

④バイオディーゼル燃料の尿素SCRシステムへの適用性に関する研究

環境研究領域 ※水嶋 教文 川野 大輔 鈴木 央一 石井 素 後藤 雄一

1. はじめに

地球温暖化防止、資源の有効利用および地域の活性化といった観点から、バイオディーゼル燃料(BDF)が一部で普及している。特に我が国では、改正揮発油品質法(平成 21 年 2 月施行)により軽油への BDF 混合割合が 5%以下に規制されているが、税制上の理由から軽油と混合せずに使用されている例が多い。本研究では、ポスト新長期排出ガス規制の施行に伴い、多くの重量車に搭載されると予想される尿素 SCR システムを搭載したエンジンシステムに対して、BDF を使用した際の排出ガス特性を把握することを目的としてエンジン台上試験を実施し、その適用性を検討した。

2. 実験方法

2. 1. 実験装置および方法

本研究で使用したエンジン、後処理装置および排出ガス分析計の構成を図 1 に示す。また、エンジン諸元を表 1 に、後処理装置の諸元を表 2 に示す。供試エンジンには総排気量 4009 cm³、新短期('03)排出ガス規制適合で連続再生式 DPF を装着した重量車用ディーゼルエンジンを用い、尿素 SCR システムにより NO_x 排出を JE05 モードで 0.85 g/kWh(軽油運転時)としている。SCR 触媒にはゼオライト系のものを用い、触媒付 DPF の上流に酸化触媒 DOC(pre)を、SCR の下流に NH₃ スリップを防止するための DOC(post)を配置している。

評価は、エンジン台上試験装置において重量車排出ガス試験モードの JE05 モード排出ガス試験を実施することで行った。排気管各位置における排出ガスの計測には、図 1 に示した堀場製作所製 MEXA シリーズを用いた。

2. 2. 供試燃料

本試験では、廃食用油を原料として製造された BDF と軽油を用い、これらを混合した B0 (軽油のみ)、B20 (BDF20%混合)、B100 (BDF のみ)燃料を使用することで、高濃度の BDF を使用した際における尿素 SCR の NO_x 浄化特性に及ぼす影響を評価した。供試燃料の燃料性状を表 3 に示す。

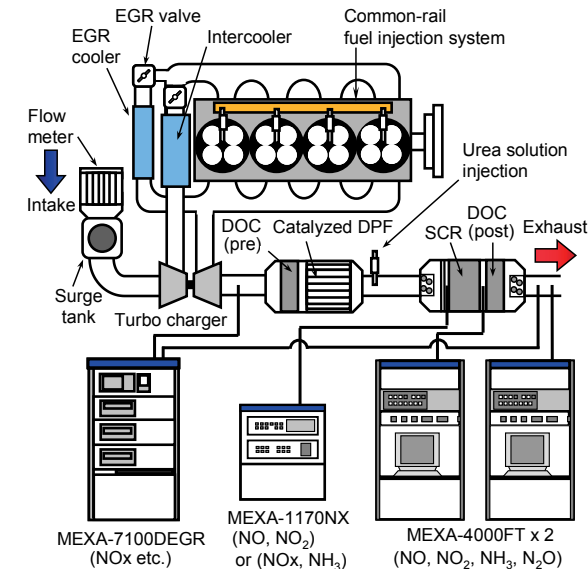


図 1 実験装置概略

表 1 供試エンジン諸元

Engine type	Water cooled, In-line 4 cylinder, 4-stroke cycle
Intake system	Turbocharged with intercooler
Fuel supply system	DI Common-rail (Max.: 160 MPa) (φ 0.16 mm x 6 holes)
Displacement cm ³	4009
Compression ratio	18.0
Bore x Stroke mm	104 x 118
Max. power kW/rpm	110/3000
Max. torque Nm/rpm	392/1600
Urea water injection	φ 0.42 mm x 1 hole (Max.: 10 MPa)

