

大型DMEトラックの開発プロジェクト（第3報）

- NMHC の低減対策と PM 排出評価 -

環境研究領域 高柳 智光 佐藤 由雄 李 晟旭 鈴木 央一 安 乗一
日産ディーゼル工業株式会社 中村 明 土屋 孝幸 戸田 憲二

1. はじめに

本プロジェクトでは、環境負荷の大きい大型ディーゼル車に代替する次世代低公害車の開発を進めている。その中でジメチルエーテル（DME）を燃料とするエンジンは、ディーゼルエンジンと同等の燃費に加え、黒煙の排出がないという特性を持っている。そこで、この利点を最大限生かした大型トラック用DMEエンジンの開発を行なった。

大型DMEエンジンを試作するにあたっては、コモンレール式およびジャーク式DME噴射系の試験を行なったが、現状では作動安定性の観点から、実車搭載用としてジャーク式が優れていることがわかった¹⁾。しかしジャーク式DMEエンジンはコモンレール式に比べ、噴射ノズルの構造変更起因すると考えられる未燃成分（NMHC）の排出量が多かった。そのためプロジェクトの排出ガス目標達成を目指し、今回は酸化触媒とその活性を維持させることによるNMHC低減を試みた。

またDMEエンジンは、粒子状物質（PM）の排出が極めて少ないといわれているが、2005年排ガス試験モード（JE05モード）での測定結果はいまだほとんど報告されていない。そこで本報告では、NOx触媒²⁾を装着しないエンジン出口におけるNMHCの各低減対策とその効果を調べるとともに、PM排出量評価試験の結果について述べる。

2. 試験エンジンおよび評価方法

2.1. 試験エンジン

図1にエンジンの概略図を、表1にその諸元を示す。DMEは単位体積あたりの発熱量および体積弾性率が軽油に比べて低いことから、その特性に合わせて噴射ノズル、ポンプカムプロファイル、プランジャーなど

噴射系各部の構造変更を行なった。燃料のフィード圧は1.5MPaとした。ポンプ及びノズル部における潤滑性を向上させるため、DMEに潤滑性向上剤（Lubrizol）を800ppmで混合した。DMEはススの生成がない²⁾ことから、EGRガスを吸気タービン上流に環流させることで過給時における大量EGRを可能とし、NOx排出量は新長期規制値に適合している¹⁾。

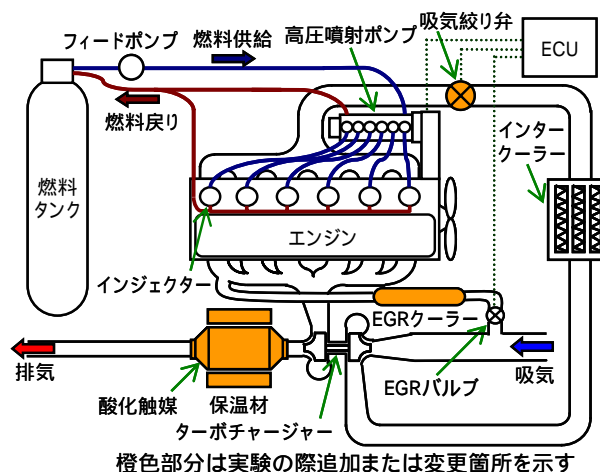


図1 エンジン概略図

表1 エンジン諸元

形式	FE6TA改
種類	4サイクル水冷 直接噴射式
シリンダー配置	直列6気筒
弁形式	OHV2バルブ
吸気方式	ターボインタークーラー
内径×行程	108×126mm
排気量	6,925cm ³
燃料噴射装置	列型ジャーク式
噴孔径×噴孔数	0.37mm×6
最大出力	201kW / 2,800rpm (実測値)
最大トルク	751Nm / 1,080rpm (実測値)
想定車両総重量	19,825kg

