



# HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	グロープラグ点火方式によるアルコール燃料のディーゼル機関における利用に関する研究
Author(s)	村山, 正; Murayama, Tadashi; 宮本, 登 他
Citation	北海道大學工学部研究報告, 123, 27-41
Issue Date	1984-10-31
Doc URL	<a href="https://hdl.handle.net/2115/41892">https://hdl.handle.net/2115/41892</a>
Type	departmental bulletin paper
File Information	123_27-42.pdf



## グロープラグ点火方式によるアルコール燃料の ディーゼル機関における利用に関する研究

村山 正 宮本 登  
近久 武美 小川 英之

(昭和59年6月30日受理)

### Experimental Study on the Glow Plug Aided Alcohol Driven Diesel Engine

Tadashi MURAYAMA, Noboru MIYAMOTO,  
Takemi CHIKAHISA and Hideyuki OGAWA

(Received June 30, 1984)

#### Abstract

Forced ignition with glow plugs has a great potential for the utilization of alcohol fuels in diesel engines. However, the installation of glow plugs may cause misfiring or knocking in parts of the operating range. This paper presents an analysis of the factors influencing the ignition characteristics of ethanol in a glow plug-assisted diesel engine; these factors may be classified into two categories: the factors related to the temperature history of the droplets before contact with the glow plug, and those related to the probability of contact. By optimizing these factors, the combustion difficulties were successfully eliminated over the whole operating range, and engine performance comparable with conventional diesel operation was achieved.

#### 1. 序 論

現在、アルコールは、石油代替燃料として最も有望視されているものの一つである。しかし、これを内燃機関、特に熱効率の高いディーゼル機関において利用することは、そのセタン価が極めて低いために決して容易ではない。

これまでに、低着火性の対策として、ブレンド燃料法<sup>1)</sup>、複燃料供給法<sup>2)</sup>、あるいは強制着火法<sup>3)</sup>などの方法が試みられてきた。これら各種方式の中で、スパークプラグによる強制着火方式は、アルコール燃料単味で機関を運転し得る長所を有するものの、点火系において比較的高電圧を必要とすると同時にフラッシュオーバーが発生し易いために圧縮比を低く押さえなければならないという難点がある。さらに、スパークプラグ方式では、プラグギャップ近傍に適正な混合気を形成しなければならず、運転条件等によって着火性が極めて敏感に左右される。これに対してグロープラグによる強制着火は、圧縮比や混合気によっては影響を受けにくく、またアルコールの表面着火性が高いなどの観点から、アルコールを極めて合理的に利用し得る一つの方法と考えられ

る。加えて、強力な点火源がありさえすれば、アルコール燃料を使用して、従来のディーゼル燃料を上回る性能と排気特性とが得られることが既に示されており<sup>4)</sup>、その意味からもグロープラグ方式は極めて実用性の高い方法と言えよう。なお、グロープラグは、スパークプラグに比べて大きな供給電力を必要とするために、一般に敬遠されがちであるが、その形状や位置を適切に選定することによって、電力の供給無しで高温を維持することも不可能ではない。

このようにグロープラグ方式は、種々の利点を有しているにもかかわらず、現在のところごくわずかの研究例しか見当たらない。たとえば Nagalingam ら<sup>5)</sup>は、燃焼室に対して電熱線を巻き付けることにより、直噴機関におけるエタノールおよびメタノールでの運転を試みている。森<sup>6)</sup>は、グロープラグ付きの予燃焼室式機関を用いて、5～10%のヘキシルナイトレートを混合したエタノールを燃料とした実験を行っている。また Nanni ら<sup>7)</sup>は、直噴機関に対してグロープラグを挿入し、アルコールで運転した性能を、ガソリン機関に対してアルコールを使用した場合と比較している。一方、宮本<sup>8)</sup>は、2次元形状を持つ渦室内にグロープラグを装着して、その位置と温度とが機関性能に対して及ぼす影響について実験を行っている。しかし、これらの研究においては、いずれも一部の運転条件、特に高回転・軽負荷において、失火またはノッキングが生じることが報告されている。

本研究は、グロープラグを装着したディーゼル機関においてエタノールを燃料として機関を運転したさいの、着火性に対する各種影響要因を実験的に解析すると同時に、広範な運転条件のもとでの円滑な着火運転を実現することを目的として行ったものである。

実験の結果、グロープラグによるエタノールの着火性は、グロープラグの位置、長さ、あるいはその温度などのほかに、燃料噴射量、噴射時期、機関回転速度、圧縮比、吸気温度、あるいはエタノールの含水割合などの影響を受けることが明らかになった。そして、これらの諸因子の影響は、着火性を支配する二つのカテゴリー、すなわち混合気がグロープラグに接触するまでの温度経過に依存するものと、その接触頻度に依存するものとに集約して考えることができた。また、そのような着火のメカニズムの解析から、安定した着火を確保する上でのグロープラグの位置の重要性が示されるとともに、再循環流れの中にグロープラグを挿入した場合に最も良好な着火性が得られること、およびグロープラグ位置を最適化した機関の性能は、軽油による従来の運転と比較して遜色のない、良好なものであることなどが明らかになった。

## 2. 実験装置、および方法

供試機関は、横形、水冷、単気筒の予燃焼室式ディーゼル機関であり、そのボア・ストロークは96×110mm、圧縮比は25.0、定格出力は8.8kW/2,200rpmである。

グロープラグは、図1に示すようにA、B、Cの3通りの位置に設定した。ここで、Aは供試機関本来のグロープラグ位置であり、グロープラグへの入力は80Wである。グロープラグ温度は、先端から5mmの表面位置でC-A熱電対を用いて測定した。この場合、プラグを回転させてプラグ円周方向の温度変化を測定したところ、最大でわずか20°Cであり、熱電対の方向による温度の差異は無視し得る程度であった。

排気の分析に関しては、吐煙にはボッシュスモークメータを、NO<sub>x</sub>にはCLDを、またHC、未燃エタノール、およびアルデヒドの測定にはパラパックQを充填剤としたガスクロマトグラフィをそれぞれ用いて、測定を行なった。

