高セタン価 FAME を用いた低圧縮比直接噴射式ディーゼル機関の 火花放電による着火促進*

近藤 千尋^{*1}, 山根 浩二^{*2}, 熊澤 直人^{*3}, 河崎 澄^{*1}

Ignition Promotion Effect of Spark Discharge on Ignition in Low Compression Ratio Direct Injection Diesel Engines Fueled with FAME Having High Cetane Number

Chihiro KONDO^{*1}, Koji YAMANE, Naoto KUMAZAWA and Kiyoshi KAWASAKI

^{*1} The Univ. of Shiga Prefecture, Dept. of Mechanical Systems Engineering
2500 Hassaka-cho, Hikone, Shiga, 522-8533 Japan

The aim of this study is to demonstrate the combustion system that the ignition is promoted by the spark discharge into pre-mixture formed during long ignition delay time due to low compression ratio direct injection diesel engines. In this paper, an experimental study has been conducted to investigate the potential of effect of spark discharge on combustion process by changing spark timing, injection timing, equivalence ratio and an amount of fuel. As a fuel, lauric methyl ester (LaME) is used that is one of the fatty acid methyl ester (FAME) and has characteristics of relatively high volatility and high ignition quality. From the result, it was found that in the case of volumetric efficiency 34% spark-induced ignition (S.I.I.) combustion is observed, in the S.I.I. condition, the ignition delay time advanced for about 5 degree CA, and the ignition timing is controlled by spark timing within 5 degree CA. Furthermore, the applicability of starting performance is also discussed which is one of the major problems in low compression ratio diesel engines due to lower temperature at the end of the compression stroke, compared with the high compression ratio diesel engines.

Key Words : Diesel Engine, Biomass Energy, Ignition, Low Compression Ratio Diesel Engine, S.I.I. Combustion, Biodiesel, Starting Performance

1. 緒 言

近年、ディーゼル機関における高熱効率・低排気を実現する一つの方法として、乗用車用を中心に低圧縮比を採用する傾向^{(1)~(2)}にある。すなわち、低圧縮比化すると筒内最大圧が低下することから摩擦損失が低減し高熱効率化を図ることができるとともに、筒内最大温度の低下から予混合化を促進し煤と NOx の同時低減が可能となる。しかし、低圧縮比化による筒内最高温度の低下、およびそれによる着火遅れ時間の増大に伴う予混合化は、機関始動性の悪化、低負荷での燃焼不安定を招くとともに能動的な着火時期の制御を困難とする。

そこで、本研究では上記の課題の解決方法として、低圧縮比ディーゼル機関に火花放電を適用する燃焼方式を提案する。すなわち、低圧縮比化で長くなる着火遅れをあえて利用し、その間に形成された予混合気中に火花放電し着火を促進させ、始動性の改善、燃焼の安定化や能動的な着火の制御を図る。これまでに比較的高セタン価の燃料の着火・燃焼に及ぼす火花放電の効果は、安東ら⁽³⁾の化学反応計算、桑原ら⁽⁴⁾の急速圧縮装置による試験、永峰ら⁽⁵⁾の DME を利用した実機試験により指摘されているが、低圧縮比ディーゼル機関においてセタン価の高い燃料を上死点付近で直接噴射し、その予混合気に対して火花放電し、着火・燃焼制御を試みた研究例はほとんど見当たらない。

本報では、火花放電時期や噴射時期などを種々に変化させて、火花放電による着火促進効果が現れる運転条件を、直接噴射式ディーゼル機関を用いて実験的に調査した。なお、燃料には、軽油等に含まれる炭化水素成分に比べて、

* 原稿受付 2011 年 12 月 27 日

^{*1} 正員、滋賀県立大学工学部 (〒522-8533 滋賀県彦根市八坂町 2500)

^{*2} 正員、フェロー、滋賀県立大学工学部

^{*3} 学生員、滋賀県立大学大学院工学研究科

E-mail: kondo.c@mech.usp.ac.jp

化学反応性が高い脂肪酸メチルエステル(Fatty Acid Methyl Esters, FAME)を用い、その中でも気化性が高くまた自着火性も高いラウリン酸メチルエステルを単体で利用した。

