

# ディーゼルエンジンにおける吸気の含有酸素および燃料の含有酸素が 運転特性に及ぼす影響\*

位田 晴良<sup>\*1</sup>, グエン アイン ダオ<sup>\*2</sup>

## Effects of Oxygen Contained in Intake Air and Supplied Fuel on Operation Characteristics of Diesel Engines

Haruyoshi IDA<sup>\*1</sup> and NGUYEN ANH DAO

<sup>\*1</sup> Faculty of Engineering, Department of Mechanical Engineering

The BDF used in diesel engines has a higher oxygen content than gas oil. Previous studies, which conducted performance tests using mixed gas oil - BDF fuel in a small diesel engine with EGR applied, have confirmed the operating conditions that eliminate drastic differences in thermal efficiency and exhaust gas characteristics even with different fuel BDF mix ratios. Elsewhere, the performance tests also showed that the use of fuel with a high BDF mix ratio suppressed the increase of PM emissions under combustion conditions of reduced oxygen concentration. However, the oxygen content of gas oil and BDF is extremely low compared to that of intake air. Therefore, this study conducted performance tests using gas oil and BDF in a small diesel engine with EGR applied, confirming the effects of oxygen contained in intake air and fuel on operating characteristics.

**Key Words** : Diesel Engine, Bio Diesel Fuel, Oxygen content, Operating Characteristics

### 1. 緒 言

生物資源由来のディーゼル燃料 (Bio Diesel Fuel, 以下 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る. これまでの研究では, 軽油と BDF の混合燃料における BDF 混合率, 即ち酸素含有率がディーゼルエンジンの運転特性に及ぼす影響を把握するため, 排ガス再循環 (Exhaust Gas Recirculation, 以下 EGR) を適用したディーゼルエンジンによる性能試験を行った. その結果, いずれの EGR 率においても, 燃料の BDF 混合率による NO<sub>x</sub> 濃度への大きな影響が見られなかった. 一方, EGR 率の上昇に伴い, BDF 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<sup>(1)</sup>. しかし, 軽油ならびに BDF に含まれる酸素は吸入空気に含まれる酸素に比べると極めて少ない. そこで本研究では, 軽油および BDF を用い, EGR を適用した小型ディーゼルエンジンによる性能試験を実施し, 吸気および燃料の含有酸素が運転特性に及ぼす影響を検討する.

### 2. 実験方法

実験装置は, コモンレール式燃料噴射装置 (FC デザイン製) を導入したディーゼルエンジン (ヤンマー製 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 1 示す. Table 1 に示すように排気量 857cm<sup>3</sup> の水冷 4

\* 原稿受付 2022 年 4 月 28 日

<sup>\*1</sup> 工学部 機械工学科

<sup>\*2</sup> 株式会社 ナカニシ ビジョン (〒918-8037 福井県福井市下江守町 54-2-27)

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

サイクル単気筒ディーゼルエンジンを用いる。エンジン回転数 2200min<sup>-1</sup>，燃料噴射圧力を 100MPa，150MPa，200MPa に設定し，軽油および BDF を使用した場合の熱効率および排ガス特性を比較する。なお，燃料噴射開始時期は，予備実験において正味熱効率が最も高くなった圧縮上死点前 32°（クランク角度）とする。

EGR 率（吸気中に混合する排ガスの体積比率）は正常運転が可能な範囲内（概ね 0～50vol%）で変更する。これに伴い吸気の酸素含有率が変化することになる。したがってインレットマニホールドに空燃比データロガ（INNOVATE LM-2）を取り付け，得られる空燃比から吸気の酸素含有率を算出する。また，EGR 率を上昇させた場合においても運転を可能とするため，正味平均有効圧力 0.36MPa となる負荷（定格出力の 30%）に設定する。

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。エンジンの排ガスに含まれる NO<sub>x</sub> 濃度は直挿形 NO<sub>x</sub> 分析計（堀場製作所 MEXA-120NO<sub>x</sub>）により計測する。HC 濃度は自動車排気ガス複合測定器（安全自動車 ZKE）により計測を行う。PM はマイクロダイリューショントンネル（堀場製作所 MDLT-1302T）によりフィルタに採取し，採取した 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，PM 排出量が求められる。これらの結果より吸気および燃料の含有酸素が運転特性に及ぼす影響を把握する。