2.2. 評価および排出ガス測定方法

実験はすべて 2005 年重量ディーゼルエンジン排出ガス試験に用いられる JE05 モード（以下、モードと記述）にて評価を行なった。排出ガスは THC および CH₄ を HFID、NO_x を CLD、CO および CO₂ を NDIR の各方式で直接測定法により測定した。NMHC は HFID の THC 測定値から CH₄ 測定値を差し引いたものとし、またその成分分析には FTIR を用いた。PM 測定は全量希釈トンネルを用い、その成分分析を気化・酸化還元赤外線吸収法（HORIBA MEXA 1370PM）にて行なった。

3. 実験結果

3.1. NMHC の低減対策

3.1.1. 排出挙動および触媒浄化特性

図 2 に、モードにおける瞬時のエンジン回転・軸トルクおよび NMHC の排出挙動を調べた結果を示す。NMHC 排出量が多い箇所は、モード開始から 1,430 ~ 1,630 秒の高速・高負荷域が連続する区間であり、モード全体の 1/3 が排出されている。このときの排出ガス平均排出量を図 3 に示す。NMHC は新長期規制値の 6 倍、CO は 5 倍で、これらの大幅な低減が必要であることがわかった。

NMHC 低減対策としてはじめに、容量 1.5 リットルの白金系酸化触媒（以下、触媒と記述）を排気タービン直下に装着した（対策#1）。このときの THC のおもな成分について平均濃度を図 4 に示す。ここで NMHC の主成分は未燃 DME であり、他の成分はほぼゼロであった。つぎに、触媒前後平均温度ごとの触

