植物油を使用する直噴式高速ディーゼル 機関の特徴と性能*

孫 平** 岡 田 博**

Characteristics and Performances of High Speed Direct Injection Diesel Engine Running on Vegetable Oil

By Ping Sun, Hiroshi Okada

There have been much interest in the use of vegetable oils as diesel fuel since they are renewable energy source and the CO₂ emission is low. This paper describes the development of a diesel engine running on rape seed oil. The influences of fuel properties on engine combustion and the adaptability of combustion system to fuel are analyzed. The characteristics and performances of a new high speed multifuel direct injection diesel engine are explained in detail.

1. ま え が き

石油資源の減少に従って、内燃機関用燃料として特定のエネルギー源への依存度が低下し、将来の燃料多様化に向けていろいろな代替燃料が検討されている。その中で、再生可能な植物油をディーゼル機関の代替燃料油として利用することは、二酸化炭素 (CO₂) の排出濃度が少なく、自然循環が確立されるなど他のエネルギー源にはない大きな利点を持っている。しかし、植物油の高粘度あるいは低揮発性に起因する機関性能と耐久性、排気エミッションや炭素状物質の堆積などに関する問題があり、これらの問題を改善して、植物油を有効利用することを目的とした研究が進んでいる。^[1] 植物油を使用すれば、機関動力性能と効率は変化せずに、排気エミッションと耐久性が悪化することが云われている。水と植物油を混合した乳化燃料油を使用することにより、シリンダー内噴霧特性と燃焼性を改善し、未燃焼成分を少なくし、燃料消費率が低減するという報告もあるが、炭素状物質の堆積などの問題がある。さらに、副

室式燃焼室と大型ディーゼル機関は直接噴射式高速ディーゼル機関より植物油に対する適応性があると云われている。植物油を使用することによる、機関性能と耐久性は機関の構造によって決まるようである。

ここでは高速ディーゼル機関の燃料噴射や燃焼室の構造の特徴及び菜種燃料油に対する適応性を分析し、機関に菜種燃料油を使用した場合の性能を調べた。

2. 供試燃料の性状およびディーゼル機関への適応性

実験に使用した菜種油と軽油の性状を表1に示す。菜種油は軽油と物性が似ているため、機関に使用した場合の着火性能、燃焼性能および排気ガスの特性も似たものになると考えられる。菜種油を使用すれば、機関性能が以下になると推察される。

1) 菜種油の低位発熱量は軽油より10%低いものの、密度が軽油より10%高いので、1サイクル当たりの体積給油量が同じとすれば、サイクル発熱量がほぼ同一で、機関の出力、トルクの差異が少ない。

*原稿受付 平成10年5月11日

**正会員 東京商船大学 (江東区越中島2-1-6)

Table1 Fuel properties

Properties \ Fuel	Diesel fuel	Rape seed oil
Cetane number	50	41
Density@15°C[g/cm³]	0.84	0.916
Calorific value[MJ/kg]	42.7	36.7
Viscosity@20°C[mm²/s]	4.7	75
C:H:O	87:13:0	78:11:11
Distillation [°C]		
10%Vol	210	305
50%Vol	260	330
90%Vol	345	350
Boiling end	350	350
Flash point [°C]	69	246
Cloud point [°C]	-15	-3.9
Sulphur [%]	0.2	0.001

2) 菜種油は酸素を含む燃料で、軽油より着火性能は低いものの、一旦着火すれば、酸素を自己供給する効果があるため、燃焼速度が速い。結果として、スモーク排出量が少なくなる。

3) 菜種油は任意の比率で軽油と混合でき、互いに溶解し合う。混合油は長年にわたって保存しても分離しない。したがって、任意の混合比率を持つ混合油を機関に使用でき、給油や運転操作の上で便利である。

以上のような利点に対して、菜種油は軽油より粘度が高く、セタン価と揮発性が低く、残留炭化物が多いなどの特徴があるので、高速ディーゼル機関に植物油を使用すれば、以下の問題点が生じるであろう。

1) 菜種油はセタン価と低温留分濃度が低いため、低温始動が難しい。

2) 菜種油を燃焼させると、燃料分子の熱分解及び燃焼により、燃焼室、ピストン、燃料噴射弁とピストンリングなどの各所に炭化物の付着蓄積及び焦げ付きが生じるため、磨耗の増大、機械効率の低下、ピストンリングの膠着さらにノズル噴口の詰まりなどが問題になる。

3) 低温始動の際に、菜種油の未燃焼又は不完全燃焼により、菜種油がシリンダー壁に沿ってクランク室に入り、潤滑油に混入し、潤滑油の粘度が低下するため、直噴式高速ディーゼル機関の耐久性が悪化する。

以上の問題点を解決するために、菜種油の処理によって、燃料油の性状を改善する、一方で機関の構造を改良する必要もある。高速ディーゼル機関の燃焼系は副室式と直噴式の2種類がある。植

物油を使用すれば、副室式（予燃焼室式と過流室式など）機関では、噴射弁の多くは自浄効果を持つピントル・ノズルなので、炭化物の付着蓄積及び焦げ付きが生じにくく、噴口の詰まりからの噴射特性の悪化が少ない。更に、副室内での高温壁面と高速空気流動によって、菜種油の燃焼性能を保全できるため、良好な機関性能と耐久性が得られる。副室式機関と直接噴射式機関と、気筒直径の大きいものが小さいものより、植物油を使用したときの性能と耐久性が良いと云われている。直噴式高速ディーゼル機関は副室式より低温始動がし易く、燃料消費率が低い、植物油を使用すれば、ホールノズルの炭化物の付着蓄積とノズル噴口が詰まるため噴霧特性と燃焼性が悪化する。ピストン上へ直接噴射された菜種油の未燃焼部分の熱分解ため、燃焼室とピストンリング溝で炭化物の付着蓄積及びピストンリングの膠着が生じ易い。さらに、クランク室に入る菜種油が潤滑油を汚染し、機関性能と耐久性を悪化する。従って、直噴式高速ディーゼル機関を植物油により運転するために、低温始動、炭化物の付着蓄積及び焦げ付き、潤滑油の希釈などの問題を解決するため、新しい直噴式ディーゼル機関の開発が必要である。

