先立ち噴射および初期噴射率抑制によるディーゼル燃焼の改善*

池 上 詢^{*1}, 中 谷 好 一 郎^{*2}
山 根 浩 二^{*3}, 田 中 章 太 郎^{*4}Improvement of Diesel Combustion Using Pilot Injection
and Reduction of Initial Fuel Injection RateMakoto IKEGAMI, Koichiro NAKATANI,
Koji YAMANE and Shotaro TANAKA

The effects of pilot injection and reduced initial fuel injection rate on combustion and pollutant- and noise-emissions were experimentally studied on a high-speed direct injection diesel engine using an injection system which gives different injection rate waveforms. The results show that the exhaust NO_x concentration at middle load is lowered at a reduced rate of initial injection. For the pilot injection, the pilot fuel amount and the interval between pilot and main injections significantly influence the engine performance and exhaust emissions. At middle load, the pilot injection with a smaller amount and a longer interval may reduce NO_x and engine noise. At high load, a reduced rate of initial injection lowers the exhaust NO_x concentration and noise emission and increases the concentration of smoke. However, the smoke can be significantly reduced by increasing the average injection rate. This characteristic is marked at lower engine speeds and shows little dependency on the nozzle orifice diameter. For this reason, it is concluded that the most favorable situation is high-pressure injection with low-pressure pilot injection.

Key Words: Diesel Engine, Fuel Injection, Combustion, Pilot Injection, Initial Injection Rate, High-Pressure Injection, Oxides of Nitrogen, Noise, Smoke

1. ま え が き

高速直接噴射式ディーゼル機関の排気浄化には高圧噴射が有効であり、とくにすす低減に効果がある。しかし、噴射圧力を高めると急速な初期燃焼が起こり、それに伴い排出窒素酸化物や燃焼騒音が増加する。そのため、高圧噴射を行うさいには小噴孔ノズルを用いると同時に遅い燃料噴射時期を選び、さらに初期の噴射率を抑制し、あるいは先立ち噴射を行って初期燃焼を緩慢にする必要がある。

これまででも、初期噴射率抑制や先立ち噴射が排気中の NO_x 濃度や燃焼騒音に与える影響について活発に研究され⁽¹⁾⁽²⁾、噴射率最適化の重要性が明らかにされている。著者らは、高圧噴射のさいの低速時における NO_x 濃度と燃焼騒音の増加を、小噴孔ノズルと噴射時期遅延の組み合わせだけでは抑制できないため、先立ち噴射や初期噴射率の抑制などによりそれらの低減を

図る必要があることを既報⁽³⁾で述べた。

本研究は初期噴射率抑制および先立ち噴射が小型直接噴射式ディーゼル機関の中・高負荷運転時における機関性能および排気特性に与える影響を明らかにし、排気汚染物質の低減を図ることを目的として検討を行った。以下では、初期噴射率抑制が NO_x 低減に有効であること、先立ち噴射はその先立ち噴射量や先立ち噴射と主噴射の間隔を最適に制御すれば NO_x および騒音の低減に役立つこと、高負荷においては NO_x とスモークの同時低減には低圧の先立ち噴射と 100 MPa 以上の高圧の主噴射を組み合わせるのが有効であることを示す。

2. 実験装置および方法

実験にはトロイダル深皿形燃焼室をもつ水冷単シリンダ四サイクルディーゼル機関(ヤンマーディーゼル NFD170)を用い、機関回転数 900 rpm および 1800 rpm、冷却水温度 80℃ 一定で運転した。表 1 に使用した機関の諸元を示す。

