

Exhaust Emissions and Performance of Diesel Engine Operated on Animal Fats

森棟 隆昭 (湘南工科大学) 森野 孝之 (湘南工科大学・院)

Takaaki MORIMUNE and Takayuki MORINO, Shonan Institute of Technology

1. まえがき

牛脂、豚脂、大豆油、菜種油などの動植物油脂は、使用後に年間 40~50 万トンの廃油が排出されており、家畜飼料添加油脂、塗料原料、粉石けん等業務用原料などに転換されている。また植物油の一部はエステル化されバイオディーゼル燃料(BDF)へ変換されている。しかし廃動物油脂は都市ごみとして廃棄・焼却されたり、下水道に流されオイルボールとなって排水処理にトラブルを引き起こすことも多い。また最近の BSE 問題に関連して牛脂については適正な処理方法の模索をする必要があると考えられる。

米国 EPA や NREL は、動物油脂を原料とするバイオディーゼル燃料を用いると、植物油の場合と比較して排ガス中の窒素酸化物 NO_x や一酸化炭素 CO、排気微粒子 PM が少ないという報告をまとめている。

本研究では、外食産業や飲食店などから排出される廃動物油脂を主体とする固体状、ゲル状の廃油をディーゼル機関に直接使用する可能性を検討している。ここでは動植物油脂ディーゼル機関の性能と排ガスの環境特性を求め、動物油脂は環境にやさしい燃料であることを考察した。また固体状油脂を排ガスの持つ熱を利用して液体状に処理し、ディーゼル発電機に用いて発電する方式を提案した。

2. 実験装置と測定法

2.1 実験装置と測定系

図 1 にディーゼル機関性能実験装置および排ガス測定の概略図を示す。供試機関には 4 サイクル単気筒ディーゼル機関 (411cc, 5.1kW, 直接噴射方式) を用いた。電気動力計により、機関負荷を 30~100% と変えて実験を行い、各燃料における機関性能や排ガス特性を求めた。機関の回転速度は 2200~2600rpm とし、供試機関のシリンダーヘッドにはひずみゲージ式圧力変換器 (容量 9.8MPa, 固有振動数 37kHz) を装着してシリンダ内圧力を測定している。吸入空気量の測定には吸気管路に設置された層流型流量計を用いた。なお、燃料供給系や冷却系、潤滑系などは標準仕様から変更していない。供試機関の排気管出口における排気ガス中の各成分の体積濃度は、NO_x を化学発光法、CO を非分散形赤外線吸収方式、全炭化水素 THC を FID 方式、スモーク濃度を光透過率法で測定した。また、排ガスの一部をロープレッシャーインパクターから多段分粒器に導き PM の粒子径分布や質量流量を求めた。

2.2 供試燃料とその特性

表 1 に本実験で用いた燃料の特性を示す。未使用大豆油、使用済み大豆油、使用済み動物油脂 (牛脂 10 : 菜種 2 の混合油)、比較の基準燃料として JIS2 号軽油およびメチルエステル化油 (米ぬか原料) の 5 種類を用い、D-800 機関の機関性能、排ガスの環境特性を求めた。なお、大豆油は、大学のレストランでの使用前の油で常温で液状である。使用済み動物油脂は外食産業より排出されたものであり、常温で固体状、ゲル状である。各廃食用油は前処理として、電気炉にて 105°C±5°C で 1 時間加熱して水分を取り除き、その後、液状油脂を定量ろ紙 5 種 A フィルタ (JIS P 3801) を通過させ異物を除去した。未使用の大豆油や前処理後の大豆油は、25°C で直接機関に供給し、動物油脂については大豆油の粘性値に近く 60°C の液化状態に昇温して燃料とした。

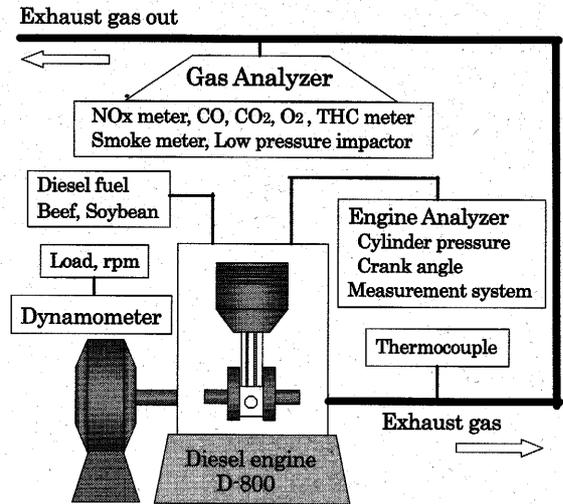


Fig. 1 Experimental apparatus of diesel engine operated on diesel and biomass fuel

