ディーゼル燃料としてのメチルエステルの諸特性*

-未使用油・廃食油の比較検討

武田 秀幸** 森谷 信次**

Characteristics of Methyl-Ester Application to Diesel Engine
-Comparison between Methyl-Ester from Cooking Oil Waste and Unused Oil

Hideyuki TAKEDA and Shinji MORIYA

It is possible that the use of methyl-ester as an alternative to diesel fuel could one day solve the problem of increasing CO₂ emissions. Particularly, methyl-ester from waste edible oil (MEW) which recycles the oil resource; however, little is known about the effect oxidation and cracking of MEW do to its combustion characteristics. In this study, methyl-esters from MEW and from unused edible oil (MEU) were compared. MEW and MEU have almost the same properties (density, lower calorific value and kinematic viscosity), but ignition temperature of MEW (276 °C) is lower than that of MEU (289 °C). During the engine performance test (we used a 273cc diesel engine) we measured the cylinder pressure, exhaust gas emission and fuel consumption. Ignition delay of MEW is shorter than that of MEU, and NO_x emission of MEW is lower than that of MEU. Smoke emission for MEW and MEU are almost the same.

1. はじめに

地球温暖化の防止のためCO₂排出をおさえる必要があるのは周知の事実である。ディーゼル機関は熱効率がよく、単位仕事に換算すると燃料消費量は少なくて済む。つまりはCO₂排出が少ないことになる。最近のディーゼル機関は振動や排気黒煙も改善され、日本よりも欧州において人気が高い。

CO₂排出の原因である燃料が植物を原料としたものならば、植物の成長に伴うCO₂吸収を考慮すると、地球全体のCO₂は増加しない事になる。植物由来の燃料(狭義のバイオマス)は、CO₂を増加させない燃料として注目を集めている。特に燃料として有望視されているものに食用油エステル系燃料がある。これは軽油の特性に近く、ディーゼル機関を無改造で適用する事ができる^(1~6)。メチルエステル(ME: methyl-ester)は含酸素の燃料で排気黒煙を減少させることができる。また硫黄分をほとんど含まない事で優秀な燃料であることがわかっており、それらの脂肪酸別での特性などは理解されつつある。しかし、現実的に利用されるであろう廃棄食用油(廃食油)が新油と比較して、どのような影響を及ぼすかは論議されていない。今回はそれらを

考慮し、新品の食用油と廃食油をそれぞれMEとしたものを用意し、基礎的な性質の測定(密度、低位発熱量、動粘度、着火温度)を行い、さらに機関性能への影響について調べ、廃食油の有効性を調べた。

2. 試料精製

燃料精製に用いた廃食油は、本学の食堂で1日程度利用したものを基準の廃食油とした。また、その新油を比較対象とする。原材料は主に大豆油、菜種油である。

図1の構造式に示されるように、食用油とメチルアルコールを化学反応させるとメチルエステルが精製される。食用油の分子量が約1/3になることによって粘

Fig. 1 Ester interchange

*原稿受付 平成 17 年 4 月 21 日.

** 日本大学 (郡山市田村町徳定字中河原1) .

Fig. 2 Gel in the methyl-ester

度が下がり、軽油の特性に近づけることができる。

常圧でのエステル交換は、アルカリ触媒の存在下において 50～70℃という低温で、原料の油脂に過剰のメチルアルコールを反応させる⁽³⁾。今回はアルカリ触媒として水酸化ナトリウムを用いた。これらが完全に混合した後、静置すると二層に分離するので、下層のグリセリンを除去する。数十分で反応の 90%が終了すると言われるが、グリセリンを除去した後にさらに数日静置させるとグリセリンが分離してくる場合もあるため、1週間ほど静置させたものを用いた。

食用油を用いて精製したものを MEU(methyl-ester from unused cooking oil)、廃食油を用いたものを MEW(methyl-ester from cooking oil waste)と称する。どちらも、図 2 に示すようなゲル状の物質が燃料中に存在する事がある。これが存在すると局所的に粘度が上がり、ノズル詰まりの原因となるために取り除く必要がある。燃料を水で洗浄処理して取り除き、加熱脱水したものを実験に用いた⁽⁴⁾。

