

軽油と BDF の混合燃料が EGR 付加ディーゼルエンジンの 排ガス特性に及ぼす影響*

位田 晴良^{*1}, キリワン カマラサック^{*2}

Effects of Mixed Gas Oil and BDF Fuel on Exhaust Gas Characteristics of Diesel Engines with EGR

Haruyoshi IDA^{*1}, and Kamalask KHIRIWAN

^{*1} Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering

BDF is a diesel fuel using vegetable oil as its raw material. Previous research has found that using fuel with a mix of gas oil and BDF improves the exhaust gas characteristics of diesel engines, compared to using BDF alone. Elsewhere, EGR is widely used to reduce the NO_x concentration in diesel engines, but it tends to increase PM emissions. Therefore, the purpose of this study is to grasp the effects of mixed gas oil and BDF fuel on the exhaust gas characteristics of diesel engines with EGR. To this end, engine performance testing using mixed gas oil and BDF fuels with different oxygen content ratios was performed. The results showed that excellent exhaust gas characteristics can be obtained by using BDF appropriately mixed with gas oil when the EGR rate is increased within the range where normal operation can be maintained.

Key Words : Diesel Engine, Bio Diesel Fuel, Fuel Mixing, Exhaust Gas Recirculation, Exhaust Gas Characteristics

1. 緒 言

1.1 研究の背景

生物資源由来のディーゼル燃料である Bio Diesel Fuel (BDF) は、軽油と比較すると酸素含有率が高い。このため、ディーゼルエンジンにおいて BDF を用いると燃焼時に BDF から酸素が供給されることになり、熱効率の向上や粒子状物質 (PM) 排出の低減を示す運転特性を確認することができる。その反面、BDF は軽油よりも動粘度が高く燃料噴霧の微細化に不利な性質を有する。これまでの研究では、軽油と BDF を混合して用いることにより、BDF を単独で用いるよりも含有酸素が効率的に作用することがわかっている⁽¹⁾。

一方、自動車用動力源として普及している多くのディーゼルエンジンには窒素酸化物 (NO_x) 排出量の低減を目的とした排ガス再循環 (EGR) 装置が導入されている。しかし、NO_x および PM (粒子状物質) 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になっている。

1.2 BDF

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 濃度増加を抑制する。BDF は菜種油等の植物油および廃食用油を原料として製造されたディーゼル燃料であり、植物油を構成する脂肪酸グリセリドにエステル交換反応を施すことによって得られる脂肪酸メチルエステルである。すなわち BDF はその組成中に酸素を多く含むため、ディーゼルエンジンにおける燃焼過程に酸素との混合が促進され燃焼改善が期待できる⁽²⁾⁽³⁾。

本研究において調査した軽油 (ジャパンエナジー製 2 号軽油) および BDF (油籐商事製) の主な性状を Table 1

* 原稿受付 2019 年 3 月 29 日

^{*1} 工学部 機械工学科

^{*2} 大学院 応用理工学専攻

E-mail: h-ida@fukui-ut.ac.jp

に示す。Table 1 より、BDF は軽油と比較すると比重、動粘度、発火点および酸素含有量は高く、総発熱量は低いことがわかる。

Table 1 Specification of gas oil and BDF used as experimental fuel⁽⁴⁾

Item	Gas oil	BDF
Specific gravity	0.82	0.88
Kinematic viscosity (303K) [m ² /s]	3.95×10 ⁻⁶	6.52×10 ⁻⁶
Ignition point [K]	507	522
Oxygen content [wt%]	0.10	10.7
Gross calorific value [kJ/kg]	45.6×10 ³	39.5×10 ³

1.3 EGR

EGR は不活性ガスである排ガスの一部をインテークマニホールドへ再循環させ、吸入空気に混合することにより最高燃焼ガス温度を下げて NO_x の低減を図る。また、EGR 率とは吸気中に混合する排ガスの体積比率である。本研究においては、EGR を適用しない場合 (EGR 率 0%) の吸入空気量を計測してこれを基準とし、EGR 適用時に減少する吸入空気量を計測して排ガス混合量を求め、これらより EGR 率を算出する。

