

小型ディーゼル機関の廃油系混合燃料を用いた燃焼制御

本宮, 悠佑 / MOTOMIYA, Yusuke

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

55

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

5

(発行年 / Year)

2014-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00010377>

小型ディーゼル機関の廃油系混合燃料を用いた 燃焼制御

THE COMBUSTION CONTROL BY USING BLENDED FUEL WITH A KIND OF WASTE OIL FOR SMALL DIESEL ENGINE

本宮 悠佑

Yusuke MOTOMIYA

指導教員 川上 忠重

法政大学大学院工学研究科機械工学専攻修士課程

Nowadays, the global environmental problems become very serious. Therefore it is necessary to reduce the exhaust gas of internal combustion engines. It is well known that the biofuel can possible to reduce the HC, CO, and CO₂ because it includes oxygen in the fuel. Experiments have been carried out to determine the influence on combustion characteristics for small diesel engine by using blend fuel with a kind of waste oil. The main conclusions in this study are as follows; 1)The CO emission by using blended fuel with BDF is smaller than that of light oil. 2)The CO₂ emission by using blended fuel are almost same than that of light oil at any blended rate. 3)The O₂ emission is the almost constant for all the blended fuel and light oil. 4)The HC emission by using blended fuel can be possible to reduce by using BDF addition fuels. 5)By using the blended fuel with ethanol, the NOx emission decreases than that of light oil.

Key Words : BDF, Ethanol, Diesel engine, Exhaust gas

1. 結論

近年，深刻な環境問題として大気汚染や地球温暖化，石油資源枯渇等が挙げられる．ディーゼル機関はガソリン機関よりも熱効率に優れ，燃料のコスト性や CO₂ の排出抑制という観点から，これら問題の改善策として注目されている．その一方，ディーゼルへの排出規制は年々厳しくなっている．これらの観点から，軽油の持続的な代替燃料として着目されている廃油系燃料が小型発電用として普及しつつある．本研究では，主成分であるバイオディーゼル燃料(BDF)及びエタノールに着目した．

これらの燃料はバイオマス製造が可能なことから石油代替燃料とされている．バイオディーゼルは動・植物油を原料とするため，毒性が低く，成分分解がよく，硫黄分をほとんど含まない再生可能な含酸素燃料で有り，HC，CO 等の低減が可能である．しかし，軽油に比べ動粘度が高く，蒸発性に乏しいため噴霧の微粒化が抑制されてしまう．その欠点を補うために，低沸点燃料であるエタノール混合が効果的と考えられる．また，バイオディーゼルは動・植物油とメタノールからエステル反応により脂肪酸メチルエステルが得られるため，エタノールとの相溶性が高く任意の割合での混合が可能である．

[1],[2]

本研究では，小型ディーゼル機関を用いて BDF・軽油及び BDF・軽油・エタノールの混合燃料を使用し，燃焼

生成物低減及び，これら混合燃料の有用性を検討するため，CO，CO₂，NO_x，HC などの燃焼生成物を測定し，混合燃料における燃焼生成物の排出に及ぼす影響について検討を行った．

2. 実験装置及び実験方法

本研究に用いられる供試機関は，縦型空冷 4 サイクル単気筒ディーゼルエンジン（ヤンマー社製 L48A，ボア×ストローク：70mm×57mm，圧縮比 20.6）である．本供試機関の諸元表を Table1 に示す．

Table1 Engine specifications

Engine type	L48A 4stroke cycle diesel engine
Combustion system	Direct injection
Cooling system	Air-cooling
Number of cylinder	1
Bore×Stroke	70mm×57mm
Displacement	0.219L
Valve system	OHV
Injection pressure	19.6MPa
Compression ratio	20.6
Injection timing	17.5deg.BTDC
Maximum output	2.7kW/3000rpm

なお、本実験では、燃料供給系、吸排気系、冷却方式、潤滑系などは標準仕様から変更していない。
実験装置を Fig.1 に示す。また、以下に本実験で使用した燃料及び実験装置を示す。