3. 基礎物性値測定

機関性能試験を行う前段階として、燃料の基礎的特性を知るために密度、発熱量、動粘度、着火特性を測定する。

3.1 密度測定 密度は、I 型浮きばかりを用いて測定を行い、温度に対する密度を求め、一般的に用いられる 15℃における密度を算出した。その結果を表 1 に示す。一般的な大豆油、ナタネ油の密度はそれぞれ 926[kg/m³]、914[kg/m³]であり、メチルエステルにすると密度が下がることが解る。

Table 1 Density

Sample (Name)	Density (15℃) [kg/m ³]
Gas Oil	830.1
MEU	885.7
MEW	884.9

MEU と MEW の比較では MEW の密度が少々低い。廃食油は熱を加えるほか、さらに揚げ物をする時などに肉などの動物性油脂が混入されると想像できる。動物性油脂に含まれる脂肪酸は植物性油脂よりも二重結合数が少ないものが多く、同じ炭素数ならば二重結合数が少ないほど密度が低くなる傾向がある⁽⁵⁾。それら動物性油脂の混入が原因で密度が下がったと考えられる。

3.2 発熱量測定 発熱量は燃料としての基本的な条件を満たす上でも重要であり、さらにその違いは走行距離、燃料噴霧状況等に影響を与える。図 3 に示す燃研式デジタル熱量計を用い、質量あたりの高発熱量を測定する。同時に燃焼時に発生する水の質量を測定し、その質量分の蒸発熱を高発熱量から減じて低発熱量とした。

Fig. 3 Calorimeter

図 4 に、測定結果を示す。低発熱量は、MEU も MEW も軽油の値を下回るものの、MEU は軽油の 87%、MEW は 86%の発熱量を有している。MEUの方が MEW よりも若干発熱量が高いが、その差は 1%程度であり、ポンプの燃料噴射量の限界などによる出力低下や、噴霧時の熱容量によるシリンダー内の温度低下などは考慮しなくともよいと考えられる。

3.3 動粘度測定 動粘度は燃料噴霧時の粒径に大きく影響を与える。また、ディーゼル機関は燃料自体で潤滑を行う部分があり、動粘度が低すぎる場合には油膜が十分でなくなる可能性がある。JIS2 号軽油の場合には、30℃で動粘度が 2.5mm²/s 以上と決められている。ビスコメイト式粘度計を用いて温度に対する粘度を測定し、対応する温度での密度で除し、動粘度を算出した。

図 5 に測定結果を示す。MEU および MEW 共に同等の値を示す。また、JIS2 号軽油よりも高い値を示し、粘性には問題が無い事が確認できる。

Fig. 4 Lower calorific value

Fig. 5 Kinematic viscosity

3.4 着火特性 燃料の着火性は、ディーゼル機関の燃焼に影響を与えるほか、燃料保存時の安全性にも影響を与える。図6に示す ASTM 法着火試験器(吉田制作所製, 842-1)を用い、常圧での測定を行った。上部・中部・下部のそれぞれの温度が設定温度の $\pm 1^\circ\text{C}$ になったとき、マイクロシリンジにて試料を70ml滴下し、滴下時から着火までの時間を測定した。高圧時での着火特性とは違う性質として測定されることが考えられるが、化学的着火遅れの参考になる。その測定結果を図7に示す。

グラフの傾きから、MEU, MEW および軽油の活性化エネルギーに差はほとんど見られない事がわかる。ここから、化学的着火遅れはほぼ同等であると考えられる。

Fig. 6 Ignition test device for ASTM standard

Fig. 7 Ignition delay variation with temperature

4. 機関性能試験

機関性能試験により、同条件における MEU と MEW の熱効率や排気ガス特性を調べ、その有用性と MEU, MEW および軽油の比較と、その原因について考察する。

4.1 実験装置および方法 図8に概略を示す実験装置により、以下に示す各条件において燃料消費率、吸気・排気圧力および温度、排気ガスの黒煙排出量をスモークメーターにより、NO_x 濃度を化学発光法により測定した。使用した小型高速ディーゼルエンジンの仕様を表2に示す。機関回転数 3000rpm 一定、燃料噴射時期も BTDC14° 一定とし、負荷を5段階(最大出力の18.6~84.1%の範囲)にかけ、測定を行った。

また、筒内圧力を0.5度おきに50サイクル計測し、Concerto(AVL製)を用いて解析を行った。解析では、各サイクルでの熱発生率と図示平均有効圧力(IMEP)を算出し、50サイクルの平均を求めた。熱発生率の計算ではローパスフィルターでスムージングを行った。