表 2 後処理装置諸元

	DOC (pre)	Catalyzed DPF	SCR	DOC (post)
Substrate volume L	2.2	5.8	4.3	2.2
Diameter mm (inch)	191 (7.5)			
Length mm (inch)	76 (3)	203 (8)	152 (6)	76 (3)
Cell density cpsi* ¹	300	260	400	400
Wall thick. mil* ²	8	12	6	6
Supported Pt g/L	3.0	0.5	0	0.5

表 3 試験燃料性状

Fuel seed	Diesel fuel	BDF
Density (15 deg.C) g/cm ³	0.8260	0.8852
Kinematic viscosity mm ² /s	2.458 (30 deg.C)	4.540 (40 deg.C)
Flash point deg.C	70.5	180.5
Cetane number	54.5	62.0
Distillation temp. deg.C	IBP	179.5
	10%	212.5
	50%	258.0
	90%	321.0
	EP	348.0
CHO wt. %	C	86.3
	H	13.6
	O	<0.1
Pour point deg.C	-15.0	-2.5
Sulfur content ppm	5	3

3. 実験結果および考察

3. 1. JE05モード排出ガス試験結果

本供試エンジンシステムに BDF を適用した際の NOx 排出特性を把握するため、JE05 モード排出ガス試験を実施した。図 2 に、BDF 混合割合に対する JE05 モード走行時における NOx 排出率を示すが、BDF の混合割合を増加することで NOx 排出率が增大し、B100 運転においては新長期排出ガス規制値(2.0 g/kWh)を超える結果となった。

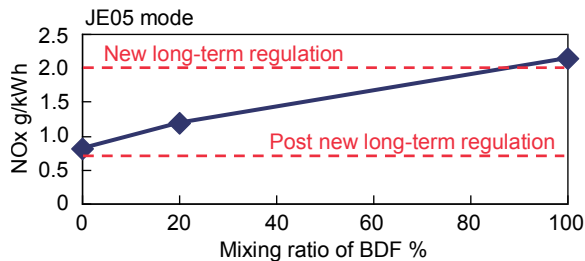


図2 JE05 モードにおける NOx 排出率

3. 2. NOx 排出量の増大要因に関する考察

上記の原因を明らかにするため、排気管各位置で計測した排出ガス濃度を詳細に解析した。SCR 入口およびテールパイプで計測した NOx 排出率、および両者から算出した平均 NOx 浄化率を図 3 に示す。SCR 入口における NOx 排出率は、BDF 混合割合の増加に伴い増大する傾向にある。SCR 入口における NOx 排出

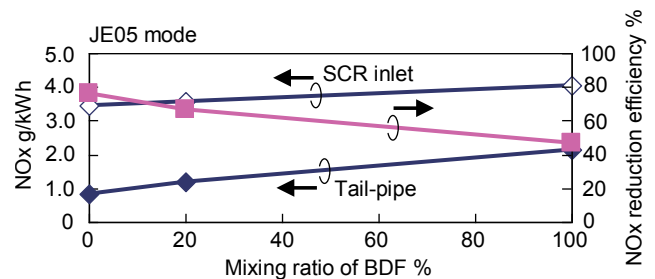


図3 SCR 触媒における NOx 浄化率

量はほぼエンジンアウトの NOx 排出量と同等と考えてよいため、エンジンアウトでの NOx 排出量の増大が、前記の NOx 排出量増大要因の一つといえる。一方、B0 では尿素 SCR による NOx 浄化率が 76%となったが、BDF 混合割合の増加に伴い NOx 浄化率は悪化し、B100 では 47%にまで低下した。この NOx 浄化率の低下は、エンジンアウト NOx の増加以上の排出量増大の要因といえる。

NOx 浄化率が悪化している運転状態を確認するため、B100 および B0 使用時の JE05 モード試験における SCR 入口とテールパイプでの NOx 排出時間履歴、および SCR における NOx 浄化率を図 4 に示す。B0 運転においては、加速時およびアイドル運転中で高い NOx 浄化率を維持できている。しかしながら、B100 運転においては加速時に急激な NOx 浄化率の低下を引き起こし、これに伴いテールパイプにおける NOx 排出量が増大する結果となった。

