



HOKKAIDO UNIVERSITY

Title	グロープラグを使用する外部着火方式によるうず室式ディーゼル機関の性能
Author(s)	宮本, 登; 佐々木, 啓介; 朴, 祥哲 他
Citation	北海道大學工學部研究報告, 98, 21-30
Issue Date	1980-05-30
Doc URL	https://hdl.handle.net/2115/41613
Type	departmental bulletin paper
File Information	98_21-30.pdf



グロープラグを使用する外部着火方式による うず室式ディーゼル機関の性能

宮 本 登* 佐々木啓介** 朴 祥哲***

上 月 映*** 村 山 正*

(昭和 54 年 12 月 27 日受理)

Effects of Forced Ignition in a Swirl Chamber Type Diesel Engine with a Glow Plug

Noboru MIYAMOTO, Keisuke SASAKI, Shohtetsu BOKU

Noboru KOHZUKI and Tadashi MURAYAMA

(Received December 27, 1979)

Abstract

In this study, we attempted to improve engine performances such as specific fuel consumption, engine noise, NO_x and smoke emissions of exhaust gas simultaneously by means of a forced ignition for the fuel spray in a swirl chamber type diesel engine with the use of glow plug.

As a result of these experiments, the engine performances were found to be influenced somewhat by the location and the temperature of glow plug, and it was also found that a remarkable improvement was made by the selection of a suitable location and temperature of glow plug, compared with the absence of a glow plug operation.

1. 緒 言

ディーゼル機関においては、何らかの手段により燃焼を制御することによって、熱効率のもとより、騒音、NO_x 濃度、あるいは吐煙濃度などの機関諸性能値を改善しうることは言うまでもない。そして、ディーゼル燃焼を支配する種々の要因のうちで、最も重要な因子として、着火遅れが考えられる。一般に、着火遅れを短縮することによって、燃焼初期の急激な発熱を抑えることが可能であるが、着火遅れ期間の過度の短縮は、燃焼を長びかせることにもつながり、かえって出力性能を悪化させることにもなる。しかし、この場合に、着火遅れと同時に燃焼期間をも短縮できるならば、熱効率、あるいは騒音などの性能値を、同時に改善するのが可能である。

本研究においては、着火遅れの短縮と着火後の燃焼促進とを同時に実現することを目的として、グロープラグを使用して、うず室式機関の外部着火運転を行なった。すなわち、加熱されたグロープラグ、または点火プラグをうず室内に挿入することによって、強制的に噴霧の着火を促進させることを試みた。この種の機関は、ガソリン機関とディーゼル機関の中間的な機関、つまりハ

* 機械工学科 熱機関学第二講座

** 苫小牧高専 機械工学科

*** (当時) 機械工学科 熱機関学第二講座

イブリッド機関とも言うべきものであって、多様な種類の燃料を燃焼させることも可能であるために、省資源、あるいは代替燃料開発の観点からも、その実現が期待されているところのものである。なお、直接噴射式機関においては、グロープラグによる外部着火の試みは、すでにいくつかなされているが^{2,3)}、その一つによれば、着火遅れ期間が短縮されるとしても、それに伴って燃焼期間が長くなる傾向が示されており、燃料消費率、および吐煙濃度が悪化するという結果が得られている。

一方、うず室式機関においては、燃料を気流方向に噴射した場合には、噴霧は壁面に沿って流れ、空気との相対速度が小さくなるために、着火遅れは一般に増加する傾向にあるが、強い渦流と適切な熱混合とが行なわれることにより、燃焼が促進される傾向にある。

従って、うず室式機関においては、プラグによる外部着火を行なう場合には、着火遅れと燃焼期間との同時短縮を期待することができる。

そこで本研究においては、うず室内における外部着火源の位置、および温度を変えて、それが機関諸性能値に及ぼす影響について実験を行ない、上記の推論が妥当であることを確かめた。

以下そ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、単筒、水冷、4サイクルのうず室式ディーゼル機関であり、表1にその主要諸元を示す。供試したうず室は、図1に示すように、グロープラグの位置を変え得るように工夫した水冷構造の燃焼室であるが、うず室と主室とは 10ϕ の通路で連絡されている。

実験に際して、プラグの挿入位置としては、図2に示すように、気流に沿って噴霧中心線との間になす角度が、 $\phi=0^\circ, 30^\circ, 60^\circ, 90^\circ, 120^\circ, 150^\circ$ 、および燃焼室中央の7ヶ所に設定できるようにした。そして、これに対する噴射方向としては、噴射ノズル中心線との間になす角度が気流順方向に、 $0^\circ, 20^\circ, 30^\circ, 38^\circ, 50^\circ$ 、および

