DMEとA重油混合燃料のディーゼル機関への適用 (第1報：エンジンシステムの試作)*

段 智 久** 橋 本 正 孝**
浅 野 一 朗*** 山 縣 正 史****

Application to Diesel Engine of Mixed Fuel Comprising DME and A-Heavy Oil (Marine Diesel Engine Oil)
-1st Report : Preliminary Setup of Engine System

by Tomohisa Dan, Masataka Hashimoto, Ichiro Asano, Masafumi Yamagata

We improved the system of a high-speed single-acting 4-stroke diesel engine to allow it run on a mixed fuel comprised of A-heavy oil and DME (Di-Methyl Ether), fuel components that discharge no soot, no SOx, and little NOx in combustion. The combustion pressure, rate of heat release, exhaust gas components, and other conditions were measured in experiments using diesel oil, A-heavy oil, and the mixed fuel comprised of DME and A-heavy oil.

As a result, the ignition timing was earliest with diesel oil, median with the mixed fuel, and latest with A-heavy oil. Mixed fuel discharged a slightly reduced level of NOx. Overall, results indicated that the engine would require further improvements before long-term operation became possible.

1. はじめに

化石燃料の枯渇が問題とされ始めてから現在に至るまで様々な代替燃料が検討されてきた。さらに今後は環境汚染にも対応した新しい代替燃料についての研究が急務である。

そこで、本報ではディーゼル機関を用いて、新しいクリーンな燃料として注目されているジメチルエーテル (Di-Methyl Ether : DME) とA重油混合燃料による機関運転を試みた結果について報告する。

2. DMEについて

DME (ジメチルエーテル) は化学式が CH_3OCH_3 で表される最も簡単なエーテルであり、きわめて安定で (不活性で) 低毒性な化合物である。よっ

て、長期間の保存には問題なく、安全な取り扱いが可能である。もともとはフロンガスの代替物としてスプレーの噴射剤として主に使用されており、世界で約15万ton/年、日本で約1万ton/年の生産量である。⁽¹⁾

しかしながら、最近ではLPG同様に数気圧の加圧で液化するため運搬しやすいこと、セタン価が55と軽油に比べ高いこと、含酸素燃料で炭素同士が直接結合していない構造のため、燃焼時にすすが発生しにくいことなどからディーゼル機関の代替燃料として注目されている。また、バイオマスからも製造可能なため、バイオマス燃料としての側面も持つ。

その反面、粘度が低いと、ディーゼル機関の噴射系統で燃料漏れを起こす恐れがあり、かつ潤滑性に乏しいので噴射ノズル・ピストン及びポンプ・プランジャが摩耗するといった問題がある。また、

*原稿受付 平成15年11月4日

**正 会 員 神戸大学 (神戸市東灘区深江南町5-1-1)

***非 会 員 神戸大学 (神戸市東灘区深江南町5-1-1)

****学生会員 神戸大学 (神戸市東灘区深江南町5-1-1)

表 1 各種燃料の物性値

	DME	Heavy oil	Gas oil
Chemical formula	$(CH_3)_2O$	---	---
Boiling point (K)	248	623 <	453~643
Oxygen (%)	34.8	---	---
Net calorific value (kJ/kg)	28889	42538	41868
Cetane number	55	40 <	40~55
Viscosity (cSt)	< 1	7	3
Density (g/cm ³)	0.667	0.842	0.831
Ignition point (K)	508	803~884	523
Latent heat (kJ/kg)	467.13	280.00	300.00

表 2 機関諸元

Engine type	Horizontal, Water cooled 4 cycle, Diesel engine
Bore × Stroke	92 × 96 mm
Stroke volume	0.638 liter (Single cylinder)
Combustion type	Direct injection
Compression ratio	17.7
Rated output	11.0 PS (8.1kW) @ 2400 rpm
Maximum output	12.5 PS (9.2kW) @ 2400 rpm
Injection pump	Jerk type
Injection nozzle	4 holes, Hole type nozzle
Opening pressure	200 kg/cm ² (19.6MPa)

図 1 DMEのP-T線図

金属に対する腐食性はないが、ゴムやエラストマー等のシール材を劣化させる⁽¹⁾といった欠点もある。

表 1 に各種燃料の物性値、図 1 にDMEのP-T線図を示す。

3. 実験装置および実験方法

3.1 実験装置 実験機関には横型水冷単気筒 4 サイクル直接噴射式ディーゼル機関を使用した。機関諸元を表 2 に示す。DMEは常温、常圧では気化するので燃料タンク内を窒素で高压に保ちながら液体燃料として一般ディーゼル機関で運転できるように改良した。その際、燃料の漏洩を防

