

屋久島における廃食油のディーゼル燃料化

浜崎 和則* 木下 英二* 亀田 昭雄* 日高 豊伸**

DIESEL FUEL PRODUCTION FROM WASTE VEGETABLE OIL IN YAKUSHIMA

Kazunori HAMASAKI, Eiji KINOSHITA, Akio KAMEDA and Toyonobu HIDAKA

Diesel fuel (waste methyl ester, WME) production from waste vegetable oil due to the recycling and the environmental protection of rivers and sea has been carried out in Yaku town of Yakushima Island since October 1999. In this study, the collection of waste vegetable oil and the WME production were investigated. The part of waste vegetable oil sampled in Yakushima had high acid value (deterioration) compared with other area. The amount of gathered waste vegetable oil was 15-17 kL per year. This value was 35-45 % of the amount in which the collection was possible. The fuel conversion ratio of WME from waste vegetable oil was 96 %. The fuel properties of WME were the same as those presented by authors. The produced WME has been used as diesel fuel for the 20 vehicles of a Yaku town office.

Keywords : Diesel Fuel, Alternative Energy, Recycle, Waste Vegetable Oil, Methyl Ester

1. はじめに

日本国内で使用され廃棄される廃食油は年間約 40～50 万トンに及ぶと考えられ¹⁾、廃食油は家庭排水の中で最大の環境汚染(河川の汚染)の原因であると言われている。最近、廃食油をリサイクルしてディーゼル燃料として用いる研究が盛んに行われ、実際に廃食油からのディーゼル燃料化の活動が地方自治体を中心に行われるようになってきた。このリサイクル活動は廃食油による河川の汚染を防ぐだけでなく、ディーゼルエンジンからの CO₂ 排出量を低減するという利点を持つ¹⁾。

廃食油はバイオマスであり、廃食油とメタノール

の反応によって得られた廃食油メチルエステル(WME)はカーボンニュートラルという特性を持ち、ディーゼルエンジンに使用される軽油を代替することにより CO₂ の発生を抑制し、地球温暖化の防止に貢献する。また、廃食油はその使用過程で燃焼していないので、代替燃料としての WME は、軽油の 87%程度の高い発熱量を持つ液体燃料であり、現在のディーゼル機関を変更することなく使用できる特徴がある。

鹿児島県熊毛郡屋久町は廃食油を軽油代替燃料としてリサイクルするために、環境省(旧環境庁)の補助金を利用して著者らの開発した「廃食油メチルエステル化装置」を導入し、平成 11 年 10 月から廃食油を収集・燃料化し、屋久町役場の公用車のディーゼル燃料として使用している。本研究では、屋久島における廃食油のディーゼル燃料化について現状の調査を行い、問題点の改善を含めて検討した。