表1 機関主要諸元

型 式	YANMAR TR-15
内 径×行 程	$\phi 102\times 106\text{ mm}$
行 程 容 積	866 cc
圧 縮 比	14.6
出 力	15 ps/2600 rpm
う ず 室 容 積	63.5 cc
容 積 比	35.6%
噴 口 径	$\phi 10\text{ mm}$
ノズル開弁圧	150 atg

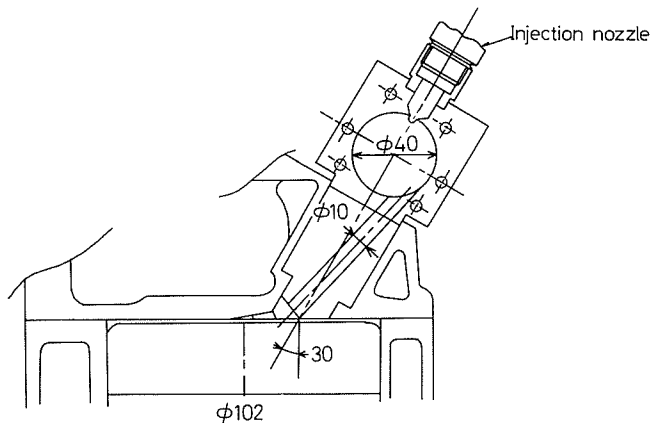


図1 燃 焼 室 略 図

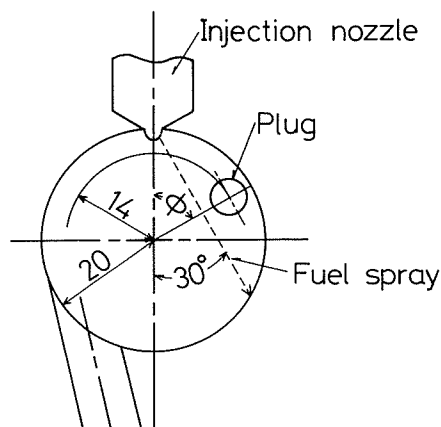


図2 グロープラグ装着位置、および燃料噴射方向

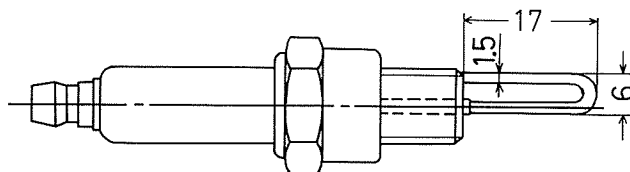


図3 供試グロープラグ

−30° の6つの方向を選び、それぞれの場合に対して、負荷あるいは噴射時期を変えて性能試験を行なった。なお、プラグの効果を調査する目的で行なった大部分の実験は、比較的良好な燃料消費率が得られた噴射方向、すなわち、噴射ノズル中心線から気流順方向に30°の位置を設定して実施した。

外部着火のための点火源としては、点火プラグ、グロープラグ、あるいはサイリスタなどによる高周波着火源などが考えられるが、本実験では、まず点火プラグの使用を試みた上で、図3に示すように、点火プラグの先端にニクロム線(1.5φ)を溶接したタイプの一種のグロープラグを試作して使用した。この際、プラグ温度の調節は交流変圧器により、供給電流を0~70 Aの範囲で変化させて行なった。またプラグ温度の測定は、AC熱電対をニクロム線部に接触させて行なった。

機関騒音の測定は、指示騒音計(B&K 2203)により行なったが、測定位置としては、機関中心より1 m、床面よりの高さ1 mの点を設定した。またNO_x濃度は、ケミルミ方式のガス分析計(東京プロセス社製、Model 8440)により、吐煙濃度はボッシュ式スモークメータによって測定した。また、燃焼状況を把握するために主燃焼室に指圧計を取りつけて機関を運転し、インジケータ線図を観察、記録した上で、熱発生率および等容率などの算出を行なった。なお、機関の運転は、回転速度1200 rpm、冷却水出口温度80°C一定として行なった。

3. 実験結果、および考察

3.1 点火プラグによる実験

まず最初に、点火プラグを用いることによって、軽油、および自動車用レギュラーガソリンの噴霧に対する強制着火を試みた。

機関による実験に先立ち、大気中において、点火プラグによる軽油噴霧に対する着火の状況について調べた結果、噴射圧力150 atg、点火時期を噴霧到着直後とした場合に、大気中での着火率が最大となる点火プラグの位置は、ノズルの先端から約150 mm離れた噴霧のほぼ中央部であることが明らかとなった。なお、この位置での着火率は約50%であったが、点火時期の選定によっては、着火率は若干向上させ得るものと思われるので、このことにより点火プラグによる軽油噴霧の着火の可能性が一応確認されたものと考えた。

