

廃食用油によるバイオディーゼル燃料の小規模生産の試み

小宮 道士¹⁾・大里 重巳¹⁾・河原 健介¹⁾
上野 秀樹²⁾・高橋 圭二¹⁾・野 英二²⁾

Trial Small Scale Production of Bio Diesel Fuel with Waste Edible Oil

Michio KOMIYA¹⁾, Shigemi OSATO¹⁾, Kensuke KAWAHARA¹⁾,
Hideki UENO²⁾, Keiji TAKAHASHI¹⁾ and Eiji NO²⁾
(Accepted 26 July 2011)

1. 緒 論

近年、石油価格の高騰により植物など生物体の有機物エネルギーを利用したバイオマスエネルギーが注目を浴びている(木谷 2004)。植物の成長過程では大気中の二酸化炭素を吸収するので、これらを原料とする燃料は燃焼させても二酸化炭素総量の増減に影響しない「カーボンニュートラル」として知られている。

石油代替燃料の1つであるバイオエタノールは植物中の糖分、デンプン質、セルロースを原料として発酵、濃縮、蒸留して製造される。食用作物を原料に使うことは食料難を引き起こす懸念があることから、稲わらや麦わら、規格外の小麦、甜菜などを原材料としたエタノール製造の取り組みが検討されている(西崎 2007)。しかし、製造コストには原料だけでなく、エネルギー作物の栽培における農作業機械の燃料費など投入エネルギーを考慮すべきとの見方もある。

一般に農作業の動力として用いられるトラクタはディーゼル機関であり、この代替燃料であるバイオディーゼル燃料(BDF)は、植物性油脂のメチルエステル変換などから製造される。現在、国内ではBDFの製造原料として廃食用油を使用していることが多い。また、ナタネを栽培して食用油を製造し、それを販売して利益を確保したうえで、使用後の廃食用油を燃料化する循環システムも確立しつつある(両角ら 2006)。このような取り組みにより国内では年間約5,000 kLのBDFが生産されており、仮に国内の廃食用油の全てを利用した場合には50万kL

を生産できるとする試算もある(経済産業省 2001)。また、このような採油用植物の栽培は休耕地や食用作物の栽培不適地における有効な土地利用手段としても大きな期待が寄せられている。

BDFは硫黄分が少なく、排ガス中の粒子状物質や炭化水素が軽油より減少すると報告されているが、ゴムや樹脂を劣化させ、酸化し易く、低温での流動性が低下するなどの問題も指摘されている。低温時の流動性に関しては、ナタネ油を原料とした寒冷地でのBDF燃料車の研究(滝川市環境課 2006)や流動性向上剤の添加による物性改良試験(山越ら 2007)が進められている。また、清水ら(2009)はBDFをトラクタで使用した際の排ガス分析や機関出力への影響について調べている。

本研究では簡易型のBDF試作製造装置により、一般家庭などから排出された廃食用油を用いた製造試験を実施し、BDF品質や物性を調べて、酪農学園大学附属農場におけるトラクタ燃料としてのBDF利用までを想定してその利用適性について検証を行った。

2. 方 法

廃食用油は附属農場が牛舎入口に回収ステーションを設置し、一般家庭および学生寮食堂より回収したものをを使用した。廃食用油による良質なBDF製造の為に原料の遊離脂肪酸含量の分析、水分除去などの前処理工程が必要とされている。本試験ではこれらの工程を省き、回収した廃食用油は静置して不純物、揚げカス等を沈殿除去させ、さらに40メッシュのフィルタでろ過したものを原料とし、これを

¹⁾ 酪農学園大学酪農学部酪農学科

Department of Dairy Science, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

