

PS-22 船用ディーゼル機関の排気性状に及ぼす エマルジョン燃料と EGR 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 の低減技術としては EGR (排気ガス再循環) やエマルジョン燃料の使用等がある。EGR は高い NO_x 低減効果を持っているが、スモークを増加させることが知られている。また、エマルジョン燃料使用法は EGR より NO_x 低減効果が小さいが、スモーク低減効果があることなどが明らかになっている^{1),2),3),4)}。一方 2 ストロークディーゼル機関 (3, 320kW/127rpm) においてもエマルジョン燃料と EGR の同時使用の事例があり、燃費を大幅に悪化させずに NO_x を大幅に低減できることが報告されている⁵⁾。しかし、エマルジョン燃料と EGR の同時使用の研究例は少なく、不明な点も多い。

本研究では、船用 4 ストロークディーゼル機関にエマルジョン燃料と EGR を同時に適用し、排ガス特性 (NO_x、スモーク、CO) に与える影響に注目して調べたので報告する。

2. 実験装置および実験方法

実験に用いた機関は船用中速 4 ストロークディーゼル機関 (3 気筒、過給機付き、最大出力 257.4kW/420rpm、ボア×ストローク : 230mm×380mm、圧縮比 13、松井鉄工所製) である。排ガスの一部を EGR クーラーにより冷却し、新気と混合して過給機入口から機関に供給できるように改造を行っている。

ディーゼル機関の運転条件は船用特性の 75% 負荷率 (機関出力 : 193.0kW、機関回転数 : 382rpm) の一条件のみを調べた。また、使用した燃料は、A 重油及び A 重油エマルジョン燃料 (A 重油 : 水は容積比で 70 : 30) としており、A 重油エマルジョン燃料を使用した実験においては、EGR (EGR 率約 8.3% 及び約 14.8%) を適用している。

排ガス計測ではポータブル型燃焼ガス分析計 testo350XL を、スモーク濃度の計測では JIS D 8004 に準拠したスモークメータ (ろ紙式ディーゼル排気黒煙濃度測定器、SOKKEN MODEL GSM-3) を使用した。ただし、高負荷時のスモーク濃度は極めて薄いため、通常の 5 倍の吸引を行った。

3. 実験結果および考察

図 1 から図 3 には、船用ディーゼル機関に A 重油、A 重油エマルジョン燃料 (図中 EF30 と記載。30% 水混合

合)、A 重油エマルジョン燃料に EGR 率を約 8.3% 及び約 14.8% を適用した実験の結果を A 重油で EGR を適用していない結果に対する値として示している。また、過去に行った A 重油に EGR 率約 21.4% を適用した実験と含水率 20% の A 重油エマルジョン燃料 (EF20) の実験の結果も参考として示している⁶⁾。

図 1 によると NO_x は、A 重油エマルジョン燃料 (含水率 30%、EF30) は A 重油に対して 18.6% 低減されており、A 重油エマルジョン燃料と EGR 率 8.3% の同時適用時では 53.0% 低減、A 重油エマルジョン燃料と EGR 率 14.8% の適用では 79.4% 低減された。

図 2 では含水率と EGR 率がスモークに与える影響を示す。結果によると A 重油に対して A 重油エマルジョン燃料 (EF30) はスモークを大幅に低減 (86.5% 低減) するが、これに EGR を適用するとスモークは増加し、EGR 率 8.3% の適用で A 重油に対して 41.4% の低減で、EGR 率 14.8% の適用で A 重油に対して倍以上に増加した。

