

廃植物油のディーゼル燃料への適用 (第1報, エステル化燃料の生成とその特性)

高 行男・井藤賀 久岳

1. 緒 言

植物油は、石油の代替燃料として注目されているバイオマス燃料の一種である。バイオマス燃料の燃焼時においてもCO₂は排出されるが、植物の成長過程においてCO₂を吸収していることを考えると、化石燃料を使用することに比べ相対的にCO₂が少なくなっている¹⁾。

日本では1年間に約46万トンの廃食用油が発生し、そのうち約24万トンが回収されている。回収される廃食用油のほとんどが飲食店や食品工場などからのものであり、一般家庭からのものはごく少量である。回収された廃食用油の大部分は、飼料添加物や脂肪酸工業の材料として使用されている。しかし、最近ではこれらの需要が低下したため、回収された量がリサイクルされる量を上回る傾向がある²⁾。このような背景の下、廃食用油のうち大豆や菜種などの植物から生成された植物油をディーゼルエンジンの燃料として再利用することが検討されている。例えば、京都市清掃局でゴミ収集車のディーゼル燃料として廃植物油をエステル化して使用している。また、東京の廃油回収業者はエステル化した廃植物油をディーゼル燃料として市販している例もある。海外でも、エステル化燃料はアメリカやフランスなどでバスやトラックの燃料として多く使用されており、ドイツなどではバイオディーゼル燃料として規格化され始めている³⁾。

日本の軽油使用量は1年間に約4000万トンであるのに比べ、廃植物油はその約1%であるので、廃植物油を軽油の代替燃料とすることには無理がある。そのため、軽油の補助的な燃料、あるいは公共機関などの特定のディーゼル自動車用の燃料として使用することにとどまる。しかし、リサイクルの観点から廃植物油を燃料として利用する意義は大きいと考えられるが、それに関する調査の報告例は数少ない¹⁾⁻³⁾。

廃植物油をディーゼル燃料として使用するとき、粘度が問題となる。つまり、廃植物油の粘度は軽油に比べ常温で10倍以上あるので、そのままディーゼルエンジンの燃料として使用すると、燃焼に必要な噴霧特性が十分に得られない。そのため、①廃植物油の温度を上げる、②軽油とブレンドする、③エステル化を行う、ことにより粘度を低下させる必要がある。

本稿では、廃植物油のディーゼル燃料への適用に関する研究の端緒として、③の廃植物油をエステル化した燃料をディーゼル燃料 (Bio Diesel Fuel: 以下BDFと示す) として使用したとき、軽油に比べどのような特性を示すかを検討した。

2. 供 試 燃 料

供試燃料は、表1に示すように軽油を含め5種類の燃料である。表中のVDF (Vegetable Diesel Fuel) は飲食店などの廃植物油をエステル化して市販しているディーゼル燃料の商品名である。

表1 供試燃料

供試燃料	備 考
A	VDF (染谷商店から市販のBDF)
B1	未使用の植物油からエステル化したBDF
B2	使用済みの植物油からエステル化したBDF
C	エステル化が不十分なBDF
D	2号軽油

2.1 BDFの生成

トリグリセライドである廃植物油に、メチルアルコールやエチルアルコールなどを反応させると、メチルエステルやエチルエステルおよびグリセリンが生成する。このうち、メチルエステルやエチルエステルがディーゼル燃料 (BDF) として使用できる。廃植物油1kgにメタノール0.1kgを反応させるとメチルエステル1kg程度生成でき、残り0.1kgがグリセリンとなる。

廃植物油のエステル化反応の一例を図1に示す。図中のR1, R2およびR3は炭化水素基であり、炭素数は11~17程度である。エステル化反応を適切に進めるために、触媒として水酸化カリウムや水酸化ナトリウムなどを使用し反応温度を50℃程度とした。