2. 供試燃料および実験装置

2・1 低圧縮比ディーゼル機関における S.I.I.(Spark-Induced Ignition)燃焼の考え

ここでは、本報で提案する火花放電を用いて着火を促進する Spark-Induced Ignition(S.I.I.)燃焼について述べる。本論文で提案する S.I.I.燃焼とは、低圧縮比機関に高気化性・高着火性の燃料を直接噴射し、火花放電して、安定した着火を実現する燃焼方式である。すなわち、図 1 に示すように(1)予混合化を進めるための手段として低圧縮比化を採用して、筒内温度を低下させ敢えて燃焼を不安定な状態としつつも混合気には十分な着火遅れ期間を確保し、(2)その着火遅れ期間中に火花を放電することで希薄予混合気の着火を促進し、燃焼の安定化、着火時期の制御および始動時の着火補助を狙う。この時、(3)燃料には軽油に比べて化学反応性の高い FAME を用い、その中でも比較的高自着火性・高気化性を有する FAME を採用する。なお、着火遅れ期間を増大し混合気形成期間を確保する上では低セタン価燃料が有利であるが、低セタン価燃料では火花放電によるわずかなきっかけ程度では、流動などにより失火し燃焼変動がかえって増加する可能性が高くなると考えられる。一方で、高セタン価燃料に及ぼす火花放電の効果は必ずしも明らかではないが、高セタン価燃料である方が火花放電によるわずかなきっかけによって化学反応が促進され着火を誘発する可能性が高い⁽³⁾と考え、本燃焼方式では高セタン価燃料を選択する。また、高セタン価燃料を用いることで、中高負荷域など運転負荷域によっては既報⁽⁸⁾にて性能を示したディーゼル運転に切り替えるなどの対応も可能となる。なお、本燃焼法は、低圧縮比化を前提とすることから、予混合化による排気低減に加え、機械損失低減やダウンサイジングの適用により総合効率向上の可能性のあることや、燃料にバイオディーゼル燃料(FAME)を用いることから二酸化炭素排出抑制に貢献できる燃焼法である。

Fig.1 Concept of S.I.I. Combustion in low compression ratio diesel engines

2・2 供試燃料

本実験に用いた FAME は、脂肪酸中の炭素数が 12 のラウリン酸メチルエステル(ライオン(株)製パステル M-12、以降 LaME と称す)である。通称、バイオディーゼル燃料と呼ばれる菜種油や大豆油を原料とした一般的な FAME に比べて、LaME は脂肪酸中の炭素数が低く、ココナツ油由来の FAME に約 50% 含まれる成分である。表 1 に供試燃料の主な性状を示す。参考までに軽油の性状も併せて示す。既報⁽⁶⁾に示した通り、LaME は沸点が低く、気化性の高い

単組成 FAME である。また、表中には定容燃焼器(FIA-100 Ver.3, Fueltech 社)を用いた着火試験から得られた着火遅れ時間を示しており、LaME は軽油とほぼ同等の着火性を有する。また、参考までに CFR 機関を用いた場合のセタン価 CN_{CFR} を表中に併せて示す。

Table 1 Properties of tested fuels

		LaME	Gas oil
Density	g/cm ³ @40°C	0.86	0.81
Kinematic viscosity	mm ² /s@40°C	2.30	3.50
Ignition delay (FIA) ⁽⁶⁾	ms	11.0	12.1
CN_{CFR}		61.4 ⁽⁷⁾	56
Distillation	T10		215
	T50		272
	T90		338
Boiling Point	°C	266	
LHV	MJ/kg	35.2	42.7
Carbon	wt%	72.9	86.1
Hydrogen	wt%	12.1	13.7
Oxygen	wt%	15.0	<0.1