図 2 実験装置および計測系統図

ぐために燃料噴射弁からのリターンを燃料タンクに戻すようにし⁽¹⁾⁽²⁾、これら燃料系統を窒素加圧による高压に耐えられるように補強した。また、今回の実験ではDMEの性質、実験条件及び作業性という点から燃料系統の各部にテフロンチューブを使用した。図 2 に実験装置および計測系統図を示す。

図3 DMEとA重油混合の模式図

3.2 使用燃料 DMEとA重油の混合割合が1:1(重量割合)の混合燃料を使用した。その際、最初にA重油を燃料タンクに充填し、その後DMEをデジタル台秤で計量しながら、バブリングによって充填した。図3にDMEとA重油混合の模式図を示す。混合燃料を事前に可視できる密閉容器に保存、放置し観察したが、分離した様子は見られなかった。また、混合燃料との比較のためA重油100%、軽油100%の燃料を使用した。

3.3 実験方法 実験機関の回転数を2000 rpm、給気圧力をゲージ圧で130mmHg(17kPa)一定とし、負荷は調速レバーによって設定した。また、DME・A重油混合燃料使用時は、窒素ガスボンベにより燃料タンク内圧力を1.1MPaに加圧した。計測は各使用燃料においてシリンダ内圧力、熱発生率、排気ガス成分(O_2 , CO , CO_2 , NO_x)等について行った。シリンダ内圧力は、ピエゾ式圧力変換器によって50サイクルの平均値として測定し、この圧力履歴の平均値をもとに熱発生率を算出した。排気ガス成分の測定は、 O_2 は磁気圧力式酸素分析計、 CO および CO_2 は非分散型赤外線分析計、 NO_x は化学発光法分析計をそれぞれ使用した。なお、計測機器の都合上、燃料消費量については計測を行っていない。

4. 実験結果および考察

図4は各燃料におけるシリンダ内圧力について比較したものである。この図から分かるように着火順序は軽油、混合燃料、A重油の順に早くなっている。これは、DMEの高いセタン価、自着火温

図4 各燃料におけるシリンダ内圧力

図5 各燃料における熱発生率

度の低さ及び良好な噴霧特性により可燃混合気形成が早まったことによると考えられる。よって、A重油にDMEを混合することによって着火遅れを改善できることが分かった。シリンダ内圧力曲線において、燃料噴射開始(17° B.T.D.C)後から着火にいたるまでの範囲の圧力が、DME混合燃料の場合に他と比較して高くなっている。これは噴射されたDMEが急速に気化して燃料蒸気となり燃焼室内の雰囲気圧力を高くするためと考えられる。

また、基本的にA重油にDMEを混合させても熱発生率のパターンは軽油、A重油と同様でほとんど変化していないことが図5から分かる。しかしながら、着火時期が軽油に比べDME混合燃料は遅

れているため、爆発的燃焼期における熱発生は大きくなっている。さらに、燃焼期間についてはA重油に比べDME混合燃料はわずかに短くなっていることが分かる。これは、DMEの噴霧性の良さや分子構造内に酸素を含んでいることも相まって、拡散燃焼期において良好な燃焼が行われており、後燃え期の燃焼性も向上したためと考えられる。図6に着火遅れについて示す。

なお、図4、図5は負荷49% (約3.5kW) 時のデータであり、着火遅れについては実験エンジンの燃料噴射時期 (17° B.T.D.C) から熱発生率のグラフにおける急激な立ち上がり時までと定義した。

図7は各燃料におけるNOx濃度について比較したものである。NOxにおいても混合燃料を使用す

ることによって他燃料に比べわずかではあるが低減するという結果が得られた。これはDMEの高い蒸発潜熱により燃焼場の温度が下がり、サーマルNOxが減少したことによると考えられる。排気温度に関しても他燃料に比べ、わずかに低かった。

