

バイオ再生重油の製造と品質及び家庭廃食用油回収の経済性について

株式会社新日石総研 環境・製品技術調査部 おかもと やすお
岡本 康男



1. はじめに

廃食用油のうち業務用由来のものは飼料等に再資源化されているが、家庭由来のもの（以下家庭廃食用油と表記）はそのほとんどが一般ごみとともに焼却処分されている。

この家庭廃食用油を高濃度バイオディーゼル燃料（BDF）として有効利用する試みは、一部の地方自治体等で取り組まれてきた。しかし、ディーゼル車に対するトラブルが数多く指摘され、技術的な課題が多いため、2009年2月9日に国土交通省からガイドライン¹⁾が出され、指導が強化されることになった。

また、揮発油等の品質の確保等に関する法律の一部を改正する法律（平成21年2月25日施行）により、高濃度BDFの製造や使用に制限が加えられることとなった。

これを受けて、一部の自治体等では廃食用油のBDF化を見直す動きがある。

また、一方ではごみ有料化を実施、若しくは予定している自治体もあり、家庭廃食用油の高濃度BDF以外の適切な再資源化が求められている。

このような状況下、2008年経済産業省資源エネルギー庁は、家庭廃食用油を廃潤滑油と混合し、工業炉用燃料である「バイオ再生重油」として再資源化を図ることを目的に、「廃潤滑油と廃食用油によるバイオ再生重油の製造及び家庭廃食用油の回収システムに関する調査」を計画した。新日石総研はこれを受託し、札幌市において実証化実験を行った。

2. 調査の目的

廃食用油は、カロリーが比較的高く不純物が少ないものの流動点が高いため固化する場合があります、単独では燃料として使用することが難しい。

一方、廃潤滑油には添加剤に由来する灰分等の不純物が含まれているが、流動点が低い。

そこで、この性質が異なる両者を混合することにより、安価で良質な工業炉用燃料（バイオ再生重油）を製造する可能性を検討すると共に、家庭廃食用油の効率的な回収システムについて検討した。

3. バイオ再生重油の原料について

3.1 再生重油

2006年度に社団法人潤滑油協会が行った調査結果によると、我が国の使用済み潤滑油の年間発生量は、約104万kLと推定されている。そのうち約88万kL/年が回収され、簡単な精製処理（ごみ・水分の除去、引火点調整程度）後、約54万kLが再生重油として主に工業用炉用燃料に再利用されている。

再生重油の品質は、標準仕様書 TS K 0010 で規定されており、それを表1に示した。

表1 再生重油とA重油の品質規格

項目	再生重油 (TS K 0010)		重油 (JIS K 2205)
	1種 ※	2種 ※※	1種1号 (A重油)
引火点 ℃	70 以上	70 以上	60 以上
動粘度 50℃ mm ² /s	50 以下	50 以下	20 以下
流動点 ℃	-10 以下	-10 以下	5 以下
灰分 質量 %	1.0 以下	1.0 以下	0.05 以下
硫黄分 質量 %	1.0 以下	1.0 以下	0.5 以下
塩素分 質量 ppm	1000 以下	2000 以下	-
水分 質量 %	1.0 以下	1.0 以下	0.3 以下
総発熱量 J/g	41,800 以上	41,800 以上	-

※ 1種：排ガス処理設備が設置されていない炉用

※※ 2種：排ガス処理設備が設置されている炉用

ここでの排ガス処理設備とは、消石灰と活性炭の吹き込み設備やバグフィルター式集塵設備等のダイオキシン類低減のための設備及びその機能を有する設備をいう。

表1で示したように、再生重油規格は、灰分含有量が比較的多いが流動点が低く、塩素分が規定されている。これは、再生重油の主な原料である使用済みエンジン油に含まれている添加剤や潤滑油本来の特性に由来するものである。この性状のため、再生重油の使用用途としては、工業用ボイラその他、アルミ溶融炉や石灰焼成炉のような直火使用が多い。