2・3 供試機関および測定装置

実験には、コモンレール噴射装置（デンソーECD-U2）を備えた縦型無過給水冷四サイクル単気筒直接噴射式ディーゼル機関（日産ディーゼル FD-1）を用いた。表 2 には主要諸元を、図 2 には実験装置のレイアウトを示す。ピストン形状は、クエンチゾーンの少ない大口径浅皿フラット形状(燃焼室口径 d /ボア径 $D=0.86$ 、深さ $H=7.0\text{mm}$)とした。圧縮比はシリンダヘッドとブロックの間にスパーサを挿入することで調整した⁽⁸⁾。また、吸入空気流量を調節するため、吸気弁およびサージタンクの間にバタフライ弁を設置した。火花放電には点火栓（DENSO VFKH16）と乗用車用イグニッションコイル（ダイヤモンド電機 FK0356）を用い、放電エネルギーは 30mJ、放電期間は 1.2ms で一定とした。図 3 は、点火栓の設置位置を模式的に示したものであり、燃焼室外縁部近傍に栓先端を突き出すように点火栓を設置した。この時、栓先端部は、今回使用したノズルから噴射・形成される 5 本の噴霧の内、1 本の噴霧外縁部付近に位置し、シリンダヘッド面から鉛直に約 3mm 突き出した位置となる。なお、吸気絞り全開時に、燃焼室内にはスワール比 0.7 程度のスワール流が図の方向に向かって流れていると推測される。

実験条件として、機関回転数 1800rpm、噴射圧力 100MPa、冷却水温度 80°C 一定とした。実験では、シリンダ内圧力および噴射弁ニードルリフト量を圧電素子センサ（キスラー 6053CCsp）およびホール素子センサによってそれぞれ検出し、それらを燃焼解析装置（横河電機 DL750）に取り込み、熱発生率などの燃焼特性を解析した。

Table 2 Main specifications of tested engine

Engine	FD-1(NISSAN Diesel)
Engine type	Direct-injection diesel engine Single cylinder, Water-cooled
Bore×Stroke	108×115mm
Displacement	1053cm ³
Compression ratio	14
Combustion chamber	Shallow dish type($H=7.0\text{mm}$), $d/D=0.86$
Fuel injection system	Common-rail injection system ECD-U2
Injection nozzle	5holes-0.18mm(DLLA155P185)

Fig.2 Layout of experimental apparatus

Fig.3 Layout of spark plug on cylinder-head

3. 実験結果および考察

3・1 火花放電による着火促進効果

実験では、比較的低負荷である投入熱量 $Q=1.1\text{kJ/cycle}$ となる条件で火花放電が圧縮着火に及ぼす影響を調査した。ここでは、吸気絞りをを用いて当量比 $\phi=0.93$ 、体積効率 $\eta_v=34\%$ とした。図4は噴射時期 $\theta_j=24\text{ deg. BTDC}$ としたときの、筒内圧力 p 、熱発生率 ROHR およびニードルリフト量 h_z の連続20サイクルのクランク角経過を示す。図4より、放電がない条件では低圧縮比化と吸気絞りによって圧縮端の温度・圧力が低下するため、着火遅れ期間が長期化し、通常の高圧縮比のディーゼル燃焼と異なり 10deg.BTDC 付近にわずかな熱発生を伴う二段の熱発生となっていることがわかる。この一段目の熱発生に着目し、放電時期 θ_{sp} がこの前後およびピークとなるように $\theta_{sp}=19, 11, 4\text{ deg. BTDC}$ で火花放電を行った。一段目の熱発生開始前となる $\theta_{sp}=19\text{ deg. BTDC}$ では筒内圧力、熱発生率が二つのパターンに分かれ、着火時期が約 5deg. CA 進むサイクルが見られる。なお、この条件においては着火時期が進むサイクルと進まないサイクルとはおよそ 1 : 8 であった。また一段目の熱発生のピーク付近で放電する $\theta_{sp}=11\text{ deg. BTDC}$ では、放電しない場合に比べて全サイクルにおいて安定して着火時期が進んでいる。これは図5の熱発生率の拡大図に見られるように、点火栓付近の混合気放電が行われることにより、局所的な温度勾配が大きくなり熱輸送および放電により供給された活性種の輸送が大きくなって、周囲の反応が促進、あるいは、火炎核が形成され、火炎伝播が起こり、筒内温度と圧力の上昇に伴い着火が促進されたためであると考えられる。本文ではこのように火花放電によって着火時期が 1deg. CA 以上進む燃焼を S.I.I. (Spark Induced Ignition) 燃焼と定義する。一方、一段目の熱発生終了後に放電する $\theta_{sp}=4\text{ deg. BTDC}$ の条件では着火時期に変化が見られないことがわかる。

