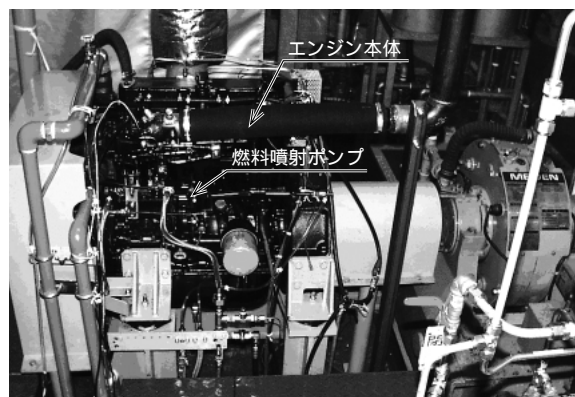




次世代燃料ジメチルエーテルを利用したディーゼルエンジンのクリーンな燃焼技術

Clean Combustion Technology in Diesel Engines Operated with Dimethyl Ether

小 田 裕 司 長 船 信 之 介
上 田 裕 之 藤 村 皓 太 郎

次世代のクリーン燃料として注目されているジメチルエーテル（DME）を燃料としたディーゼルエンジンについて燃焼試験を行った。試験はいわゆるレトロフィットタイプとして実施し、DMEの燃料物性に対応するための燃料噴射系の大型化、加圧型への改造、及びDMEのクリーン性をいかにするためのEGR系統の追設を行い実施した。その結果、DMEを用いたディーゼルエンジンは、全域無排煙でかつ大量EGR（排気ガス再循環）により大幅なNO_x低減が図れ、北米環境保護局（EPA）の排ガス3次規制にも十分適合できる極めて優れた環境性と高効率性を有することを確認した。

1. は じ め に

ディーゼルエンジンは熱効率が本質的に高く、運転性、安全性も良好であることから、多くの用途に用いられ我々の生活を支えている原動機の一つである。しかしながら、特にNO_xやPMなどの大気汚染物質の排出が比較的多いことから、CO₂問題と大気汚染問題との間でその位置づけが極めて微妙な段階となっており、高効率特性を維持しながら排気浄化を図ることが社会的に強く求められている。

一方、ジメチルエーテル（Dimethyl Ether：以下DME）は、従来スプレー剤等に用いられてきているが、近年燃料としての利用が注目されており、脱原油のエネルギー源候補としてその導入が計画されている。またDMEはその物性的な特徴から、ディーゼルエンジンにおけるクリーン燃料としての可能性を有していると考えられる。

そこで本研究では、ディーゼルエンジン燃料にDMEを用いた際の、出力や燃費率性能と排ガス特性を把握し、高効率低公害ディーゼルエンジンとしてのポテンシャルを調査した。

2. ディーゼル燃料としてのDMEの特徴

実際にDMEを用いたディーゼルエンジンの試験を行う前に、DMEの基本物性から推定されるディーゼル燃料としての特徴を整理した⁽¹⁾。

表1にDMEの性状を軽油と比較して示す。DMEは、主に天然ガスなどを原料として生成される合成ガスから合成されるもので、その化学式（CH₃）₂Oから分かるように、含酸素燃料であって、黒煙の出ない燃焼が期待できる。これまでディーゼルエンジン用のクリーン燃料として注目されてきたメタノールなども含酸素燃料であり、これと同様、DMEはエンジンからのばいじん低減には極めて有効な燃料と推定され

表1 DMEの性状

	DME	軽 油	ディーゼル燃料としての特徴
分子構造	含酸素	炭化水素	無排煙
液密度（kg/m ³ @20℃）	668	840	
低位発熱量（kJ/kg）	28763	42789	低出力
液粘度（kg/msec）	0.15	2～3	低潤滑性
沸 点（℃）	-25	180～360	ペーパーロックしやすい
体積弾性率（N/m ² ）	6.37×10 ⁸	1.49×10 ⁹	低噴射圧力
セタン価	>>55	～60	着火補助手段不要燃焼騒音低減
理論空燃比（kg/kg）	8.96	14.7	