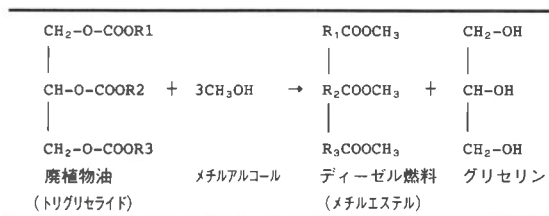


図1 エステル化反応

2.2 燃料特性

ディーゼルエンジンの燃料特性として、セタン指数、蒸留性状、引火点および粘度などが適切でなければいけない。表2に本実験に供した燃料A, 軽油D, BDFの一例および2号軽油のJIS規格を示す。表からわかるように、着火性を表す値のセタン指数は、BDFでは軽油に比べ低くなっている。しかし、JIS規格 (45以上) を満たしており、燃焼には問題ないと考えられる。蒸留性状は、燃料Aと軽油Dとほぼ同程度である。引火点は、BDFでは140℃以上と軽油 (59℃) に比べ大変高くなっているため、引火しにくく安全性は高い。硫黄分は、軽油に比べ極端に少なくなっている。一方、BDFでは軽油には含まれていない酸素分が10%程度含まれているため、総発熱量は、軽油が45000 J/g程度に対しBDFは40000 J/g以下と低くなる。

表2 燃料特性

項目	単位	A	D	BDFの一例	JIS規格(2号軽油)
引火点	℃	174	59	140-190	50以上
流動点	℃	-2.5	-12.5	0.0	7.5以下
蒸留性状	℃	290-340	150-370		350以下
総発熱量	J/g	39750	44850	38000	
密度	g/cm ³	0.89	0.82	0.88	
セタン指数		48	58		45以上
残留炭素分	質量%	0.06	0.01	0.62	0.1以下
硫黄分	質量%	<0.01	0.4	<0.01	0.5以下
炭素分	質量%	77.1	86.0	75.5	
水素分	質量%	12.1	13.6	12.1	
酸素分	質量%	10.1	0.0	10.7	

各供試燃料の動粘度をレッドウッド粘度計により測定した結果を図2に示す。図中の直線は軽油Dの測定結果を最小自乗法で求めたものである。また、エステル化していない植物油の測定結果も併せて示した。エステル化することで大幅に動粘度が低下するが、測定範囲の温度においては、軽油に比べ動粘度が高い。

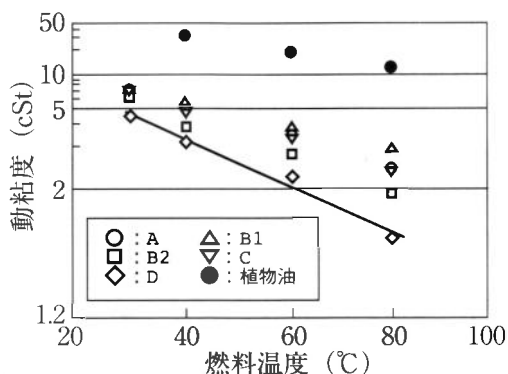


図2 燃料の粘度特性

3. 実験方法

実験車両として、マツダ ファミリアを使用した。その諸元を表3に示す。実験車両は走行距離が10万kmを越えており、エンジンの状態はあまり良くない。そのため、燃料特性の優劣により排気ガスなどが影響を受けやすく、特性の差異がより明確にできると考えられる。

表3 実験車両の諸元

車名	マツダ ファミリア
排気量	1700cm ³
燃料室	渦流室式
噴射ポンプ	分配型
走行距離	14000km

BDFの燃料特性を検討するため、アイドリング時の燃料消費量、最大駆動力および排気ガス(CO, HC, NO_xおよび黒煙)の測定を2章で述べた5種類の供試燃料に対してエンジン暖気後

に行った。また、各燃料を使用して走行実験も行った。

アイドリング時の燃料消費量は、供試燃料の入ったビーカーに吸入側ホースと戻り側のホースを入れ、燃料 50 cm³ を消費する時間を測定した。最大駆動力は、シャシダイナモメータ（明電舎製 4WD-CHDY）に設置した車両を発進させ、計測速度である 10 km/h となったときアクセルをいっぱいまで踏み込むことによって測定を行った。

CO および HC の排出量は、CO、HC テスタ（HORIBA CO, HC ANALYZER MEXA-324 G）を使用し、アイドリング時の値を測定した。また、排気管出口を若干ふさぐことにより、多くの排気ガスをテストに導入した場合についても行った。NO_x の排出量は、NO_x テスタ（SHIMADZU PROTABLE NO_x ANALYZER NOA 305 A）を使用し、アイドリング時の値を測定した。黒煙の排出量は、黒煙濃度テスト（ZEXEL 社製ろ紙反射式ポンプ型）を使用し、無負荷急加速方法で測定を行った。