本研究において用いた軽油（ジャパンエナジー製 JIS2 号軽油）および BDF（油籐商事製）の主な性状を Table 2 に示す。Table 2 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 Specifications of diesel engine used in performance examination<sup>(2)</sup>

|   |   |      |
|---|---|------|
| Engine type   | Horizontal, water cooled,<br>4 stroke-cycle |      |
| Combustion chamber  | Direct injection (trotydal type)            |      |
| Cylinder / Bore and stroke [mm]                                   | Single / 102 × 105                          |      |
| Displacement [cm <sup>3</sup> ]                                   | 857   |      |
| Maximum power [kW] / Engine speed [min <sup>-1</sup> ]            | 12.5 / 2400                                 |      |
| Compression ratio   | 17.8  |      |
| Air charging  | Naturally aspirated                         |      |
| Injection nozzle<br>(According to a survey by FC Design Co. Ltd.) | Hole number                                 | 5    |
|   | Hole diameter [mm]                          | 0.12 |
|   | Cone angle between holes [°]                | 150  |

Table 2 Specifications of gas oil and BDF used as experimental fuel<sup>(3)</sup>

| Item   | Gas oil               | BDF                   |
|--|-----------------------|-----------------------|
| Density (288K) [g/cm <sup>3</sup> ]            | 0.82                  | 0.88                  |
| Kinematic viscosity (303K) [m <sup>2</sup> /s] | 3.95×10 <sup>-6</sup> | 6.52×10 <sup>-6</sup> |
| Ignition point [K]                             | 507                   | 522                   |
| Oxygen content [wt%]                           | 0.10                  | 10.7                  |
| Gross calorific value [kJ/kg]                  | 45.6×10 <sup>3</sup>  | 39.5×10 <sup>3</sup>  |

### 3. 実験結果および考察

#### 3.1 正味熱効率

性能試験の結果より，燃料噴射圧力を 200MPa とし，各 EGR 率において軽油および BDF を用いた場合の正味熱効率を Fig. 1 に示す。Fig. 1 より，同じ EGR 率の軽油使用時と比較すると，ほとんどの EGR 率において BDF

使用時の正味燃熱効率は低いことがわかり、BDF の含有酸素により燃焼を促進させる作用は見られないといえる。一方、同じ EGR 率において、軽油使用時と BDF 使用時とではインレットマニホールドの位置で計測した空燃比は異なることが確認された。即ち BDF の含有酸素は、正味熱効率に反映する燃焼過程に影響しないものの排ガスの酸素含有率を上昇させ、この排ガスが EGR により吸気に混入することから、軽油使用時よりも吸気の酸素含有率が上昇するものと考えられる。EGR 率に対する吸気の酸素含有率の変化を Fig. 2 に示す。また、EGR 率に対してではなく、吸気の酸素含有率に対する正味熱効率の変化を Fig. 3 に示す。Fig. 3 より、吸気の酸素含有率が変化しても正味熱効率への影響は僅少であることがわかる。この結果が得られた運転条件において最も低い空気過剰率は約 2.3 であり、正常運転ができる範囲内では、正味熱効率に影響する燃焼過程において供給される酸素は余裕があるものと考えられる。

