

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

環境研究領域 安 秉一 佐藤 由雄

(株)ポッシュオートモーティブシステム 野崎 真哉 野田 俊郁
牛山 大丈 石川 輝昭

1. まえがき

大都市地域の環境改善が緊急の課題となっており、大気汚染の主な原因であるディーゼルエンジンから排出される窒素酸化物（NOx）および微粒子（PM）の同時低減が強く求められている。DMEは天然ガスや石炭からの大量生産が可能であり、黒煙を排出しないことに加え、セタン価が高く、ディーゼルエンジンと同等の熱効率が期待できることから、ディーゼルエンジン代替のクリーン燃料としての利用技術が公的機関を中心に盛んに研究されている⁽¹⁾⁻⁽⁴⁾。これまでの研究報告からDMEエンジンの開発上での大きな課題として、高回転での出力確保や耐久性の確保が挙げられる。そこで、本研究では、DME物性を考慮し専用設計した列型噴射システムを開発し、エンジン台上試験を行い、高回転、高負荷域まで軽油同等以上の出力確保を目指し、大量EGR制御により大幅なNOx低減効果を確認する。また、今後の厳しい規制も踏まえて、新長期規制の1/2～1/4レベルまでの低減を目標とする。

2. 噴射システムの開発

本DME用の噴射システムは4Lクラスの小型トラック用エンジンに適用するために、主要部品の設計あるいは要素の選定に関わるものをあげて、その改良を行った。図1は列型ジャーク式噴射系の改良ポイントを示す。また、表1には改良した噴射系の主要諸元を示す。ベースの噴射系としては、中小型用のコンベンショナルポンプとしては最大の噴射性能を有するPE-ADS型とし、プランジャ径はシリーズ最大の10.5、インジェクターはDLLA-P型を用いた。そして、このクラスのエンジンの出力を考慮しDME噴射系として定格回転にて200 mm³/stの噴射

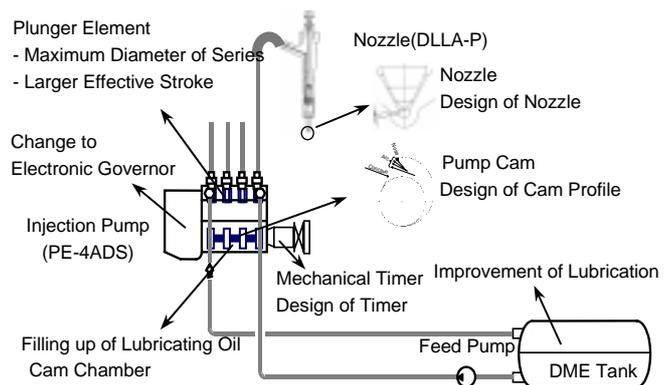


図1 列型ジャーク式噴射系の改良ポイント

表1 ベースディーゼル噴射システムとDME噴射システムとの比較

		Diesel Injection System	DME Injection System
Plunger	Diameter	10.5mm	
	Lead	25 Lead	30 Lead
Delivery Valve	Type	CPV	STD
	Opening Pres.	0.49MPa 5.9MPa(BallPo)	2.04MPa
Cam	Lift	11mm	
	Profile	PEA-U-10	
Injection Pipe	Inner Dia.	2mm	
	Length	600mm	
Nozzle	Type	DLLA-P	
	Orifice Num.	5	6
	Orifice Dia.	0.24mm	0.36mm
	Opening Pres.	18.5, 21.5MPa (2 Spring)	11.8MPa (STD)

量が一定期間内に安定して噴射可能なことを目標とした。まず、有効ストロークが大きくとれるようプランジャリードを25から30へ変更し、またノズル噴孔径を拡大し、開弁圧を低くすることでDMEの体積弾性率や発熱量の低さに対応した。噴射量の増加によりポンプ側管内圧が耐圧を超えることより、

カムプロファイルの再設計を行った。また、燃料温度の変化に対する温度補正の必要性より電子ガバを採用した。噴射系の開発結果として、図2では噴射量 100, 150, 200 mm³/st の場合、噴射率波形を示す。各噴射量に対し、噴射率波形は十分な安定性、再現性を示す。図3には噴射量と最大噴射圧力との関係を示す。同噴射量に対し、DME の最大噴射圧力は噴孔径を拡大することで軽油の半分以下になる。また、図4には同一有効ストローク時の温度に対する、噴射量の容積変化および質量変化を示す。図から 40, 200 mm³/st の噴射量の場合、±20 の温度変化に対し ±5% の噴射量の容積変化、±10% 質量変化を示す。この結果から温度変化に対する噴射量の補正は 0.5%/ になる。

