J31

パーム核油ブチルエステルのディーゼル燃焼特性

Diesel Combustion Characteristics of Palm Kernel Oil Buthyl Ester

○学 九万田 祐介(鹿児島大院) 正 木下 英二(鹿児島大)

学 植田 裕(鹿児島大院) 学 鶴 英憲(鹿児島大院)

Yusuke KUMANDA, Eiji KINOSHITA, Yuu UEDA, Hidenori TSURU
Kagoshima University, 1-21-40, Korimoto, Kagoshima

Key Words: Diesel Engine, Alternative Energy, Biomass Energy, Liquid Fuel, Biodiesel, Palm Kernel Oil, Palm Oil, Buthyl Ester

1. はじめに

パーム油は生産量が多く、低コストであり、パーム油メチルエステル(PME)はディーゼル代替燃料として有望であるが、流動点が12.5℃と高い。パームの実からパーム油の他にパーム核油が取れ、パーム核油はパーム油と異なり、比較的炭素数の少ないラウリン酸等を多く含んでいる。著者らはこれまでに、パーム核油メチルエステル(PKME)の研究を行い、PKMEは流動点が-5.0℃であること、PMEや軽油に比べディーゼル排ガスを低減できる有望なディーゼル代替燃料であることを報告した⁽¹⁾。また、著者らはPMEの流動点を改善するために1-ブタノールを用いてパーム油をエステル変換し、その流動点がPMEより5.0℃改善すること、排ガスがPMEとほぼ同じであることを報告した⁽²⁾。パーム核油の場合もパーム油と同様に、1-ブタノールによりエステル変換が可能であると考えられ、流動点の改善が図れると思われる。

本研究では、パーム核油バイオディーゼルの低温流動性を改善するために、1-ブタノールを用いてパーム核油ブチルエステル(PKBE)を製造し、流動点を含む燃料性状を測定し、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PKMEおよびJIS2号軽油の場合と比較検討した。

2. 供試燃料

供試燃料としてPKBE、PKMEおよびJIS2号軽油を用いた。エステル燃料は一般的なアルカリ触媒法により製造した。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1に供試燃料の性状を示す。C、H、Oの値はガスクロマトグラフで測定した脂肪酸組成の結果(表2)から算出した。低発熱量、密度、動粘度、流動点、水分、カリウム、アルコール、モノ・ジ・トリグリセリド、50%蒸留温度は測定値である。表1から、エステル系燃料と軽油との違いとして、エステル系燃料は酸素を含有していること、硫黄をほとんど含んでいないことが分かる。PKBEはPKMEに比べて酸素含有率が低くなり、そのために低発熱量が低い。また、PKBEの動粘度、50%蒸留温度、ジグリセリドはPKMEより高くなっている。PKBEの流動点は-10.0℃であり、PKMEよりも5.0℃改善している。脂肪酸エステルはアルキル基の炭素数が多いほど凝固点が低い⁽³⁾ので、PKMEの流動点がPKMEより低下したと考えられる。PKBEはPKME同様、EU規格程度の高品質なエステル燃料である。

3. 実験装置および実験方法

供試機関は、水冷式直噴単気筒四サイクルディーゼル、排気量1007cm³、ボア×ストローク110×106mm、圧縮比16.3、連続定格出力は11.77kW/2200rpmである。噴射系は軽油使用時の標準噴射系のみで、機関回転数を2000rpm一定として負荷を5段階(負荷100%時で正味平均有効圧力BMEP=0.67MPa)に変化させて実験を行った。排ガス中のNO_x濃度はCLD、HC濃度はFID、CO濃度はNDIR、Smoke濃度は光透過式スモークメータを使用して測定し、シリンダ内圧力および噴射ノズルのニードルリフトを測定した。

Table 1 Properties of test fuels

Test Fuels		PKBE	PKME	Gas Oil
Cetane number		—	—	56
Net calorific value	MJ/kg	37.01	35.61	43.12
Density@288K	kg/m ³	865	877	826
Viscosity@313K	mm ² /s	3.2	2.9	2.5
Pour point	°C	-10.0	-5.0	-12.5
C	mass%	75.9	73.9	87.3
H	mass%	12.5	12.3	12.5
O	mass%	11.6	13.8	0
Sulphur	mass ppm	<10	<10	<500
Water	mass ppm	1088	1118	<300
K	mg/kg	<5.0	<5.0	—
Alcohol	mass%	<0.2	<0.2	—
Monoglyceride	mass%	0.88	0.77	—
Diglyceride	mass%	0.45	0.27	—
Triglyceride	mass%	0.19	0.10	—
50% Distillation temp.°C		316	273	302