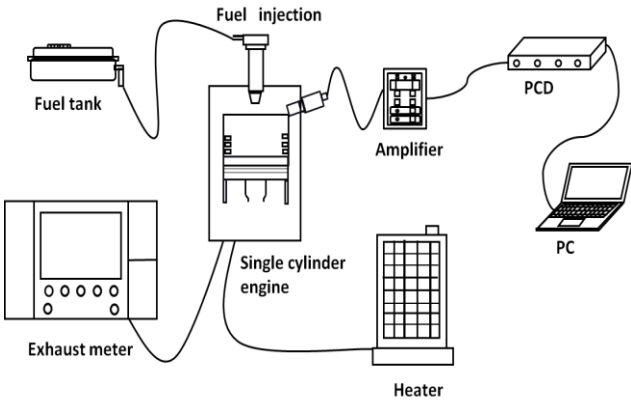


Fig.1 Experimental device

(1) BDF・エタノール混合燃料
ベース燃料として軽油を用い、BDF、エタノール混合燃料の BDF 添加率 W_B 、エタノール添加率 W_E はそれぞれ以下の式のように定義する。

$$W_B(\%) = \frac{\text{Volume of BDF}}{\text{Volume of base fuel}} \times 100$$
$$W_E(\%) = \frac{\text{Volume of Ethanol}}{\text{Volume of base fuel}} \times 100$$

まず、マグネチックスターラー（攪拌機）を 1400rpm で攪拌しているところに各添加率に相当する BDF とエタノールを混合させ、30 分間攪拌を行った。燃料性状として、軽油単体、BDF とエタノールの混合割合を 5, 10, 15, 20, 25 vol% と合わせて 30% となるようにそれぞれ変化させた燃料と、BDF 混合燃料の BDF 混合割合を 5% ずつ増加させた 5~40% と、BDF・エタノール混合燃料の BDF・エタノール混合割合を BDF35% エタノール 5%, BDF30% エタノール 10% とした、全 16 種類の燃料を用いて測定が行われた。なお、それぞれの混合割合に対し、E5（エタノール 5%）、B5（BDF5%）などと表記する。また、本実験範囲内において、混合燃料の短時間での分離は観察されていない。

Table2 には軽油、BDF、エタノールの燃料性状をそれぞれ示す。

Table2 Fuel Property

Fuel property	Light oil	BDF	Ethanol
Net Calorific value (MJ/kg)	43.12	41	26.79
Density @288K(kg/m ³)	824	882.7	783
Cetane number	56	52.4	8
C (wt%)	87.3	—	52.2
H (wt%)	12.5	—	13
O (wt%)	0	—	34.8
Pour point (K)	260.5	270.15	281
Flash point (K)	335	453	286
Boiling point (K)	443~643	—	351.37

(2) 設定負荷
グリーンウッド社製 GEH-K100N の遠赤外線ヒーターを用いて、設定負荷を 0, 350, 700, 1050W と調整可能となっている。
(3) 機関回転数
機関回転数は 5500rpm 一定とした。
(4) 燃焼生成物の測定
燃焼生成物の測定装置として AVL 社製 DiCom-4000 を使用した。機関を十分暖機運転した後、排気管から排出された燃焼生成物の一部を測定装置に導入し計測した。

3. 実験結果及び考察

Fig.2 に軽油をベース燃料とした、BDF・エタノール混合燃料使用条件下において、機関負荷に対する CO 排出量を、燃料性状をパラメータとして示す。この図から、B25・E5、B20・E10 の範囲では全負荷条件において、軽油単体とほぼ同様の CO 排出量を示しているのがわかる。これは、エタノールを添加したことによる、発熱量の低下及び気化潜熱に伴う燃焼温度の減少によって、CO 排出量は増加すると考えられるが、その一方、含酸素である BDF をエタノール添加率よりも多くしたことで燃焼促進効果が得られたためと考えられる。また、エタノール添加率の増大に伴って、特に B5・E25 では軽油単体よりも大幅に CO 排出量は増加している。これは上記に示したようにエタノール添加率を増加したことにより、燃焼温度が減少し CO 排出量が増加したためと考えられる。よって、CO 排出量はエタノール添加率に依存すると考えられる。

