

# PS-17 バイオ燃料とバイオガスの混焼が

## 船用ディーゼル機関の燃焼および排気特性に与える影響

環境・動力系 \* 西尾 澄人、福田 哲吾、仁木 洋一  
市川 泰久、新田 好古、中村 真由子

### 1. はじめに

IMO によるますます厳しくなる EEDI 規制や SO<sub>x</sub> のグローバル規制等が行われようとしている<sup>1)</sup>。バイオ燃料はカーボンニュートラルな燃料として扱うことができるため、CO<sub>2</sub> 排出量がなく、燃料に硫黄をほとんど含まず、SO<sub>x</sub> 排出量もほとんどないため、今後船用燃料に使用される可能性は高い。しかし、バイオ燃料は含酸素燃料であり、著者らの過去の知見から図 1 に示すように NO<sub>x</sub> が増加するなどの問題がある<sup>2)</sup>。本研究では、液体燃料にバイオ燃料油を混合させ、バイオガスを混焼させた場合の燃焼及び排気特性に与える影響を調べるために実験を行ったので報告する。

### 2. 実験装置および実験方法

図 2 に本研究の概略図を示す。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。使用した燃料は、表 1 に示す MDO(A 重油) とパームから作られた FAME (Fatty Acid Methyl Ester) である。また、バイオガスは都市ガス 13A に液化炭酸ガスを気化させたものを用いて、都市ガスの主成分であるメタンを基準に、メタン：CO<sub>2</sub>=60：40 の割合で混合したガスを使用した。実験用機関の過給機の吸い込み口にバイオガスを導入できるように改造し、バイオガスの導入量を変更して実験を行った。

排ガス計測は排ガス測定装置 (MEXA-1600DEGR、堀場製作所製) と FTIR 排出ガス分析装置 (FAST-2200、岩田電業製) を、スモーク濃度の計測はフィルタスモークメータ (415S、AVL 社製) を使用した。

まず、バイオガスの混合燃焼の効果を調べるために、MDO を用いて船用ディーゼル機関の船用特性 25% 負荷率と 75% 負荷率において、バイオガスのエネルギー割合を 0、約 10%、約 20%、約 30%、約 40%、約 50% と変更して排気特性、機関特性を計測した。次にバイオ燃料油である FAME の効果を調べるために FAME を用いて同様の実験を実施した。

実験に際し、機関を暖機し各運転負荷に静定後 30 分以上運転し、バイオガスの混合割合を変更し、10 分後、機関の状態が静定した後、筒内圧及び燃料噴射圧のデータをクランク角度に対し 0.5 度間隔で収集した。また排気ガス計測も行った。筒内圧データは 50 波形の平均をとって、燃焼解析を行った。機関の各種温度、圧力データは 1 秒間隔で収集した。

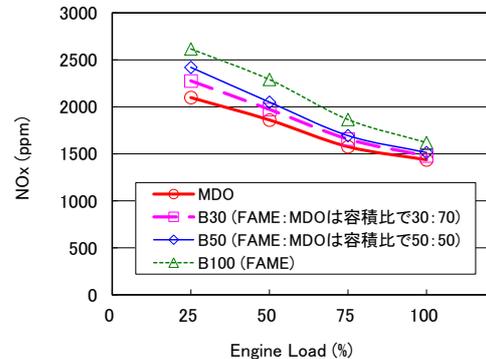


図-1 バイオ燃料が NO<sub>x</sub> に与える影響

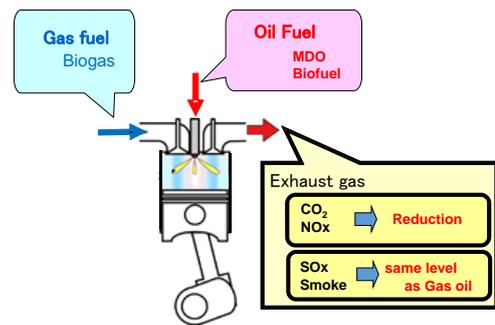


図-2 研究の概略図

表-1 使用燃料の性状

		MDO	FAME (B100)
Density (15°C)	g/cm <sup>3</sup>	0.8573	0.8753
Kinematic viscosity (50°C)	cSt	2.356	3.808
Flash point	°C	82.0	157
Sulphur	%	0.091	0.00
High calorific value	J/g	45390	39900
Oxygen in fuel	%	<2.5(0.6)	10.5