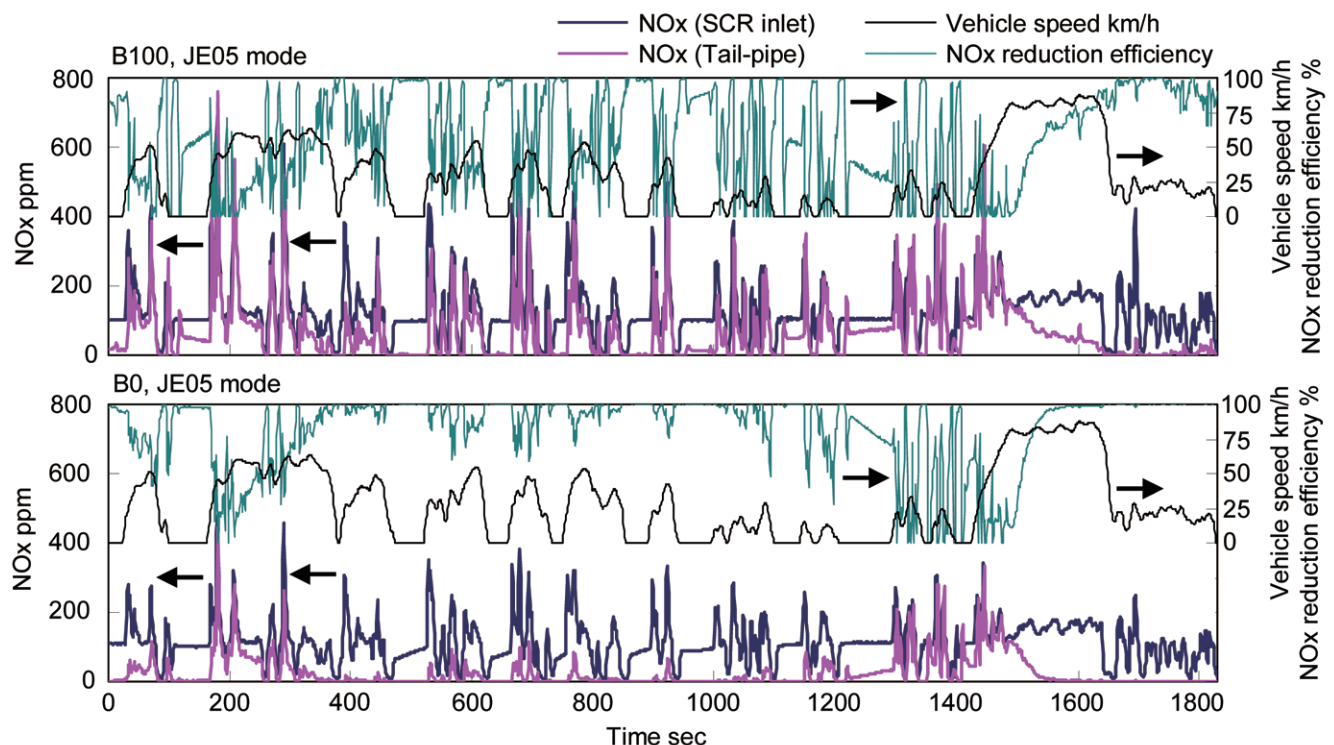


図4 JE05 モードにおける SCR 触媒前後での NOx 排出濃度と NOx 浄化率

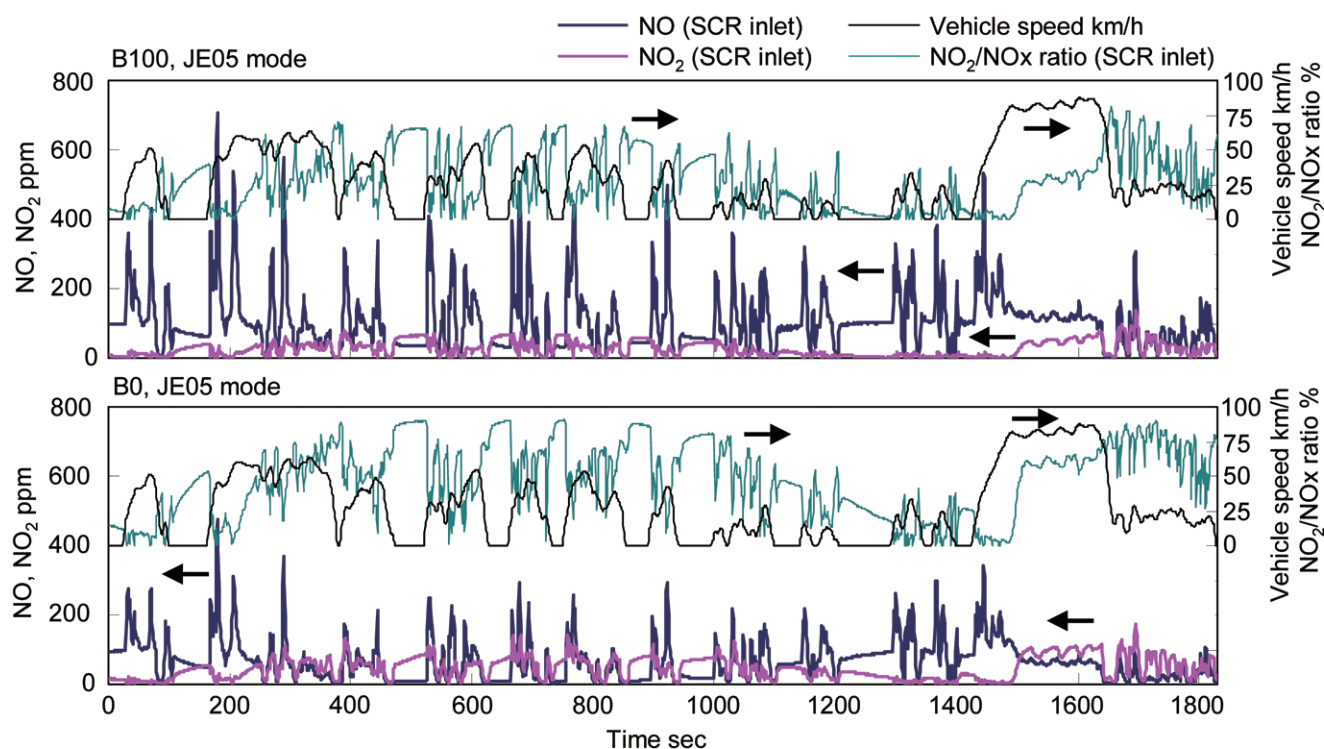


図5 JE05モードにおけるSCR触媒入口でのNOおよびNO₂排出濃度とNO₂/NO_x比

尿素SCRシステムにおいては複数存在する反応プロセスのうち、触媒温度が200 deg.C程度以下では、



で示される反応式によりNO_xが還元される。このため、NO₂/NO_x=0.5に近づけることがNO_x浄化率向上に有効である。過渡運転では、モード平均で0.5±0.1にすることで高いNO_x浄化率を得られる。これは、アイドル時における高濃度のNO₂によりSCR触媒上にNH₄NO₃が生成および蓄積され、蓄積されたNH₄NO₃と加速時に生成されるNOが反応することで、加速時のNO₂不足を補いNO_x浄化率を高められるためである。そこで、B100およびB0両燃料に対して、SCR入口におけるNO、NO₂排出濃度、およびNO₂/NO_x比を図5にて比較した。この結果、加速時において、B0運転時ではNO₂/NO_x=0.5(50%)に近く、多少NO₂が少ない場合であっても前後のアイドルで高いNO₂排出が見られることから、モード平均でNO₂/NO_x=0.5が維持されている。これに対してB100運転では、加速時のNO₂/NO_x比が0.1(10%)~0.2(20%)程度まで低下するとともに、アイドル時のNO₂濃度およびNO₂/NO_x比も大きく低下することから、NO_x浄化性能が大きく低下したと見られる。図6には、JE05モード平均NO₂/NO_x比に対するNO_x浄化率と、今回の実験で得られたB100およびB20使用時のJE05モ

