

バイオディーゼル燃料生産のための 油糧作物に関する研究

平成 25 年 1 月

(2013 年)

帯広畜産大学大学院畜産学研究科

修士課程 資源環境農学専攻

岸川 沙織

Oil crop characteristics for bio diesel fuel production

January 2013

SAORI Kishikawa
Master's Course of
Agro-Environmental Science
GRADUATE SCHOOL OF
OBIHIRO UNIVERSITY OF
AGRICULTURE AND VETERINARY
MEDICINE

目 次

第 1 章 諸 言

- 1-1 環境問題とバイオディーゼル燃料……………3
- 1-2 バイオディーゼル燃料の必要性……………4
- 1-3 食糧競合問題……………5
- 1-4 アフリカ大陸でのバイオディーゼル燃料の現状……………6
- 1-5 目的……………8

第 2 章 実験材料

- 2-1 クロトン(*Croton megalocarpus*)……………9
- 2-2 キャスター(*Ricinus communis*)……………10
- 2-3 イエローオリアンダー(*Thevetia peruviana*)……………11
- 2-4 ジャトロファ(*Jatropha curcas*)……………12
- 2-5 植物油……………13
- 2-6 軽油……………13
- 2-7 バイオディーゼル燃料……………13

第 3 章 実験装置及び実験方法

- 3-1 搾 油……………14
 - 3-1-1 搾油装置……………14
 - 3-1-2 搾油実験……………15
- 3-2 搾油時に必要な力……………16
 - 3-2-1 実験装置……………16
 - 3-2-3 破砕強度測定……………18
 - 3-2-4 搾油時圧力測定……………19
- 3-3 成分分析……………20
 - 3-3-1 実験装置……………20
 - 3-3-2 油脂抽出 (FOLCH 法) ……23
 - 3-3-3 酸価 (ミクロ法) ……24
 - 3-3-4 ヨウ素価 (ウイイス法) ……25
 - 3-3-5 ケン化価 (滴定法) ……26
 - 3-3-6 脂質成分 (クロマトグラフィ法) ……27
- 3-4 バイオディーゼルへの変換……………28
 - 3-4-1 変換方法……………28
- 3-5 粘 度……………29
 - 3-5-1 実験装置……………29
 - 3-5-2 粘度測定……………30

第 4 章 実験結果及び考察	
4-1 搾 油	31
4-2 搾油時に必要な力	32
4-3 成分分析	44
4-3 バイオディーゼル変換	46
4-4 粘 度	48
第 5 章 摘 要	49
謝 辞	52
参考文献	53
Summary	54

第1章 諸言

1-1 環境問題とバイオディーゼル燃料

人類は産業革命以降、大量の化石燃料を消費してきた。近年、急速にその消費量が増加し、地球温暖化や、化石燃料枯渇といった環境問題が身近なものとなってきている。現在、この問題を解決すべく、世界中で化石燃料に代替するクリーンエネルギーの研究・開発が進められている。

日本では毎年約2億5000万トンの石油が消費されており、その内ガソリンが約22%、軽油が約13%を占めている（松村正利，2006）。ガソリンや軽油は、主な用途が自動車や船舶、航空機などの運輸関係であるため、工業的用途に主に使われている重油やナフサに比べ、利用用途が簡潔で、クリーンエネルギーへの転換を図りやすい。そのため地球温暖化や化石燃料枯渇問題を改善するには、ガソリンや軽油の代替としてクリーンエネルギーの利用を普及させることが必要不可欠である。

軽油は、日本でも年間約3800万トン消費されており（松村正利，2006）、トラックやバスなどの大型車や農作業機にも使われているディーゼルエンジンの燃料として主に利用されている。バイオディーゼル燃料はその軽油に代替するクリーンエネルギーであり、生産と利用が広まってきている。バイオディーゼル燃料はバイオマスを原料としているため、燃料を燃やすことにより排出される二酸化炭素ガスが植物によって再吸収されるため、差し引きゼロになると考えられている。この考え方はカーボンニュートラルと呼ばれ、環境に対して負荷は掛からないとされている（松村正利，2006）。

1-2 バイオディーゼル燃料の必要性

バイオディーゼル燃料以外にも、クリーンエネルギーの研究・開発は進められている。自動車などでは、ガソリンに替わり、燃料電池や電気をエネルギーとするものも開発されており、ディーゼルエンジンにしか利用できないバイオディーゼル燃料の普及など必要ない、という意見もある。しかし、物資の流通に必要なトラックや、食糧の生産に必要な農業用トラクタなど、我々が生活する上で欠かすことのできない事柄にディーゼル燃料を利用するディーゼルエンジンが利用されている。現在、燃料電池や電気エネルギーは、乗用車への利用がようやく始まった段階で、ディーゼル車への利用、普及までには、まだかなりの時間が必要である。そのため自然エネルギーと違い、安定して得られるバイオディーゼル燃料の利用は十分に有益な手段であり、環境保全の即戦力となり得る。