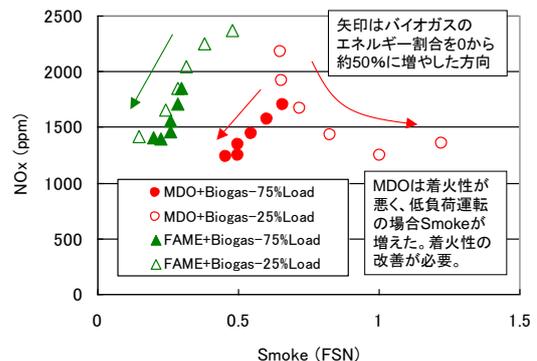


図-3 バイオガスの混焼が NO<sub>x</sub> とスモークに与える影響

### 3. 実験結果および考察

図3に各種液体燃料とバイオガスを混焼させた実験結果を示す。FAMEを用いた場合、高負荷運転（75%負荷）及び低負荷運転（25%負荷）共に、バイオガスの混合割合（エネルギー割合）を増やすにつれNO<sub>x</sub>及びスモークが同時低減した。一方、MDOの場合、バイオガスの混合割合を増やすにつれ、高負荷運転ではNO<sub>x</sub>及びスモークが低減したが、低負荷運転ではスモークが増加した。

図4及び図5は、それぞれ75%及び25%負荷における代表的な燃焼解析の結果を示す。MDOを用いた場合、FAMEを用いた場合、さらにそれぞれの燃料油でバイオガスの混合割合を約50%（エネルギー割合）とした場合の4例の燃焼解析の結果を示している。筒内圧、燃料噴射圧及び熱発生率が示されている。燃料噴射圧をみると、FAMEはMDOよりも発熱量が約10%低いために燃料噴射期間が長くなっている。また、バイオガスを混合した場合、液体燃料の噴射量は少なくなるため、燃料噴射期間が短くなる。熱発生率をみると、FAMEを用いた場合の着火時期が最も早く、さらにバイオガスを混合した場合の着火時期は遅くなる。一方で、MDOを用いた場合、FAMEとバイオガスを混合した場合よりも着火性が悪く、さらにバイオガスの混合により着火時期がさらに遅くなる。加えて、低負荷運転時は、高負荷運転時と比較してより燃料の着火直前の燃焼室内の条件（圧力、温度）が悪く、MDOを用いた場合、バイオガスの混合割合が増えるに従い、燃焼がより悪化したものと考えられる。これは着火遅れが問題であるため、燃料噴射制御（プレ噴射）を行うことにより燃焼改善は可能であると考えられる<sup>3)</sup>。

図6にバイオガスの混焼が熱効率に与える影響を示す。高負荷運転の場合、バイオガスの混合割合が増えるにつれ熱効率が悪くなっている。

図7に、次式により求めたバイオガスの燃焼割合を示す。

$$\text{バイオガスの燃焼割合 (メタン削減率)} = (A - B) / A$$

ここで、Aはエンジン入口のメタン濃度、

Bはエンジン出口のメタン濃度である。

高負荷運転では、バイオガスの混合割合が増えるにつれバイオガスの燃焼割合が小さくなっており、これが図6の熱効率が悪くなる原因の一つと考えられる。バイオガスの燃焼割合が小さくなる理由は、4ストローク機関の吸排気弁のオーバーラップ時の吹き抜けやバイオガスを燃焼する際に、液体燃料の噴射量が減少し、燃料噴霧に導入されるメタンが減少するなどの影響が考えられるため、詳細については今後検討が必要である。オーバーラップ時の吹き抜けを低減するためには、吸気ポートからインジェクタを用いてバイオガスを供給し、オーバーラップ時にバイオガスを導入しない制御などが必要と考えられる。