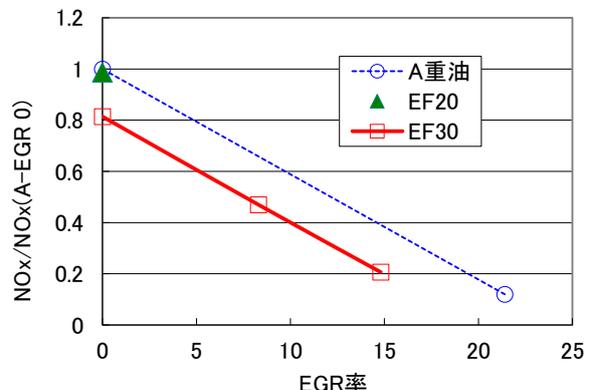


図 1. エマルジョン燃料と EGR が NO_x に与える影響

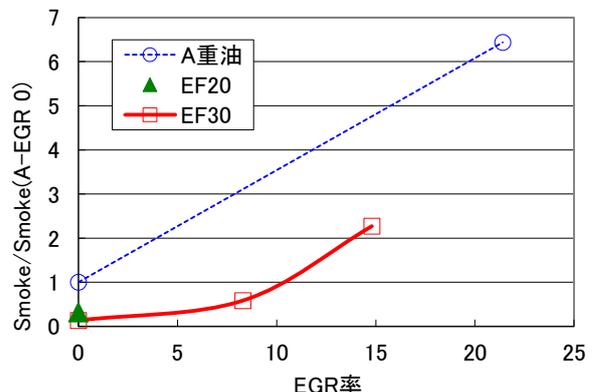


図 2. エマルジョン燃料と EGR がスモークに与える影響

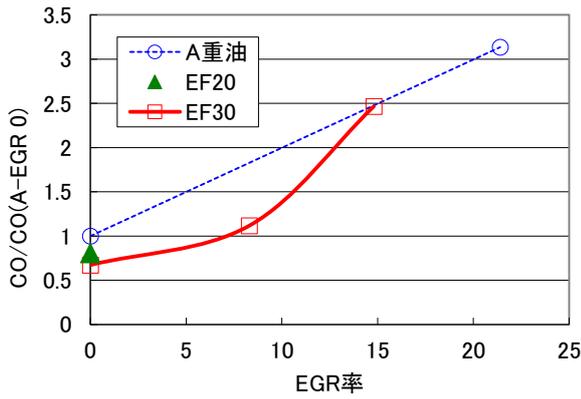


図 3. エマルジョン燃料と EGR が CO に与える影響

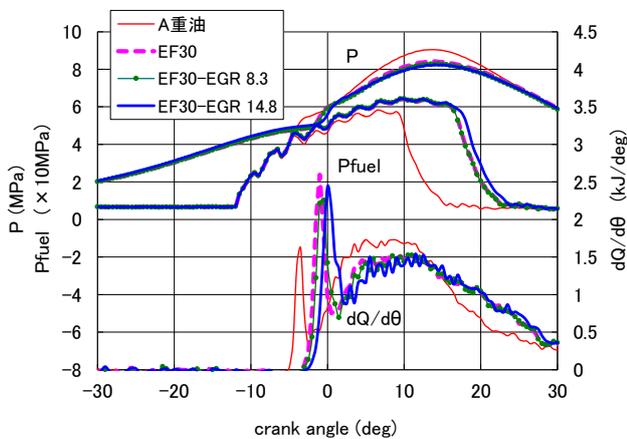


図 4. 燃焼解析結果

図 3 では含水率と EGR 率が CO に与える影響を示す。CO はスモークと同様な傾向を示した。A 重油に対して、A 重油エマルジョン燃料 (EF30) は CO を 32.8% 低減するが、これに EGR を適用すると CO は増加し、EGR 率 8.3% の適用では A 重油に対してほぼ同等 (11.7% 増) となり、EGR 率 14.8% の適用で A 重油に対して倍以上に増加した。

図 4 に本実験の燃焼解析の結果を示す。図には筒内圧力、燃料噴射圧、熱発生率が示してある。A 重油に比べて A 重油エマルジョン燃料 (EF30) のほうは発熱量低下により燃料噴射期間が増加し、最高筒内圧は低下している。また、着火遅延期間が長くなっている。さらに、EGR を適用することにより着火遅延期間は増加している。

エマルジョン燃料により NOx が低減した理由については、水の混合による燃焼火炎温度の低下などである。また、EGR による NOx の低減の理由としては、吸気中の O₂ 濃度の低減と、比熱の高い CO₂ 濃度の増加である。

エマルジョン燃料によりスモークが低減した理由は、油より蒸発性の良い水の混合によるエマルジョン

燃料の微粒化・蒸発の促進、空気の巻き込みによる局所空気過剰率の増大、水性ガス化反応による燃焼の改善などが考えられる。また、EGR によりスモークが増加した原因については、EGR により燃料噴霧の燃焼火炎内の O₂ 濃度が減少したことである。

EGR を使用しない場合の排ガスの O₂ 濃度は約 9.6%、EGR 率を 8.3% にした場合は約 8.6%、EGR 率を 14.5% にした場合は約 7.5% であった。CO₂ 濃度については、EGR を使用しない場合の排ガスの CO₂ 濃度は約 8.6%、EGR 率を 8.3% にした場合は約 9.4%、EGR 率を 14.8% にした場合は約 10.1% であった。

4. まとめ

本研究では、船用ディーゼル機関においてエマルジョン燃料と EGR の同時使用が燃焼及び排ガス排出特性に及ぼす影響について検討を行った。エマルジョン燃料の使用によりスモークは大幅に低減できるが、これに EGR を適用することにより、スモークは増加する。ただし、同時適用により NOx を大幅低減することは可能であり、エマルジョン燃料使用時では、適切な EGR 率の選定によりスモークや CO を増加させずに NOx を低減することが可能であることが分かった。今回の実験において適切な運転方法は含水率 30% の A 重油エマルジョン燃料 (EF30) で EGR 率を 8.3% に設定する場合でありスモークと NOx の同時低減が可能であった (スモーク 41.4% 低減、NOx 53.0% 低減)。

エマルジョン燃料の使用はスモークの低減効果をもたらすが、低負荷運転 (25% 負荷率) では逆にスモークを増加させる場合があり、その対策としてはブレ噴射が有効であることが分かっている⁵⁾。今後は、エンジン負荷率 25% でエマルジョン燃料と EGR と燃料噴射制御を組み合わせる実験を行う予定である。これにより、エンジン負荷率に依らずスモークを増加させずに NOx を低減することが可能であると考えられる。

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 (2013-6)、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
- 4) 西尾、柳、海技研講演会講演集、PS-20 (2014-6)、1-2
- 5) 東田他 4 名、マリンエンジニアリング学会誌、48-6 (2013-11)、747-752
- 6) 西尾、柳、第 84 マリンエンジニアリング学術講演会講演論文集、118 (2014-11)、87-88