3.2 廃食用油

国内の食用油の消費量は、年間約237万トンで、そのうち外食産業や食品工業に約198万トンが使用され、一

般家庭用としては約 39 万トンが使用されている。²⁾

外食産業や食品工業等業務用から出る廃食用油は産業廃棄物として取り扱われるので、産業廃棄物処理業者が回収し、鶏の飼料、工業用脂肪酸等に再資源化されている。

一方、家庭廃食用油の発生量は年間 10 万トン程度と推定されており、主に新聞紙に吸収させたり凝固剤で固めた状態で排出され、一般ごみと共に焼却処理されたりしている。

廃食用油には、動物性油脂が混入する場合があるが、バイオ再生重油の原料としては、動物性油脂が混入しても全く問題はない。飲食店やコンビニの廃食用油には、動物性油脂を主成分とする沈殿（赤外吸収スペクトル分析により判定）が見られる（写真 1）。

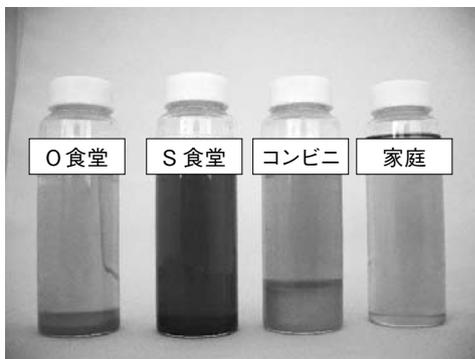


写真 1 廃食用油の外観³⁾

3.3 廃潤滑油、廃食用油及び混合油 (50/50) の性状

廃潤滑油と廃食用油を混合した場合、その性状がどの程度変化するかを確認するため、両者を等量混合した混合油 (50/50) を調製し、その性状を調べた (表 2)。廃食用油は、廃潤滑油に比べ密度が高く、粘度も高い傾向がある。流動点については、廃食用油が低温で固まりやすいのに対して、廃潤滑油の流動点は低く、混合油 (50/50) でも十分低い性状を保っている。

表 2 廃食用油、廃潤滑油及び 50%混合油の性状³⁾

項目	廃食用油	廃潤滑油	混合油 50/50
密度 15℃ g/cm ³	0.921	0.861	0.877
動粘度 40℃ mm ² /s	41.04	25.63	30.77
灰分 mass%	0	0.45	0.29
流動点 ℃	2.5	-32.5	-12.5
硫黄分 mass%	0	0.36	0.16

4. 社会福祉法人による家庭廃食用油回収事業の採算性

家庭廃食用油の回収は、回収場所が分散していることや量的に少量であるためコストがかかる。本調査研究では、知的障がい者の社会福祉法人「朔風」に回収を依頼し、経済的な回収システムについて検討した。

4.1 札幌市の回収拠点

今回の実証化実験に参画した回収拠点は、朔風が従来から実施していた古紙の回収拠点 381 箇所に加え、新たな廃食用油専用回収拠点である給油所 56 箇所及びスーパー 11 箇所の合計 448 箇所である。写真 2 に給油所における回収風景を示す。



写真 2 給油所における回収風景³⁾

4.2 回収量の実績

回収作業については、古紙回収拠点では 2008 年 10 月から、給油所とスーパー (表 3 で (廃油) と表示) では準備の都合で 12 月から行われた。全回収拠点における月ごとの回収量を表 3 に示す。

