

## 5. バイオマス燃料対応ディーゼルエンジンの研究開発

—地球温暖化防止に資するバイオ燃料使用時の過渡排出特性の改善—

環境研究領域            ※川野 大輔    石井 素    後藤 雄一  
理事                      野田 明  
(株) 新エィシーイー      青柳 友三

### 1. まえがき

今年発表された気候変動に関する政府間パネル (IPCC) の第4次評価報告書 (AR4)<sup>1)</sup>では、温室効果ガス排出量は1970年の287億トンから、2004年では490億トンへと約70%も増加し、2004年の温室効果ガス排出量全体の約80%を二酸化炭素 (CO<sub>2</sub>) が占めていることが報告された。この現状を背景に、来年7月に開催される北海道・洞爺湖サミットでは、「2050年までに世界の温室効果ガス排出量を半減させる」という目標設定が検討される予定である。しかし、上記の温室効果ガス排出量の現状を考えると、この目標を達成するには既存技術の延長ではもはや不可能であり、革新的なCO<sub>2</sub>削減技術・政策が早急に必要である。

各部門におけるバイオエネルギーの利用、特に運輸部門においては、バイオ燃料の自動車への適用がCO<sub>2</sub>排出量削減の有効な手段の一つとされており、近年では既存の燃料にバイオ燃料を混合する例が世界中で多く見受けられる。しかし上記のCO<sub>2</sub>排出量の現状を踏まえると、100% (ニート) あるいはそれに準ずる高い濃度で使用しないことには、地球温暖化防止の一助とはなりにくいものと思われる。

しかし、この高濃度バイオ燃料の利用は、排出ガス特性 (特にNO<sub>x</sub>) の悪化を招くことが多く報告されている<sup>2)</sup>。そこで「バイオマス燃料対応自動車開発促進事業」では、バイオディーゼル燃料 (BDF) をニートで使用した際の排出ガス特性を把握するとともに、今後の厳しい排出ガス規制に対応し得るBDF専用ディーゼルエンジンを開発してきた。本報では、前報<sup>3)</sup>のエンジンベンチ試験において得られた高EGR率による排出ガス特性の改善効果を、実車両を用いて確認した結果について報告する。

### 2. 実験装置および実験方法

本実験で使用した車両の外観と諸元をそれぞれ図

1, 表1に示す。本車両は、前報のエンジンベンチ試験で用いたものと同じエンジンを搭載した、3トン積載の小型貨物車である。排出ガス低減技術としてクールドEGRや可変ノズルターボ (VGT)、後処理装置としてNO<sub>x</sub>吸蔵還元触媒 (NSR) とディーゼルパーティキュレートフィルタ (DPF) 双方の機能を持つDPNR (Diesel Particulate-NO<sub>x</sub> Reduction) システム<sup>4)</sup>を搭載している。これらの技術により、新短期規制適合車ではあるものの新長期規制値レベルの排出ガス性能を達成している。

本実験では、本車両に排出ガス特性を改善するための改良を加え、シャシダイナモ上にてJE05モード走行試験を行い、その際の各種排出ガスを測定した。



Fig. 1 Photograph of test vehicle

Table 1 Specifications of test vehicle

Vehicle type	Light-duty truck
Engine type	L4, DI diesel engine
Intake air management	VGT, cooled EGR
Aftertreatment device	DPNR+DOC
Displacement	4,009 cc
Max. power	110 kW/3,000 rpm
GVW	6,035 kg
Transmission	6MT
Emission regulation	2005

Table 2 Fuel properties

Properties		Diesel Fuel	RME
Density (15deg.C)	[g/cm <sup>3</sup> ]	0.8217	0.8839
Kinematic viscosity (40deg.C)	[mm <sup>2</sup> /s]	3.355 (30deg.C)	4.422
Flash point	[deg.C]	64.0	172.5
Cetane number	[-]	58.3	53.1
Distillation point	IBP	165.0	337.5
	10%	204.5	353.3
	50%	282.5	359.3
	90%	332.5	363.9
	EP	353.0	414.8
CHO	C	86.1	77.1
	H	13.8	12.0
	O	<0.1	10.4
Low heating value	[kJ/kg]	43,092	36,800
Sulfur content	[ppm]	3.0	<3.0

### 3. 試験燃料

本事業では、供試 BDF として欧州の BDF 性状規格 (EN14214) に適合した菜種油メチルエステル (RME: Rapeseed oil Methyl Ester) を使用している。RME の燃料性状を軽油と比較したものを表 2 に示す。RME の密度、動粘度、蒸留点はともに軽油と比べて高いことから、微粒化・蒸気化の悪化が懸念される。しかし、RME は 10.4 wt.% の酸素が含まれる含酸素燃料であるため、すすの排出を大幅に低減できる可能性を有する。なお、本実験を行った範囲では、BDF 使用時特有の金属腐食や、フィルタの目詰まり等の不具合は生じなかった。