4. 実験結果および検討

4.1 燃料消費量および最大駆動力

アイドリング時の燃料消費量の測定結果を 1 分間の消費量に換算し、図 3 に示す。消費量はすべての供試燃料においてほぼ同様の結果が得られた。無負荷、アイドリング時の計測であるため、顕著な差が認められなかったと考えられる。

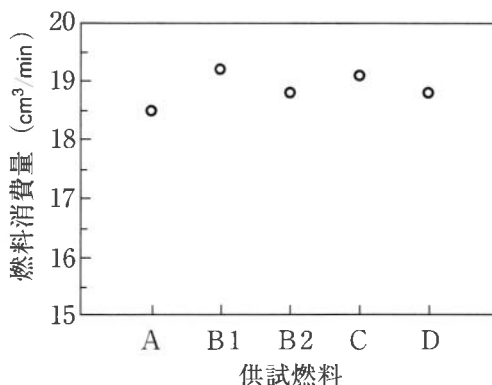


図3 アイドリング時の燃料消費量

最大駆動力の測定結果を図 4 に示す。図中の線は測定結果の範囲を示している。最大駆動力については、燃料 C が他の燃料に比べ駆動力が少し小さくなっていることが分かる。燃料 C はエステル化が不十分であるため、エステル化されていない成分が含まれ、燃焼が適切に起こらなかったと考えられる。

燃料 A, B1, B2 および C による始動時およびアイドリング時のエンジンの振動や騒音などの状態は、軽油 D の場合とほぼ同様で顕著な差は確認されなかった。実走行（時速 30 km/h 程度以下）においても違和感はほとんど感じられなかった。

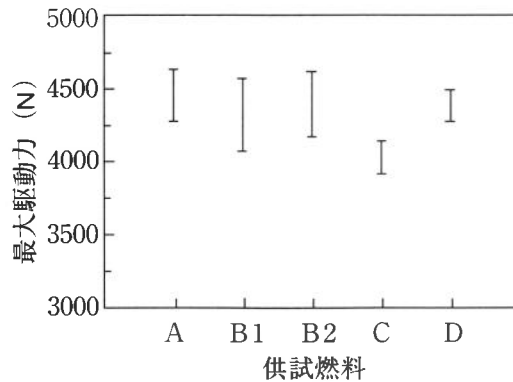


図4 最大駆動力

4.2 排気ガス成分

COおよびHCの排出量の測定結果をそれぞれ図5に示す。通常の測定方法（○，△）では，すべてのBDF燃料とも軽油とほぼ同様である。排気管の出口をふさぐ方法（●，▲）では，燃料Cを除くBDF燃料は軽油とほぼ同様かそれ以下の排出量となる。BDFは，表2に示したように軽油には含まれない酸素分が約10%含まれているため，軽油に比べ局所的不完全燃焼部が少なく燃焼が適切に起こっていたと考えられる。燃料Cは，燃料中にエステル化されていない廃油成分が含まれているため，他の燃料ほど燃焼が適切に行われなかったため，排出量が多くなったと考えられる。

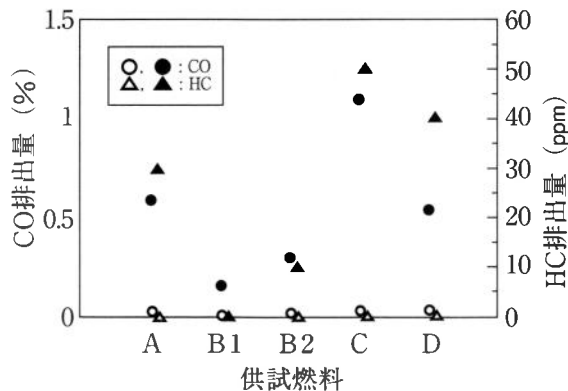


図5 COおよびHCの排出量

NO_xの排出量の測定結果を図6に示す。BDFは軽油に比べ排出量が多くなる。これは，軽油に比べ燃料B1およびB2では燃焼が適切に起こり，燃焼室内の温度が高くなるためであると考えられる。また，廃植物油は軽油に比べ多く窒素分を含んでいるため，燃料Cにおいてもより多くのNO_xが排出されたと考えられる。

