植物廃油を燃料としたディーゼル 機関の性能*

石井 明夫** 桶谷 敏行***

Diesel Engine Performance on Spent Vegetable Fuel Oil

by Akio Ishii, Toshiyuki Okeya

Since 1987 we have been carrying out engine performance test on special oil. For example, fish oil, slop oil, spent vegetable oil, crude oil, waste plastics oil. The results indicate that each oil can be used as fuel oil for diesel engine, with modifying some parts of diesel engine slightly and heating the fuel oil. And then, we developed the diesel-generator set for slop oil and spent vegetable oil in commercial use. In this paper, we introduce the diesel-generator set system using spent vegetable oil. In that system, fuel injection parts were modified, blended fuel oil with marine diesel oil was used and fuel oil was heated. By these ways, the engine durability and performance are improved and exhaust gas emission are decreased. This diesel-generator set has been running at frozen tempura factory since 1997.

1. はじめに

近年、調理加工食品分野では天ぷらやフライ類等の揚げ物の割合が増加するのに伴い、植物廃油が産業廃棄物として大量に排出されるようになってきた。当社は、ディーゼル機関の燃料の多様化に取り組んでおり、平成5年には、原油タンク底から排出されるスロップオイルを燃料とする1000kWの自家発電設備を完成させた。このような多様化の取り組みの中で平成6年に試験機関による植物廃油の燃焼試験を冷凍食品加工メーカーと共同で実施し、植物廃油焚きディーゼル機関発電設備を商品化した。

平成9年10月から、ディーゼル機関植物廃油とA重油の混合油を燃料とする自家発電設備が稼動中である。今回は、植物廃

油の特性、燃焼性能試験及び実施事例の概要について以下に報告する。

2. 植物廃油の特性

2.1 性状分析 市販のA重油、軽油と対比して、供試植物廃油の性状を表1に示す。

表1 植物油廃油性状の分析結果

分析項目	供試植物油廃油	A重油	軽油
密度 [①15℃ g/cm ³]	0.922	0.8453	0.8270
引火点 [℃]	254	68	62
粘度 [②50℃ mm ² /sec]	26	2.58	2.5
流動点 [℃]	-20	-17.5	-7.5
残留炭素分 [wt %]	0.5	0.03	0.01
総発熱量 [kJ/kg]	39,310	45,360	46,030
真発熱量 [kJ/kg]	37,420	42,260	43,130
全酸価 [mgKOH/g]	1.86	中性	中性
全塩基価 [mgKOH/g]	0.07	中性	中性
炭素分 [wt %]	77.7	86.1	85.3
水素分 [wt %]	11.5	13.0	13.9
窒素分 [wt %]	0.01	0.02	0.00
硫黄分 [wt %]	0.04	0.88	0.12
酸素分 [wt %]	10.76	0.0	0.0
分留性状	初留	--	164
	50 %	--	272
	90 %	--	339

*原稿受付 平成11年10月4日

**正会員 株式会社新潟鉄工所（太田市西新町125-1）

***エヌ・エス・エンジニアリング（大田区蒲田本町1-10-1）

ディーゼル機関用燃料として通常使用されるA重油及び軽油に比べて、植物廃油は密度、引火点、粘度及び分留温度が高く、発熱量が低いという特徴を持っている。これらの特性は相対的に重質油に近似した特性である。

また、植物廃油は硫黄分が低く、10%程度の酸素を含むいわゆる含酸素燃料といえることも特徴である。

2.2 粘度 植物廃油、A重油及びその混合油の温度、粘度特性を図1に示す。

植物廃油及びその混合油はA重油に比べ粘度低下割合が小さい傾向にある。植物廃油又は混合油を燃

料とする場合には、粘度調整のためディーゼル機関への供給油を加熱する必要がある。また、混合油の場合には植物廃油100%に比べ加熱温度を低くすることが可能であることが分かる。

2.3 汚染度 植物廃油とA重油及びその混合油の汚染度変化割合を図2に示す。

今回の植物廃油の汚染度（NAS・重量法）はA重油に比べ4倍程度大きいことが分かった。また混合油の汚染度は植物廃油混合割合にほぼ比例しており、新たな析出物（スラッジ）等の析出は見られなかった。尚、植物廃油中には微少な浮遊物が多数存在することも分かった。

3. 燃焼性能試験

3.1 供試機関 供試機関仕様を表2に示す。また、燃料系統では、植物廃油又は混合油は燃料タンク（1.2kl）から供給され粘度調整及びフィルター処理後に試験機関に供給される。A重油は工場のサービスタンクから供給される設備を用いた。

3.2 燃焼性能試験結果

(1) 植物廃油とA重油専焼時の機関性能比較を図3に示す。この結果以下のことが分かった。

(a) 植物廃油時の着火遅れ及び圧力上昇率（dP）

図1 燃料油粘度－温度特性図

図2 植物廃油混合割合と汚染度の関係

表2 試験機関仕様

機関形式	4PA5L
シリンダ径 [mm]	255
行程 [mm]	270
定格回転速度 [min^{-1}]	900
定格出力 [kW]	706
正味平均有効圧 [MPa]	1.71

図3 機関性能比較（A重油と植物廃油）

は低負荷域でA重油に比べて少ない傾向が見られるが、高負荷域ではA重油とほぼ同等である。

(b) 植物廃油時の高負荷域での燃料噴射圧力は、A重油に比べ高めになっている。

(c) 煙濃度は無色の状態で良好である。さらに、排ガス中の窒素酸化物 (NO_x) 濃度はA重油時に比べ機関負荷率50%以上の高負荷域で高めであった。これは、植物廃油中の酸素分の影響と考ええる。