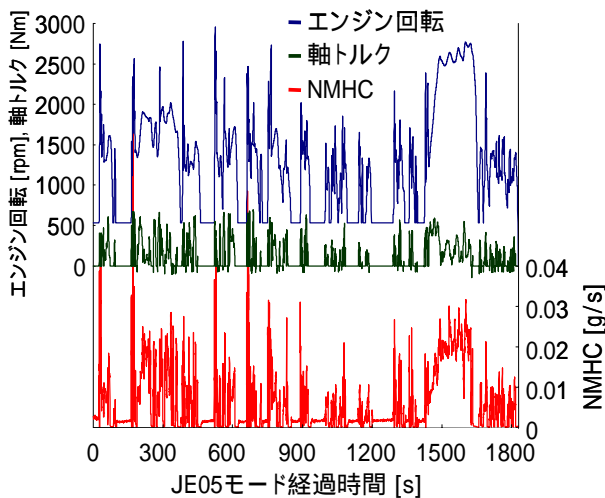


図 2 エンジン回転・軸トルクと NMHC 排出挙動

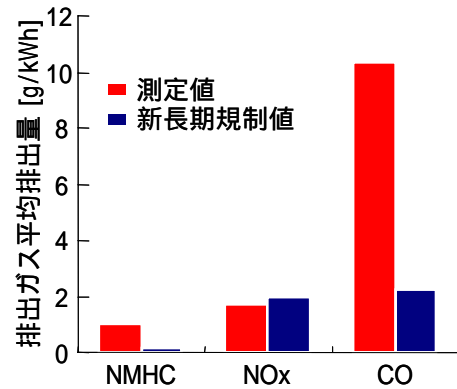


図 3 ベース仕様での JE05 モード平均排出ガス量

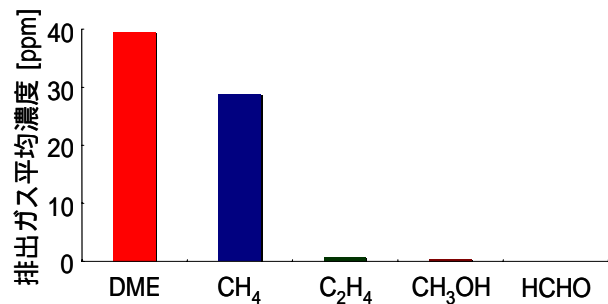


図 4 おもな THC 成分の JE05 モード平均濃度

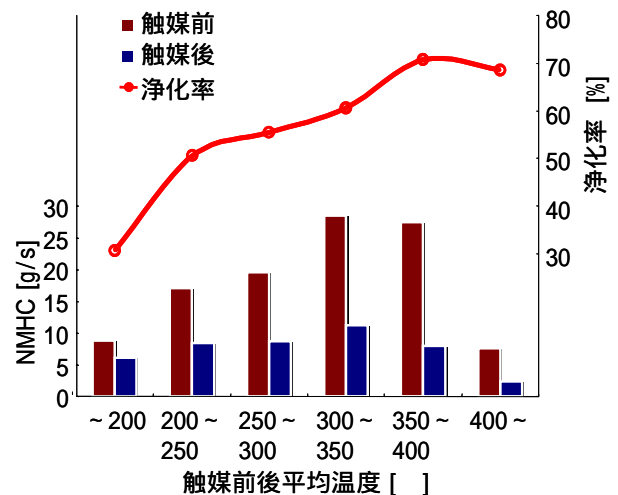


図 5 JE05 モードでの触媒温度と NMHC 浄化率

触媒前後の NMHC 排出量および触媒装着による浄化率を図 5 に示す。触媒による浄化率は温度上昇とともに向上し、200 以下は 30%であったのに対し、350 以上では 70%となった。これらのことから、NMHC の主成分である DME は、触媒温度が 350 以上において高い浄化率が得られるため、いかに触媒温度を上昇・維持させるかが NMHC 低減対策の課題であることがわかった。

3.1.2. 触媒の活性化

表 2 に実施した NMHC 低減対策を示す。吸気絞りはアイドル時のみ、図 1 に示す位置で行なった。クー

クーラーなし EGR は、EGR クーラーの冷却系を取り外したものである。これらの対策はそれぞれ独立して比較試験を行なったのではなく、順次、それぞれの対策を併用して実験を行なった。

表 2 NMHC 低減方法

	方法	ねらい
#0	ベース	-
#1	酸化触媒	酸化
#2	#1+アイドル時吸気絞り	触媒温度維持
#3	#2+クーラーなしEGR	触媒温度上昇
#4	#3+触媒保温	触媒温度維持

3.1.3. 対策の効果および排出挙動の変化

図 6 に対策ごとの排出ガス平均排出量を示す。#1 はベースに対して NMHC が 60%低減、さらに対策を重ねるごとに低減し、#4 では 70%低減した。CO も同様にベースから 80%低減した。しかし NMHC, CO はともに新長期規制値を達成するには至らなかった。一方、吸気絞りや EGR クーラーなしとすることは、CO₂の悪化を招くこともあるが、#2, #3 とともに今回施行したレベルにおいては CO₂の悪化はみられず、また NO_x は新長期規制値以内にとどまった。

図 7 に高速・高負荷区間における NMHC 排出挙動の変化を示す。#1 で NMHC 排出量のピーク値はベースの 1/3 となった。#4 に至ってはベースの 1/6 となった。#2 では排出量のピーク値は変わらず、アイドル時のみ低減効果がみられた。図 5 より、触媒温度が NMHC の浄化率に与える影響は大きいと考えられることから、これらの対策の効果を明確にするため、各対策の有無による触媒温度への影響について調べた結果を以下に述べる。