燃料には純度95%の変性エタノールを使用した。

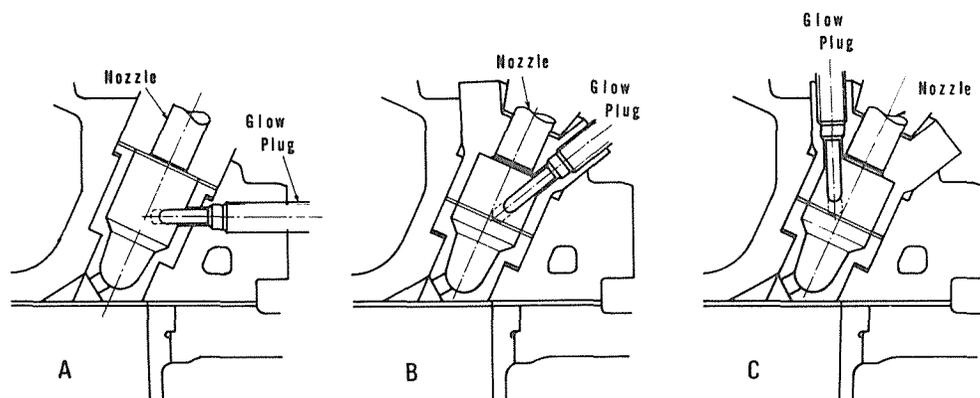


図1 供試予燃焼室とグロープラグの位置

一方、着火性に対する再循環流の効果に関する実験に際しては、2次元形状を持つ渦室をボア・ストロークが102×106mmの4サイクル機関に取り付けて、3.4節の図13に示されるように、渦室内に設けた突起下流に再循環流を形成して、突起の高さやプラグとの相対位置を変えて機関を運転した。

燃焼室内の流れに関する可視化実験にさいしては、供試機関の2倍のスケールを持つアクリル製流水模型を用いて、ハイドロリックアナロジ<sup>9)</sup>により時間スケールを約1,000倍に拡大して観察した。また副室内の火炎の撮影は、2次元形状を持つ渦室の片側をアクリル板にして、高速度カメラを用いて行った。

### 3. 実験結果、および考察

#### 3.1 グロープラグ方式における不安定着火現象

アルコールは比較的良好な表面着火特性を持っているが、グロープラグを任意に挿入しただけでは、広範な運転条件下で円滑な着火は得られ難い。

図2は、供試機関固有のグロープラグ位置でエタノールを燃料として機関を運転したさいの、プラグ温度 ( $T_{glow}$ )、燃焼最高圧力 ( $P_{max}$ )、および着火遅れを、機関回転速度に対してプロットしたものである。この場合、正味平均有効圧 ( $BMEP$ ) は0.1MPaに、燃料噴射時期は $16^\circ$  CABTDCに保った。図中、斜線部分は、失火により運転が不可能であった領域を示している。すなわち、回転速度が増加するにつれて着火遅れは次第に増大し、1,500rpm付近から失火領域に入る。さらに回転速度を上げると、約2,000rpm以上で再び運転が可能となり、回転速度の上昇とともに着火遅れは減少している。一方、プラグ温度は、失火領域近傍で最も低くなっている。観察結果によると、この温度の低下は失火により生じたものであり、温度低下によって失火が生じたものではない。

図3は、プラグ温度と機関騒音とのほかに、失火が生じる限界の最低正味平均有効圧 ( $BMEP_{min.}$ ) をプロットしたものである。高負荷においては失火が生じないが、負荷が低くなると失火が生じ易くなり、その程度は回転速度によって異なることがわかる。たとえば、0.4MPa以上の負荷ではすべての回転速度範囲で失火なしに運転が可能であるが、無負荷の運転は1,200rpm以上では不可能である。 $BMEP_{min.}$ の最大値は1,800rpm付近に存在し、この領域で失火が最も生じ易いのは、図2の結果と良く一致している。またこの領域では着火遅れが長くなることに

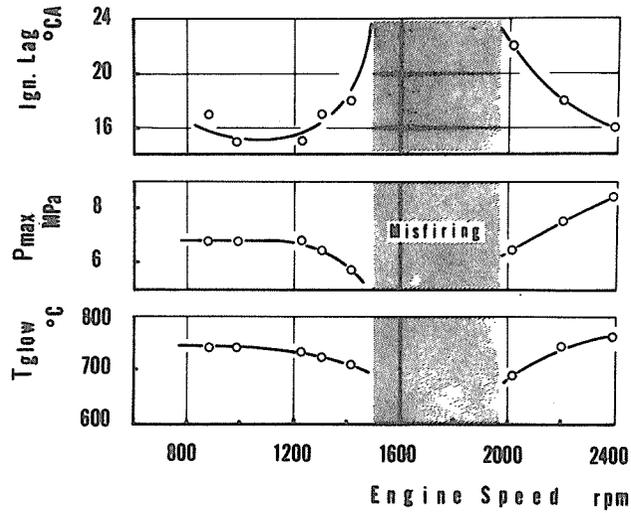


図2 低負荷における失火発生回転速度領域  
 グロープラグ位置：A, BMEP: 0.1Mpa  
 燃料噴射時期：16° CABTDC

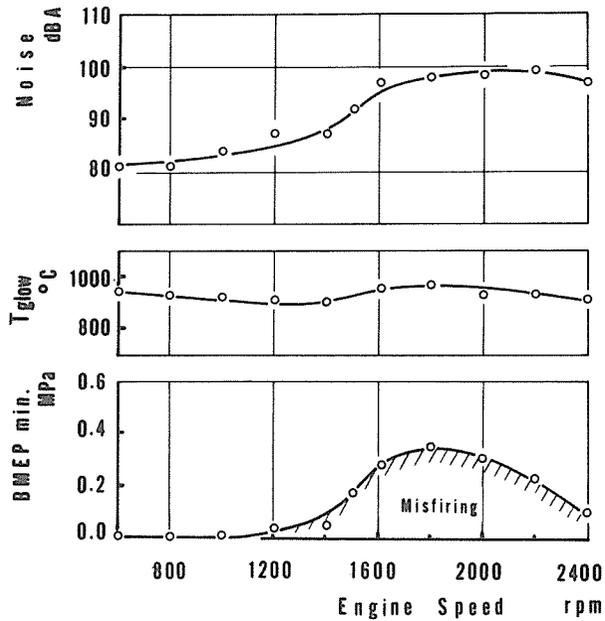


図3 回転速度に対する失火限界正味平均有効圧  
 グロープラグ位置：A,  
 燃料噴射時期：13° CABTDC (at2400rpm)