つぎに実際の機関において、点火プラグによる強制的な外部着火の効果について調べてみた。

なおこの場合、燃料としては軽油ならびに自動車用レギュラーガソリンを用い、また燃料噴霧は、うず室の気流順方向30°に噴射させ、点火プラグは、噴霧が直接に衝突する位置に設定した。使用機関の圧縮比は14.6と低く、実験の都合上燃焼室をシリンダヘッド外部に装着したために、冷却損失が大きくなり、軽油を使用した場合であっても、冷始動は困難であったが、火花点火を行なった場合には、その時期を適当に選定することにより、比較的良好な始動性が得られた。しかし発火運転時においては、点火時期の如何に拘らず、点火プラグの作動の有無によってインジケータ線図上に明確な変化は観測できなかった。

一方、レギュラーガソリンを使用した場合には、点火プラグを作動させない時には、着火が非常に不安定で、圧力上昇率ならびに騒音が極めて大きく、連続した安定運転は不可能であった。しかし、点火プラグによって外部着火を行なうことにより、着火および回転速度は安定し、圧力上昇率ならびに騒音は著しく減少して、その結果、中負荷程度までの負荷運転が可能となった。ただし、この場合には失火サイクルが若干存在したために、燃料消費率はかなり高い値を示した。

以上述べてきたように、軽油、およびレギュラーガソリンを用いて、点火プラグによる外部着火を行なった場合には、機関の安定運転に対して十分な効果が得られなかったために、点火プラグに代えてグロープラグを用いて実験を行なった。その結果、着火ミスはほとんどなくなり、運転性能あるいはインジケータ線図から見て、顕著な改善効果が認められた。以下に、燃料として軽油を用いた場合の、グロープラグによる外部着火の結果について記述する。

3.2 グロープラグの温度

グロープラグの位置、および温度が、機関諸性能値に与える影響について調べるに先立って、プラグの温度に対して検討を加えた。図4は、平均有効圧 $P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$ で機関を運転して、3種類のプラグ位置で供給電流を変化させた際の、燃料噴射時期に対するプラグ温度の関係を示したものである。

図より明らかなように、いずれのプラグ位置においても、供給電流の減少、あるいは燃料噴射時期の遅延にともなって、プラグ温度は低下する傾向を示している。これは、噴射時期が早い場合には、初期の燃焼の大部分がうず室式内部で行なわれているのに対して、噴射時期が遅い場合には、うず室内での燃焼割合が減少することによるものと考えられる。なお、プラグをうず室中

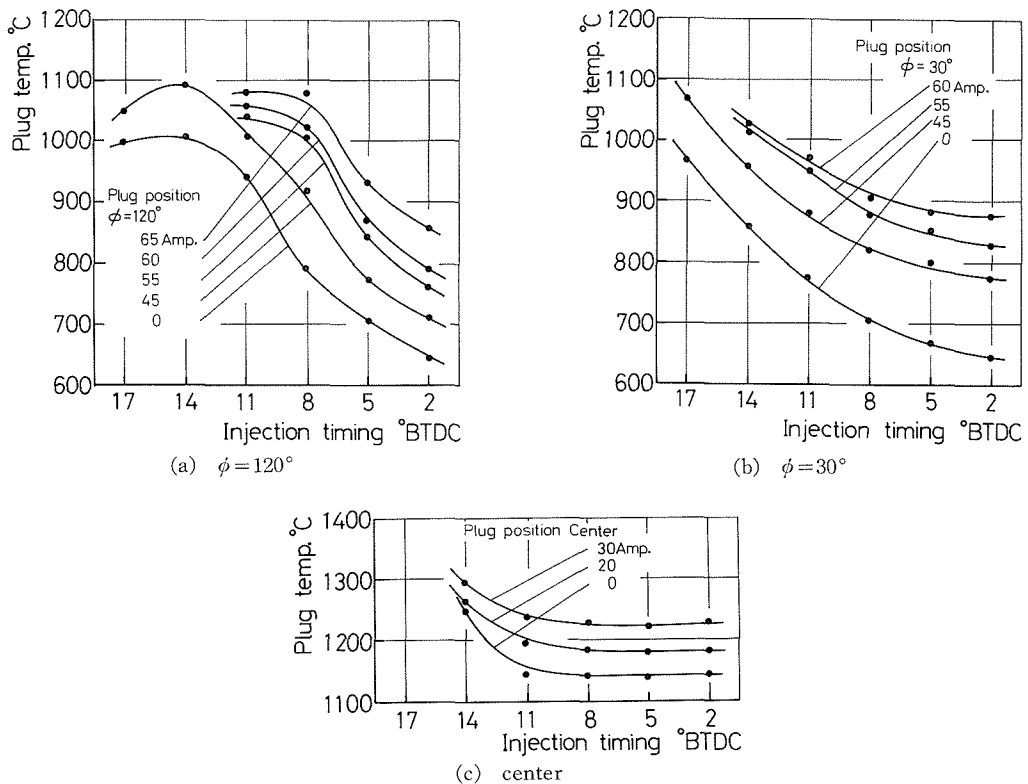


図4 燃料噴射時期がグロープラグの温度に対して及ぼす影響 ($P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$)

