

列型ジャーク式DME噴射系を用いた小型トラック用 DMEエンジンの研究開発（第2報）

- 車載用エンジンの開発と排出ガス適合試験結果 -

環境研究領域 高柳 智光 佐藤 由雄 及川 洋
ボッシュ株式会社 野崎 真哉 野田 俊郁 石川 輝昭 牛山 大丈

1. はじめに

大都市における大気汚染は、とくにディーゼルトラックの寄与率が高く、その対策が早急に求められている。数次にわたり排出ガス規制が強化される中、ディーゼルトラックはDPFに加えてNO_x触媒などの排気後処理装置の追加が不可欠となっている。しかし小型トラックの分野においては、これらがコストの増加や搭載スペースの制約、制御の複雑化といった点などが大きな課題といわれている。また、この分野では天然ガスやLPGなどの燃料を用いた低排出ガス車が実用化されているが、従来のディーゼルトラックと比べて燃費が劣り航続距離も短いため、低排出ガスと低燃費を両立させた小型トラックの開発が望まれている。

そこで、新燃料として期待されているジメチルエーテル(DME)を用い、黒煙の排出がなく圧縮着火が行えるという燃料の利点を最大限に活かし、大量EGRと小型酸化触媒のみというシンプルな構成で新長期排出ガス規制値¹⁾を大幅に下回る低排出ガスと低燃費を兼ね備えた小型トラックの研究開発を行なった。

第1報²⁾はDMEエンジンの実用可能性調査として、噴射システムの開発およびD13モード試験の結果等について報告した。本報告では2トン積載の小型トラックに搭載するDMEエンジンの開発を目的とし、NO_xの大幅低減を実現する大量EGRシステムの開発、JE05モード¹⁾での排出ガス適合試験を行なった結果および燃費、出力性能について述べる。

2. 開発目標

小型トラック搭載を前提としたDMEエンジンを開発するにあたり、以下の開発目標値を設定した。

JE05モードにおける排出率

- NO_x < 0.5 g/kWh (新長期規制値の1/4)
- PM < 0.0 g/kWh (ほぼゼロ)
- CO < 2.22 g/kWh (新長期規制値)
- NMHC < 0.17 g/kWh (新長期規制値)
- BSFC : 従来型ディーゼルエンジンと同等
- 出力 : ベースディーゼルエンジンと同等

3. 開発エンジン

3.1. 燃料供給および噴射系

図1に試作したDMEエンジンの概略図を、表1にその諸元を示す。試作エンジンはDME用に最適化した列型ジャーク式噴射系を用いた^{3), 4)}。燃料であるDMEには潤滑性向上剤(Lubrizol LZ539ST)を800ppm添加した。供給する燃料のフィード圧は、燃料タンクから噴射ポンプまでの配管内でDMEが気化することを防止するために1MPa程度とした。また噴射ポンプへの供給量を4.0L/minと多くすることで、噴射ポンプの燃料ギャラリー内温度の上昇抑制をはかった。DMEは軽油と比較して単位体積あたりの発熱量が小さいことから、軽油用噴射ポンプのプランジャの直径を拡大、ストロークを延長することで吐出量の増加を可能とした。一方で噴射後期のプランジャ駆動カムの面圧増加を抑制するべく、カムプロファイルを変更した。さらにガバナを電子化することで任意の吐出量制御を可能とした。また噴射ノズルは噴孔径および先端形状の拡大を行なうことで、噴射量の増加に対応した。

3.2. NO_x および未燃分対策

DME エンジンでは排気ガス中に黒煙を含まないという特徴から、排気マニホールドより取り出した EGR ガスをターボチャージャのコンプレッサ入口側に環流するとともに、EGR クーラと組み合わせることで過給時における大量 EGR を可能とした。さらに EGR ガス合流部の上流に吸気絞り弁を備えることで、無過給時においても大量 EGR を可能とした。加えて過給時および EGR 時における NO_x 低減と燃費改善を目的にインタークーラを装着した。また大量 EGR によって増加が懸念される未燃分への対策として、浄化率と車両搭載性とを検討した結果、排気タービン下流 0.5m の位置に、セル密度 400cpi のコーゼライト担体に白金を担持した、容量が 1.5L の酸化触媒を設けた。