²⁾ 酪農学園大学附属農場

Research Farm, Rakuno Gakuen University, Ebetsu, Hokkaido 069-8501, Japan

アルカリ触媒法にて置換し BDF を製造した。

試作した製造装置を Fig. 1 に、機器構成を Fig. 2 に示した。本試験ではアルカリ触媒に水酸化ナトリウムを使用した。アルカリ触媒とメチルアルコールによるエステル化反応には 50~80℃の加温を必要とする。本試験の BDF 製造過程の投入エネルギーを節減するため、附属農場バイオガスプラントでの余剰温水の利用を前提に考えて、反応槽内のコイル型熱交換器に 55~60℃の温水を循環させて廃食用油を加温する方式とした。製造装置は 3 段構造で右上段のステンスタック (26 L)、攪拌用スターラ、熱交換器によるメチルエステル化反応槽でエステル化反応が終了した液体は、右中段のグリセリン分離用角型テーパージャー (10 L) に流下、貯留される。静置後、下層のグリセリンは右下段のタンクへ排出

され、上層の BDF 原液はギャポンプで左上段のポリタンク (10 L) とプロペラ型攪拌機による洗浄槽に送り、純水と攪拌、未反応メチルアルコール、触媒などを除去するために洗浄される。その後、左中段の透明角型瓶 (15 L) に流下、貯留され、静置後に洗浄廃液と BDF 原液を分離する。廃液は左下段のタンクへ排出され、BDF 原液は再度ポンプで上段に送り、この洗浄工程を洗浄水の pH が中性になるまで 3~5 回繰り返した。最後に水分や不純物を取り除くために、液相分離ろ紙で BDF 原液をろ過した。完成した BDF は密度を計測後、酸化防止剤を添加した。

BDF の品質基準についてヨーロッパでは規格化 (EN14214) されている。また国内では経済産業省の協議会暫定規格などが示されているため、製造する



Fig. 1 Appearance of BDF production trial system on small scale.

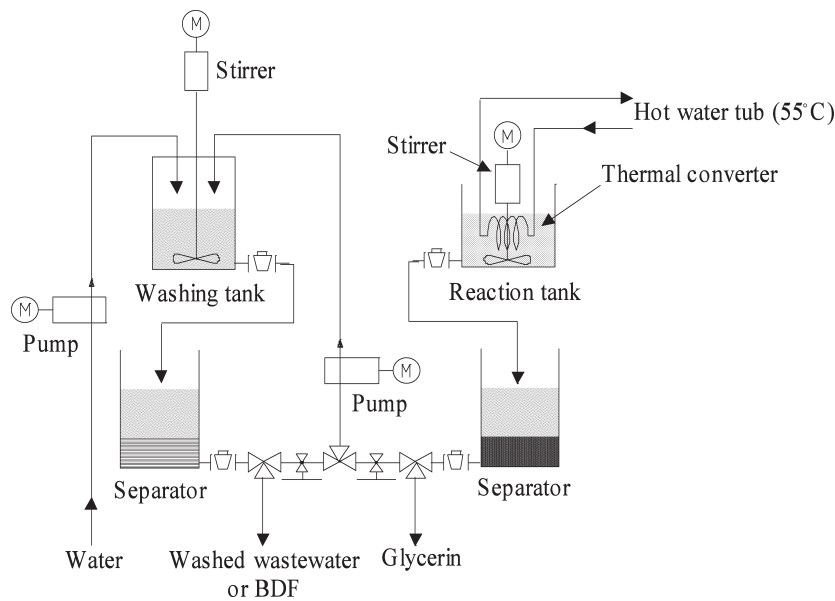


Fig. 2 Block diagram of BDF production trial system.

にあたり、これに適合する品質のBDFが求められている。本試験ではメチルエステル化率を簡易測定キット（バイオマス・ジャパン社）で、メタノール含有率、全グリセリン含有率、酸価をバイオディーゼル分析テスター i-Spec Q100（パラダイム・センサー社）で同一サンプルを3回繰り返し測定した。さらに廃油量から製造されたBDF量をBDF変換率として算出し、他にBDF製造時のメタノールやアルカリ触媒などの費用から算出したコスト、副生成物のグリセリンおよび洗浄廃液量などを製造ロット毎に比較した。

