J41 バイオディーゼル着火バイオガス 2 元燃料によるディーゼル機関の燃焼特性

Combustion Characteristics of a Dual Fuel Diesel Engine with Bio-Gas and Biodiesel

正 浜崎 和則 (鹿児島大) ○学 下土橋 修 (鹿児島大院)

正 木下 英二 (鹿児島大) 学 植田 裕 (鹿児島大院)

Kazunori HAMASAKI, Osamu SHIMOTSUCHIBASHI, Eiji KINOSHITA and Yuu UEDA

Kagoshima University, 1-21-40, Korimoto, Kagoshima

Key Words : Diesel Engine, Dual Fuel, Bio-Gas, Alternative Energy, Biomass Energy, Methyl Ester

1. はじめに

著者らは、ディーゼル機関の 2 元燃料方式において、主燃料に CNG、着火燃料にバイオディーゼル燃料 (BDF) を用いた実験を行い、軽油を着火燃料に使用した場合と比較し、BDF が着火燃料として十分使用可能であることを報告した⁽¹⁾。メタン発酵等で製造されるバイオガスは CNG に比べ低カロリーであり、ガス機関で使用するよりも高熱効率のディーゼル機関で使用する方がエネルギーを有効利用できると考えられる。

本研究では、2 元燃料方式のディーゼル機関において、主燃料にバイオガスを模擬した低カロリーガス (LCG) を、着火燃料に BDF を用いた実験を行い、熱効率、燃焼・排ガス特性について BDF/CNG、軽油/LCG、軽油/CNG の場合と比較検討した。

2. 供試燃料

供試燃料として、吸入空気と予混合させる主燃料にはメタン発酵ガスを模擬した LCG と都市ガス 13A 相当の CNG を用い、着火燃料としてなたね油メチルエステル (RME) および JIS2 号軽油を用いた。表 1 に供試 2 元燃料の組合せを示す。表 2 に LCG、CNG の燃料性状を示し、表 3 に RME および JIS2 号軽油の燃料性状を示す。RME は EU 規格程度のものである。

3. 実験装置および実験方法

図 1 に実験装置の概略を示す。実験装置は、供試機関、吸入空気系、ガス燃料供給系から構成される。供試機関は、横型水冷式直噴単気筒四サイクルディーゼルで、排気量 547cm³、ボア×ストローク 88×90mm、圧縮比 18、連続定格出力は 10ps/2600rpm であり、噴射系は軽油使用時の標準噴射系のままで実験を行った。ガス燃料供給系はガスボンベ、2 つの圧力調整器、2 つの逆止弁 (逆火防止装置)、流量計、流量調整バルブから構成される。ガス燃料は吸入空気と十分に混合させるため、供試機関とサージタンクの間に混合室を設け、その中にガス燃料供給管を取り付けている。吸入空気の圧力を一定にするため、ルーツブロアをサージタンクの前に設けている。また、排ガス中の NO_x 濃度は CLD、HC 濃度は FID、CO 濃度は NDIR、Smoke は光透過式スモークメータを使用して測定し、また、シリンダ内圧力を測定した。

実験は、ガス燃料と着火燃料の燃料供給比率におけるガス燃料と着火燃料の違いによる影響を詳細に検討するため、機関回転数を 2000rpm 一定にし、負荷 100% (正味平均有効圧力は 0.48 MPa) の場合においてガス流量 (CNG 流量は 0~28 l/min, LCG 流量は 0~53 l/min) を変化させて行った。ここで、CNG 流量が 28 l/min のとき、主燃料ガスの予混合気の当量比 ϕ_g は約 0.63、LCG が 53 l/min のとき、 ϕ_g は約 0.66 である。

4. 実験結果および考察

R_{LCG} は LCG 予混合気の当量比が約 0.6 まで安定した運転が可能であり、 R_{CNG} の場合とほぼ同程度であった。図 2 に、熱発生率線図において、 ϕ_g が同程度の場合の R_{LCG} と R_{CNG} の比較を示す。図 2 より、主燃料に LCG を用いた方が CNG を用いた場合より着火遅れは長くなることが分かる。これは、

Table 1 Combinations of dual fuels

Test Fuels	Main Fuel	Ignition Fuels
R_{LCG}	LCG	RME
G_{LCG}	LCG	Gas Oil (JIS NO.2)
R_{CNG}	CNG	RME
G_{CNG}	CNG	Gas Oil (JIS NO.2)

Table 2 Properties of test gas

Test main fuel		CNG	LCG
Composition	CH ₄ vol %	88.4	60.25
	C ₂ H ₆ vol %	6.1	0
	C ₃ H ₈ vol %	2.6	0
	C ₄ H ₁₀ vol %	2.9	0
	CO ₂ vol %	0	39.75
Mean molecule wight	g/mol	18.85	27.16
Density	kg/m ³ _N	0.841	1.212
Net calorific value	MJ/m ³ _N	41.34	21.57
Net calorific value	MJ/kg	49.16	17.80
Stoichiometric air-fuel ratio		16.83	6.12