ともなっており、圧力上昇率が極めて高くなり、いわゆるノッキング的燃焼となることが観察され、1,500rpm 近傍の大幅な騒音の増加にそれがあらわれている。

なお、 $BMEP$ が0.1MPaにおける失火領域は、図2に比べてかなり広がっているが、これは燃料噴射時期を遅延させたために生じたものである。したがって燃料噴射時期も着火性に対して影響を及ぼす一因子であることが示唆されている。

このように、グロープラグ方式における着火性は、機関回転速度、負荷、あるいは燃料噴射時期などの影響を受けることから、すべての運転条件で円滑な着火を得るためには、着火性に対する各種の影響因子の効果を明らかにすることが必要である。

### 3.2 着火性に対して影響を及ぼす各種の因子

a) 負荷、および機関回転速度 既に前節で述べたように、失火は軽負荷で生じ易い。これはおもに壁面温度が低いことと、燃料の量が少なくなることによってグロープラグに噴霧が接触する確率が減少したためと考えられる。

一方、機関回転速度は、図2および図3に示したように着火性に対して極めて大きな影響を及ぼし、1,500rpm~2,000rpmで失火が最も生じ易くなる。

b) 燃料噴射時期、および吸気温度 図4は、無負荷運転において失火が生ずる限界における燃料噴射時期( $\theta_{inj}$ )を、機関回転速度に対して示したものである。一般に、噴射時期を極端に進めない限り、噴射時期が早いほど失火は生じにくい。したがって( $\theta_{inj}$ )は、先に示した( $BMEP_{min.}$ )とともに着火性を表すもう一つの指標とすることができる。この図においても1,800rpm付近で $\theta_{inj}$ が最も早い値となっており、この回転速度において失火が最も生じ易いことがわかる。ただし、この図はグロープラグ位置がB(図1参照)の場合のものであり、Aの位置では、どのように噴射時期を進めても1,500rpm~2,000rpmでの着火運転は不可能であった。すなわち、プラグ位置Bでは、噴射時期を $14^{\circ}CABTDC$ よりも進めることにより、失火なしにすべての回転速度範囲での運転が可能となることがわかるが、依然として1,500rpm~2,000rpmでは圧力上昇率の高いノッキング的燃焼しか得られなかった。

なお、この図では、着火性が吸気温度によっても影響を受けることが示されており、吸気温度を高めるほど着火性が向上することが明らかである。

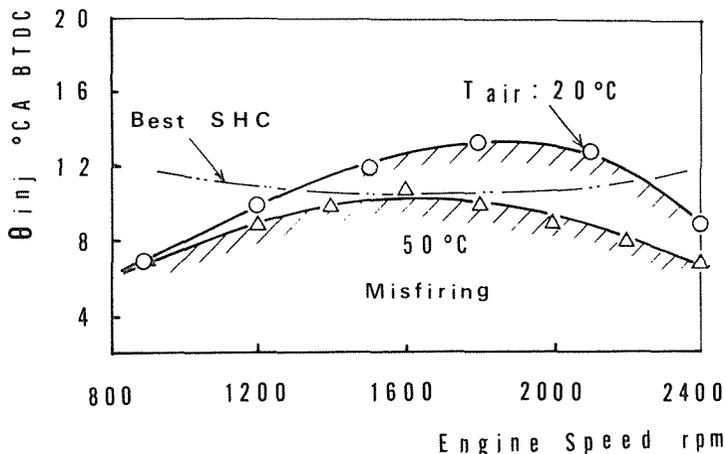


図4 回転速度に対する失火限界燃料噴射時期(吸気温度の影響)  
グロープラグ位置: B,  $BMEP = 0MPa$

c) グロープラグの位置とその突出長さ 図5は、グロープラグ温度と  $BMEP_{min}$  とを図1に示した3通りのプラグ位置について比較したものである。プラグ位置をBまたはCに設定することによって、着火性が著しく改善されており、プラグ位置の重要性が明確に示されている。なお、BまたはCの位置においてわずかに残っている失火領域は噴射時期をわずかに進めることによって完全に除去することが可能であった。

図6は、失火限界噴射時期( $\theta_{inj}$ )を突出長さが異なるプラグについて比較したものである。図において、先に使われたものより5 mm 長いプラグを使用することによって、特に中回転速度以下の速度範囲において着火性を大幅に改善し得ることがわかる。ただし、プラグの突出長さを長くし過ぎた場合には、最高出力の低下が認められた。

このように、グロープラグの位置と突出長さとは、着火性に対して極めて重要な因子であると言えることができる。

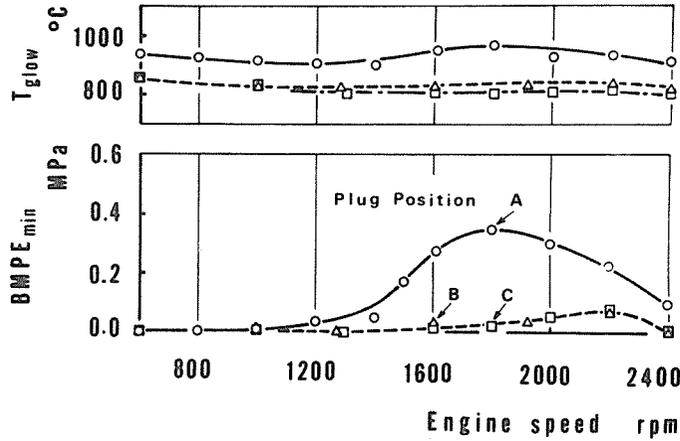


図5 回転速度に対する失火限界正味平均有効圧 (グロープラグ位置の影響)  
燃料噴射時期: 13° CA BTDC (at 2400rpm)