1.4 研究の目的

前述 (1.1 節) のように、これまでの研究において、酸素を多く含む BDF と動粘度の低い軽油を適度な比率で混合した燃料は、ディーゼルエンジンにおいて軽油及び BDF を単独で使用するよりも高い熱効率が得られ、PM 排出量が増大する運転条件 (燃料噴射時期の遅角) においても混合燃料使用時の PM 排出量は軽油使用時を下回ることが分かっている⁽¹⁾。そこで本研究では、NO_x 排出量は低減するものの PM 排出量は増加する EGR を適用したディーゼルエンジンにおいて、軽油と BDF の混合燃料が NO_x 及び PM の排出量に及ぼす影響を把握することを目的として性能試験を実施する。

2. 実験方法

実験装置は、コモンレール式燃料噴射装置を導入したディーゼルエンジン (ヤンマー NFD170) および排ガス計測装置から構成される。

性能試験に用いるディーゼルエンジンの諸元を Table 2 示す。Table 2 に示すように排気量 857cm³ の横型水冷 4 サイクル単気筒ディーゼルエンジンを用いる。

軽油および BDF を用いてエンジン回転数 2200min⁻¹、負荷 (正味平均有効圧) 0.36MPa とし、軽油に対する BDF の混合率を 0~100% (体積比で 25%毎) とした混合燃料を用いる (以下 BDF 混合率の高い燃料から B100, B75, B50, B25, 軽油と呼称する)。混合燃料の酸素含有率は、BDF の混合率とともに増大することになる。また、排ガス特性は EGR 率に影響されるため、EGR 率を正常運転が可能な 0~40%に変更して性能試験を実施する。

なお、燃料噴射時期を決定するために予備実験を実施し、EGR 率 0%において燃料噴射時期を変更した場合に最も正味熱効率が高くなった上死点前 37° (圧縮上死点を 0° とするクランク角度) を本実験の燃料噴射時期に適用する。

性能試験においては、容積式流量検出器 (小野測器 FP-2140HA) による燃料消費量の計測を行い、正味熱効率を求める。エンジンからの排ガス中に含まれる NO_x 濃度は直挿形 NO_x 分析計 (堀場製作所 MEXA-120NO_x) により計測する。また、PM はマイクロダイリュージョントンネル (堀場製作所 MDLT-1302T) によりフィルタに採取し、採取された PM は、超微量 PM 分析装置 (堀場製作所 MEXA-1370PM) により、主成分である SOF, Soot, Sulfate の重量が分離測定される。これらの結果を各燃料使用時および各 EGR 率適用時において比較することにより、燃料の含有酸素の影響を把握するとともに、排ガス中に含まれる有害物質低減に最適な運転条件を検討する。

Table 2 Specification of diesel engine used in performance examination⁽⁵⁾

Engine type	Horizontal, water cooled, 4 stroke
Combustion chamber	Direct injection (troydal type)
Cylinder / Bore and stroke [mm]	Single / 102 × 105
Displacement [cm ³]	857
Maximum power [kW] {PS} / Engine speed [min ⁻¹]	12.5 {17.0} / 2400
Compression ratio	17.8
Air charging	Naturally aspirated

3. 実験結果および考察

3.1 正味熱効率

各混合燃料を用いて EGR 率を変更した場合の正味熱効率の変化を Fig. 1 に示す. EGR 率 20%以下において, 軽油使用時の正味熱効率は, 混合燃料使用時よりも高いことがわかる. これは BDF の動粘度が軽油よりも高く, BDF および混合燃料は噴霧の微細化に不利であり着火性が劣ることが影響しているものと考えられる.