1-3 食料競合問題

バイオ液体燃料にはバイオエタノールとバイオディーゼルがあり，バイオエタノールはサトウキビや三大穀類のひとつであるトウモロコシなどの食用作物が主に利用されており，食糧生産を圧迫している。アメリカでは，バイオエタノールに利用するためのトウモロコシの作付を積極的に推進した。トウモロコシの作付面積が増えた分，大豆や小麦の作付面積が減り，世界の大豆や小麦市場に影響を与えている。ブラジルではサトウキビをバイオエタノールに利用している。その為，ブラジル国内で販売される車のほとんどがフレックス車であり，バイオエタノールをガソリンに混合しても問題ないようになっている。しかし，食料であるサトウキビを燃料に回すということは，その分を畑の面積を広げて作るか，輸入に頼ることになる。

バイオディーゼル燃料も同様に主に利用されているのは，大豆やなたね，アブラヤシなどの食用作物である。

この問題に関しては，バイオディーゼル燃料の原料となる食用油糧作物を，非食用油糧作物に代替させようという取り組みが行われている。代替を図るにあたっては，食用油糧作物を生産する土地との競合を防ぐ必要があること，生産段階での環境負荷を低減するため，生育に手間の掛からない油糧作物が好ましいこと，などを考慮する必要がある。

1-4 アフリカ大陸でのバイオディーゼル燃料の現状

アフリカ大陸では、飢餓の問題が根強い問題として残っている。その為、先進国よりも、食糧を燃料にしてしまうバイオ燃料は多大で直接的な影響を与えてしまう。

ケニアでは、GDPの5.6%にもなる983億ドルがガソリンと軽油に支払われている。これを国内で生産したバイオディーゼルやバイオエタノールに置き換えようとしている。

エチオピアでは国家プロジェクトの一環として、40万ヘクタール以上でバイオ燃料用作物を栽培する計画をたて、外資系にはインセンティブ（奨励金）が用意された。稼働までのプロセスが比較的容易なこともあり、海外のバイオ燃料開発企業の参入が相次いでいる。ある地方では、その様な外資系の企業により、油糧作物に高い賃金が支払われ、その為、手軽に収入を得られると思った農民が主食であるトウモロコシ、キャッサバ、ジャガイモの栽培をやめて、バイオ燃料用作物を栽培するようになってしまった。

タンザニアでは、すでに30,000 ha以上の面積でジャトロファという油糧作物が栽培されている。ジャトロファ油はバイオディーゼル燃料だけでなく、調理するためのかまどの燃料や灯、石鹼に利用する取り組みが行われている。また、畑にならない痩せた土地に生えている油糧作物の種子を子供たちが拾い集め、バイオ燃料の企業に売り、収入源になっているという面も見られる。また、企業の方で、バイオ燃料の為に食糧用の畑をバイオ燃料用作物にかえることを禁止しているところもある。(GTZ, 2008)

アフリカの一部地域のように食糧の確保が難しい地域でバイオ燃料用の作物を作ることはもろ刃の剣となりえる。食糧を十分に確保しつつ、重要な収入源

としてバイオ燃料用作物を作っていくには、参入するバイオ燃料企業と地元の農業従事者、双方のバイオ燃料に対する知識が必要だと考えられる。

1-8 目的

本研究では、バイオディーゼル燃料生産における原料油脂としての非食用油糧作物の利用促進に寄与するため、非食用油糧作物であり、バイオディーゼル燃料としての利用が検討され始めた、クロトン (*Croton megalocarpus*)、キャスター (*Ricinus communis*)、イエローオリアンダー (*Thevetia peruviana*) について、原料油脂としての適性を調べることを目的とする。

クロトン、キャスター、イエローオリアンダーの種子から油脂を取り出し、バイオディーゼルへ変換し、燃料としての利用可能性を検討することとした。

2章 実験材料

2-1 クロトン (*Croton megalocarpus*)

クロトンは東アフリカ原産の常緑樹で、高さは大きいもので 35mにもなり、現地では日よけや風よけ、生垣として使われている。また、種子は有毒で、葉、樹皮、根は様々な病気の薬としても使われている。(Braam van Wyk, 2011) ケニアでの収量は 2.5 t/ha/yr, バイオディーゼル生産量は 336 L/t である。(GTZ, 2008)日本では観葉植物として知られ、変葉木とも呼ばれている。しかし、クロトンの種子におけるバイオディーゼル燃料の原料油脂としての性状は、まだまだ知られていない。種子の大きさは、長さが 1.5~2.0 cm, 幅が 1.0~1.2 cm, 厚さが 0.6~0.8 cm 程度で、表面はざらざらしている。(Tim Noad, 2011)

