パーム核油バイオディーゼルのディーゼル燃焼特性*

木下 英二^{*1}, 九万田 祐介^{*2}, 張 汝 坤^{*3}

Diesel Combustion Characteristics of Palm Kernel Oil Biodiesel

Eiji KINOSHITA^{*4}, Yusuke KUMANDA and Zhang RUKUN^{**} Department of Mechanical Engineering, Kagoshima University,
1-21-40 Korimoto, Kagoshima-shi, Kagoshima, 890-0065 Japan

In order to use palm kernel oil as a diesel fuel, the combustion characteristics and exhaust emissions of palm kernel oil methyl ester (PkME) are investigated using a direct injection diesel engine, and are compared with palm oil methyl ester, coconut oil methyl ester (CME) and JIS No. 2 gas oil. The thermal efficiency of PkME is almost the same as those of the other test fuels. The exhaust emissions of PkME are almost the same as those of CME, and lower than those of the gas oil. It is concluded that PkME is a good alternative diesel fuel. Also, to reduce the pour point of PkME, -5°C , palm kernel oil ethyl ester (PkEE) and butyl ester (PkBE) are made by using ethanol and 1-butanol, respectively. The pour points of PkEE (-7.5°C) and PkBE (-10°C) are lower than that of PkME. PkEE and PkBE also are tested using the diesel engine. PkEE and PkBE have almost the same thermal efficiency and exhaust emissions compared with PkME although they have slightly higher HC and CO emissions. It is concluded that PkBE is an alternative diesel fuel with low pour point.

Key Words: Diesel Engine, Alternative Energy, Biomass Energy, Liquid Fuel, Biodiesel, Palm Oil, Palm Kernel Oil, Butyl Ester, Ethyl Ester Methyl Ester, Exhaust Emissions

1. 結 論

バイオディーゼルは主に植物油とメタノールを原料として製造されるバイオマス燃料であり、オレイン酸メチルやパルミチン酸メチル等の脂肪酸メチルエステル (FAME) の混合物である。バイオディーゼルは毒性が低く、生分解性が良く、環境にやさしい、再生可能な含酸素燃料であり、カーボンニュートラルであるので、燃料としてのライフサイクル CO_2 排出を削減できる有望な軽油代替ディーゼル燃料である^{(1),(2)}。バイオディーゼルは、輸送部門における CO_2 削減のために、最近特に、市場導入および更なる研究開発が国内外で盛んに行われるようになった。

バイオディーゼル原料として、EU 諸国では主になたね油やひまわり油が、米国では大豆油が利用されており、東南アジア諸国ではパーム油の利用が始められている。パーム油は全植物油中で最も生産性が高く (5000 kg oil/ha)、表 1 に示すように生産量も世界

第 1 位⁽³⁾で、また、パーム油をメタノールによりエステル化したパーム油メチルエステル (PME) はパルミチン酸メチル等の飽和脂肪酸メチルを多く含んでおり、なたね油メチルエステルより、着火性が良く、排ガス濃度を低減できる^{(4),(5)}ので、バイオディーゼル原料として他の植物油より有利であると言える。しかし、PME の流動点は 12.5°C と高く、低温時における流動性に問題がある。

パームの実からはパーム油の他にパーム核油が取れ (果肉の部分からパーム油、種子の部分からパーム核油が取れる)、パーム核油の脂肪酸組成はパーム油と異なり、ココナッツ油に類似している。したがって、パーム核油はココナッツ油と同様に酸素含有率が 14

Table 1 Global vegetable oil production⁽³⁾
(Unit: 1000 tons)

Year	2005	2006	2007
Palm oil	34298	37680	39280
Soy bean oil	33655	34477	35581
Rapeseed oil	16609	17062	16827
Sunflower oil	10397	11556	10802
Palm kernel oil	4280	4504	4509
Coconut oil	3441	3269	3162

* 原稿受付 2008 年 12 月 19 日。

^{*1} 正員, 鹿児島大学工学部 (〒890-0065 鹿児島市郡元 1-21-40)。^{*2} 学生員, 鹿児島大学大学院理工学研究科。^{*3} 雲南農業大学工程技術学院 (〒650201 中国雲南省昆明市黒龍潭)。