### 4. 実験結果および考察

#### 4.1 排出ガス特性に与える燃料の影響

車両への RME 適用による排出ガス特性の変化を明らかにするため、車両の改造を施さない状態で、JE05 モード試験における排出ガス特性を軽油と RME で比較した。その結果を図 2 に示す。RME の NOx 排出量は、軽油使用時に比べて約 2 倍に増加している。これは、図 3 に示すエンジンベンチの定常試験における NOx 排出量からもわかるように、エンジンアウトで

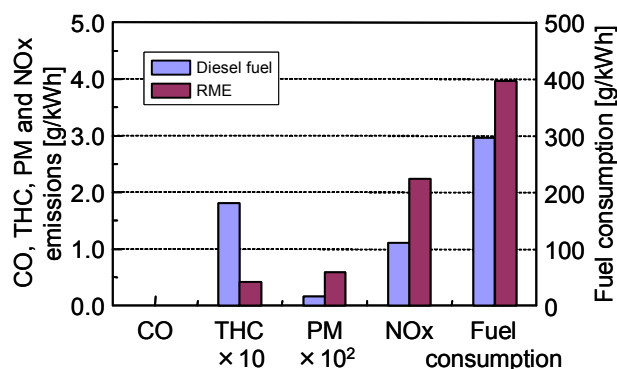


Fig. 2 Effect of fuel types on exhaust emissions (JE05 mode)

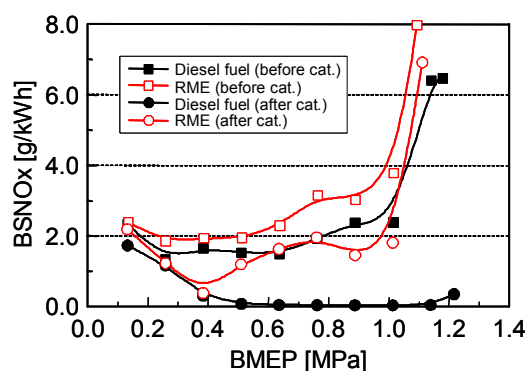


Fig. 3 NOx emission before and after catalysts (engine speed : 1600 rpm)

NOx 排出量が高い上に、DPNR 触媒の NOx 浄化率が大きく低下したためである。加えて、本実験で採用した JE05 モードは全体的に排気温度が低いことから DPNR 触媒の活性が上昇せず、NOx 浄化率の低下が更に顕著になるため、RME を使用することで大幅に NOx 排出量が増加したと思われる。

上記の RME 適用時における NOx 浄化率の低下は、リッチスパイクの噴霧特性の差異によるものと考えられ、これが PM 中の SOF 分を増加させる<sup>5)</sup>ことから、含酸素燃料であるにもかかわらず、PM 排出量も RME の方が上回った。

また、CO に関しては、両燃料とも極めて低い排出量であり、THC は第 1 報<sup>5)</sup>で行った定常試験における排出傾向と同様に、RME の方が軽油よりも低い値を示した。したがって、適切なエンジン制御が行われていれば、RME 使用時でも未燃成分が大きく増加することはないものと考えられる。

なお、表 2 に示すように RME は含酸素燃料で発熱量が低いいため、軽油使用時と同等の出力を得るために

は、その分燃料噴射量を増加させることが必要であるため、燃費は増大した。

前報では、RME の燃焼時における低すす排出特性を生かし、高 EGR 率により排出ガス特性を改善させるべく、RME 専用の EGR バルブ開度マップを作成し、このマップを用いてエンジンベンチにおける排出ガス試験を行った結果、PM を増加させることなく NOx を大幅に低減できることを示した<sup>3)</sup>。そこで以下では、この EGR バルブ開度マップを実車両にも適用し、シヤシダイナモ上にて JE05 モード走行試験を行うこと

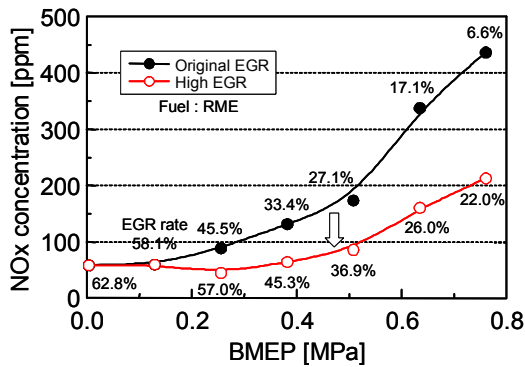


Fig. 4 Effect of EGR on NOx emission (engine speed : 1400 rpm)