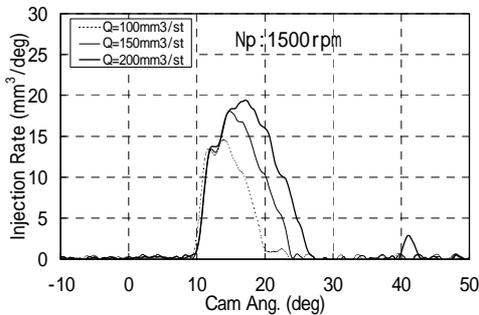


図2 噴射量の変化に対する噴射率波形

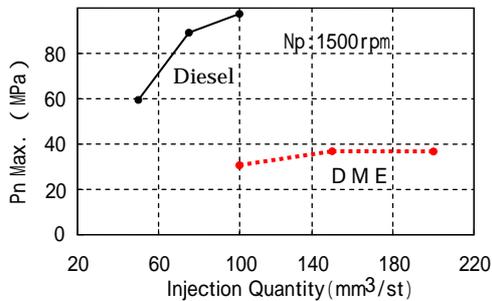


図3 噴射量と最大噴射圧の関係

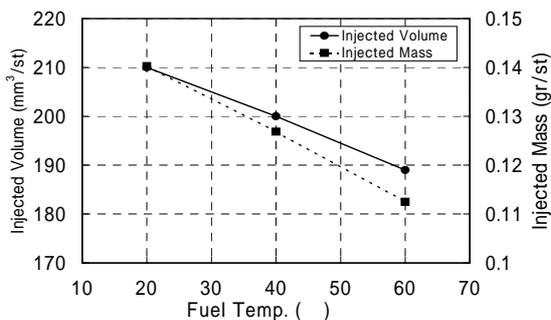


図4 噴射量の温度依存性

3. エンジン適用試験

DME 用に最適化した列型ジャーク式噴射系のエンジン適用試験を行った。ベースエンジンとして、いすゞ製の小型トラック用ディーゼルエンジン 4HG1T を用いた。主要諸元を表2に示す。エンジン本体の変更点はなく燃料噴射系のみをDME用噴射システム(電子ガバナ制御用の ECU 含む)に変更した。図5にエンジンベンチ試験で使用したDME供給システムの構成図を示す。

表2 DME エンジンの主要諸元

Bore x Stroke	115 x 110 mm
Displacement	4570 cc
Compression Ratio	19.0
Rated Output	88 kW / 3000 rpm
Maximum Torque	322 Nm / 1800 rpm

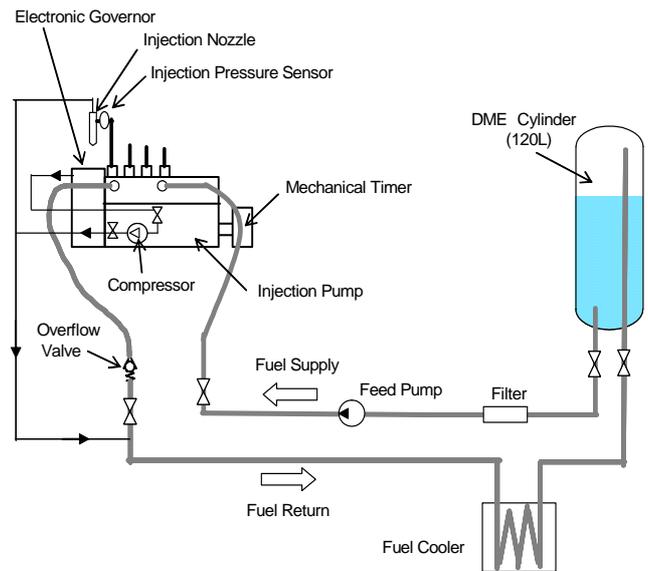


図5 DME 供給システムの構成図

3.1 タイマー特性の決定

タイマー進角特性を決定するため静的噴射時期(deg. BTDC)を変数として試験を行った。図6に噴射時期に対する燃費の測定結果を示す。この図から低速域では噴射時期を 13.6 deg.より遅らせた場合、また、高速域では 27 deg.より進めた場合では燃費が悪化した。この結果から、1000 rpm から 3000 rpm の範囲において最適なタイマー進角特性は 13.4 deg. (ポンプカム角度で 6.7 deg.) と決定した。