3. 新しい直噴式高速ディーゼル機関の構造特徴

直噴式高速ディーゼル機関を植物油により運転するために、機関の燃焼系などの構造を変更した新しい機関の上部構造の断面を図1に示す。この供試機関は3気筒、過給器付き、油冷却、4サイクル直噴式高速ディーゼル機関である。表2にはこの機関の主要諸元を示す。^[2] この機関構造の特徴は次のようである。

1) 燃料噴射系について 軽油と植物油それぞれに給油ポンプを設けて、始動時及び停止直前時は軽油を使用し、定常運転時は植物油を使用する。低温始動するときの燃焼不完全と炭化物の付着蓄積を防止でき、停止しているとき、機内菜種油がなく、潤滑油を汚染しない。1シリンダーずつ噴射ポンプとピントルノズルを有する。燃料噴射系の高圧容積が小さく、異常噴射がなく、ノズル自浄効果を有するので、ノズルに炭化物の付着蓄積及び焦げ付き、噴口の詰まる現象を防止できる。

Fig.1 382TC diesel engine

Table2 Engine parameters

Bore x Stroke(mm)	82 x 90
Cylinder number	3
Compression ratio	18: 1
Rated power/speed	62kw/4300rpm
Max. torque/speed	155Nm/3000rpm
Weight(kg)	137kg
Combustion chamber	DI
Fuels	Diesel/Vegetable
Cooling method	Oil-cooling

菜種油はシリンダーヘッドにある通路を経て、加熱されて、粘度を低減されるため、良好な噴霧特性が得られる。

2) 燃焼系について この機関は、空気過給、ヘリカルポートと球形燃焼室によって、燃焼室中に強い空気運動が形成される。ノズル噴口は空気流動速度が最も速い部分に位置しており、燃料は気流と同じ方向に燃焼室の中心へ噴射され、噴霧はスワール空気層に包まれて、壁面には接触しないようにする。図2のような燃焼方式によって、燃焼室内に炭化物の付着蓄積を防止できる。

3) 両片連接ピストンについて 断熱性が高

Fig.2 Combustion system

Fig.3 Piston temperature field

い鉄ピストンヘッドとアルミピストンスカートを組み合わせたピストンは、断熱設計により、燃焼室の壁面温度を高くして、植物油の蒸発速度を高めた。有限要素法により計算したピストンヘッドの温度場は図3に示される。ピストンリング個所と燃焼室の間には弾性があり、ピストンリング個所の温度が低く、ピストンとシリンダーの熱膨張が大体同量なので、ピストンとシリンダーの隙間をシリンダー直径の千分の1位に小さく設計しており、この部分への炭化物の付着蓄積及び焦げ付きを防止できる。

4) 冷却系について この機関は冷却水の代わりに、オイルを使用して、ピストンの下部を噴油冷却し、シリンダーヘッドとシリンダーブロックにはオイル通路によって、高温冷却を実現した。冷却油は機関からの出口温度が100-110℃で、機外の熱交換器で二次冷却される。冷却系は機関部品の高温部だけを冷却するように設計されている。

Fig.4 SFC of diesel fuel oil and vegetable oil

Fig.5 Smoke level of diesel fuel oil and vegetable oil

4. 軽油と植物油を使用した場合のディーゼル機関の性能

軽油と植物油を使用した場合の機関性能を調べた。図4には機関トルクと燃料消費率の関係を示す。その結果から次のことが得られた。

1) 機関の動力性能（トルク，出力及び回転数など）はほとんど変わらない。

2) 植物油の燃料消費率は軽油より平均15%高い。しかし、植物油の低位発熱量は軽油より14%低いので、機関の効率はおおむね同じである。

3) 植物油の密度は軽油より9%高いので、体積燃料消費量の差異が小さくなる。この機関に駆動された車の100km当たりの燃料消費量は、植物油が6.1Lで、軽油が5.6Lである。

4) 植物油は酸素を11%含む燃料で、着火性能は軽油より悪化するものの、一旦着火すれば、酸素を自分で供給する効果があるため、燃焼速度は軽油より速く、すすの排出が少ない。図5に、軸平均有効圧と排出すす濃度との関係を示す。

5. 結 論

一部構造を改造した機関に軽油と植物油を使用した実験結果から、以下のことが明らかとなった。

1) 植物油は再生可能な生物エネルギーの一種で、物性が軽油と似ているため、内燃機関用の代用燃料油として使えば、良好な機関性能が得られる。

2) 植物性燃料油の使用による機関性能への悪影響は、植物油の処理や機関構造の改良にしたがって抑えられ、植物油を使用する機関の性能を改善できる。

3) この特別に設計した直接噴射式高速ディーゼル機関（382TC型）は軽油と植物油共に良好な機関総合性能を持っている。軽油を使用した場合に比較して、植物油の場合は燃料消費率がわずかに高いが、熱効率はおおむね同じで、さらに排出すすの濃度が少ない。

本研究にご指導とご助言を頂いた江蘇理工大学高宗英名誉教授に深く感謝の意を表します。また本研究は、ドイツのエスベト研究所との共同で行われたものである。

参 考 文 献

1. Breuer, C. Fuel. Vol. 74 (1995), No. 12 1767~1771.
2. Elsbett, K. et al, SAE Paper 890134 (1989), 1~7.