るが、最も大きく異なる点は、軽油、重油等と同等以上の自己着火性を有することである。したがって、メタノールの場合に必要とされる着火補助装置がDMEの場合は不要となると考えられ、ディーゼルエンジンにとっては有利な条件を備えている。

ただし一方でDMEが低沸点、低発熱量、低粘度であることなどから、主として燃料噴射系に対して、加圧系統化、大型化、潤滑性向上剤の添加など、DMEの燃料としての物性に対応するための工夫が必要となることが予想される⁽²⁾⁽³⁾。

3. DMEディーゼルエンジン燃焼試験

DMEを燃料に用いたディーゼルエンジンの基本的な燃焼特性及び次世代の高効率クリーン原動機としての可能性を把握するため、小型高速直噴ディーゼルエンジンを用いた燃焼試験を実施した。

3.1 試験装置と試験条件

表2に試験に用いたエンジン諸元を示す。ボア×ストロークφ94×120、総行程容積3.3Lの当社製直列4気筒S4Sデ

DMEの初期燃焼が軽油よりも低いのは、着火遅れが短いことと熱の投入率が低いことによると考えられるが、DMEの高着火性の影響が現れており、ディーゼルエンジンの一つの弱点である騒音の低減に有利な燃焼特性であることが分かる。またDMEの場合、噴射期間が軽油の約1.5倍と長いにもかかわらず、熱発生期間はそれほど長期化しておらず、DMEが含酸素燃料であることや、理論空気量が少ない影響が現れていると考えられる。

図3にこの燃料噴射期間と熱発生期間の関係を比較したものを示しているが、同一の燃料噴射期間に対するDMEの熱発生期間は、軽油の場合のおよそ80%と短く、エンジンの熱効率を維持あるいは向上するのに有利な速い燃焼速度を有しているといえる。

図4に、エンジン回転数 $N_e = 1800 \text{ rpm}$ における負荷変化時の、燃料噴射弁仕様 $\phi 0.28 \times 4^N$ の軽油運転時（▲印）及び燃料噴射弁仕様 $\phi 0.28 \times 4^N$ と $\phi 0.38 \times 4^N$ のDME運転時（それぞれ●印、○印）の燃費率、出力と排ガスの比較を示す。横軸には空気過剰率をとっているが、無過給仕様であるため空気過剰率がほぼ一意にエンジン負荷に対応す