により、高 EGR 率化の効果を確認した。

#### 4.2 高 EGR 率による低エミッション化の効果

RME 専用の EGR バルブ開度マップは、図 4 に示すようにエンジンアウトの NOx 濃度が各運転領域で半減するように設定された。この EGR 率を増量させたマップ (High EGR) と、エンジン固有の EGR バルブ開度マップ (Original EGR) を用いた場合で、JE05 モードにおける排出ガス特性の比較を行った。その際の各排出ガス濃度の時間変化を図 5 に、トータルの排出ガス測定結果を図 6 に示す。上記のように、EGR 率を増量させたマップではエンジンアウトの NOx 排出量が半減するように設定されたにもかかわらず、実際には NOx 排出量は約 80% も低減し、ポスト新長期規制値 (0.7 g/kWh) 以下を達成した。また、図 5 に示す NOx 濃度の時間履歴を見ても、従来の EGR 率ではモード開始直後から高速部まで断続的に NOx が排出されているのに対して、EGR 率を増加することによりこれらが大幅に抑制されていることがわかる。これは、EGR 率の増加によりエンジンアウトの NOx 排出量が低減されるとともに、図 5 から確認できるように排気温度が上昇することから、DPNR の NOx 浄化特

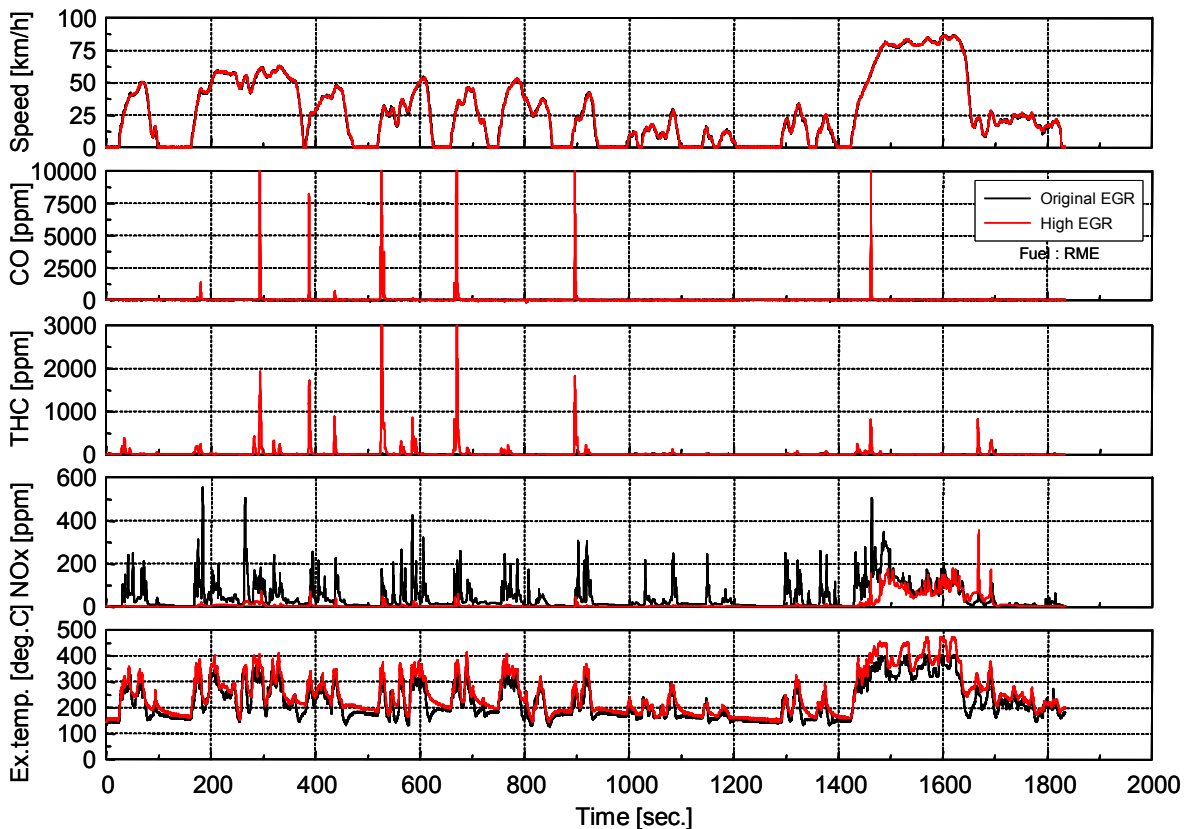


Fig. 5 Effect of EGR on time history of emission concentrations (JE05 mode)

