

ディーゼルエンジン排出ガスのクリーン化

機械工学科 位田晴良

1) 研究の背景と意義

ディーゼルエンジンは内燃機関の中で最も熱効率が高く、CO₂ 排出量が少ない。さらに種々の燃料に対する適合性に優れているという特徴を有する。これらの理由から、環境保全への取り組みに懸命な欧州においては、乗用車用エンジンにおけるディーゼルエンジンのシェアは約 50%に達している。ディーゼルエンジンにおける黒煙の排出や騒音などのマイナス・イメージは完全には払拭されていないが、最近では日本においても環境対策の点からディーゼルエンジンは将来的に有望であるとされている。

ディーゼルエンジンの熱効率向上のためには、燃料と酸素の混合促進による均一な燃焼が重要であると考えられ、とくに燃料噴射系についての研究が行われており、燃焼状態の最適化によって熱効率の向上と PM(Particulate Matters)排出量の低減が可能となるが、燃焼温度が上昇して NO_x 排出量の増加を引き起こすことが明らかになっている。一般に、PM と NO_x の排出量はトレードオフの関係にあるため、両者の同時低減が課題である。

ディーゼルエンジンの熱効率の向上を図ると同時に、排出ガスのクリーン化を図ることは、環境改善に大きく寄与する。

2) 本研究の目的

本研究では、燃料噴射の高圧化によってエンジンシリンダ内の燃焼を改善し、熱効率の向上を図ると同時に、PM の生成をできる限り抑制し、それでも排出される PM については DPF(Diesel Particulate Filter)を用いて捕集する。また、排出される NO_x については、EGR(Exhaust Gas Recirculation)を適用してその低減を図ると同時に SCR(Selective Catalytic Reduction)によって還元処理し、無害化する。さらに、石油資源枯渇および CO₂ 低減対策としては、軽油の代替燃料として有望視されている BDF(Bio Diesel Fuel)の使用を試みる。BDF は、その組成中に酸素を含むので、燃焼過程に酸素との混合が促進され、燃焼改善による熱効率の向上および PM 排出量の低減が期待できる。また、熱効率向上によって CO₂ 排出量が低減されるとともに、BDF は生物資源由来の燃料であるためカーボンニュートラルであって、化石燃料に代替して使用することにより大気中の CO₂ 濃度低下に寄与する。これらの要素技術を適用し、総合的にディーゼルエンジン排出ガスのクリーン化を図る。

3) 結果と考察

各要素技術を適用したディーゼルエンジン排出ガスクリーン化システムの構想を Fig.1 に示す¹⁾。このシステムを自動車に搭載することを想定している。

燃料噴射の高圧化については、これを実現するために、コモンレールシステムを計画・設計・製作した。今後、試験用エンジンにおける適用試験を実施する予定である。

SCR については、還元剤としてアンモニアが使用されるが、アンモニアが有毒物質であ

るためこれを搭載することは大きな障害がある。一方、必要なアンモニアの量は微量であるため、これを必要な量だけ車上で合成できれば極めて便利である。車上でアンモニアを製造するオンボードシステムについて合成条件を実験的に求め、適正条件の検討を行った。その結果、アンモニアを合成するための実用的な条件（触媒中における温度、圧力および原料ガスの空間速度）が明らかになった。

また、アンモニアの原料ガスとして窒素ガスを大気中から得るものとし、必要な水素を車上で、水の電気分解によって得るものとした場合、水素を発生させる電解膜として用いる PEM(Proton Exchange Membrane)セルの能力を確認するための試験を行った。その結果、自動車排出ガス中のNO_xを還元するために必要なアンモニアを製造する場合に、原料ガスとする水素を水の電気分解によって得るための条件が明らかになり、PEMセルを用いた試験により、必要な水素を

得るための装置の希望を予測し、実用装置として成り立つことがわかった。今後は、これらのアンモニア製造および水素製造に対する装置化を検討するとともに、実車に搭載可能なシステム化についても検討を行う。

さらに、酸素濃度および燃焼温度を低下させてNO_x低減を図る EGR と、含酸素燃料であることから燃焼が改善され熱効率向上と PM 低減が期待できる BDF の使用に着目して検討を行った^{2,3)}。すなわち、BDF の使用によって高い EGR 率で稼動することを目指し、BDF を用いた EGR 付加ディーゼルエンジンによる性能試験を行った。性能試験においては、軽油及び BDF を使用し、EGR 率(吸気に混入する排ガスの体積比)等、運転条件を変更し、エンジンの性能及び排出ガス特性について検討した。性能試験においては小型ディーゼルエンジンを用い、排出ガスに含まれる各成分の量は Fig.2 に示す排出ガス計測装置によって評価した。また、用いた燃料を分析