しかし, EGR 率 30%までは BDF および混合燃料使用時の熱効率の低下はわずかであり, EGR 率 30%以上では, 軽油使用時の熱効率を上回る混合燃料もあることがわかる. これは EGR 率の上昇に伴い, 吸入側に再循環する不活性ガスの割合が大きくなり, 混合気中の酸素濃度は低下するが, BDF の含有酸素が燃焼を促進させるため熱効率の低下が抑制されるものと考えられる. そのため, EGR 率 30%において BDF 混合率の高い B75 使用時の熱効率は軽油を上回り最も高くなるものと考えられる. ただし, EGR 率 40%においては, いずれの燃料においても熱効率が著しく低下することがわかる.

したがって, 正常運転が維持できる範囲で EGR 率を上昇させた場合 (本研究では最大 30%), BDF 単独または軽油と BDF の混合燃料を用いることにより, 熱効率の低下を抑制できる.

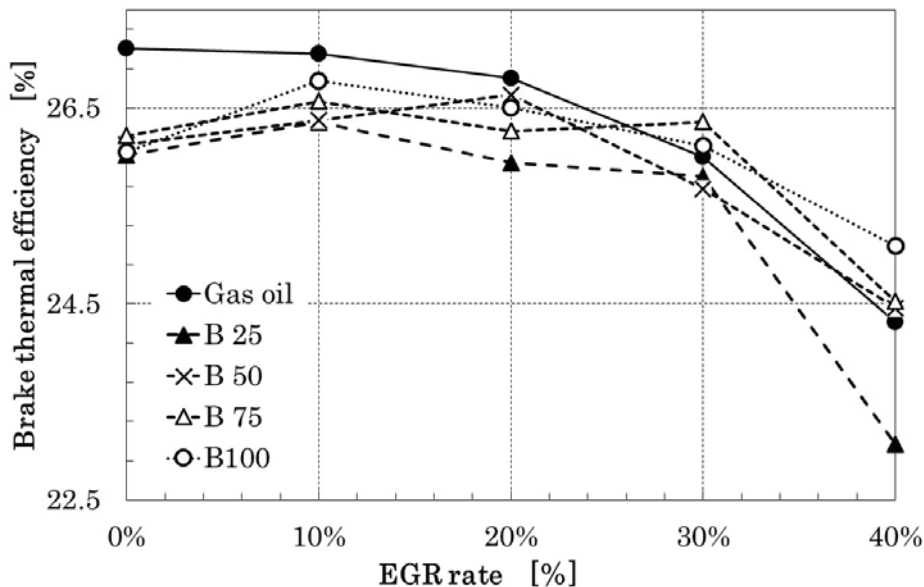


Fig.1 Variations of brake thermal efficiency with EGR rate measured by using mixed Fuels of gas oil and BDF

3.2 NO_x 濃度

各混合燃料を用いて EGR 率を変更した場合の NO_x 濃度の変化を Fig. 2 に示す。EGR 率の増大に伴い NO_x 濃度は低下することがわかる。これは、EGR による効果であるが、いずれの EGR 率においても各使用燃料の NO_x 濃度に大きな差が見られないことがわかる。NO_x 発生は最高燃焼温度に影響されるが、燃焼温度及び燃焼圧力はエンジンの仕事がか一定であればほぼ変わらないため、BDF の混合率、すなわち混合燃料中の酸素含有率は NO_x 濃度に大きく影響しないことが考えられる。

