

1. 研究背景および目的

植物は毎年生産される恒久資源であり、また光合成によって空気中の二酸化炭素を吸収するため、植物油由来の燃料を燃やしエネルギー源として利用する際、排出する二酸化炭素は「増加ゼロ」とみなすことができる。このように植物油を利用したディーゼル燃料、つまりバイオディーゼル燃料は、欧米を中心にエネルギー問題と環境問題を同時に解決できるエネルギー源として古くから注目されている。また、近年の日本においても、資源循環型社会の構築に向けて廃食用油のエステル化、その後に得られるバイオディーゼル燃料を実機関に使用した研究が活発に行なわれている。実際に京都市環境局では、廃食用油を転換したバイオディーゼル燃料を軽油の代替燃料としてごみ収集車(ディーゼル機関)に適用している。これらの研究によると、バイオディーゼル燃料をディーゼル機関に使用した場合、軽油と比較して出力は5~10%低下するが、未燃炭化水素、浮粒子状物質等の排出物は減少する。しかし、窒素酸化物に関しては明確に減少するという結果は報告されていない。

本研究では、バイオディーゼル燃料の実用性、および環境汚染に対する効果を調べ、将来的な有効性の検討を行なう。そこで、廃食用油をメチルエステル化したバイオディーゼル燃料と軽油との混合割合を変化させた混合燃料を急速圧縮膨張装置(RCEM)に適用した際の燃焼過程、特にすすの生成状態を比較するために、直接撮影およびレーザー誘起赤熱(LII)法を用い、実験を行なった。

2. 実験装置および実験条件

本実験では噴霧燃焼過程を知るために、1回の圧縮・膨張を行なうことが可能なRCEMを用いた。RCEMの排気量は3534 ccであり、その概略図を図1に示す。

実験条件を表1に示す。また、燃料としてバイオディーゼル燃料の混合割合に対する噴霧燃焼特性を調べるために、軽油に対するバイオディーゼル燃料の体積分率を0 (Gas oil), 20 (Bio20), 50 (Bio50), 80 (Bio80), 100 (Bio100)とした。ここで、本実験に用いたバイオディーゼル燃料は、京都市の各家庭およびレストラン等から回収された廃食用油をメチルエステル化することによって粘度を低くし、着火性を高め、軽油の燃料性状に近くしたものである。

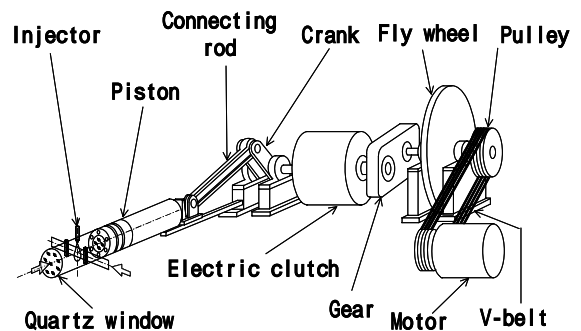


Fig.1 Schematic diagram of RCEM

3. 実験結果および考察

3.1 噴霧燃焼の直接撮影

ピストンヘッド部に石英ガラスを取り付け、ハイスピードカメラ(撮影速度: 9000 fps)で噴霧燃焼過程を直接撮影した。これより得られた画像から輝度強度を考慮した輝炎燃焼領域の面積を図2に示す。軽油は後燃え期間における輝度値が大きいことから、すすの排出が多いと考えられる。また、バイオディーゼル燃料と軽油を混合した3種類の燃料では、軽油より早い段階で後燃えと思えるような現象が起こっている。これは混合したバイオディーゼル燃料中に含有する酸素

Table 1 Experimental condition

Bore x Stroke	100 x 450 [mm]
Compression ratio	15
Equivalent crank speed	200 [rpm]
Injection nozzle diameter	0.18 [mm]
Injection pressure	15 [MPa]
Injection quantity	10 [mg]
Injection timing	0, 5, 10 [deg. CA BTDC]
Excess-air ratio	25