表 3 実証化実験中の拠点数と廃食用油回収量³⁾

地域名	世帯数	拠点数 (古紙)	10月		11月		12月		1月		2月	
			拠点数 (廃油)	廃食用油 kg								
中央区	118,369	41	0	1.7	0	0.0	6	0.7	6	51.2	7	222.3
北区	134,785	63	0	6.6	0	3.7	7	35.7	8	56.1	11	148.6
東区	127,888	58	0	0.4	0	2.0	6	9.9	6	14.4	8	53.3
白石区	108,148	37	0	0.0	0	4.8	7	6.7	7	47.4	7	46.9
厚別市	58,777		0	0	0	3	4	5				
豊平区	110,915	37	0	0.0	0	0.0	4	148.0	4	66.3	4	59.3
清田区	47,805	0	0	0	0	4	4	4	4	5	5	
南区	70,831	31	0	6.4	0	3.5	5	4.5	5	7.6	6	15.2
西区	103,239	47	0	157.0	0	24.3	7	57.2	7	41.2	7	30.5
手稲区	61,849	67	0	7.5	0	12.7	5	8.1	5	170.1	7	111.5
全市	942,606	381	0	179.6	0	51.0	54	270.8	56	454.3	67	687.6

表3に示したように、各区によりばらつきが見られるものの、全体としてみると、実験開始当初はわずかな回収量であったが、徐々に増加し、2月には約700kg/月の回収量となった。消費者に廃食用油の回収活動や回収拠点が認知されるまでに時間が必要であると考えられる。

4.3 回収経費と回収金額

回収経費は、人件費と2tトラック(償却済み)の燃料費の合計で、収入は、廃食用油と古紙の合計(廃食用油の価格を20円/kg、古紙の価格を10円/kgとした)である。

2008年12月～2009年2月平均の、回収に要した経費(人件費及び燃料費)と収入は次のとおりである。

- ・回収に要した経費：218,640円/月
- ・収入金額合計：230,551円/月
 - 内訳 廃食用油：9,418円/月(4.1%)
 - 古紙：221,133円/月(95.9%)
- ・差引き：11,911円/月の黒字

となったが、収入金額に占める廃食用油の割合は、全体の約4%に留まっている。

廃食用油の回収のみで採算が取れるようにするには、回収に必要な経費は変わらないと仮定すると、

- ・回収経費：218,640円/月(上と変わらずとする)
- ・廃食用油のみから、経費相当の218,640円の収入を得るには、

$$\text{廃食用油の回収必要量} = 218,640 \text{円/月} \div 20 \text{円/kg} = 10,932 \text{kg/月}$$

つまり、月に1万L以上を回収する必要がある、今回の実験(最高が2月の約700kg/月)から判断すると、拠点における回収量を15倍以上に増やす必要がある。

5. バイオ再生重油の製造コスト

北広島市にある環境開発工業(株)の再生重油製造工場において、朔風が回収した廃食用油を廃潤滑油に混合する実験を行い、品質のチェックと製造コストの算出を行った。

5.1 バイオ再生重油の製造工程

バイオ再生重油の製造工程を図1に示した。2基の原料タンク(容量200kL)のうちの1基を使用し、廃食用油(3kL)と廃潤滑油(37kL)をローリー中で混合した原料を張込み貯蔵した。混合油はこの原料タンクからポンプで1次加温タンクに移送される。1次加温タンクで90℃まで加熱された後、2段の遠心分離機で固形分や水分が除去され、200メッシュのろ過フィルターを経て製品タンクに移送される。廃食用油中の天ぷら滓や水分は、これらの設備で除去可能である。今回の製造は、石灰焼成炉における燃焼実験用の5%バイオ再生重油を製造することが目的であるが、バイオ再生重油中の廃食用油含有量を定量する分析方法が確立されていないことや十分な攪拌装置が整っていないことから廃食用油の混合量を目標の5%よりも少し高い7.5%に設定した。

5.2 原料と製品及び製造工程におけるバイオ再生重油の性状変化

原料の廃食用油と廃潤滑油、ならびに1次加温タンク出口、ろ過フィルター出口、出荷ローリー内及び訓子府石灰工業(株)に到着した製品の性状を表4に示したが、水分にバラツキが見られる。