(2) 植物廃油とA重油の機関負荷率100%時の機関燃焼性能比較を図4に示す。

植物廃油時の着火遅れはA重油とほぼ同等であるが、主燃焼域の熱発生率は大きく燃焼期間も短縮される傾向にあり、シリンダ内温度が高くなっている。

尚、植物廃油とA重油の混合油における機関性能及び排ガス特性なども調査したが、混合比率にほぼ比例した関係にあった。

3.3 開放検査 100時間程度の試験運転後の機関部品開放検査では、ピストン、シリンダヘッド爆発面の一部と燃料弁ノズル先端部にカーボンの付

着が見られた。これは、重質油運転時と同様な傾向である。一例としてシリンダヘッド爆発面の写真を図5に示す。

尚、今回の運転時間が短いためか、燃料噴射ポンププランジャ等の噴射系部品及びライナ摺動面等には特別な問題は見られなかった。

以上の結果から、燃料噴射系及び燃焼室まわりの部品を一部改造することにより、植物廃油専焼及びA重油との混合油を燃料とする、ディーゼル機関自家発電プラントは可能と判断した。

4. 実施事例

試験機関による試験結果と従来保有している重質油適応技術とを加味して、500kWクラスの植物廃油焚き自家用ディーゼル機関コージェネレーションシステム（熱電併給）を構築して、冷凍食品用天ぷら揚げ生産工場殿へ納入した。本システムは平成9年10月から順調に稼動中である。このディーゼル機関自家発電設備により工場で消費される電力の半分を

図4 機関燃焼性能比較 (A重油と植物廃油)

賄っている。

(1) 発電用ディーゼル機関 今回採用した発電用ディーゼル機関の主要目を表3に示す。

本機関は常用発電用機関をベースに燃料噴射系部品を特殊仕様にしたほか、燃焼室まわりの部品は重質油仕様として耐久性をたかめている。

(2) 燃料油 工場で発生する天ぷら揚げ廃油(なたね油)は月間40～50トン(ドラムにして200～250本)前後である。従来は、工場において天ぷら粉等の焼却に8トン程度が消費され、残り32～42トンが外部の廃油引き取り業者を通じて処理されている。

本発電プラントでは、この廃油を化学処理等することなくA重油と混合した燃料(植物廃油混合燃料)としたため以下の特徴がある。

図5 シリンダヘッド燃焼面

(a) ある程度のA重油と混合するが、植物廃油は硫黄分をほとんど含まないためA重油を燃料とした場合に比べて排ガス中の硫黄酸化物(SO_x)の濃度は低くなる。

(b) 植物廃油専焼時に比べてA重油と混合することにより排ガス中の窒素酸化物(NO_x)濃度は低くなる。

(c) A重油専焼時に比べて煙濃度は軽減される。

(d) 植物油に化学的処理を行い、軽質油へ変えて利用する方法と比べて低コストになる。

尚、本設備での廃油消費量は、1時間当たり110リットル程度である。

(3) 燃料系統 自家発電設備燃料供給の流れを図6に示す。

燃料系統では以下の配慮等も加味してある。

(a) 植物廃油とA重油混合装置は、廃油排出量の変動に対しても対応可能な様に混合比率可変型を採用した。

(b) 燃料の粘度調整熱源として、機関の廃熱を有効利用した。

表3 発電用ディーゼル機関仕様

機関形式	ニイガタ6L19HX
シリンダ径 [mm]	190
行程 [mm]	260
定格回転速度 [min ⁻¹]	900
定格出力 [kW]	475
正味平均有効圧 [MPa]	1.58

図6 植物廃油利用によるディーゼル発電設備燃料供給系統

図7 シリンダヘッド燃焼面

(c) 燃料中の不純物の除去に対して沈降槽を設置するなど対応している。

(4) 開放調査 約4000時間（1年）運転後のメンテナンス時にシリンダヘッドの調査を実施した。その時の状況を図7に示す。

燃焼面の一部と燃料弁ノズル部先端にカーボンの付着が見られた。これは、重質油運転時と類似した傾向である。その他の部品については問題なく良好な状態であった。

5. おわりに

今回、試験機関による燃焼試験等を踏まえて、植物廃油を燃料とした自家用ディーゼル機関発電設備の導入例を紹介した。

ディーゼル機関は重質油（C重油）燃料でも効率良く燃焼することが可能な原動機であることは従来から知られているが、今回紹介した植物廃油以外の油もディーゼル機関燃料として十分可能と考えられる。今後とも、このような特殊燃料の可能性を追求してゆく所存である。

おわりに、本プラントの計画、建設にあたり、(株)ニチレイ殿並びに(株)マンヨー食品殿の関係各位の多大な御援助に対し厚く御礼申し上げます。

質 疑 応 答

質問者 三井造船(株) 田中正紀

〔質問〕

使用済みの天ぷら油は放っておくと劣化して固まったりするように思いますが、燃料系統に問題を起こすことはないでしょうか？

〔回答〕

通常天ぷら揚げ油としては大豆油又はなたね油が使用されます。加熱調理後の廃油では酸化及び粘度の上昇は見られますが、固体状の変化は見られません。よって、この粘度変化に対してはA重油混合割合変更により対応可能となっています。尚、ヤシ油やパーム油などの植物脂及び動物脂の中には常温で固化するものが有りますので、この場合は屋外燃料タンク及びラインに加熱が必要となります。