なお、今回クロトンは、ケニアで入手したものを供試した。



図 2-1 クロトン

2-2 キャスター (*Ricinus communis*)

キャスターは東アフリカ原産で、熱帯及び亜熱帯地方では多年生、温帯地方では1年生草本である。ケニアでの収量は灌漑なしで 0.23 t/ha/yr, 灌漑ありで 1.2 t/ha/yr, バイオディーゼル生産量は 448 L/t である。(GTZ, 2008)和名ではトウゴマやヒマと呼ばれる。お灸や湿布に使用されるヒマシ油はキャスター油のことを指す。種子には 35%~57%の油分を含有しており、毒性タンパク質のリシンを含有している。(坂志朗, 2006)さらに他の油脂には無い特殊な脂肪酸であるリシノール酸を主成分とし、保湿力に優れ、石ケンや乳液、湿布などにも利用される他、低温流動性が高いため、工業用原料や潤滑剤として利用されている。キャスターの種子は、すでにバイオディーゼル燃料の原料油脂としても注目されており (G.Robbelen, 1989), 日本でも入手しやすい非食用油糧作物である。種子の大きさは、長さが 1.3~1.5 cm, 幅が 0.9~1.1 cm, 厚さが 0.6~0.7 cm 程度で、表面は滑らかである。

なお、今回キャスターは市販のものを供試した。



図 2-2 キャスター

2-3 イエローオリアンダー (*Thevetia peruviana*)

中南米原産の常緑小高木であり、和名はキバナキョウチクトウとよばれる。キョウチクトウ属キョウチクトウの黄色い花をさかせる品種もキバナキョウチクトウとよばれることがあるが、キバナキョウチクトウ属キバナキョウチクトウとは異なる。木全体に毒性を持っており、特に白い乳液状の樹液に強い毒性を持つ。この樹液は心臓や胃腸に特に強い影響を及ぼす。樹皮は解熱剤として使用される。種子からとれる油は、催吐剤や下剤として使用される。また、その油は煙を出さずに燃えることがよく知られている。(Pradip Krishen, 2006)非常に強い毒性をもつため、生薬として取り扱う際には細心の注意を払うことが必要である。種子は三角形で外側の殻を割ると、2つの種子がはいっている。(図2-3) 本実験ではケニアで入手したものを供試した。



図 2-3 イエローオリアンダー

2-4 ジャトロファ(*Jatropha curcas*)

トウダイグサ科ナンヨウアブラギリ属の小高木で、和名はナンヨウアブラギリである。熱帯アメリカ原産で、干ばつに強く、アフリカや南米、アジアの暖かい地域で栽培、あるいは半野生状態で広く分布する。種子の油分含量は 30%~40%であり、葉や種子にはトリプシン阻害物質、レクチン、サポニン、フィチン酸塩などの毒性物質が含まれている。その毒性物質の中でもホルボエステル類が短期的に毒性を示し、皮膚刺激薬や下剤などとして用いられてきた。(坂志朗, 2006) 圧搾により得られたジャトロファ油はこれらの毒性物質を含んでおり、ラットを用いた経口投与実験では、LD₅₀ 値が 6 mL/kg と報告されている (Gandhi, 1995)

このため、ジャトロファは食用に適さないが、エネルギー資源として注目され、インドやアフリカ、ブラジル等でプランテーションが行われている。ケニアでの収量は天水栽培で 2.5 t/ha/yr, 灌漑で 4.2 t/ha/yr, バイオディーゼル生産量は 336 L/t である。(GTZ, 2008) 灌漑をおこない、栽培が推進されたため食用作物の畑と競合し問題となっている。また非食用の油糧作物としては、先行して研究が行われており、本研究では主にクロトンやキャスターと比較するためにケニアのジョモ・ケニヤッタ農工大学で栽培されたものを供試した。



図 2-4 ジャトロファ

2-5 植物油

市販の植物油を使用した。大豆油とキャノーラ油の混合である。本実験では、食用の植物油からバイオディーゼル燃料を作った場合と非食用の植物からバイオディーゼル燃料を作った場合の比較の為に使用した。

2-6 軽油

通常販売されている、特3号軽油を供試した。これは寒冷地において11月から3月まで使用されている規格のものである。引火点45℃以上、蒸留性状90%留出温度330℃以下、流動点-30℃以下、目詰まり点-19℃以下、10%残油の残留炭素分質量0.1%以下、セタン指数45以上、動粘度(30℃)1.7mm²/s以上、硫黄分0.001質量%以下、密度(15℃)0.86g/cm³以下、とJIS K2204規格で定められている(谷添, 2008)。

