

カーボンニュートラルを見据えたエンジンの熱効率改善

[研究代表者] 西島義明 (工学部機械学科)

[共同研究者] 黒仁田徳士 (株デンソー)

研究成果の概要

自動車の電動化に向けた取り組みが活発になる一方で、充電インフラの不足や航続可能距離が短いといった問題が生じている。このような状況において、ディーゼルエンジンは燃費とパワーに優れており欧州を中心に高い評価を得ている。しかし排気ガスに含まれる煤 (Smoke) や窒素酸化物 (NOx) に代表される有害成分の低減が必要である。本研究ではバイオディーゼル燃料が排気性能に与える影響を調査することを目的とした。

試験は JIS2 号軽油、脂肪酸メチルエステル (Fatty Acid Methyl Ester, FAME)、および FAME と JIS2 号軽油との混合燃料 (FAME50) を用いた。試験の結果から、FAME は JIS2 号軽油と比較して Smoke 発生量が少ないことが確認できた。さらに NOx の濃度も抑制されている。試験で使用した JIS2 号軽油は燃料分子中に 0.1[wt%]の酸素原子を含む。これに対し FAME は、11.5[wt%]含んでいる。含まれる酸素原子が JIS2 号軽油と比べて多いため、酸化が促進され Smoke をはじめとする未燃成分が低減したと考えられる。また FAME の噴射期間が JIS2 号軽油よりも長いために噴霧の拡散時間が増え、空気との混合が促進された。これにより局所的な当量比が下がり、筒内の急激な温度上昇を抑え NOx が低減できたと推察する。

研究分野: 内燃機関、自動車用エンジン、エネルギー変換

キーワード: 燃費、バイオディーゼル燃料、排ガス、煤 (Smoke)、窒素酸化物 (NOx)

1. 研究開始当初の背景

現在自動車業界は 100 年に一度の変革期を迎えており、電動化に向けた取り組みが活発になっている。しかし電動車は航続可能距離や車両価格、充電インフラ不足等の問題から普及が進んでいないのが現状である。一方発展途上国に目を向けると内燃機関を使用した自動車が主流であり、さらなる性能改善が求められている。このような状況において、ディーゼルエンジンは燃費とパワーに優れており、特に欧州で高い評価を得ている。しかしながらエネルギーセキュリティを見据えたさらなる燃費向上、および未燃成分である煤 (Smoke) と窒素酸化物 (NOx) に代表される排出ガス中の有害成分をいかに抑制するかが課題である。

2. 研究の目的

本研究ではバイオディーゼル燃料が排気性能に与える影響を調査することを目的とした。

使用したバイオディーゼル燃料は FAME である。FAME は植物油、動物性油脂、廃食用油などからエステル交換反応によって生成されるものである。

カーボンニュートラル燃料である FAME は代替燃料としての利用が期待されている。しかしエステル化によって炭素の二重結合が増えたことで未燃成分の増加が予想される。また FAME の動粘度は JIS2 号より高く、噴霧の分散性が悪化し局所的な当量比が上がることで NOx が増加すると考えられる。

2022 年度は、JIS2 号軽油、FAME、および JIS2 号軽油と FAME の混合燃料を用いて試験を行った。それぞれの燃料が排気性能に与える影響を、単気筒ディーゼルエンジンを用いて評価した。

3. 研究の方法

コモンレールシステムはサプライポンプにて高圧化した燃料をレールに蓄え、電子制御により燃料を噴射する装置である。インジェクタ内の電磁弁の ON/OFF によってインジェクタ内の油圧を制御し、ノズルニードルを作動させることで噴射の開始と終了を決定する。従来型の燃料噴射装置と比較して、より高圧かつ回転数に依存しない噴射圧力での噴射が可能である。

(1) 主要な設備備品

図1に本研究で使用使用する単気筒ディーゼルエンジンの外観を示す。また表1にエンジン諸元を示す。

単気筒ディーゼルエンジンおよびコモンレールシステムは(株)デンソーより供試いただいた装置である。

本エンジンの吸排気系には排気ガス再循環(Exhaust Gas Recirculation, EGR)を使用している。EGRシステムとは、燃焼後の排気ガスを再度吸気ガスに取り込む手法である。これにより燃焼温度が下がりNOxの低減が可能である。

また排気ガス中のSmokeをAVL 415SEにより捕集し、NOx濃度を光明理化学工業(株)製 AGT-210にて測定した。

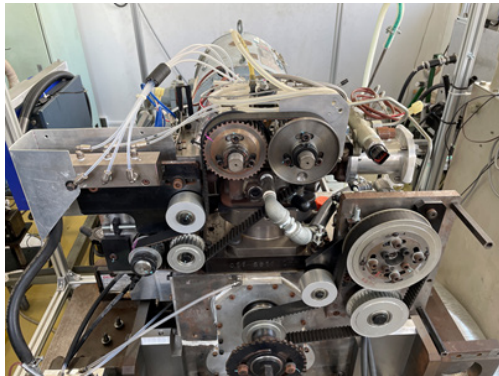


Fig. 1 Single-cylinder diesel engine

Table. 1 Specifications of the single-cylinder diesel engine

Engine specifications	4Cycle Diesel Engine, S/C
Engine Displacement[cc]	559
Compression Ratio	15.8
Boa×Stroke [mm]	Φ86×96
Intake and exhaust system	Cooled EGR
Injection system	Solenoid Injector

