

# 特集 ジメチルエーテル用噴射系の開発\*

## Development of a Fuel Injection System with Dimethyl Ether

前川 仁之

Hitoshi MAEGAWA

竹内 久晴

Hisaharu TAKEUCHI

後藤 守康

Moriyasu GOTO

榎本 滋郁

Shigeiku ENOMOTO

山本 義久

Yoshihisa YAMAMOTO

In recent years, Dimethyl Ether (referred below as DME) has received attention as a diesel fuel alternative. However, since the properties of DME are significantly different from gas oil as shown in Table 1, it is necessary to develop a method of fuel injection suitable to these properties. For instance, because of DME's low viscosity, fuel leaks become more common and require a more complex system to recover the fuel from these leaks. In this research, our solution for DME fuel injection led us to develop a leak-free, direct-drive solenoid injector.

**Key words :** Dimethyl Ether, DME, Alternative fuel, Common rail system, Fuel Injector

### 1. まえがき

ディーゼルエンジンから排出される大気汚染物質、NO<sub>x</sub>（窒素酸化物）及びPM（粒子状物質）を同時に低減する有効な手段として、DME（ジメチルエーテル）やLPG（液化石油ガス）等の代替燃料の利用が注目されている。特にDMEは高セタン価であり、ディーゼル燃焼に適している。しかし、DMEの物性は軽油と大きく異なるため、その物性に適した噴射系の開発が必要である。

例えば、DMEは粘性が低いため、燃料リークが多くなり、リーク回収のためシステムが複雑になる等の問題があった。そこで本研究では、簡素なシステムでDME噴射系を実現するために、リークの無いソレノイド直動式インジェクタを開発し、その噴射特性の調査及び、高温高圧場（500℃、4MPa）に噴射されるDME噴霧の観察を行った。

る。また、高圧ポンプからのリーク及びコモンレールからパージされたDMEは、一旦パージタンクに回収された後、コンプレッサにより液化されタンクに返される。

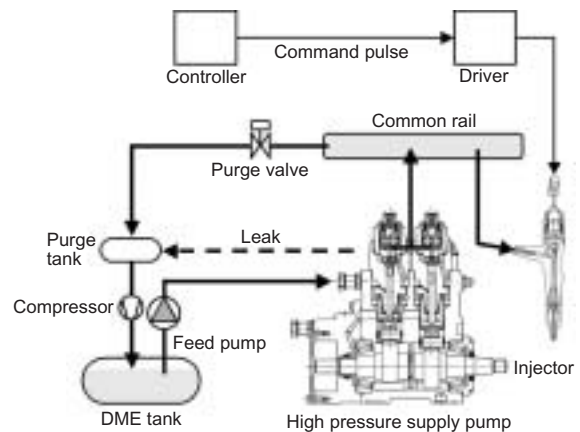


Fig. 1 Schematic diagram the fuel injection system

### 2. 噴射系の開発

#### 2.1 DME用噴射系の概要

Fig. 1に本研究で開発したDME用インジェクタを用いた噴射系の概略図を示す。DMEは蒸気圧が低いので、配管内で常に液体の状態で供給するためには加圧する必要がある。エンジンルーム内の温度は80℃以上にまで上昇することが考えられるため、Fig. 2に示す蒸気圧曲線から3MPaまで加圧し、供給することとした。DMEはフィードポンプにより3MPaに加圧され、高圧ポンプへ送られる。高圧ポンプにより更に加圧されたDMEはコモンレールへと送られ、インジェクタにより噴射される。ここで、コモンレール圧力は高圧ポンプからの圧送量を加減することにより調整され