2-7 バイオディーゼル燃料

株式会社エコERCで精製・蒸留された蒸留バイオディーゼル燃料を使用した。BDF性状を以下の表に示す(谷添, 2008)。

表2-1 BDFの性状

		蒸留 BDF	京都市規格案
FAME 量	w t %	98.8	96.5 以上
酸価	mgKOH/g	0.09	0.5 以下
遊離グリセリン	w t %	0.011 ~0.013	0.02 以下
水分	ppm	300	500 以下
メタノール	w t %	—	0.2 以下

第3章 実験装置及び実験方法

3-1 搾油

クロトン、キャスター、イエローオリアンダー、ジャトロファの種子から油を取り出す。抽出法と圧搾法が考えられるが、本実験では圧搾法をとりあげる。

3-1-1 搾油装置

サン精機社製の小型搾油装置，スクリー式電動搾油機 S100-200 を供試した。重量約 22kg と小型のため持ち運びも可能で，種子の供給，殻の排出とも自動で連続運転が可能であり電動式であるので，経験がなくとも簡単に搾油が出来る。構造としては，スクリー軸の回転で種を押し進めながら外筒との隙間を小さくしていき，種子を圧力ですり潰しながら油と殻とを分離する。

また，操作はスイッチ操作で，圧縮により抽出された油脂は右部の六角形の部分に空いた小さな穴から下へ流れ落ち，スクリー軸に押し出された殻は右端から排出される。

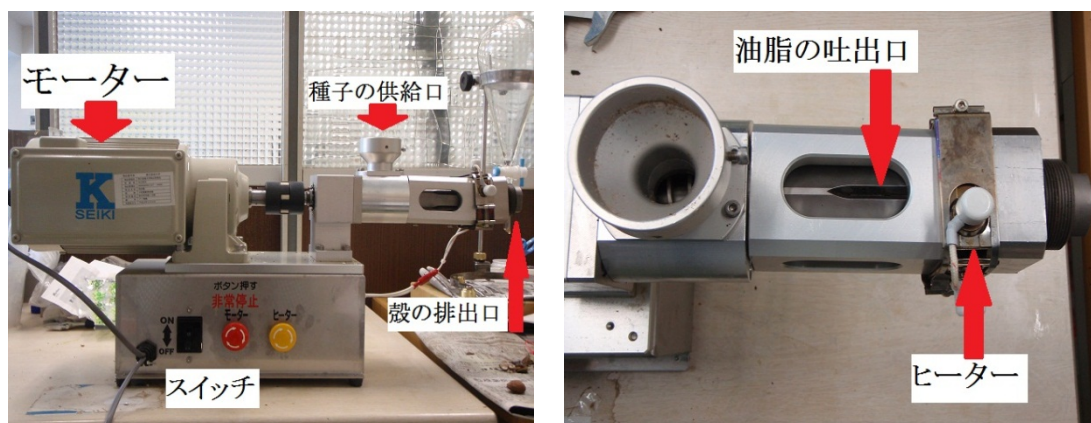


図 3-1 小型搾油機

3-1-2 搾油実験

まず市販のガスボンベ（液化ブタン）とガスコンロを使用し、供試する種子を鍋で炒り 30 秒ほど強火で人肌になるほどに温め、油の酸化を進める酵素の活性を止めた。その後、クロトン及びキャスター、ジャトロファはすり鉢で外側の殻に亀裂が発生する程度に潰し、3-1-1 の搾油機に投入した。イエローオリアンダーは、搾油時にかかる力の実験により外側の殻が大変固く、供試した搾油機では搾油できなかった。



図 3-2 鍋で種子を炒る



図 3-3 殻を割る

3-2 搾油時に必要な力

3-1 で搾油実験を行ったところ、搾油機にトラブルが起こった。その原因を特定するために、供試種子を破碎し、搾油するのにどの程度の力が必要かを推定するための基礎として、種子の圧砕力ならびに搾油時の圧縮力測定を行った。

3-2-1 実験装置

・超小型手動搾油機

本実験では、破碎強度試験、搾油時圧縮力測定ともに一商社製の超小型手動搾油機を供試した。搾油圧力は 58.9 MPa (600 kgf/cm^2) まで懸けることが可能で、コンパクトなため持ち運びも可能である。また、試料量が少なくて済み、簡易に搾油をすることができる。中心にある内径 20 mm の筒の中に種子を入れ、下部の油圧ジャッキにより上昇させ、筒の中の材料を圧縮する構造となっている。手動ハンドルを上下作動1回で油圧ジャッキは 4.0 mm 上昇する。