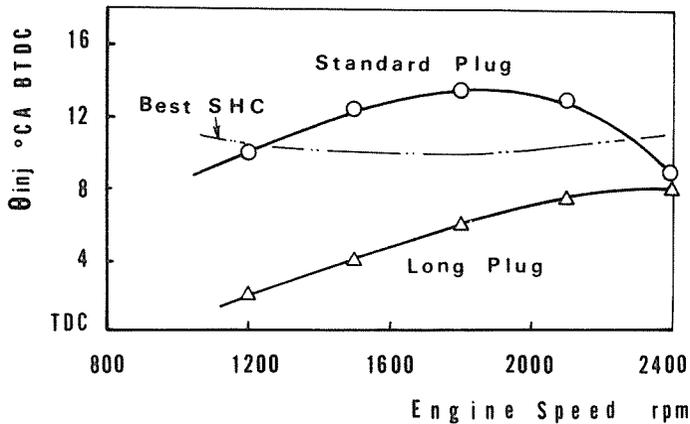


図6 回転速度に対する失火限界燃料噴射時期 (グロープラグ突出長さによる差異)  
グロープラグ位置: B,  $BMEP$ : 0 MPa

d) プラグ温度 図7は、 $BMEP=0.5\text{MPa}$ 、 $1,500\text{rpm}$ における燃焼最高圧力および着火遅れを、プラグ温度に対して示したものである。この場合、プラグ温度は供給電力を変えることによりコントロールした。図にみられるように、プラグ温度が約 $740^{\circ}\text{C}$ 以上の場合においては、プラグ温度に対して着火遅れや燃焼最高圧力はほとんど変化しないのに対して、 $740^{\circ}\text{C}$ 以下になると突然失火が生じた。したがって、プラグ温度はある温度以上に保たなければならないが、それ以上の過熱は無意味であると言えよう。

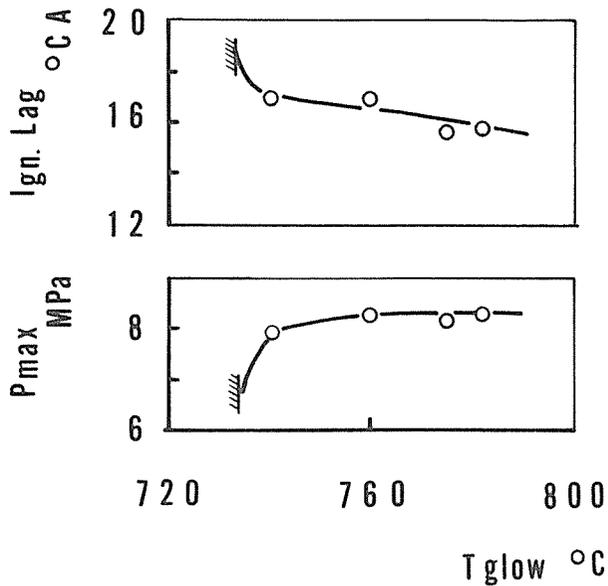


図7 プラグ温度が燃焼状態に対して及ぼす影響  
グロープラグ位置：A,  $BMEP: 0.5\text{MPa}$   
 $1500\text{rpm}$

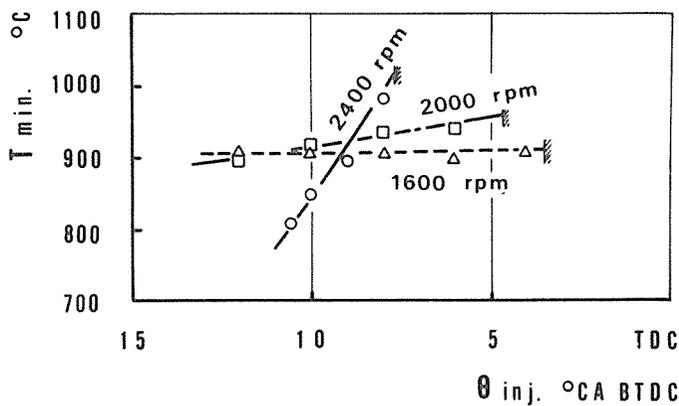


図8 燃料噴射時期に対する失火限界グロープラグ温度  
(回転速度による影響)  
グロープラグ位置：B

図8は、着火を維持する上で必要なプラグ最低温度  $T_{min}$  を、燃料噴射時期に対してプロットしたものである。噴射時期を進めるにつれて  $T_{min}$  は低下しており、一方、一定供給電力では噴射時期を進めるほどプラグ温度が増加することから、先に見られたような、噴射時期を進めるほど着火し易くなる現象を理解することができる。また、図から、回転速度の違いによって  $T_{min}$  の傾向が大きく異なることがわかる。すなわち、1,600rpm および2,000rpm では、 $T_{min}$  は  $\theta_{inj}$  によってあまり大きくは変化せず、したがって着火性は噴射時期よりもむしろプラグ温度に依存していると言えることができる。これに対して2,400rpm では、その線の傾きが非常に大きく、着火性はプラグ温度よりも噴射時期に依存していることがわかる。

このような差異は、着火に要する時間的條件の違いによって生じたものと考えられる。すなわち、回転速度が高い場合には着火遅れに対応する時間間隔が短いため、その着火遅れ期間中の温度、あるいは圧力に対して大きく影響するところの噴射時期が、より支配的な因子になったものと考えられる。しかし、この説明だけでは、2,400rpm での  $T_{min}$  が、より低回転速度での  $T_{min}$  に比べて低下している現象を説明することができない。なぜならば、より高い回転速度では着火に対する時間的條件が一層厳しくなるため、低い回転速度の場合に比べて  $T_{min}$  は高くならなければならないからである。この点に関しては3.3節において詳述する。

e) 圧縮比 図9は、副室容積比を0.467に保ちながら、圧縮比を3通りに変化させたさいの  $BMEP_{min}$  をプロットしたものである。図に見られるように、 $BMEP_{min}$  は圧縮比が増加するにつれて減少しており、圧縮比を高くするほど着火性が向上することがわかる。

以上の結果を総合すると、着火特性は、機関回転速度、正味平均有効圧、燃料噴射時期、吸気温度、グロープラグの位置と突出長さ、プラグ温度、あるいは圧縮比によって大きく影響されるということができる。