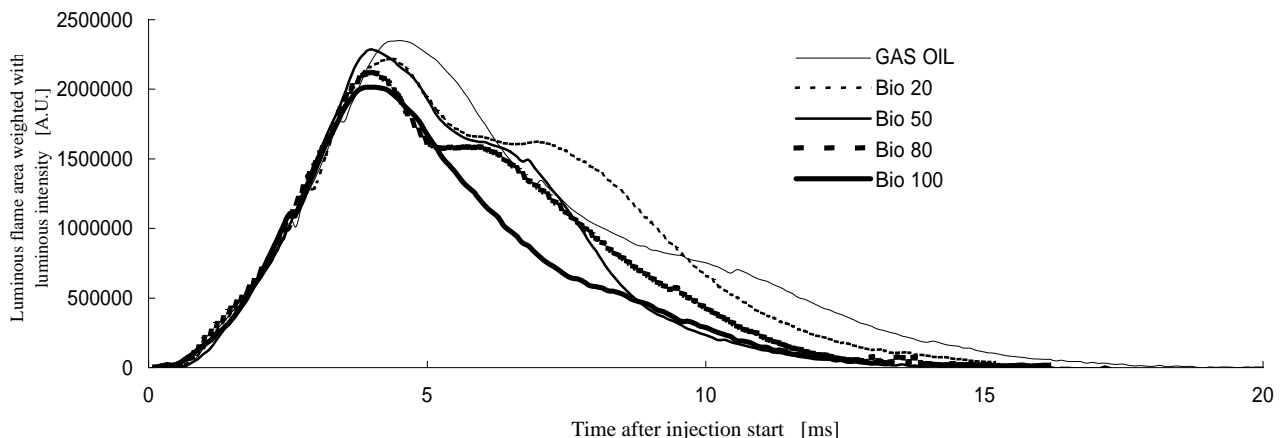


Fig.2 Temporal change in luminous flame area

成分の影響により、軽油成分の燃焼が促進したからと思われる。Bio100 は全体的に輝度値が低い、つまりすすの生成が少なく、バイオディーゼル燃料を使用することにより明らかにすす低減を実現できることがわかった。

3.2 レーザ誘起赤熱(LII)計測

バイオディーゼル混合燃料の噴霧燃焼領域に存在するすすを二次元断面により定量的な情報を得ることで、詳細なすすの生成・抑制機構の把握を行なった。今回は噴射開始後 $t=1.0, 2.0, 3.0, 4.0$ ms において Bio100 と軽油の 2 種類で実験を行なった。噴射開始時期 T_{inj} は全て 5 ± 0.25 deg.BTDC 一定である。

ここで LII 法とは、レーザ等の高いエネルギーを粒子状物質に照射して粒子を急速に熱すると強い連続スペクトルが放射され、その赤熱発光を計測することで火炎中のすすの生成状態を知る方法である。

得られた LII シグナル画像から、シグナル濃度を 32 色カラー表示した代表図を、図 3 (Bio100)および図 4 (軽油)に示す。図 3, 4 より Bio100 では軽油より明らかにすす濃度が少ないことがわかる。

この画像より詳細な結果を得るため、シグナル濃度を数値化しグラフで比較する。図 5 は、得られた全ての結果を噴射開始後の時間別に示したものである。これより Bio 100 の LII シグナル強度の平均値は全て軽油の最小値以下にあり、最大値も軽油の平均値よりも小さい値を示している。LII シグナル強度はすす体積濃度にほぼ比例するので、Bio100 のすす生成量は軽油より明らかに少ないことがわかる。

また図 6 は、各条件の各噴射開始後 t におけるノズルからの距離による平均 LII シグナル強度の比較である。 $t=1.0$ ms ではノズルからの距離が 55 mm 近辺で両燃料共多量のすすが発生しているが、明らかに軽油の発生範囲、強度共に大きい。 $t=2.0$ ms は噴射終了直前にあたり、広範囲ですすの生成が促進していると考えられる。 $t=3.0$ ms 時の軽油は、 $t=2.0$ ms の時と同様に広範囲ですすの生成が見られるが、Bio100 ではノズルからの距離が 60 mm までのすす生成量が極端に少ない。 $t=4.0$ ms では、ノズルからの距離が 45 mm および 65 mm 前後で軽油におけるすす生成量が極端に多い。以上より、Bio100 では噴射開始直後と噴射終了直後にすすの生成が抑制されるので、その後のすすの合体、凝集が少なく、さらに燃料中の酸素成分によって火炎内部の酸素不足が解消され、すすの絶対量が少なくなることがわかった。

