

〔論文〕

廃グリセリンを用いた水エマルジョン燃料の燃焼特性

磯野 宏行^{*1}・高山 敦好^{*2}・室屋 佑成^{*1}

Combustion Character by the Water-Emulsified Fuel Using Waste Glycerin

Hiroyuki ISONO^{*1}, Atsuyoshi TAKAYAMA^{*2}, Yusei MUROYA^{*1}

Abstract

Recently, investments in biofuel have been gaining considerable attention since biofuel investment can lower transport cost and reduce greenhouse gas in accordance with the Paris accord and COP21. Given the global demand for fossil fuel cars, especially among developing economies such as China and India, the need for an alternative fuel source is critical. Biodiesel fuel (BDF) is an efficient use of biomass as an energy source. For example, vegetable oil that is converted into methyl ester is a viable alternative to fossil fuel. However, waste glycerin, waste methanol, and waste water get generated as by-products in the formation process of BDF. When as for this research, waste glycerin – water emulsion fuel is formed, waste glycerin burns are processed simultaneously, by the fact that waste glycerin is used as a substitution of the surface active agent, final unit fuel price and cost, substantial cost decrease was designated as purpose.

Key Words : Emulsified fuel, Waste glycerin, Combustion.

1. 緒 言

産業用燃料は、第二次オイルショック⁽¹⁾で原油価格が1バレルあたり4ドルから17ドルへの値上がりを契機に、石油より安価な石炭、天然ガス、原子力等で代替されてきたが、1980年から2000年の間、輸送用燃料は原油価格1バレル15ドル前後だったため代替燃料は採算に合わなかった。しかし、中国やインドでの自動車の普及、経済発展による輸送燃料特需の急増⁽²⁾により、2005年から2008年にかけて原油価格が1バレル150ドルに暴騰し、地球温暖化問題による温室効果ガス削減要請の高まりもあって、近年、低コスト輸送用バイオ燃料への投資が拡大して研究開発、実用化が大きく進展するかに見えたが、その後原油価格が産油国の増産により1バレル30ドル台まで下落し、オイルシェール、シェールガス等と共に採算が取れなくなっていたが、2015年12月12日にフランス・パリのCOP21会場でパリ協定⁽³⁾が温室効果ガス削減に関する枠組みで採択され、再びバイオマスが注目を浴び、化石資源枯渇、地球温暖化、環境汚染の問題解決に大きな期待が寄せられている。

バイオマスを用いる方法のひとつとして、廃棄物系バイオマス^{(4)・(5)}があげられる。これは、バイオマスのうち、廃棄される紙や家畜排泄物、食料廃棄物、建築発生木材等を原料とした再生可能エネルギーに変換したもので、これまで様々な取り組みが行われている⁽⁶⁾。廃棄物高効率熱回収、バイオマス発電、バイオマス熱供給、バイオマスコージェネレーションシステム、廃棄物・バイオマス燃料製造、ゴミ発電ネットワーク、熱輸送システムの整備事業への補助等の取り組みが行われている。

これらの中から本研究では、エネルギー源としてバイオマスを利用したバイオディーゼル燃料 (BDF : Bio Diesel Fuel)⁽⁷⁾に着目した。BDFは、植物油をメチルエステル化したもので、軽油の代替燃料にできる。これは、廃木材から生成されるエタノールなどとともに、自動車等の内燃機関の燃料として利用することができるため、温室効果ガス排出量の多い輸送部門や、火力発電等の排出量削減に有効である。しかしながら、BDFの生成過程に副産物として、廃グリセリン⁽⁸⁾、廃メタノール、廃水が生じてしまう。

*1 エネルギーシステム工学専攻

*2 機械システム工学科

平成29年10月31日受理

本研究は、BDFの生成過程に副生される廃グリセリンをLSAと混合し、加圧溶解攪拌手法により廃グリセリン-水エマルジョン燃料とすることで廃グリセリンを燃焼処理すると同時に、水エマルジョン燃料に必要な界面活性剤の代替として廃グリセリンを用いることで、最終的な燃料単価およびコストを、大幅なコストダウンを目的とした。