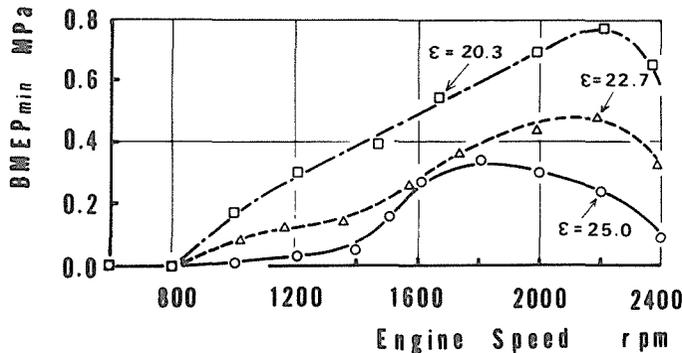


図9 回転速度に対する失火限界正味平均有効圧（圧縮比の影響）  
グロープラグ位置：A

### 3.3 グロープラグ方式における着火のメカニズム

一般に着火は、以下に示すような Arrhenius 型の式が満足されたときに生ずるとされている<sup>10)</sup>。すなわち

$$\int_0^{\tau} \frac{1}{\sigma} dt = 1$$

$$\sigma = A p^{-B} \phi^C \exp(E/RT)$$

ただし、 $\tau$  は着火遅れ時間、 $t$  は時間、 $p$  は圧力、 $\phi$  は当量比、 $E$  は活性化エネルギー、 $R$  はガス定数、そして、 $T$  は温度をそれぞれ表しており、 $A$ 、 $B$ 、 $C$  は定数である。

したがって着火遅れ時間  $\tau$  は、当量比、圧力、および温度の時間経過の関数であると言えるが、特に温度経過は着火遅れに対し最も強く関与する。

$1/\sigma$  を時間的に追跡すると、おおむね図10に示されるような曲線が得られる。すなわち、噴射

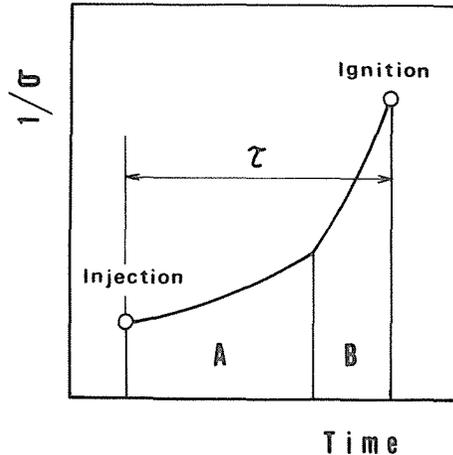


図10 着火遅れ期間中における  $1/\sigma$  の推移  
(模式図)

された燃料は周囲から熱を奪い、圧縮にともなう温度上昇と相まって次第に温度上昇する（図中の A の領域）。そして混合気がグロープラグ近傍に達すると急激に温度が上昇して着火に至る（図中の B の領域）。A から B への遷移点は、混合気がプラグに接触するまでの時間とその間の温度とに依存しているものと推定される。またこの場合、着火は  $1/\sigma$  の積分値、すなわち A と B の面積の和が 1 になったときに生ずる。したがって、できるだけ着火遅れを短縮し着火性を向上させるためには、この二つの曲線の絶対高さを大きくすれば良い。それには燃料がプラグに接触するまでの温度をできる限り高く（温度経過）すると同時に、燃料が高温のプラグに速やかにかつ大規模に接触すること（接触確率）が大切であると言えよう。前者の、いわゆる温度経過は、吸気温度、圧縮比、そしてプラグ温度によって影響され、一方、また後者の接触確率はプラグ位置とその突出長さに依存すると考えられる。また、機関回転速度、負荷、あるいは噴射時期はこの両者に影響を与える因子であると思われる。すなわち、前節において列挙した着火に影響を及ぼす種々の因子は、すべてこの二つのカテゴリーに集約して考えることが可能である。

次に、図3に見られるような回転速度に対する  $BMEP_{min}$  の凸部、および図8における異なる回転速度での  $T_{min}$  線の交錯に対する原因について考えてみる。その一つの要因として、回転速度が増加すると摩擦馬力の増加などにより、正味平均有効圧が同一でも実質的な負荷が増加することが考えられる。すなわち、負荷が増し、燃料噴射量が増加したために着火性が向上し、高回転速度域でむしろ  $BMEP_{min}$  や  $T_{min}$  が低下したものと考えられるが、このほかにも一つの大きな原因が考えられる。図11は、機関をモータリングしたさいの圧縮最高圧力とそれに対応する温度の計算値を示したものである。図に見られるように、回転速度が増加するにつれて、冷却損失の減少や実質圧縮比の増加などのために、圧縮最高圧力および圧縮温度が増加している。したがって、回転速度が増加するにつれて、着火までの時間的な余裕がなくなるために失火が生じ易くなる一方においては、圧縮温度が増加するために、両者の相反する作用によって、図3に見られたような失火領域のピークが現れたものと推定される。