Fig. 8 Schematic of the setup for engine performance test

Table 2 Engine specifications

Engine Type	YANMAR L60A
Stroke Volume	273cc ($\phi 75\text{mm} \times 62\text{mm}$)
Chamber Type	Direct Injection
Compression Ratio	19.3
Continuous Power	4.05kW/3600rpm
Maximum Power	4.41kW/3600rpm
Fuel Injection Timing	BTDC14°
Injection Pressure	19.6MPa

4.2 結果および考察 図9に実験結果として、正味平均有効圧力(BMEP : Brake Mean Effective Pressure)に対する正味熱効率(B.T.E. : Brake Thermal Efficiency), および排ガス特性(黒煙濃度, NO_x濃度)を示す。また図10には高負荷時(出力約3.28[kW])における筒内圧, 熱発生率を示す。

熱発生率は低負荷時において MEU, MEW とともに軽油よりも若干高いが, 中～高負荷時には低くなる傾向が見られた。NO_x 濃度は低負荷時には軽油と同等程度である。中～高負荷時には MEW は軽油と同等であるものの, MEU は軽油を上回る結果となった。黒煙排出量は両 ME とともに軽油を下回る結果となった。

筒内圧の立ち上がりを着火開始点と仮定して, 燃料噴射時期BTDC14°からの時間を算出した。その結果を図11に示す。BMEPが低い域では, 軽油とMEUがほぼ同等の値。BMEPが高くなるにつれて, 着火遅れ期間が軽油よりも短くなる。また, MEWについてはどの域においても軽油よりも短い。図6より, 活性化エネルギーがMEU, MEWとともに軽油とほぼ同等であることから, 着火遅れも同等であると考えられたが, 機関において逆の傾向が見られたということは, 常圧・低温(300℃前後)と高圧・高温(筒内温度)では, 前炎反応が違ふという事が考えられる。特にMEWは, 原料の食用油が一度熱を加えられている事もあり, 前炎反応に

Fig. 9 Engine performance and the exhaust emissions

Fig. 10 Cylinder pressure and the rate of heat release at high load conditions

Fig. 11 Ignition delay variation with the load

関する化学組成が違う為に、着火遅れが短くなったものと考えられる。

着火遅れ時期が短いという事は、ディーゼル燃料としてはディーゼルノック防止の観点より優れた燃料であると言える。また、黒煙排出量をおさえたまま、NO_x排出量を軽油並におさえることができる事より、MEW は MEU よりも優れた性能を持つといえる。

5. まとめ

MEU および MEW を精製し、密度・発熱量・動粘度・着火特性を測定し、さらに機関へ適用した結果の比較・検討を行った。その上で以下の知見を得た。

- MEU, MEW は軽油よりも約 7%密度が高い。
- MEU, MEW は発熱量が軽油の 87%程度である。
- MEU, MEW の動粘度は同等である。
- 若干ながら MEU より MEW の方が常圧での着火温度は低い傾向がある。
- 熱効率は軽油より若干悪くなる。
- 排気黒煙量は MEU, MEW とほぼ同等であるが、NO_x は MEW の方が低くなる傾向がある。
- 着火遅れは、出力が同じ場合には軽油より短い。また、MEW が若干ながら着火が早く行われる。

本研究は、平成 16 年度日本大学学術研究助成金、一般研究（個人研究）の助成を得て実施した。

参考文献

- 1) 山根, 自動車技術, 55-5 (平 13-5), 55-60
- 2) 木下ほか 3 名, 機論 B, 70-690 (平 16-2), 546-550
- 3) 三村ほか 2 名, 日マリ学誌, 39-7・8 (平 16-7), 69-72
- 4) C. Jaquin ほか 3 名, 機論 B, 70-695 (平 16-7), 1878-1883
- 5) 干田ほか 3 名, 自動車技術, 58-7 (平 16-7), 35-40
- 6) 浜崎ほか 3 名, 機論 B, 70-699 (平 16-11), 2907-2913
- 7) 岩井, 日マリ学誌, 37-2 (平 14-2), 81-85.
- 8) 武田ほか 2 名, 機論 B, 70-691 (平 16-3), 803-810.
- 9) 油脂化学協会, 改訂三版 油脂化学便覧, (平 2), 104-106.