

DME を燃料とするクリーンディーゼルエンジンの研究開発(第4報)

- 噴射率の適正化と大量 EGR による NO_x 低減効果 -

環境研究領域 高柳 智光 佐藤 由雄 安 乗一

1. はじめに

DME エンジンは、通常のディーゼルエンジンと比較すると、黒煙および PM 排出量がきわめて少ない。しかし NO_x に関してはディーゼルエンジン並みに排出されるため、これを大幅に低減させる対策が必要である。NO_x 低減対策には、噴射時期遅延、EGR、NO_x 触媒、初期噴射率抑制などがあげられる。このうち、初期噴射率抑制による対策とは、予混合燃焼を抑制することで急激な筒内温度上昇を抑え、NO_x を低減させるものである。ここで DME は軽油よりもセタン価が高く失火しにくいことから、予混合気形成を抑えることによるエネルギー消費率悪化は少ないであろうと考えた。

そこで本研究は、DME エンジンの噴射率を適正化し、エネルギー消費率悪化を抑えつつ NO_x を大幅低減させることを目的とした。また、大量 EGR と組み合わせた場合の NO_x 低減効果を調べ、ディーゼルエンジンとの比較をおこなった。

2. 実験装置および方法

2.1. 実験装置

Fig.1 に実験システムの概略を示す。エンジンは Table.1 に示す諸元の単気筒 NA ディーゼルエンジンをベースとしたもので、DME 用インジェクターを装着するためにシリンダーヘッドを改造した。燃料は純度 99.9wt% の工業用 DME を使用し、燃料噴射ポンプ及びノズル部における潤滑性を向上させるため、添加剤 Lubrizol を 800ppm の割合で混合した。燃料タンクは温水で暖め、フィード圧力を 1.0MPa とした。燃料噴射系はコモンレール式とし、噴射ポンプにより 15~35MPa まで昇圧させ、コモンレールに蓄圧した。噴射率の測定は Zeuch の方法を用いた。噴射率の設定は、インジェクターに供給される過励磁電流 I_p と保

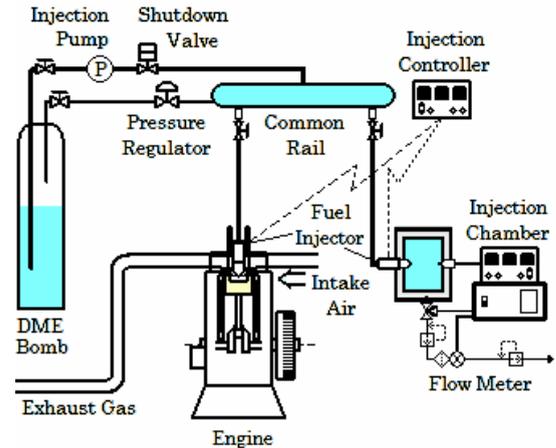


Fig.1 Experiment System

Table.1 Engine and Injection System Spec.

	DME engine	Diesel engine
Type	4-stroke 1-Cylinder	
Combustion	Direct Injection	
Bore × Stroke[mm]	108×115	
Displacement[cm ³]	1053	
Compression Ratio	18.1	
Injection system	Common rail	
Hole Diameter [mm] × Number	0.5×5	0.27×5
Injection Pressure [MPa]	15-35	60-110