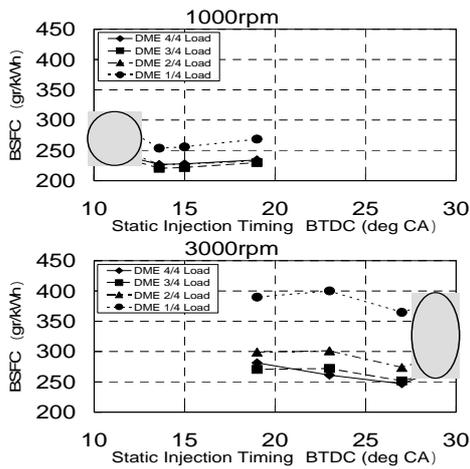


図6 燃費の測定結果

3.2 噴射時期の決定

最適となる噴射時期を確認するため、進角特性が13.4 CAのタイマーを組み込んだ噴射ポンプを用いて全負荷燃費試験を行った。図7に、噴射時期を11、13.5、16 BTDC deg CAに設定した場合の燃費を示す。11 BTDC deg CAの場合の燃費は中速域から高速域で悪化している。16 BTDC deg CAの場合の燃費は、中速域では良好であったが、1000 rpm 及び定格出力回

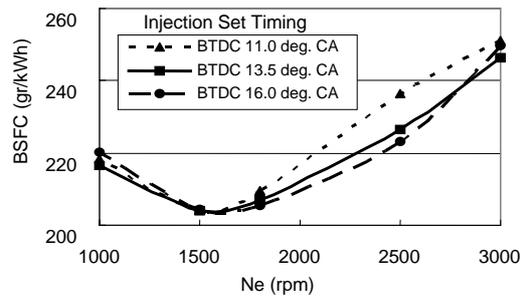


図7 噴射時期を変えた場合の燃費測定結果

転の3000 rpmでは悪化している。この結果から噴射時期は、全体的に燃費が良好であった13.5 BTDC deg CAとした。

3.3 エンジン性能試験

図8に列型ジャーク式DME噴射系を用いてエンジン性能試験を行い、ベースディーゼルエンジンと比較した結果を示す。ベースエンジンと同等以上の出力が確保でき、また、燃費もディーゼルなみの結果が得られ、開発したDME噴射系のエンジン適用性が実証された。一方、NOxは1/2程度であり、THC

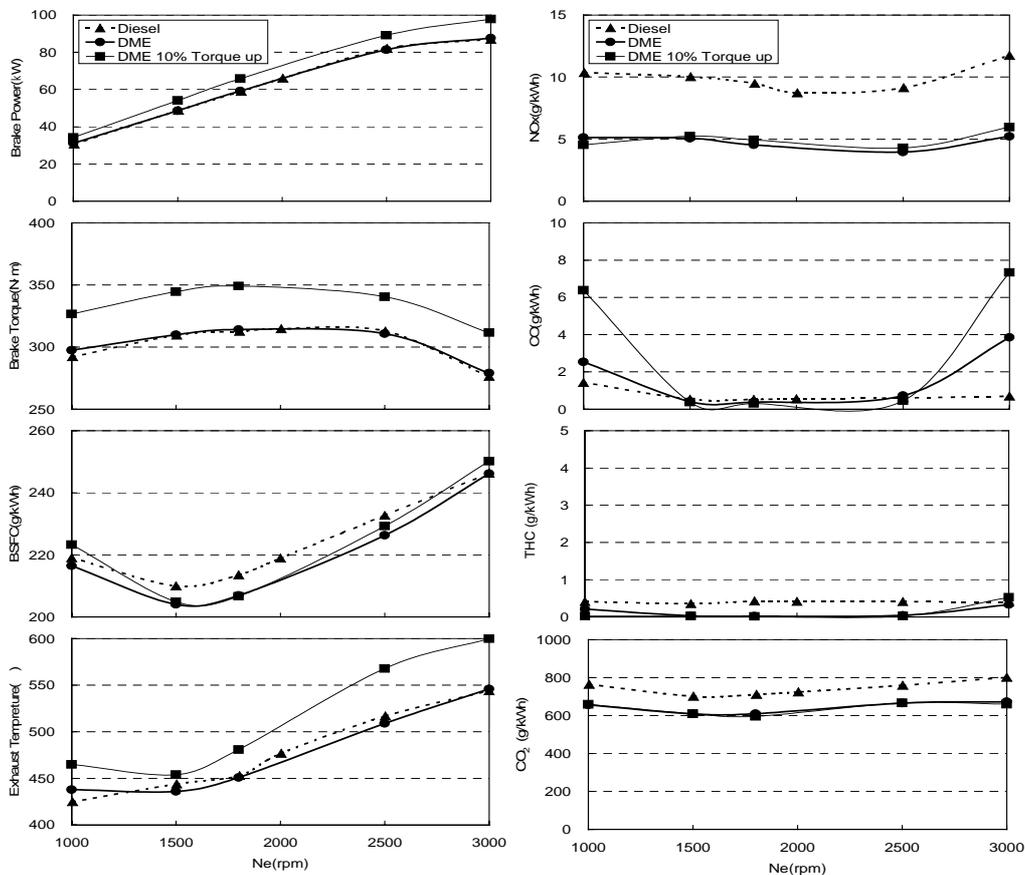


図8 全負荷性能特性

は極めて低い排出レベルであった。CO は低速域及び高速域で増加した。CO₂ は 15%ほど少なく、エンジンアウトでの CO₂ 削減も期待できる。さらに出力を 10%程度増加させた場合でも燃費の悪化は比較的少ないことがわかった。