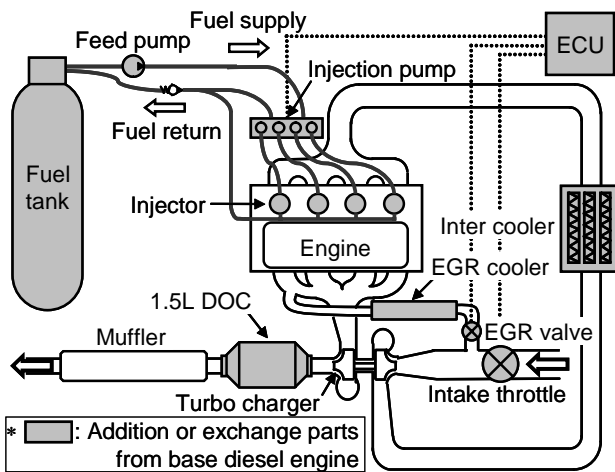


図1 エンジンの概要

表1 エンジン諸元

	Base diesel engine	DME engine
Model	ISUZU 4HG1T	←
Cylinder	Inline 4	←
Bore * Stroke	Φ115mm * 110mm	←
Total displacement	4570cc	←
Compression ratio	19.0	←
Rated power	89kW / 3200rpm	103kW / 3000rpm
Maximum torque	325Nm / 1800rpm	328Nm / 1800rpm
Injection system	Inline jerk (PE-S4ADS105)	← Modify for DME
Injection nozzle	DLLA-P	←
Orifice number	5	←
Orifice diameter	0.24mm	0.38mm
Opening pressure	18.5MPa, 21.5MPa (2-Stage)	11.8MPa
Governor	Mechanical	Electronic
Timer	Mechanical (Advance angle: 8deg CA)	← (Advance angle: 13.4deg CA)
Aspiration	Turbo charger	Turbo intercooler

4. 実験結果および考察

4.1. EGR および吸気絞り制御マップの開発

制御マップの開発にあたって、各エンジン回転、負荷ごとに最適な EGR 率を調べた。EGR 弁のみを用いた例として、図2に高速高負荷(2,400rpm/260Nm)における EGR 率と BSFC, NO_x の関係を示す。なお BSFC は軽油換算値である。EGR 率増加にともない NO_x が大幅に低減することに対し、BSFC は EGR 率 20% から急激に悪化した。よってこのときの EGR 率は 20% となるよう制御マップを設定した。次に、吸気絞りを併用した EGR の例として、図3に低速低負荷(1,400rpm/130Nm)における EGR 率と BSFC, NO_x の関係を示す。NO_x については高速高負荷と同様、EGR 率増加によって大幅に低減した。これに対して、BSFC は高速高負荷と異なり EGR 弁を全開とした場合においても悪化しなかった。そこで吸気絞りを併用することによって EGR 率を引き上げた結果、45% から BSFC が悪化した。この場合の EGR 率は 45% に設定した。

これらと同様に、BSFC が大幅に悪化しない程度の EGR および吸気絞り制御をエンジン運転領域全体で行なったときの EGR 率を図4に示す。吸気絞りを併用した EGR の領域は、1,600rpm 以下かつ 130Nm 以下である。EGR 弁のみを使用した領域では、2,600rpm 以下においてフラットな EGR 率となった。吸気絞りを併用した領域における EGR 率は 40% を超え、とくにアイドル時は EGR 率 70% となった。