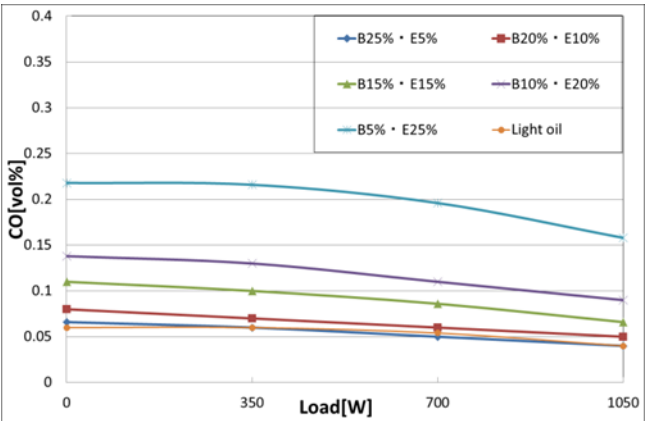


Fig.2 CO emission

Fig.3 に軽油をベース燃料とし、BDF・エタノール混合燃料使用条件下において、機関負荷に対する CO₂ 排出量を、燃料性状をパラメータとして示す。この図から、軽油と混合燃料を比較してみると、どの混合率でも大きな違いは見られなかった。ここで、エタノール添加からセタン価低下による着火遅れの増大、含酸素燃料の噴霧による混合気中の酸素濃度の増加、一方で総発熱量低下により CO₂ 低下も考えられたが、同時測定した O₂ 濃度の最大負荷時における排出量の減少結果より、良好な燃焼が行われたのではないかと考えられる。

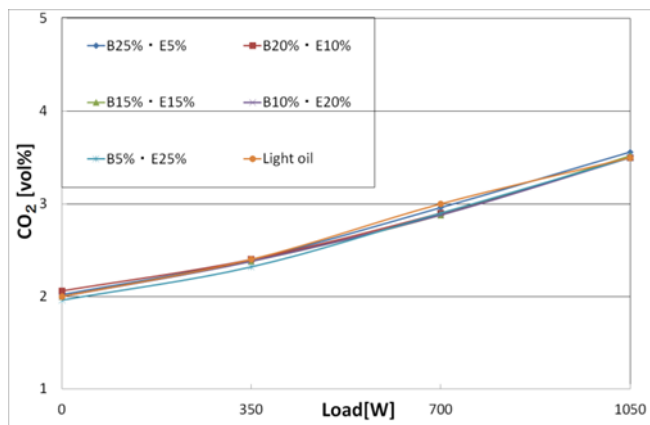


Fig.3 CO₂ emission

ベース燃料を軽油とした、BDF・エタノール混合燃料を用いた場合の、機関負荷に対する排ガス中のO₂濃度を、燃料性状をパラメータとして Fig.4 に示す。このグラフから、全ての混合割合で軽油と近い値を示している。また、負荷の増大に伴い、酸素濃度は低下している。これは、負荷の増大とともに吸入空気量が増加するが投入燃料量も増大するため、燃焼に参与する雰囲気酸素量が増大したことと起因すると考えられる。また、噴霧量増加による着火遅れ期間の遅延も考えられるが、今後の課題の一つである。

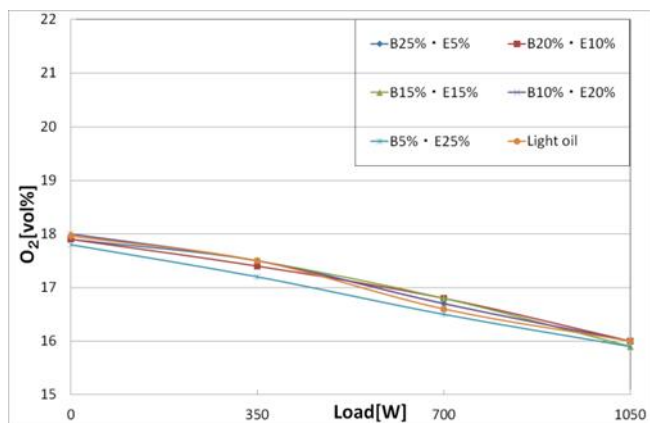


Fig.4 O₂ emission

BDF・エタノール混合燃料使用条件下での、機関負荷に対する HC 排出量を、燃料性状をパラメータとして Fig.5 に示す。この図から、B25・E5、B20・E10 の範囲では全負荷条件において、HC 排出量は軽油単体に比べ大きな差異は見られないことがわかる。これは、CO の場合と同様、エタノール添加によって燃焼温度は減少するが、BDF 添加率をエタノール添加率よりも多くしたことで燃焼促進効果が得られたためと考えられる。また、エタノール添加率の増大に伴い、特に B5・E25 では低負荷時において、HC 排出量が著しく増大した。これは、エタノール添加率増大による、燃料の総発熱量の減少に伴う火炎温度の低下によって、未燃分が増大したためと考えられる。また、高負荷時と低負荷時を比べると、高負荷では排出量の減少傾向が見られた。