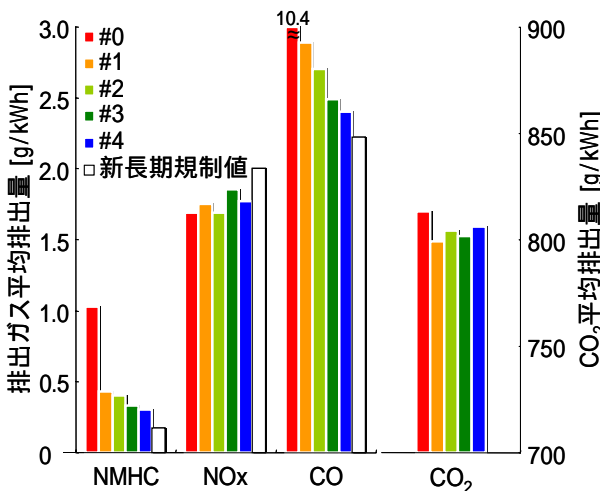


図 6 排出ガス JE05 モード平均排出量

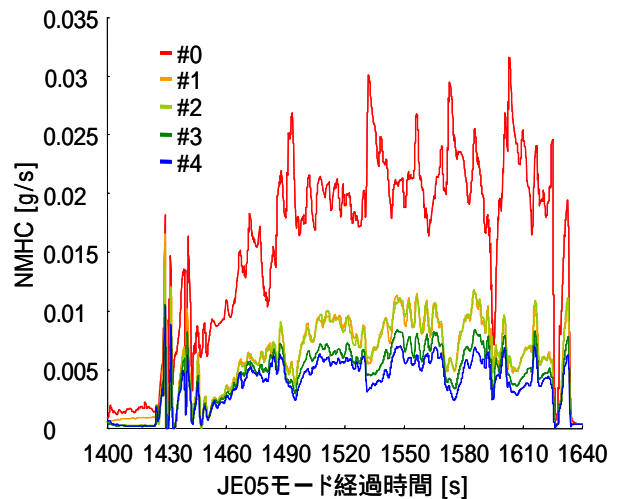


図 7 NMHC 排出挙動

3.1.4. 各対策による触媒温度の変化

図 8 に吸気絞りの影響についてモード中のアイドル前後における触媒出口温度の挙動を示す。走行中は吸気絞りの有無で差はみられないが、アイドルに移行すると吸気絞りは温度低下を最大 30 抑えた。

図 9 に EGR クーラーなしの影響について、高速・高負荷区間における触媒入口温度の挙動を示す。EGR クーラーを取り外すことで、EGR ガスの多いこの区間では温度が 15 上昇した。その結果、図 7 では#2 から#3 の間で大きな低減がみられた。

図 10 に触媒保温の影響について、アイドル前後の触媒出口温度挙動を示す。触媒保温は特にアイドル時の温度低下抑制に効果的であったが、吸気絞りと同じ走り開始後においても 5 高い温度を維持した。