使用済みの廃食用油のセタン指数は、常圧蒸留法により求めているが、試料密度が JIS k2254 の推奨範囲を超えてしまったこと、動物油脂については蒸留途中で試料が分解してしまったことから参考値ではあるが、使用済み大豆油よりも動物油脂のほうがセタン指数は高く着火性が良好である。また表 1 中、軽油以外は 10% 以上の含酸素燃料であること、使用済み油脂は残留炭素が多いことが大きな特徴である。なお、使用済み動物油脂中には、厨房排水中の廃油いわゆるオイルボールが含まれている。

Table 1 Properties of tested fuels

Item	Fuels					
	Gas oil	Soybean oil	Used soybean oil	Used Animal fat	Rice oil BDF	
Flash point (°C)	65	—	313	268	167	
Density (35°C) (kg/m ³)	832	906	927	902	883	
Kinetic Viscosity (35°C) (mm ² /s)	3.25	29.8	41.9	88.7	6	
Cetane index	54.6	—	28.1	38.3	58.0	
L. H. V. (MJ/kg)	42.7	37.1	37.1	36.3	37.2	
Carbon residue (wt%)	0.01	—	0.54	0.36	<0.01	
H ₂ O content (wtppm)	100	230	390	1300	—	
Elementary analysis wt%	c	86.0	77.5	77.4	76.0	76.8
	h	13.8	11.6	11.6	12.3	12.0
	n	<0.1	<0.1	<0.1	<0.01	0.01
	o	<0.1	10.4	10.7	11.6	10.9

3. 供試機関の排ガス特性

3.1 NO_x, CO, THC の排出濃度

図 2 に各燃料を用いた場合の NO_x, CO の排出濃度を示す。NO_x 濃度については使用済み大豆油が軽油より若干高く、動物油脂の NO_x は軽油よりも 10~20% 程度低い。この理由は動物油脂中に飽和脂肪酸が多く含まれていることから、セタン指数が

高くなり NO_x が低減したものと考えられる。米ぬか BDF の場合の NO_x が最も高くなっているが、従来の BDF の NO_x 結果と合致している。

CO 濃度は低負荷では使用済み動物油脂の値が大豆油の値よりも低い結果が得られている。やはりセタン指数の高い、着火性のよい動物油脂の燃焼の結果と考えられる。しかし燃焼室温度の低い低負荷では動植物油の燃料は高粘性による噴霧状態の悪化のため、軽油や BDF の CO 濃度より高くなったと考えられる。

3.2 スモーク、PM特性

図3にスモーク濃度を比較して示す。軽油以外の他の含酸素燃料では低中負荷では軽油の場合よりもやや高い傾向をもつが、高負荷領域では低くなっている。動植物油燃料や BDF は軽油と比較してやはり粘性は高く、温度の低い低負荷では燃料噴霧の状態は良好とはいえ、高負荷では粘性はやや小さくなり燃焼状態が良くなり、燃料中の含有酸素の効果が現れたとも考えられる。スモークの生成については、燃料の C/H 比が小さく、沸点が低い場合にすす濃度が低くなるのが従来よりわかっているが、飽和脂肪酸成分の多い動物油脂は C/H 比が小さいが、沸点は不飽和脂肪酸成分の多い大豆油のほうが低く、スモーク濃度の比較のための指標とはならない。

図4中にロープレッシャーインパクター、多段分粒装置を用いて排ガス中の PM をセラミックフィルター上に捕集して求めた PM の粒子径分布 (0.06~11 μm) と PM の質量流量の結果例を示す。粒子径の大きい部分で実験値はばらつくが、3種の燃料とも粒子径 0.2 μm 前後の排出量がピークとなっている。ディーゼル PM が 0.2 μm 前後でピークを持つ傾向は従来の結果と一致する。PM 質量は軽油、使用済み動物油脂、使用済み大豆油の順に減少している。図4より PM 総排出量を計算している。

3.3 機関性能および燃焼解析 図5に機関負荷率 76%時のシリンダー内圧を示す。使用済み動物油脂は軽油よりも着火遅れ期間は短い。その分、最高圧力も低くなっており、動物油脂は NO_x の排出量を低く抑えられたことと対応する。使用済み大豆油の着火遅れは、動物油脂と同程度であるが、シリンダー内圧は上昇し、NO_x の排出濃度はやや高い。

以上より、使用済み動物油脂を加熱による液化のみでディーゼル燃料に用いると、軽油の場合よりも低 NO_x、低 PM 排出量で運転できることや、高負荷状態では軽油よりも低スモーク濃度であること、大豆油よりも NO_x、CO 濃度は全体的に低減できることなど環境に対して良好な排ガス特性を得ることができた。