Fig.4 History of cylinder pressure, rate of heat release and needle lift

そこで、放電時期と一段目の熱発生後の熱発生履歴の関係をみると、図6の熱発生率の拡大図に見られるように、放電時期が早いほど発熱を早期から確認でき、着火時期が進むことがわかる。これは、放電により供給された活性種が局所的な発熱を誘発した可能性もあるが、放電時期が早いほど、放電時の栓付近の混合気の濃度分布が適正となり、火炎伝播が生じやすくなって一段目から二段目に至る間の熱発生が大きくなったとも考えられ、詳細は今後定容容器を用いた可視化試験等で検討する予定である。なお、図6より、放電時期を遅らせると、それに応じて二段目の着火時期も遅れることから、S.I.I.燃焼により着火時期を能動的に制御できる可能性がある。

Fig.5 History of rate of heat release

Fig.6 History of rate of heat release

つぎに、火花放電による着火時期変化の応答性を見るために、放電開始および終了付近のサイクルにおける燃焼の変化を調査した。図7は、放電を開始、および放電を終了した付近における ROHR およびイグニッションコイルの一次コイル中を流れる一次電流のサイクル変化を示している。これより、放電を開始したサイクルから着火時期が一様に進むこと、また、放電を止めたサイクルから、通常の着火時期における圧縮着火燃焼に戻り、火花放電による着火時期変化およびその応答性が良好であることがわかる。

(a) Transition from the cycle without spark discharge to the cycle of S.I.I. combustion

(b) Transition from the cycle of S.I.I. combustion to the cycle without spark discharge

Fig.7 Cycle variation of heat release rate and current in first coil ($\theta = 24$ deg.BTDC)

また、図8に示すように、 $\phi=0.93$ から $\phi=0.76$ に投入燃料量を低下させた場合においても、火花放電を行うと、着火時期がほぼ同様に変化することがわかる。このように、投入燃料量の変化があっても S.I.I. 燃焼により能動的に着火時期を制御し、着火を安定させることができる。

Fig.8 Effect of amount of fuel on S.I.I. combustion

3・2 S.I.I.燃焼の成立条件

つぎに、投入熱量 $Q=1.1$ kJ/cycle、体積効率 $\eta_v=34\%$ とした場合に、噴射時期と放電時期を変化させ、S.I.I. 燃焼が生じる条件を調査した。ただし、火花放電による着火時期の変化が 1 deg. CA 未満である燃焼を CI (Compression Ignition) 燃焼、火花放電により伝播火炎のようなゆるやかな熱発生が見られる燃焼を SI (Spark Ignition) 燃焼と定義した。図9は噴射時期と放電時期の組み合わせに対して生じた燃焼形態を上記の定義に従って分類して示している。なお、放電時期と噴射時期の差を $\Delta\theta (= \theta_{sp} - \theta_i)$ と定義した。なお、噴射時期は、着火時期が概ね上死点となる時期から遅らせていき、失火を確認する時期までとした。

図9より、およそ $\theta_i = -26 \sim -18$ deg. ATDC、 $\Delta\theta = 8 \sim 18$ deg. CA において (図中○印) 火花放電により着火が促進され、S.I.I. 燃焼となることがわかる。この噴射時期において、 $\Delta\theta$ がおよそ 20 deg. CA 以上となると (図中×印)、放電による燃焼の変化は確認できず、通常の CI 燃焼となる。 $\Delta\theta$ がおよそ 5 deg. CA 以下となる (図中△印) 場合は燃焼パターンが二つに分かれる燃焼となり、この範囲で、 θ_i が -18 deg. ATDC から遅れると、放電なしでは着火が起こらず失火するが放電を行うとゆるやかな熱発生が生じた。