黒煙濃度の測定結果を図7に示す。図中の線は測定結果の範囲を示し，○印は平均値を示している。BDF燃料の測定結果のほとんどが，軽油Dの最小値（40.0%）より低い。これは，BDFに

含まれる酸素分により、軽油の場合に比べ完全燃焼しやすいためであると考えられる。

各BDFの排気ガスは白煙のように見え、天ぷらを揚げたときのようなにおいがする。

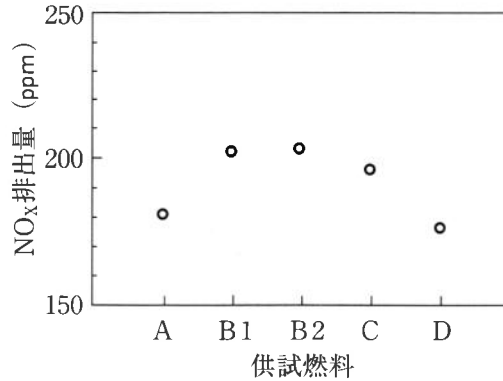


図6 NO_xの排出量

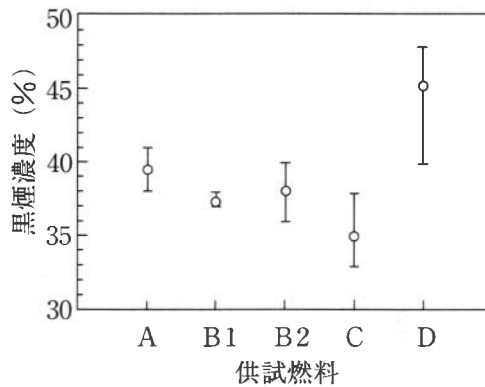


図7 黒煙濃度

5. 結 言

本実験からBDFの特性について以下の知見を得た。

- (1) アイドリング時の燃料消費量および最大駆動力は軽油とほぼ同程度である。
- (2) 排気ガス中のCO, HCおよび黒煙の排出量は軽油に比べ低減するが, NO_xの排出量はやや増加する。
- (3) 新油, 廃油に関わらず, エステル化するとほぼ同様の燃料特性となる。
- (4) エステル化が不十分な場合, 十分な燃料特性を得られない。

以上の結果より, 適切に生成したエステル化燃料は十分に使用することが可能であることを確認した。しかし, 長時間使用した場合, カーボンデポジットの発生やインジェクションポンプなどの摩耗などが問題となる恐れがある。また, BDFは軽油に比べ硫黄分が40分の1以下とたいへん少ないため, 硫黄酸化物SO_xの排出量も低いと予想されるが, 含酸素系燃料であることから,

アルデヒド系の有害成分は軽油以上に排出される恐れがある。これらが、今後の検討課題である。

エステル化燃料の普及には、廃植物油の回収方法や生成設備などの問題を克服する必要がある。勿論、エステル化技術は化学工業特有の高温、高圧のプラントは必要なく、比較的簡便といえるが、一般の人にとって面倒である。そのため、エステル化しない廃植物油に軽油をブレンドして使用する可能性をエンジンのメンテナンスの問題と併せて検討している。

終わりに、リサイクルの観点からご教示いただき、エステル化燃料を提供していただいた大阪経済法科大学科学技術研究所客員研究員 豊田哲夫氏に深謝する。また、実験遂行にあたり協力いただいた本学 脇俊隆教授、並びに自動車工学専攻科5期生 小野木克幸君および古山佳隆君に謝意を表す。

参 考 文 献

- 1) 森棟, 植物油廃油燃料ディーゼル機関の特性に関する研究, 湘南工科大学紀要, 31 (1997) .
- 2) 藤原ら, 廃食用油のエステル化燃料がディーゼル機関の性能ならびに排気特性に及ぼす影響, 北海道工業大学研究紀要, 25 (1997) .
- 3) 京都市清掃局, 廃食用油ディーゼル・エンジン燃料化事業について (1996) .