

～エネルギーの地産地消～

省エネルギーで製造したバイオ燃料（BCF）を高配合した
重油代替燃料の開発

安達春樹 井門良介 立川京介* 高橋 真**

Development of heavy oil alternative fuel using bio clean fuel (BCF)

ADACHI Haruki, IMON Ryosuke, TATSUKAWA Keisuke and TAKAHASHI Shin

愛媛県内で廃棄されている廃食油から極力エネルギーを使わずに製造したバイオ燃料である BCF(バイオクリーンフューエル)を重油代替燃料として活用するため、重油への最大配合率の検討を行った。検討の結果、A 重油の基準を満たす最大配合率は約 80%であることが分かった。また、BCF 混合重油代替燃料の燃焼試験では、CO₂ だけでなく SO_x 及び NO_x の環境負荷低減についても期待できることが分かった。

キーワード：BCF(バイオクリーンフューエル)、重油代替燃料、てんぷら油、カーボンニュートラル、SO_x、NO_x

はじめに

西日本豪雨など気候変動による異常気象が身近なところまで迫っている中、日本政府は対策の 1 つに 2050 年までに温室効果ガスの排出を全体としてゼロにする、「カーボンニュートラル」を目指すことを宣言している^{1,2)}。カーボンニュートラルの実現には石油燃料からの脱却が不可欠であるが、現状では、自動車の燃料（ガソリン）や工場で使用するボイラーの燃料（重油）など、石油由来の燃料があらゆるところで使用されている。

そのような背景の中、エコバイオ（株）では、地域のレストランやホテル、家庭から廃棄される廃食油を原料に、沈殿やろ過など、極力エネルギーを使わずに製造したバイオ燃料 BCF（バイオクリーンフューエル）を製造しており、近年、注目が集まっている。この BCF は、重油と混合することで重油代替燃料として利用可能であるものの、様々な廃食油の混合物であり、エネルギーをかけた前処理を行っていないためロット間のバラつきがある。そのため、重油へ高配合した場合、重油の規格基準（JIS K 2205）を達成できない可能性がある。上記理由から、BCF を重油へ高配合したいニーズはあるものの、経験的に配合率は 30%程度としている。

そこで、本研究では、BCF を重油へ高配合した環境に優しい重油代替燃料を製造することを目的に、劣化が少ないと思われる家庭から回収した廃食油のみで製造した BCF（家庭系 BCF）と劣化の進んでいると思われるレストランやホテルから回収した廃食油のみで製造した BCF（事業系 BCF）の重油規格基準値を分析し、測定値の幅を比較することでロットによるバラつきを定量的に評価した。また、重油代替燃料として使用可能か評価するため、ロータリーガスバーナーによる燃焼試験及び排出ガスの測定を行った。

実験方法

1. 試料

ロット間のバラつきを評価するため、家庭系 BCF と事業系 BCF の 2 系統に分け、エコバイオ(株)にて BCF の製造を行った。家庭系 BCF については県内に設置した「使用済み天ぷら油回収 BOX」よ

*エコバイオ株式会社**愛媛大学大学院農学研究科
この研究は、「R4 産学官連携共同研究開発事業」の予算で実施した。

り回収した廃食油を、事業系 BCF については県内のレストランやホテル等より回収した廃食油を用い、それぞれ約 800 L を混合・均質化し、BCF を製造した。

2. 試験項目

A 重油の規格基準 (JIS K 2205) は、水分 (JIS K 2275 準拠)、残留炭素分 (JIS K 2270 準拠)、灰分 (JIS K 2272 準拠)、硫黄分 (JIS K 2541 準拠)、引火点 (JIS K 2265 準拠)、動粘度について測定を行った。動粘度は、下記式 (1) の関係があることから、密度及び粘度の測定値から計算により算出した。密度は標準比重計を、粘度は毛細管粘度計と同等程度の精度³⁾がある B 型粘度計 (DV-I Prime 英弘精機株式会社) を用い分析を行った。