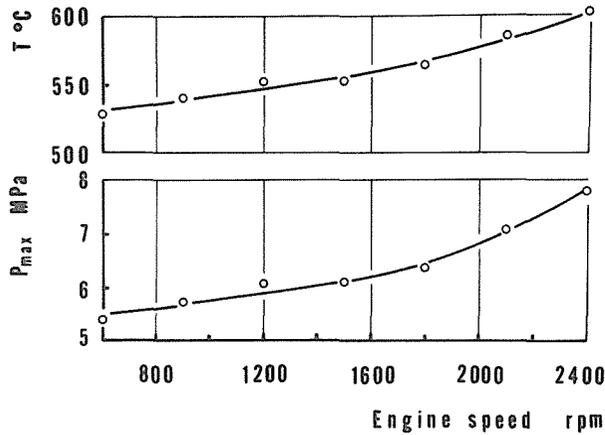


図11 回転速度に対する圧縮最高圧力および燃焼室内温度

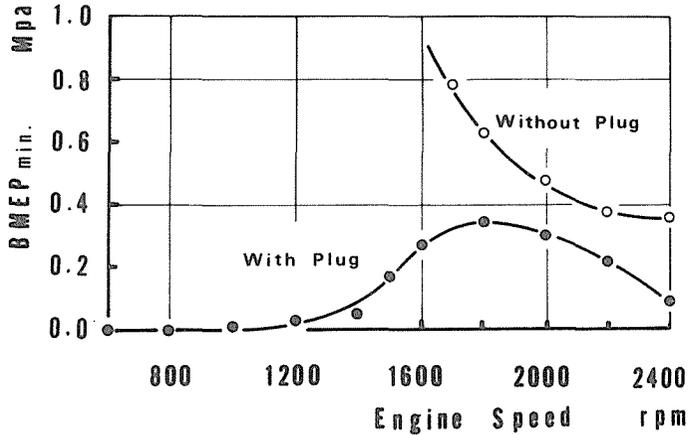


図12 回転速度に対する失火限界正味平均有効圧  
 (グロープラグの有無による差異)  
 グロープラグ位置：A,  
 燃料噴射時期：13° CA BTDC (at 2400rpm)

なお、これらの説明に対する妥当性は、図12において、より明確に認めることができる。すなわち、図は、プラグの有無による  $BMEP_{min.}$  の差異を比較したものであるが、プラグを装着しない場合には、その着火は図10の A 領域においてのみ生ずることとなるため、機関回転速度の増加にともなって圧縮温度が増加し、 $BMEP_{min.}$  は低下している。ただし、回転速度がさらに増加した場合には、時間的条件が厳しくなるので、 $BMEP_{min.}$  は再び増加するものと推定される。一方、グロープラグが挿入された場合には、特に低回転速度域で B 領域が大きく付加されるため、 $BMEP_{min.}$  は著しく低下する。しかし、回転速度の増加にともなってグロープラグによる温度上昇の効果が小さくなり、着火特性は、プラグのない場合のそれに近づいている。図3における凸部と、図8における曲線の交錯はこのようにして生じたものと考えられる。

以上の実験と解析の結果を総合すると、広範な運動条件下で円滑な着火を得るためには、圧縮比を比較的高く保ちながら、プラグ突出長さや位置とを最適化することが最も重要であると言うこ

とができる。ただし、この場合、プラグ長さを長くし過ぎると出力が低下すること、また燃料噴射時期は早いほど着火性の面で好ましいが、機関騒音と熱効率が悪化することなどから、プラグの突出長さや位置とはそれぞれ最適値が存在する。

なお、吸気加熱や排気再循環は、それによって圧縮温度を上昇させることができるので、軽負荷運転時の着火性向上に対して効果的である。

### 3.4 最適プラグ位置に関する検討

先に、プラグの位置は、着火と燃焼特性とを改善する上で極めて重要な因子であることを示したが、本節ではその最適位置についてより詳しい検討を加える。

図5において、プラグ位置 A に比べて、B または C では着火性がきわだって良好なことを示したが、その位置は予燃焼室上方の隅部であることがわかる。この隅の部分では、圧縮行程中に主室から流入したガス流れがよどみを作ることが考えられ、それが着火性の向上に大きく関与していることが考えられる。

このことを確かめるために図13に示すような二次元形状を持つ渦室を試作し、旋回流中に突起を設けることによってプラグ位置に再循環流を形成し、突起の有無による比較を行ったが、その場合、突起の位置や高さを種々変えて実験を行った。また、噴霧が直接プラグに当たると、再循環流の効果のみを観察することができないので、噴霧は突起のかなり上流の壁面に衝突させ蒸発するようにした。また、突起自体が熱点になり、着火性を向上させることを防止するために、突起は水冷構造とした。

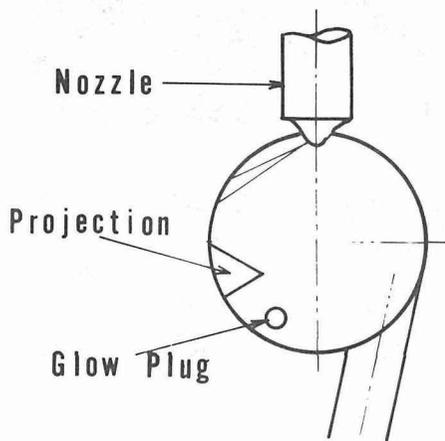


図13 再循環流をともなう試作二次元渦室

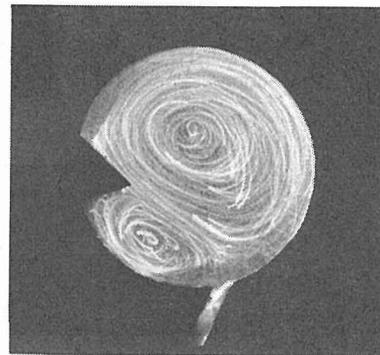


写真1 流水模型による渦室内の流動状態(1,200rpm相当)

写真1は、流水模型によって渦室内の流動状態を可視化した結果の一例であり、上死点前20°から0°までの現象に対応している。写真にみられるように、渦室内には二つのうず流が生じており、突起の下流には比較的小さな再循環流が確かに存在していることがわかる。機関の運転にさいしては、この結果を参考にして、再循環流のほぼ中央部にグロープラグを装着することにした。

図14は、突起の有無による着火遅れの差異を、機関回転速度に対してプロットしたものである。突起の効果は、回転速度の高い領域で顕著に現れており、突起が存在しない場合には、噴射時期をかなり早めても失火が生じ、2,000rpm以上の高速着火運転は不可能であった。これに対して突起を設けた場合には、噴射時期を極端に遅らせても円滑な運転が可能であった。