央部に設置した場合には、他の位置に置いた場合と比較して、かなりの高温度となっている。これは、燃焼ガスが渦流によって燃焼室中央部に集中したためと考えられる。

一方図5は、電流を流していない場合の、プラグ位置とプラグ温度との関係を、噴射時期を変えて示したものであるが、図にみられるように、噴射時期が早いほど、またノズル中心線とプラグ位置とのなす角度が増加するほど、グロープラグの温度が増加していることが明らかである。

とくに、噴射時期が早い場合ほど、 ϕ の増加にともなうプラグ温度の上昇が顕著であるが、これは噴射時期が前進するに従って、 ϕ の大きな位置に火炎が停滞するためと考えられる。

3.3 グロープラグ位置の影響

グロープラグの装着位置が機関諸性能値に及ぼす影響に関しては顕著なものがあり、プラグ挿入位置を適切に選定することにより、うず室内へプラグを挿入するだけで、電流を流さなくとも、機関性能を改善することが可能である。

図6は、プラグを $\phi=90^\circ$ の位置に装着し、電流を流さない状態で運転した場合の、燃料噴射時期と機関諸性能値との関係を示したものである。図にみられるように、グロープラグを装着するだけで、プラグを装着しない状態での運転と比べて、燃料消費率 (SFC) および排気吐煙が改善されており、一方、 NO_x 濃度、あるいは機関騒音はほとんど変化していない。また吐煙濃度に関しては、噴射時期が遅くなるに従い大幅な改善が得られている。

なおこの場合、グロープラグを装着するだけで、燃費率が改善されるので、プラグを装着しない場合と同一の燃費率に押えながら噴射時期を遅延させることが可能になる。すなわち、燃料噴射時期を上死点前 11° (以下 11°BTDC と表示する) から 5°BTDC まで遅延させられるので、 NO_x 濃度を 210 ppm か

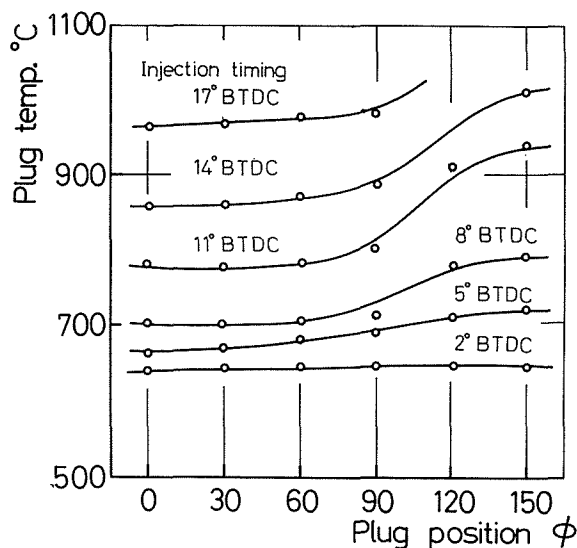


図5 グロープラグの装着位置がその温度に対して及ぼす影響 (供給電流 0 A, $P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$)

