The Japan Society of Mechanical Engineers

# 306 列型ジャーク式DME噴射装置の開発及びエンジン適用試験

## Development of Jerk Type In-Line DME Injection System and Engine Test

○野崎 真哉（ボッシュ） 野田 俊郁（ボッシュ） 牛山 大丈（ボッシュ） 石川 輝昭（ボッシュ）
佐藤 由雄（交通研） 高柳 智光（交通研） 及川 洋（交通研）

Shinya NOZAKI Toshifumi NODA Daijo USHIYAMA Teruaki ISHIKAWA
BOSCH Corporation, 3-13-26, Yakyucho, Higashi-Matsuyama-shi, Saitama
Yoshio SATO Toshimitsu TAKAYANAGI Hiroshi OIKAWA
National Traffic Safety and Environment Laboratory, 42-27, 7-chome, Jindaiji-higashi, Chofu-city, Tokyo

Key Words: *Diesel Engine, In-line Injection System, Alternative Fuel/Dimethyl Ether, Emission, EGR, JE05 Mode*

### 1. 緒言

DME（Dimethyl Ether）はセタン価が高く無煙燃焼することから，クリーンなディーゼル燃料として注目されている．一方，DMEは発熱量密度が軽油の約1/2と低く，LPGオートガスに類似した低粘度の液化ガス燃料であることから，噴射装置を含むDME燃料システムの開発が，DMEディーゼルエンジン実用化の最大の課題といわれている．

本研究ではメタノール等の低潤滑性燃料に対して使用実績のある列型ジャーク式噴射装置をベースに，DME燃料システムへの変更を行い，それを用いた小型ディーゼルエンジンによるJE05モード試験を行った．

### 2. DME燃料システムとしての変更点

#### 2.1 大噴射量対応

DMEの発熱量密度は軽油の約1/2であり，軽油同等の出力を得るためには軽油の約2倍の体積のDMEを噴射する必要がある．これを実現するために，噴射ポンプにはシリーズ最大のプランジャ径及びカムリフトを採用した．また有効ストロークを大きく取るためプランジャのリードの勾配を立てて延長した．更に圧送ストロークが大きく取れる噴射ポンプカムプロフィルに変更した．ノズルに関しては，大噴射量化に伴う噴射期間の増加を抑えるために，図1に示すように噴孔面積を拡大すると同時に，シート形状の見直しを行い，シート絞りのないニードル先端形状とした．[1][2]

#### 2.2 大進角タイマー

DMEの体積弾性率は軽油の約1/3である．これに起因して，噴射ポンプ回転数の上昇に伴い，噴射時期の遅れが軽油に比べ大きくなる．図2に軽油とDMEとの噴射時期の比較を示す．ポンプ回転数300～1500rpmの範囲でDMEは軽油の約2倍の噴射時期の遅れを生じる．[2] この理由により，大進角タイマーを採用した．

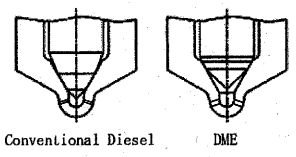


Fig.1 Nozzle configuration

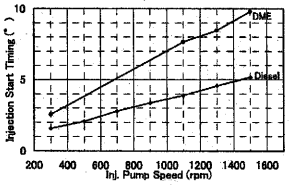


Fig.2 Injection timing delay

#### 2.3 低圧系

DMEは-25℃で大気圧，20℃で5気圧程度の飽和蒸気圧を持つ液化ガス燃料である．安定した噴射を実現するためには，低圧系の圧力を常に飽和蒸気圧以上に加圧し，液相を維持した状態で噴射ポンプに燃料を供給する必要がある．これを実現するために，燃料タンク内の液体DMEをフィードポンプで噴射ポンプに送り出し（流量4L/min），0.5MPaの開弁圧を持たせたオーバーフローバルブを介して燃料タンクへ戻すことによって，タンク圧＋0.5MPaの供給圧力を得ている．[1][3]

#### 2.4 燃焼室へのリーク防止

ディーゼル用噴射ノズルの金属シート部はガスに対するシール性が完璧ではない．従って，エンジン停止後にシート上流に残留するDMEは徐々にエンジン燃焼室内にリークする．その結果，再始動時に異常燃焼の原因となる可能性がある．これを回避するために残留燃料のパージを行う必要がある．図3にDME燃料システムを示す．まずエンジン停止後のバルブ操作により，アスピレータによる吸引と燃料タンク内の気相導入が行われ，噴射ポンプ内に残留する大部分のDMEが液体のままパージされ燃料タンクに回収される（液パージ）．その後のバルブ操作により，減圧したパージタンクによるパージが行われる（気化パージ）．[4] この際，図4に示す噴射管パージ機構により，噴射ポンプ内残留燃料のパージと同時に噴射管及びノズル内の残留燃料のパージが行われる．[1]