BDFの動粘度についても規格値が示されており、ビスコテスタVT-03（リオン社）を用いてこれを調べた。さらに流動性向上剤エコルーバーF-146、F-133（三洋化成工業）の効果について、BDFにこれを0.5%添加し、 -8°C から 17°C における粘度を測定した。

3. 結果および考察

3.1 製造履歴と品質

附属農場バイオガスプラントの余剰温水（約 65°C ）を利用した熱交換による反応槽廃食用油の加熱については、実験室内での試験であったことから、恒温温水循環ヒータと水槽（20 L）を余剰温水の代わりに用いた。この熱交換によるメチルエステル化反応時の温度変化（BDF製造ロットNo. 17）をFig. 3に示した。送湯温度 $56\sim 58^{\circ}\text{C}$ において、3,500 gの廃食用油は送湯開始後12分で 21°C から 50°C に上昇した。 57°C に上昇した時、メチルアルコールを加えた

直後は反応槽の温度が 6°C 程度低下したが、4分後には 55°C に回復し、その後は 56°C 前後で推移した。送湯温度も反応開始後に低下したが、試験では貯湯量が20 Lと少なく、実際にバイオガスプラントの余剰温水を利用する際は貯湯量がおおよそ8,000 Lと十分な湯量を確保できるので、送湯温度に影響はないと考える。

予備試験のロットNo. 1を除き、1製造過程あたり廃食用油量3,000 gを2回、3,500 gを11回、4,500 gを4回の計17回、製造を行った。No. 2はグリセリン分離タンクが破損して中断、またNo. 6は洗浄水の加水量が多かったために、大量にスクラムが発生して、途中で製造を中止した。以上のBDF製造試験における生産履歴と品確法規格数値とその測定結果をTable 1に示した。BDF変換率は製造過程においてBDF原液のロスにより84.8、86.0%となったNo. 4, 5を除いて90%以上で、平均は93.2%であった。メチルエステル化時の温度は平均 56.3°C 、洗浄回数は4回が最多であった。

BDF品質の暫定規格基準と比較において、製造されたBDFの密度および動粘度は全てにおいて基準範囲内であった。簡易測定キットによるメチルエステル化率もほぼ100%となり、基準値の96.5%以上を示した。BDF中のメタノール含有率は0.1%以下または測定できない程の少量（N. R.）で0.2%以下の基準を満たした。また全グリセリン含有率も0.09~0.18%、平均0.15%となり0.25%以下の基準を満たした。酸価の測定結果も0.16~0.41、平均0.29となり0.5以下の基準を満たし、十分な品質の

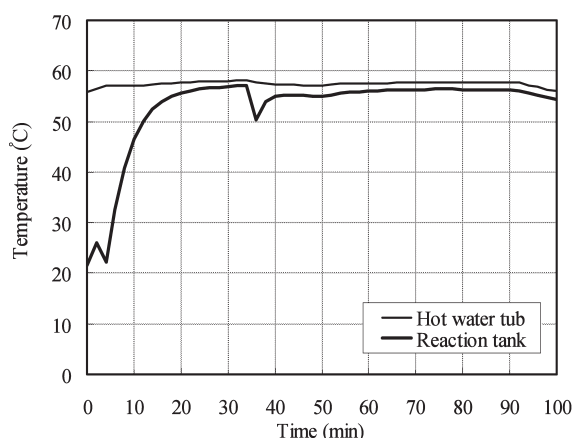


Fig. 3 Temperature change of reaction tank with thermal converter.

Table 1 BDF production history and quality values.