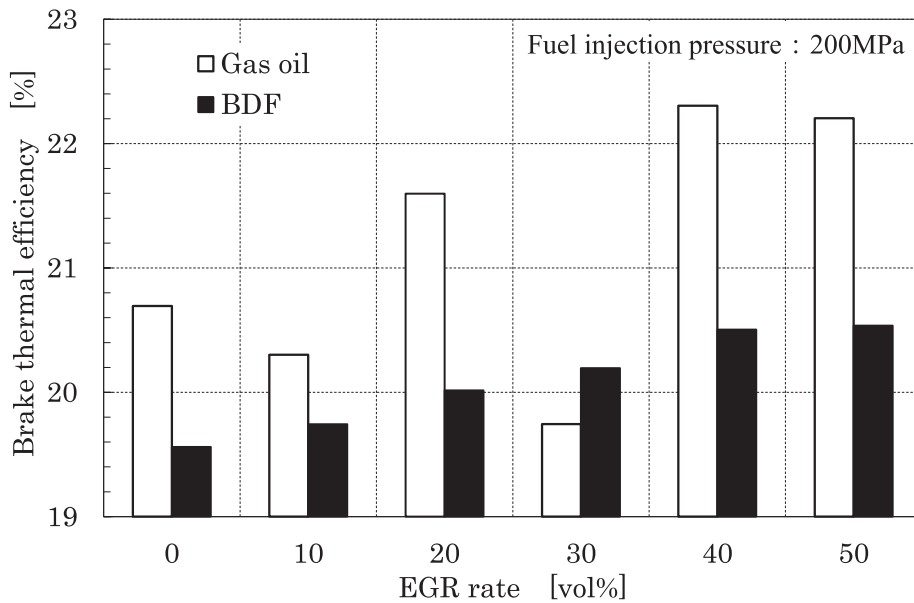


Fig. 1 Variations of brake thermal efficiency with oxygen content of supplied fuel measured by using gas oil and BDF

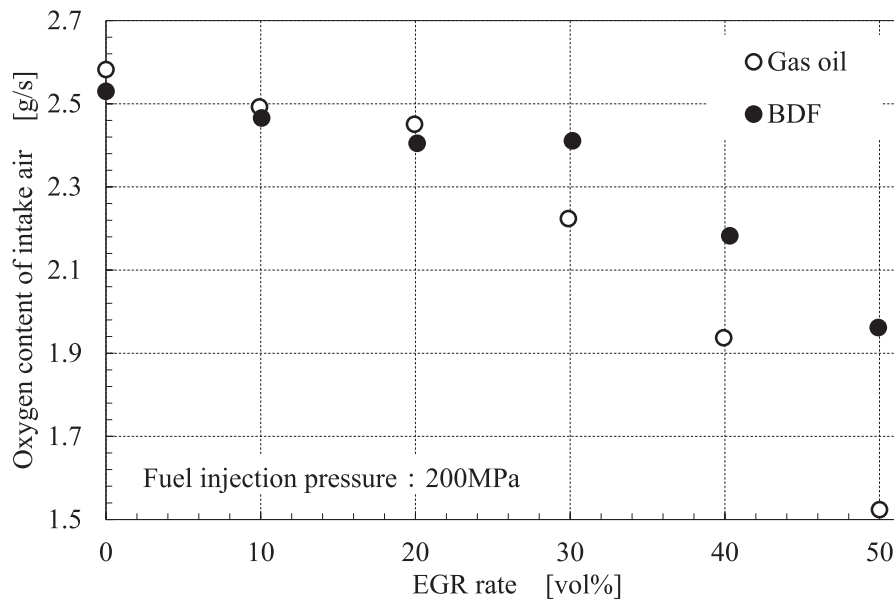


Fig. 2 Variations of oxygen content of intake air with EGR rate measured by using gas oil and BDF

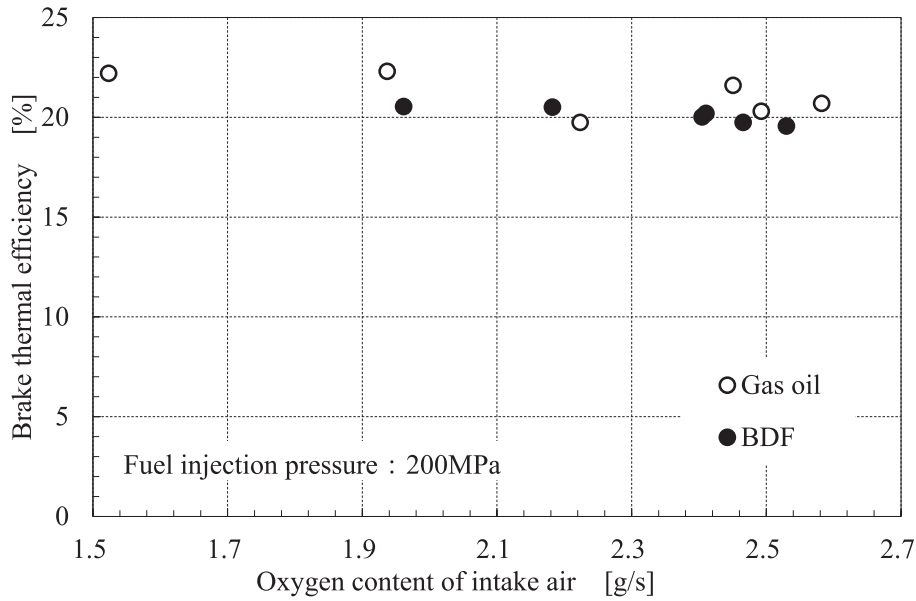


Fig. 3 Variations of brake thermal efficiency with oxygen content of intake air measured by using gas oil and BDF