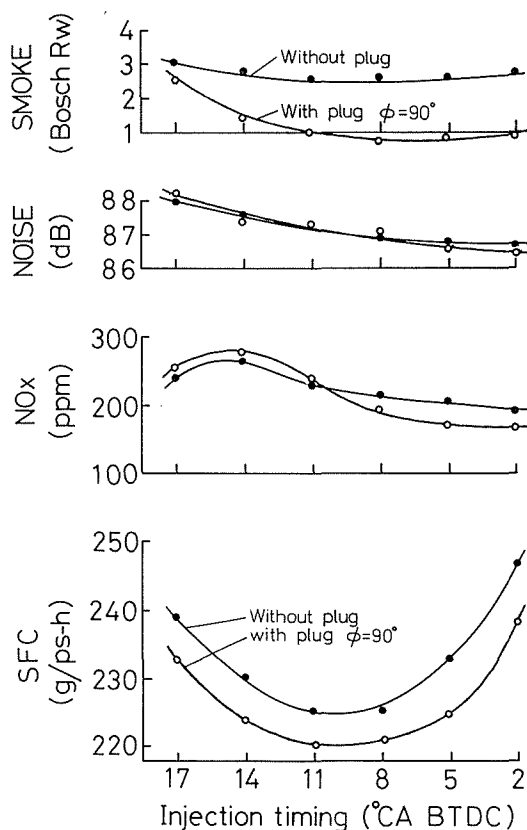


図6 プラグ装着の有無が機関性能に対して及ぼす影響

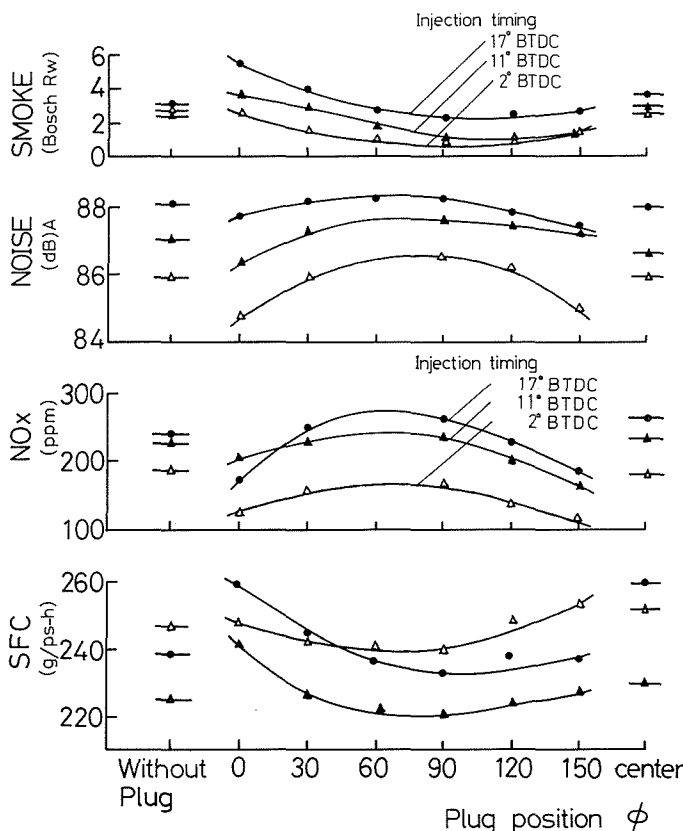


図7 グロープラグの装着位置が機関性能に対して及ぼす影響
(供給電流 0 A, $P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$, 噴射時期変更)

ら 180 ppm, 機関騒音を 87 dB から 86.5 dB, さらに吐煙濃度を 3 から 0.8 までそれぞれ低減し得ることが明らかである。

なお図7は、グロープラグの位置が機関性能値に及ぼす影響について示したもので、図6と同様プラグへの電流は供給していない。図の左端には、プラグを装着しない場合、右端には、燃焼室中央にプラグを装着した場合における機関性能値を、それぞれ示してある。図にみられるように、プラグ装着位置によって機関諸性能値は大幅に変化し、その程度は噴射時期により影響をうけることが明らかである。

すなわち、燃費率は、 $\phi=90^\circ$ 付近で、いずれの噴射時期においても最小値を示し、その値はプラグを装着しない場合に比較して若干改善されており、 $\phi=90^\circ$ 付近からプラグ位置が離れるに従って、いずれの噴射時期においても燃費率は増加している。とくに $\phi=0^\circ$, すなわち燃料噴射弁の直前にグロープラグを装着した場合の燃費率は非常に高く、プラグを外した場合に比べて、はるかに悪化している。これは噴霧が直接プラグに衝突するために、噴霧の一部が液化して、燃焼室内における燃料分布が乱されることによるものであろう。一方、NO_x 濃度、あるいは機関騒音は $\phi=90^\circ$ 付近で最大値を示しており、噴射時期遅延にとまっていずれも低減を示している。また、プラグ位置が $\phi=0^\circ$ から 150° まで変化するに従って、吐煙濃度は減少の傾向を示しており、 $\phi=90^\circ$ 以上のプラグ位置での吐煙は、プラグを外した場合に比較して、かなり改善されている。