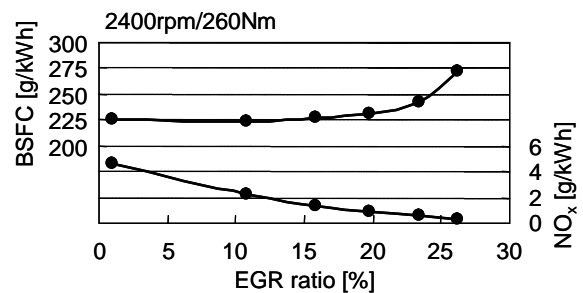


図2 EGR の効果

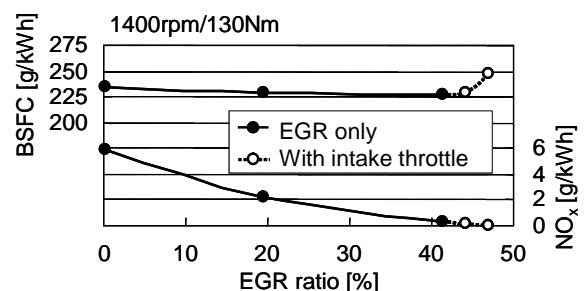


図3 吸気絞りを併用した EGR の効果

4.2. インタークーラの効果

図 5 にインタークーラ装着前後の変化について、JE05 モードの平均吸気温度および BSFC と NO_x 排出率の関係を示す。吸気温度がインタークーラ装着により 25% 低下することにもない BSFC が 11% 低減し、NO_x が 14% 低減した。

4.3. 排出ガス適合試験結果

開発した EGR および吸気絞り制御マップを用いて JE05 モード試験での排出ガス評価を行なった。図 6 に CO, NMHC, NO_x, PM 排出率の結果を示す。NO_x は目標値である新長期規制値の 1/4 を達成し、同規制値の 1/5 レベルという結果を得られた。PM ではポスト新長期規制値⁵⁾の 1/4 となり、ほぼゼロといえる結果となった。また大量 EGR によって増加が懸念された CO および NMHC についても目標としていた新長期規制値を達成した。