2. 実験概要

2・1 水エマルジョン燃料

水エマルジョン燃料は、重油、軽油、灯油等の燃料と他の溶液（燃料）を数%の界面活性剤を用いて生成できる。水エマルジョン燃料の形態を図1に示す。油滴水中型であるW/O（Water in Oil）型と水滴油中型であるO/W（Oil in Water）型が存在する。O/W型は燃料自体が水で覆われているため、ラインやポンプに腐食等の害を与える影響が懸念されることから、W/O型が優位と言える。

水エマルジョン燃料は、燃料油の中の水が蒸発することで燃焼温度を低下できると同時に、水の蒸発による空気の膨張により、燃料油がさらに微細化される。よって、低温燃焼により排ガスを抑制すると同時に、燃焼性が改善されることで燃費を改善することができる。

2・2 バイオディーゼル燃料

BDFとは、生物由来油から作られるディーゼルエンジン用燃料の総称であり、バイオマスエネルギーの一つである。菜種油や廃食用油などをメチルエステル化して製造され、ディーゼルエンジン用のバイオ燃料で地球温暖化対策が緊急の課題となる中、BDFは、バイオエタノールとならんで、化石燃料の代替燃料として期待されている。

図2にBDF生成過程を示す。BDFは硫黄分酸化物をほとんど含まないため、軽油と比較して硫黄酸化物（SOx）の排出する黒煙を1/2～1/3削減減少でき、ディーゼル車の排気ガス対策としても有効である。すでに国内外で利用されており、日本では廃食用油から、欧州では菜種油から、米国やブラジルでは大豆油から製造されている。特に欧州では、政策的支援が導入され、ドイツを中心にBDFの利用が進んでいる。諸外国においてバイオディーゼルとして規格化がなされているのは脂肪酸メチルエステルのみであるが、厳密に化学的な定義はない。

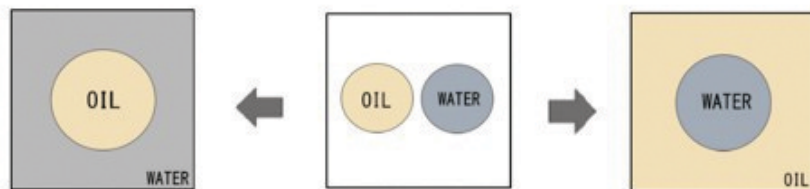


Fig.1 Water emulsified fuel

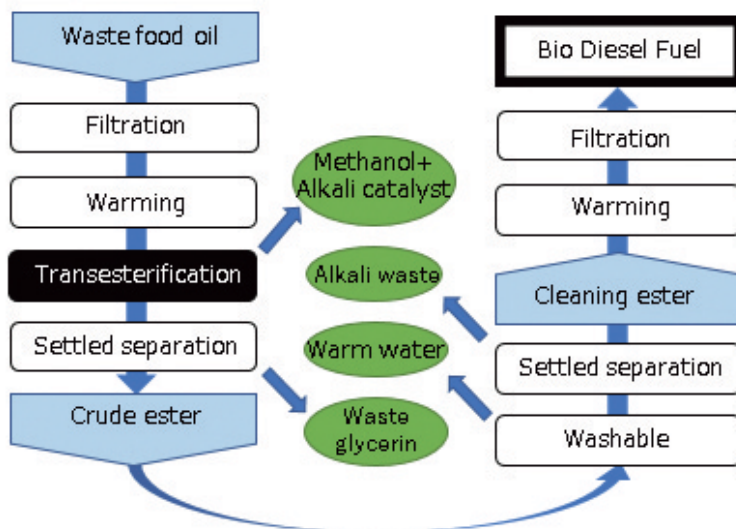


Fig.2 BDF

BDF は、菜種油や廃食用油などをメチルエステル化して製造される。原料となる油脂からメタノールと触媒でエステル交換によりグリセリンを取り除く。動粘度を下げる等の化学処理を施し、燃料中の脂肪酸や不純物が水によって洗浄され、不純物の少ない燃料となり、ディーゼルエンジンに使用できるようにしている。この廃グリセリンは水洗いを伴ったものであり、水分が多く含まれているのも特徴である。これは、グリセリン自体が水溶性である性質を利用したものである。