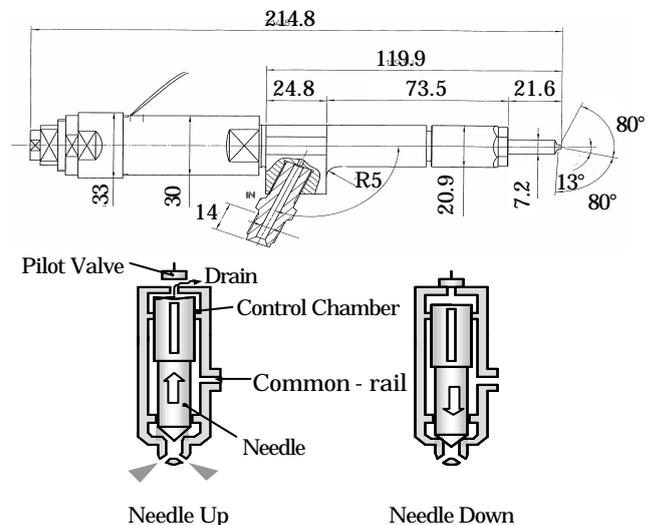


Fig.2 Injector Structure

持電流 I_h をそれぞれ変化させて、その結果得られる駆動電流をインジェクターに与えておこなった。

排出ガスは CO を NDIR, NO_x を CLD, THC を HFID の各方式で測定した。またエネルギー消費率は排出ガスの A/F を元に算出した。

Fig.2 に、使用したパイロット弁式インジェクターの構造を示す。このインジェクターは、磁歪素子により作動制御されるパイロット弁により、針弁に加わる燃料圧力を制御し噴射制御をおこなうものである。DME エンジンではディーゼルエンジンと同等の出力を得るために、低発熱量の差から質量比約 1.5 倍の噴射量が必要となる。そこで噴射期間を増加させずに噴射量を確保するため、噴射ノズルの総噴孔面積を増加した。

2.2. 実験方法

Table.2 にエンジンの運転条件を示す。カッコ内のパーセンテージは、ベースとしたディーゼルエンジンの定格回転速度および定格トルクに対する割合である。本研究では、排気温度が低い低速度、低負荷（1280rpm / 14Nm）、および燃焼期間が長くなりやすくエネルギー消費率悪化が懸念される高速、高負荷（2800rpm / 45Nm）の 2 条件において、初期噴射率抑制による NO_x 低減の可能性を探った。噴射圧力は噴射期間を考慮し、低速、低負荷では 15MPa、高速、高負荷では 35MPa とした。また噴射時期は、NO_x とエネルギー消費率の関係が、本研究の目的であるエネルギー消費率悪化を抑えつつ NO_x の大幅低減に即したものとし、低速、低負荷で -5 ° ATDC、高速、高負荷で -13 ° ATDC とした。

Fig.3 に過励磁電流 I_p と保持電流 I_h の変化に対する噴射率波形への影響の一例を示す。このように I_p , I_h の設定により任意の噴射率波形に変化させることができる。本研究では I_h を 10A 一定として I_p のみを変更の対象とし、 I_p を基準値とする 16A から減少させていくことで初期噴射率を抑制し、それによる NO_x などの排出ガス、エネルギー消費率への影響を調べた。また燃焼解析により得られた燃焼期間は、燃焼質量割合が 0~90% の期間とした。

Table.2 Experiment Condition

Engine Speed [rpm]	Torque [Nm]	Injection Pressure [MPa]	Injection Timing [°ATDC]
1280 (40%)	14 (20%)	15	-5
2800 (88%)	45 (80%)	35	-13