燃料噴射には高圧噴射装置 KD-3 型⁽⁴⁾を使用した。図 1 にこの噴射系の概略を示す。これはスプールを油圧

* 1995 年 7 月 19 日 第 12 回内燃機関シンポジウムにおいて講演、原稿受付 1996 年 10 月 9 日。

^{*1} 正員、京都大学大学院エネルギー科学研究科 (〒606 01 京都市左京区吉田本町)。

^{*2} 正員、京都大学大学院。

^{*3} 正員、滋賀県立大学工学部 (〒522 彦根市八坂町 2500)。

^{*4} 准員、ヤマハ発動機(株) (〒438 磐田市新貝 2500)。

Table 1 Test engine specifications

Engine type	Direct-injection diesel engine, Single cylinder, Water-cooled
Bore × Stroke	102 mm × 105 mm
Displacement	0.857 l
Compression ratio	17.8 : 1
Swirl ratio	2.4
Combustion chamber	Deep-bowl type (Bowl dia. = 56 mm)
Fuel injection pump	KD-3 (Plunger dia. = 6.5 mm)

により強く加速してプランジャ速度を高め、高い噴射圧力を得る噴射系である。この噴射系は噴射圧力が機関回転数にほとんど依存しないこと、20 MPa の低い油圧を使って 120 MPa を越える高圧噴射ができること、噴射後の圧力降下がきわめて速やかで噴射の切れがよいことを特徴としている。なお、燃料孔（オリフィス 3）のオリフィス径を変化させることによって初期の噴射率波形を変更でき、電磁パイロット弁を 2 回開弁することによりプランジャを 2 度に分けて加速すれば、先立ち噴射を行うことができる。

図 2 にこの方法によって先立ち噴射を行った例を示す。この図には噴射弁ホルダ入口圧力 p_N （以後、噴射圧力とする）、噴射率 $\dot{B}$ 、噴射弁ニードル揚程 h_z および電磁パイロット弁励磁電流 I の時間経過が描かれている。この KD-3 型噴射系では図 2 に示すように 1 度目の電磁パイロット弁の開閉によってスプールが加速後、停止・逆行して縮小管内に低い圧力波を生じる。この圧力波の反射波によって、プランジャ前面の圧力は初期圧力よりも高まるので電磁パイロット弁の 2 度目の開弁によって先立ち噴射が生じる。その後、圧力室 2 がシャトル弁のポートと連通するとスプールが強く加速されるので大きな圧力波を生じ、主噴射に至る。このさい先立ち噴射の噴射圧力は開弁圧に近い 30 MPa 程度で、きわめて低いものに対して、主噴射の噴射

圧力のピーク値は高い。なお、先立ち噴射の開始時期と主噴射のそれとの間隔や先立ち噴射の量は、電磁パイロット弁の開弁期間や燃料孔（オリフィス 3）のオリフィス径、圧力室 1 と 2 の間（オリフィス 1）のオリフィス径などを加減することによって変更することができる⁽⁵⁾。実験に使用した噴射ノズルは可動部が小型軽量のボッシュ DLLA-P 型ホールノズル（4 穴、噴射角（噴孔角）150°）であり、ノズル径は既報⁽³⁾の結果を考慮して 0.22 mm とした。

吸入空気量は層流流量計（司測研 LFE-25B）により、燃料噴射量は高圧燃料流量計（Max Machinery Model 214）により測定した。シリンダ内圧力の測定にはシリンダヘッドに取り付けた抵抗線式インジケータ（共和電業 PE-200KW）を用いた。さらに燃料噴射圧力は抵抗線歪ゲージ（共和電業 KFC-5-C1-11L100）により噴射弁ホルダ入口部で測定し、これとノズルのニードル揚程、シリンダ内圧力をもとに計算機シミュレーションを援用して機関運転中の燃料噴射率を求めた⁽⁶⁾。排気中の NOx 濃度は化学発光分析計（ヤナコ ECL30）、スモーク濃度はボッシュ式スモーク濃度計（ZEXEL 製、DSM-10B 型）により測定した。全未燃炭化水素(THC)濃度は測定ガスを加熱サンプリングポンプにより 200℃ に保温して H-FID ガス分析計（ヤナコ KA-300）に導き 200℃ の定温分析して求めた。