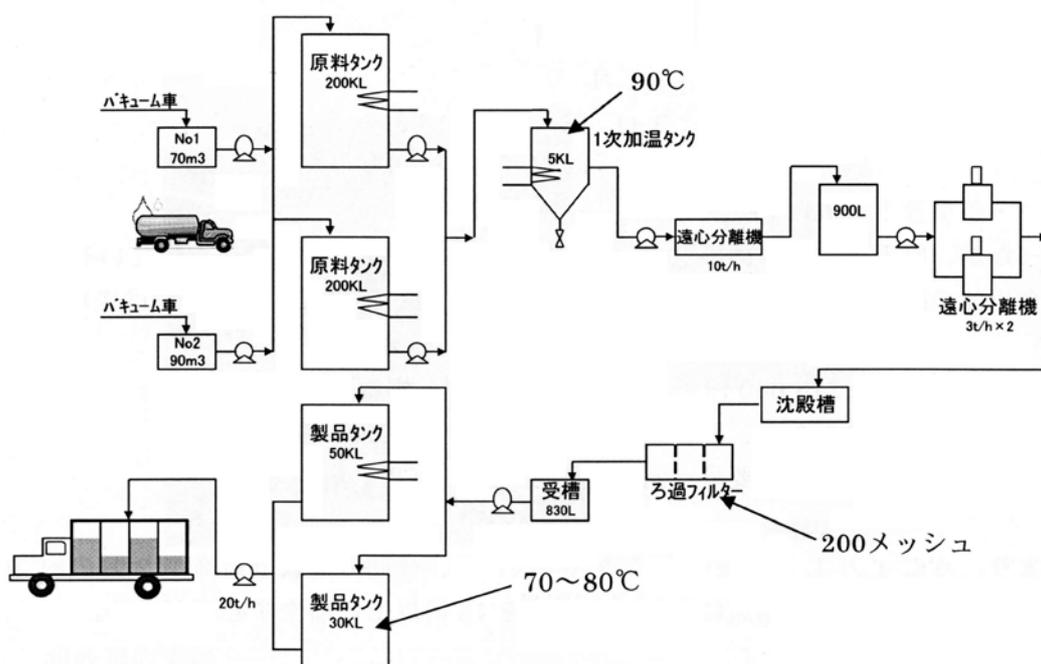


図1 バイオ再生重油の製造工程(例)³⁾

表 4 5%バイオ再生重油の原料と製品性状³⁾

項目/試料 No.	廃食用油 (原料)	廃潤滑油 (原料)	加温タンク油	ろ過フィルタ 出口油	ローリー出荷油	製品調子府
密度 15℃ g/cm ³	0.923	0.872	0.881	0.879	0.877	0.877
動粘度 mm ² /s						
40℃	38.17	18.43	41.69	40.06	38.52	39.66
100℃	8.486	4.406	7.782	7.526	7.297	7.327
水分 Vol%	0.05 未満	0.10	3.80	3.30	3.20	0.90
灰分 %	0.00	0.56	0.70	0.60	0.62	0.62
硫黄分 %	0.00	0.48	0.41	0.41	0.43	0.42
流動点 ℃	-5.0	-32.5	-25.0	-	-25.0	-27.5

5.3 バイオ再生重油の製造コストの算出

(1) 前提条件

- (a) バイオ再生重油の生産量：40kL (廃潤滑油 37kL + 廃食用油 3kL)
- (b) 前処理 (廃食用油の受入れ及び溶解作業)

今回の実験は、札幌市の10月～2月という寒冷期に行ったため、廃食用油を加温して溶解させる作業が必要となった。実際には、ドラム缶にシートをかぶせ、スチームにより2日間加熱した (作業時間：2時間)。

また、ローリーを使用した混合・攪拌作業にさらに2時間を要した。

(2) バイオ再生重油の製造単価

バイオ再生重油の製造単価は、通常の再生重油の製造単価に前処理費が加算される。

・前処理単価	1.22	円/L
・再生重油製造単価	20.26	円/L
合計	21.48	円/L

は、含酸素燃料であるため発熱量が下がることが考えられる。また、運転に及ぼす影響としては、動粘度が高いため燃料の噴霧性や排ガス性状に対する影響を把握する必要がある。