Fig.9 Combustion mode diagram

ここで、図9中に見られるS.I.I.燃焼の成立条件について、熱発生率経過と火花放電時期の関係から考察を加える。まず、 $\Delta\theta$ が5deg. CA以下(図中○と△の境界)においてS.I.I.燃焼が成立しなかったのは、点火栓付近に混合気が到達していないことや、噴射期間中の強い噴霧運動量や筒内流動によって、火花放電により供給された活性種が速やかに散逸または初期火炎核の拡大が抑制されたためと推測される。図5において、 $\theta_{sp}=19$ deg. BTDCの時に、S.I.I.燃焼となるものと火花放電の影響が見られないものとに分かれるのは、このためと考えられる。

一方、 $\Delta\theta$ が概ね18deg. CA以上(図中○と×の境界)でS.I.I.燃焼が成立しなかったのは、点火栓付近の混合気量が減少して、初期火炎核の形成が遅れた、あるいは放電により供給された活性種による反応速度が低下したこと、局所発熱が十分大くなる前に全体の自着火が生じたためと推定される。したがって、この限界は、点火栓位置の調整、点火栓付近の混合気の適正化や放電エネルギーの増加等によって拡大できる可能性がある。また、S.I.I.燃焼となる条件では火花放電時期から二段目の熱発生開始まではいずれも5 deg. CA程度であった。この遅れは、点火栓付近の混合気分布や流動により決まると考えられ、今後定容容器等を用いた可視化試験で検証する予定である。

なお、噴射時期 θ_j が-15deg. ATDCより遅い場合には、放電により緩やかな熱発生が生じてもピストンの下降による温度低下が大きく着火を促進するに至らなかったと考えられる。

3・3 体積効率 η_v がS.I.I.燃焼の成立範囲に及ぼす影響

前節では体積効率 $\eta_v=34\%$ でのS.I.I.燃焼が成立する噴射時期および放電時期の範囲を明らかにした。しかし、始動時を除いて低い η_v とすると、固定動弁系の場合にポンプ損失の増加を無視出来ないこと、また圧力上昇率やNOx排出量を低減する観点からも、より高い η_v にてS.I.I.燃焼が成立することが望ましい。そこで本節では、より η_v が大きな条件でのS.I.I.燃焼の成立範囲を確認することを目的とし、絞り開度を $\eta_v=40\%$ とした場合のエンジン試験を実施した。なお、ここでは、当量比を変化させた($Q=1.1$ kJ/cycle)場合、および当量比を $\eta_v=34\%$ 時と同一とし投入燃料量を増加($Q=1.3$ kJ/cycle)させた場合、および噴射圧力($p_j=40$ MPa)を低下させた場合の結果を示す。

図10(a)は当量比を変化させた場合の結果である。図から、 $\eta_v=34\%$ と同様に二段の熱発生が確認されるとともに、 η_v 増加により圧縮端圧力が上昇するため、二段目の熱発生時期が早くなり、噴射開始からの着火遅れは $\eta_v=34\%$ に比べ約5CA短くなる。この時、3・2で火花放電の効果が確認された $\theta_j=22\sim18$ deg. BTDCおよび $\Delta\theta=5\sim18$ deg. CAの範囲で火花放電を行ったが、S.I.I.燃焼は確認されなかった。これは、当量比 $\phi=0.77$ の条件では、 $\Delta\theta$ が小さい側($\Delta\theta=5, 8$ deg. CA)では、 $\eta_v=34\%$ に比べて雰囲気密度の増加やスワール流により点火栓付近の混合気が希薄とな

Fig.10 History of cylinder pressure, rate of heat release and needle lift

って放電により反応速度がさほど上昇しなかった, または, 吸入空気量の増加によりスワール流が大きくなって, 放電時期における点火栓付近の流動が強くなり初期火炎核の拡大抑制あるいは放電により供給した活性種が散逸したためと考えられる. 一方, $\Delta\theta$ が大きい側 ($\Delta\theta=13\text{deg. CA}$) では, 希薄化のために放電エネルギーが不足し反応速度が低下したために S.I.I.燃焼が確認できなかった可能性がある.