E-mail: kinoshit@mech.kagoshima-u.ac.jp

Table 2 Properties of test fuels

Properties	JIS K 2390	PkBE	PKEE	PkME	PME	CME	Gas Oil
Cetane number	51 min	—	—	57 ^c	64 ^b	57 ^a	56
Net calorific value MJ/kg	—	37.01	36.10	35.61	37.04	35.22	43.12
Density @ 288K kg/m ³	860 - 900	865	869	877	873	874	837
Kinematic viscosity @ 313K mm ² /s	3.5 - 5.0	3.7	3.5	2.9	3.7	2.7	2.5
Pour point °C	—	-10.0	-7.5	-5.0	12.5	-5.0	-12.5
Cloud point °C	—	—	—	—	16.0	—	—
C mass %	—	75.9 ^c	74.5 ^c	73.9 ^c	76.2 ^c	73.2 ^c	87.30
H mass %	—	12.5 ^c	12.4 ^c	12.3 ^c	12.4 ^c	12.3 ^c	12.50
O mass %	—	11.6 ^c	13.1 ^c	13.8 ^c	11.4 ^c	14.5 ^c	—
Sulfur mass ppm	10 max	< 10	< 10	< 10	< 10	< 10	< 500
Water mass ppm	500 max	588	608	518	420	400	—
K mg/kg	5 max	< 5	< 5	< 5	< 5	< 5	—
Alcohol mass %	0.2 max	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	< 0.2	—
Monoglyceride mass %	0.8 max	0.88	1.01	0.77	0.35	0.3	—
Diglyceride mass %	0.2 max	0.45	0.44	0.27	0.16	0.16	—
Triglyceride mass %	0.2 max	0.19	0.26	0.10	0.01	0.02	—
50 % Distillation temp. °C	—	352	290	273	329	275	278
Stoichiometric air-fuel ratio	—	12.3	12.2	12.1	12.5	12.0	14.3

a) Cetane no. from Ref. 6

b) Cetane no. from Ref. 8

c) Estimated value

%となたね油, 大豆油, パーム油等の他の植物油に比べて高く, そのためにパーム核油メチルエステル (PkME) はココナッツ油メチルエステル (CME) と同様に PME より排ガス中の Smoke 濃度が低減する^{(6),(7)}と予想される. また, 表1に示すようにパーム核油はパーム油の増産に伴って生産量が増え, ココナッツ油よりも多く, バイオディーゼル原料としての可能性がより高いと思われる.

本研究では, パーム核油をエステル反応させた PkME を直噴式ディーゼル機関に適用して実験を行い, 燃焼・排ガス特性について PME, CME および JIS 2 号軽油の場合と比較検討し, PkME の軽油代替ディーゼル燃料としての利用の可能性を検討した. さらに, PkME の低温流動性を改善するために, 市販のエタノールおよび 1-ブタノールによりパーム核油エチルエステル (PKEE) およびパーム核油ブチルエステル (PkBE) を製造し, 燃料性状の測定とディーゼル燃焼実験を行い, 製造に使用したアルコール (アルコールに基づく脂肪酸エステルアルキル基) の違いによるディーゼル燃焼特性を検討した.

2. 供 試 燃 料

供試燃料として, パーム核油のメチル, エチル, ブチルエステル (PkME, PKEE, PkBE), パーム油メチルエステル (PME), ココナッツ油メチルエステル (CME) および JIS 2 号軽油を用いた. 表2に供試燃料の性状およびバイオディーゼル JIS 規格を示す. エステル系燃料は一般的なアルカリ触媒法により製造し, 品質の優劣による実験結果への影響を抑えるため, 可能な限り高品質になるように製造した. 表2にはガスクロマトグラフにより測定した燃料中のアルコール, モノ・ジ・トリグリセライドの含有率も示している. PkEE のモノ・ジ・トリグリセライド, PkBE のモノ・ジグリセライドを除いて, これらの値は JIS 規格に適合しており, 適合していない場合でも若干高い程度である. また, エステル系燃料 (PkME, PKEE, PkBE および CME) の中で PkEE が最もトリグリセライド (油脂) の含有率が高いので, エステル変換率が最も低い. しかし, パーム核油系燃料 (PkME, PKEE, PkBE) はエステル変換率 95%以上であり, JIS 規格程度の比較的高純度の燃料である.

