



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	多重スパーク方式によるエタノール駆動ディーゼル機関の性能と燃焼
Author(s)	小川, 英之; Ogawa, Hideyuki; 朴, 河鴻 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 117, 19-28
Issue Date	1984-01-31
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41825
Type	departmental bulletin paper
File Information	117_19-28.pdf



多重スパーク方式による
エタノール駆動ディーゼル機関の性能と燃焼

小川英之 朴河鴻* 岡島寿和
近久武美 宮本登村山正
(昭和58年9月30日受理)

**Combustion and Performance in a Spark-Assisted
Diesel Engine with Neat Ethanol Fuel**

Hideyuki OGAWA, Kakoh POKU, Toshikazu OKAJIMA,
Takemi CHIKAHISA, Noboru MIYAMOTO and Tadashi MURAYAMA
(Received September 30, 1983)

Abstract

The purpose of this research is to analyze the factors influencing the ignition characteristics of ethanol in a spark-assisted diesel engine, and to achieve stable combustion over a wide operating range.

The experiment was performed with a swirl chamber diesel engine with a multi-spark ignitor. Spark assisted diesel engines usually display misfiring or knocking problems. The results of the investigations showed that a 0.5 mm plug gap was the optimum to prevent flash-over and misfiring. The best injection and spark timings were obtained where the smallest rate of pressure rise was obtained with the shortest spark duration. A stable ignition is achieved when the flammable mixture is brought to the vicinity of the spark plug before much a major portion of the injected fuel has evaporated. To accomplish this, the position of the spark plug relative to the injection nozzle and the velocity of the gas flow at the plug gap are the most important factors. On the other hand, smoke was perfectly removed, NO_x concentration was decreased, and hydrocarbons and acetaldehyde were on the same level as in the conventional operation with diesel oil, while thermal efficiency and engine noise deteriorated slightly.

This shows that neat alcohol fuels can be used smoothly with low emission in spark-assisted diesel engines.

1. 緒 言

近年アルコールは、石油代替燃料の一つとして有望視されているが、その乏しい着火性のために、とくにディーゼル機関における利用は困難である。しかし、何らかの補助手段を採用することによって、ディーゼル機関におけるアルコールの利用が可能になるならば、クリーンでしかも高効率な燃焼を実現することができる。

このことを目的とする各種の対策^{1)~6)}の中で、スパークプラグによる強制着火方式は、着火源としての補助燃料を必要とせず、またアルコール単味での着火運転が可能であるなどの利点があるため、現在までに、これに関する報告⁵⁾⁶⁾がいくつかなされている。しかし此の場合、特定の運転条件下において、失火あるいはノッキングの発生による円滑な運転の阻害、サイクル間の燃焼変動、あるいは排気エミッションの悪化などが起こる可能性があることなど、いくつかの問題が残されている。

本研究は、渦室式ディーゼル機関において多重スパーク発生装置を用いた場合における、エタノール燃料の燃焼性、および機関性能に対する各種運転変数および燃焼関連諸因子の影響について解明し、広範な運転条件下における高効率でしかもクリーンな燃焼を実現することを目的として行なったものである。

実験の結果、本方式による着火に対しては、スパークプラグ付近における局所的な混合気濃度が最も重要な支配因子であることが明らかになった。すなわち、安定した可燃混合気が放電期間中のスパークプラグ付近に形成されるように、噴霧角あるいはスパークプラグの装着位置といった燃焼関連因子を最適化することによって、広範な運転条件下における、失火を伴わない円滑でしかも静粛なエタノール燃焼を実現し得る可能性が明らかになった。

以下、本研究の結果について詳述する。

2. 実験装置、および方法

実験に使用した機関は、横形・水冷・単気筒・4サイクルの渦室式ディーゼル機関である。実験にさいしては、図1に示すような改造をほどこしてスパークプラグを装着した。なお、機関主要諸元は、行程容積 796 cm³、ボア・ストローク 96×110 mm、圧縮比 17.5、副室容積比 0.55、および副室連絡孔面積比 0.016 である。

点火系としては、「多重スパーク発生装置」を試作したが、これにより、断続器からの断続信号を起点として、放電期間を 0.5~5.0 msec の範囲で任意に変化させて実験を行なった。この装置は、CDI (condenser discharge ignition) により多重放電が可能となっており、放電周期は約 200 μ sec、無負荷放電々圧は約 3.5 kV である。

インジケータ線図、および燃焼変動の解析には、主燃焼室に抵抗線歪計式あるいはピエゾ型のエンジン指圧計を取り付けて、その出力を A/D 変換器を介してコンピュータに入力することにより行なった。

排ガスの測定に関しては、窒素酸化物は CLD により、一酸化炭素、未燃炭化水素、アセトアルデヒド、および未燃エタノールはガスクロマトグラフィによって、それぞれ分析した。なお、排ガスの採集は、シリンダ