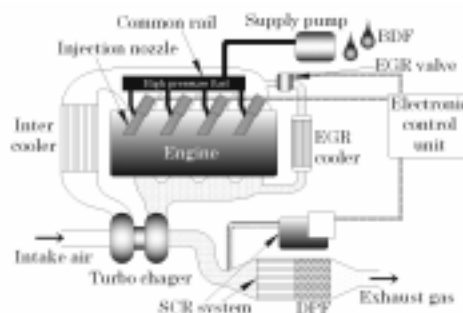


Fig.1 Concept of exhaust gas purification system applied to Diesel engine for automobile

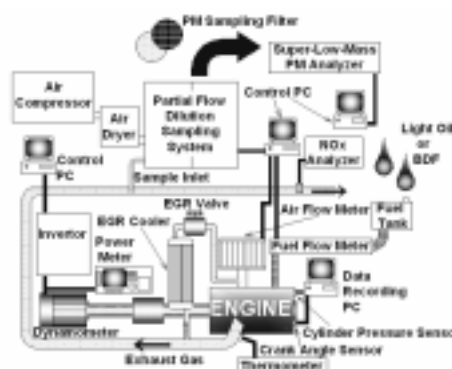


Fig.2 Schematic representation of analyzing system of exhaust gas

Table 1 Specification of fuels

Item	Light oil	BDF
Density (15) [g/cm ³]	0.8175	0.8855
Kinematic viscosity(50) [mm ² /s]	1.804	3.786
Flash point []	52.0	155
Oxygen content [wt%]	0.26	11.24
Gross calorific value [MJ/kg]	45.99	39.92

した結果より得られた主な性状を Table 1 に示す。BDF は軽油と比較すると、引火点および動粘度は高く総発熱量は低い。また、その組成中に酸素を含んでいる。Table 1 に示す燃料を用いて、EGR 率をはじめとする各運転条件を変更して行った性能試験より得られた結果を以下に示す。燃費の変化については、EGR 率を上昇させても運転不能となる条件までほとんど悪化しない。軽油と BDF を使用した場合を比較すると軽油を使用した場合の燃費が良いことがわかった。これは、軽油より BDF の発熱量が低いことが主な原因であると考えられる。また、BDF を使用すると、軽油の場合に比べて、高負荷時における EGR 率を約 10%高く設定しても運転が可能であった。これは、燃焼室への不活性ガスの導入や供給燃料の増加など、空気過剰率が低下する条件においても BDF 中の含有酸素が燃焼を促進するためであると考えられる。NO_x 濃度の変化について、性能試験における NO_x 濃度の変化の一例を Fig.3 に示す。Fig.3 に示すように、EGR 率が高くなると燃焼室内の酸素濃度が低下するため NO_x 濃度が低下することが確認できる。また、軽油と BDF を使用した場合を比較すると、BDF を使用した場合に NO_x 濃度が高くなる。この場合の排気温度は、燃料の発熱量の違いから軽油を使用した場合に高くなるため、温度条件よりも酸素濃度の影響が大きいといえる。すなわち、BDF 中の含有酸素が燃焼時に窒素と結合するため、NO_x 濃度が上昇するものと考えられる。しかし、高 EGR 率における NO_x 濃度の差はほとんどなくなる。運転条件が高回転、高負荷に変化してもこれらの傾向は変わらない。PM 排出量の変化について、性能試験における PM 排出量の変化の一例を Fig.4 に示す。Fig.4 に示すように、いずれの燃料を使用した場合においても PM 排出量が増加するが確認できる。これ