また、その他に発熱量 (JIS K 2279 準拠)、酸価 (衛生試験法・注解 2015 準拠) についても測定を行った。

動粘度の換算式

$$\text{動粘度 (cSt)} = \text{粘度 (mPa} \cdot \text{s)} / \text{密度 (g/cm}^3\text{)} \quad (1)$$

3. 燃焼試験

ロータリーガスバーナー (ニューコロナ株式会社 型式 RT24) を使用し、燃焼試験を行った。本研究で用いたロータリーガスバーナーの送油方式は自然流下式のため、燃料を設置する高さは地上より約 1 m とし、モーター回転数は 4000rpm、燃料消費量 (最大 24L/h) については 20 段階中 8～13 へ適宜量を変更し試験を実施した。また、同時に排出ガス中の NO_x 及び SO_x について排出ガス分析装置 (ホダカ株式会社 型式 HT1300ZE) を用い測定を行った。

50%家庭系 BCF 及び 50%事業系 BCF については、A 重油及び BCF を 1 対 1 の割合で混合し作製した。100%BCF の燃焼試験は、燃料温度を上げることで動粘度が大幅に下がることから、燃焼前に約 60℃ に加温し実施した。

結果と考察

1. 酸価及び A 重油規格基準に関わる分析結果

BCF の劣化度合いを調査するため、家庭系 BCF および事業系 BCF の酸価の値を測定した。酸価は、油の劣化度合いを示す指標であり、劣化が進むにつれて値が上昇する。食品衛生法では、即席めん中に含まれる油脂の酸価は 3mg/g を超えてはならないと定められている。測定の結果、家庭系 BCF の酸価は 0.62mg/g、事業系 BCF の酸価は 2.9mg/g であり、事業系の廃食油は劣化がかなり進んでいることが明らかとなった。

製造した BCF の A 重油規格基準値を調査するため、家庭系及び事業系の BCF について、発熱量、引火点、残留炭素分、灰分、硫黄分、動粘度の分析を行った。測定の結果、残留炭素、灰分、硫黄分、引火点については、A 重油規格基準を満たす結果であった (表 1)。BCF の引火点については、A 重油と比較した場合 164℃ 以上高く、そのまま燃料として燃焼させる場合、着火時は保温するなど、燃料の温度を上げる必要があることが分かった。これは、一般に家庭用サラダ油やてんぷら油の引火点は 250℃ 程度と言われており、BCF を構成する油種の主成分であるオレイン酸やリノール酸の引火点が 189℃ (オレイン酸)、110℃ (リノール酸) と A 重油よりも高いことに由来している^{5,6)}。

表 1 家庭系及び事業系 BCF の酸価及び各 A 重油規格基準測定結果

項目	酸価 (mg/g)	発熱量 (J/g)	残留炭素分 (質量%)	灰分 (質量%)	硫黄分 (質量%)	引火点 (℃)	水分 (容量%)
家庭系BCF	0.62	39000	0.43	0.0062	0.0011	242	0.045
事業系BCF	2.9	39000	0.57	0.0087	0.0010	252	0.050
A重油 基準	-	-	4以下	0.05以下	0.5以下	60以上	0.3以下

密度と粘度の測定を行い、(1)の換算式より動粘度の算出を行った(図1, 2, 3)。50℃におけるBCFの動粘度は、家庭系BCFは26.1cSt、事業系BCFは26.9cStとA重油の規格基準を満たさなかった(A重油基準は50℃で20cSt以下)。そのため、A重油を用いてBCF配合率を90%、80%と希釈したサンプルの密度及び粘度を測定し、動粘度を算出した。その結果、80%BCFでは、50℃における家庭系BCFの動粘度は18.3cSt、事業系BCFの動粘度は19.1cStとA重油規格基準値を満たす結果となった(図3)。以上の結果より、BCFを重油代替燃料として使用する場合、律速となる項目は動粘度であることが分かった。また、動粘度を基準とした場合、BCFの最大配合量は、本研究で使用したA重油を用いた場合80%程度であることが分かった。