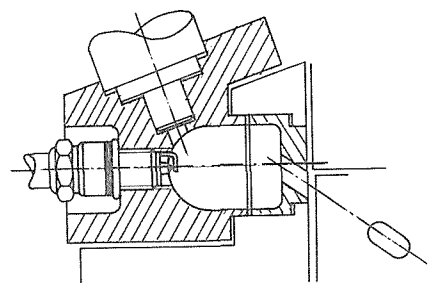


図1 供試副燃焼室断面図

ヘッドの排気管取り付けフランジ部から 250 mm 下流の位置で行なった。また、吐煙濃度の測定には、ボッシュスモークメータを使用した。そして、機関騒音は、シリンダヘッドから 1 m 離れた高さ 1 m の位置において測定した。

燃焼室内のガス採集にさいしては、図 1 に示したスパークプラグの取り付け孔に対して電磁バルブを設置し、ガスサンプリング装置により行なった。なお、この場合、ガスの採集量は全渦室容積の 10% 程度である。採集したガスは、ガスクロマトグラフィにより分析した。

供試燃料は、純度 95% の変性エタノール、および自動車用軽油であり、機関の運転は、冷却入口温度をほぼ 90°C に保って行なった。

3. 実験結果、および考察

3.1 着火に対して影響を及ぼす諸因子とその最適化

(1) スパークプラグの電極間隙 改めて言うまでもなく点火能力に対して及ぼすスパークプラグの電極間隙の影響はかなり大きなものであるが、本研究では、まず最初に電極間隙が着火の安定性に対して及ぼす影響について調べてみた。

実験にさいして放電は、燃料噴射開始後 4°C A を起点として 1.5 msec にわたって行なわせたが、この放電期間は、失火を防止するための必要最小期間に比べて十分に長いものであることを予備実験によって確認している。

図 2 は、機関回転速度が 800 rpm と 2400 rpm とにおける低負荷運転時 (BMEP=0.05 MPa)

の燃焼安定性について調べた結果の一例を示すものである。図から、電極間隙は、着火遅れ、およびその標準偏差などに対してはあまり大きな影響を及ぼさないが、失火率に対しては大きな影響を与えることがわかる。すなわち、機関回転速度が低い場合においては、電極間隙が 0.5 mm 以上では失火が認められないが、0.4 mm 以下になるとその減少ともなって失火率が大幅に増大するのに対して、高速回転の場合には、間隙が増加した場合、とくに 0.6 mm 以上においては、失火が顕著になる。

この現象については次のように考えられる。すなわち、低速回転時には電極の消炎作用が著しいために、小さな電極間隙で失火が生じ易くなるが、一方高速時には、シリンダ内圧力の増大に起因するフラッシュオーバーの発生、あるいは渦流の増加による火種の吹き飛びなどにより、むしろ広い間隙で失火が生じ易くなるものと思われる。一方これと同様の傾向が、高負荷運転時 (BMEP=0.5 MPa) においても確認された。

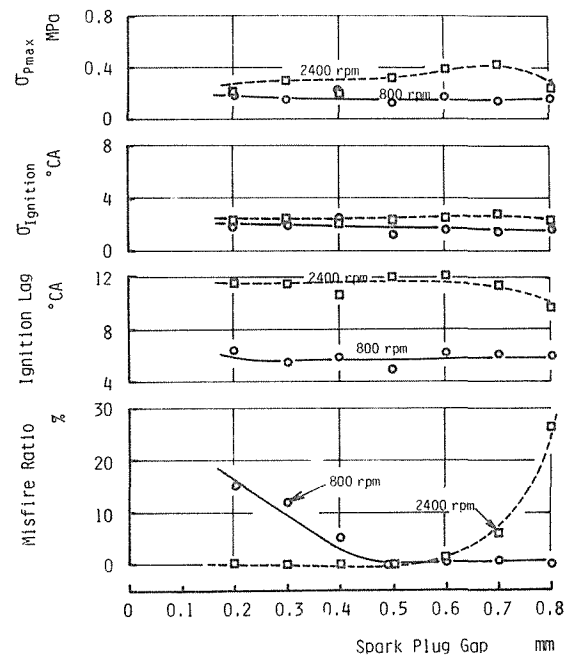


図 2 スパークプラグの電極間隙が燃焼の安定性に対して及ぼす影響

BMEP: 0.05 MPa, 燃料噴射時期: 20°C A BTDC

放電開始時期: 16°C A BTDC, 放電期間: 1.5 msec

以上要するに、供試機関($\epsilon=17.5$)においては、広い運転条件の範囲にわたって失火を防止する上から、電極間隙は0.5 mmが最適であることが明らかとなったので、以下の実験においてはこの値を用いることにした。

(2) 燃料噴射ノズルの噴霧角 本燃焼方式においては、放電期間中にプラグ電極近傍に対して安定した可燃混合気を形成することが重要である。そして可燃混合気の空間的分布に対して影響を及ぼす因子としては、燃料噴射ノズルの噴霧角が考えられる。そこで、その影響について調べるために、噴霧角が 0° 、 12° 、 30° 、および 40° の4種類の噴射ノズルを用いて実験を行なった。