	No. 3	No. 4	No. 5	No. 7	No. 8	No. 9	No. 10	No. 11	No. 12	No. 13	No. 14	No. 15	No. 16	No. 17	No. 18	
Waste edible oil (g)	3,000	4,500	3,500	3,505	4,500	4,505	4,500	3,500	3,505	3,505	3,500	3,505	3,500	3,500	3,500	Total 56,025
BDF (g)	2,804	3,815	3,012	3,248	4,073	4,299	4,294	3,311	3,318	3,332	3,320	3,317	3,314	3,339	3,343	Total 52,136
BDF transform rate (%)	93.5	84.8	86.0	92.7	90.5	95.4	95.4	94.6	94.7	95.1	94.8	94.6	94.7	95.4	95.5	Ave. 93.2
Reaction temperature (°C)	52	55	56	57	57	57	57	58	57	57	-	-	56	56	57	Ave. 56.3
Frequency of washing	5	5	5	5	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	Ave. 4.0
〈Quality standard value〉																
Density(g/cm ³ -15°C)	0.86-0.90	0.86	0.86	0.86	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	0.87	Ave. 0.867
Kinematic viscosity(mm ² /s-40°C)	3.5-5.0	4.7	4.7	3.6	4.3	4.2	4.0	3.6	3.5	4.5	4.6	4.0	5.5	4.4	-	Ave. 4.26
Methyl ester rate (%)	>96.5%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	98%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	Ave. 100%
Methanol content (%)	<0.2%	<0.10%	N. R.	N. R.	<0.10%	N. R.	<0.10%	<0.10%	<0.10%	<0.10%	<0.10%	<0.10%	<0.10%	<0.10%	<0.10%	Ave. <0.10%
Total glycerin content (%)	<0.25%	0.14	0.17	0.15	0.15	0.14	0.16	0.18	0.17	0.16	0.15	0.13	0.16	0.14	0.15	Ave. 0.15
Acid value	<0.5	0.40	0.29	0.41	0.38	0.36	0.32	0.16	0.17	0.27	0.27	0.32	0.22	0.31	0.20	Ave. 0.29

BDFを製造することができた。BDFの総製造量は52.3 kg, 約60.3 Lで、これをBDF 5%混合軽油(B5)で使用した場合は約1200 L相当となった。

3.2 低温時流動性の改善

製造No.14のBDFを使用して、流動性向上剤F-146, F-133の2種を0.5%添加し、冷凍庫で冷却した後、常温に至る間で粘度を測定した結果を、無添加のBDF、冬季用特3号軽油の場合と合わせて、Fig. 4に示した。無添加のBDFは5°C以下で急激に粘度の増加が認められた。0°Cの時、無添加BDFは330 mPa·s、流動性向上剤を添加した場合は19, 23 mPa·sと改善の効果が認められた。しかし、流動性向上剤を添加しても-8°Cでは265, 310 mPa·sの粘度を示し、測定範囲を超えたため未計測の無添加BDFよりは低粘度と推測されるが、軽油よりは300 mPa·s以上、高粘度であった。したがって氷点下の温度におけるニート(BDF 100%)での使用は困難で、B5での使用が望ましいといえる。

流動性向上剤F-146, F-133間の粘度の差は認められなかった。また、5°C以上の温度で流動性向上剤の効果は得られなかった。

3.3 製造コストと副産物

メチルアルコールやアルカリ触媒の材料費から算出したBDFの製造コストは1 Lあたり79~88円、平均81円となった。これに酸化防止剤を加えると1.3円上昇する。また流動性向上剤を加えた場合は、さらに16.7円は上昇するため、96~106円となる。現在(2011年7月19日)の軽油一般小売価格は約133円なので、BDFの方が低価格である。しかし軽油引取税32.1円が免除される農業用免税軽油と比較した場合、価格の差は生じない。

Fig. 5には製造後のBDF変換率と製造コストを示した。製造コストはBDF変換率と負の相関があり、変換率84.8%の時に最大88.1円、変換率95.5%の時に最小78.9円とBDF変換率によって1 Lあたり10円の差が生じた。BDF製造におけるコスト上昇を抑制するためには、製造時のロスを少なく、BDF変換率を95%程度に維持すること、メチルアルコールの原料費を見直し、さらに低価格のものを求めて製造コストを改善することが必要と考える。

Table 2には生成副産物であるグリセリンや洗浄廃液量について示した。BDF製造時には廃食用油に対して16~21%のグリセリンが生じた。また中和、洗浄過程で生じる洗浄廃液量は洗浄回数によって変