Table 3 Fatty acid ester compositions, mass %

Ester	C:N	PkBE	PkEE	PkME	PME	CME
Caprylic	8:0	3.6	3.5	3.3	-	6.0
Capric	10:0	3.2	3.0	3.0	-	4.9
Lauric	12:0	49.9	50.7	50.8	0.3	52.4
Myristic	14:0	14.9	15.3	15.0	1.1	16.9
Palmitic	16:0	7.4	8.1	8.0	48.8	8.6
Stearic	18:0	2.5	2.0	2.1	1.7	2.3
Oleic	18:1	14.6	14.7	15.1	38.4	6.5
Linoleic	18:2	2.1	2.3	2.4	9.1	1.4
Linolenic	18:3	0.1	0.1	0.1	0.5	0.3
Others	-	1.7	0.3	0.2	0.1	1.0

C: No. of carbon, N: No. of carbon-carbon double bond

Table 4 Cetane number and melting point of FAME

Fatty acid methyl ester (FAME)	C:N ^a	Cetane no.	Melting point ^d , °C
Methyl laurate	12:0	61.4 ^b	5
Methyl myristate	14:0	66.2 ^b	18.5
Methyl palmitate	16:0	74.5 ^b	30.5
Methyl stearate	18:0	86.9 ^b	39.1
Methyl oleate	18:1	56.0 ^c	-20
Methyl linoleate	18:2	41.7 ^c	-35
Methyl linolenate	18:3	45.9 ^c	-57

a) C: No. of carbon, N: No. of carbon-carbon double bond

b) Cetane no. from Ref. 10

c) Cetane no. from Ref. 11

d) Melting point from Ref. 12

Table 5 Melting points of palmitic acid esters⁽¹²⁾

Palmitic acid ester (16:0)	Melting point, °C	Alcohol
Methyl ester	30.5	Methanol (CH ₃ OH)
Ethyl ester	24.0	Ethanol (C ₂ H ₅ OH)
Propyl ester	20.4	1-Propanol (C ₃ H ₇ OH)
Butyl ester	16.9	1-Butanol (C ₄ H ₉ OH)

表3にガスクロマトグラフで測定した脂肪酸エステル組成を示す。表3から PkME の脂肪酸エステル組成は PME とは異なり、CME に類似しているが、CME に比べてカプリル酸メチル、カプリン酸メチルが若干多く、オレイン酸メチルが少ないことが分かる。また、脂肪酸エステル組成は PkME、PkEE および PkBE の間ではほぼ同じことが分かる。

表2より、PkME の動粘度は PME より低く軽油に近いことが分かる。また、PkME、PkEE、PkBE の順

に動粘度が高くなっている。これは、バイオディーゼルを構成する単一成分の脂肪酸エステルはメチルエステル、エチルエステル、ブチルエステルと分子量が大きくなるにつれて動粘度が高くなる⁽⁹⁾ためである。また、エステル系燃料は硫黄をほとんど含有していないことが分かる。

表2のエステル系燃料の C, H, O は表3に示すガスクロマトグラフで測定した脂肪酸エステル組成より算出した値である。また、エステル系燃料の低発熱量は高発熱量を測定し、C, H, O と測定した水分の値から求めたものである。エステル系燃料は燃料中に酸素を含んでおり、そのため低発熱量は軽油の85%程度である。また、PkME、PkEE、PkBE の順に低発熱量が高くなっている。これは、PkME、PkEE、PkBE の順に C と H の含有率が高くなり、O の含有率が低くなるためである。