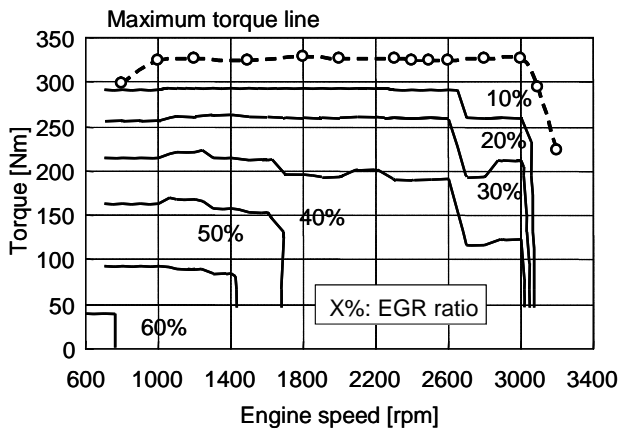


図 4 EGR 率マップ

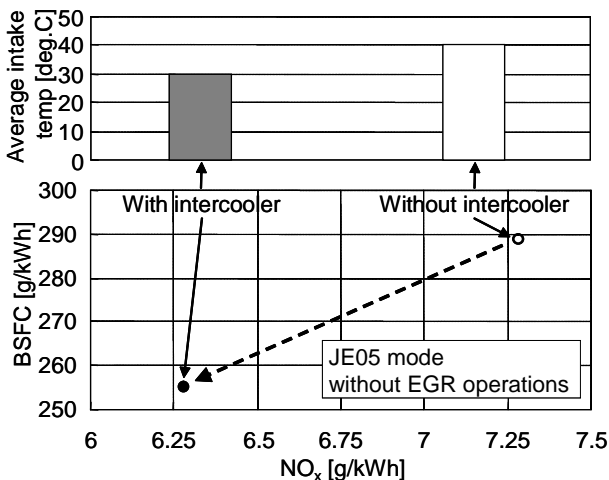
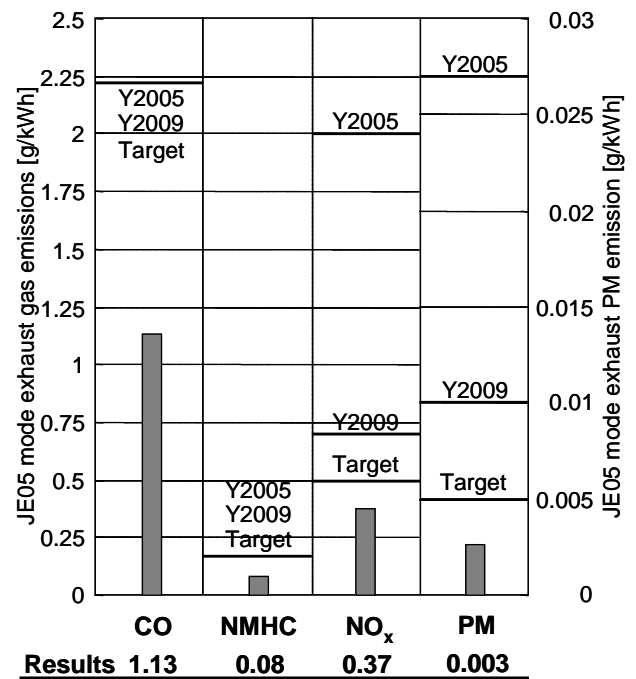


図 5 インタークーラの効果

一方、JE05 モード試験における BSFC および NO_x, PM 排出率について、従来型ディーゼルエンジンとの比較を図 7 に示す。比較に使用したディーゼルエンジン⁶⁾は、新短期規制適合の市販小型トラック用のものである。このエンジンは DPF および NO_x 吸蔵還元触媒を装着し、市販車の中でもとくに低排出ガスといえる。試験時の最大積載量は、DME トラック同様 2 トンとし、燃料は低硫黄軽油(10ppm)を使用した。またこのときは NO_x 吸蔵還元触媒へのリッチスパイクを行なっているが、S 再生および DPF の PM 再生は行っていない。このディーゼルエンジンに対して、DME エンジンは BSFC をほぼ同等としながらも、NO_x で 80%、PM では 70% の低減が得られていることがわかる。

4.4. 出力特性

図 8 に DME エンジンとベースディーゼルエンジンの出力特性を示す。DME エンジンの最大トルクの上限は耐久性を考慮し、排気温度およびベースディーゼルエンジンの最大トルクとした。その結果 DME エンジンは 1,000~3,000 rpm の間でフラットなトルク曲線となり、低速の最大トルクはベースディーゼルエンジンに対して 8%、高速では 16% 増加した。また最大出力は 16% 上昇させることが可能となった。



Y200X: Regulation operation year in Japan

図 6 JE05 モード排出ガス適合試験結果

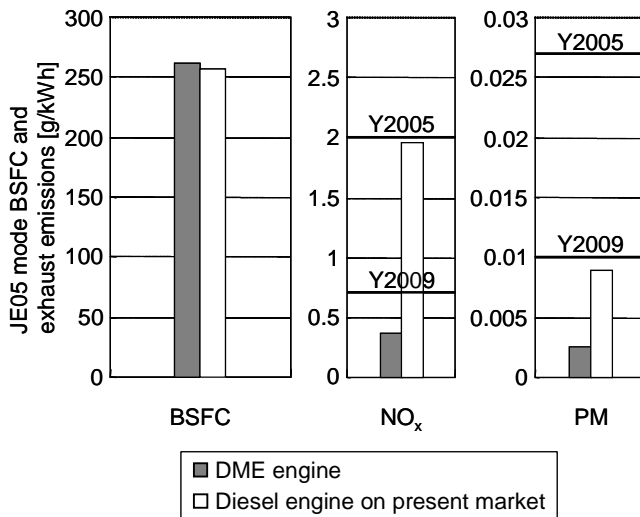


図7 従来型ディーゼルエンジンとの比較

5. まとめ

小型ディーゼルトラックは、DPF や NO_x 触媒などの排気後処理装置を追加することによるコストの増加や搭載スペースの制約、制御の複雑化といった点が大きな課題となっている。これに対する解決策の一つとして、排気後処理装置を小型の酸化触媒のみとし、大量 EGR による NO_x の新長期規制値からの大幅低減をねらった小型トラック用 DME エンジンの研究開発を行なった結果、以下のことがわかった。