また、操作は右側のハンドルを上下に動かして行い、圧縮により抽出された油脂は筒の下部中央にある小さな穴から流れ出る。

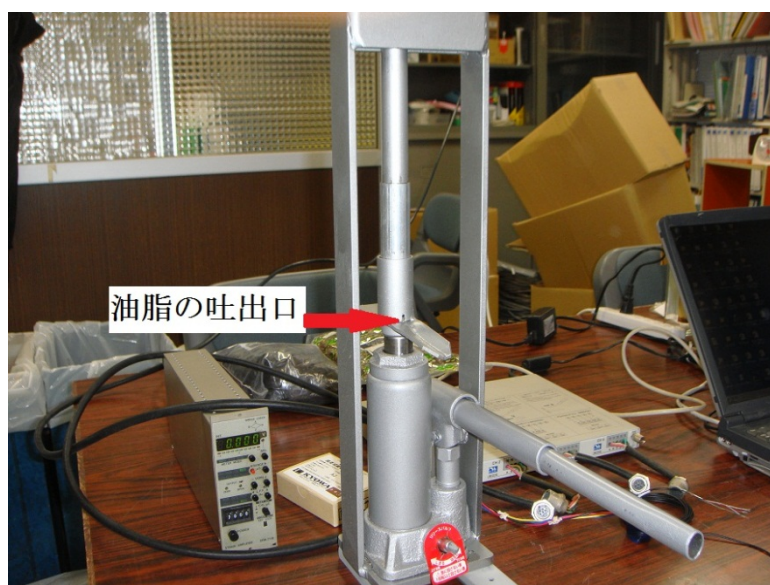


図 3-4 超小型手動搾油機

- ・小型圧縮型ロードセル

破砕強度試験を行う上で、種子 1 粒が破砕する際の圧縮力は小さくなることが予測できたので、小型圧縮型ロードセル 2 種類共和電業製 LCX-A-2KN-ID を供試した。定格容量は 2kN ， 較正係数は $0.0005262 \text{ kN} / 1.0 \times 10^{-6}$ で、小さい圧縮力を測定することが可能である。

- ・圧縮型ロードセル

搾油時圧縮力測定では、大きな圧縮力でも測定可能な圧縮型ロードセルを試作・供試した。軟鋼製丸鋼を用いたひずみゲージ式のロードセルとし、ひずみゲージを 4 アクティブゲージ法として利用した。較正係数は $0.1286 \text{ N} / 1.0 \times 10^{-6}$ である。



図 3-5 小型圧縮型ロードセル



図 3-6 圧縮型ロードセル

3-2-3 破砕強度測定

破砕強度試験では，超小型手動搾油機と小型圧縮型ロードセルを供試し，クロトン，キャスター，ジャトロファの種子 1 粒が破砕する際の圧縮力を縦方向，横方向から各 10 回ずつ測定した。イエローオリアンダーについては種子 1 粒が破砕する際の圧縮力を殻あり，殻なしで各 10 回ずつ測定した。測定したアナログデータは A/D 変換器によりデジタル化し，コンピュータに収録した。このデジタルデータを用いて圧縮力を数値化し，破砕強度を求めた。

測定する際は，図 11 のように筒を取り外した状態で行った。また，圧縮力を正確に測定するために，金属板の上に小型圧縮型ロードセルを取り付けて実験を行った。また，手動ハンドルを下に押し下げる動作を約 2 秒かけて行うようにした。



図 3-7 破砕強度試験（クロトン・縦方向）

3-2-4 搾油時圧縮力測定

搾油時圧縮力測定では，超小型手動搾油機と圧縮型ロードセルを供試し，クロトン，キャスター，イエローオリアンダー，ジャトロファの種子 10 粒を筒の中に入れ，圧搾し油脂が抽出される際の圧縮力を各 3 回ずつ測定した。イエローオリアンダーに関しては殻を取り除いた状態で行った。測定したアナログデータは A/D 変換器によりデジタル化し，コンピュータに収録した。このデジタルデータを用いて圧縮力を数値化し，搾油時圧縮力を求めた。

測定する際は，図 12 のように圧縮力を正確に測定するため，金属板の上に圧縮型ロードセルを取り付けて実験を行った。また，実験では上下作動 1 往復を約 1 秒かけて行った。

