

K2-42

火花点火機関におけるサバテサイクルの応用に関する研究 The Realization of Dual Combustion Cycle for Spark Ignition Engine

篠田圭太¹, ○中村聡男¹, 和田一希¹, 吉田幸司²Keita Shinoda¹, *Akio Nakamura¹, Kazuki Wada¹, Koji Yoshida²

Abstract: The purpose of study is to operate the spark ignition engine by the dual combustion cycle and both lean combustion and direct fuel injection were applied. The combustion of lean mixture was corresponding to the constant volume premixed combustion. The directly injected fuel was burned with remained oxygen after the lean combustion and this was corresponded to constant pressure diffusion combustion. The luminous flame was observed after the fuel injection and the injected fuel was burned within the burned gas caused by the premixed combustion. Therefore, the dual combustion cycle could be realized for the spark ignition engine.

1. まえがき

一般に、高速圧縮着火機関はサバテサイクルで作動する。しかし、定容燃焼期間である無制御燃焼期間において着火遅れ期間に噴射された燃料が急速に燃焼するため、NO_xの発生や燃焼騒音が増加する。そこで本研究では、火花点火機関をサバテサイクルで作動することを提案する。希薄予混合気を火花点火で着火することで定容燃焼を行い、次いで希薄燃焼にて残留する酸素で燃焼する分の燃料を気筒内に直接噴射し定圧燃焼を発生させる。この燃焼方法により、定容燃焼期間を点火時期と混合気の当量比によって制御できる。本研究では、定容燃焼容器を用い火花点火機関におけるサバテサイクルの運転の実現性を明らかにした。

2. 実験装置及び方法

実験に用いた燃焼容器は、直径 80 [mm]、厚さ 40 [mm]、容積約 201 [cm³]である。均一希薄予混合気はプロパン-空気予混合気であり、当量比は 0.6 [-]から 0.9 [-]まで 0.1 [-]毎変化させた。噴射する燃料は n-ヘプタンであり、燃料噴射量は混合気中の燃料と合わせて当量比 1.0 [-]となるようにした。混合気は充填エネルギー 467 [mJ]の火花放電で点火し、n-ヘプタンは直径 1.5 [mm]のキャビティに充填し、高電圧放電により噴射した。燃料噴射エネルギーは静電容量 0.1 及び 0.01 [μF]のコンデンサに印加電圧 10 及び 7 [kV]にて充電をし、5.0, 2.5, 0.5, 0.25 [J]とした。燃料噴射時期は点火から希薄予混合気燃焼の最大燃焼圧力時をまでの間の 0, 20, 40, 60, 80, 100 [%]とした。燃焼過程はシュリーレン法を用いて撮影し、また燃焼圧力波形を測定した。

3. 実験装置及び方法

図 1 に当量比 0.6 及び 0.9 [-]の燃焼圧力波形を燃料噴

射時期 0, 20, 100 [%]及び燃料噴射エネルギー 0.5, 5.0 [J]にて示す。混合気が希薄な程、最高燃焼圧力に達する時間が長く、最高燃焼圧力が低い。また、燃料噴射エネルギー 0.5 [J]では最高燃焼圧力が増加し、5.0 [J]の時より最高燃焼圧力到達期間が減少する。これは燃料噴射エネルギーが過大な場合、燃焼室内流動によって燃焼室壁面に沿って火炎伝播が燃焼し、冷却損失が生じるためと考えられる。また、燃料噴射時期が早い程、最高燃焼圧力到達期間が減少する。これは、燃焼噴射によって火炎面が拡大するために生じた燃焼促進効果と考えられる。また、燃料噴射時期が遅い程、最大燃焼圧力は減少する。これは噴射燃料の拡散燃焼が遅延し、燃焼室壁面への熱損失が増加するためと考えられる。よって、燃焼噴射時期は早期である方が有効である。

表 1 に、当量比 0.7 [-]、燃料噴射時期 0 [%]時におけ

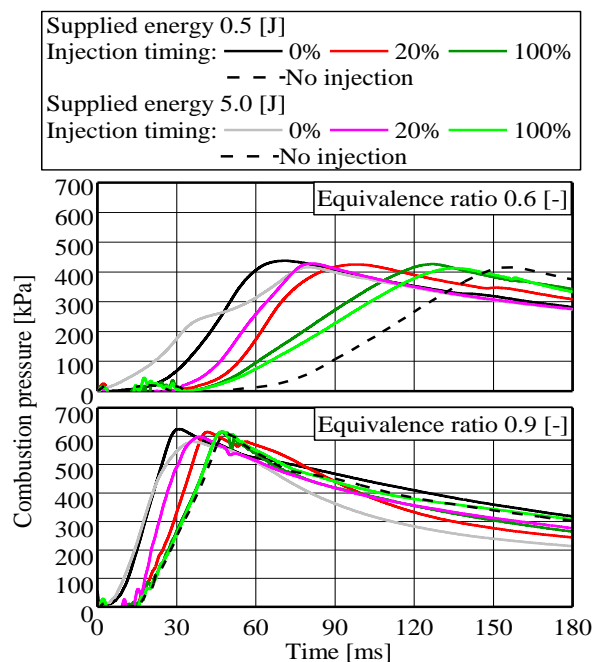


Figure 1. Combustion pressure record.