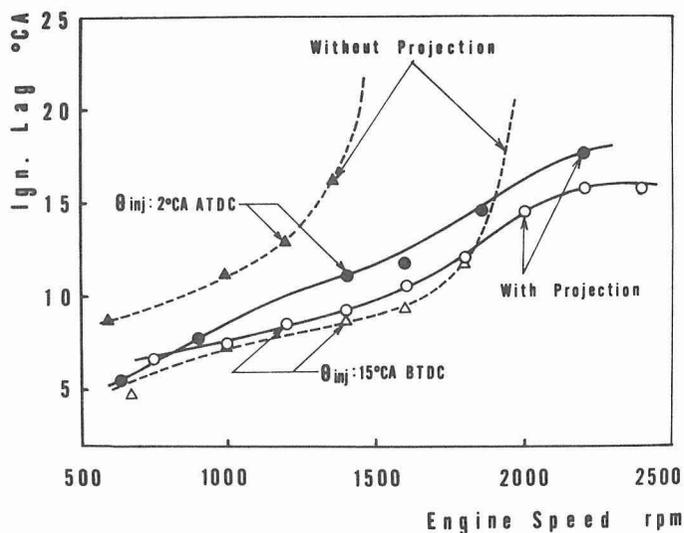


図14 突起の有無による着火遅れの差異  
BMEP: 0 MPa

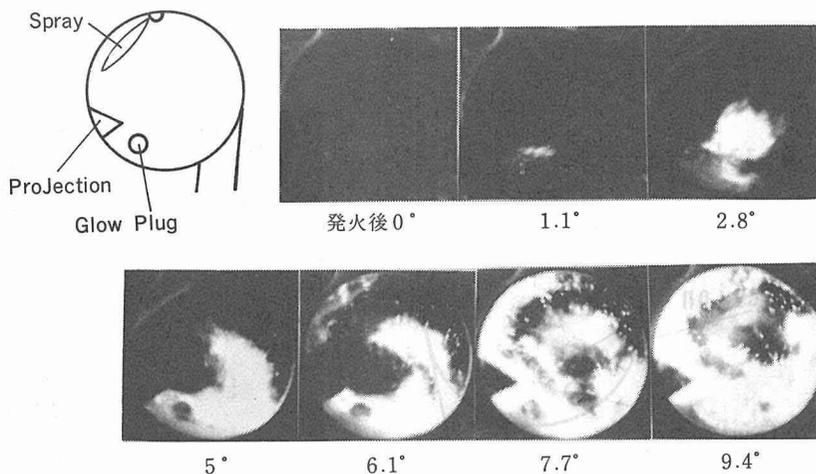


写真2 渦室内における火炎の挙動

写真2は、高速度カメラによって渦室内における火炎の挙動を撮影したものであるが、着火は突起とグロープラグの中間付近で生じており、その後、火炎はうず流れの下流へと広がるとともに、熱混合効果によって燃焼室中心部へと進行していくのがわかる。この場合、突起後部の再循環域は火炎を常に保持しているのが認められ、再循環域による保炎効果が明らかになった。

したがって、良好な着火特性を得るには、グロープラグは流れのよどみ域、あるいは再循環域に位置させるのが良いと言えよう。なお、着火が比較的容易な運転条件下では、プラグへの通電を中止しても、着火特性に大きな変化が生じないことが多く、したがって、プラグの位置や形状等を工夫することによって、プラグへの通電なしに機関を円滑に運転し得るものと思われる。

一方、二つのプラグを図1のBとCの位置にV字形に挿入することを試みた結果、着火性は著

しく向上し、そのインジケータ線図は着火時期を判断できないほどスムーズなものとなったが、着火遅れが過度に短縮したことによって、機関最高出力が約10%程度低下する欠点が生じた。

### 3.5 グロープラグ点火法によるアルコール燃料での機関性能と排気特性

図15は、グロープラグを B の位置に装着し、エタノールで運転した場合の熱消費率と機関騒音

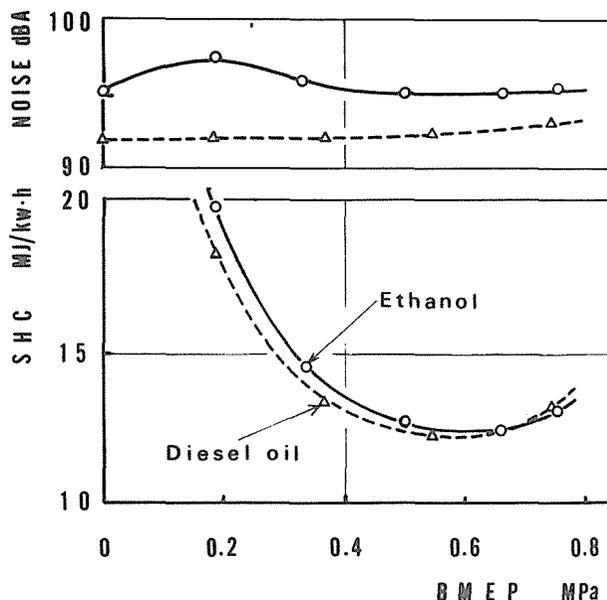


図15 グロープラグ点火方式でのエタノールによる運転と軽油による通常の運転との機関性能の比較  
グロープラグ位置：B, 2400rpm.  
燃料噴射時期：10° CA BTDC

とを軽油により運転した場合の結果と比較したものである。図から、エタノールにおける熱消費率は軽油による通常の運転とほぼ同程度であり、良好な熱効率を示すことができる。しかし、機関騒音は軽油に比べて2～4 dB高くなっており、特に軽負荷域でその傾向が著しい。これは、プラグ位置や長さを工夫したにもかかわらず、着火遅れがまだ十分に短縮していないことによるものである。しかし、2本のプラグをBおよびCの位置にV字形に装着した場合には、機関騒音は92～93dBとほぼ軽油なみになったことから考えて、さらにプラグの位置や形状について工夫をこらすならば、軽油とほぼ同等の機関騒音および熱効率が実現されよう。

図16は、排気分析の結果を示すものである。アルコール燃料を使用した場合の $\text{NO}_x$ や吐煙は軽油に比べてかなり減少しているが、アルデヒドや未燃エタノールが特に軽負荷域で大幅に増加している。この実験では燃料噴射時期を高負荷域で熱消費率が最適となるように調整し、そのまま固定したため、低負荷域では着火遅れの増大にともない着火がかなり遅延している。すなわち、燃料噴射時期を軽負荷での最良値に調整したならば、より良好な排気特性が得られたものと思われる。

いずれにしても、軽負荷運転時における機関騒音と排気特性の悪化が、本方式の問題点であると考えられるが、このことは、先に述べたようにグロープラグの位置や形状、あるいは燃焼室形状等を最適化することによって、その克服が可能であると考えられる。