2・3 実験装置及び実験方法

図3 エマルジョン生成装置を示す。また、燃焼ボイラの緒元を表1に示す。燃料65%、水30%、グリセリン5%の割合でタンクに投入し、NIKUNI 製渦流タービンポンプによって加圧し、自作の加圧溶解攪拌型ミキサに送入させることで、廃グリセリン-水エマルジョン燃料を生成できる。第一タンクでは、グリセリンをせん断すると同時に残水分を溶解させ、第二タンクで水エマルジョン燃料を生成する。第三タンクは、生成した水エマルジョン燃料の攪拌を常時行い、油水分離を防ぐ構造となっている。生成した燃料は、簡易燃焼炉にて燃焼実験を行った。使用したバーナは、上根

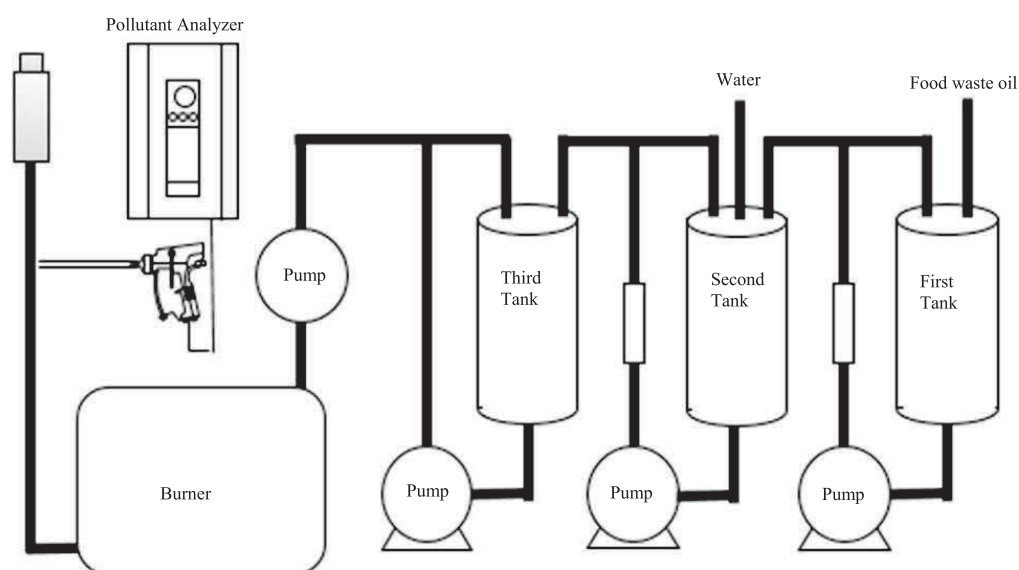


Fig. 3 Experimental device

Table 1 Burner information

Name	AR-H
Spray Pressure	0.5MPa~2.0MPa
Fuel Consumption	6 kg/h~14kg/h
Nozzle Tip	2.5 (60°)
Ignition	Spark Discharge

Table 2 Fuel character (LSA)

	LSA	Glycerin
Density (g/cm ³) (15°C)	0.85	1.26
Flashing Temperature (°C)	64.0	177
Kinetic Viscosity (cSt) (30°C)	2.32	612
Water Content (%)	0.05	—
Carbon Residue Content (%)	0.03	0.05
Ash Content (%)	0.001	—
Sulfur Content (%)	0.048	0.0005
Nitrogen Content (%)	0.02	0.005
Total Heat Value (KJ/kg)	45.560	25.5

