

PS-20 ディーゼル機関の燃焼に及ぼす

エマルジョン燃料、EGR、燃料噴射制御の効果

環境・動力系 * 西尾澄人、柳東勲

1. はじめに

ディーゼル機関から排出される NO_x の低減技術として EGR (排気ガス再循環) やエマルジョン燃料の使用がある。これまでの実験で、EGR は高い NO_x 低減効果があるがスモークを増加させる。また、エマルジョン燃料は EGR より NO_x 低減効果が少ないが、スモーク低減効果がある。さらに EGR とエマルジョン燃料を組み合わせるとスモークを増加させずに NO_x を大幅に低減することができるが、着火遅れが大きくなり、熱効率が悪化する。一方、燃料噴射制御で着火時期の制御が可能だが、スモークを増加させる場合もあり、適切な燃料噴射制御が重要であることが分かっている^{1), 2), 3)}。

本研究では、エマルジョン燃料、EGR、燃料噴射制御すべてを小型高速ディーゼル機関に適用し、排気ガス特性や機関特性に与える影響を調べたので報告する。加えてエマルジョン燃料と同程度の着火遅れを有する LCO 混合油を用いて実験を行ったので報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験に使用したディーゼル機関は小型高速 4 サイクルディーゼル機関 (単気筒、無過給、最大出力 12kW/2600rpm、AVL 製) である。EGR の実験が行えるように排気ガスの一部を吸気側に戻すように改造を行っている。EGR 率は 25% (EGR25) と 30% (EGR30) である。

ディーゼル機関の運転条件は、本ディーゼル機関の 100% の負荷を同機関の最大トルク 5kgf・m と回転数 1500rpm の状態とした場合の舶用特性の 75% 負荷 (機関回転数: 1363rpm、トルク: 4.13kgf・m) に設定して実験を行った。

使用した燃料は、軽油 (GO: Gas Oil)、エマルジョン燃料 (EF: Emulsified Fuel) である。エマルジョン燃料は軽油と水を容積比で 70:30 (EF30) にして製作したものである。また、EF30 と同程度の着火遅れを有する LCO と A 重油の混合油 (図中 LCO と記す。LCO:A=7:3。密度 0.9151g/cm³、動粘度 2.573cSt、CCAI 882) も使用した。

燃料噴射時期が排ガス特性や機関特性に与える影響を調べるために、燃料噴射時期を上死点前 7.0 度 (基準)、8.8 度、10.6 度、12.4 度、14.2 度と変えて実験を行った。

筒内圧データはクランク角度 1 度間隔で収集した。

排ガス計測はポータブル型燃焼ガス分析計

testo350XL を用いて、NO_x、CO、O₂、CO₂ 濃度を計測した。スモーク濃度の計測はスモークメータ SOKKEN MODEL GSM-3 を使用した。

なお、全ての実験はほぼ同一時期に行っている。

3. 実験結果および考察

小型高速ディーゼル機関に軽油、エマルジョン燃料、LCO 混合油を使用して、EGR や燃料噴射制御を行った実験の燃焼解析の結果を図 1 から図 3 に示す。

燃料噴射時期が排ガス性状に与える影響を図 4 から図 6 に、熱効率の結果を図 7 に示す。

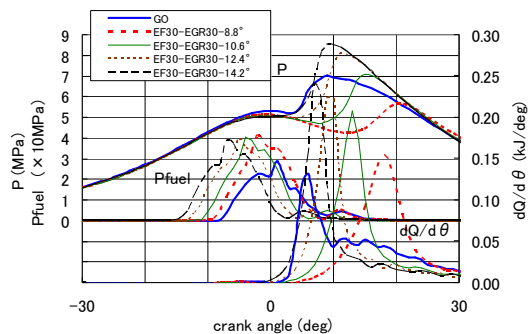


図 1. 燃焼解析結果 (EF30, EGR30)

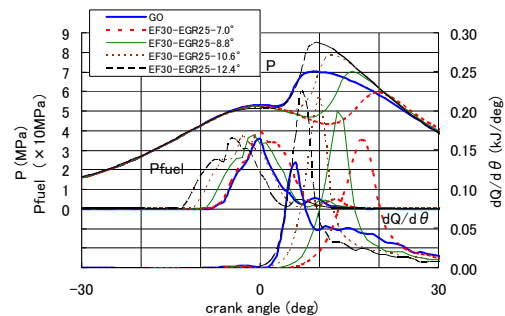


図 2. 燃焼解析結果 (EF30, EGR25)

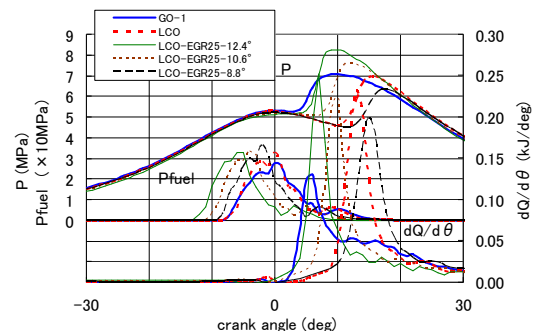


図 3. 燃焼解析結果 (LCO 混合油, EGR25)

NO_x はエマルジョン燃料にすることで減少し、EGR 率を大きくすると大幅に減少する。燃料噴射時期を早くすると最高筒内圧の上昇とともに NO_x も上昇する。しかし EF30 の場合は元の GO の値と比較すると依然低い値である。LCO 混合油の場合はもともと GO に比べて NO_x は高い値であり、EGR を使用することにより低くなるが、燃料噴射時期を早くすると高い値になる。