3. 実験結果および考察

3・1 中負荷における噴射率制御の効果 この機関では、中負荷で高圧噴射を行うとスモークをほとんど排出しないものの NOx 排出量が多い⁽³⁾。そこで本節では、この機関で排出 NOx 濃度が最も高い当量比 $\phi = 0.64$ において、初期燃料噴射率の抑制および先立ち噴射による NOx 低減の効果を調べた。なお、中負荷ではスモーク濃度が低いため、噴射圧力のピーク値を

Fig.1 Schematic illustration of high-pressure diesel fuel injection system by means of spool acceleration, KD-3

Fig.2 Courses of pressure at nozzle holder-inlet, p_N , injection rate, $\dot{B}$, nozzle needle lift, h_z , input current of EMPV, I , at pilot injection

格段に高める必要はなく、噴射ポンプ駆動動力および NOx 排出量低減の観点より最高噴射圧力は 80 MPa とした。

3・1・1 初期燃料噴射率抑制の効果 図 3 に機関回転数 $n_e = 900$ rpm および 1 800 rpm について、当量比 $\phi = 0.64$ 一定の条件で初期噴射率を変えた場合の動的噴射時期 θ_j に対するスモーク濃度、NOx 濃度、THC 濃度、正味燃料消費率 b_e およびシリンダ内最高圧力上昇率 $(dp/d\theta)_{\max}$ を示し、図 4 に各条件におけるシリンダ内圧力 p 、熱発生率 $\dot{q}$ 、噴射率 $\dot{B}$ のク

ランク角経過を噴射時期 $\theta_j = \text{TDC}$ の場合について示す。なお、初期噴射率は噴射弁の開弁圧を 40 MPa, 30 MPa, 25 MPa に変化させることにより変更した。ここで、初期噴射率とは噴射開始から噴射率波形の重心までの平均噴射率を指す。

これによると、いずれの回転数でも初期噴射率を抑制すると NOx 濃度および $(dp/d\theta)_{\max}$ は低くなる。とくに、初期噴射率が最も小さい開弁圧 25 MPa の場合には θ_j が 3° ATDC より早いとき大幅に NOx が低減している。しかし、2 次噴射が発生したことにより他

Fig.3 Effect of initial injection rate on smoke, NOx, THC, b_e and $(dp/d\theta)_{\max}$ for different injection timings ($\phi = 0.64$)

Fig.4 Cylinder pressure, p , rate of heat release, $\dot{q}$ and injection rate, $\dot{B}$, versus crank angle, θ , for different initial injection rate, $\dot{B}_{\text{int}}$ ($\phi = 0.64$, $\theta_j = \text{TDC}$)

の2条件よりもスモーク濃度は高い。図4を見ると、 $n_e = 900$ rpm では初期噴射率が最も低いときには、長い着火遅れののち燃焼が始まっているものの、初期燃焼時の熱発生率の最高値は他の2条件と変わりがない。また、拡散燃焼時の熱発生率にも変化は少ない。したがって、NOx 濃度が低くなったのは、初期噴射率が低下したために着火遅れが長くなったにもかかわらず着火時に準備される混合気量は増えず、高温に達する燃焼ガス量が減少したこと、噴射燃料の多くが遅い時期に燃焼し、噴射時期を遅らせたのと同様の効果が生じたことによると考えられる。 $n_e = 1800$ rpm で初期噴射率が最も低く靴形の場合には、噴射初めの燃料によるわずかな燃焼が生じたのち主燃焼に移行している。熱発生率の最高値にはあまり変化はないものの、シリンダ内圧力のピーク値は開弁圧が30 MPaの時と比べて大幅に低下しており、 $n_e = 900$ rpm の場合と同じ理由によりNOx 濃度が減少する。