表2から、PkME の流動点は-5.0°Cで、CME と同じである。これは PkME の脂肪酸エステル組成が CME と類似していることによると考えられる。表4には脂肪酸メチル単一物質の凝固点を示しているが、PkME や CME の流動点が PME に比べて低いのは、高凝固点成分のパルミチン酸メチルの含有率が低く、ラウリン酸メチル、カプリル酸およびカプリン酸メチル（これらの凝固点のデータは無いが、カプリル酸エチルの凝固点は-43.1°C⁽¹²⁾、カプリン酸エチルの凝固点は-20°C⁽¹²⁾であるので、カプリル酸およびカプリン酸メチルはこれらより若干高い値と予測される）の含有率が高いためである。また、PkME、PkEE、PkBE の順に流動点が改善し、PkBE では-10.0°Cを示した。脂肪酸エステルは、製造に用いるアルコールの炭素数が多いほど凝固点は低い⁽¹²⁾。一例として、表5に、アルキル基（アルコールに基づくアルキル基）の異なるパルミチン酸エステルの凝固点⁽¹²⁾とパルミチン酸トリグリセライドからエステルへ変換する際に使用されるアルコールを示す。製造したパーム核油系燃料は、表5に示すパルミチン酸エステルと同様にその他の脂肪酸エステルについても、メチルエステル、エチルエステル、ブチルエステルとアルキル基の炭素数が多くなるにつれて凝固点が低くなり、そのため PkME、PkEE、PkBE の順に流動点が低下したと考えられる。

図1に供試燃料の蒸留性状を示す。PkME の留出温度は CME とほぼ同じで、50%の留出までは軽油より高く、それ以降では軽油とほぼ同じであり、比較的高揮発性を示す。これに対して、PME はほぼ一定の値（約 325°C）である。また、PkME、PkEE、PkBE

Fig. 1 Distillation temperature of test fuels

Table 6 Specifications of test engine

Engine Type	1 Cylinder, 4 Stroke, D.I., Water Cooled
Bore × Stroke	110×106 mm
Stroke Volume	1007 cm ³
Compression Ratio	16.3
Rated Power	11.77 kW / 2200 rpm
Nozzle Opening Pressure	19.6 MPa
Nozzle Holes	φ0.33 mm×4

Fig. 2 Injection timing and ignition delay of PkME

の順に留出温度が上昇し、揮発性が低下している。

3. 実験装置および方法

供試機関は単気筒、水冷式、横型、直噴式四サイクルディーゼル機関で、表6に主要諸元を示す。噴射系は軽油使用時の標準噴射系を用いた。排ガス中のHC濃度はFID、CO濃度はNDIR、NO_x濃度はCLD

Fig. 3 Rate of heat release and needle lift of PkME

および Smoke 濃度は光透過式スモークメータ (Opacimeter) を使用して測定した。噴射ノズルのニードルリフトはホール素子センサにより測定し、シリンダ内圧力はひずみゲージ式高圧指圧計によって測定した。ニードルリフトおよびシリンダ内圧力は 50 サイクルの平均値である。実験は、機関回転数を 2000 rpm 一定として負荷 (負荷 100% で正味平均有効圧力 BMEP は 0.67MPa) を変化させて行った。

4. 実験結果および考察

4・1 PkME のディーゼル燃焼特性 図2に噴射ノズルのニードルリフトとシリンダ内圧力の測定から得られた燃料噴射時期、着火遅れおよび着火時期を示す。PkME の燃料噴射時期は軽油や CME とほぼ同じであり、PME は若干早くなっている。PkME の脂肪酸組成が CME と同様に主にラウリン酸メチルで構成されており、そのために PkME の体積弾性率が CME や軽油とほぼ同じとなり、軽油とほぼ同じ燃料噴射時期になったと考えられる。一方、PME は、体積弾性率が軽油より高いため、燃料噴射時期が軽油より早くなったと考えられる。図2より、PkME の着火遅れは CME とほぼ同じで、軽油より短いことが分かる。したがって、PkME の着火性は良好で、図2、表3および表4の脂肪酸メチル単一物質のセタン価を考慮して、PkME のセタン価は CME と同様の約 57 と見積られる。

Fig. 4 Brake specific fuel consumption and brake thermal efficiency of PkME

Fig. 5 Exhaust emissions of PkME

図3に $BMEP=0.67\text{MPa}$ (負荷 100%) の熱発生率および噴射ノズルのニードルリフトを示す。エステル系燃料は軽油に比べて燃料噴射期間が長いことが分かる。これは、エステル系燃料の低発熱量が軽油より低く、同じ出力を得るには燃料が余計に必要なために、燃料噴射期間が長くなったものと思われる。図3より、PkME および CME の着火後の最大熱発生率は軽油より低く、PME の最大熱発生率が最も低いことが分かる。また、図2と図3から、着火遅れが長いほど、着火後の最大熱発生率が高くなっていることが分かる。着火遅れが長いほど、着火前に形成される可燃予混合気量が増加し、着火後により多くの予混合気が急激に燃焼したために、最大熱発生率が高くなったと考えられる。PkME の熱発生率は CME とほとんど同じである。また、PkME の燃焼終了時期は上死点後のクランク角が約 40 度のときであり、全ての供試燃料でほぼ同じである。