図3は、機関回転速度2400 rpm、BMEP=0.5 MPaにおいて、噴霧角が燃焼の安定性に対して及ぼす影響について示すものである。なお、この場合、燃料噴射開始後 4°CA を起点として1.5 msecにわたって放電を行なった。図から明らかなように、噴霧角の増加にともなって燃焼の変動は減少するが、その程度は噴射時期が遅いほど著しい。これは、噴霧角が大きいくほど、プラグ電極付近に安定した可燃混合気が形成される確率が高くなるためと考えられ、供試機関におけるノズルおよびプラグの配置によって安定した着火を得るためには、噴霧角の大きなノズルほど有利であるのが明らかである。しかし、噴霧角が過大の場合には、機関出力が低下するため、総合的には、噴霧角 30° 程度の噴射ノズルが望ましい。したがって、以下の実験においては噴霧角 30° のノズルを使用した。

(3) 放電の開始時期と期間 前節までの実験においては、放電の開始時期を燃料噴射開始後 4°

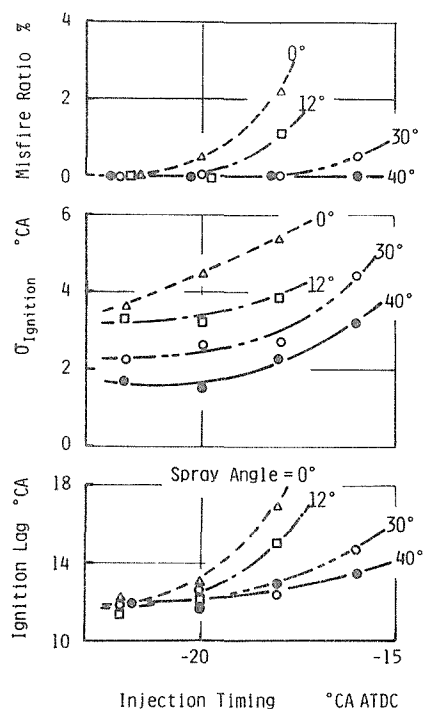


図3 燃料噴射ノズルの噴霧角が燃焼の安定性に対して及ぼす影響
2400 rpm, BMEP: 0.5 MPa
放電開始時期: 燃料噴射開始後 4°CA
放電期間: 1.5 msec

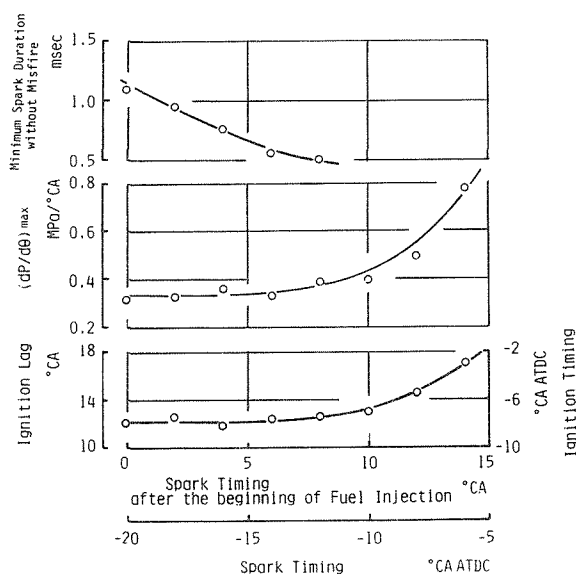


図4 放電開始時期が着火遅れ、最大圧力上昇率、および必要放電期間に対して及ぼす影響(高負荷運転時)
2400 rpm, BMEP: 0.5 MPa
燃料噴射時期: 20°CA BTDC
放電期間: 1.5 msec

CA に、また放電の期間を 1.5 msec にそれぞれ設定してきたが、スパークプラグの寿命を考慮すると、着火が安定する範囲内で、放電期間はできるだけ短いことが望ましい。そこで本節では、放電の開始時期と期間とが着火の安定性に対して及ぼす影響について検討した。

図 4 は、機関回転速度 2400 rpm, BMEP=0.5 MPa において、放電開始時期と着火遅れ, 最大圧力上昇率, および安定着火に必要な最小限の放電期間との関係をそれぞれ示すものである。この場合, 燃料噴射時期は 20°CA BTDC に固定しており, また, 図中の着火遅れと圧力上昇率とは, 放電期間を 1.5 msec に保ったさいの値を示している。図において, 放電の開始時期を燃料噴射開始時期 (20°CA BTDC) からその後 8°CA までの範囲で遅らせても, 着火遅れ, および最大圧力上昇率は比較的低い値を保持しているが, 8°CA よりも更に遅延させると, 着火遅れが増大し, またそれともなって最大圧力上昇率が大幅に増加するのがわかる。一方, 失火を生じないための最小放電期間は, 放電開始時期が遅延するにつれて短縮していることも明らかである。したがって, 圧力上昇率を低く抑え, しかも放電期間を短縮させるためには, 例えば 2400 rpm の場合には, 放電開始時期を燃料噴射開始後 6~8°CA に設定することが適切である。