正味燃料消費率 b_e は、 $n_e = 900$ rpm では初期噴射率によってほとんど差はないものの、 $n_e = 1800$ rpm では、噴射時期が 5° BTDC より遅い場合、初期噴射率の低い方が増加している。初期噴射率が低くなると初期燃焼が緩慢になり熱発生率が緩やかに増加して、その結果、サイクル等容度が低下し、 b_e が増すと考えられる。

以上のように、初期噴射率を抑制すると、高速では排出NOx 濃度が400 ppm 程度まで低くできるものの噴射時期を遅くするにつれて初期噴射率による差が極めて小さくなる。一方、低速では排出NOx 濃度は、800 ppm 以下にならず、初期噴射率を抑制するだけではNOx 排出量の低減効果は不十分である。

3・1・2 先立ち噴射の影響 つぎに先立ち噴射の効果について述べる。先立ち噴射はNOx と騒音を低減する有望な方法であるが、先立ち噴射量および主噴射との間隔を適切に調整しないとこれらを増加させる可能性がある。そこで、先立ち噴射量および間隔を変えて機関性能および排気特性を調べた。

図5は $n_e = 900$ rpm, $\phi = 0.64$ において、先立ち噴射を行ったさいの3種類の噴射率波形について主噴射の噴射時期 θ_j に対する機関性能および排気特性を調べた結果を示す。図6はそのときの p , $\dot{q}$, $\dot{B}$ のクランク角経過を示す。図5には比較対象として前節の開弁圧が30 MPa で先立ち噴射を行わない場合の排気特性も合わせて示す。なお、先立ち噴射時の初期噴射率は先立ち噴射と主噴射の噴射期間を合わせた全噴射期間を使って、噴射率波形の重心までの平均噴射率とした。

図5によると、スモーク濃度は噴射率波形の違いに

Fig.5 Effect of pilot injection quantity and interval on smoke, NOx, THC, b_e and $(dp/d\theta)_{\max}$ for different injection timings ($n_e = 900$ rpm, $\phi = 0.64$)

Fig.6 Cylinder pressure, p , rate of heat release, $\dot{q}$ and injection rate, $\dot{B}$, versus crank angle, θ , for different pilot injection patterns ($n_e = 900$ rpm, $\phi = 0.64$, $\theta_j = \text{TDC}$)

よる変化は見られず全域で無煙である。しかし、NOx 濃度は条件によりかなり変化している。同一の主噴射時期でNOx 濃度が最も低いのは、噴射間隔が長く先立ち噴射量が少なきときである。先立ち噴射量が多いと主噴射前のシリンダ内温度および圧力は高くなり、燃焼温度が高くなるためNOx 排出量が増加する。また、先立ち噴射と主噴射の間隔が短いと主噴射開始以前に先立ち燃料の着火が起こらないため⁽⁶⁾NOx 低減の効果が小さく、さらに θ_j の遅いところでは着火遅れが増加するためTHC 濃度と $(dp/d\theta)_{\max}$ はともに高い。熱

発生率経過をみると、先立ち噴射量が多い場合には主燃焼の立ち上がり早い。一方、噴射の間隔が短い場合には先立ち燃料にともなう明確な圧力上昇が起こらず初期の熱発生率は他の2つの条件よりも高い。このように先立ち噴射を行う場合は噴射率波形のわずかな差で排気特性に大きな影響が生じる。しかも、最適の噴射率波形は負荷および回転数に依存すると考えられるので、広範囲にわたって運転する場合はそれぞれの条件で最適な先立ち噴射を見出す必要がある。

つぎに、先立ち噴射の有無が排気特性に与える影響について述べる。図7は $n_e = 1800$ rpmにおいて、 $\phi = 0.64$ 、開弁圧30 MPaの条件で先立ち噴射の有無が排気特性に及ぼす影響を調べた結果を主噴射時期 θ_j に対して示す。この場合先立ち噴射は、 $n_e = 900$ rpmで得られた結果にもとづいてNOx低減効果が大きい先立ち噴射量が少なく間隔が長い条件を選んだ。