(%) : %Speed or %Torque

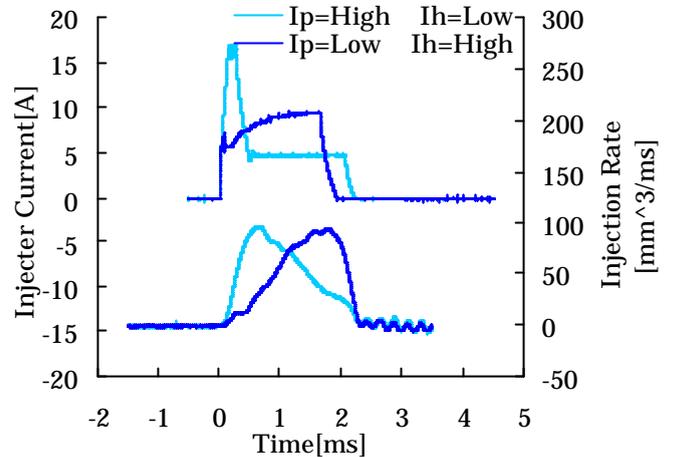


Fig.3 Injector Current and Injection Rate

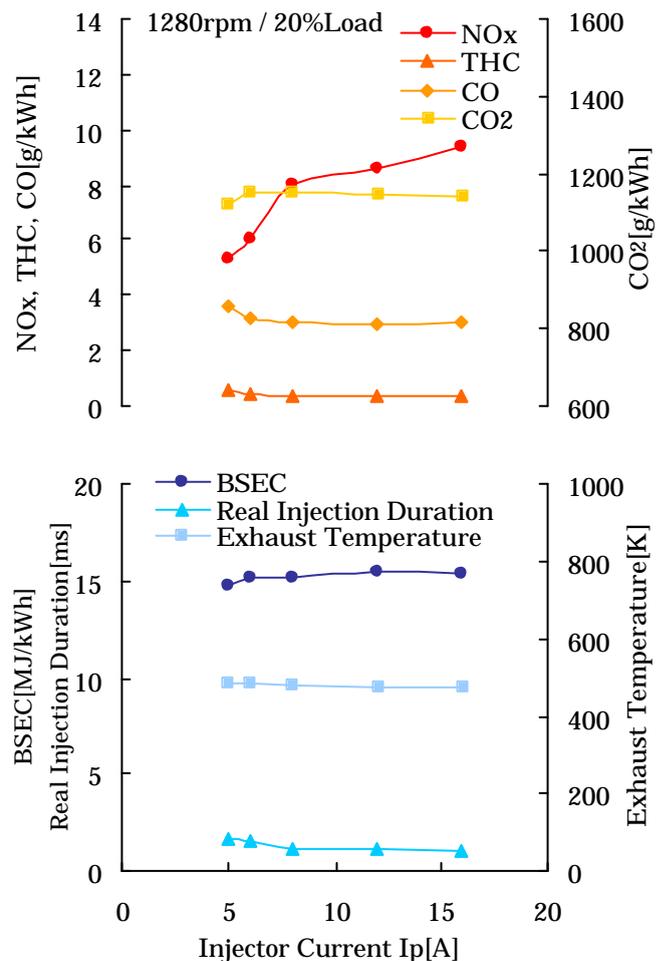


Fig.4 Exhaust Emissions and Brake Specific Energy Consumption

3. 実験結果と考察

3.1. 噴射率適正化

3.1.1. 排出ガスおよびエネルギー消費率 Fig.4に低速, 低負荷における排出ガス, 正味エネルギー消費率を示す. 過励磁電流 I_p を基準値 16A から減少させていくと NO_x は低減し, さらに $I_p 8A$ 近傍を境に急激に低減, $I_p 5A$ では基準値と比較して 45% 低減した. これに対し, I_p 減少によるエネルギー消費率の悪化, 排気温度の上昇はみられなかった. 一方 $I_p 8A$ 近傍以下から実噴射期間が増加した. CO_2 , CO , THC に関しては大きな変化がみられなかった. この運転条件は排気温度 600K 以下で NO_x 触媒の浄化率が低いことから, 初期噴射率抑制は NO_x 触媒補完対策として有効な手段であることがわかった.

Fig.5 に高速, 高負荷における排出ガス, 正味エネルギー消費率を示す. I_p を減少させていくと $I_p 10A$ 近傍より NO_x が低減, $I_p 6A$ では基準 $I_p 16A$ と比較して 40% 低減した. しかし実噴射期間が $I_p 8A$ 近傍以下から増加し, これにともない同じような傾向でエネルギー消費率および排気温度は $I_p 8A$ 近傍以下より悪化した. この運転条件での初期噴射率抑制は, NO_x とエネルギー消費率とのあいだにトレードオフ関係が生じた.

3.1.2. 燃焼特性 Fig.6 に低速, 低負荷における燃焼特性を示す. 過励磁電流 I_p の減少にしたがい筒内圧力, 熱発生率, 筒内温度ともに立ち上がりが緩慢となり, ピーク値もそれぞれ低下した. また熱発生率をみると, I_p 減少にしたがい予混合燃焼割合が減少し, それに対し拡散燃焼割合が増加した. これにより筒内温度のピークが低下し, 結果 NO_x 低減につながったといえる.

Fig.7 に燃焼期間と正味エネルギー消費率の関係を示す. 高速, 高負荷では I_p を減少させていくと, $I_p 8A$ 近傍までは変化が少ないもののそれ以下において急激に燃焼期間は増加した. これにともなってエネルギー消費率が悪化した. これに対し低速, 低負荷は燃焼期間の変化が少ない. このことと Fig.6 における熱発生量に変化が少ないことをあわせてサイクル効率を維持され, エネルギー消費率は悪化しなかったと考える.