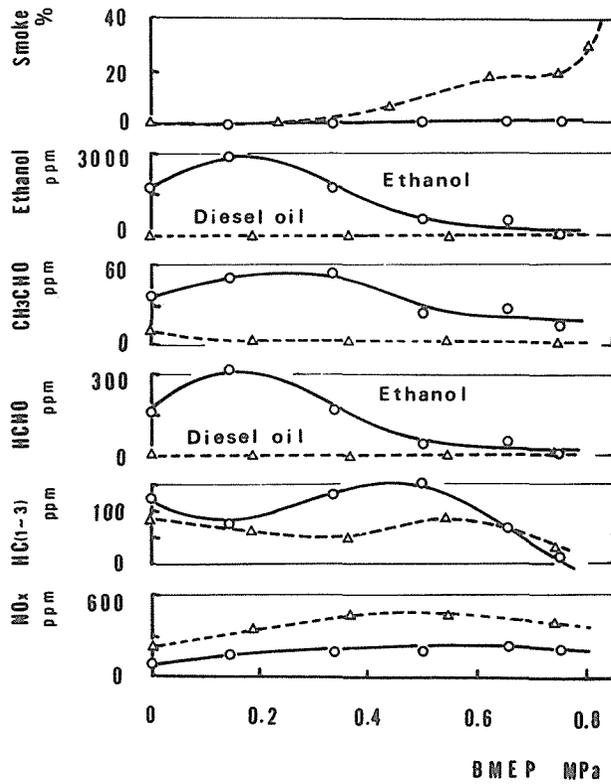


図16 グローブプラグ点火方式でのエタノールによる運転と軽油による通常の運転との排気特性の比較  
 グローブプラグ位置：B, 2400rpm,  
 燃料噴射時期：10°CA BTDC

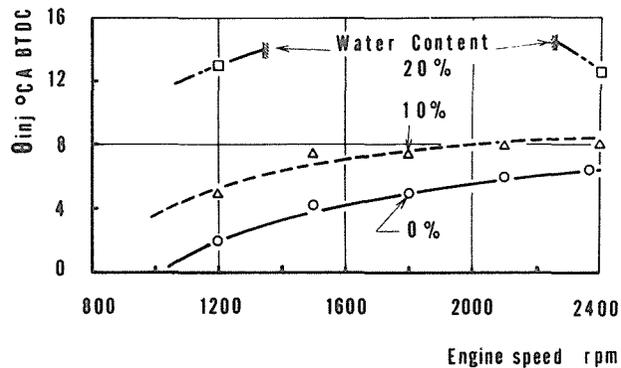


図17 エタノール中の水分含有率が失火限界燃料噴射時期に対して及ぼす影響  
 グローブプラグ位置：B, BMEP: 0 MPa

最後に、含水エタノールを使用した際の着火特性を図17に示す。図は、失火限界の噴射時期を機関回転速度に対してプロットしたものであるが、10vol-%の水の混入により失火限界の噴射時期が約3度早まることがわかる。しかし、熱消費率が最良となる通常の噴射時期では、水の混入によってインジケータ線図や着火性には何らの変化も認められなかった。一方、20vol-%の水を混入した場合には、着火性が著しく悪化し、1,300rpm~2,300rpmの範囲では、いかに噴射時期を進めても失火を防止することが不可能であった。したがって、エタノールに対する約10vol-%までの水の混入によっては、着火および性能上ほとんど問題は生じないと言えよう。

#### 4. 結 論

ディーゼル機関においてエタノールを燃料とした場合、グロープラグ点火を行なったとしても、とくに軽負荷の高回転速度領域において失火が生じ易い。本研究は、グロープラグ点火系における着火のメカニズムやそれに対する影響因子を解析することによって、広い運転領域で円滑な着火運転を可能にすることができた。本研究で得られた結果を要約すると、およそ以下の通りである。すなわち；

1. グロープラグを装着するディーゼル機関においては、各種の燃焼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アルコール燃料での円滑な着火運転が得られる可能性が明らかになった。本研究の範囲では、エタノールでの出力と熱消費率は軽油に比べてほぼ同程度であったが、機関騒音および排気特性は、特に軽負荷域で悪化する。なお、10vol-%までの水の混入は機関性能上何ら問題とならない。

2. 着火特性は、グロープラグの位置、突出長さ、およびその温度のほかに、燃料噴射量、燃料噴射時期、機関回転速度、圧縮比、吸気温度、あるいはアルコールの含水割合などによって影響される。このうちで、機関回転速度、燃料噴射時期、およびプラグの位置が特に重要な因子である。

3. 着火に対する多数の影響因子は、2つのカテゴリーに大別することができる。すなわち、混合気がグロープラグに接触するまでの温度経過に影響するものと、プラグと混合気の接触頻度に影響するものである。着火性を向上させるには、この2つの効果を高める必要がある。

4. 各種設計因子の中で、グロープラグの位置としては、流れのよどみ点かあるいは再循環流中にそれを置くのが効果的である。その一つの方法として、プラグ上流に突起を設けるなどの方法が考えられる。

最後に本研究の遂行に協力していただいた、山崎賢治技官、中華人民共和国からの進修生、朴河鴻氏、および当時学部学生であった及川亜也君に対し、感謝の意を表する次第である。

#### 参 考 文 献

- 1) 山田貴延ほか、日本機械学会論文集、49 (昭58)、441、p.1087
- 2) 近久武美ほか、日本機械学会論文集、48 (昭57)、433、p.1784
- 3) T. Murayama, et al, SAE paper, 840517 (1984)
- 4) 村山正ほか、日本機械学会論文集、47 (昭56)、417、p.904
- 5) B. Nagalingam, et al, SAE paper, 800262 (1980)
- 6) M. Mori, et al, 4th International Symposium on Alcohol Fuel Technology (1980)
- 7) H. Nanni, et al, 5th International Symposium on Alcohol Fuel Technology (1982)
- 8) 宮本登ほか、日本機械学会論文集、48 (昭57)、433、p.1775
- 9) 長尾不二夫ほか、日本機械学会論文集、33 (昭42)、246、p.285