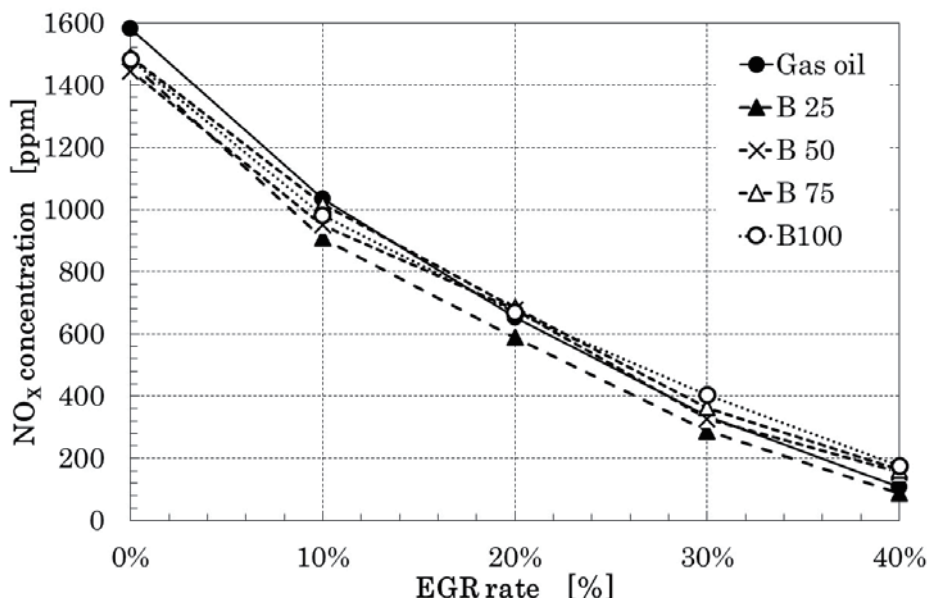


Fig.2 Variations of NO_x concentration with EGR rate measured by using mixed Fuels of gas oil and BDF

3.3 PM 排出量

各混合燃料を用いて EGR 率を変更した場合の PM 排出量の変化を Fig. 3 に示す。EGR 率の上昇に伴い、いずれの燃料使用時においても PM 排出量は増加することがわかる。しかし、EGR 率が上昇すると、BDF の混合率が高い燃料ほど PM 排出量は低いことがわかる。これは、吸気中の酸素濃度が低下する運転条件であっても BDF に含まれる酸素が燃焼を促進させることにより PM 排出量の増加が抑制されるものと考えられる。