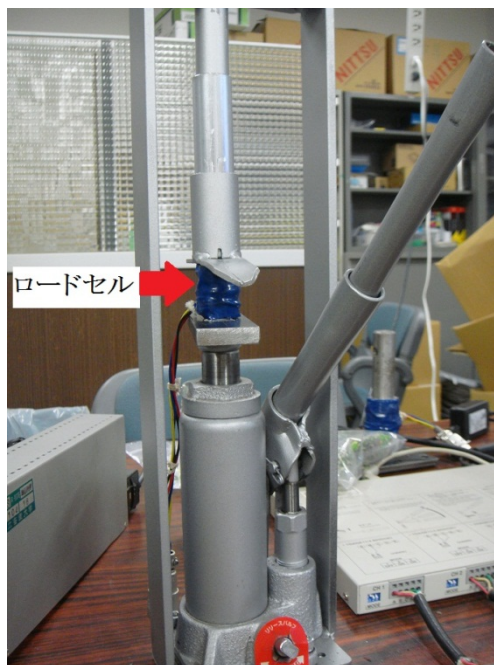


図 3-8 搾油時圧力測定

3-3 成分分析

クロトンについては、油糧作物としての利用が少なく、本研究で供試した種子の中で成分が明らかになっていなかったため、油脂類の成分分析を行った。

3-3-1 実験装置

・粉砕機

固体を細かくして粒径の減少と固体の比表面積の増加を図る装置である。今回、種子を粉砕する際に供試した。ガラス瓶の中に種子を入れ、刃が付いている蓋を閉め、粉砕機に逆向きに装着し粉砕する。

・遠心分離機

回転による遠心力を利用して、液体中に懸濁している固体粒子や比重の異なる液体を分離する装置である。今回、粉砕後の種子の個体部分を取り除く際に供試した。



図 3-9 粉砕機



図 3-10 遠心分離機

- ・ロータリーエバポレータ

減圧することによって、固体または液体を積極的に蒸発させる機能をもつ装置である。主に溶媒の除去のために用いられ、フラスコを回転させることによって蒸発の効率を高めて迅速な溶媒除去が可能である。今回、純度の高い油脂を取り出す際に供試した。

- ・還流冷却器

下部のフラスコを加熱し、発生した溶媒蒸気を上部にある冷却管内で冷却・凝縮させ、再び下部のフラスコに戻す装置である。加熱還流条件下で化学反応を効率よく行うことが可能である。本実験では、ケン化価を求める際に供試した。



図 3-11 ロータリーエバポレータ



図 3-12 還流冷却器

・薄層クロマトグラフィ

物質を成分ごとに分離するクロマトグラフィ法の一つで，ガラスの板の上にシリカゲル，アルミナ，ポリアミド樹脂などを薄く張ったものであり，展開層に入っている。主に反応の進行状況を確認し，分離条件の検討，分離の確認に用いられる。試料を薄層板の下端近くにスポットし，適当な溶媒によって展開させ，検索を行う。スポットの部分をかき取って抽出し定量することもでき，検出感度や分離能に優れ，迅速かつ再現性が良いのが特徴である。今回，クロトンの脂質成分を分析する際に供試し，シリカゲルのプレートを用いた。

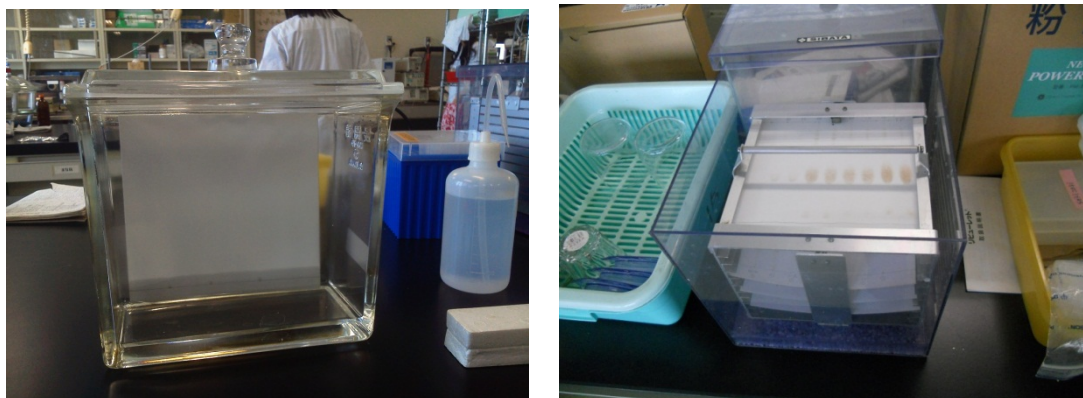


図 3-13 薄層クロマトグラフィ

3-3-2 油脂抽出 (FOLCH 法)

今回の実験では、種子から油脂を抽出する方法として、FOLCH 法を用いた。まず、粉砕機により細かく粉砕された種子をクロロホルムとメタノールの比が 2 : 1 の混合液に混ぜ、10 分間ほど攪拌し遠心分離機にかける。次に、遠心分離機によって分離した上澄みをろ過し、さらに混合液を追加してろ過をする。最後に取り出された溶液をロータリーエバポレータにかけ、溶媒を蒸発させ、蒸発しなくなるまで混合液の油分を濃縮させる。この様な過程により、純度の高い油脂を取り出すことができる。取り出した油脂は、自然酸化を防止するため、フラスコに栓をしてアルミホイルで包み、冷蔵庫に保管する。