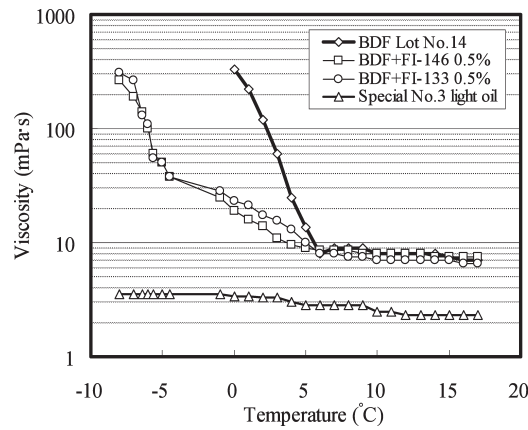


Fig. 4 Comparison of viscosity with BDF, adding fluidity improver and light oil.

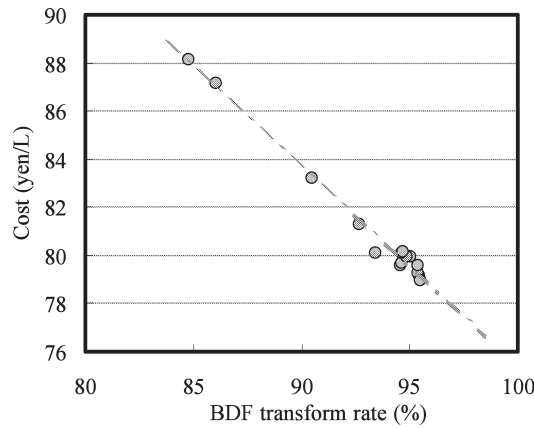


Fig. 5 BDF transform rate and production cost.

Table 2 Amount of secondary products in BDF production.

	No.3	No.4	No.5	No.7	No.8	No.9	No.10	No.11	No.12	No.13	No.14	No.15	No.16	No.17	No.18	Average
Waste edible oil (g)	3,000	4,500	3,500	3,505	4,500	4,505	4,500	3,500	3,505	3,505	3,500	3,505	3,500	3,500	3,500	3,735
BDF transform rate (%)	93.5	84.8	86.0	92.7	90.5	95.4	95.4	94.6	94.7	95.1	94.8	94.6	94.7	95.4	95.5	93.2
Glycerin (g)	579.6	591.9	720.9	686.2	854.5	889.8	831.6	557.3	602.4	634.3	648.8	578.4	649.6	641.5	651.8	674.6
Material ratio (%)	19.3	13.2	20.6	19.6	19.0	19.8	18.5	15.9	17.2	18.1	18.5	16.5	18.6	18.3	18.6	18.1
Frequency of washing	5	5	5	5	4	4	4	3	4	4	4	4	3	3	3	4.0
Washed wastewater (g)	3,206.4	5,114.9	4,028.3	3,761.7	4,082	2,770	3,846	2,189.3	2,932.2	2,938.3	2,960.5	2,848.4	2,240.9	2,256.1	2,267.3	3,163
Material ratio (%)	106.88	113.66	115.09	107.3	90.7	61.5	85.5	62.6	83.7	83.8	84.6	81.3	64.0	64.5	64.8	84.7

わり、洗浄3回では廃食用油に対して63~65%、洗浄5回では107~115%の洗浄廃液が生じた。しかし、洗浄3回で中和作業が完了したのはBDFの製造が完了した15回の製造ロット中4回であった。洗浄過程1回あたりにはおよそ1.5時間と攪拌機の電気エネルギーを要する。したがって洗浄回数削減は製造時間やコストの削減に繋がるが、試験では平均4回の洗浄を必要とした。

以上の結果から、アルカリ触媒法によるBDF生産においてはグリセリンや洗浄過程における分離作業がBDF変換率や廃液量に、さらには製造コスト

にも影響することが明らかとなった。今後は洗浄過程の廃液量を減少させる製造方法についても検討したい。また、トラクタ用燃料としての作業実績についても試験を行う予定である。