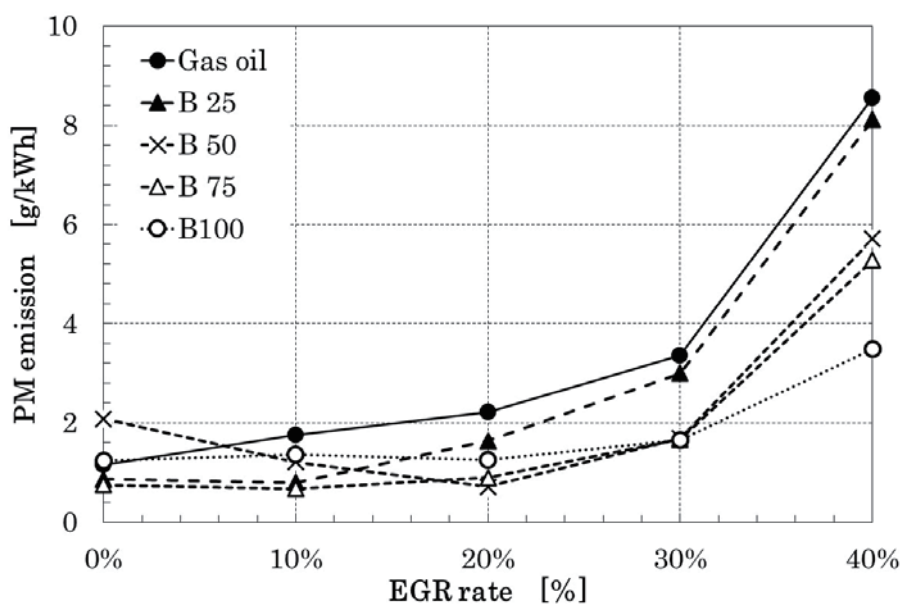
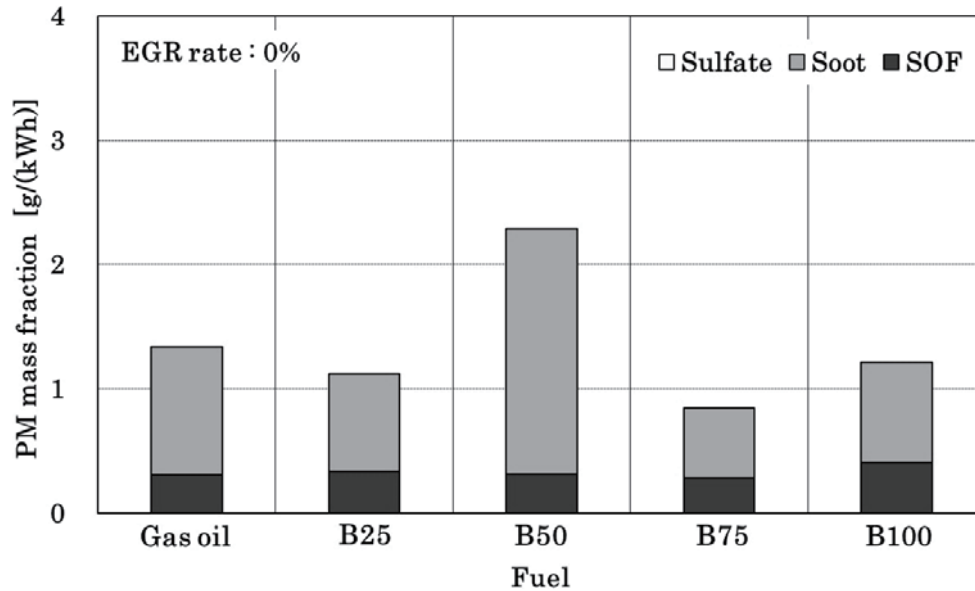
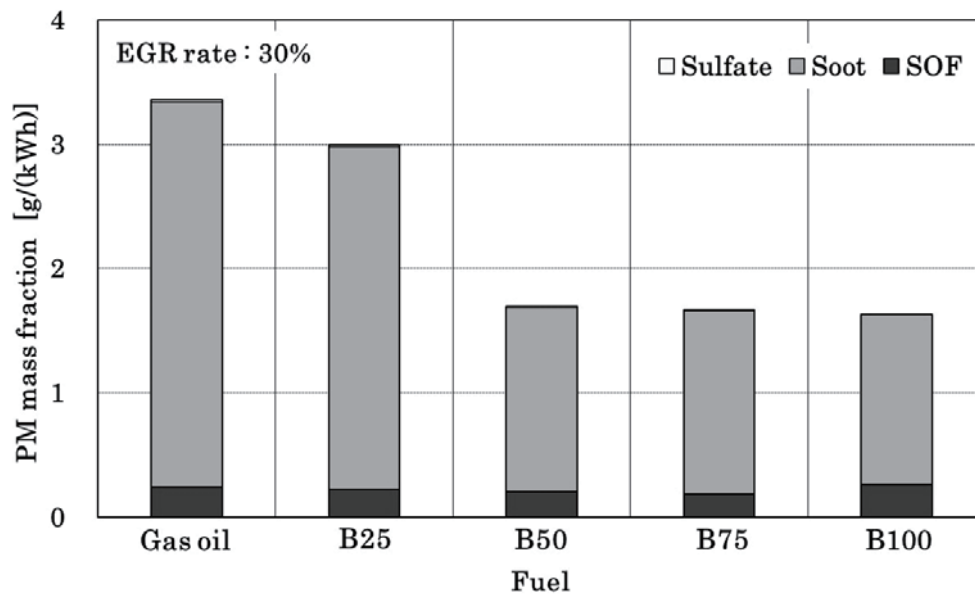


Fig.3 Variations of PM emission with EGR rate measured by using mixed Fuels of gas oil and BDF