図5の $n_e = 900$ rpmの場合、先立ち噴射を行わずに θ_j を遅らせると着火遅れが大きくなり、その結果NOxの排出量が途中から急増する。さらに θ_j を遅らせ12°ATDC以降に噴射を開始すると、着火が不安定で失火するサイクルが現れる。しかし、先立ち噴射を行うと θ_j を遅らせても着火遅れは大きくならず、NOx濃度は減少し続け、一定値に近づく。さらに、この場合には失火も生じない。また、 $(dp/d\theta)_{\max}$ は低下して機関騒音の強さは大幅に下がる。これは、高圧噴射に先立

ち噴射を組み合わせれば主噴射燃料の着火遅れが小さくなることにより、爆発的な初期燃焼が抑制されるためである。しかもこの場合、主噴射が高圧であるため、燃料と空気の混合が促進され燃焼が悪化せずスモークと b_e の増加は一切見られない。以上のことは熱発生率経過からも分かる。図4(a)と図6を比べると、先立ち噴射によって熱発生率 $\dot{q}$ の立ち上がりが緩やかになるものの、シリンダ内圧力 p の最高値にはさほど変わりはない。すなわち、先立ち噴射によって初期燃焼が抑制され、加えて高圧噴射の効果によって拡散燃焼が活発になりきわめて良好な燃焼が実現できる。

図7の $n_e = 1800$ rpmの場合、先立ち噴射を行ってもNOx濃度および $(dp/d\theta)_{\max}$ はほとんど低下せず、しかもスモーク濃度は増加する。機関回転数が高いとNOx濃度が低下しないのは、低速の場合と違って着火遅れが十分短いため急速な初期燃焼が起こらず、先立ち噴射による着火遅れ短縮の効果が小さいためと思われる。また、先立ち噴射を行うとスモーク濃度が増加するのは、先立ち噴射が低圧で行われることに加えてスワールが強いために燃料の燃焼室凹み外周への到達が遅れ、しかも着火遅れが短く、これらの結果、先立ち噴霧火炎が凹み中央にピンチされた状態にあり、その中に主噴霧が発達したためであろう⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

このように先立ち噴射のNOx低減効果は、初期燃焼が急速に行われる場合にのみ有効である。すなわち、低速時にはシリンダ内温度が低下することにより実時間で着火遅れが長くなり初期燃焼が爆発的になるために先立ち噴射を組み合わせる必要がある。一方、高速時において低速時に最もNOx低減効果が大きい条件と実時間で等しい噴射条件を選んだ場合にはNOx低減効果が少なく、スモーク濃度の増加などを伴う可能性があるために先立ち噴射を組み合わせない方がよいと考えられる。

3・2 高負荷における噴射率制御の効果

前節で低速中負荷では主噴射の噴射圧力を80 MPa程度にまで高め低圧の先立ち噴射を組み合わせれば、スモークの排出なしにNOxを低減できることを示した。しかしスモーク排出量が多い高負荷では、初期噴射率の抑制および先立ち噴射がスモークを増加させる可能性がある。そこで本節では高負荷において噴射率制御が機関性能および排気特性に与える影響を調べる。

図8に機関回転数 $n_e = 900$ rpm、当量比 $\phi = 0.84$ 一定で噴射率形状を変更した場合の主噴射の噴射時期 θ_j に対する排気特性および機関性能を、図9にその代表的な p 、 $\dot{q}$ 、 $\dot{B}$ のクランク角経過を示す。実験条件は図8にあわせて示す。

Fig.7 Effect of pilot injection on smoke, NOx, THC, b_e and $(dp/d\theta)_{\max}$ for different injection timings ($n_e = 1800$ rpm, $\phi = 0.64$)

Fig.8 Effect of initial injection rate on smoke, NOx, THC, b_e and $(dp/d\theta)_{\max}$ for different injection timings ($n_e = 900$ rpm, $\phi = 0.84$)