2004 年 8 月 31 日受理

* 機械工学科

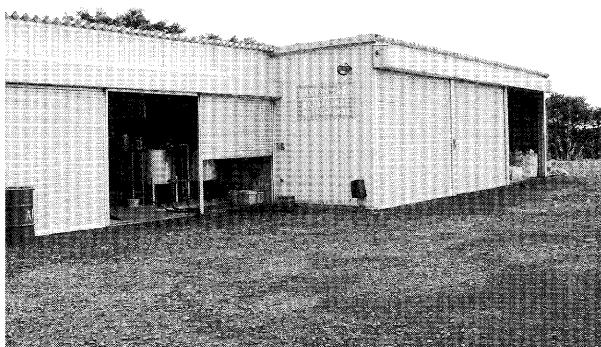
** 鹿児島県屋久町役場環境政策課



図ー1 ゴミステーションに併設された廃食油収集容器



図ー2 廃食油回収車（発砲スチロールを同時に回収）



図ー3 屋久町役場内リサイクル施設（廃食用油再燃料化装置および発砲スチロール減容装置）

2. 屋久島での廃食油収集

2.1 廃食油量の推定と軽油代替

食用油として屋久島内に持込まれ使用後廃棄される廃食油は、屋久町環境政策課の資料から、屋久町で年間 40kL 程度であり、上屋久町を含めた屋久島全体では 80～85kL と推測される。これは、屋久島への移入品目および移入量のデータ³⁾によると、動植物性油脂が平成 9 年に 106 トン、平成 10 年に 93 トン、平成 11 年に 80 トン移入されていることから裏付けられる。一方、屋久島での 1999 年部門別エネルギー消費量³⁾より、軽油は年間 174,000GJ を消費している。屋久島内で排出される廃食油を全て廃食油メチルエステル (WME) に転換して軽油代替燃料として使用した場合、WME の低発熱量を考慮すると、屋久島内の軽油の 1.7%程度を廃食油で代替できることになる。

2.2 廃食油の収集方法

屋久町では、現在、125 ヶ所のごみステーションに 100 リットルの収集容器を設置し、各家庭、自治会などの地域コミュニティの協力により廃食油を収集している。図ー1 はごみステーションに設置された収集容器の例である。そして、収集容器に集まった廃食油は屋久町役場職員が回収車（図ー2、2 トントラック）により廃食油を回収し、役場内のリサイクル施設（図ー3）へ集められている。このような収集方法は屋久島方式と呼ばれる。

2.3 廃食油の収集体量

表ー1 に平成 11 年度から平成 15 年度までの年間の廃食油の収集体量(kL)、月平均収集体量(L/月)を示す。ただし、廃食油の燃料化は平成 11 年の 10 月から始めているので、平成 11 年度は 6 ヶ月分の値である。表ー1 より、廃食油の収集体量は平成 14 年度までは

表ー1 廃食油の収集体量および収集体率

収集体年度	収集体量 (kL)	平均収集体量 (L/月)	収集体率 (%)
H11(6 ヶ月分)	4.23	705	10.6
H12 (1 年分)	12.58	1,048	31.5
H13 (1 年分)	14.69	1,224	36.7
H14 (1 年分)	16.84	1,403	42.1
H15 (1 年分)	15.40	1,283	38.5

表-2 廃食油の酸価状況

屋久町で収集・調査した廃食油（平成 13 年 11 月）

試料番号	屋-1	屋-2	屋-3	屋-4	屋-5
酸価(AV)	6.09	6.33	3.27	1.50	3.05
備考	ごみ st、 混合油	ごみ st、 混合油	ホテル、 大豆油	民宿、 なたね油	ごみ st、 混合油

秋田市（株）東北エコシステムで収集している廃食油（平成 14 年 3 月）

試料番号	秋-1	秋-2	秋-3	秋-4	秋-5	秋-6
酸価(AV)	3.28	0.48	0.024	1.11	1.08	0.40
備考	豆腐製造、 大豆油	大型店、 なたね油	給食調理、 こめ油	料理店、 なたね油	回収業、 混合油	豆腐製造、 大豆油

鹿児島市内で収集した廃食油（平成 13 年 10 月）

試料番号	鹿-1	鹿-2	鹿-3	鹿-4	鹿-5	鹿-6
酸価(AV)	2.38	2.72	0.80	1.23	1.60	1.67
備考	料理店、 なたね油	回収業、 なたね油	学食、 大豆油	家庭、 なたね油	惣菜店、 大豆油	食堂、 大豆油

増加していることが分かる。収集量が増加した理由は、役場の P R 活動および住民のリサイクルへの意識の向上によるものと考えられる。また、表-1 には、現在の屋久町において収集できる廃食油の最大量を 40kL と仮定した場合の収集率（%）も示している。平成 14 年度および 15 年度では屋久町で年間排出される廃食油の約 40% を収集していると推定される。屋久島の場合、家庭や民宿等の比較的小口（回収容器までの損失が大きい）から廃食油を集めているので、この収集率は比較的高い値と思われる。