吸気中に排ガスを再循環しない EGR 率 0% および正常運転の維持が可能な範囲で最も再循環される排ガスが多い EGR 率 30% において排出された PM に含まれる成分を使用燃料別に Fig. 4 に示す。PM に含まれる成分は、硫酸化物 (Sulfate)、部分的に気化不十分となった燃料粒が火炎に曝され分離した炭素である煤 (Soot)、未燃焼の燃料やオイルなど有機溶剤可溶成分 (SOF : Soluble Organic Fraction) に大別される。本研究で用いた燃料に含まれる硫黄はごく微量であるため Sulfate はほぼ検出されない。Fig. 4 より、ほとんどの燃料を使用した場合、EGR 率を 0% から 30% に増大させると Soot は増加し、SOF は若干減少することがわかる。やはり吸気中の酸素濃度の



(a) EGR rate : 0%



(b) EGR rate : 30%

Fig. 4 Variations of mass fraction of the sulfate, soot and SOF contained in PM with mixed fuels measured at EGR rate 0% (a) and 30% (b)

低下が燃焼状態に影響するとともに、Soot の量が PM 排出量を支配しているといえる。また、SOF の減少は、EGR 率増大に伴い排ガス混入量が増加することから吸気温度が上昇し、燃料の着火性が向上するためであると考えられる。なお、EGR 率 0%において B50 を用いた場合に Soot 量が最も多く、軽油と BDF の混合率が適切ではないといえるが、原因の調査が必要である。

EGR 率 30%においては BDF の混合率が 50%以上の燃料を用いた場合、Soot 量の増加は抑制されており PM 低減に有利であることがわかる。

4. 結 言

軽油と BDF の混合燃料を EGR 適用エンジンに用いた場合、混合燃料の BDF 混合率が運転特性に及ぼす影響を把握することを目的としたエンジンの性能試験を実施した。

その結果、EGR 率が低い運転条件において軽油を単体で用いた場合の熱効率は、BDF と軽油の混合燃料、または BDF を単体で使用した場合よりも高くなるが、EGR 率が上昇した運転条件では、BDF 及び混合燃料を使用した場合、熱効率の低下が抑制される。とくに正常運転の維持が可能な範囲で最も高い EGR 率においては混合燃料を用いた場合に最も高い熱効率が得られた。

また、いずれの EGR 率においても、各燃料使用時の NO_x 濃度に大きな差が見られなかったことから燃料の BDF 混合率は NO_x 排出量に大きく影響しないといえる。

一方、EGR 率の上昇に伴い、BDF の混合率の高い燃料ほど PM 排出量の増加は抑制されることから、BDF に含まれる酸素は、EGR 率が高く酸素濃度が低下する状態において燃焼を促進させることが考えられる。

したがって、極力 NO_x 排出量の低減を図り、正常運転が維持できる範囲で EGR 率を上昇させた場合、軽油と BDF を適度に混合して用いることにより、軽油使用時と同程度まで NO_x 濃度を低減しながら、軽油使用時よりも熱効率の低下と PM 排出量の上昇を抑制できるといえる。

文 献

- (1) キリワンカマラサク、位田晴良、磯松弥司，“生物資源由来燃料と軽油の混合燃料がディーゼルエンジンの排ガス特性に及ぼす影響”，日本機械学会 2018 年度年次大会 DVD 論文集(2018)
- (2) 池上詢，バイオディーゼル・ハンドブック(2006)，p.7，日報出版。
- (3) 小山成，“次世代バイオディーゼル燃料の開発”，自動車技術，vol.61，No.11(2007)，p.22。
- (4) 日本エネルギー学会分析室，報告書，分試第 27-020～21(2016)。
- (5) ヤンマー株式会社編，ヤンマーディーゼルエンジン NF 形シリーズ(2003)，p.9，ヤンマー株式会社。

(2019 年 4 月 26 日受理)