図8によると、初期噴射率を抑制することにより NOx 濃度および $(dp/d\theta)_{\max}$ は低くなることがわかる。さらに先立ち噴射を組み合わせると NOx 濃度と $(dp/d\theta)_{\max}$ はともに大幅に低下する。とくに噴射時期を遅らせても先立ち噴射を行えば着火遅れが大きくなり、NOx 濃度は増加することなく低下し続ける。しかも噴射圧力が 100 MPa の場合には先立ち噴

Fig.9 Cylinder pressure, p , rate of heat release, $\dot{q}$ and injection rate, $\dot{B}$, versus crank angle, θ , for different initial injection rate, $\dot{B}_{\text{int}}$ ($n_e = 900$ rpm, $\phi = 0.84$, $\theta_j = \text{TDC}$, peak injection pressure, $p_{N\max} = 100$ MPa)

射を行うことにより b_e が低下している。これは先立ち噴射により主燃焼の開始時期が早まった結果、図9の $\dot{B}_{\text{int}} = 4.58$ mm³/deg に見られるように上死点での熱発生率およびシリンダ内圧力が高まったためと思われる。すなわち、先立ち噴射と高圧噴射を組み合わせることにより、 b_e の増加を伴わずに NOx 排出量を低くできる。これらの傾向は前節で示した中負荷の場合と一致する。

図9の熱発生率をみると、初期噴射率を抑制することにつれて初期の燃焼が緩慢となっており、これが NOx 排出量の低い理由である。また、初期燃焼が緩慢になっているにもかかわらず燃料消費率の増加が見られないのは初期燃焼に続く拡散燃焼が活発になっているためである。一方、初期噴射率が低下するほど燃焼期間が長くなり、このためスモーク濃度が増加している。これは、初期噴射率を抑制すると初期燃焼率が低下し燃焼後半の乱れ強さが弱まるためと推察される⁹⁾。しかし、図8のようにスモーク濃度は噴射最高圧力が 100 MPa の方が 80 MPa よりも低い。このことから、主噴射の噴射圧力を一層高めれば、乱れが強まることにより燃焼後期における燃料と空気の混合が速まるため燃焼が活性化され、スモーク濃度が低下すると言える。本研究では噴射最高圧力は 100 MPa までしか得られなかったが、先立ち噴射を組み合わせる場合には、さらに噴射最高圧力を高める必要がある。

図10は初期噴射率を変えたさいの、NOx 濃度の変化を示す。ノズル孔径 d_N が 0.22 mm の場合と同時に 0.18 mm に小さくした場合の結果をあわせて示す。噴射最高圧力は 0.18 mm の場合すべて 105 MPa であり、0.22 mm の場合は図8に示すとおりである。この図より NOx 濃度は噴射最高圧力よりも初期噴射率に依存することがわかる。この傾向はノズル孔径に関係しない。ノズル孔径を小さくすることにより初期噴射率は

Fig.10 Changes of NOx with initial injection rate, $\dot{B}_{\text{int}}$ for different d_N and θ_j ($n_e = 900$ rpm, $\phi = 0.84$)

低くなるものの NOx 排出量は低下しない。これは初期噴射率低下による抑制効果と噴霧の微粒化による混合促進効果とが相殺されたためと考えられる。一方、スモークは平均噴射率に大きく依存する。噴射後期の噴射率を高めることなく初期噴射率を抑制すると平均噴射率が低下するためにスモーク排出量が増加する。ただし、噴射最高圧力を高めずにノズル孔径を 0.18 mm に小さくすると平均噴射率は低くなるものの燃料と空気の混合が促進されるためスモーク排出量は増加しない。なお、ここで平均噴射率は先立ち噴射期間と主噴射期間を合わせた全噴射期間と全噴射量から求めた。以上の結果を考慮すると、NOx とスモークの同時低減には平均噴射率を高く維持したまま初期の噴射率を抑制するのが好ましく、高圧で漸増型の主噴射と低圧の先立ち噴射の組み合わせが望ましい。