一方, 図 5 は, 低負荷運転時, すなわち, 機関回転速度 2400 rpm, BMEP=0.05 MPa において, 放電開始時期が燃焼の安定性に対して及ぼす影響について示すものである。この場合, 放電期間は 1.5 msec に, また燃料噴射時期は 20°CA BTDC にそれぞれ設定した。図から, 低負荷運転時には, 放電開始時期の遅延にともなって, 着火遅れ, およびサイクル間燃焼変動が次第に増加して, ついには失火が著しくなり

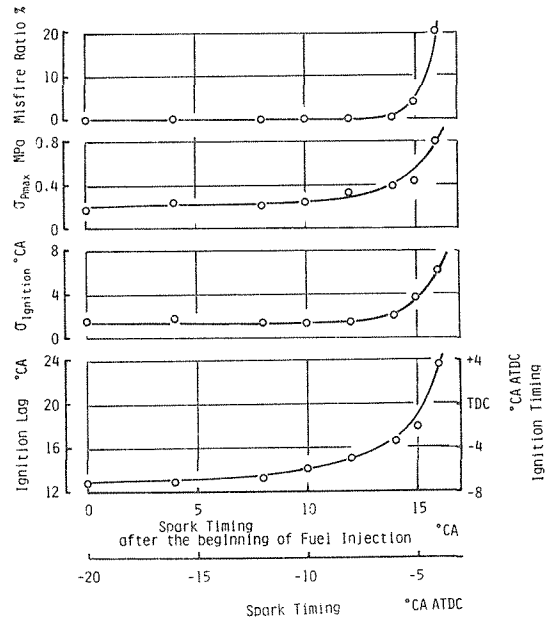


図 5 放電開始時期と燃焼の安定性との関係 (低負荷運転時)
2400 rpm, BMEP : 0.05 MPa
燃料噴射時期 : 20°CA BTDC
放電期間 : 1.5 msec

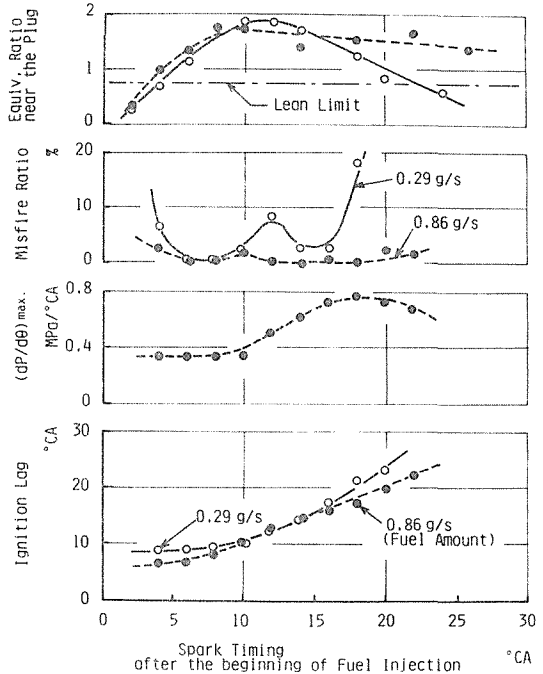


図 6 スパークプラグ電極付近の局所的な混合気濃度と燃焼の安定性との関係
1200 rpm, 燃料噴射時期 : 20°CA BTDC

運転が不可能になることがわかる。

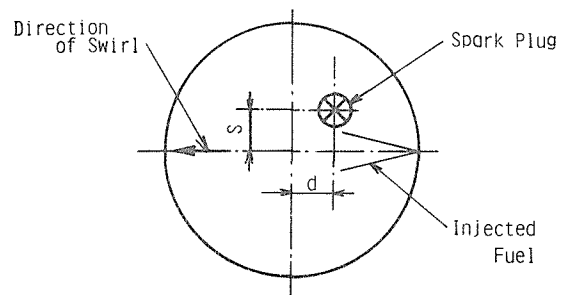
なお、これらの結果は、プラグ付近における混合気形成の時間的推移に関連して生ずるものと考えられる。すなわち図6は、機関回転速度1200 rpmにおいて、放電期間を0.5 msec(3.6°CA)とした場合の放電時期と燃焼の安定性、およびプラグ電極付近に形成される局所的な混合気濃度との関係を調べた結果の一例を示すものである。ただし、この場合の放電時期とは、放電期間の中央の時期を指しており、またそれに対応する混合気は、電磁サンプリングバルブの最大揚程を放電時期に合わせてサンプリングした。