Smoke 濃度はエマルジョン燃料にすることにより大幅に減少するが EGR 率を高くすると増加する。しかし元の GO に比べると依然低い値である。燃料噴射時期を早くすると EF30 の EGR 率 25% の場合は、Smoke が増加することなく低い値で推移する。EF30 の EGR 率 30% の場合は燃料噴射時期を早くすると Smoke は増加していく。LCO 混合油の EGR 率 25% の場合も燃料噴射時期を早くすると Smoke は増加していく。

CO はエマルジョン燃料にすることにより増加し、EGR 率を高くすることにより更に増加する。燃料噴射時期を早くすると CO は減少していく。

熱効率はエマルジョン燃料にすることにより低下し、EGR 率を高くすることにより更に悪化する。燃料噴射時期を早くすると熱効率は改善され、元の GO の熱効率と同等まで改善することが可能であった。

EF30 の EGR 率 25% の場合、燃料噴射時期を早くすることにより（噴射時期-12.4 度）、基準の GO に比べて熱効率を同程度に保ち、スモークを減少したまま NO_x を約 70% 低減することが可能であった。

EF30 の EGR 率 30% の場合は、燃料噴射時期を早くすることにより NO_x を大幅に低減したまま熱効率を改善することは可能であるが、Smoke が増加した。燃料噴射時期を早くすると、燃焼が上死点に近くなり着火遅れが減少すると共に燃焼速度が早くなる。EGR により燃料噴霧の燃焼火炎内の O₂ 濃度が減少しスモークが増加したものと考えられる。EGR を使用しない場合の排気ガスの O₂ 濃度は約 11.8%、EGR を 25% かけた場合は約 8.8%、EGR を 30% かけた場合は約 7.6% であった。

着火遅れが EF30 と同程度である LCO 混合油の場合は、EGR 率 25% であっても燃料噴射時期を早くすると Smoke は増加した。燃料噴霧の燃焼火炎内の O₂ に対する燃料の割合が関係しているものと考えられる。LCO 混合油の場合を 100 とすると EF30 の場合は 70 であるため、LCO 混合油では Smoke が増加し、EF30 では増加しなかったものと考えられる。EF30 の NO_x が LCO 混合油に比べて低いのもこれが原因の一つと考えられる。

4. まとめ

エマルジョン燃料、EGR、燃料噴射制御を小型高速ディーゼル機関に適用し、燃焼・排気ガス特性に与える影響を調べた結果、以下のことが明らかになった。

- 1) エマルジョン燃料、EGR、燃料噴射制御を組み合わせることによりスモーク及び熱効率を悪化させず

に、NO_x を 70% 低減することが可能であった。

- 2) 燃料噴射制御で適切な着火時期に設定する際、スモークを増加させる場合があり、適切な水混合割合と EGR 率の組み合わせが重要である。

参考文献

- 1) 西尾他 3 名, 日本機械学会関東支部第 19 期総会講演論文集, 130-1 (2013-3), 459-460
- 2) 西尾、柳, 海技研講演会講演集, PS-35 (2013), 1-2.
- 3) 西尾、柳, 日本機械学会関東支部第 20 期総会講演論文集, 10302 (2014-3), 1-2

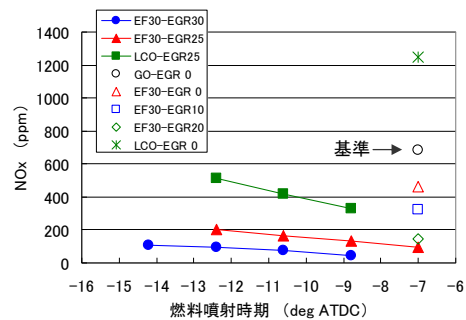


図 4. NO_x と燃料噴射時期の関係

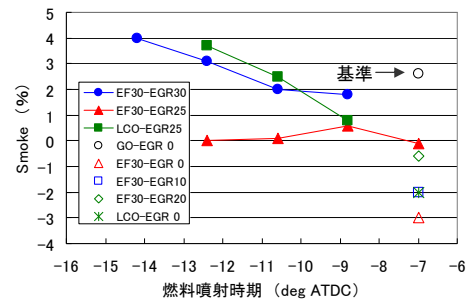


図 5. Smoke 濃度と燃料噴射時期の関係

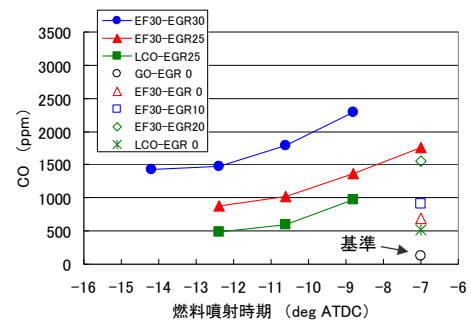


図 6. CO と燃料噴射時期の関係

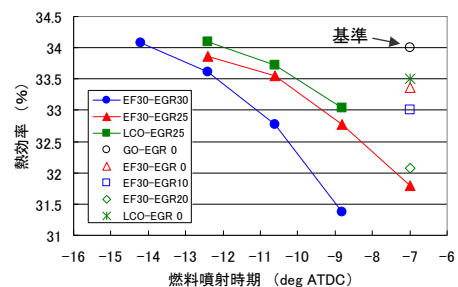


図 7. 熱効率と燃料噴射時期の関係