### 3.2 NO<sub>x</sub>濃度

各燃料を用いて燃料噴射圧力を 200MPa とし、吸気の酸素含有率に対する排ガス中の NO<sub>x</sub> 濃度の変化を Fig. 4 に示す。Fig. 4 より、吸気の酸素含有率が上昇するといずれの燃料使用時も NO<sub>x</sub> 濃度は上昇していることがわかる。NO<sub>x</sub> 生成は最高燃焼温度に影響されるが、燃焼温度および燃焼圧力はエンジンの仕事が一固定であればほぼ変わらないことから温度変化による影響はないものと考えられる。また、使用燃料の違いによる NO<sub>x</sub> 濃度への直接的な影響は確認できず、吸気の酸素含有率が NO<sub>x</sub> 生成に反映するといえる。

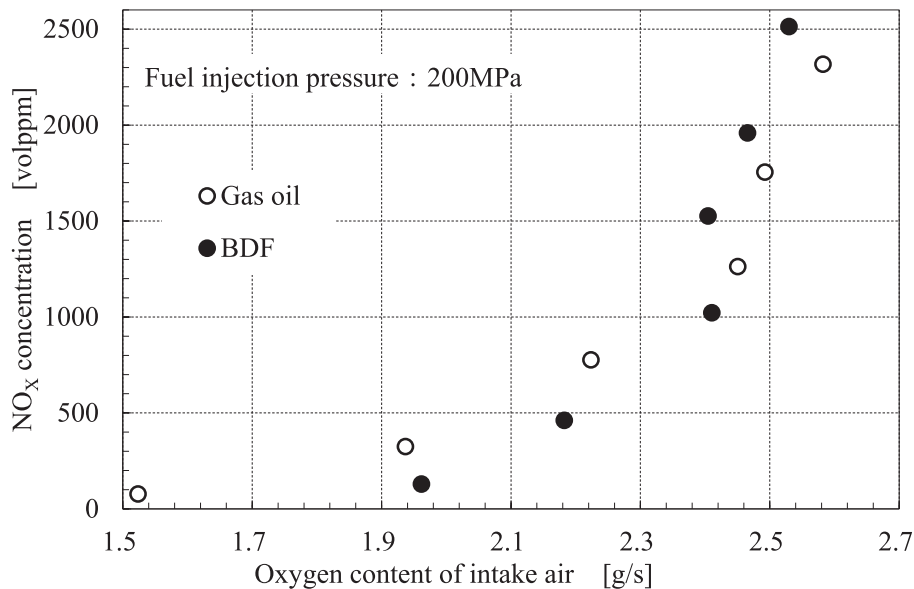


Fig. 4 Variations of NO<sub>x</sub> concentration in exhaust gas with oxygen content of intake air measured by using gas oil and BDF

### 3.3 HC 濃度

各燃料を用いて燃料噴射圧力を 200MPa とし、吸気の酸素含有率に対する排ガス中の HC 濃度の変化を Fig. 5 に示す。Fig. 5 より、軽油使用時は吸気の酸素含有率が上昇すると HC 濃度が減少する傾向がみられる。一方、BDF 使用時は吸気の酸素含有率と HC 濃度との明確な相関は不明であり、BDF の動粘度や発火点、EGR による

吸気温度の変化等が影響している可能性が考えられる。ただし、BDF 使用時の HC 濃度は軽油使用時を下回っており、BDF の含有酸素により未燃焼燃料が低減しているといえる。なお、HC 濃度に変化は見られるものの正味熱効率の変化は小さいことから、BDF の含有酸素はエンジン出力に影響しない燃焼過程において燃焼促進に寄与していることが考えられる。