また今回、FOLCH 法により抽出できた油脂が少量であったため、超小型手動搾油機によって抽出した油脂も並行して供試することとした。FOLCH 法による油脂抽出量が少量であった原因としては、粉砕機による粉砕が充分ではなかったこと、脂質中に分離しづらい何らかの成分が存在していた可能性があるということ、などが考えられる。

3-3-3 酸価 (マイクロ法)

酸価は、脂質中に存在する遊離脂肪酸の含量を示す尺度であり、今回の実験ではマイクロ法を用いて求めた。

マイクロ法では、まずメタノール性 0.025 N 苛性ソーダ、1%フェノールフタレイン液を調製した。メタノール性 0.025 N 苛性ソーダは、メタノール性 1 N 苛性ソーダを 0.1 N まで希釈し、0.1 N 塩酸に対し滴定して力価を定めた。さらにこのメタノール性 0.1 N 苛性ソーダを正確に 0.025 N まで希釈した。1%フェノールフタレイン液は、フェノールフタレイン 1 g をエタノール - 水 (95:5) 100 mL に溶かした。

脂質性の酸 25~250 マイクロ当量を含むクロロホルム溶液を三角フラスコにはかりとり、窒素気流下にほぼ乾固するまで溶媒を除去する。残部をメタノール - 水 (9:1) 5 mL に溶かし、1%フェノールフタレイン液を 2 滴加え沸騰寸前まで加熱して、熱い間にメタノール性 0.025 N 苛性ソーダで滴定し、黄色が赤変するところを終点とする。また、溶媒 5 mL について同様に滴定してブランクとする。結果から、以下の式で酸価を求める。

$$\text{酸価} = \frac{56.11 \times (A - B) \times 0.025 \times f}{\text{試料脂質の採取量 g}}$$

A : 本試験での滴定量 (mL)

B : 空試験での滴定量 (mL)

f : メタノール性 0.025 N 苛性ソーダの力価 (0.75)

今回、試料量が少なかったため、マイクロ法は 1 回のみの施行となった。また、FOLCH 法により抽出した油脂約 2 g を直接メタノール - 水 (9:1) 5 mL に溶かして実験を行った。

3-3-4 ヨウ素価 (ウイイス法)

ヨウ素価は脂質中の不飽和脂肪酸の含有割合を示す値であり、今回の実験ではウイイス法を用いて調べた。

ウイイス法では、まず 1%デンプン、10%ヨウ化カリウムを調製した。1%デンプンは、可溶性デンプン 1 g に水 100 mL を加え、煮沸して溶かし上澄みをろ過し、そこにサリチル酸 0.1 g を加えて、冷暗所に保存した。10%ヨウ化カリウムは、ヨウ化カリウム 50 g を水に溶かして 500 mL とした。

試料脂質 0.2 g を三角フラスコに正確にはかりとり、四塩化炭素 10 mL を加えて溶かし、ウイイス液 25 mL を正確に加え、時々振り混ぜながら 1 時間常温で暗所に置く。次に 10%ヨウ化カリウム 20 mL と水 100 mL を混和し、0.1 N チオ硫酸ソーダで滴定して、混液が淡黄色になったときに 1%デンプン数滴を加えよく振り混ぜながら滴定を続けて、青色が消失するところを終点とする。これと並行して試料を除いたブランク試験も行う。結果から、以下の式でヨウ素価を求める。

$$\text{ヨウ素価} = \frac{(B - A) \times f \times 1.269}{\text{試料脂質の採取量 g}}$$

B : 空試験での 0.1 N チオ硫酸ソーダの滴定量 (mL)

A : 本試験での 0.1 N チオ硫酸ソーダの滴定量 (mL)

f : 0.1 N チオ硫酸ソーダの力価 (1.0)

今回、ウイイス法は FOLCH 法により抽出した油脂を用いて 2 回試行した。また、滴定に用いた 0.1N チオ硫酸ソーダは市販の標準液を供試したので、力価は 1.0 である。

3-3-5 ケン化価（滴定法）

ケン化価は、脂質中の脂肪酸の平均分子量の大きさを示す尺度であり、今回の実験では滴定試験を用いて調べた。

滴定法では、まず 0.5 N 塩酸、エタノール性 0.5 N 苛性カリを調整した。0.5 N 塩酸は、濃塩酸 25 mL を水 500 mL で希釈し、精秤した炭酸ナトリウム 0.5 ~ 0.8 g の溶液に対して滴定し、力価を定めた。エタノール性 0.5 N 苛性カリは水酸化カリウム 17.5 g を水 10 mL に溶かし、エタノール - 水 (95:5) を加えて 500 mL とし、0.5 N 塩酸で滴定し、力価を定めた。