これは、高負荷では燃料噴射量が増加するため燃焼温度が増大したためと考えられる。

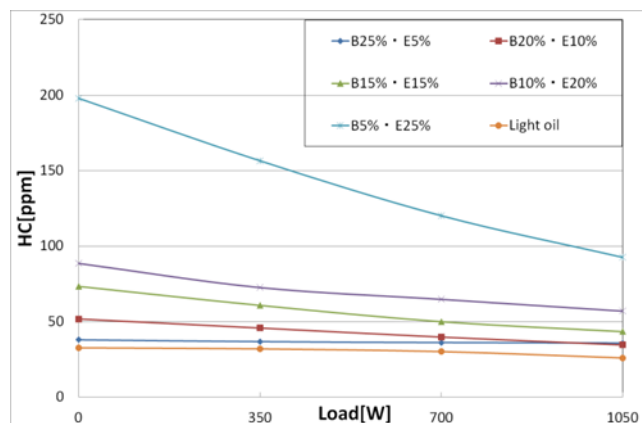


Fig.5 HC emission

Fig.6 に燃料性状をパラメータとして、BDF・エタノール混合燃料使用条件下における、機関負荷に対する NO_x 排出量を示す。この図から B25・E5、B20・E10 の範囲では全負荷条件において、CO、HC 同様軽油単体と比べ大きな差異は見られなかった。また、エタノール添加率の増大に伴い、軽油単体に比べ NO_x 排出量は減少しているのがわかる。これは、エタノール添加の増大に伴い総発熱量が低下したことにより、サーマル NO_x の排出量が減少したためと考えられる。また、高負荷時と低負荷時を比較すると、高負荷では排出量が増加している。これは、高負荷時の燃料噴射量の増加に伴う、燃焼温度の上昇によるものと考えられる。

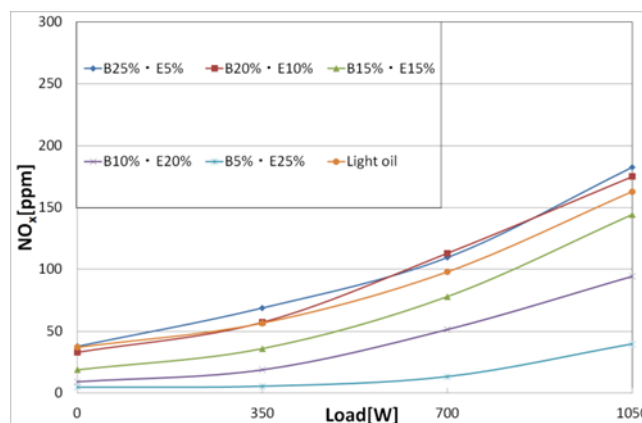


Fig.6 NO_x emission

ベース燃料を軽油とした、BDF 単添加と BDF・エタノール混合燃料を用いた場合の、各設定負荷に対する排ガス中の CO 濃度を、燃料性状をパラメータとして Fig.7 に示す。この図から、高 BDF 添加に伴い軽油単体よりも CO 排出量が減少していることがわかる。これは、含酸素燃料である BDF を添加することで混合気中の酸素濃度が増加し、燃焼促進効果が得られたためと考えられる。また、B35・E5 では軽油とほぼ同程度の排出量が確認された。これは、エタノール添加による、

発熱量の低下及び気化潜熱に伴う燃焼温度の減少によって、CO 排出量は増加すると考えられるが、エタノール添加率が 5%と少なく、含酸素である BDF の添加率の方が大幅に多いことから筒内温度が上昇したためと考えられる。また、B30・E10 では軽油単体よりも CO 排出量は増加している。これは上記に示したように、エタノール添加率を増加したことにより、燃焼温度が減少し CO 排出量が増加したものと考えられる。