要 約

バイオディーゼル燃料(BDF)は油脂から再生して作られる軽油代替燃料であるが、日本では5,000kLが生産されているが、仮に国内の廃食用油の全てを利用すると50万kLを生産できるとする試算もある。本研究では、実際に家庭などから排出され

た廃食用油と簡易型の製造装置を試作し、BDFの生産を試みた。

試験の結果、BDF変換率は85~96%、メチルエステル化率はほぼ100%となり、メタノール含有率、全グリセリン含有率、酸価も規格基準を満たす品質のBDFを製造することができた。

流動性向上剤は0℃で無添加のBDFより310 mPa・s程度、粘度が低下し、低温時での効果が認められた。しかし、6℃以上で粘度の差は認められず、効果は無くなった。流動性向上剤を添加した場合においても、BDFは軽油より0℃で16~20 mPa・s、6℃以上で約5 mPa・s程度、高い粘度を示した。

BDFの製造コストは1Lあたり79~88円となり、BDF変換率が低下するとコストは上昇した。流動性向上剤を加えた場合には96~106円となり、現在の一般石油価格と比較した場合はBDFの方が低価格であるが、農業用免税軽油との比較において価格の差は生じない。したがって製造時にはロスを少なく、BDF変換率を95%程度に維持してコストの上昇を抑制することが重要である。

文 献

- 経済産業省. 2001. 国産バイオマス燃料の供給安定性及び経済性. 廃食用油リサイクルによるバイオディーゼル燃料製造事業研究会報告書(資料4-2).
- 木谷 取. 2004. バイオマス——生物資源と環境——. コロナ社. 東京.
- 両角和夫・青山祐史・加藤史郎. 2006. 国際農業機械展開催シンポジウム「バイオ燃料の未来と十勝」講演資料15-34.
- 西崎邦夫. 2007. バイオ燃料の農業機械への利用. 農業機械北海道864:1-8.
- 清水一史・千葉大基・高橋弘行・原野道生. 2009. バイオディーゼル燃料適用時のトラクタ性能出力, 燃費, 排出ガス等への影響. 機械化農業2009(10):16-20.
- 滝川市環境課. 2006. 菜種油燃料車冬季走行試験報告書.
- 山越幸康・上出光志・北口敏弘・岡 喜秋・三津橋浩行・鎌田樹志・佐々木雄真. 2007. 廃食用油のディーゼル燃料化(第2報)——低温流動性の改善——. 北海道立工業試験場報告306:33-37.

Summary

Bio diesel fuel (BDF) is a light oil substitute fuel, and it is made from recycled oils and fats. Now, 5,000 kL of BDF is produced in Japan. If we used all waste edible oil, it is estimated that we can produce 500,000 kL of BDF. This study produced a production system of a simple type experimentally and tried the production of BDF from waste edible oil. As for the result of the examination, the BDF transform rate was 85-96% and the methyl ester rate was about 100%. The methanol component rate, all glycerin component rate and acid value satisfied standard quality, and we could produce BDF of a good enough quality. The effect of fluidity improvers were recognized in low temperature, because the viscosity of 310 mPa・s decreased in comparison with the no-additive BDF at 0℃. However, a difference of viscosity was not recognized at a temperature above 6℃, and there was no effect of the fluidity improvers. Even if the fluidity improvers were added to the BDF, the viscosity of them were at a high of 16-20 mPa・s in comparison with the light oil at 0℃, and were at a high of about 5mPa・s in comparison with the light oil at a temperature above 6℃. The production cost of the BDF was 79-88 yen/L, and the cost increased with the decrease of the BDF transform rate. As for the BDF that the fluidity improvers were added to, the cost was a lower price at 96-106 yen/L in comparison with the current general oil price. However, the difference of price did not occur in comparison with tax-free light oil for agriculture. Therefore, it is important that we restrain an increase of the cost by maintenance for 95% of the BDF transform rate and decrease of production loss.