3.2. EGRの効果

Fig.8 に, 噴射率適正化後 EGR 率を増加させた場合の NO_x と正味エネルギー消費率の関係を調べ, べ

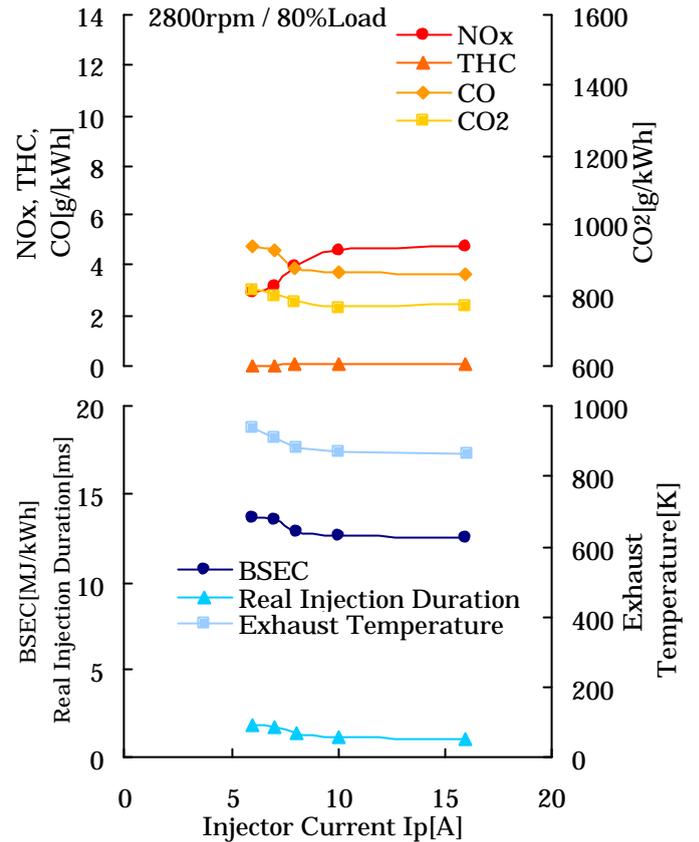


Fig.5 Exhaust Emissions and BSEC

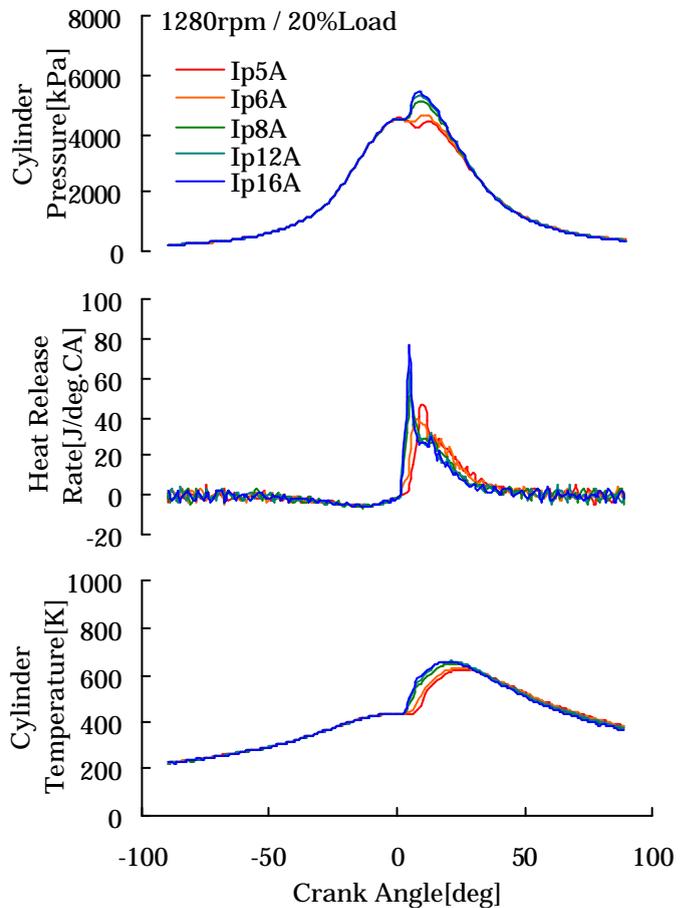


Fig.6 Combustion Characteristics

ースとしたディーゼルエンジンでEGR率を増加させた場合と比較した結果を示す。低速，低負荷では過励磁電流 I_p を 5A としておこなった。エネルギー消費率を維持させた状態で，EGR 率を最大 40%まで上げることができ，その結果 NO_x はディーゼルエンジンの EGR 率 10%時の排出量に対し 85%低減した。またエネルギー消費率では，DME エンジン EGR40%はディーゼルエンジン EGR10%と同等であった。高速，高負荷では I_p 8A にておこなった。エネルギー消費率を維持させた状態での EGR 率は最大 10%までとなり，それ以上では NO_x とエネルギー消費率とのあいだにトレードオフ関係が生じた。

4.まとめ