2.4 廃食油の劣化状況

屋久町で収集されている廃食油について調査した。国内の廃食油は大部分が植物油のなたね油、大豆油およびそれらの混合油（調合油）であり、屋久島の場合も同様であると考えられる。屋久島で収集・調査した廃食油はなたね油、大豆油およびそれらの混合油であった。油脂である動植物油に熱を加えたり、空气中に放置したりすると、酸化され種々の反応物が生じるため劣化や栄養価の低下が起こる。油脂劣化測定法の 1 つとして、油脂の酸化分解物中に生成される遊離酸を定量することによって酸価（AV）で表示する方法がある。AV は主として熱劣化の指標として用いられ、試料 1g を中和するのに必要な KOH の mg を表すと考えてよい。

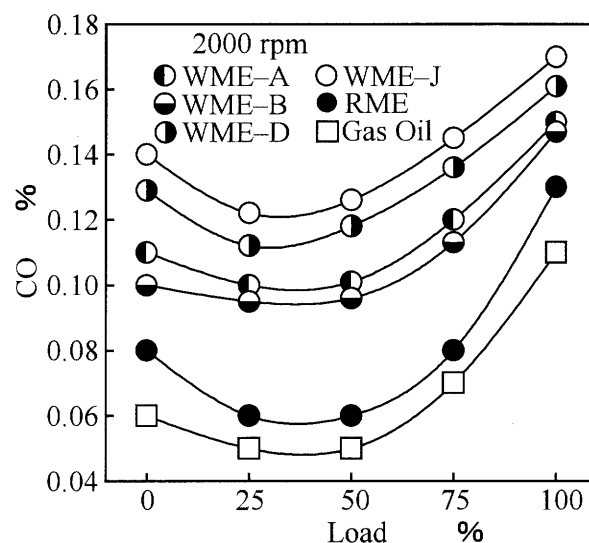


図-4 WME の CO 濃度に及ぼす AV の影響²⁾

屋久町、秋田市および周辺地区、鹿児島市で収集した廃食油の AV を表-2 に示す。AV が大きいほど劣化しており、屋久島で収集した廃食油は明らかに他地区のものより AV が大きく、劣化している。廃食油をディーゼル燃料として使用する場合、AV は 3.5 以下が望ましいと言われている。図-4 は、これまでに著者らにより直噴式ディーゼル機関（11.8kW/2200rpm）を用いて実験した WME の CO 排出に及ぼす AV の影響についての結果²⁾である。

WME-A (AV=1.23) および WME-J (AV=2.72) はなたね油起源の WME であり、WME-B (AV=0.80) および WME-D (AV=1.60) は大豆油起源であり、RME (AV=0.05) は新油のなたね油メチルエステルである。これらの燃料は AV および脂肪酸組成以外の物性値はほぼ同じである。図-4 によると、燃料の違いにより明らかに CO 濃度が異なり、WME 系燃料は廃食油の AV が大きいほど CO 濃度は高くなっている¹⁾。したがって、ディーゼル機関から CO 排出を抑制するためには、できるだけ AV が小さい廃食油により燃料化することが望ましい。

屋久町では一部を除き、図-1 に示す様に収集容器はゴミステーションに併設して露天に設置されている。そこで、収集容器に 8 割の廃食油を入れて、夏の炎天下の午後、鹿児島大学内の庭に放置して気温と収集容器内の温度との関係を調べた。その結果を図-5 に示す。廃食油の温度は、油の液面から 5 cm 下の所で測定した。図-5 より炎天下での廃食油の温度は気温の 1.5 倍にもなることが確認された。

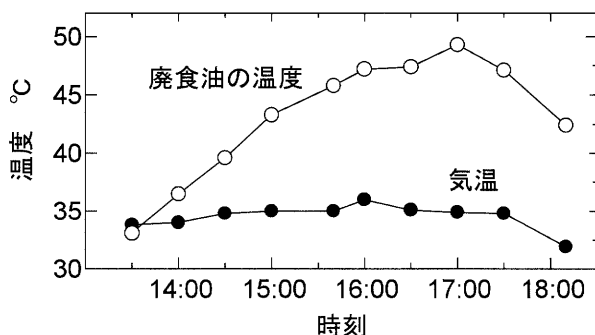


図-5 廃食油収集容器内温度と気温の関係
(平成 14 年 8 月 30 日測定)