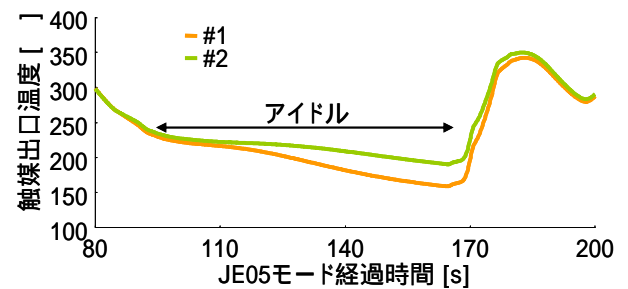


図 8 吸気絞り時の触媒出口温度挙動

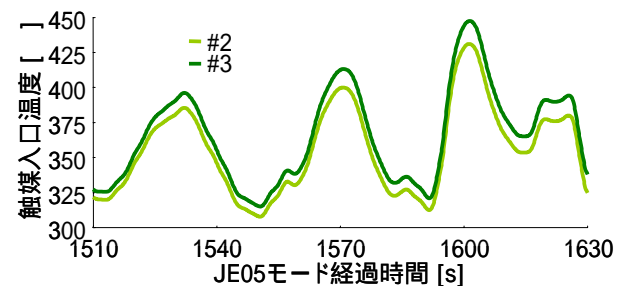


図 9 クーラーなし EGR 時の触媒入口温度挙動

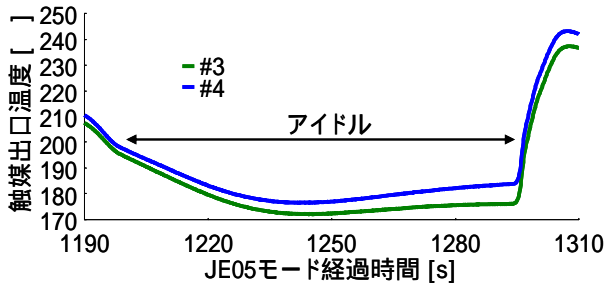


図 10 触媒保温時の触媒出口温度挙動

3.2. PM 排出量評価および成分割合

図 11 に NMHC 低減対策を組み合わせた#4 における PM 平均排出量を示す。使用した全量希釈トンネルは、約半年間ディーゼルエンジンの試験で使用したもの、およびディーゼルエンジンには未使用のもの（極低 PM エンジン専用試験設備）で、それぞれ 3 回ずつ測定した。使用済みの希釈トンネルでは、1 回目の測定において新長期規制値に近い排出量となったが、試験回数を重ねるごとに減少し、3 回目では未使用の希釈トンネルでの場合と同等の排出量となった。これは、使用済みの希釈トンネルまたはトンネル導入管内部の付着物等が離脱したものが検出され、回数を重ねるにしたがい離脱する量が減少したものと考えられる。したがってこのような低レベルの PM を正確に測定するためには、希釈トンネルの状態について考慮する必要があるといえる。未使用の希釈トンネルでは、1 回目から 3 回目ともに新長期規制値の 1/3 の排出量でほぼ安定した値を示した。

図 12 に、図 11 における未使用希釈トンネルでの測定 3 回目の PM 成分の割合を示す。今回の試験では、PM 成分のほとんどが可溶有機分 (SOF) であり、これに加えて極微量のスス (Soot) および酸化硫黄 (サ

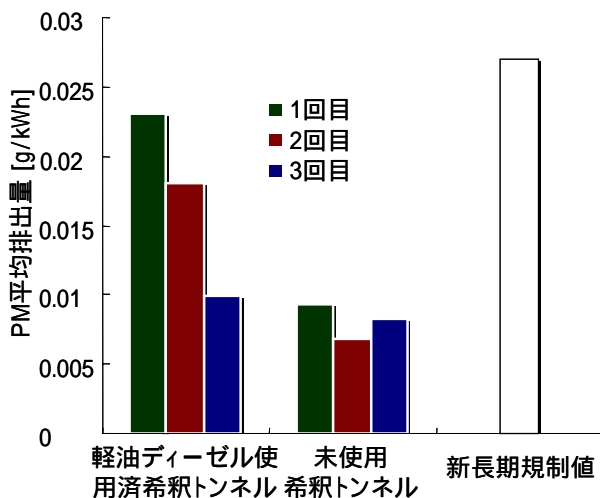


図 11 JE05 モードにおける PM 平均排出量

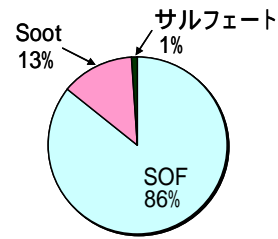


図 12 PM 成分割合

ルフェート) が検出された。これらはエンジン潤滑油および DME 潤滑性向上剤由来であると考えられ、今後はエンジン潤滑油の種類、および潤滑性向上剤の種類や濃度低減についても検討する必要がある。

4. まとめ

ジャーク式 DME 噴射系を用いた大型 DME エンジンの、NO_x 触媒^①を装着しないエンジン出口における、NMHC 低減対策および PM 排出量評価を JE05 モードにて行なった結果、以下のことがわかった。

- 1) NMHC の主成分は未燃 DME であり、これを浄化する上で酸化触媒温度の影響が大きい。
- 2) 酸化触媒温度の上昇・維持をねらった各種 NMHC 低減対策により、ベース仕様に対して NMHC は 70% 低減、CO は 80% 低減した。
- 3) PM 平均排出量は、新長期規制値の約 1/3 で、その成分のほとんどが SOF であった。
- 4) ディーゼルエンジンで使用している希釈トンネルをそのまま使用して PM 計測した場合、直後の PM 測定値が増加する傾向にあるので、専用の設備を用いるか、兼用設備の場合は 3 回以上の予備計測後に試験する必要がある。

謝辞

本試験において御協力戴いた小林啓樹氏ならびに小島和夫氏に感謝申し上げます。

参考文献

- 1) 佐藤, ほか 7 名: 大型 DME トラックの開発プロジェクト (第 1 報), 交通安全環境研究所研究発表会講演概要 (2004)
- 2) Miyamoto, et al "Smokeless, Low NO_x, High Thermal Efficiency, and Low Noise Diesel Combustion with Oxygenated Agents as Main Fuel", SAE 980506 (1998)