製 AR-H であり、8～12kg/h の燃焼が可能である。

排ガス中の汚染物質の測定は、煙突出口から排ガスを分岐し、testo 社製 testo350XL にて排ガス分析を行った。

表 2 に LSA 燃料およびグリセリンの性状を示す。LSA 燃料は低硫黄燃料であり、硫黄分濃度が 0.046w% であった。比重は 0.85kg/L であり、窒素分や灰分はほとんど含まれていない。次に、廃グリセリンは水よりも比重が重く、引火点は軽油と比べ高く、通常、引火する危険性は低い。硫黄分は 0.0005w% 以下の含有率で、残留炭素、窒素分はほとんど含まれていないことが分かった。

3. 実験結果

3・1 エマルジョン燃料の性状

図 4 に、エマルジョン燃料の画像を示す。燃料の測定は、松電舎製 GR-D 8 T 2 のデジタル顕微鏡を用い、撮影した画像を、旭化成エンジニアリング製 A 像くんにて解析した。

計測した画像は生成した後 5 分間経過後の状況であり、(a)が LSA70%、水30%、(b)が LSA65%、廃グリセリン 5%、水30%の粒径解析の結果である。

(a)が接眼レンズ 4 倍、対物レンズ100倍の400倍、(b)が接眼レンズ10倍、対物レンズ100倍の1000倍の顕微鏡結果である。(a)では、攪拌後すぐに油水分離が生じ、計測前に 2 層の状態となった。(b)は、油水分離が確認されず、1層型の安定したエマルジョンの生成に成功した。

この結果より、廃グリセリンが界面活性剤の代替として利用できることが分かった。これは、廃グリセリンが水溶性であることや、加圧溶解攪拌型ミキサの効果の相乗により、水粒径が小さく状態のよい水エマルジョン燃料が生成できた。

3・2 燃焼結果

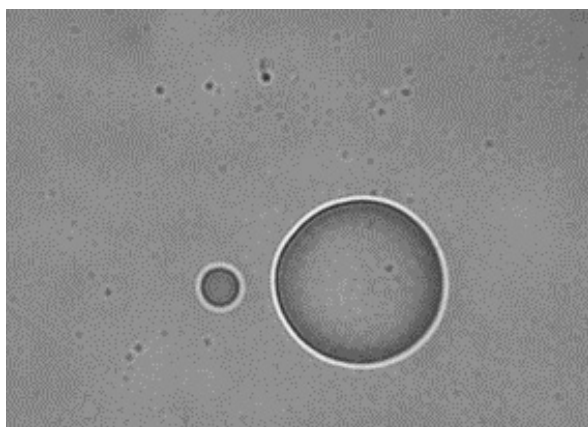
図 5 に LSA、LSA95%と WG 5% の混合燃料、廃グリセリン-水エマルジョン燃料の NO_x 結果を示す。酸素濃度 3.5% 時、すなわち λ=1.2 の条件で実験を行った。

NO_x 濃度は LSA 単独が約 59ppm なのに対し、LSA95%、WG 5% は約 45.7ppm となり、約 22.6% 減少した。また、グリセリン-水エマルジョン燃料は 22ppm となり、約 62.7% 減少した。

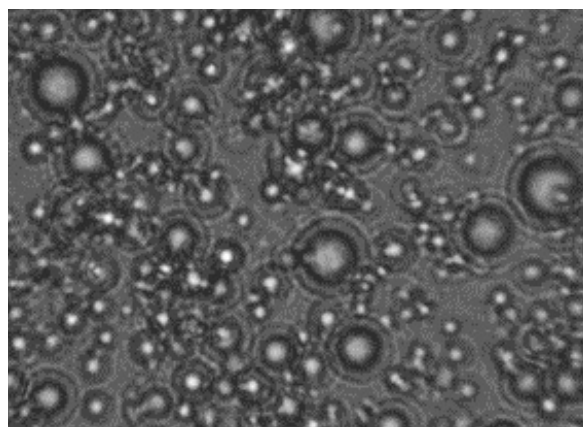
図 6 に燃費結果を示す。LSA 単独が約 8.04g/h なのに対し、LSA95%、WG 5% は約 7.85g/h となり、約 2.36% 減少した。また、グリセリン-水エマルジョン燃料は 7.3g/h となり、約 9.14% 減少した。