4. 動物油脂を燃料とするディーゼル発電機と燃料加熱装置

前章までで動物油脂が軽油よりも環境にやさしいことを考察した。これより、固体状の動物油脂を積極的に利用する方法を提案する。図6(割愛)に示す供試ディーゼル発電機の定格出力は 2kW、機関は単気筒直接噴射式空冷4サイクルディーゼル機関 (211cc、定格出力 2.8kW) である。本研究の特徴は排ガス式燃料加熱装置をディーゼル発電機に設置することである。ディーゼル機関の始動時、当初の約5分は軽油で運転し、その排ガスを燃料加熱装置に流入させて油脂タンクに衝突させ加熱することによって固体状の廃動物油脂を液状化(始動から3分以内に油脂は完全に液化)する。液状化後ただちに切替弁を作動して軽油から廃動物油脂に切替えて運転を継続し、ディーゼル発電する。

5. まとめ

本研究では使用済み動物油脂を加熱による液化のみでディーゼル機関に用いており、軽油の場合よりも低 NO_x、低 PM 排出で運転できることや、高負荷状態では軽油よりも低スモーク濃度であること、大豆油よりも NO_x、CO、THC 濃度は全体的に低減できることなど環境に良好な排ガス特性の結果を得た。

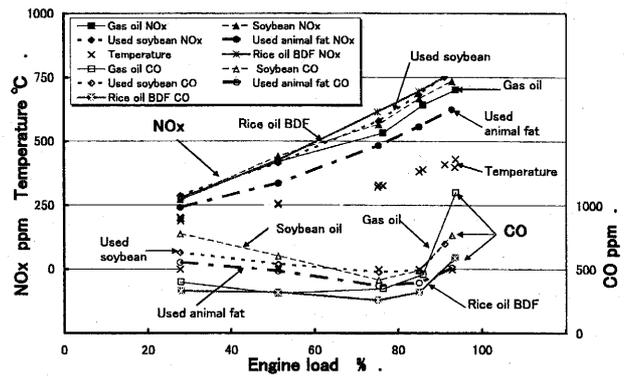


Fig.2 NO_x and CO concentrations

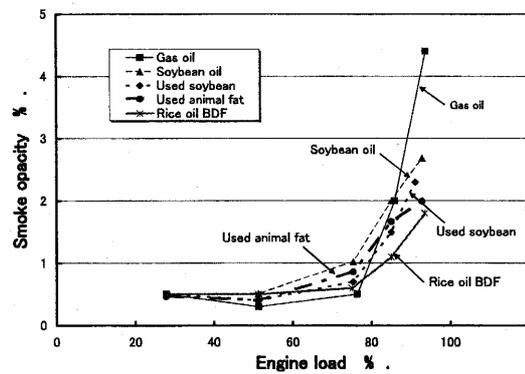


Fig.3 Smoke opacity of biomass fuels

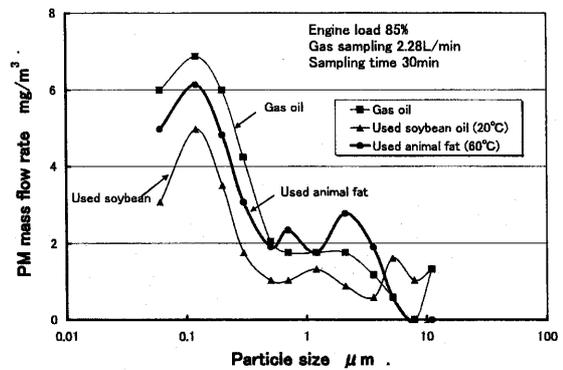


Fig.4 PM mass flow rate and particle size

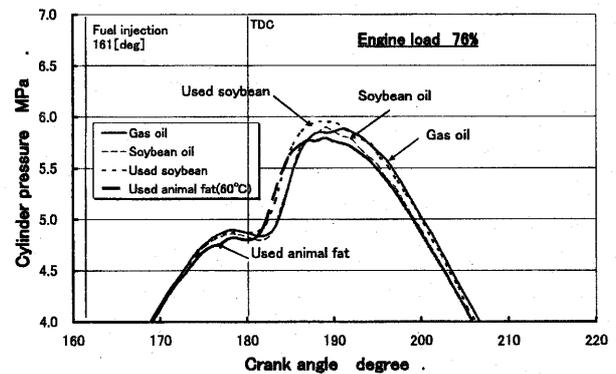


Fig.5 Cylinder pressure diagram of diesel engine