表 5 石灰焼成炉における切替え前後の燃料性状³⁾

項目	切替え前 再生重油/A重油(50/50)	切替え後 5%バイオ再生重油
密度 15℃ g/cm ³	0.867	0.877
動粘度 mm ² /s		
40℃	18.328	39.66
100℃	2.567	7.327
灰分 %	0.31	0.62
硫黄分 %	0.40	0.42
残留炭素分 %	0.53	1.067
流動点 ℃	-	-27.5
発熱量 J/g	45,200	44,990

6. バイオ再生重油の燃焼実験結果

調子府石灰工業 (株) の石灰焼成炉においてバイオ再生重油の燃焼実験を行い、運転上の問題点及び排ガス性状を把握した。

6.1 石灰焼成炉について

石灰焼成炉とは、石灰石 (炭酸カルシウム) に熱を与え、生石灰 (酸化カルシウム) と炭酸ガスに熱分解する炉である。この工程は多量の分解熱量を必要とするため、石灰焼成炉には、多量の重油を主体とした燃料が投入されるが、その燃料のひとつに資源環境対策として再生重油が使用されている。

6.2 バイオ再生重油の燃焼実験

(1) 燃料の性状

燃料の切り替え前後の従来燃料 (再生重油/A重油：50/50) 及びバイオ再生重油の性状を表5に示す。バイオ再生重油は、従来燃料と比較して動粘度が高く、また、灰分や残留炭素分が多い。バイオ再生重油中の廃食用油

(2) 焼成炉の運転状況

燃料の切り替えにあたっては、燃料性状の変化のみの影響が正確に把握できるよう、原料投入量、燃焼空気量、バーナ圧力等を一定にして実験を行った。その結果を、表6に示す。運転上の変化は特に見られなかった。

表 6 燃料切替えに伴う運転状況変化³⁾

運転条件	再生重油/A重油(50/50)	5%バイオ再生重油
炉内温度 ℃	1261	1249
燃料使用量 L/H	114	114.6
排鉱量 kg/H	900	909
排ガス温度 ℃	252	246
燃料温度 ℃	15	15
外気温度 ℃	-10	-6

(3) 排ガスに及ぼす影響

ばいじん及び一酸化炭素濃度に変化がなく、燃焼性については問題ないことがわかったが、NOxについては27ppm から35ppm (O₂10%換算) へやや増加した。

7. 廃食用の熱劣化生成物について

廃食用油は、熱劣化しやすいので、使用条件によっては工業炉の燃料供給系統において高分子状の劣化物が生成する可能性がある。廃食用油が25%以上混合された再生重油の燃焼実験の際、バーナノズルのフィルターが閉塞する現象が報告されている。⁴⁾これは、植物油成分の高温における酸化劣化による高分子状物質生成によるものと考えられる。

そこで、200℃及び300℃において粘着性物質が生成するかどうかを実験で確認した。実験は、(株)マルサワに依頼した。

(1) 試験方法

廃食用油30gを磁性坩堝に採取し、200℃及び300℃に保った空気恒温槽内で1～6時間加熱を継続した後、試料油を取り出し性状等を測定した。

(2) 廃食用油の熱劣化による性状変化

200℃及び300℃における性状の経時変化を表7に示したが、200℃では6時間、300℃では1時間で、不溶分(黄～褐色の樹脂状物質で石油エーテル、エタノール、ベンゼン、クロロホルム及び四塩化炭素に不溶である)が増加し、色相の低下と見かけ粘度の増加が見られた。これは、熱による酸化劣化と熱重合(重縮合)による油脂の高分子化が進んでいることを示していると考えられる。