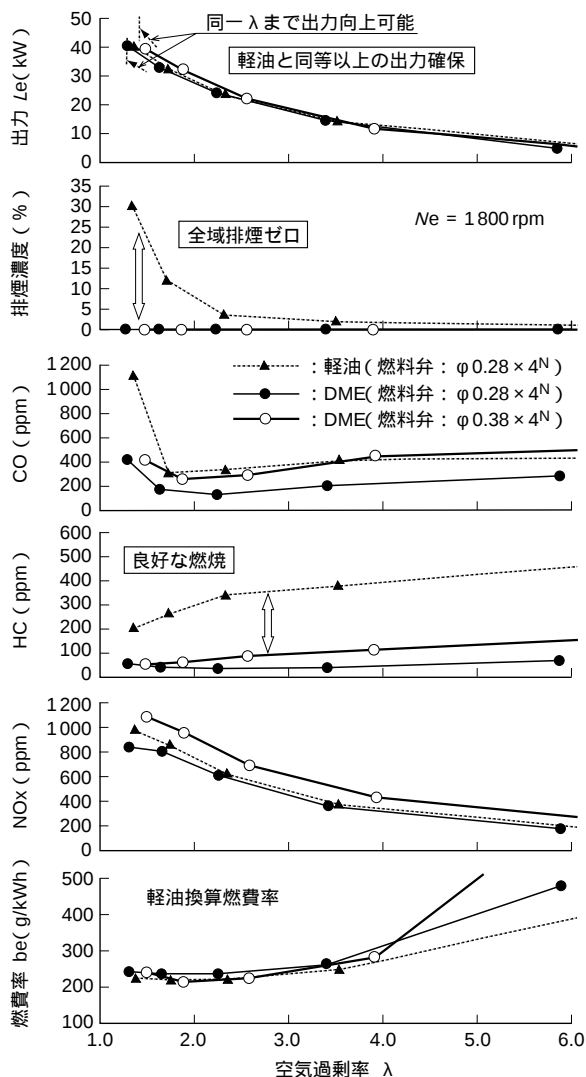


図4 DMEディーゼルの性能と排ガス DMEディーゼルは全域無排煙であり、またCO、HC排出も少なく、極めて良好な燃焼性能を有する。

る。

同図より、DMEディーゼルは燃料噴射弁噴孔面積を拡大することにより、燃費率は軽油ディーゼルと同等でかつ出力は軽油ディーゼル以上を確保できている。排ガス特性上特筆すべきは、高負荷においても全く黒煙が排出されないことであり、またCO、HCなどの未燃成分の排出が少ないことから、DMEは良好な燃焼特性を有していることが分かり、ディーゼル燃焼に極めて適した燃料であるといえる。一方、NOxは軽油と同等あるいはやや多めの排出となっているが、無排煙であることから、通常の軽油を用いたディーゼルエンジンの場合は排煙の増大から適用できないEGRが、高負荷域でも大量に可能であり、大幅低減の可能性がある。

以上から、ディーゼルエンジンにおけるDMEの基本的な燃焼特性として、黒煙は全く排出されず、燃焼速度及び燃焼効率が高いことを確認し、DMEは高効率低公害ディーゼルエンジンの燃料として高いポテンシャルがあることが明らかとなった。

そこで、さらに排ガス低減の可能性を調査するため、EGRの適用試験を実施した。図5は $N_e = 1800 \text{ rpm}$ での100%負荷に近い $Le = 40 \text{ kW}$ の運転点において、EGR量を変化させた時の燃焼特性と熱効率及び排ガスの変化を示したものであ

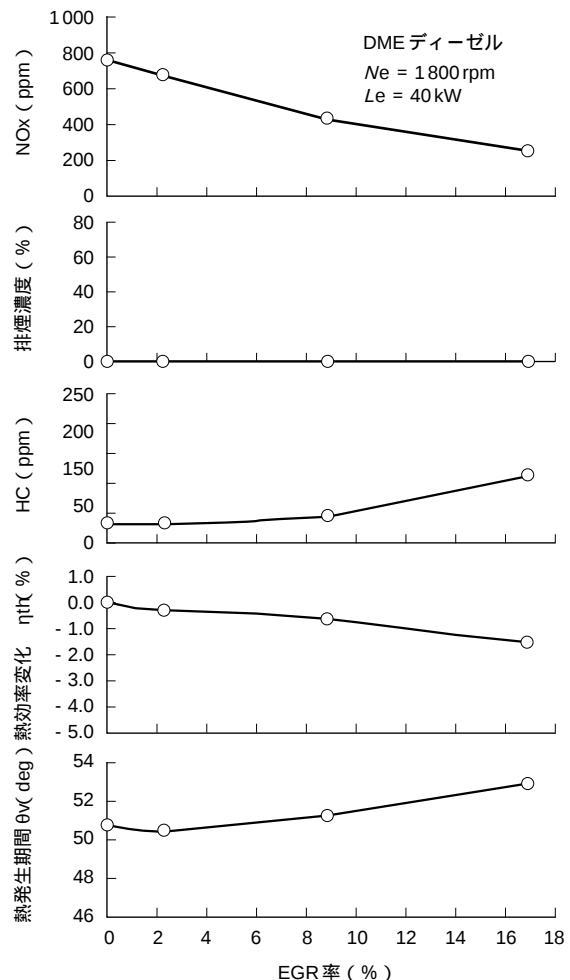


図5 EGR時の排ガスと性能変化 DMEディーゼルでは、EGRを付加しても無排煙であり、大量EGRによる大幅なNOx低減が可能。

る。EGR率を増していくと、燃焼速度がやや低下する傾向となり、熱効率も若干低下するが、黒煙の排出なしでのNOx低減が可能であり、例えばEGR 12%程度でNOx排出をほぼ半減できることが分かる。このような高負荷でEGR率を10%以上付加することは通常の軽油ディーゼルでは困難であり、DME燃料においては極めて大きな排ガス低減が期待できる。なお、EGR付加時の燃焼速度の低下は、高圧噴射や燃焼室形状、スワール仕様などの燃焼系の適正化によって改善可能と考えられる。