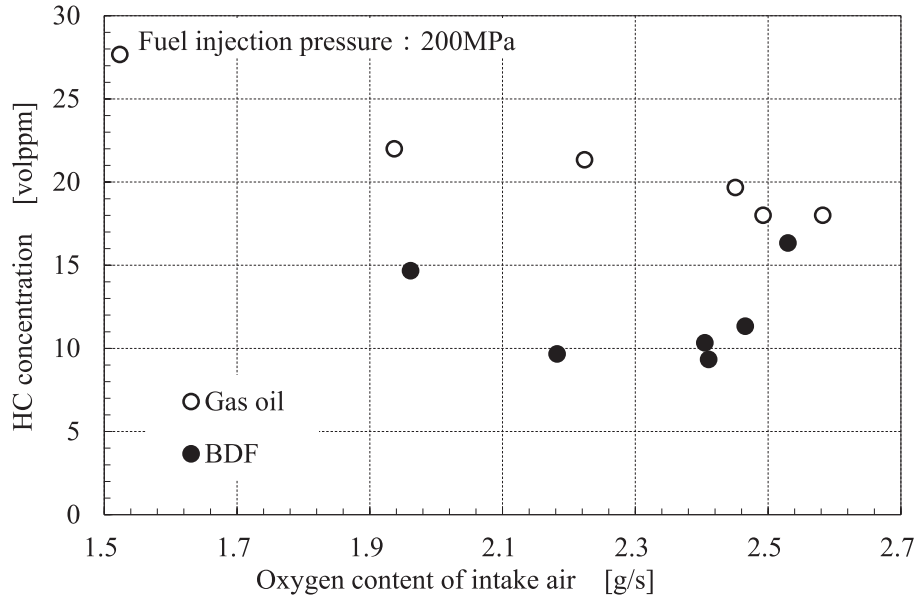


Fig. 5 Variations of HC concentration in exhaust gas with oxygen content of intake air measured by using gas oil and BDF

### 3.4 PM 排出量

各燃料を用いて燃料噴射圧力を 200MPa とし、吸気の酸素含有率に対する排ガス中の PM 排出量の変化を Fig. 6 に示す。Fig. 6 より、EGR 率が比較的低い条件においては、吸気の酸素含有率に対する PM 排出量の変化は小さいが、EGR 率が高くなると PM 排出量は増加することから、吸気の酸素含有率が PM 排出量に影響するといえ、使用燃料の酸素含有率の差異は直接 PM 排出量に反映されないことがわかる。

ただし、エンジンの負荷を上昇させ、供給燃料の増加、即ち空気過剰率の低下を招く条件（負荷は定格出力の

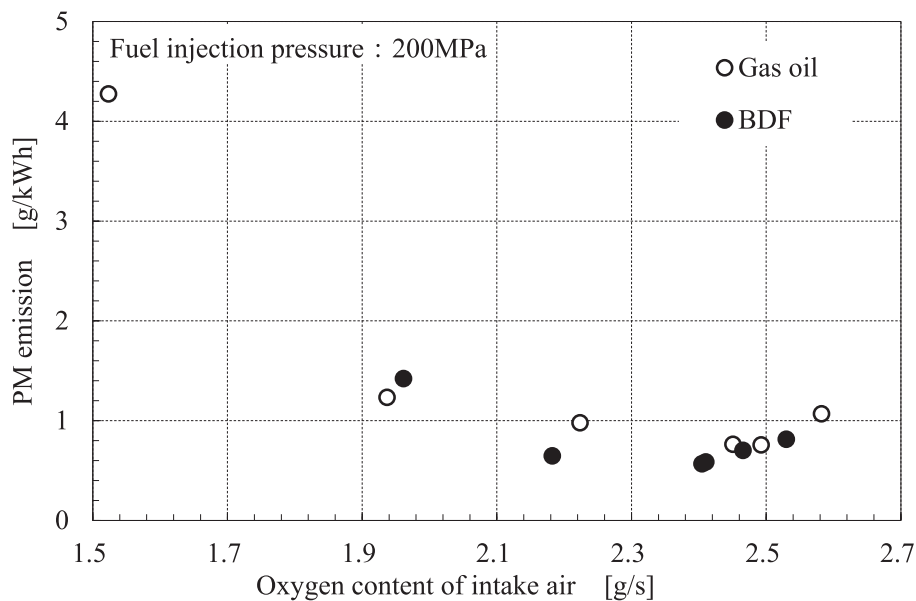


Fig. 6 Variations of PM emission in exhaust gas with oxygen content of intake air measured by using gas oil and BDF

54%, EGR 非適用)において, 供給燃料の酸素含有率に対する PM 排出量の変化 (Fig. 7) を確認すると, 軽油使用時と比較して BDF 使用時の PM 排出量は減少しており, 燃料噴射圧力が低い条件において, その変化は著しいことがわかる. したがって, 供給燃料の増加および燃料噴射圧力の低下等, 燃料噴霧の微細化に不利な条件となる場合, BDF の含有酸素は PM 低減に顕著に作用するようになるといえる.