- 1) JE05 モード試験での NO_x 排出率は、新長期規制値の 1/5 レベルを達成した。また PM はポスト新長期規制値の 1/4 で、ほぼゼロといえる結果であった。
- 2) 小型の酸化触媒のみで CO, NMHC は新長期規制値を充分にクリアできるレベルとなった。また最新の市販ディーゼルエンジンと比較して、BSFC は同等としながら NO_x, PM とともに大幅な低減が得られた。
- 3) 最大出力および低速トルクはベースディーゼルエンジンを上回った。
- 4) DME エンジンは優れた環境性能と、ディーゼルエンジン同等の燃費および出力特性を併せ持つことを小型トラックの分野において実証した。

謝辞

本研究開発を遂行するにあたり協力頂いた当研究所スタッフの小島和夫氏、宗村俊昭氏には、ここに記して感謝の意を表します。

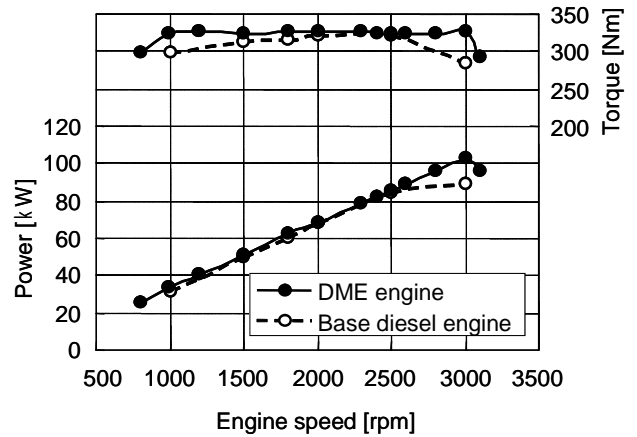


図8 出力特性

参考文献

- 1) 環境省，“中央環境審議会第5次答申 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について”，2002
<http://www.env.go.jp/press/press.php3?serial=3293>
- 2) 安 乗一，佐藤 由雄，野崎 真哉，野田 俊郁，牛山 大丈，石川 輝昭，“列型ジャーク式 DME 噴射系を用いた小型トラック用エンジンの研究開発”，交通安全環境研究所研究発表会講演概要，pp.39-42，2004
- 3) 牛山 大丈，野田 俊郁，野崎 真哉，及川 洋，“列型 Jerk 式噴射系を用いた DME 噴射性能調査”，自動車技術会春季学術講演会前刷集，No.49-03，232，pp.5-8，2003
- 4) 野田 俊郁，石川 輝昭，牛山 大丈，野崎 真哉，佐藤 由雄，“列型ジャーク式 DME 噴射系の開発およびエンジン適用試験”，自動車技術会春季学術講演会前刷集，No.15-04，75，pp.15-18，2004
- 5) 環境省，“中央環境審議会第8次答申 今後の自動車排出ガス低減対策のあり方について”，2005
http://www.env.go.jp/press/file_view.php3?serial=6627&hou_id=5882
- 6) 川野 大輔，石井 素，後藤 雄一，野田 明，青柳 友三，“次世代対応バイオディーゼルの研究開発(第1報)バイオマス燃料が既存のディーゼルエンジンの排出ガス特性に与える影響”，自動車技術会秋季学術講演会前刷集，No.117-05，156，pp.13-18，2005