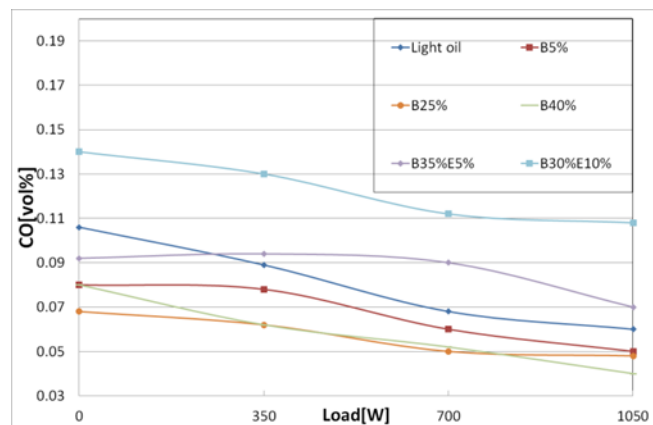


Fig.7 CO emission

ベース燃料を軽油とした、BDF 単添加と BDF・エタノール混合燃料での、各設定負荷に対する排ガス中の CO₂ 濃度を、燃料性状をパラメータとして Fig.8 に示す。この図から明らかなように、軽油と比較してどの混合割合でも大きな差異は本実験では観察されなかった。また、負荷の増大に伴い CO₂ 排出量も増加しているのがわかる。同時測定した O₂ 排出量のグラフから、O₂ 排出量は負荷の増大に伴い減少しており、このことから高負荷領域では燃焼が良好となり、CO₂ 排出量が増加したものと考えられる。

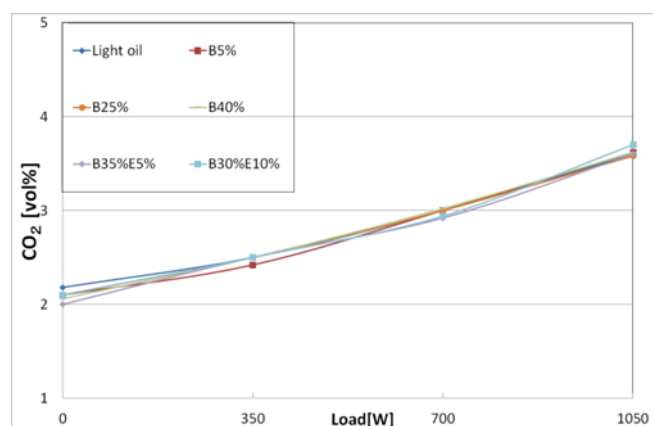


Fig.8 CO₂ emission

Fig. 9 に BDF 単添加と BDF・エタノール混合燃料使用条件下での、各設定負荷に対する O₂ 濃度を、燃料性状をパラメータとして示す。この図から、機関負荷の増大に伴い、排出量は低下しているのがわかる。これは、先と同様に負荷の増大に伴った着火遅れの増大と、

含酸素燃料の混合気中の酸素が十分に燃焼したためと考えられる。また、どの混合においても軽油と比べ大きな差異は見られなかった。

Fig.4 と Fig.9 の O₂ 排出量のグラフを比較すると、Fig.9 のグラフでは全体的に排出量が減少していることがわかる。これは、BDF を高割合で添加したことにより、燃焼率が増大し、消費する酸素量が増大したためと考えられる。

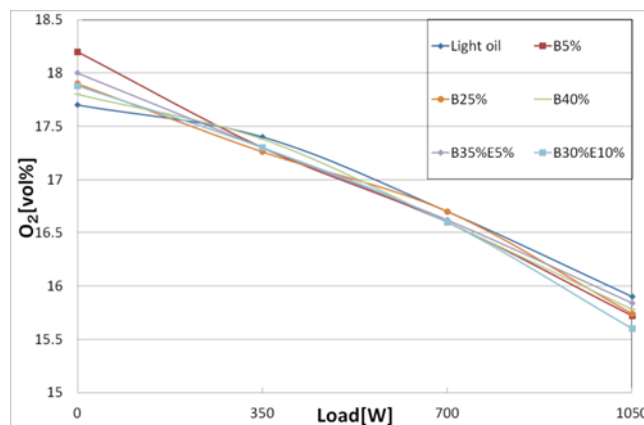


Fig.9 O₂ emission

Fig.10 に BDF 単添加と BDF・エタノール混合燃料使用条件下での、各設定負荷に対する HC 濃度を、燃料性状をパラメータとして示す。この図から、BDF を添加することで HC 排出量は軽油単体に比べ減少していることがわかる。これは、含酸素燃料である BDF を高添加することで燃焼温度が上昇したためと考えられる。また、B35・E5 では軽油とほぼ変わらない値を示している。これは、エタノール添加により燃焼温度は減少するが、エタノール添加率が 5%と少ないことから、BDF 添加による効果が顕著に得られたためと考えられる。また、B30・E10 では、HC 排出量が増大した。これは、総発熱量が低いエタノールの添加率を増大させたことによるものと考えられる。