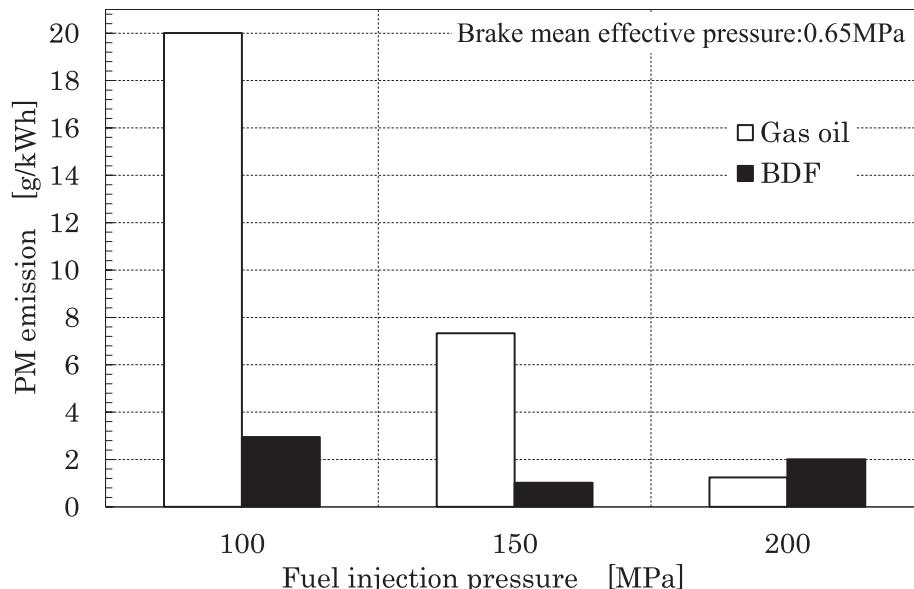


Fig. 7 Variations of PM emission in exhaust gas with oxygen content of supplied fuel measured by using gas oil and BDF

## 7. 結 論

軽油および BDF を用い, EGR を適用した小型ディーゼルエンジンにおいて定格出力の 30% で性能試験を実施し, 吸気および燃料の含有酸素が運転特性に及ぼす影響を検討した.

その結果, BDF の含有酸素は, 正味熱効率に影響する燃焼過程に作用しないものの排ガスの酸素含有率を上昇させ, この排ガスが EGR により吸気に混入することから, 同じ EGR 率であっても軽油使用時よりも吸気の酸素含有率が上昇することを確認した. また, 空気過剰率が約 2.3 まで低下しても吸気の酸素含有率の変化は正味熱効率にほとんど影響しないことを確認した.

排ガス特性について,  $\text{NO}_x$  濃度および PM 排出量は使用燃料の酸素含有率の差異が直接反映されず, 吸気の酸素含有率に対して増減することがわかった. 一方, HC 濃度は吸気の酸素含有率の影響は小さく, 使用燃料の酸素含有率やその他の性状, EGR による吸気温度の変化が影響している可能性がある. なお, これらの排ガス成分が変化しても正味熱効率は大きく変化しない.

したがって, 正常運転が可能な空気過剰率である場合,  $\text{NO}_x$  濃度および PM 排出量に対して, BDF の含有酸素は排ガスおよびこの排ガスが混入する吸気の酸素含有率を上昇させることにより影響するが, 正味熱効率が変化しないことからエンジン出力に影響しない燃焼過程において酸素が作用しているものと考えられる. ただし, エンジン負荷の上昇に伴い供給燃料が増加する等, 燃料噴霧の微細化に不利な条件となる場合, BDF の含有酸素は PM 低減に顕著に作用することを確認した.

## 文 献

- (1) 位田晴良, キリワンカマラサック “生物資源由来燃料と軽油の混合燃料が排ガス再循環付加ディーゼルエンジンの運転特性に及ぼす影響”, 日本機械学会 2019 年度年次大会講演論文集(2019).
- (2) 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.
- (3) 日本エネルギー学会分析室, 報告書, 分試第 27-020~21(2016).

(2022年8月4日受理)