ignition (HCCI) Engines, SAE paper 892068 (1989)
- [2] Aoyama, T., Hattori, Y., Mizuta, J. and Sato, Y. : An Experimental Study on Premixed - Charge Compression Ignition Gasoline Engine, SAE Paper 960081 (1996)
- [3] 堤 優二郎, 飯島 晃良, 庄司 秀夫:「自動車技術会論文集」, Vol. 40, No. 4, p. 1023-1028, 2009