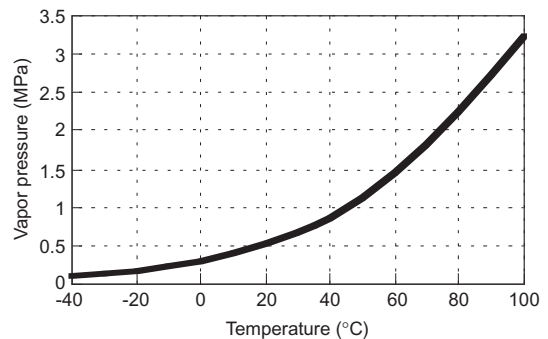


Fig. 2 Vapor pressure of DME

\*（社）自動車技術会の了解を得て、「2004年春季大会学術講演会前刷集」No. 15-04、73より一部加筆して転載

2.2 DME用インジェクタ

Fig. 3に本研究で開発したDMEインジェクタの構成図を示す。Table 1に示すようにDMEの物性は軽油と大きく異なるため、それに起因するインジェクタの開発課題に対し、以下に示す対策を行った。

- (1) DMEは弾性率が温度等により変化するため調量精度の確保が困難である。また、粘性が低いためリークが多く、リーク回収のためシステムが複雑になる。そこで、駆動方式をソレノイド直動式とすることで、調量精度の確保とリークレス構造を実現した。
- (2) DMEは粘性が低いため潤滑性が悪くしゅう動部、シート部の摩耗が懸念される。そこで、DMEに潤滑剤 (Lubrizon539ST) を1000ppm添加すると共に、ニードルにNiP複合めっきを施すことで、しゅう動性を改善した。
- (3) DMEは粘性が低いため、開弁時にニードル速度が減衰しにくく、開弁バウンスが大きくなる。スプリングをインジェクタ下方に配置し、ソレノイド部を油圧ダンパ状の緩衝機構とすることで対策した。
- (4) DMEは低発熱量であるため、軽油と同等の出力を得るためには約2倍の噴射量が必要である。大噴射量を実現するために、最高噴射圧力35MPa、噴孔径φ0.35mm、噴孔数6とした。
- (5) 最高噴射圧力35MPaを実現するためにはソレノイドの体格を大きくする必要があり、渦電流損の増大による応答性の悪化が懸念される。そこで、渦電流損低減のためにソレノイドコアにスリットを設けた。
- (6) インジェクタ内部は高圧となるので、耐圧を確保するためドライコイルとした。
- (7) Oリングで耐DME性、耐熱性、シール性を並立させるのは困難であるため、インジェクタのシール部はメタルシールのみとした。

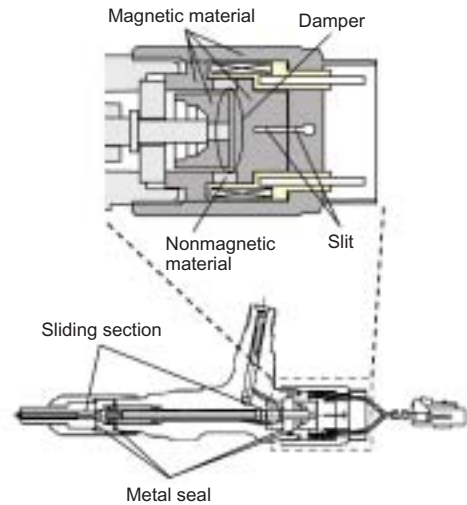


Fig. 3 DME injector

Table 1 Property of DME

	DME	Gas oil
Kinematic viscosity (cSt)	0.25	3
Bulk modulus of elasticity (MPa)	100-1000	1400
Density (kg/m <sup>3</sup> )	667	840
Low heating value (MJ/kg)	28.8	42.7

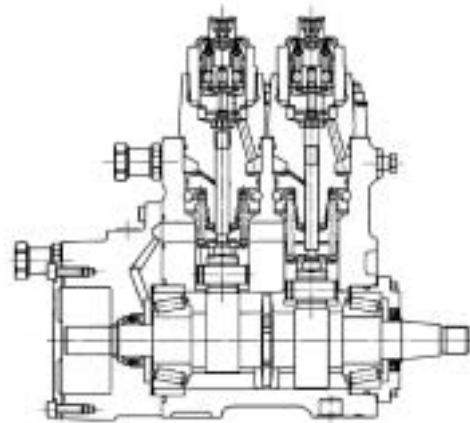


Fig. 4 High pressure supply pump for DME

2.3 DME用高圧ポンプ

Fig. 4に本研究で開発したDME用の高圧ポンプを示す。軽油用の噴射システムにおいては、ポンプにはインジェクタからの噴射とリークを合わせた量以上の吐出量が要求される。DMEでは軽油の約2倍の噴射量が必要であるため高圧ポンプには大吐出量が要求されるが、本研究で開発したリークの無いインジェクタを用いれば、軽油用ではリークとしてタンクに戻してい