4. ま と め

以上、小型直接噴射式ディーゼル機関において高圧噴射するさいに重要な NOx と燃焼騒音の低減を目指して、初期噴射率の抑制および先立ち噴射を行った場合の機関性能および排気特性を調べた。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) 中・高負荷では初期噴射率を抑制すると、NOx および騒音を低減することができる。とくに噴射率波形が靴形の場合には噴射時期の早いところで大幅な NOx 低減が得られる。
- (2) 中負荷の場合、初期噴射率を抑制しても噴射最高圧力を 80 MPa 程度に高めればスモークの排出を伴わない⁽⁹⁾。しかし、さらに初期噴射率を抑制して靴形の噴射率波形で噴射するとスモーク排出量は増加する傾向にある。
- (3) 当量比が 0.8 を超えるような高負荷の場合は初期噴射率を抑制すると噴射最高圧力を 100 MPa まで高めてもスモークの排出が避けられず、さらに噴射圧力を高める必要がある。
- (4) 排出 NOx 濃度および燃焼騒音がとくに問題となる低速では、先立ち噴射を高圧噴射と併用すれば NOx および騒音を低減することができる。そのさい NOx

の低減には、先立ち噴射と主噴射の間隔および先立ち噴射量がきわめて敏感であり、その効果を発揮させるためには最適化することが必要である。一方高速では、高圧噴射を行っても爆発的な燃焼は起こらないため、先立ち噴射を組み合わせても NOx および騒音の低減には寄与しない。以上の傾向は、負荷によらない。(5) 排出 NOx 濃度は初期噴射率に、スモーク排出量は平均噴射率に大きく依存する。すなわち、NOx とスモークを同時に低減するには平均噴射率を高く保ったまま初期噴射率を低くするとよい。それには低圧の先立ち噴射と 100 MPa 以上の高圧で漸増型的主噴射を組み合わせるのが有効である。

なお、実験にさいして京都大学学生 坂越 健一 氏、大谷 知広 氏の多大なご協力をいただいた。また、(株)ゼクセルより噴射ノズルを提供いただいたことを付記する。

文 献

- (1) 春藤・ほか 2 名, 高圧噴射によるディーゼル燃焼の改善—パイロット噴射との組合せ—, 第 10 回内燃機関合同シンポジウム講演論文集, (1992), 199-204.
- (2) 李・ほか 2 名, カム形状変更による噴射の最適化と排気改善効果, 自動車技術会論文集, 25-3, (1994), 58-63.
- (3) 池上・山根・中谷・田中, スプール加速式高圧燃料噴射のディーゼル燃焼特性, 機論, 61-591, B (1995), 4207-4213.
- (4) 池上・山根・竹内・朱, スプールの油圧加速方式による高圧燃料噴射システム, 機論, 59-559, B (1993), 872-879.
- (5) 山根・池上・中谷・田中, スプール加速式燃料噴射における初期噴射率抑制および先立ち噴射, 自動車技術会論文集, 27-3, (1996), 47-52.
- (6) 池上・中谷・田中・山根, 計算機シミュレーションを援用する機関運転時の燃料噴射率の計測, 機講論, No.96-15, (1996), 517-518.
- (7) Ikegami, M., Role of Flows and Turbulent Mixing in Combustion and Pollutant Formation in Diesel Engines, COMODIA 90, (1990), 49-58.
- (8) 中北・ほか 4 名, 高圧噴射時のパイロット噴射パターンの最適化とその効果, 機論, 59-559, B (1993), 228-234.
- (9) Shioji, M. and Ikegami, M., A Stochastic Approach for Modeling Diesel Combustion, Conference on mechanism of nonuniform combustion, (1990), 165-174.