実験は、燃料噴射量0.29 g/sec (BMEP=0.05 MPaに相当)と0.86 g/sec (BMEP=0.5 MPaに相当)の2通りの場合について行なったが、図において、とくに噴射量が少ない場合には、放電時期と失火率、および混合気濃度との間に明確な相関関係が認められる。すなわち、放電時期を燃料噴射開始後0~4°CAに設定した場合においては、プラグ電極近傍には可燃混合気が形成されていないため、失火率は高くなっているが、燃料噴射開始後4~10°CAに設定した場合には、可燃混合気が形成されるので比較的安定した着火が得られている。ただし、12°CA付近では混合気が過濃気味になるため若干ではあるが失火率が高くなる傾向が認められる。放電時期を更に遅延させると、混合気濃度が低下していくため、失火率も一時は減少するが、ついには過薄になって再び失火が著しくなる。ここで、放電時期を燃料噴射開始後18°CAに設定した場合において、混合気濃度がまだ可燃範囲内に入っているにもかかわらず失火率が著しく高くなっているが、これは、放電後実際に着火が生じるまでの間に混合気が希薄になるためであろう。

一方、噴射量が多い場合、すなわち0.86 g/secにおいては、燃料噴射開始後15°CAの期間の混合気濃度は噴射量の少ない場合と同様な推移をたどっており、放電時期に対する失火率の変化も類似しているが、それ以後も混合気濃度が可燃域内に保たれるため、放電期間を更に遅延しても失火率は低く維持される。しかしこの場合、可燃混合気が燃焼室内に広く分布してしまうため、圧力上昇率が増大する。

以上の結果から、この種の燃焼方式においては、プラグ電極付近に可燃混合気が適量形成される時点、すなわち燃料噴射後6~8°CAにおいて放電を行なうことが肝要であると言えることができよう。

(4) スパークプラグの装着位置 本方式において安定した着火を得るためには、スパークプラグ付近に適量の可燃混合気を供給することが重要であることは前述のとおりである。一方、噴射初期においては、渦室内には安定した可燃混合気が噴霧軸に沿って層状に分布しているものと考えられるので、スパークプラグの装着位置が着火の安定性に対して及ぼす影響はかなり大きいものと考えられる。そこで、図7に示すように、スパークプラグの位置を系統的に変えることにより、プラグ位置と着火の安定性との関係について調べてみた。このさ



Position	d (mm)	s (mm)
A	0	0
A'	3	0
A''	-5	0
B	0	3
B'	3	3
C	0	6
C'	3	6

図7 スパークプラグの位置

い放電は、燃料噴射開始後 4°CA を起点にして 1.5 msec にわたって行なわせた。

まず、燃料噴射ノズルからスパークプラグまでの距離が着火の安定性に対して及ぼす影響について調べるために、図7に示した $A(d=0 \text{ mm}, s=0 \text{ mm})$ 、 $A'(d=+3 \text{ mm}, s=0 \text{ mm})$ 、および $A''(d=-5 \text{ mm}, s=0 \text{ mm})$ の3つの位置について実験を行なった。なお、燃料噴射ノズルの噴孔からスパークプラグ電極までの直線距離は、位置 A の場合で約 15 mm となっている。

図8は、機関回転速度 2400 rpm 、 $\text{BMEP}=0.5 \text{ MPa}$ において、それぞれのプラグ位置に対する燃焼の安定性について調べた結果の一例を示すものである。図において、燃焼室中央にプラグを装着した場合、すなわち位置 $A(d=0 \text{ mm})$ の場合と、中央から 3 mm だけノズル側に接近させた位置 $A'(d=+3 \text{ mm})$ との間には、燃焼性の差異がほとんど認められないのに対して、燃焼室中央から噴霧下流方向に 5 mm 遠ざけた位置 $A''(d=-5 \text{ mm})$ にプラグを装着した場合には、着火遅れが増大して着火がきわめて不安定になっていることがわかる。なお、後者の場合にみられる不安定な着火は、負荷および回転速度の広い範囲において認められるものである。

一方、図7にみられる $B(d=0 \text{ mm}, s=3 \text{ mm})$ 、 $B'(d=+3 \text{ mm}, s=3 \text{ mm})$ 、 $C(d=0 \text{ mm}, s=+6 \text{ mm})$ 、および $C'(d=+3 \text{ mm}, s=6 \text{ mm})$ の各位置、すなわち噴霧軸に対して直角方向にプラグ位置を変えた場合の着火の安定性についても検討を試みた。その結果を図9に示す。図にみられるように、プラグ位置によって着火の安定性はそれほど大きくは変化しないが、スパークプラグを噴霧軸線上からオフセットさせるほど着火遅れが短縮し、静粛でしかも安定した燃焼が得られている。

なお、このような着火の安定性がプラグ位置によって変わる現象に関しても、プラグ近傍における可燃混合気の形成、およびその量が大きく影響しているものと考えられる。すなわち図10は、 $A(d=0 \text{ mm})$ および $A''(d=-5 \text{ mm})$ の各位置において、前節と同一要領によってガスサンプリングを行ない、プラグ近傍における局所的な混合気濃度と失火率との関係を調べてみた