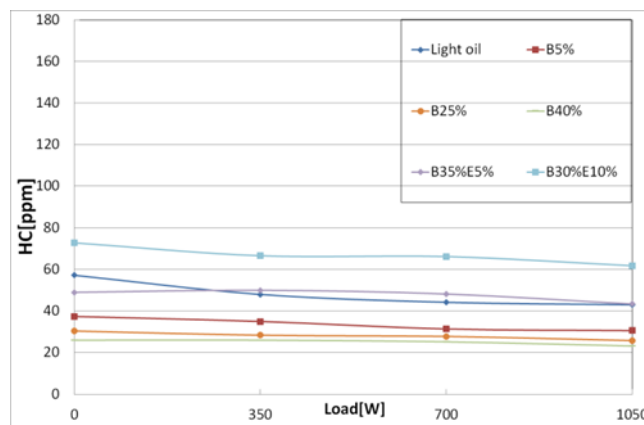


Fig.10 HC emission

Fig.11 に BDF 単添加と BDF・エタノール混合燃料を使用した際の、各設定負荷に対する NO_x 濃度を示す。

この図から、高 BDF 添加に伴い軽油単体よりも NO_x 排出量が増加しているのがわかる。これは、高 BDF 添加により酸素濃度が増加し燃焼温度が高くなったためと考えられる。また、軽油単体とエタノールを添加した際の値を比べると、エタノール添加率増加に伴い NO_x 排出量は減少しているのがわかる。これは、総発熱量が著しく低いエタノールを添加したことにより、 NO_x の排出量が減少したためと考えられる。

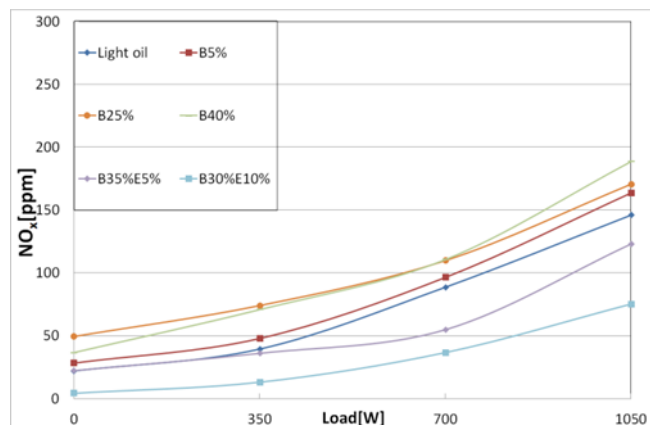


Fig.11 NO_x emission

参考文献

- 1) 首藤・他 2 名，機論，73-735，pp190~195，2007
- 2) 木下・他 3 名，機論，76-761，pp149~154，2010

4. 結論

本研究では、小型ディーゼル機関における軽油単体をベース燃料とし、BDF 及びエタノールを添加した混合燃料を用いた場合の燃焼生成物に及ぼす影響について検討を行った。以下に結果を示す。

- 1) BDF 混合燃料使用時の CO 排出量は、軽油に比べ減少する。
- 2) 軽油-BDF-エタノール混合燃料を用いた場合の CO_2 排出量は、どの混合割合においても軽油とほぼ同程度である。
- 3) O_2 排出量は、全ての混合燃料と軽油を比較して、ほぼ同程度の排出量である。
- 4) 軽油-BDF-エタノール混合燃料を用いた場合の HC 排出量は、BDF 添加により、低減が可能である。
- 5) エタノール混合燃料により、 NO_x 排出量は軽油と比較し減少する。

謝辞

本研究を行うにあたり、御指導、御鞭撻頂きました川上忠重教授に深く御礼申し上げます。また、様々な御協力をして下さった同研究室の皆様、Work shop の皆様にも深く御礼申し上げます。並びに、日本自動車工業(株)様の御協力に心から感謝致します。

最後に、同研究を行ってきました学部四年生の塩川真丈氏にも心から感謝申し上げます。