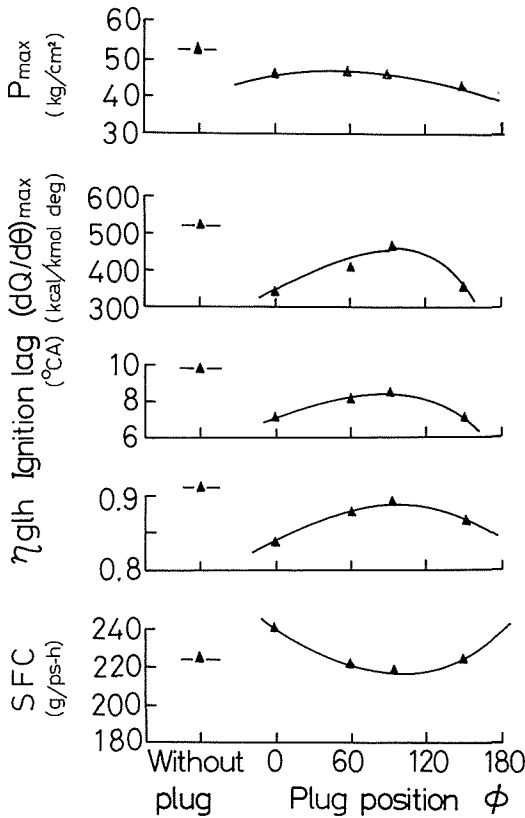


図8 グロープラグの装着位置が燃焼特性値にして及ぼす影響 (供給電流 0 A, $P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$, 噴射時期=11° BTDC °CA)

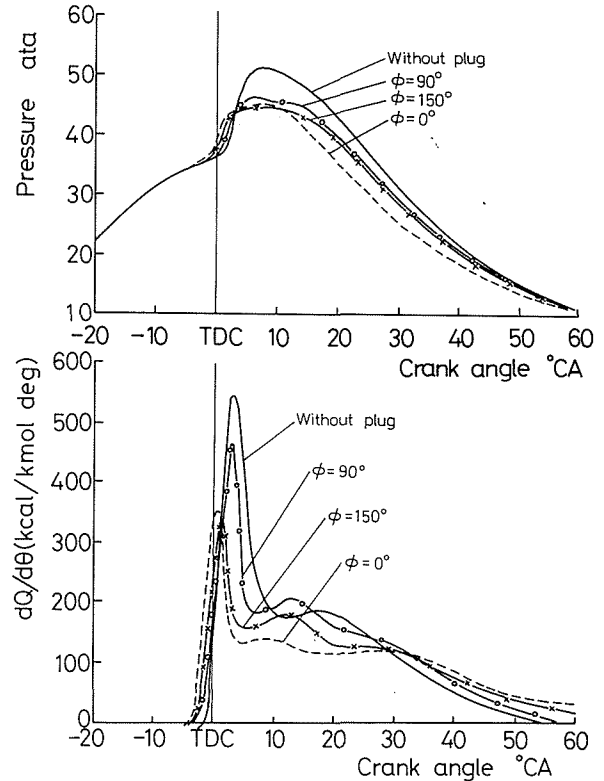


図9 グロープラグの装着位置を変化させた場合のインジケータ線図, および熱発生率 (供給電流 0 A, $P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$, 噴射時期=11° BTDC °CA)

図8は、図7において燃費率が最良を示した噴射時期、すなわち 11° BTDC における、発熱の等容度、着火遅れ、最大熱発生率、および燃焼最高圧などの燃焼特性値を示したものであり、図9は、そのさいのインジケータ線図、および熱発生率をそれぞれ示すものである。

図8より、着火遅れ、等容度などの特性値は、グロープラグを装着しない場合と比べて、短縮もしくは減少しているが、それらの値は $\phi=90^\circ$ 付近で最大となることが示されている。なお $\phi=90^\circ$ において等容度が最大になるのは、図9にみられるように、他のプラグ位置に比較して、 $\phi=90^\circ$ の場合の熱発生期間が最も短くなっていることによるものと思われる。

一方、騒音あるいは NO_x 濃度が、 $\phi=90^\circ$ 付近で最大値を示しているのは、最大熱発生率 $(dQ/d\theta)_{\max}$ および燃焼最高圧力 $P_{\max}$ が、 $\phi=90^\circ$ で最大値を示していることによるものであろう。なお、燃費率最良のプラグ取り付け位置、すなわち $\phi=90^\circ$ 付近においては、グロープラグを装着した場合の等容度が装着しない場合に比べて低くなっているにも拘らず、プラグ装着時の燃焼率が若干改善されているが、この点に関しては、図8にみられるように、プラグ装着時の燃焼最高圧力が減少することとともなって、機械効率の改善がなされたためなどによるものと思われるが、はっきりしたことは分らない。

3.4 グロープラグ温度が機関性能におよぼす影響

前述のように、グロープラグ位置に関しては、 $\phi=90^\circ$ において最も良好な機関性能が得られることが明らかになった。そこでつぎに、グロープラグ温度が機関性能に対して及ぼす影響につ