表7 コンビニ廃食用油の熱劣化実験結果³⁾

加熱温度	℃	(熱劣化試験前)	200℃	300℃
加熱時間	h		6	1
色相 (ASTM)		2.5	3.0	4.0
動粘度	40℃	43.21	—	237.1
	100℃	9.135	—	29.86
酸価	mg/KOH	1.61	2.57	3.25
加熱減量	%	0	0.5	10.3
不溶分	%	0	0.56	1.39

工業炉によっては、バーナ元温度は1000℃程度の高温にさらされることがあり、廃食用油の比率が高いバイオ再生重油を燃料に使用すると、粘着性の熱劣化生成物が生成する可能性があるが、5%程度の混合率であれば問題ないと考えられる。

8. バイオ再生重油中の廃食用油含有量の定量方法

バイオ再生重油中の廃食用油の含有量を定量する分析方法が確立されておらず、使用者が廃食用油の含有量を確認できないのが現状である。このため、バイオ再生重油中の廃食用油である油脂分の含有量を定量するための試験法について検討した。

JIS K 2241-2007(切削油剤)の追補1に、潤滑油留

分である切削油に含まれる油脂分を赤外分光分析法により定量分析する「赤外分光光度計による脂肪油分試験法」が規定されているので、この方法が適用可能かどうかを検討した。

8.1 赤外定量分析法の原理

赤外光は、廃食用油を含むバイオ再生重油に照射されると、油脂分(エステル化合物)によって吸収され、検出器に到達する。油脂分の特異吸収である1740～1750cm⁻¹の光は、油脂分の濃度によって吸収強度が異なるため、定量分析が可能となる。

8.2 バイオ再生重油中の廃食用油含有量の定量分析結果

3種類の廃油サンプルA(ディーラー系廃油)、B(給油所系廃油)及びC(工業廃油)に菜種油を添加し、そのサンプルを赤外法で測定し、添加量がどの程度正確に定量できるかを調べた。その結果を表8に示した。

表8 赤外法による定量結果³⁾ (数値は重量%)

試料名	測定値 %	補正測定値 %	理論値 %	誤差 %	JIS許容誤差 %
A	1.41	—	—	—	—
A 5%	6.29	4.88	5.00	0.12	0.25
A 10%	10.68	9.26	10.04	0.78	0.3
B	0.65	—	—	—	—
B 5%	5.50	4.85	5.05	0.2	0.25
B 10%	10.30	9.64	10.06	0.42	0.3
C	0.76	—	—	—	—
C 5%	6.20	5.43	5.29	0.14	0.26
C 10%	11.08	10.32	9.95	0.37	0.3

サンプルA:ディーラー廃油、サンプルB:給油所廃油、
サンプルC:工業廃油

菜種油を添加していない場合、Aには1.41%、Bには0.65%、Cには0.76%のエステル成分が含有されていた。そこで菜種油を添加したのものには測定値からあらかじめ含まれているエステル成分量を減じ、補正測定値として表した。赤外法で求めた菜種油添加量(補正測定値)は、理論値に対する誤差がJISに規定されている室内併行精度(平均測定値に対する相対誤差)を越えるものがあつたが、5%濃度のサンプルについては、いずれも許容誤差以下であつた。従って、バイオ再生重油の赤外分析は、添加されている廃食用油の量をほぼ正確に定量可能であると判断される。なお、廃油に含まれるエステル成分は潤滑油に添加されているエステル構造を有する添加剤によるものと思われるが、無視できない量である。

以上のことから、赤外分析によりバイオ再生重油中の廃食用油含有量を定量するには、

- ①廃潤滑油のエステル含有量の定量結果:a
- ②バイオ再生重油のエステル含有量の定量結果:b

③バイオ再生重油に含まれる廃食用油含有量 = $b - a$
 の手順を踏めば求めることが可能であると考えられる。

9. バイオ再生重油と高濃度 BDF との比較

廃食用油のリサイクルの方向として、バイオ再生重油が適しているか、あるいは BDF が適しているかは、今後の技術革新や原油価格の動向に左右される要素が大きく、またその時の経済情勢にも依存するものと思われる。しかし、メニューをどちらかに限定するのではなく、いくつか用意しておくことは、必要なことと考えられる。