ード平均NO₂/NO_x比に対するNO_x浄化率を示す。この結果、NO₂/NO_x<0.4においては急激にNO_x浄化率が低下する。B20およびB100においては、BDF混合割合の増大に伴いNO₂/NO_x比が低下し、NO_x浄化率が低下している。このため、BDF使用時におけるNO_x浄化率低下の要因は、NO₂/NO_x比の低下によるものであると推察される。

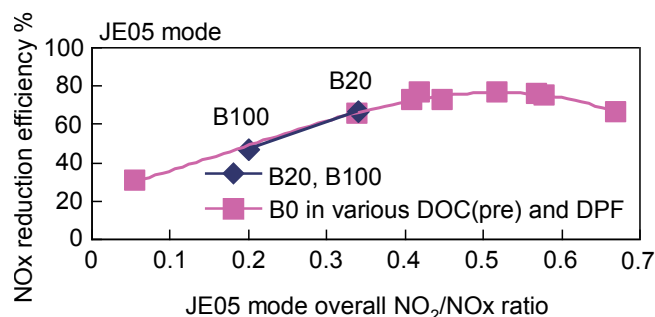


図6 JE05モード平均のNO₂/NO_x比がNO_x浄化率に及ぼす影響

3. 3. NO₂/NO_x比の低下要因に関する考察

NO₂/NO_x比の低下要因は1)NO_x濃度の増加、および2)NO₂濃度の低下、の二つが考えられる。BDFを使用するとエンジンアウトでのNO_x排出量が増大することが既に報告されているため、1)に関しては想定される結果である。そこで、2)に関してその要因を詳細に検討した。

SCR入口におけるNO₂濃度の低下は、エンジンア

ウト NO₂ の低下、または DOC(pre)における NO の酸化力の低下が原因であると考えられる。そこで、定常試験にて B100 および B0 運転時のエンジンアウト NO₂ 濃度および NO₂/NO_x 比を比較した。結果を図 7 に示す。本結果より、B100 運転時ではエンジンアウト NO 排出量が B0 運転時と比較して 1~2 割程度増大しているにもかかわらず NO₂ 排出量は低下しており、7~10ppm 程度低い値を示している。これにより、B100 では B0 に対してエンジンアウトでの NO₂/NO_x 比が低下する結果となった。このことから、エンジンアウト NO₂ 濃度の低下は、SCR 入口における NO₂ 濃度低下の一要因であると示唆される。

しかし、上述したエンジンアウト NO₂ 濃度の低下のみでは、SCR 入口における NO₂ 濃度の低下を説明できない。このため、DOC(pre)の NO 酸化力の低下がもう一つの要因として考えられる。DOC(pre)の NO 酸化力は、主に DOC(pre)に流入する排気温度および流量により左右される。そこで、図 8 にて B100、B0 運転

時の DOC(pre)入口での排気流量と排気温度を比較した。この結果、排気流量は両者でほぼ一致し、燃料違いによる排気流量への影響は現れなかった。一方で、排気温度に関しては B100 運転時の方が僅かに低い結果となった。JE05 モードにおける DOC(pre)入口における平均排気温度は約 170 deg.C であり、このような温度域においては DOC(pre)の酸化力は温度に極めて依存するため、排気温度の低下も SCR 入口における NO₂ 濃度の低下の一要因であると考えられる。その他、B100 運転時に排出される SOF による DOC(pre)の被毒等も考えられるが、これについては今後の更なる検討が必要である。

4. ま と め

尿素 SCR システムを搭載したエンジンシステムに BDF を使用した場合、SCR 触媒の NO_x 浄化率が悪化する。これにより、JE05 モード走行時の NO_x 排出量は軽油運転時と比較して著しく増大し、新長期排出ガス規制値を超える結果となった。これを対策するためには、SCR 触媒入口の NO₂/NO_x 比をモード平均で 0.5 程度まで増大させることが課題である。具体的な方策の一例としては、燃料噴射時期・圧力等のエンジン燃焼制御の適正化による排気温度上昇や、DOC(pre)の強酸化力化等が挙げられ、これによる NO の NO₂ への酸化力向上が SCR 触媒の NO_x 浄化率向上にとって有効であると考えられる。