Table 3 Properties of test ignition fuels

Test Fuels		RME	Gas Oil
Cetane number		51	58
Net calorific value	MJ/kg	37.09	43.12
Density @ 288K	kg/m ³	883	828
Viscosity @ 313K	mm ² /s	4.3	2.4
Flash point	°C	166	62
Pour point	°C	-10.0	-12.5
C	wt%	77.6	87.3
H	wt%	11.9	12.5
O	wt%	10.5	0
Sulfur	wt%	0.0006	0.04
Water	wt%	0.1	0
Methanol	wt%	<0.2	—
Monoglyceride	wt%	0.34	—
Diglyceride	wt%	0.21	—
Triglyceride	wt%	0.04	—
Stoichiometric air-fuel ratio		12.57	14.52
50% distillation temp.	°C	339	275

Fig.1 Experimental apparatus

LCGに含まれるCO₂によってLCGと空気の予混合気の熱容量が大きくなり、酸素濃度が低くなるためである。熱容量が大きいほど着火温度に達するのに時間が長くなり、予混合気の酸素濃度が少ないほど着火燃料の噴霧形成段階で着火に必要な酸素を得るのに時間がかかるため、LCGの方がCNGより着火遅れが長くなったと考えられる。

図3に、全投入熱量に対する主燃料ガスの熱量割合 Q_g/Q_t に対する正味熱効率 BTE、当量比 ϕ_g 、総括当量比 ϕ_t を示し、図4に、 Q_g/Q_t に対する排ガス特性を示す。ここで、 $Q_g/Q_t=0\%$ は着火燃料のみの運転、すなわち、通常のディーゼル運転である。BTEは、 Q_g/Q_t の増加にともない、一定の割合で低下している。これは Q_g/Q_t の増加にともない、2元燃料運転の排ガス中のHCおよびCO濃度がディーゼル運転より急激に高くなり、この不完全燃焼によるエネルギー損失が2元燃料運転のBTE低下の主な原因の一つと考えられる。

図4より、すべての2元燃料でHC濃度は、 Q_g/Q_t の増加にともない一定の割合で増加している。 Q_g/Q_t の増加にともない主燃料であるガス流量の増加により、シリンダ壁周辺の消炎層内の主燃料のガス濃度が増加するため、この部分の未燃HCが増加したと考えられる。CO濃度は、 $Q_g/Q_t=77\%$ ($\phi_g \approx 0.5$)までは増加し、それ以降は減少している。 Q_g/Q_t に対するCO濃度の傾向は、河崎らの実験結果⁽²⁾と同様である。

図4より、LCG2元燃料のNOx濃度は、 Q_g/Q_t の増加にともなって減少していることがわかる。また、LCG2元燃料の方がCNG2元燃料よりNOx濃度が低い値を示している。これは、LCGにはCO₂が約40vol%含有しているため、燃焼ガスの熱容量が増加して、燃焼温度が低く抑えられたため、CNG2元燃料より低減したと考えられる。 R_{LCG} のNOx濃度は G_{LCG} とほぼ同じ程度か若干高い程度である。 R_{LCG} のNOx濃度は、 $Q_g/Q_t=78\%$ および $Q_g/Q_t=91\%$ の場合、ディーゼル運転と比べて、それぞれ約65%および74%低減した。

また、全ての二元燃料においてSmoke濃度は Q_g/Q_t の増加にともない減少している。これは、 Q_g/Q_t の増加にともない着火燃料の噴射量が減少し、噴霧内の燃料過濃部分で発生する‘すす’が少なくなるためにSmoke濃度が低減したと考えられる。また、 R_{LCG} のSmoke濃度は G_{LCG} に比べて若干低減している。これは、着火燃料であるRMEが燃料中に酸素を含有しているため、着火燃料の噴霧内において‘すす’の発生が低減したためと考えられる。 R_{LCG} のSmoke濃度は、 $Q_g/Q_t=78\%$ では、ディーゼル燃料と比べて約70%低減した。

以上の結果より、2元燃料方式のディーゼル機関において、主燃料に低カロリーガスを用いた場合もCNGと同様にバイオディーゼルは着火燃料として十分使用可能である。

5. 結論

- (1) R_{LCG} はLCG予混合気の当量比が約0.6まで安定した運転が可能であり、 R_{CNG} の場合とほぼ同様である。
- (2) また、 R_{LCG} のBTEは同じ予混合気の当量比において R_{CNG} の場合とほぼ同じである。
- (3) R_{LCG} の排ガス中のNOx濃度は R_{CNG} に比べ低減する。 R_{LCG} のHC、COおよびSmoke濃度は R_{CNG} とほぼ同じである。

最後に、本研究の一部は平成16年度NEDOプロジェクトの委託研究の研究費により実施した。また、実験には、大学生の宮原和弘君の協力を得た。ここに記して謝意を表します。

参考文献

- (1) 下土橋修・ほか3名, 機講論 068-1, (2006), 147-148.
- (2) 河崎 澄・ほか1名, 自技会前刷集 116-06, (2006), 15-20.

Fig.2 Comparison of R_{LCG} and R_{CNG} on heat release rate

Fig.3 Brake thermal efficiency and equivalence ratio versus Q_g/Q_t

Fig.4 Exhaust emissions versus Q_g/Q_t