Fig. 1 Injection timing and ignition delay

Table 2 Fatty acid methyl esters composition (wt%)

FAME	PKBE	PKME
caprylic(8:0)	3.58	3.27
capric(10:0)	3.27	3.04
lauric(12:0)	49.94	50.85
myristic(14:0)	14.89	15.10
Palmitic(16:0)	7.40	8.01
Stearic(18:0)	2.51	2.06
Oleic(18:1)	14.56	15.11
Linoleic(18:2)	2.08	2.35
Linolenic(18:3)	0.05	0.10

4. 実験結果および考察

図1にBMEP=0.67MPaでの燃料噴射時期、着火時期および着火遅れ期間を示す。これらの値はニードルリフトおよびシリンダ内圧力から求めたものである。エステル系燃料と軽油の燃料噴射時期はほぼ同じである。また、エステル系燃料の着火遅れは軽油より短く、エステル系燃料ではPKBEがPKME比若干長い。

図2にBMEP=0.67MPaにおける熱発生率線図を示す。着火後の最大熱発生率が高い順に軽油、PKBE、PKMEとなっている。着火遅れが短い燃料ほど、着火遅れ期間に形成される可燃混合気量が少なくなり、着火後の急激な燃焼が抑えられたため、最大熱発生率が低くなったと考えられる。また、燃焼終了は全ての燃料でほぼ同じであった。

図3に正味熱効率BTEおよび排ガス特性を示す。エステル系燃料は軽油とほぼ同等のBTEを得ていることが分かる。HC濃度は、エステル系燃料が軽油に比べ低減している。エステル系燃料は軽油に比べ着火遅れ期間が短く、含酸素燃料であるため、燃焼が良好であったと考えられる。エステル系燃料を比べるとPKBEの方がPKMEよりも高くなっている。これは表1の50%蒸留温度が示すように、PKBEの方がPKMEよりも蒸発性が悪いため不完全燃焼を生じやすく、HC濃度が高くなったと考えられる。CO濃度は高い順にPKBE、軽油、PKMEとなっている。PKBEは蒸発性が悪く、不完全燃焼を生じやすいため最も値が高くなったと考えられる。

Smoke濃度は、軽油に比べエステル系燃料の方が低減している。Smoke濃度は高温火炎内燃料成分の熱分解過程において酸素不足であった場合に発生するので、エステル系燃料のSmoke濃度が軽油に比べ減少したのは、燃料中に含まれる酸素が火炎内の局所的酸素不足を補ったためであると考えられる。NO_x濃度は、BMEP=0.50MPaまでは全ての供試燃料でほぼ同じ値となっている。BMEP=0.67MPaにおけるNO_x濃度は軽油に比べエステル系燃料が低い値となっていることが分かる。一般に、着火後の最大熱発生率が高い方が、燃焼温度が高くなり、NO_x濃度が高くなると言われている。図2によるとエステル系燃料は着火後の最大熱発生率が軽油に比べ低いいため、燃焼温度が高くなり、PKBEのNO_x濃度が軽油に比べ低い値を示したと考えられる。

Fig. 2 Rate of heat release and needle lift

以上の結果から、PKBEはHC、Smoke、NO_xの排出量において軽油と同等、もしくはそれ以下となり、特にSmokeに関しては大幅な低減が期待できるといえる。また表1の燃料性状より、PKBEはPKMEに比べ流動点が改善できる。これよりPKBEはディーゼル代替燃料としてPKME同様に有望であると考えられる。

5. 結論

- (1) パーム油を1-ブタノールでエステル化することにより流動点を -10.0°C まで下げることができ、PKBEはPKME (-5.0°C)より低温流動性が改善される。
- (2) PKBEはPKMEと比べてHC濃度、CO濃度が増加するが、軽油に比べHC濃度、Smoke濃度は低減しており、特にSmoke濃度に関してはBMEP=0.67MPaで軽油の排出量の約60%である。
- (3) EU規格程度のPKBEを製造することが可能で、PKBEはPKMEと同様にディーゼル代替燃料として有望である。

本研究は燃料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 R234 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 亀田昭雄技術専門職員、学部生 駒路知博君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) Myo, T. et al., SAE Paper 2007-32-0068.
- (2) 木下, 他 3 名, 機構論, No. 07-1 (3), (2007), 219-220.
- (3) Knothe, G., Fuel Processing Technology, 86, (2005), 1059-1070.

Fig. 3 Brake thermal efficiency and exhaust emissions