また、今後は従来の BDF(脂肪酸メチルエステル)のみならず、HVO(Hydrotreated Vegetable Oil、水素化バイオ軽油)や BTL(Biomass to Liquid、FT 合成軽油)を含めたあらゆるバイオマス燃料に対して、ディーゼル車への適用性を見極める必要がある。

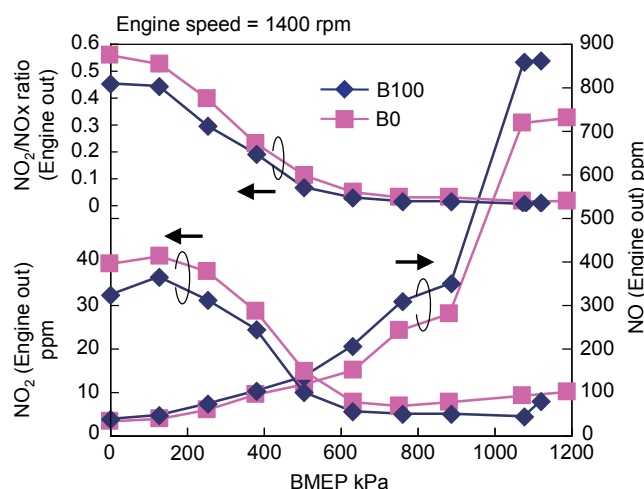


図 7 エンジンアウト NO、NO₂ 排出濃度、NO₂/NO_x 比

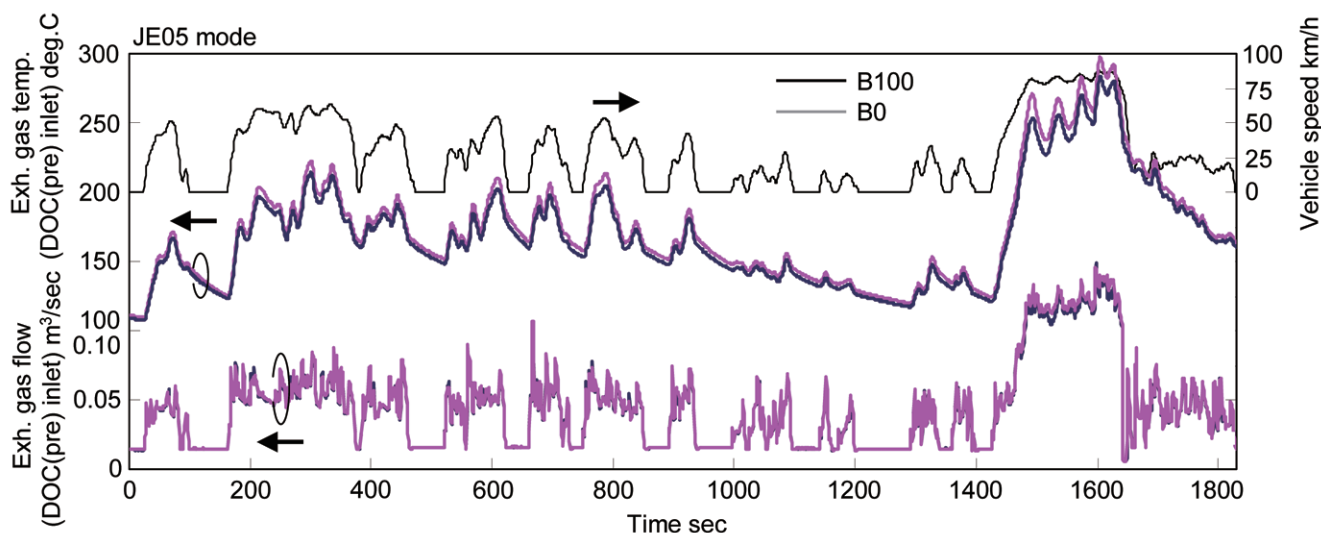


図 8 JE05 モードにおける SCR 入口排気温度および流量