図4に正味燃料消費率 BSFC と正味熱効率 BTE を示す。エステル系燃料の正味燃料消費率は軽油に比べて高い値を示している。これは、表2に示すようにエステル系燃料の低発熱量が軽油に比べて約 15% 低いために、同じ出力を得るには余計に燃料が必要のためである。しかし、図4から、PkME の正味熱効率は他の供試燃料とほぼ同じことが分かる。

図5に排ガス中の HC 濃度、CO 濃度、Smoke 濃度および NO_x 濃度を示す。図5からエステル系燃料の HC および CO 濃度は軽油より低減しており、これは燃料中に含まれる酸素により燃焼が良好であったためと考えられる。PkME の HC および CO 濃度は CME や PME とほぼ同等である。PkME の Smoke 濃度は中高負荷において CME より若干増加するものの、軽油や PME に比べて低減している。PkME は PME に比べ低動粘度・高揮発性であるので、噴霧の微粒化、噴霧液滴の蒸発が良くなるとともに、燃料中の酸素含有率が約 3% 高いので、噴霧の燃料過濃部分で酸素が補われ、噴霧内での「すす」の発生が少なかったためと考えられる。また、PkME は CME より酸素含有率が幾分少なく、動粘度および揮発性が若干劣るので、中高負荷において CME より噴霧の燃料過濃部分において「すす」の発生が幾分多かったためと考えられる。PkME の Smoke 濃度は負荷 100% において軽油より約 45% 低減される。図5から、PkME の NO_x 濃度は高負荷において軽油より若干低く、CME より若干高くなっていることが分かる。図3と図5を比較すると、PkME や CME は軽油より着火後の最大熱発生率が低い(このとき、PkME や CME の着火遅れは軽油より

クランク角で約 0.5 度短い) ため、燃焼温度が低下し、負荷 100%において NOx 濃度が軽油より幾分低減したと考えられる。しかし、PME の最大熱発生率は PkME や CME よりさらに低い NOx 濃度はこれらとほぼ変わらない。これは、PME が PkME や CME より着火が早く (PME は、着火遅れが PkME や CME よりクランク角で約 0.7 度短く、噴射時期が約 0.3 度早くなるので、着火時期が軽油より約 1.5 度早期化している)、燃焼温度が早期に高温化して高温滞留時間が長くなったため、最大熱発生率の低下による燃焼温度低下の効果と相殺して、ほぼ同じ NOx 濃度を示したと考えられる。

以上の結果から、PkME は CME と同様に、着火性に優れ、排ガス中の HC、CO および Smoke 濃度を軽油よりも低減できるディーゼル代替燃料である。

4・2 脂肪酸エステルของディーゼル燃焼特性に及ぼすアルキル基 (アルコールに基づくアルキル基) の影響 図 6 に PkEE および PkBE の燃料噴射時期、着火遅れおよび着火時期を示す。図 6 より、PkEE および PkBE の燃料噴射時期および着火遅れは PkME とほぼ同じであることが分かる。したがって、着火性に及ぼす脂肪酸エステルของアルキル基 (アルコールに基づくアルキル基) の影響はほとんどなかった。

図 7 に BMEP=0.67MPa (負荷 100%) における PkEE および PkBE の熱発生率および噴射ノズルのニードルリフトを示す。PkEE および PkBE の燃料噴射期間は軽油より長く、PkME とほぼ同じであることが分かる。これは、上述したように、エステル系燃料の低発熱量が軽油より低く、同じ出力を得るには燃料が余計に必要なために、燃料噴射期間が長くなったためであると思われる。図 3 より、PkEE および PkBE の熱発生率は PkME とほぼ同じであることが分かる。したがって、熱発生率に及ぼす脂肪酸エステルของアルキル基の影響はほとんどなかった。