廃食油が収集容器の 5 割あるいは、それ以下の時には気温と廃食油の温度はさらに拡大することが予想される。夜には気温の低下とともに廃食油の油温も低下する。廃食油の収集期間が長いと、上記のような温度変化を繰り返す結果、酸化劣化が進行して AV が高くなって行くと予想される。対策として、廃食油は直射日光を避けるような工夫が必要であることと少なくとも 1 週間に 1 回の収集を行うべきであると思われる。屋久町の廃食油も廃棄される時点では、試料番号 屋-4 の AV=1.50 程度が大部分であると考えられる。

2.5 脂肪酸組成解析による廃食油の推定

表-3 に屋久島で収集した廃食油の脂肪酸組成の測定結果を示す。脂肪酸組成の測定⁴⁾にはガスクロマトグラフを用いた。測定に用いた試料は、屋-1 (混合油)、屋-2 (混合油)、屋-4 (なたね油) である。表-3 には、なたね油と大豆油の新油の測定結果も示している。表-3 から、屋-1 は、なたね油が約 20wt%、大豆油が約 80wt% の混合油であり、屋-2 は、なたね油が約 59wt%、大豆油が約 41wt% の混合油であると推定される。植物油メチルエステルは脂肪酸メチルエステルの混合物であり、その組成の違いによりディーゼル燃料・燃焼・排ガス特性が異なる⁵⁾ので、WME の場合も脂肪酸メチルエステルの組成を把握するか、または廃食油の起源を調査しておくことは重要である。廃食油の起源の違い (脂肪酸組成の違いおよび劣化の程度等) は燃料化におけるエステル転換に影響を与えるだけでなく、WME の燃料性状に影響を与える。ラードやパーム油などが混入した場合、パルミチン酸等の飽和脂肪酸が増加するので、燃料の低温流動性が悪化し、

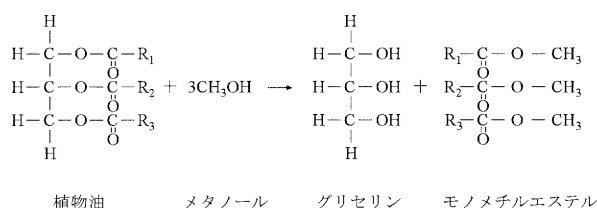
表-3 屋久島で収集した廃食油の脂肪酸組成

脂 肪 酸	C:N	重量割合 wt%				
		屋-1	屋-2	屋-4	なたね油	大豆油
パルミチン酸	17:0	11.3	9.3	7.1	4.9	10.8
オレイン酸	19:1	32.5	44.9	56.9	58.1	26.4
リノール酸	19:2	47.5	35.7	23.5	24.2	53.3
リノレン酸	19:3	8.2	8.3	9.2	11.0	9.0
その他	—	0.5	1.8	3.3	1.8	0.5
備 考		なたね油 約 20wt%	なたね油 約 59wt%			

C: 炭素数, N: 炭素原子の二重結合数

表－4 廃食用油メチルエステル化装置の諸元

名 称	廃食用油の軽油代替燃料化装置
型 式	ME－200型
生成能力	100・150・200 リットル／日
性 能	常温において1日間（約24時間）で生成可能
外形寸法	W800×D1550×H1840
重 量	約900kg
定 格 値	三相交流 200V 50／60Hz



図－7 植物油メチルエステルの生成反応式

エンジントラブル等の原因となる場合がある。

日本国内で廃棄される植物系廃食用油の多くがなたね油や大豆油およびそれらの混合油であり、また、なたね油メチルエステル（RME）と大豆油メチルエステル（SME）はディーゼル燃料・燃焼・排ガステ性が比較的近いので、日本国内で収集した植物系廃食用油から製造したWMEのディーゼル燃料・燃焼・排ガステ性（HCおよびCO濃度を除く）は、RMEとSMEの中間値で代表することができると考えられる。前述したように、屋久島で収集されている廃食用油の起源も同様であると考えられるので、製造されるWMEのディーゼル燃料・燃焼・排ガステ性もほぼ同じになると予測される。