3・3 考察

今回のテーマであるエマルジョン燃料の有効性としては、今回の実験から排ガス、燃費の結果から一定の結果が得ることができた。これは、燃料に水を混ぜることにより、1L あたりによる燃料自体に含まれる、有害物質を薄めることができ、さらに、水エマルジョン燃料の燃焼時に、水が膨張することで予混合性が向上し、燃焼性の改善がされたためと推測される。また、燃料に水を混合することで、1L あたりの単価を下げるができるため、コスト面でも有用である。



(a) Light oil 70%, Water 30%



(b) Light oil 66.5%, Glycerin 3.5%, Water 30%

Fig. 4 Microphotograph

従来の水エマルジョン燃料に使用する界面活性剤は、500~1000円/Lと高価であり、最低でも1~2%混合が必要であり、燃料費が5~20円/L増加するため、現時点で水エマルジョン燃料が普及に至っていない理由のひとつである。そこで本研究では、BDF生成の際にできる副生成物の廃グリセリンを界面活性剤として使用することで、燃料単価自体を安価とすることが可能となる。

表3にコストの比較を示す。界面活性剤を使用した水エマルジョン燃料は、廃グリセリンを使用した水エマルジョン

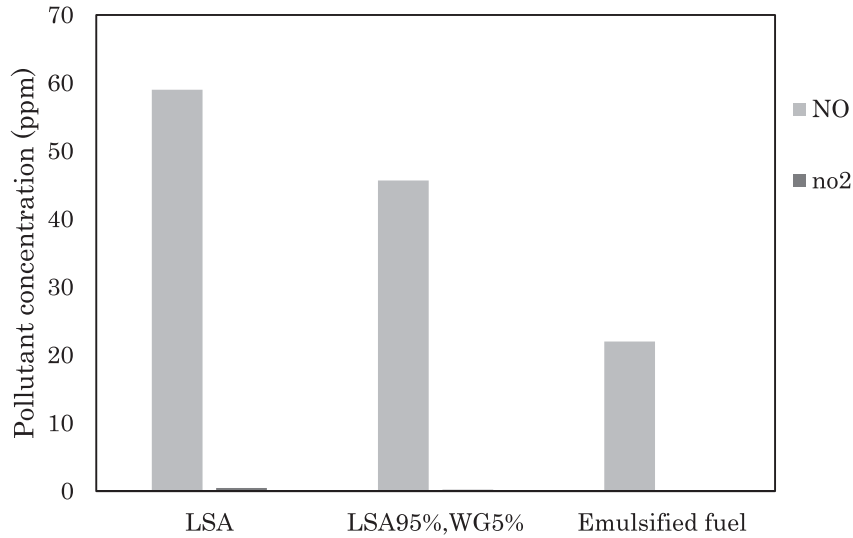


Fig. 5 Analysis of exhaust gas

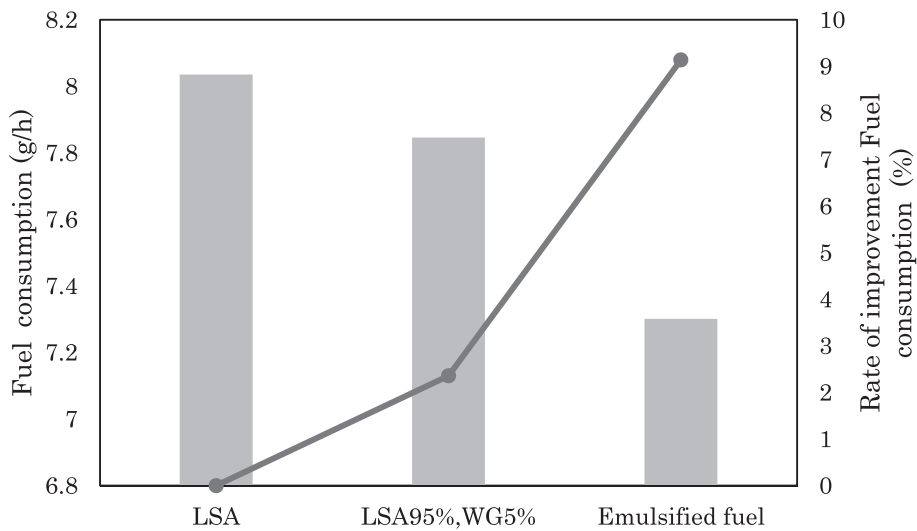


Fig. 6 Fuel consumption

Table 3 1 Cost of emulsified fuel

	LSA	Waste glycerin-Water emulsified fuel				Sureface active-Water emulsified fuel				
		Glycerin	LSA	Water	Total	Surface active	LSA	Water	Total	
Mixture rate (%)	100	5	65	30	100	1	69	30	100	
Price (L/Japan Yen)	75	30	75	0.02	50.3	500	75	0.02	56.8	
Fuel consumption rate of combustion (%)	100	/				/				109
Cost of Combustion (Japan Yen)	75									54.9
Rate of Cost reduction (%)	0									26.8

燃料と比較するとやや燃費が悪化する傾向にある。また、界面活性剤を500円/Lと算出しても、通常の水エマルジョン燃料はLSAと比較して9.19%安価であることに對し、廃グリセリン-水エマルジョン燃料では26.8%のコストダウンで、最終的な燃料単価およびコストは、廃グリセリンを使用したことで大幅なコストダウンを達成できたことになる。