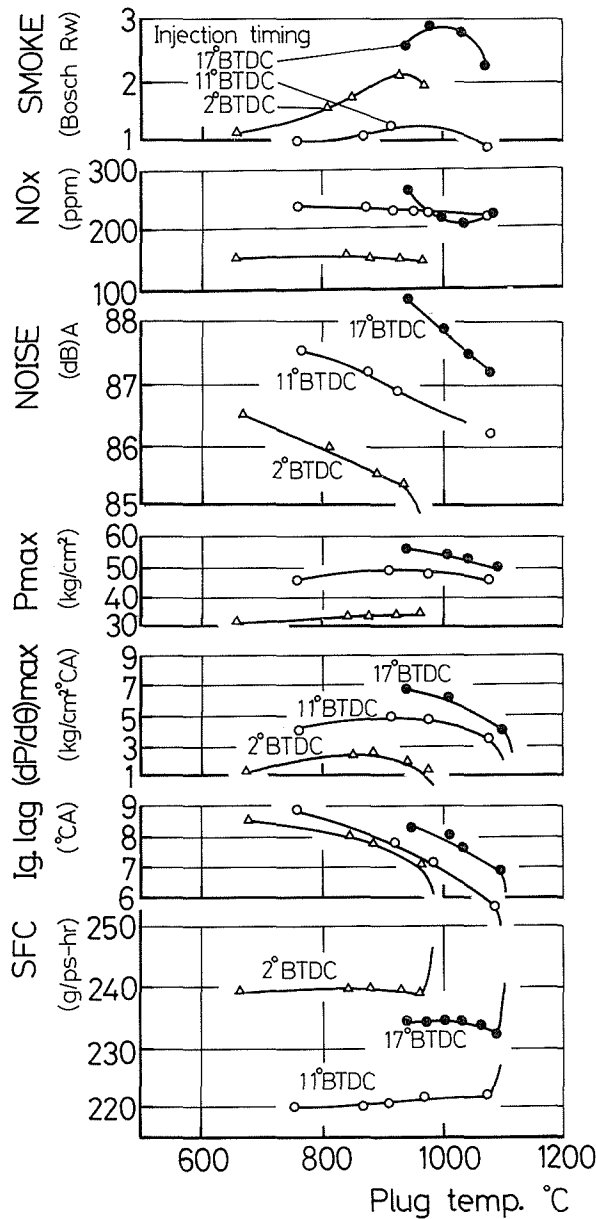


図 10 グロープラグの温度が機関性能に対して及ぼす影響
($\phi=90^\circ$, $P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$, 噴射時期変更)

いて調べてみた。その結果を図 10 に示す。

図にみられるように、グロープラグの温度が上昇するにしたがって、着火遅れが短縮し、最大圧力上昇率が低下するために大幅な騒音の減少がもたらされている。しかし、プラグ温度の上昇にともなう燃費率、吐煙濃度、あるいは NO_x 濃度の変化は比較的少ない。

図 11 は、プラグ位置を $\phi=60^\circ$ とした場合、燃料噴射時期を 11° BTDC に設定したさいのインジケータ線図および熱発生率を示したものである。グロープラグ温度の上昇にともなって、燃費率、および等容度はほとんど変化していないが、初期最大熱発生率には顕著な減少の傾向が現

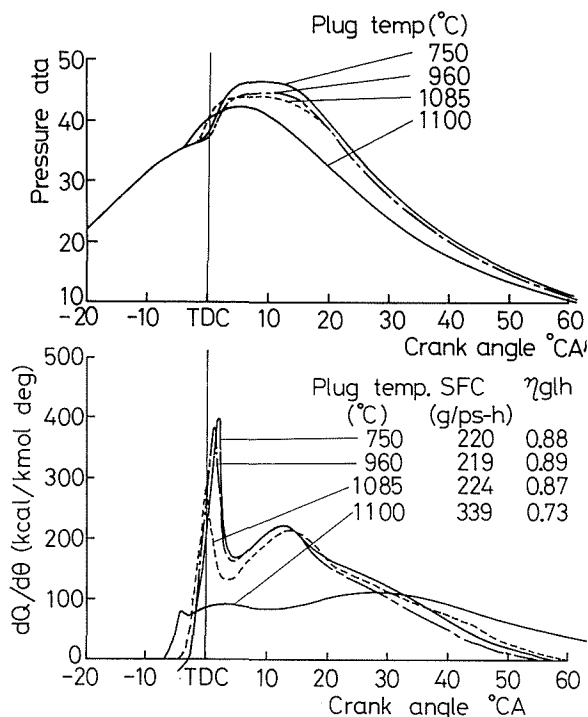


図 11 グロープラグの温度を変化させた場合のインジェクタ線図、および熱発生率 ($\phi=60^\circ$, $P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$, 噴射時期 11° BTDC)