### 4. まとめ

カーボンニュートラルな燃料であるバイオ燃料油（FAME）とバイオガス（メタン：CO<sub>2</sub>=60：40）との混焼実験を行った結果、NO<sub>x</sub>とスモークの同時低減を確認した。この技術を活用してSO<sub>x</sub>とスモークを軽油並みに抑えなが

らCO<sub>2</sub>とNO<sub>x</sub>の大幅な低減も可能と考える。

### 参考文献

- 1) 村岡, 日マリ講, 第87回論集, (2017-5), 29-32
- 2) S. Nishio, et al., Proc. of ISME, (2011-10), C3-4
- 3) 徐他3名, 日マリ学誌, 46-2(2011-3), 252-256

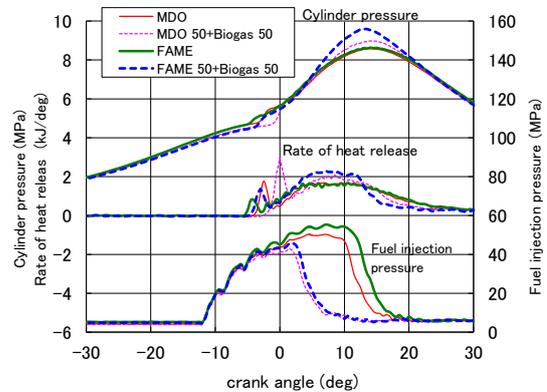


図-4 バイオガスとの混焼実験の結果(エンジン負荷率: 75%)

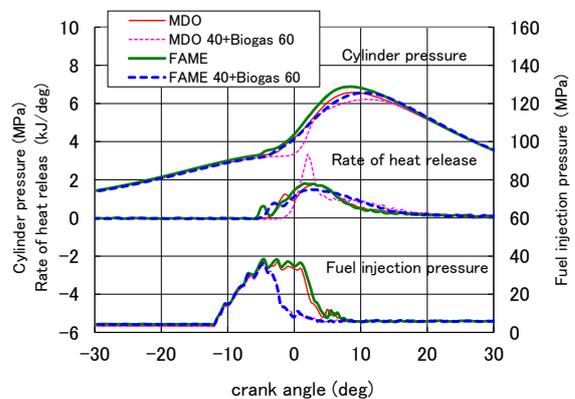


図-5 バイオガスとの混焼実験の結果(エンジン負荷率: 25%)

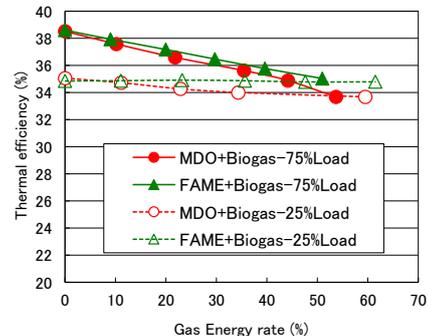


図-6 バイオガスの混焼が熱効率に与える影響

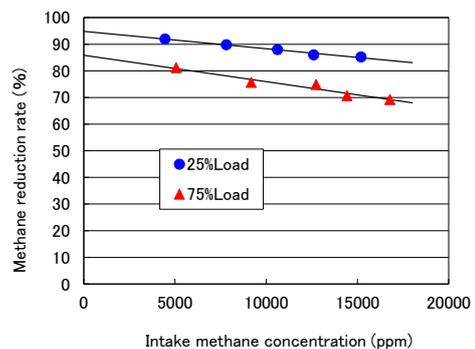


図-7 バイオガスの燃焼割合