た燃料も噴射に回せるため、軽油用のポンプでも吐出量不足を生じることはないと考えられる。ただし、軽油用ポンプをそのまま流用するとカム室へのリークが存在するため、このリークを回収する改造を施し、DME用高圧ポンプとした。

### 3. 実験装置及び方法

Fig. 5に実験装置の概略図を示す。DMEはタンク内に設置したポンプにより高圧ポンプへ圧送される。本実験装置では燃料温度は最高でも40℃程度までしか上昇しないため、フィード圧力はFig. 2の蒸気圧曲線から1MPaとした。高圧ポンプにより更に加圧されたDMEは、コモンレールへと送られる。コモンレールの圧力は高圧ポンプからの圧送量を加減することで調整する。その後、DMEはインジェクタに供給され、噴射される。

噴射率の計測は、Fig. 5の右下に示すように長管法により行い、噴射率計の下流に設置した流量計により測定した流量を基に、噴射率の値を較正した<sup>1)</sup>。このとき、噴射率計にはエンジン筒内圧相当である4MPaの背圧を設定した。Fig. 5の左上には噴霧観察装置の概略を示す。定容容器の下面に石英ガラスを取り付け、インジェクタにより容器内に噴射された噴霧を観察できるようにした。撮影にはフレームシャッターカメラ（IK-SX1，東芝）を用い、散乱光撮影を行った。Table 2に噴霧観察の条件を示す。本研究では6噴孔の内、1孔のみを撮影した。

### 4. 実験結果および考察

#### 4.1 噴射率計測結果

Fig. 6にDMEの噴射率の測定結果を示す。噴射圧力が高くなるほど噴射率のピークは高くなり、噴射期間は短くなる傾向が見られた。噴射率のピークは、噴射圧力35MPaのとき108mm<sup>3</sup>/msにまで達しており、非常に高い噴射率を実現できた。また、本研究で開発したインジェクタは、油圧力が常に閉弁方向にはたらく構成となっている。油圧力は噴射圧力が高くなるほど

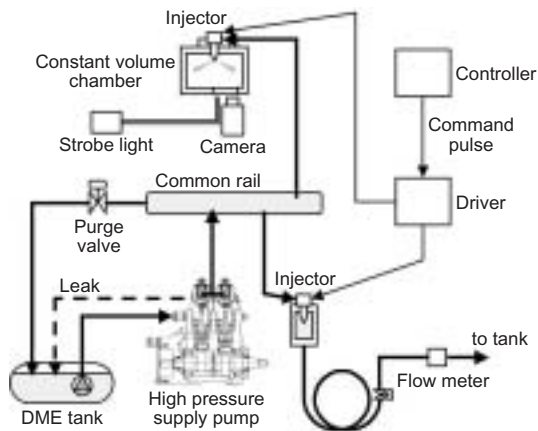


Fig. 5 Schematics of experimental system

大きくなるため、噴射圧力が高くなるほど開弁応答は遅くなり、閉弁応答は早くなる傾向にある。

Fig. 7に噴射圧力35MPaにおけるDMEと軽油の噴射率及び噴射量の測定結果を示す。DMEは軽油に比べ、噴射率の立ち上がりの傾きが急で、噴射率のピークは高かった。これは、DMEの方が粘性が低いため、リフト速度が速くなること、シート部や噴孔での圧力損失が小さいことによるものと考えられる。噴射量の測定結果を見ると、DMEでは開弁バウンスの影響で噴射量

Table 2 Test conditions

Injection pressure (MPa)	35
Nozzle diameter (mm)	0.35
Number of hole	6
Ambient temperature (°C)	500
Ambient pressure (MPa)	4