図 8 に PkEE および PkBE の正味燃料消費率 BSFC と正味熱効率 BTE を示す。PkME、PkEE、PkBE の順に正味燃料消費率が若干減少することが分かる。これは、表 2 に示すように低発熱量が PkME、PkEE、PkBE の順に若干増加するため、同じ出力を得るのに燃料が少なくて済むためである。しかし、図 4 から、PkEE および PkBE の正味熱効率は PkME とほぼ同じことが分かる。

図 9 に PkEE および PkBE の排ガス中の HC 濃度、CO 濃度、Smoke 濃度および NOx 濃度を示す。図 9 より、PkBE の HC および CO 濃度は PkME より増加し、PkEE は PkME より低負荷において若干増加する

ことが分かる。また、PkBE の CO 濃度は低負荷で軽油より若干低減し、中・高負荷で軽油とほぼ同じである。脂肪酸エステルของアルキル基 (アルコールに基づくアルキル基) の炭素数が増加するほど、燃料の動粘度が上昇 (表 2) し、揮発性が低下 (図 1) する。そのために、噴霧の微粒化が悪くなるとともに、噴霧液滴の蒸発が悪くなり、HC および CO 濃度が増加したと考えられる。また、アルキル基の炭素数の増加による燃料中の酸素含有率が低下したことも HC および CO 濃度の増加要因と考えられる。Smoke 濃度は、PkME、PkEE および PkBE の間でほぼ同じであった。

Fig. 6 Injection timing and ignition delay of PkEE and PkBE

Fig. 7 Rate of heat release and needle lift of PkEE and PkBE

Fig. 8 Brake specific fuel consumption and brake thermal efficiency of PkEE and PkBE

Fig. 9 Exhaust emissions of PkEE and PkBE

アルキル基の異なる燃料は、動粘度・揮発性・酸素含有率が異なるので、HC および CO のような違いが Smoke 濃度においても現れると考えられるが、今回の実験においては有意な差として測定されなかった。また、NOx 濃度も PkME, PkEE および PkBE の間で優位な差は無かった。

以上の結果から、PkEE および PkBE は PkME と同様に、着火性に優れ、排ガス濃度を軽油よりも低減できるディーゼル代替燃料である。また、PkME, PkEE および PkBE の間では脂肪酸エステルアルキル基（アルコールに基づくアルキル基）の影響は、着火性および熱発生率にはほとんど影響せず、排ガス中の HC および CO 濃度に影響することが分かった。

5. 結 論

パーム核油メチルエステル (PkME) を製造し、直噴式ディーゼル機関に適用して燃焼・排ガス特性の実験を行い、パーム油メチルエステル (PME)、ココナツ油メチルエステル (CME) および JIS 2 号軽油の場合と比較検討し、PkME の軽油代替ディーゼル燃料としての利用の可能性を検討した。さらに、PkME の低温流動性を改善するために、市販のエタノールおよび 1-ブタノールによりパーム核油エチルエステル (PkEE) およびパーム核油ブチルエステル (PkBE) を製造し、燃料性状の測定とディーゼル燃焼実験を行い、脂肪酸エステルアルキル基（アルコールに基づくアルキル基）の違いによるディーゼル燃焼特性を検討した。その結果、以下の結論を得た。

PkME に対して、

(1) JIS 規格程度の PkME を製造することができ、PkME は CME と同様に、PME より低動粘度・高揮発性で軽油の性状により近いバイオディーゼルである。また、PkME の流動点は -5.0°C で、CME と同じである。

(2) PkME の着火遅れは、軽油より幾分短く、CME とほぼ同じである。また、PkME の熱発生率は CME とほぼ同じである。また、PkME の正味熱効率は PME, CME および軽油とほぼ同じである。

(3) 排ガス中の Smoke 濃度は PkME の方が PME より低く、CME より若干高い程度であり、軽油より負荷 100%において約 45%低減される。また、PkME の NOx 濃度は PME とほとんど同じであり、PkME の HC および CO 濃度は CME とほとんど同じである。

PkEE および PkBE に対して,

(4) JIS 規格程度の PkEE および PkBE を製造することができ, PkEE の流動点は -7.5°C で, PkEE の流動点は -10.0°C であり, PkME より改善される.

(5) PkEE および PkBE の着火遅れおよび熱発生率は PkME とほぼ同じである. また, PkEE および PkBE の正味熱効率は PME, 軽油とほぼ同じである.