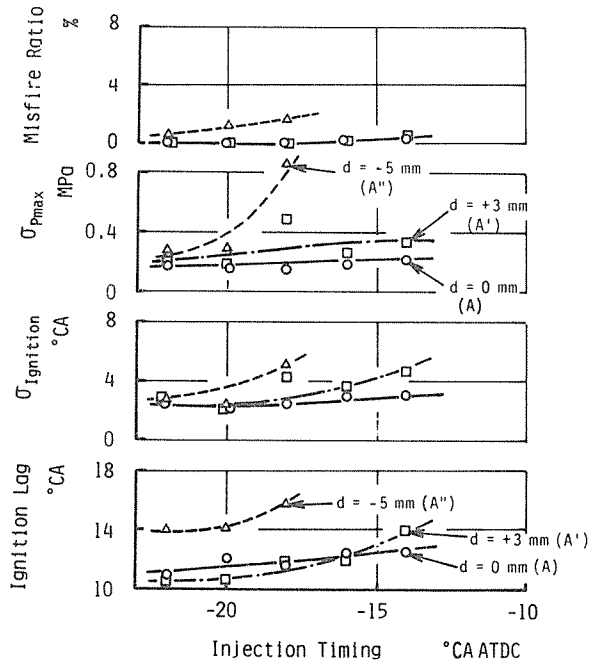


図8 燃料噴射ノズルからスパークプラグまでの距離 d が燃焼の安定性に対して及ぼす影響
 2400 rpm 、 $\text{BMEP}: 0.5 \text{ MPa}$
 放電開始時期：燃料噴射開始後 4°CA
 放電期間： 1.5 msec

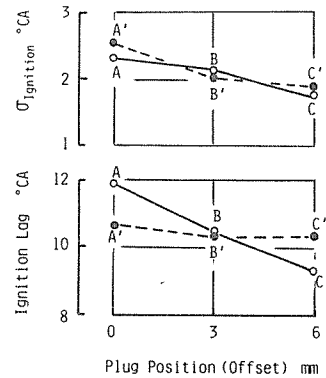


図9 スパークプラグの位置 s と着火の安定性
 2400 rpm 、 $\text{BMEP}=0.5 \text{ MPa}$ 燃料噴射時期：
 20°CA BTDC
 放電開始時期： 16°CA BTDC
 放電期間： 1.5 msec

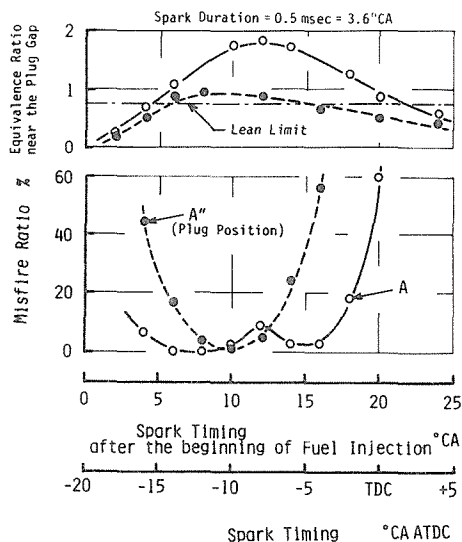


図 10 スパークプラグの位置を変化させた場合における電極付近の局所的な混合気濃度と失火率との関係
1200 rpm, 燃料噴射量: 0.29 g/sec
燃料噴射時期: 20°CA BTDC

結果の一例を示すものである。この場合、機関回転速度 1200 rpm, 燃料噴射量 0.29 g/sec (0.05 MPa に相当), 放電期間 0.5 msec (3.6°CA) として実験を行なった。図において、スパークプラグを噴霧下流方向に離れた位置 A'' (d = -5 mm) に設置した場合には、位置 A に設置した場合と比べてプラグ近傍の混合気濃度は全体的に低く、しかも希薄可燃限界を上回る領域が減少しているのと同時に、失火率が低い範囲がきわめて狭くなっている。すなわち、プラグ位置を噴霧下流方向に離しすぎると混合気が過薄になるため、失火が増加したものと言い得る。

3.2 本方式における機関出力性能

以上述べてきたように、各種の燃焼関連因子に関する最適値を使用することによって、広範な運転条件下におけるエタノール単味での安定した運転を確保することが可能になった。

本節では、本研究の総括として、多重スパーク方式により、エタノール単味燃料によって機関を運転した場合と、軽油による通常の運転とにおける機関出力性能の比較を試みた。機関の運転にさいしては、噴霧角が 30° のスロットルノズルを使用し、機関回転速度は 2400 rpm に、また燃料噴射時期は、それぞれの燃料で熱消費率が最良となる時期、すなわち、エタノールでは 20°CA BTDC, 軽油では 16°CA BTDC にそれぞれ設定した。スパークプラグは、図 7 に示した位置 A (燃焼室の中央) に設置したが、軽油の場合には、スパークプラグへの通電を行なわなかった。また、エタノールの場合には、16°CA で放電を開始して、1.5 msec にわたって多重放電を行なった。