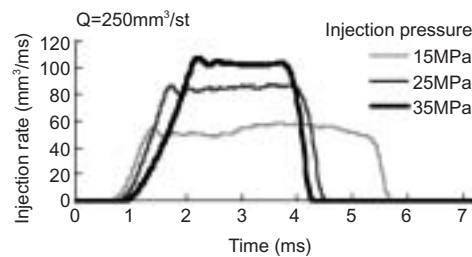


Fig. 6 Injection characteristics (DME)

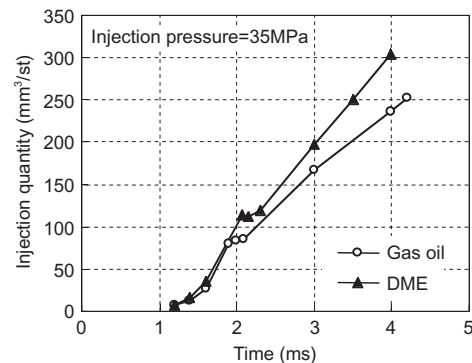
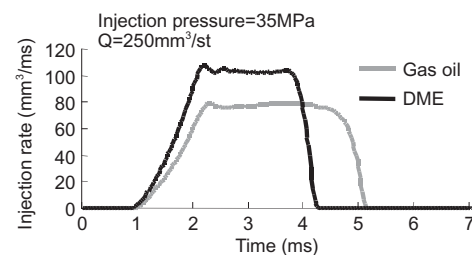


Fig. 7 Injection characteristics (Comparison of DME and gas oil)

が減少する領域が存在するが、その他の区間では概ね直線性を示した。

4.2 噴霧観察結果

Fig. 8にDME噴霧の観察結果を示す。常温常圧場においては、DMEの方が軽油に比べ、噴霧角が圧倒的に大きかったが、高温高压場ではDMEの方が噴霧角が小さかった。これは、高温高压場においては、DME噴霧の外周部が急速に気化したためであると考えられる。ただし、高温高压場においても、DMEの噴霧の軸近傍ではDMEは液体として存在した。Fig. 9に高温高压場における噴霧の到達距離を示す。噴霧先端でも気化は進むためDMEの方が軽油に比べ、噴霧の到達距離は約20%短かった。

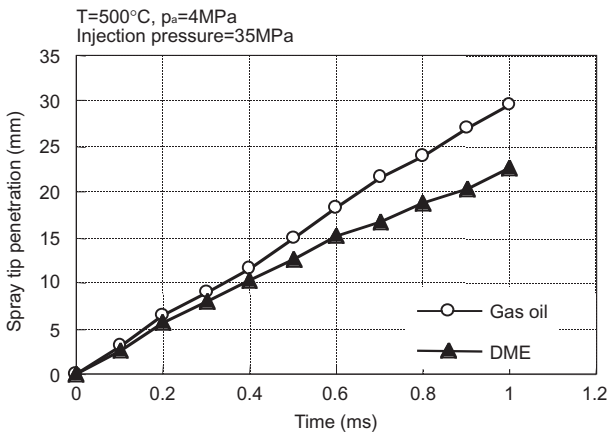


Fig. 9 Spray penetration

5. むすび

簡素なシステムでDME用噴射系を実現するために、DME用インジェクタを開発し、その噴射特性の調査および、高温高压場における噴霧の観察を行った。その結果を以下に示す。

- (1) DME用に噴射圧力35MPaで噴射可能で、リークの無いソレノイド直動式インジェクタを開発した。
- (2) DMEは軽油に比べ、噴射率の立ち上がりの傾きが急で、噴射率のピークが高かった。
- (3) 実機の圧縮時に近い高温高压場におけるDMEの噴霧は、到達距離は軽油に比べ約20%短いものの、噴霧の軸近傍では液体として存在した。