つぎに, $\Delta\theta$ が大きい側にて火花放電による反応性を高めることを狙い, 当量比を $\eta_v=34\%$ 時と同様の $\phi=0.92$ となるよう投入燃料量を増加 ($Q=1.3\text{kJ/cycle}$) させた. 図 10(b)にその結果を示す. 図から, 当量比を $\phi=0.77$ とした図(a)とほぼ同様の着火時期・熱発生率経過となることがわかる. 図(a)の希薄条件に比べ, $\Delta\theta$ が大きい側 ($\Delta\theta=13\text{deg. CA}$) では同一放電時期であっても, 燃料量が若干増加し総括当量比が量論比に近くなるため, 放電後の燃焼に影響が見られると思われたが, $\eta_v=34\%$ 時とは異なり S.I.I.燃焼は確認されなかった. これは $\eta_v=34\%$ において S.I.I.燃焼が確認される放電時期に比べ, 着火遅れが短くなって S.I.I.燃焼が生じる前に全体の自着火が生じたためと考えられる.

そこで, 局所的に不均一を形成させ点火栓付近の混合気濃度を高めるとともに着火遅れを増加させることを狙って, 噴射圧力 p_j を低下させ $p_j=40\text{MPa}$ とし放電試験を行った. 図 11 から $\theta_j=25\text{deg. BTDC}$ において $\Delta\theta=5\sim 20\text{deg. CA}$ の範囲において $\eta_v=40\%$ では S.I.I.燃焼は確認できなかった. これは, p_j の低下により混合が抑制され, 着火遅れが増大し, 局所的に濃い混合気を形成したものの, 本供試機関諸元では, η_v の増加による筒内流動が点火栓付近の混合気分布に及ぼす影響が大きくなったためと考えられる.

Fig.11 History of cylinder pressure, rate of heat release and needle lift (effect of injection pressure p_j)

3・4 低圧縮比ディーゼル機関の始動安定性に対する S.I.I.燃焼の効果

最後に, 本試験で得られた結果から低圧縮比ディーゼル機関の始動安定性に対する火花放電による着火促進の効果について検討する. 図 12 は, 3・2 で実施した条件 ($\eta_v=34\%$ および $Q=1.1\text{kJ/cycle}(\phi=0.92)$) の内 $\theta_j=18\text{deg. BTDC}$ とした条件での筒内圧力 p , 熱発生率 ROHR およびニードルリフト h_z の時間変化である. なお, 図中には図示平均有効圧力 IMEP の変動値 COV を併せて示す.

まず, 図示していないが, 火花放電無しでディーゼル運転を開始すると, 燃焼が不安定となり失火することが確認された. このため, 着火・燃焼の安定化を図ることを狙い火花放電時期を 5deg. BTDC とし運転を開始した結果, 図中の(a)に示すように着火が大幅に進み COV の低い S.I.I.燃焼となった. この直後に一度放電を停止すると, 図中(b)のようにやや不安定ながらも着火サイクルを持続するようになった. これは直前の放電サイクルにより着火が安定化し残留ガスが増加したことや燃焼室壁温が上昇したためと考えられる. なお, この時, 再び放電を開始し放電時期を変化させたところ, 放電時期によって着火時期が変化する S.I.I.燃焼となる (図 12 中(c),(d)). さらに, 一定の時間, S.I.I.燃焼での運転を実施した後, 火花放電を停止すると, 図中(e)のように火花放電時と同

等のCOVで定常ディーゼル燃焼時の着火時期で運転可能となることを確認できる。これはS.I.I.燃焼によって着火燃焼が安定し、燃焼室壁温が定常運転相当まで上昇したためである。

低圧縮比ディーゼル機関で問題となる冷間始動時においては、機関温度・吸気温度が低く、また低回転および始動時クランク位置によって圧縮端の温度が定常時よりも低下する。さらに、常用回転数に比べて低い回転数でのクランキングとなることから筒内流動も小さくなるため、本報で示したS.I.I.燃焼成立には有利な条件となり、S.I.I.燃焼により安定した燃焼を確保しつつ機関暖機を促進できる可能性がある。

Fig.12 The effect of spark discharge on the ignition process ($\theta_f=18^\circ$ BTDC)