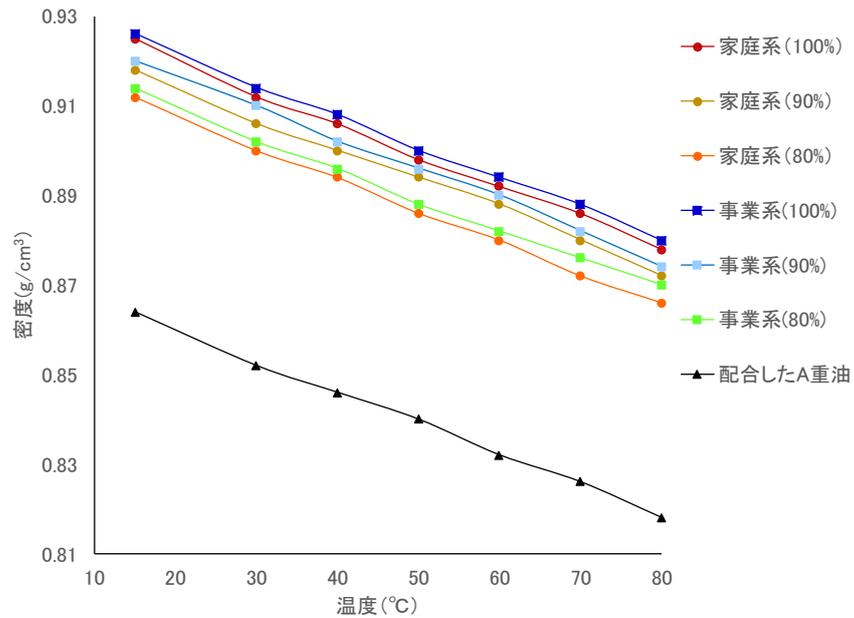


図1 各燃料の温度と密度の関係

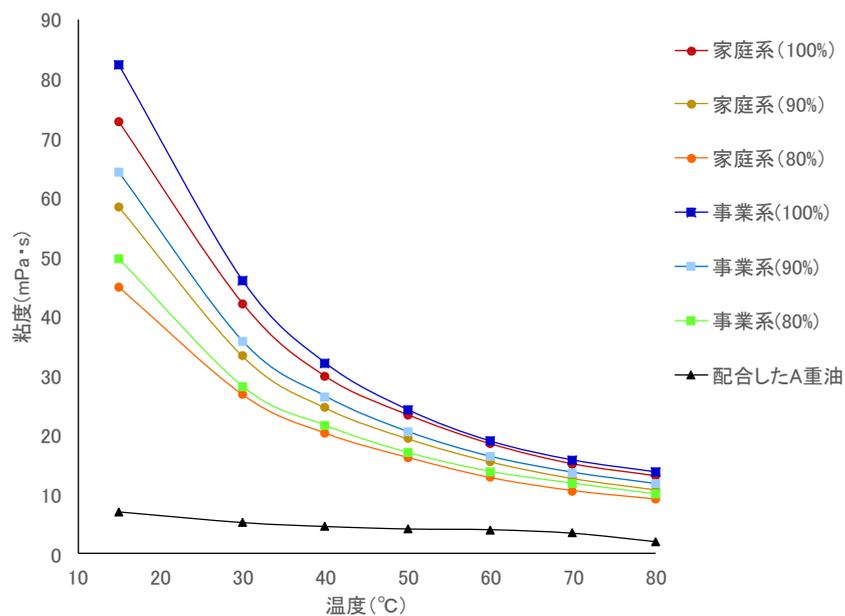


図2 各燃料の温度と粘度の関係

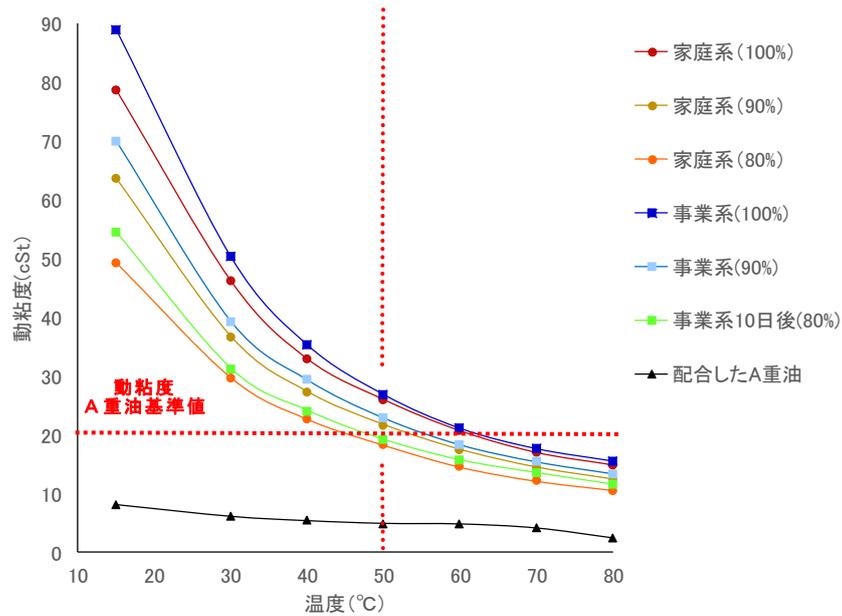


図3 各燃料の温度と動粘度の関係

2. 実機による燃焼試験

50%家庭系及び事業系 BCF について燃焼試験を行った結果、常温の燃料のまま点火しようとした場合、バーナーに火がつかなかった。50%家庭系及び事業系 BCF の引火点を測定したところ、87°Cであったことから、引火点が高いことや粘度が高く燃料がミスト状になりにくいことが原因と推察された。そのため、はじめに A 重油で暖気運転を実施し、バーナー周辺の温度を上昇後、燃料を切りかえる方法を試みた。その結果、50%家庭系 BCF については、A 重油で着火後、約 10 分暖気運転し、その後、油量を約 10% 上げ、燃料を切りかえることで燃焼した。50%事業系 BCF 燃料についても、上記試験実施後に切り替えることで同様に燃焼した。

100%家庭系 BCF については、50%BCF (家庭系) にて約 10 分暖気運転後、そのまま切り替えることにより燃焼した。燃料の消費量については、粘度が高いため、50%BCF 燃料の半分程度となったものの、炎は維持されていた。そのため、実際に A 重油と同程度の火力を維持するためには、油量及び空気量を上げるか、燃料をさらに加温し、粘度を下げる必要があることが分かった。

100%事業系 BCF については、同様に試験を実施した結果、50%BCF (家庭系) で暖気運転後、さらに油量を約 15% 上げることで炎を維持できた。

以上の結果より、BCF を加温、A 重油で着火後、暖気運転し、段階的な燃料の切りが必要であるものの、家庭系・事業系両系統の BCF とともに、100%濃度においても重油代替燃料として使用可能であることが分かった。