バイオ再生重油と高濃度 BDF との比較を表 9 に示した。表 9 に示したように、バイオ再生重油は、高濃度 BDF と比較して精製コストも安価で、排ガスや装置に対する影響もなく、廃食用油の優れた再資源化の方法と考えられる。

10. まとめ

本事業は、札幌市の家庭廃食用油を対象に行われたもので、知的障がい者の社会福祉法人により回収作業が行われ、北広島市の再生重油製造工場バイオ再生重油が製造され、訓子府にある石灰焼成炉において燃焼実験が行われた。

その結果、家庭廃食用油は、工業炉用燃料である「バイオ再生重油」として商業規模で再資源化することが可能であることが実証された。

本調査では、家庭廃食用油の回収試験のために、給油所、スーパーマーケット等の協力を得て、社会福祉法人が

廃食用油の回収を行ったが、こうした環境関連の新たな産業分野は、地域における障がい者の新たな就労分野としても注目され、環境と福祉が融合したビジネスモデルとして認識されつつある。

本実証化実験は、札幌市内の給油所（新日本石油系の北海道エネルギー株式会社、栗林石油株式会社及び株式会社トキワをはじめコスモ系の北日本石油株式会社、北海道カーオイル株式会社及び株式会社キタセキ、出光系の株式会社アイックス、JOMO 系の前側石油株式会社の各給油所）及びスーパー（株式会社ホクレン商事）が回収拠点を提供し、札幌市民の協力により行われた。

最後になりましたが、本調査の機会を与えていただいた経済産業省資源エネルギー庁、調査にご協力いただいた関係各位に深く感謝申し上げます。

－ 引用文献 －

- 1) 高濃度バイオディーゼル燃料等の使用による車両不具合等防止のためのガイドライン（指導要領）2009_02_09_ver1.0 国土交通省自動車交通局
- 2) UCオイル(廃食用油脂)リサイクルについての手引き(案) (2007年版) 全国油脂事業協同組合連合会
- 3) 平成 20 年度経済産業省委託調査「廃潤滑油と廃食用油によるバイオ再生重油の製造及び家庭廃食用油の回収システムに関する調査」株式会社新日石総研
- 4) 平成 16 年度経済産業省委託調査「使用済み潤滑油と廃食用油による良質燃料油の製造」株式会社新日石総研

表 9 バイオ再生重油と高濃度 BDF との比較³⁾

比較項目	5%バイオ再生重油	高濃度 BDF
1. 廃食用油の割合	再生重油の製造量が多いので、5%程度。	5%以上の高濃度あるいは 100%使用。
2. 原料廃食用油	動物性油脂、水分、鉍油物等の混入は問題ない。従って、消費者は回収に出しやすい。	水分、動物性油脂等を嫌うので、不純物の少ない廃食用油を入手するのがポイント。
3. 精製方法とコスト	再生重油の製造ライン(加熱・遠心分離機)に混合するだけなので製造コストが安価。	BDF 製造には、メタノールや触媒が必要である。精製が不十分の場合、トラブル発生が頻繁に起こる。製造コストが高い。グリセリン、廃水等の廃棄物処理が必要である。
4. 酸化劣化	問題なし	酸化劣化し易いので酸化防止剤が必要。
5. 品質規格	再生重油の TS 規格(TS K 0010)に準拠	我が国には高濃度 BDF の品質規格はない(国土交通省のガイドラインのみ)。
6. 排ガス	再生重油とほとんど同じ	粒子状物質、NO _x 、アルデヒド等の増加
7. 装置への影響	再生重油の使用時と同じ	装置の改造、定期点検が必要