DME エンジンの噴射率を適正化させ，エネルギー消費率の悪化を抑えて NO_x 低減をはかり，また大量 EGR との組み合わせによる NO_x 低減効果を調べた結果，次のことがわかった。

低速，低負荷において，初期噴射率抑制によって NO_x が基準時に対し 45%低減した。

高速，高負荷において，初期噴射率抑制によって NO_x とエネルギー消費率とのあいだにはトレードオフ関係が生じた。

低速，低負荷において，初期噴射率抑制と大量 EGR の組み合わせにより， NO_x がディーゼルエンジンに対し 85%低減した。

低速，低負荷では，初期噴射率抑制は NO_x 触媒を補完する NO_x 対策として有効である。

謝辞

本研究を遂行するにあたって，エンジン実験に多大なる御協力を戴きました小林 啓樹氏には，この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

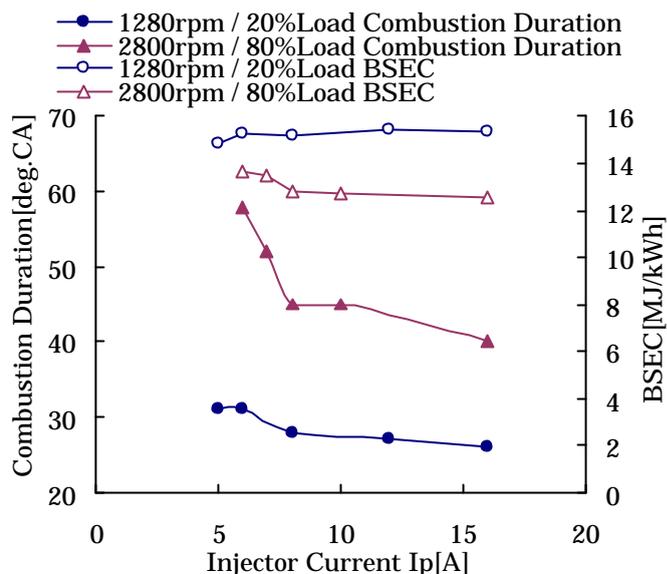


Fig.7 Combustion Duration and BSEC

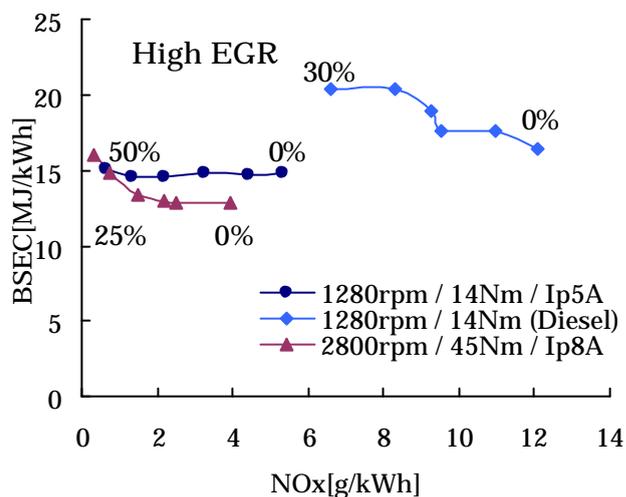


Fig.8 NO_x and BSEC