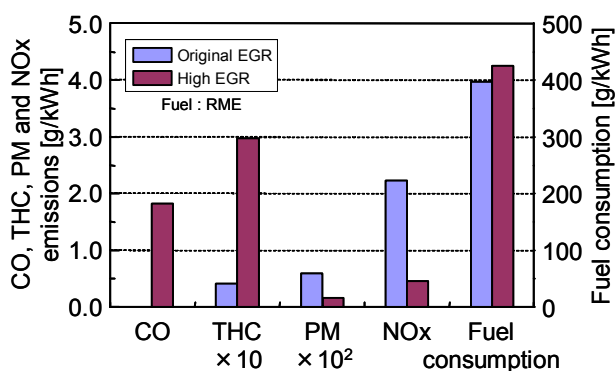


Fig. 6 Effect of EGR on exhaust emissions (JE05 mode)

性が向上したためであると思われる。

一般に EGR を増加させると PM 排出量が増加するが、本実験では逆に PM 排出量は減少した。RME の含酸素性によりすす生成量が極めて少ないことに加え、上記の触媒温度の上昇が、リッチスパイク由来の SOF 分の蒸発・酸化にも寄与したものと考えられる。

図 5 から明らかなように、従来の EGR 率では CO, THC がほとんど検出されていないのに対して、EGR 率が増加すると燃費が悪化し、それに起因して加減速時において CO, THC 濃度が急激に立ち上がるため、トータルの CO, THC 排出量も大幅に増加した。本実験で用いたオープンループの制御システムでは、急な加減速時では最適な EGR の過渡応答にズレが生じ、瞬間的に燃焼室内が燃料過濃状態となったことが原因であると思われる。したがって、この未燃分の増加については、フィードバック制御等により燃焼室内への過剰な EGR ガスの流入を防ぐ対処が必要である。

以上より、BDF 適用時の排出ガス特性を改善するには EGR 率の増加が有効であり、本実験を通して、燃費の大幅な悪化を伴うことなく、NO<sub>x</sub> と PM を同時に低減できる可能性を示した。今後は、制御対象を EGR バルブのみから VGT や吸気絞りにも広げた吸気条件の最適化や、リッチスパイクの噴霧特性の改善による DPNR 触媒の NO<sub>x</sub> 浄化特性の向上等を行うことにより、更なる低エミッション化を目指す予定である。

## 5. まとめ

BDF 使用時における排出ガス特性とその高 EGR 率化による改善効果を、シャシダイナモ試験で確認した結果、以下の結論が得られた。

(1) NSR の機能を有する触媒が装着されているディ

ーゼルエンジンに、BDF をそのまま適用して JE05 モード試験を行った結果、NO<sub>x</sub>, PM 排出量、燃費ともに軽油と比べて増加した。

- (2) BDF の特徴を活かして EGR 率を増加させることにより、JE05 モード試験における NO<sub>x</sub> 排出量は、燃費の大幅な悪化なしにポスト新長期規制値以下まで低減された。
- (3) BDF の含酸素性により、軽油使用時に予想される高 EGR 率での PM 排出量の増加が避けられ、逆に排気温度上昇による触媒機能の向上により、PM 排出量が減少した。
- (4) 高 EGR 率化により過渡運転時において燃料過濃状態となり、CO, THC 排出量が増加し、燃費性能も悪化する可能性があるため、これらを防止する制御が必要である。

## 謝辞

本研究は、国土交通省受託「バイオマス燃料対応自動車開発促進事業」の一環として行われた。実験の際には、当研究所 増永勝幸氏にご尽力いただいた。さらに実験に使用した実験装置に関して、日野自動車(株)からの多大なるご協力があったことをここに記し、謝意を表する。

## 参考文献

- 1) IPCC 第 4 次評価報告書 第 3 作業部会報告書 ([http://www.mnp.nl/ipcc/pages\\_media/AR4-chapters.html](http://www.mnp.nl/ipcc/pages_media/AR4-chapters.html))
- 2) 例えば, Graboski, M. S. et al. : Combustion of Fat and Vegetable Oil Derived Fuels in Diesel Engines, Progress in Energy and Combustion Science, Vol.24, No.2, pp.125-164, (1998).
- 3) 川野 大輔ほか：バイオマス燃料対応ディーゼルエンジンの研究開発 (第 2 報), 交通安全環境研究所研究発表会 講演概要, pp.5-8, (2006).
- 4) Fujimura, T. et al. : Development towards serial production of a Diesel passenger car with simultaneous reduction system of NO<sub>x</sub> and PM for the European market, 23<sup>rd</sup> International Vienna Motor Symposium, (2002).
- 5) 川野 大輔ほか：バイオマス燃料対応ディーゼルエンジンの研究開発 (第 1 報), 交通安全環境研究所研究発表会 講演概要, pp.1-6, (2005).