3.4 EGR 適用試験

この実験では、大量 EGR の効果を調べるため、EGR バルブ、EGR クーラー、吸気絞りをを用いた。さらに、CO や未燃の DME を排除するため酸化触媒を採用した。図 9 はその実験装置の概略図を示す。図 10 には DME 運転による D13 モード試験結果を示す。この結果から、新短期規制値に対し、NO_x は 65%減、CO は 78%減、THC は 64%減と低公害性が得られた。また、PM の場合は、今回は測定していないが、他の実験結果から見るとほぼゼロに近い値を示した。

本研究では NO_x 触媒なしで、酸化触媒のみを採用し、ベースディーゼルと同等の燃費を維持しながら、すすの発生がない DME の特徴を利用して大量 EGR を行うことで新短期規制値の約 1/3 までの低減が可能となった。

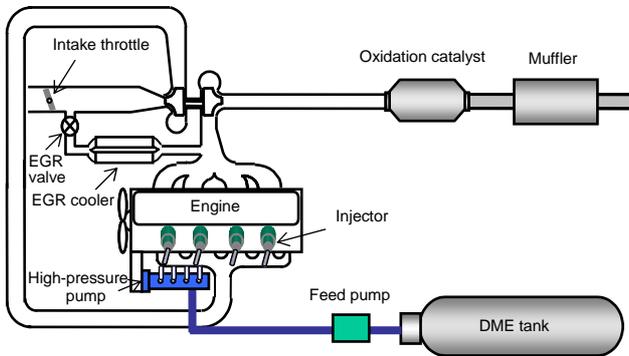


図 9 EGR 試験装置の概略

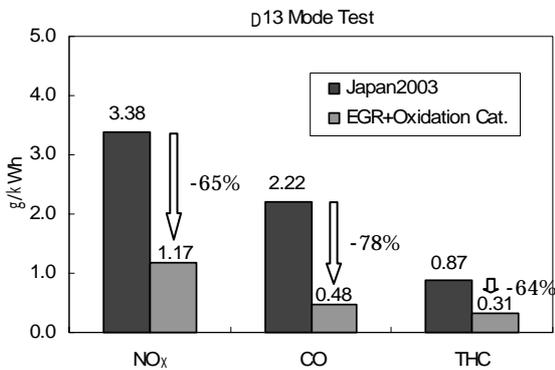


図 10 DME 運転による D13 モード試験結果

今後、2005 年から実施される新長期規制の適用に向けて高度な EGR 制御、酸化触媒、NO_x 触媒などを取り付けることで更なる低減が可能であると考えられる。

4. まとめ

DME 用に最適化した列型燃料噴射ポンプおよび供給システムを開発し、DME ディーゼルエンジンの性能及び排気特性を評価した。その結果、以下のことが明らかになった。

- (1) DME 用に開発した列型ジャーク式噴射系は十分な安定性、信頼性の確認ができた。
- (2) エンジン適用試験を行い、ベースディーゼルエンジンと同等以上の出力と燃費の確保ができた。
- (3) DME エンジンではベースディーゼルエンジンと比べて、THC は極めて低いレベルであるが CO は低速域及び高速域で増加した。CO₂ は 15%ほど少なく、エンジンアウトでの CO₂ 削減も期待できる。
- (4) D13 モード試験結果から新短期規制値に対し、NO_x は約 1/3 までの低減が可能となった。

謝 辞

最後に、本研究にあたり、多大なるご協力戴きました小林 啓樹氏には、この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

参 考 文 献

- (1) 若井謙介, 他 3 名, 代替ディーゼル燃料としての Dimethyl Ether (DME) の噴霧特性に関する研究, 自動車技術会講演前刷集, No. 976-17 (1997)
- (2) 瀬戸雄史, 他 2 名, ジメチルエーテルエンジンの燃焼改善, 自動車技術会講演前刷集 No. 47-03, 225, pp21-24 (2003)
- (3) 安秉一, 他 2 名, ジメチルエーテル圧縮着火機関の燃焼改善 (噴射圧力の影響), 自動車技術会講演前刷集 No. 62-03, 1, pp1-4 (2003)
- (4) Yoshio Sato, Shinya Nozaki, Toshifumi Noda, "The Performance of a Diesel Engine for Light Duty Truck using a Jerk Type In-Line DME Injection System" SAE Paper 2004-01-1862