4. まとめ

本研究は、廃グリセリンを界面活性剤の代替としたものであり、廃グリセリン-水エマルジョン燃料の生成に成功したものである。これらから、以下の結論を得た。

- 1) 廃グリセリン自体に、水が混入している可能性が考えられ、LSAと単純に混合するだけでも、排ガスや燃費に良好な結果が得られた。
- 2) 廃グリセリンを用いた水エマルジョン燃料は、燃焼性が阻害されること無く、NO_xの低減と同時に燃料消費量の改善が達成できた。NO_xは約62.7%、燃費約9.14%改善できた。
- 3) 廃グリセリンを用いることで、水エマルジョン燃料の最終的な燃料単価およびコストを、大幅な改善を達成できた。

文 献

- (1) 経済産業省資源エネルギー庁，“原油高と日本経済”，(2007)，1. 1. 1.
〈<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2007html/1-1-1.html>〉平成29年10月31日参照
- (2) 経済産業省資源エネルギー庁，“エネルギー価格変動による経済への影響”，(2008) 1-1-2.
〈<http://www.enecho.meti.go.jp/about/whitepaper/2009html/1-1-2.html>〉平成29年10月31日参照
- (3) 外務省，“国連気象変動枠組条約第21回締約国会議（COP21）および京都議定書代11回締約国会合（COP11）報告（2015），2016 2・3月号，[vol. 26 No. 11]，通巻第303号
〈<http://www.cger.nies.go.jp/cgernews/201603/303003.html>〉平成29年10月31日参照
- (4) 鳥居修一，網田勇祐，“廃棄物系バイオマスを用いた小型専焼炉の開発とその燃焼特性に関する研究”日本機械学会九州支部講演論文集，N0168-1，(2016)，pp. 233-234.
- (5) 松本将太，鳥居修一，“再生可能エネルギーバイオマス用燃焼器と熱交換器に関する研究”日本機械学会九州支部講演論文集，N0168-1，(2016)，pp. 235-236.
- (6) 経済産業省資源エネルギー庁，“平成27年度廃棄物系バイオマス利活用導入」促進事業”
〈<http://www.env.go.jp/recycle/waste/biomass/introductionpromotion.html>〉平成29年10月31日参照
- (7) 瀧寛則，鈴木伸之，高橋秀行，廃食用油のバイオディーゼル燃料化，大成建設技術センター，第38号，(2015)，pp. (23-1) - (23-5)
- (8) 小笠原正剛，馬淵悠樹，野村正幸，加藤純雄，中田真一，BDF製造時に排出される含グリセリン副生成物の燃料油への利用に関する基礎的研究，Vol. 24，No. 4，pp. 63-69，2013