3. 屋久島でのディーゼル燃料製造

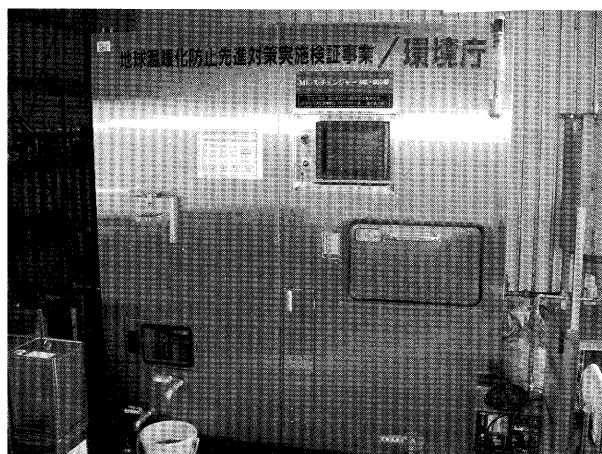
3.1 WMEの製造プロセス

屋久町で稼働中の廃食用油メチルエステル化装置（南光 NERO、200L 本体と付帯設備）の諸元を表－4に、装置本体と付帯設備の外観写真を図－6に示す。この廃食用油メチルエステル化装置は1回当たり200Lの燃料を作ることができる。

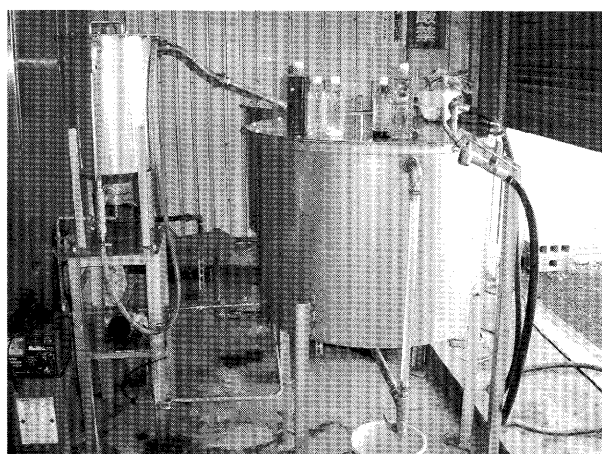
図－7に植物油のメチルエステル生成反応式を示す。植物油1moleとメタノール3moleから、グリセリン1moleとメチルエステル3moleが生成する。屋久島で現在稼働中の廃食用油メチルエステル化装置の製造プロセスは、一般の植物油のメチルエステル化プロセスと異なり、メチルエステル反応後に行う水洗い処理を省いていること、メタノールの使用量を極力抑えていることに特徴がある。反応後の水洗い処理の省略は、廃液を出さないの、廃液処理に必要な装置およびエネルギーが不要というメリットがあり、燃料製造は低コストになる。

WMEの製造プロセス²⁾は次のとおりである。

- (1) 廃食用油中の夾雑物をろ過して取り除く。
- (2) KOHとメタノールを混ぜて攪拌する。KOHは廃食用油の約1wt%、メタノールは約12wt%使用する。



(a) 本体



(b) グリセリン強制分離機(左)および生成タンク(右)

図－6 廃食用油メチルエステル化装置の外観
(南光 NERO、200L 本体と付帯設備)

- (3) KOH とメタノールの混合物を廃食油に入れ攪拌する。
- (4) エステル反応が完了するまで約 8 時間放置する。反応完了後、WME と粗製グリセリンが生成されるので、底に沈殿している粗製グリセリンを取り除く。
- (5) グリセリン強制分離機により WME 中のグリセリンを取り除く。