1 : 日大理工・学部・機械 2 : 日大理工・教員・機械

る火炎伝ば過程の可視化画像及び輝炎の直接撮影画像を燃料噴射エネルギー毎に示す。拡散燃焼の終了時を目視判断から決定し、燃焼期間 100 [%]として時系列にて示す。噴射エネルギー 0.25 [J]では、噴射燃料が燃焼容器の中心に到達してから火炎が伝ばする。しかし、噴射エネルギー 5.0 [J]では、火炎が急速に燃焼室中心に成長し、燃焼容器の壁面に沿って火炎が伝ばする。これは噴射エネルギーが高い場合、燃料噴射で発生した気体流動が火炎伝ばに影響するためと考えられる。また、どちらの燃料噴射エネルギーとも、拡散火炎による輝炎は予混合燃焼の火炎面を貫通せず、発生した既燃ガス内にて拡散燃焼する。燃料噴射エネルギー 5.0 [J]の場合 0.25 [J]と比較して輝炎の発光が強い。これは、燃料噴射エネルギーが大きな場合、既燃ガスと噴射燃料の拡散混合が促進されるためと推察される。

表 2 に燃料噴射エネルギー 0.5 [J], 燃料噴射時期 20 [%]

Table 1. Images of flame development process.

| Equivalence ratio 0.7 [-] | | Injection timing 0 [%] | | |
|---------------------------|-----------------|------------------------|-----------|-----------|
| t [%] | Supplied energy | | | |
| | 5.0 [J] | | 0.25 [J] | |
| 10 | | | | |
| | 15.6 [ms] | 18.8 [ms] | 14.7 [ms] | 24.5 [ms] |
| 20 | | | | |
| | 31.3 [ms] | 31.5 [ms] | 29.4 [ms] | 39.5 [ms] |
| 30 | | | | |
| | 46.9 [ms] | 44.3 [ms] | 44.1 [ms] | 27.0 [ms] |
| 40 | | | | |
| | 62.5 [ms] | 57.0 [ms] | 58.7 [ms] | 69.5 [ms] |

Table 2. Images of flame development process.

| Supplied energy 0.5 [J] | | Injection timing 20 [%] | | |
|-------------------------|-------------------|-------------------------|-----------|------------|
| t [%] | Equivalence ratio | | | |
| | 0.9 [-] | 0.8 [-] | 0.7 [-] | 0.6 [-] |
| 20 | | | | |
| | 16.1 [ms] | 18.3 [ms] | 17.2 [ms] | 25.2 [ms] |
| 40 | | | | |
| | 32.2 [ms] | 36.6 [ms] | 34.4 [ms] | 50.4 [ms] |
| 60 | | | | |
| | 48.3 [ms] | 54.9 [ms] | 51.6 [ms] | 75.6 [ms] |
| 80 | | | | |
| | 64.4 [ms] | 73.2 [ms] | 68.8 [ms] | 100.8 [ms] |

での火炎伝ば過程の直接撮影画像を当量比毎に示す。予混合気の当量比が希薄になる程、輝炎の発光が弱くなる。これは既燃ガス内の残留酸素が多く、燃料が完全燃焼して輝炎が発生しにくくなるため、また燃焼圧力が低くなり化学反応が抑制されるためと考えられる。また、全ての当量比において噴射燃料が予混合燃焼の火炎面を貫通せず、既燃ガス内にて拡散燃焼する。

図 2 に、当量比 0.7 及び 0.9 [-]における燃焼効率を燃料噴射エネルギーに対して示す。燃焼効率は、燃料の発熱量と目視判断の拡散燃焼終了時刻まで圧力波形を積分して得られた熱量の比とした。どちらの当量比とも噴射エネルギーが 0.25 及び 0.5 [J]と低い場合、火炎面からの冷却損失が少ないため燃焼効率が高く、燃焼噴射時期が早期な程燃焼効率が高い。また、どちらの当量比とも、予混合燃焼のみの場合が最も燃焼効率が高い。これは燃焼による熱量を最大燃焼圧力で降も輝炎が観察され、圧力が低下する部分まで積分したためである。

4. 結論

希薄予混合気火花点火し、既燃ガス中に燃料を噴射することでサバテサイクルの燃焼を実現できることが容器内の燃焼によって確認できた。噴射燃料は予混合燃焼の火炎面を貫通せず、既燃ガス内で拡散燃焼する。当量比が希薄なほど輝炎が発生しにくく、燃料噴射時期が早期な場合に最大燃焼圧力は増加する。また、燃料噴射エネルギーが過大な場合、火炎面が壁面に沿って伝ばし、冷却損失により最大燃焼圧力が低下する。

5. 参考文献

[1] 斎間 厚 他, 基礎熱力学, p.80, 1997

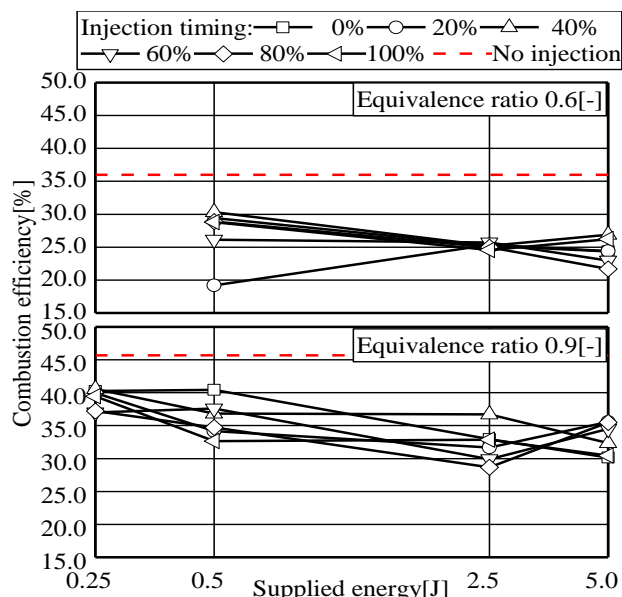


Figure 2. Combustion efficiency.