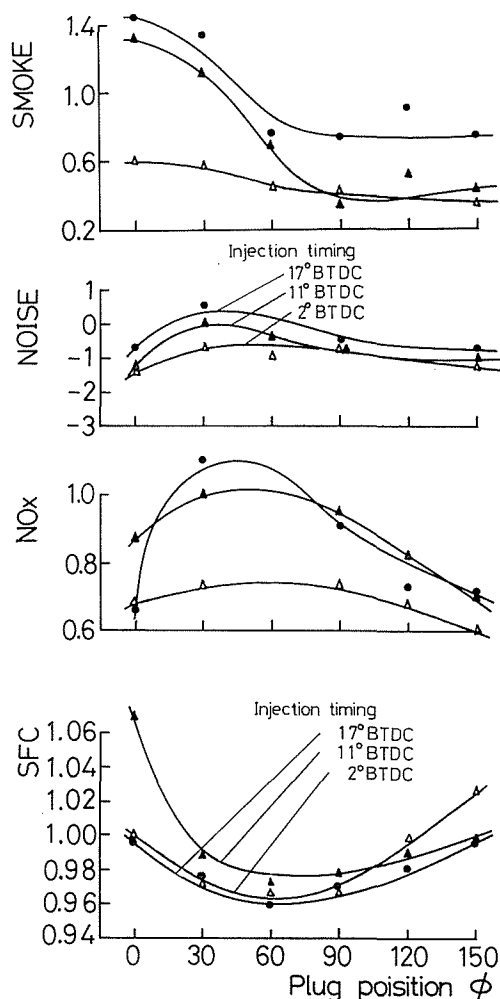


図 12 燃費率最良のグロープラグ温度におけるプラグの装着位置が、機関諸性能値に対して及ぼす影響 ($P_{me}=4.2 \text{ kg/cm}^2$, 噴射時期変更)

われている。しかしプラグ温度が約 1100°C 以上になると、等容度は急激に低下し、燃費率は大幅な増加を示している。これは、プラグ温度が極度に高くなったために、着火遅れが過度に短縮し、初期最大熱発生率の減少、および燃焼期間の大幅な増加がもたらされたためである。なおこれにともない吐煙濃度も悪化しているが、この傾向は、燃料噴射時期が早く ϕ が小さい場合に著しい。

要するに、適用可能なプラグ温度には上限があり、着火遅れが過度に短縮すると、それにもなう等容度の低下のために、とくに燃費率が極度に増加することが明らかである。

図 12 は、燃費率が最小となるグロープラグ温度において、プラグを外した場合と装着した場合との機関性能値の比較を示したものである。 $\phi=60^\circ\sim 90^\circ$ の位置にプラグを装着することによって、燃費率は若干改善されており、一方、 NO_x 濃度、騒音、あるいは吐煙濃度についても、総体的にかなりの改善が認められる。すなわち吐煙、騒音、および NO_x 濃度に関しては、プラグを外した場合に比較して、燃料噴射時期の遅延にともなう低減の傾向が顕著に現われている。

また吐煙は、いずれの燃料噴射時期においても、プラグ位置と噴霧中心との間の角度 ϕ の増加に伴って減少している。

なお今回の実験では、燃費率が最良となる燃料噴射時期は 11° BTDC であったが、とくにこの噴射時期での性能に注目すると、グロープラグ温度を 1000°C 以下に押え、さらにプラグ位置を $\phi=90^\circ$ 付近に選定することによって、機関性能値を総合的に改善することが可能であった。

4. 結 論

本研究において得られた結論を要約すると、およそ次の通りである。すなわち、

(1) グロープラグを燃焼室に装着するだけで、あえて通電を行なわなくても、燃料消費率と排気吐煙とを改善することが可能であったが、プラグの装着に関しては、最適な位置が存在した。すなわち、噴霧中心とプラグのなす角度 $\phi=60^\circ\sim 90^\circ$ が最適位置であった。

(2) グロープラグを装着した場合には、装着しない場合に比較して、燃費率を犠牲にすることなしに燃料噴射時期を遅らせることが出来るので、それにともなう NO_x 濃度、騒音、および吐煙の低減が可能となる。

(3) グロープラグに通電してその温度を上昇させた場合、着火遅れの短縮、および圧力上昇率の低減が得られるので、機関騒音の大幅な改善が可能である。

(4) プラグ温度がおおよそ $1000\sim 1100^\circ\text{C}$ 以上になると、着火遅れが過度に短縮し、燃焼の等容度、ひいては燃費率が大幅に悪化するので、プラグ温度はこの温度範囲以下に保たれるべきである。

以上要するに、グロープラグによる外部強制着火方式においては、グロープラグの位置およびその温度を適当に設定することによって、機関諸性能値を同時に改善し得る可能性が存在するものと考えられる。

参 考 文 献

- 1) Meurer J. S., Urlaub A. C.: SAE paper 690255, 1969.
- 2) Canup R. E.: SAE 750347, 1975.
- 3) 宮本, 村山, 他: 日本機械学会講演論文集, No. 720-14, 1972-8, 89.