図8にCO₂濃度、図9にO₂濃度を示す。CO₂の排出は、A重油と軽油はほぼ同程度であるが、DME・A重油混合燃料はいずれの負荷においても低くなっている。一方、O₂の排出濃度は混合燃料の場合、軽油やA重油の場合に比べて高くなっている。これらのことから、混合燃料を使用した場合、軽油100%やA重油100%の場合に比べて燃焼時の完全燃焼率が低下し、燃料の単位質量あたりの発熱量がより小さいことも一因となって、同程度の負荷を得るためにはより多くの燃料量を必要とする

図6 各燃料における着火遅れ

図8 各燃料におけるCO₂濃度

図7 各燃料におけるNOx濃度

図9 各燃料におけるO₂濃度

考えられる。

また、DMEはその組成に約35%程度の酸素分子を含有することから、燃焼時に必要な空気量がA重油100%や軽油100%に比較して小さくなることが予測される。よって、DME・A重油混合燃料の場合、A重油や軽油に比較して燃焼室内部の空気過剰率が小さくなっていることが推測される。

今回の実験ではDME・A重油混合燃料への加圧を1.1MPaとしたが短時間の運転の後、停止してしまった。これは、機関温度の上昇に伴いDMEが飽和蒸気圧以下の状態で減圧沸騰を起こし、燃料噴射ポンプでベーパーロックが起こったためである。実際、機関運転中に燃料噴射ポンプ上部のサクションパイプ付近で微小ではあるが気泡を確認した。

また、低粘度であるDMEの無潤滑性による実験機関への影響（噴射ノズルニードル、ポンププランジャの摩耗）や燃料系統における燃料の漏洩は見られなかった。これは、A重油との混合により粘度が増加し、改善できたものと考えられるが、燃料の混合割合を変えた場合や実験機関を長時間運転させた場合に再度検討の必要がある。

5. まとめ

A重油にDMEを混合することによりA重油単体に比べセタン価が高くなり、自着火温度や噴霧特性の関係から着火性も良くなる。また、粘度においても高くなるので、その結果、着火遅れの改善、DMEの無潤滑性による機関への影響（噴射ノズルニードル、ポンププランジャの摩耗）及び燃料噴射系統からの燃料漏洩の改善等が期待できる。

しかしながら、今回の実験では装置、測定器の都合上、限られたデータしか得られず、長時間の運転が困難であった。故に、DME-A重油混合燃料への加圧をさらに高く設定し、燃料噴射ポンプの冷却等の対策を施す事が望ましい。また、燃料の混合割合を再度検討し、長時間運転において十分な実験データを得る事が必要である。

6. 謝 辞

本研究の遂行にあたり、文部科学省科学研究費補助金（若手研究(B),研究課題番号14750726）の

助成を得たことを付記して、深く謝意を表する。

参考文献

- [1] 市川 他, 天然ガスの高度利用技術, エヌ・ティー・エス, pp.477~478, pp.482~485, (2001)
- [2] 梶谷, 日本マリンエンジニアリング学会誌, Vol.37 No.2, pp.86~92, (2002-2)

質疑応答

質問者 日立造船株式会社 石黒 剣二

質問者 海上技術安全研究所 高井 元弘

〔質問〕

3種の燃料について、着火遅れと機関出力の関係ですが、着火遅れを時間で比較しているところをクランク位置で比較するとどのようなになるでしょうか。

〔回答〕

クランク角度で比較しましたが、時間の場合と同様の結果となりました。付図1に着火遅れ(クランク角度)を示しました。

付図1 着火遅れ(クランク角度)

〔質問〕

DMEの欠点としてシール材の劣化を挙げていましたが、その点について混合による改善もしくは悪化等の変化(影響)はありましたか。

〔回答〕

流量計下流側の逆止弁のパッキンが劣化していましたが耐薬品性の物(Kalrez)と交換し対応しています。ただし、燃料ポンプ等他の箇所についてはまだ確認できておりません。A重油を混合したことにより劣化の度合いは緩やかになることが予想されますがDMEを混合する限り劣化は避けられないのが現状だと思われます。

質問者 水産工学研究所 小田 健一

〔質問〕

DMEはこの条件下ではA重油に完全に溶解していると考えてよいのでしょうか。(常温、常圧でエタノールはA重油に溶解しますがメタノールは溶解せず、エマルジョン化させることになると思いますがDMEの場合をお尋ねします。)

〔回答〕

密閉容器内にて混合燃料を混合直後と24時間後の状態を確認した結果、視認レベルでは分離した様子はありませんでしたので、私共としては溶解していると考えています。