本研究はNEDOのACEプロジェクトの一環として、日野自動車(株)が実施した「DMEエンジン搭載ハイブリッドバスの研究開発」への協力として行った。

日野自動車(株)及び協力会社の関係各位に対し、ここに心から感謝の意を表する。

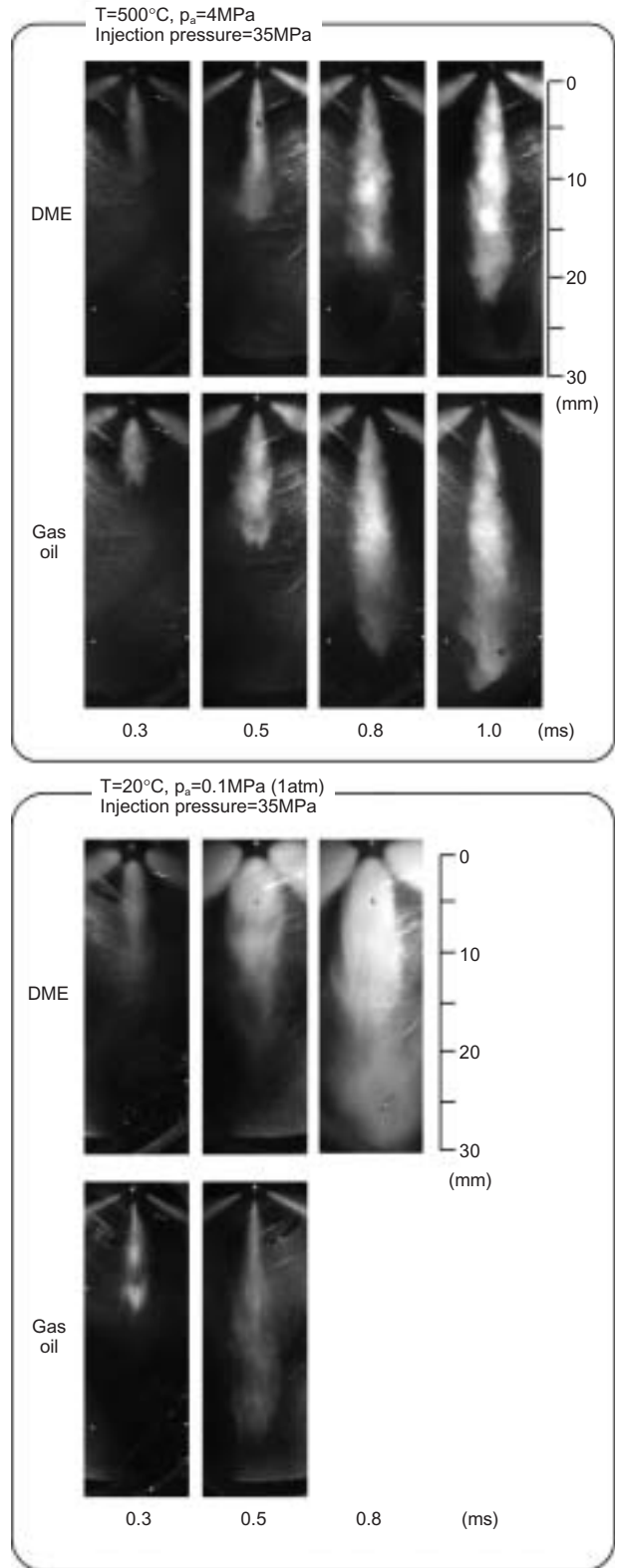


Fig. 8 Photographs of spray

<参考文献>

- 1) Tadashi Ikeda, Yukimitsu Ohmori, Akio Takamura, Yoshio Sato, Li Jun and Takeyuki Kamimoto :  
“Measurement of Rate of Multiple Fuel Injection with Diesel Fuel and DME”, SAE paper 2001-01-0527



<著 者>



前川 仁之  
(まえがわ ひとし)  
(株)日本自動車部品総合研究所  
研究1部  
ガソリンエンジンの研究に従事



後藤 守康  
(ごとう もりやす)  
(株)日本自動車部品総合研究所  
研究1部  
ガソリン噴射系の研究開発に従事



榎本 滋郁  
(えのもと しげいく)  
(株)日本自動車部品総合研究所  
研究1部  
ガソリン噴射系, 可変動弁系の  
開発に従事



山本 義久  
(やまもと よしひさ)  
パワートレイン事業グループ  
特定開発室  
次世代ディーゼル噴射系の研究  
開発に従事



竹内 久晴  
(たけうち ひさはる)  
パワートレイン事業グループ  
パワートレイン機器経営企画室  
パワートレイン事業グループの技術  
企画に従事