3.2 WME の製造量

表－5 に平成 11 年度から平成 15 年度までの年間の廃食油メチルエステル（WME）の製造量(kL)、月平均製造量(L/月)を示す。ただし、廃食油の燃料化は平成 11 年の 10 月から始められているので、平成 11 年度は 6 ヶ月分の値である。表－5 により、WME の製造量は平成 14 年度までは増加していることが分かる。廃食油からの WME の製造に対する燃料化率は約 96 vol% であり、原材料としてのメタノールおよび KOH の費用と電気代（廃食油メチルエステル化装置および回収容器等の設備のイニシャルおよびメンテナンスコスト、廃食油の回収費、人件費は含まない）のみによる燃料製造コストは 30～40 円/L である。表－6 に WME の燃料性状を示す。屋久島で製造される WME の燃料性状は、こ

表－5 廃食油メチルエステルの製造量

製造年度	製造量 (kL)	平均製造量 (L/月)
H11 (6 ヶ月分)	4.10	683
H12 (1 年分)	12.20	1,017
H13 (1 年分)	14.25	1,188
H14 (1 年分)	15.39	1,283
H15 (1 年分)	14.91	1,242

表－6 廃食油メチルエステルの燃料性状

セタン価	49
低発熱量(MJ/kg)	36.42～36.47
密度@288K (kg/m ³)	887～890
動粘度@293K (mm ² /s)	9.1～9.3
C (wt%)	76.1～77.7
H (wt%)	11.3～12.0
O (wt%)	11.5～11.9
Sulfer (wt%)	0.0005～0.0007
Water (wt%)	0.05～0.1

れまでの著者らの研究により得られた値^{1), 2)} とほぼ同じである。

3.3 WME の使用状況

現在、屋久町では役場の約 20 台のディーゼル車に使用しており、年間使用量を十分供給可能である。また、屋久町役場のディーゼル車に正式に使用を開始してから、平成 16 年 10 月で 5 年経過するが、それ以前の試用期間を含めると 5 年以上の使用実績がある。この間、燃料噴射ポンプのオイルシール(材料は NBR) 破損によるエンジントラブルが発生したが、この車両は約 8 年間軽油を使用後、廃食油メチルエステルを約 4 年間使用した後に発生したので、廃食油系燃料が直接の原因であると特定するには至らなかった。しかし、オイルシールを初め、軽油を燃料として対応しているエンジン部品に与える廃食油メチルエステルの影響を調べる必要がある。

4. まとめ

屋久島における廃食油のディーゼル燃料化について現状の調査を行った結果、年間収集量は 15～17kL、推定収集可能量の 35～45% であった。家庭や民宿等の比較的小口から廃食油を集めているので、収集率は比較的高いと思われる。また、年間製造量は 14～15.5kL、廃食油から WME への燃料化率は 96%、WME の燃料性状は著者らの値とほぼ同じであった。しかし、収集される廃食油の一部に酸化劣化の高いものが含まれており、ディーゼル車からの CO 排出を可能な限り抑制するには、収集段階で酸化劣化が進行しない工夫が必要である。

参考文献

- 1) K. Hamasaki, K. Takasaki, K. Satohira, M. Enomoto, H. Egawa, SAE Paper 2001-01-2021, (2001), pp.1-6.
- 2) Choesnui JAQIN, 長野健三, 平早水 and 幸, 浜崎和則, 木下英二, 亀田昭雄, 鹿児島大学工学部研究報告, 第 43 号, (2001), pp.9-16.
- 3) 環境庁地球温暖化防止先進地対策実施検証事業報告書, 鹿児島県屋久島地域, 平成 12 年 3 月.
- 4) 日本油化学会, 基準油脂分析試験法, (1996), 日本油化学会.
- 5) 木下英二, 浜崎和則, 中禮佳樹, Choesnel JAQIN, 機論 B, 68 巻 667 号, (2002), pp.958-963.