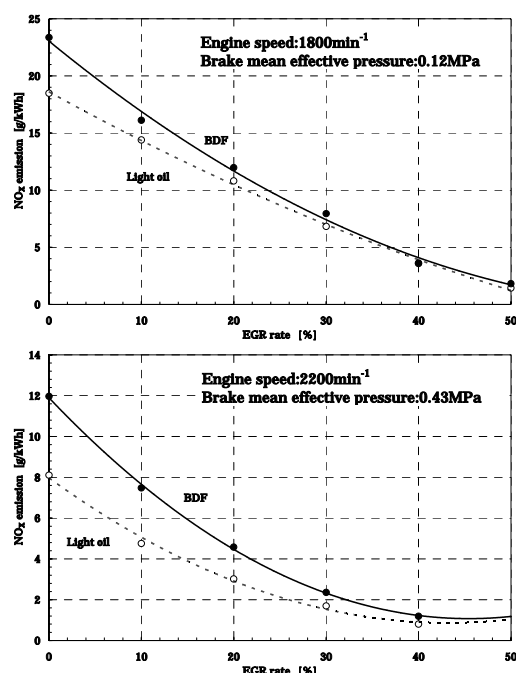


Fig.3 Comparison of NO_x emission by EGR rate change using light oil and BDF

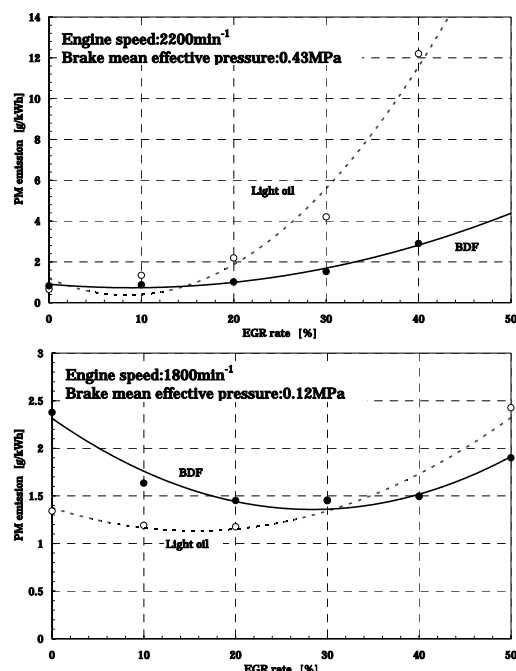


Fig.4 Comparison of PM emission by EGR rate change using light oil and BDF

は、EGR 率が高くなると燃焼室内の不活性ガス濃度が上昇し、不完全燃焼する燃料が増加するためであると考えられる。軽油とBDFを使用した場合を比較すると、エンジン回転数、負荷および EGR 率が上昇するほど、BDF を使用した場合の PM 排出量は軽油を使用した場合を下回り、その差は大きくなる。後燃え期間は燃料噴射が終わっても、シリンダ内に残った燃料が燃焼する期間であり、この間においては、シリンダ内には燃焼生成物が多量に存在し、酸素濃度が低くなっているため、残った燃料の燃焼は酸素と出会う早さに支配される。残った燃料は酸素と十分な混合ができずに PM となって排出されることが多い。したがって、後燃え期間中は燃料の酸素含有量が燃焼の進行を左右するものと考えられる。すなわち、酸素を含む BDF を使用した場合、後燃え期間に消費される燃料の増加や空気過剰率の低下する条件に変化してもこの期間における燃焼が促進され PM 排出量が減少したのと考えられる。これらより、BDF を用いた EGR 付加ディーゼルエンジンは、EGR により NO_x 濃度を低減できるとともに、BDF 中の含有酸素により PM 排出量は軽油を使用した場合を下回ることから、とくに空気過剰率の低下する条件において NO_x 及び PM の排出を同時に抑制できることがわかった。

以上の結果をまとめると次の通りである。

- (1) 総合的な排出ガスクリーン化システムを構築した。
- (2) SCR に用いられるアンモニアの車上における製造について検討した。
- (3) BDF を用いた EGR 付加ディーゼルエンジンの排出ガス特性について検討した。

これらより、総合的な排出ガスクリーン化システムへの各要素技術の適用に対する指針が得られた（位田晴良，水島一祐：福井工業大学研究紀要，37(2007)，117-124；38(2008)，83-90；39(2009)，161-168.）。

4) 国内外の研究のなかで本研究の占める位置づけ

排出ガスのクリーン化に関する要素技術は進展しており、実用化も進んでいるが、それらの要素技術を組み合わせた技術、または総合したシステムは、完成しているとは言えない状況である。本研究において総合的な排出ガスクリーン化システムについて検討した。

5) 新規制、独創的な点

各要素技術に新規性はないが、それらを総合した排出ガスクリーン化システムを構築したこと。また、資源枯渇問題の観点から石油代替燃料として期待されている BDF について、熱効率向上および排出ガス中の有害物質低減について検討したこと。