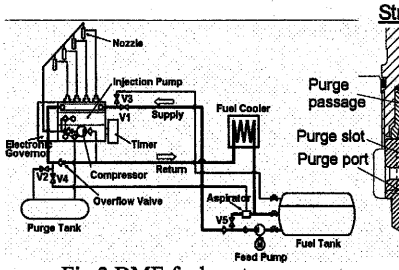


Fig.3 DME fuel system

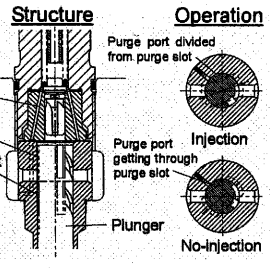


Fig.4 Purge mechanism

#### 2.5 プランジャリーク対策

燃料噴射ポンプは、エンジン潤滑系を介してDMEがエンジンクランク室に侵入することを防止するために、オイル封入式としている。この場合、プランジャからカム室へリークしたDMEは，潤滑油を希釈して潤滑不良を引き起こす可能性がある．また，リークしたDMEの気化によるカム室の圧力上昇はシール部からのオイル漏れを引き起こす可能性がある．これらを回避するために，噴射ポンプカムで駆動されるコンプレッサにより，リークしたDMEを減圧気化した後，再液化して燃料タンクに戻している．[1][4]

### 3. 噴射性能

表1にエンジン適用試験で使用したいすゞ4HG1Tエンジンのベース軽油噴射系と，前記変更を実施したDME噴射系の比較を示す．また図5にこれらの噴射系を用いて計測した噴射圧（ノズル側管内圧）及び噴射率の比較を示す．噴射ポンプ回転数は1500rpm，噴射量は発熱量を合わせるためにそれぞれ軽油75mm³/st，DME150mm³/stとした．DMEの場合でも，軽油同様再現性のある安定した噴射波形が得られた．

日本機械学会[No.050-5]関東支部第1回埼玉ブロック大会（講演会）講演論文集（'05.11.25，さいたま市）



NII-Electronic Library Service

The Japan Society of Mechanical Engineers

Table 1 Comparison of injection system specifications

| | | Base Injection System (PE-S4AD105) | DME Injection System (PE-S4AD105) |
|---|---|---|---|
| Plunger | Diameter | 10.5mm | ← |
| | Lead | 25 Lead | 30 Lead |
| Cam | Lift | 11mm | ← |
| | Profile | PEA-U-10 | PEA-U-104 |
| Timer | Advance Angle | 4° (Np:1100～1535rpm) | 6.7° (Np:500～1500rpm) |
| Nozzle | Type | DLLA-P | ← |
| | Number | 5 | ← |
| | Orifice Dia. | 0.24mm | 0.38mm |
| | $P_o$ | 18.5MPa, 21.5MPa (2 spr.) | 11.8MPa (1 spr.) |

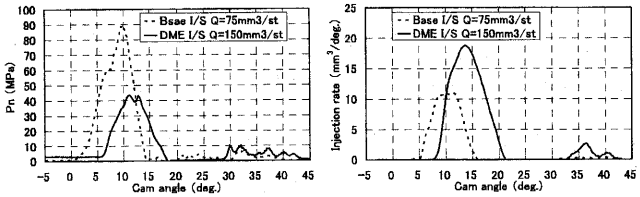


Fig.5 Comparison of injection characteristics

## 4. エンジン適用試験

### 4.1 試験用 DME エンジン

小型トラック用のベースディーゼルエンジンに列型ジャーク式 DME 噴射システムを装着し，タイマー進角特性及び噴射時期を決定した．試験用 DME エンジンの概要を図 6，諸元を表 2 に示す．大量 EGR による NOx 低減を行うため，排気マニフォールドから分流した EGR ガスをターボチャージャーのコンプレッサ吸入側に環流させた．EGR による NOx 低減効果を高めるため，アイドル時には吸気絞り，また，新気と EGR ガスの混合ガス温度を低減させるためインタークーラーを装着した．大量 EGR にともなう未燃分の排出対策として，タービ出口に近い位置に 1.5L の酸化触媒を装着した．