(2) 試験条件

表2に試験条件を示す。

今回の試験においてインジェクタはソレノイドタイプを用いた。また吸気条件は0.15[MPa Abs]とした。

燃料噴射はパイロット噴射とメイン噴射の2段噴射とし、燃料噴射圧力は100[MPa]で試験を行う。噴射開始時期はパイロット噴射を-10[deg ATDC]、メイン噴射を0[deg ATDC]とした。各燃料の着火性も評価対象とするため噴射開始時期を一致させた。

ディーゼルエンジンの排気成分においてSmokeとNOxにはトレードオフ関係がある。燃焼が促進されると未燃成分であるSmokeが低減する一方で、筒内温度が上昇しNOxが増加する。EGRシステムによるNOx低減効果を確認するため、EGR率を0[%],10[%],15[%],20[%],25[%]と変化させて試験を実施した。

表3に燃料諸元を示す。FAMEは(株)デンソーよりご提供頂いた。またJIS2号軽油とFAMEの混合燃料(以下FAME50と示す)は体積比1:1で混合している。

Table. 2 Experimental conditions

Specification of Injector	Solenoid Drive Type
Flow Rate[cc/min]	700
Engine speed[rpm]	1500
Torque[N·m]	30
Fuel injection pressure [MPa]	100
Boost pressure [MPa Abs]	0.15
EGR ratio [%]	0,10,15,20,25

Table. 3 Fuel specifications

	JIS	FAME	FAME50
Density [g/cm ³ @15°C]	830	879	854
Carbon [wt%]	68.4	77.6	73.13
Hydrogen [wt%]	30	11.9	20.69
Oxygen [wt%]	0.1	11.5	20.69

4. 研究成果

図2にJIS2号軽油、FAME、FAME50におけるSmoke発生量およびNOx濃度を示す。

試験の結果から、FAMEはJIS2号軽油と比較してSmoke発生量が少ないことが確認できた。さらにNOxの濃度も抑制されている。

今回の試験で使用したJIS2号軽油は燃料分子中に0.1[wt%]の酸素原子を含む。これに対しFAMEは11.5[wt%]含んでいる。含まれる酸素原子がJIS2号軽油と比べて多いことが燃焼過程における未燃成分の生成を抑制し、Smoke発生量低減をもたらしたと推察される。

また軽油と比較して、NOx発生量の低減も確認できた。FAMEやFAME50の噴射期間はJIS2号軽油より長い。これはFAMEの低位発熱量が軽油と比較して小さいので、軽油と同じ出力を得るには燃料の量が多く必要であるためである。噴射期間が長くなると噴霧の拡散時間が増え、空気との混合が促進される。これにより局所的な当量比が下がり、筒内の急激な温度上昇を抑えNOxが低減できたと考えられる。

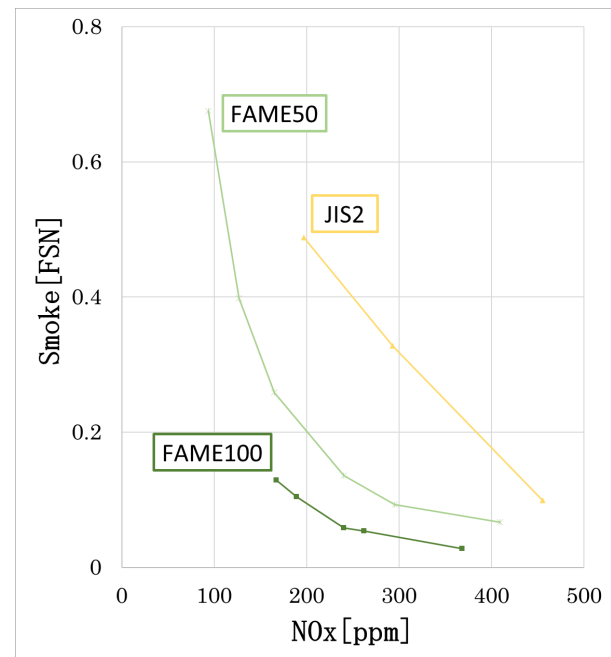


Fig. 2 Experimental results

5. 本研究に関する発表

(1) 黒仁田徳士、ディーゼル燃料の高圧化における噴霧特性に関する研究、日本液体微粒化学会 2022