4. ま と め

以上、幾何学圧縮比 14 の低圧縮比ディーゼル機関において火花放電による着火促進の可能性を、高着火性および高酸化性を有するラウリン酸メチルエステル(LaME)を燃料に用いて調査した。得られた結果を要約すると下記のとおりである。

(1)低負荷に相当の投入熱量、機関回転数 1800rpm において、体積効率 $\eta_v=34\%$ とした場合に、長い着火遅れ期間中に火花放電することで着火を促進する Spark Induced Ignition Combustion (S.I.I.燃焼)が成立する噴射時期と放電時期の組み合わせを示した。

(2)S.I.I.燃焼となる時、火花放電直後にわずかな熱発生が確認され、その後急峻な着火・燃焼に至ることから、放電により供給された活性種による局所的な反応の促進、あるいは点火栓近傍に火炎核が形成され火炎伝播が起こり、筒内温度・圧力の上昇に伴い着火が促進されたと推定される。

(3)本実験の範囲では、火花放電により通常の自己着火時期よりも最大 5 deg. CA 進む。また、S.I.I.燃焼が成立する条件では、放電時期を変化させ放電後のわずかな熱発生量を調整することで、着火時期を変化できることや、投入熱量の変化があっても火花放電により着火時期を制御できる可能性がある。

(4)機関の暖機が十分でなく燃焼が不安定となる条件であっても S.I.I.燃焼により定常運転時の着火時期近傍で安定な燃焼が可能となることから、S.I.I.燃焼により低圧縮比ディーゼル機関の始動性を改善できる可能性がある。

謝 辞

本研究は科学研究費補助金（基盤研究（C）No.22560205）の助成を受けた。本研究の遂行に際し、滋賀県立大学学生 竹村佳則氏より多大の協力を得た。また、実験に使用した脂肪酸メチルエステルはライオン(株)より、イグニッションコイルはダイヤモンド電機(株)より提供頂いた。ここに記して深く謝意を表す。

文 献

- (1) 小山崇, 藤原清, 長江正浩, 伊藤寿記, 大木久, 友田晃利, “乗用車用ディーゼルエンジンの低圧縮比化技術の研究”, 自動車技術会論文集, Vol.42, No.3(2011), pp.747-752.

- (2) 稲垣和久, 水田準一, 冬頭孝之, 橋詰剛, 伊藤弘和, “高分散噴霧と筒内低流動を利用した低エミッション高効率ディーゼル燃焼 (第1報) - 燃焼コンセプトの提案と単筒エンジンによる基本性能の検証 -”, 自動車技術会論文集, Vol.42, No.1(2011), pp.219-224.
 - (3) 安東弘光, 酒井康行, 深野健太, 周夢瑤, 桑原一成, “OH ラジカル添加による炭化水素自着火制御の可能性”, 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 2 (2011), pp. 397-402.
 - (4) 桑原一成, 瀬崎貴史, 山本洋平, 志知宏昭, 古谷正広, 太田安彦, 酒井康行, 安東弘光, “LTO に同期させた火花放電による着火の促進”, 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 1 (2011), pp. 163-168.
 - (5) 永峰雄太, 椎名亮介, 岸本秀雄, 荒木幹也, 中村壽雄, 志賀聖一, 梶谷修一, “2 ストローク機関への DME-HCCI 燃焼適用の可能性”, 第 21 回内燃機関シンポジウム講演論文集, A5-1 (2010), pp. 279-284.
 - (6) 河崎澄, 井川達郎, 山根浩二, “軽油と同一の着火性を有する FAME のディーゼル燃焼および排気特性”, 自動車技術会論文集, Vol. 41, No. 4 (2010), pp. 865-870.
 - (7) Knothe, G, “Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters”, *Fuel Processing Technology*, Vol. 86 (2005), pp. 1059-1070.
 - (8) 近藤千尋, 熊澤直人, 河崎澄, 山根浩二, “高着火性および高酸化性を有する FAME を用いた低圧縮比ディーゼル機関”, 自動車技術会論文集, Vol. 42, No. 5 (2011), pp. 1111-1116.
-