図 11 は、エタノールと軽油とにおける機関出力性能を比較した結果を示すものである。図にお

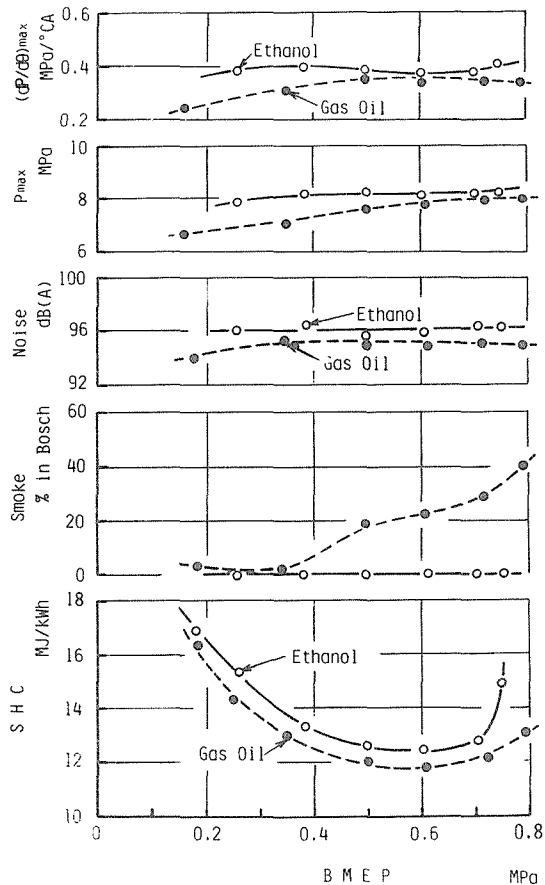


図 11 多重スパーク方式によりエタノールを燃料として機関を運転した場合と軽油による通常の運転とにおける機関性能の比較
2400 rpm, 燃料噴射時期: 20°CA BTDC (エタノール), 16°CA BTDC (軽油)

いて、エタノールを燃料とする場合には、軽油による運転に比較して、広い負荷範囲にわたって熱消費率が若干増加しており、機関騒音も増加しているものの、排気吐煙は全く排出されていないことがわかる。機関騒音の増加は、圧力上昇率の増大によるものであるが、その値は0.4 MPa/°CA程度であり、従来この種の方式⁵⁾において問題となっているノッキング現象は生じておらず、比較的円滑な燃焼が得られているものと考えられる。

図12は、排気組成の分析結果を示したものである。すなわち、エタノールにおいては、軽油と比較して、広い負荷範囲にわたって、一酸化炭素、未燃炭化水素、およびアセトアルデヒドが若干増加しているが、全般的にその濃度は低く、実用にさいしてはほとんど問題にならないものと思われる。一方、未燃エタノールは、低負荷域で多少増加する傾向があるものの、従来発表されているアルコール駆動ディーゼル機関^{3)~5)}に比べて、その濃度は低い。さらに、エタノールで運転した場合に排出される窒素酸化物は、中・低負荷域では軽油なみであるが、高負荷域では軽油よりもかなり改善されている。

このように、本方式によってエタノールを燃料として機関の運転を行なった場合には、比較的良好な排気組成と高い燃焼効率とが得られることが明らかになったが、熱消費率が若干悪化する傾向がある。そこで、この熱消費率増加の原因について調べるために若干の解析を行なった。その結果の一部として、図13に、機械効率、冷却損失、および等容度を示す。すなわち、エタノールで運転した場合には、軽油に比べて負荷全域にわたって機械効率が若干低下し、さらに冷却損

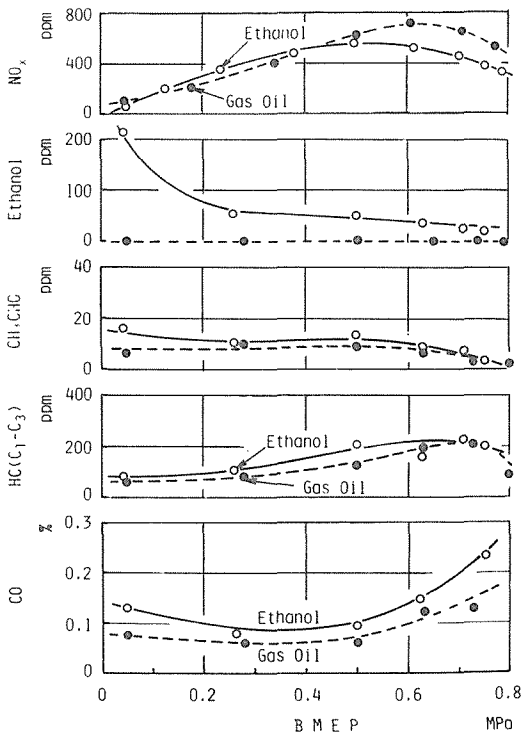


図12 多重スパーク方式によりエタノールを燃料として機関を運転した場合と軽油による通常の運転における排気組成の比較
2400 rpm, 燃料噴射時期: 20°CA BTDC (エタノール), 16°CA BTDC (軽油)