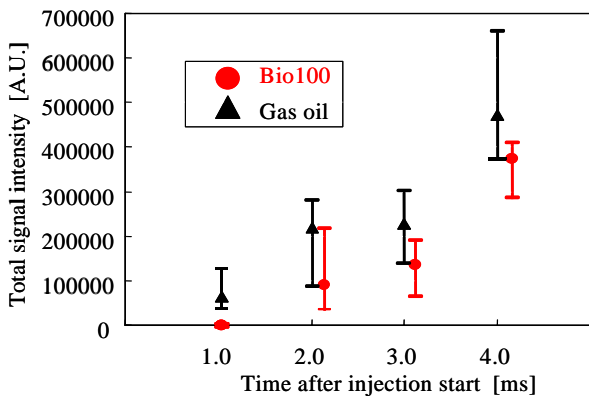


Fig.5 Temporal change of total signal intensity

4. 今後の予定

- ・ 噴射圧力を高圧化した際のバイオディーゼル燃料および軽油との混合燃料の噴射特性を調べる。
- ・ RCEM を用い高圧のバイオディーゼル燃料および軽油との混合燃料の噴霧および燃焼特性を調べる。

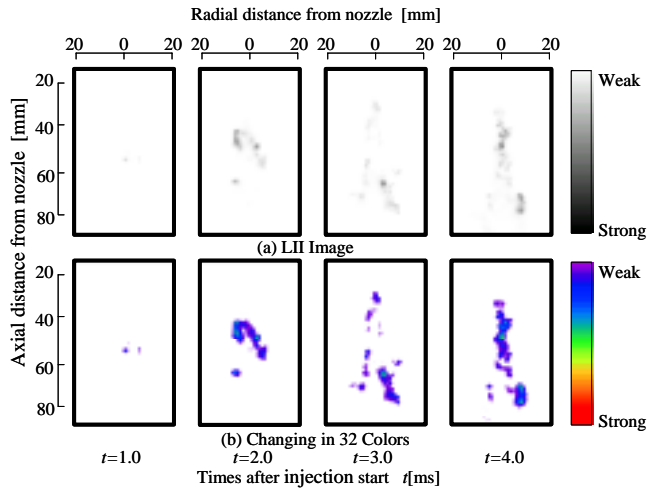


Fig.3 2-D distribution of soot particles (Bio 100)

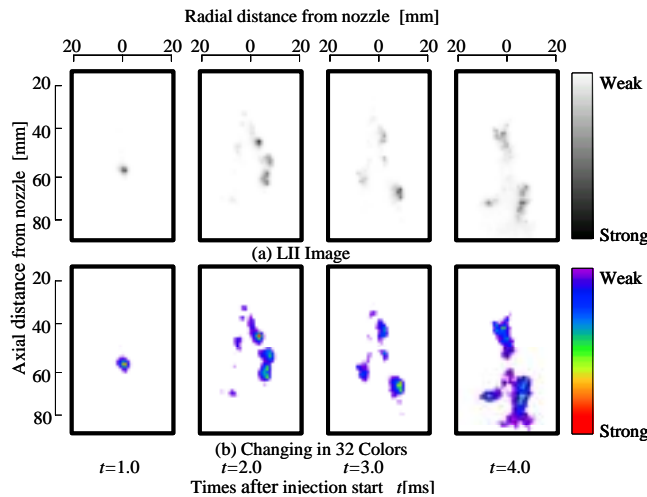


Fig.4 2-D distribution of soot particles (Gas Oil)

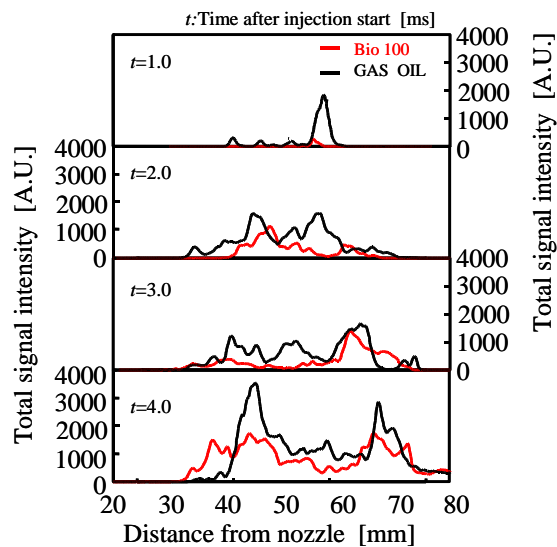


Fig.6 Temporal change of total intensity