(6) PkBE の HC および CO 濃度は PkME より増加し, PkEE は PkME より低負荷において若干増加する. また, Smoke および NO_x 濃度は PkME, PkEE および PkBE の間で優位な差は無い.

(7) PkME, PkEE および PkBE の間では脂肪酸エステルアルキル基 (アルコールに基づくアルキル基) の影響は, 着火性および熱発生率にはほとんど影響せず, 排ガス中の HC および CO 濃度に影響する.

以上の結果から, PkME は CME と同様に, 流動点が -5.0°C で, 着火性に優れ, 排ガス濃度を軽油より低減でき, ディーゼル代替燃料として有望であると考えられる. また, PkEE および PkBE は流動点が PkME よりそれぞれ 2.5°C , 5.0°C 改善され, 排ガスは HC および CO 濃度が若干増加する程度であり, 使用するアルコールの違いのために PkME より高コストになるが, 低温対策用のディーゼル代替燃料としては PkME より有望と考えられる. 本研究は燃焼特性に主眼をおいたものであり, 燃料の違いによる機器の耐久性に関する潜在的な問題については, 今後検討が必要である.

終わりに, 本研究の一部は日本機械学会 RC234 研究分科会の研究費により実施した. また, 実験には鹿児島大学工学部 亀田昭雄 技術専門職員の協力を得た. ここに記して謝意を表します.

文 献

- (1) U.S. Department of Energy, 2004 Biodiesel Handling and Use Guidelines, (2004), pp. 1-60.
- (2) Sheehan, J., Camobreco, V., Duffield, J., Groavoski, M., Shapouri, H., An Overview of Biodiesel and Petroleum Diesel Life Cycles, *NREL/TP-580-24772* (1998), pp. 1-47.
- (3) Food and Agriculture Organization of the United Nation, Statistical Databases, <http://faostat.fao.org/>.
- (4) Hamasaki, K., Kinoshita, E., Matsuo, Y., Jazair, W., Utilization of Palm Oil for Diesel Fuel, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 68, No.667 (2002), pp. 958-963 (in Japanese).
- (5) Kinoshita, E., Hamasaki, K., Myo, T., Combustion Characteristics of A Diesel Engine with Palm Oil Methyl Ester and Its Blended Fuel with Gas Oil, *Proceeding of 2004 FISITA World Automotive Congress*, Paper no. F2004V077 (2004), pp. 1-15.
- (6) Myo, T., Hamasaki, K., Kinoshita, E., Kitte, M., Diesel Combustion Characteristics of Coconut Oil Methyl Ester, *Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series B*, Vol. 72, No.715 (2006), pp. 846-851 (in Japanese).
- (7) Kinoshita, E., Myo, T., Hamasaki, K., Tajima, H., Zhang, R., Diesel Combustion Characteristics of Coconut Oil and Palm Oil Biodiesels, *SAE Paper* 2006-01-3251 (2006), pp.1-10.
- (8) Kono, N., Fukumoto, J., Iizuka, T., Takeda, H., Influence of FAME Blending into Diesel Fuel on Plugging Characteristics of Fuel Supply System in Diesel Vehicle at Low Temperatures, *Proceeding of 2005 JSAE Annual Autumn Congress*, No.117-05 (2005), pp. 25-30 (in Japanese).
- (9) Knothe, G. and Steidley, K.R., Kinematic viscosity of biodiesel fuel components and related compounds. Influence of compound structure and comparison to petrodiesel fuel components, *Fuel*, Vol. 84 (2005), pp. 1059-1065.
- (10) Klopfenstein, W.E., Effect of Molecular Weights of Fatty Acid Esters on Cetane Number as Diesel Fuels, *JAOCS*, Vol.62, No.6 (1985), pp. 1029-1031.
- (11) Graboski, M.S., McCormick, R.L., Alleman, T.L., Herring, A.M., The Effect of Biodiesel Composition on Engine Emissions from a DDC Series 60 Diesel Engine, *NREL/SR-501-31461* (2003), pp. 1-81.
- (12) Knothe, G., Dependence of biodiesel fuel properties on the structure of fatty acid alkyl esters, *Fuel Processing Technology*, Vol. 86 (2005), pp. 1059-1070.