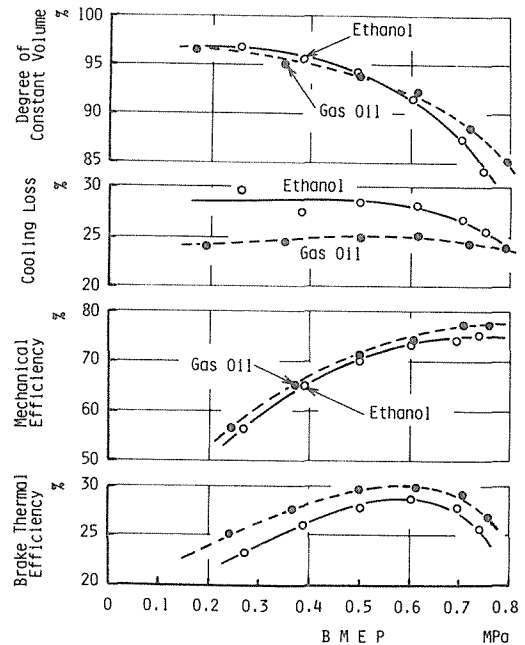


図13 多重スパーク方式によりエタノールを燃料として機関を運転した場合と軽油による通常の運転における正味熱効率、機械効率、冷却損失、および等容度の比較
2400 rpm, 燃料噴射時期: 20°CA BTDC (エタノール), 16°CA BTDC (軽油)

失は、とくに中・低負荷域で大幅に増加しているのが明らかである。後者については、図 11 に示したように、エタノールの使用時における燃焼最高圧力および圧力上昇率の上昇にともなう冷却損失の増加が考えられる。一方、エタノールで運転した場合の等容度は、軽油に比べてとくに高負荷域において低下しているが、これは、同一プランジヤでエタノールを噴射したさいの噴射期間の増加にともなう燃焼期間の増大によるものと考えられる。したがって、燃料噴射ポンププランジヤ径の増加などによって噴射期間を短縮するならば、高負荷域での熱消費率をある程度改善することが可能になるものと考えられる。

以上要するに、この種の強制着火方式を用いることによって、エタノール単味燃料における機関の運転を行なった場合には、軽油に比較して、熱消費率および機関騒音が若干増加することを除いては、完全に無煙で、しかも低汚染の運転が可能である。なお、この場合の熱消費率の増加は、主として機械効率の低下、および冷却損失の増加によることなどを明らかにすることができた。

4. 結 論

本研究は、スパークプラグによる強制着火方式をディーゼル機関に適用することによって、エタノールを燃料とする安定な運転を確保することを目的として行なったものであって、燃焼関連の諸因子に関する最適値を模索すると同時に、エタノールの燃焼特性および機関出力性能を明らかにすることができた。

本研究によって得られた結果を要約すると、およそ以下のとおりである。

1. 多重スパーク方式を採用し、プラグ電極間隙、噴霧角、あるいはスパークプラグの装着位置などを最適化することによって、従来困難であったエタノール単味によるディーゼル機関の円滑でしかも満足すべき性能を広い運転範囲にわたって確保することができた。

2. 本方式における着火に関しては、プラグ電極近傍に形成される局所的な混合気の濃度が最も支配的な因子であって、プラグ近傍に対して安定した可燃混合気が供給されるように設計変数を決定することが燃焼安定上重要である。

3. 本方式によりエタノールを使用して機関を運転した場合には、軽油による通常の運転と比較して、熱消費率および機関騒音が若干増加するものの、排気エミッションは比較的良好である。

4. エタノールによって機関を運転した場合の熱消費率の増加は、主として冷却損失の増加と機械効率の低下とによるものである。

本実験の遂行にあたっては、本学部学生 田村健次君の協力と、とくに点火系に関して NGK(株)の多大な御援助とを得た。また、ガス分析にさいしては、本学大学院学生 金野満および山根浩二両君の協力を得た。ここに記して感謝の意を表する次第である。

参 考 文 献

- 1) T. Chikahisa, *et al.*, SAE paper, 811375 (1981)
- 2) 山田貴延ほか, 日本機械学会論文集, **49** (昭 58), 441, p1087
- 3) 近久武美ほか, 日本機械学会論文集, **48** (昭 57), 433, p1784
- 4) T. Murayama, *et al.*, SAE paper, 830375 (1983)
- 5) 宮本 登ほか, 日本機械学会論文集, **48** (昭 57), 433, p1775
- 6) 小宮山邦彦, 自動車技術, **36** (昭 57), 2, p119