3. 燃焼試験時の排出ガス試験

燃焼試験時に図 4 のように簡易的な排出ガス分析装置を組み立て、NO_x 及び SO_x の分析を行った。分析の結果、A 重油と比較した場合、50%BCF 燃料は NO_x 濃度が低下するものの、100%BCF の場合は NO_x 濃度が高くなった (表 2)。生成される NO_x には空気中の窒素と酸素が高温状態になって発生するサーマル NO_x と燃料中の窒素分が燃焼中に酸化され発生し、燃焼領域での酸素濃度が高いほど発生するフューエル NO_x がある⁷⁾。サーマル NO_x は温度が 1500°C 以上になると急激に増加することが報告されているが⁸⁾、100%BCF では、燃焼時の排出ガス温度は A 重油を燃焼させた場合よりも低く、排出ガス中の酸素濃度が高くなっていることから、燃料中の窒素分が空気中の酸素により酸化され発生したフューエル NO_x が若干増加したものと推察される。一方、大気汚染防止法 (ボイラーの規模、1 万 m³N 未満) で定められている NO_x 排出基準値は、酸素濃度 4% 換算値にて 180 ppm 未満であり、その値と比べると十分低い結果であった。

SO_x については、A 重油と比較した結果、BCF を混合すればするほど数値が下がる結果であった (表

2)。一方、硫黄分の含有量から、本来であれば 100%BCF の燃焼で SO_x はほとんど発生しないと思われるが、本研究では、暖気運転により 100%BCF 燃焼前に A 重油を燃焼させ、着火や暖気運転の作業を行っており、完全に燃焼しきっていない A 重油の硫黄分が加算されている可能性が推察された。



図4 排ガス分析装置 (左 寸法図 右 写真)

表2 燃焼試験時の NO_x 及び SO_x 濃度

項目	燃焼量 (L/h)	NO _x (ppm)		O ₂ (%)	SO ₂ (ppm)	排ガス温度 (°C)	周囲温度 (°C)
		O ₂ 0%	O ₂ 4%				
A重油	7.3	114	92	2.0	274	162	9.0
家庭系50%+A重油50%	7.0	78	63	8.2	122	111	9.0
事業系50%+A重油50%	7.0	88	71	8.4	134	128	9.0
100%BCF(家庭系)	3.6	91	73	13	58	57	8.5
100%BCF(事業系)	4.1	108	87	13	65	58	8.5
備考		大気汚染防止法 基準値180ppm (ボイラーの規模、 1万m ³ N未満)4%O ₂ 換算					

まとめ

BCF を重油へ高配合することを目的に、重油規格基準の分析及びロータリーガスバーナーによる燃焼試験を行った結果、以下のことが分かった。

1. BCF の A 重油規格基準について試験を行った結果、動粘度が規格基準を満たすための律速となることが明らかとなった。
2. 動粘度について、今回用いた A 重油の場合、最大約 80%の割合で混合することで基準を満たすことが確認できた。
3. BCF 混合燃料の燃焼試験の結果、CO₂ だけでなく SO_x 及び NO_x の環境負荷の低減についても期待できることが分かった。

文献

- 1)内閣官房 国・地方脱炭素実現会議 地域脱炭素ロードマップ ～地方からはじまる、次の時代への移行戦略～ P1(2021).
- 2)環境省 脱炭素ポータル https://ondankataisaku.env.go.jp/carbon_neutral/about/.
- 3)小野山益弘, 佐藤武司 Brookfield 型回転粘度計による石油類の粘度測定法 石油学会誌第 8 巻第 4 号 P25-P28(1965).
- 4)戸谷洋一郎 油脂成分の試験・分析法 オレオサイエンス 第 1 巻第 6 P63-P71(2001).

- 5)池上詢 バイオディーゼルハンドブック～地球温暖化防止と循環型社会の形成に向けて～ P11 (2007).
- 6)八島正明, 水谷高彰 安全工学 業務用生ごみ処理施設の爆発災害 その2 : 測定—Vol.49 No.2 (2010).
- 7)一社海外環境協力センター (現環境省委託) 大気環境技術研修マニュアル総論 7.8 燃料改善による NO_x 対策 P150-P152(1998).
- 8)松下晴樹, 福田尚倫, 川田一輝, 大下伸浩 廃棄物燃焼における NO_x の生成挙動解析～三次元素反応解析モデルの構築～日鉄エンジニアリング技報 Vol. 11 P6～P7(2020).