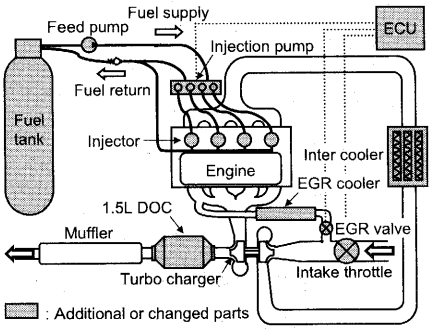


Fig.6 DME engine system

Table 2 Engine specifications

| | Base diesel engine | DME engine |
|---|---|---|
| Model | ISUZU 4HG1T | ← |
| Cylinder | Inline 4 | ← |
| Bore * Stroke | 115mm * 110mm | ← |
| Total displacement | 4570cc | ← |
| Compression ratio | 19.0 | ← |
| Maximum power | 89kW / 3200rpm | 103kW / 3000rpm |
| Maximum torque | 325Nm / 1800rpm | 328Nm / 1800rpm |
| Injection system | Inline jerk (PE-S4ADS105) | ← Modify for DME |
| Aspiration | Turbo charge | T/C with intercooler |

### 4.2 出力特性

図 7 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．試験エンジンのトルクは，ベースディーゼルエンジンの最大トルク及び排気温度制限の範囲内で設定した．その結果，ベースディーゼルエンジン以上の出力が確保された．特に 1000～3000 rpm の間でほぼフラットなトルクカーブとなった．燃費は図 8 に示すように，市販の 2 トン積みトラック用ディーゼルエンジン（排気量 4.1L，DPF＋NSR 機能付き，超低 PM 排出ディーゼル車用）と JE05 モード燃費で比べた場合，ほぼ同等の性能であり，開発した DME 噴射システムのエンジン適用性が実証された．

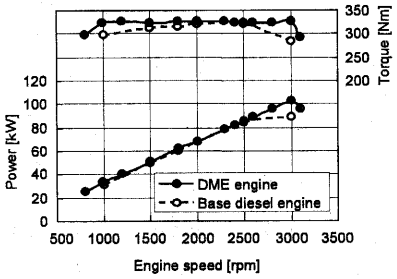


Fig.7 Engine performance curve

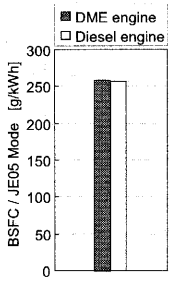


Fig.8 BSFC (JE05 Mode)

### 4.3 JE05 モード排出ガス試験

図 9 に DME エンジンの JE05 モードにおける排出ガス試験結果を示す．大量 EGR と酸化触媒の組合せで，NOx は新長期規制値の 1/2 以下となり，2009 年に予定されているポスト新長期規制レベルにまで達した．NMHC，CO は新長期規制値を充分に下回るレベルであり，PM についてはポスト新長期規制値を充分クリアーするゼロに近いレベルであった．

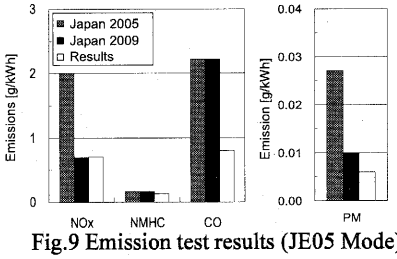


Fig.9 Emission test results (JE05 Mode)

## 5. 結論

- 既存の列型ジャーク式噴射系をベースとする DME 燃料システムの変更点を整理した．
- 小型トラック用ディーゼルエンジンの DME 噴射システムを試作し，噴射性能の評価を実施した結果，特に問題ない噴射性能が得られた．
- 試作した DME 噴射システムを小型トラック用ディーゼルエンジンに適用した結果，出力はベースディーゼルエンジンを上回り，燃費（JE05 モード）は市販ディーゼルエンジンとほぼ同等であることが実証された．
- 大量 EGR と酸化触媒の組合せのみで国内の新長期排出ガス規制値の 1/2 以下の NOx 値を実現した．

## 参考文献


〔1〕 Y. Sato, S. Nozaki and T. 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, 2004

〔2〕 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”，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 15-04，75，p15-18，2004

〔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”，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 49-03，232，p5-8，2003

〔4〕 石川輝昭，牛山大丈，野田俊郁，野崎真哉，佐藤由雄，“列型ジャーク式 DME 噴射系用燃料システムの開発”，自動車技術会学術講演会前刷集，No. 15-04，74，p11-14，2004




NII-Electronic Library Service