このような結果から、DMEディーゼルエンジンの排ガス性能を、本ベースエンジンが対象となるオフロードエンジン8モード評価法にて評価した。8点の運転点それぞれにて適正なEGRを調査、設定し、その時の排ガス値を求めた結果を図6に示す。図中、▲印は現状の軽油ディーゼルの排ガスであり、米国EPA 2次規制をクリアするレベルにある。これに対して、そのまま燃料をDMEにすると黒煙が排出されないこととHCが低減することからPMが減少し、●印となり、EPA 3次規制レベルに近い点となる。さらにこれにEGRを上記のように適正に付加することで○印となり、EPA 3次規制を十分クリアできるレベルとなる。

以上のように、ディーゼルエンジンに次世代燃料として期待されているDMEを用いた場合、現状の軽油を用いたディーゼルエンジンの環境対策に必要な高度な燃料噴射装置や排気後処理装置などを用いず、レトロフィットでもこのようにEPA 3次規制に十分適合でき、かつ出力、燃費率性能は軽油ディーゼルと同等以上の性能を有することが確認でき、DMEはディーゼルエンジンの高効率クリーン燃焼にとって、優れた燃料であることが明らかとなった。現在、さらにDMEディーゼルエンジンの実用化に向けた取組みを推進している。

4. ま と め

小型高速直噴ディーゼルエンジンを用いた燃焼試験により、DMEを燃料としたディーゼルエンジンの燃焼、性能特性に関して以下の結果が得られた。

- (1) DMEはその性状から、高効率低公害ディーゼルエンジンに適した燃料であるといえるが、一方で燃料噴射システムの加圧化、大型化、及び潤滑性向上対策が必要である。
- (2) 上記の対策を施した今回の燃焼試験によって、DMEディーゼルエンジンは、軽油と同等の出力、熱効率を確保でき、また全域排煙のない良好な燃焼特性を有していること、さらに燃焼系設定の適正化と大量EGRにより、大幅なNOx低減が可能で、EPA 3次排ガス規制に適合できる高

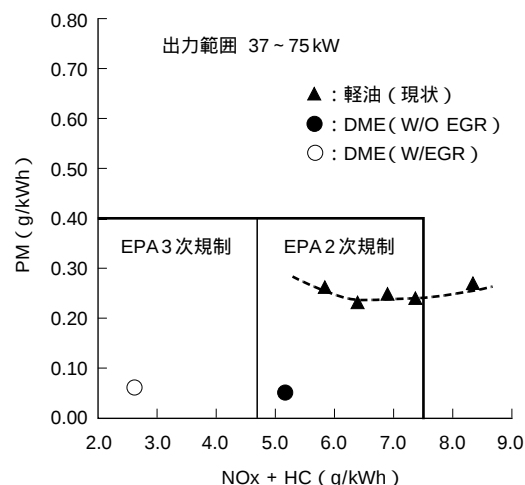


図6 DMEディーゼルの8モード排ガス値
DMEディーゼルは極めてクリーンな排ガス特性を示しており、北米EPA 3次規制に十分適合できる。

効率低公害ディーゼルエンジンのポテンシャルがあることが確認できた。

- (3) 現在、DMEディーゼルエンジンの実用化に向けた取組みを推進中である。

なお、本研究は平成13～14年度の石油公団公募事業にて実施したものである。ここに記して謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) 三菱ガス化学技術資料 (2001)
- (2) 陳ほか、ジメチルエーテル (DME) を燃料とした圧縮点火直接噴射機関の性能と排気特性、第14回内燃機関シンポジウム前刷集、9737239 (1997) p.235
- (3) 梶谷ほか、ジメチルエーテル (DME) 圧縮点火機関の研究、2002年自動車技術会春季大会学術講演会前刷集 No.48-02, 20025032, 2002, p.5



小田裕司
技術本部
長崎研究所
内燃機・油機研究推進室主席



長船信之介
技術本部
長崎研究所
内燃機・油機研究推進室



上田裕之
技術本部
長崎研究所
第三実験課



藤村皓太郎
技術本部
技術企画部
技術戦略グループ