試料脂質 1.0 g を三角フラスコに正しくはかりとり、エタノール性 0.5 N 苛性カリ 25 mL を正確に加え、還流冷却器につけて時々振り混ぜながら 30 分間おだやかに加熱する。ケン化の後冷やし、内容がゲル化しないうちに冷却器を外して、1%フェノールフタレイン数滴を加え過剰の苛性カリを 0.5 N 塩酸で滴定する。本試験と並行して試料を入れない空試験を行う。結果から、以下の式でケン化価を求める。

$$\text{ケン化価} = \frac{28.05 \times (B - A) \times f}{\text{試料脂質の採取量 g}}$$

B : 空試験での 0.5 N 塩酸の滴定量 (mL)

A : 本試験での 0.5 N 塩酸の滴定量 (mL)

f : エタノール性 0.5 N 苛性カリの力価 (1.07)

今回、滴定法は超小型手動搾油機によって抽出した油脂を用いて 4 回試行した。また、1%フェノールフタレイン液は、マイクロ法の際試作したものを供試した。

3-3-6 脂質成分 (クロマトグラフィ法)

クロトンの脂質成分について、今回の実験では薄層クロマトグラフィを用いて調べた。

ヘキサン - エーテル - 酢酸 (80:20:1) の混合液を、溶媒として展開層に入れ、シリカゲルプレートの下から 1.5 cm の所に 1 cm 間隔で、試料脂質を 5 μ m ずつスポットする。スポットしたシリカゲルプレートを展開層に入れ、脂質成分が展開したらヨウ素で満たした容器に移す。ヨウ素に浸したシリカゲルプレートに霧状の 1 N 硫酸を吹き付け、2, 3 時間乾燥さす。その後、分離した脂質成分割合をデンストメータを用いて数値化した。

また今回、超小型手動搾油機により抽出した油脂で 4 回、FOLCH 法により抽出した油脂で 3 回成分分析を行った。

3-4 バイオディーゼルへの変換

搾油した油脂はそのままで燃料として使用することも可能である。しかし、動粘度や引火点が高く、車両トラブルのもとになることも考えられる。その為、油脂の主成分であるトリグリセリドをエステル交換反応により脂肪酸メチルエステルに変換することで軽油代替燃料、いわゆるバイオディーゼル燃料として利用することが出来るようになる。

油脂からバイオディーゼル燃料への変換技術は様々な方法がある。主に、アルカリ触媒法、酸触媒法、リパーゼ酵素法及び超臨界メタノール法があげられる。本研究では、アルカリ触媒法のひとつを供試した。

3-4-1 変換方法

まず、供試する油脂 1L に対し、メタノール 200mL と水酸化ナトリウム 3.5g の割合で準備する。メタノールと水酸化ナトリウムを混合し、ナトリウムメトキシドを作成する。その後、40~60℃に温めた油脂にナトリウムメトキシドをゆっくりと入れ、1 時間ほど 200×100rpm に回転数を合わせた攪拌機で攪拌する。攪拌後、1 日ほど静置するとバイオディーゼルとグリセリン、その他不純物に分かれる。



図 3-14 攪拌中の油脂



図 3-15 静置中の油脂

3-5 粘 度

バイオディーゼル燃料を軽油の代替燃料として使用するとき最も問題とされているのが、低温流動性である。このため、植物油から作ったバイオディーゼル燃料、市販されているバイオディーゼル燃料、軽油の低温における粘度を測定した。

3-5-1 実験装置

・低温恒温水槽

EYELA 東京理科器械株式会社製の低温恒温水槽 NCB-2600 を使用した。使用温度範囲は -30 °C から 80 °C で、本実験では試薬の温度調整に使用した。水槽にエチレングリコール（不凍液）を入れて冷却し、試料を沈めて使用する。温度調整は自動で、0.1 °C ごとに設定が可能である。

・粘度計

粘度計には、リオン株式会社製ビスコテスター(VT-03F)を使用した(図 4-2)。これは小型の単一円筒型回転粘度計で、ローターを試料液に入れて定速で回転させて、生じた粘性抵抗を読み取ることで粘度測定を行う。測定単位はミリパスカル秒(mPa・s)、測定範囲は 2 ~300 mPa・s である。測定精度は±5 %以内である。測定には試料液約 460 mL 以上必要で、これを専用カップに入れて計測を行う。

3-5-2 粘度測定

植物油から作ったバイオディーゼル燃料, エコ ERC で販売されているバイオディーゼル燃料, 軽油の粘度を測定した。設定温度を 0 °C から 5 °C おきに -15 °C とし, 試料を専用カップの既定の目盛りまで入れ, 低温恒温水槽で冷却した。低温恒温水槽の設定温度は -20 °C である。試料の温度が均一になるようにかき混ぜ設定温度の 2 °C 低い温度となったところで水槽から取り出した。そのまま -15 °C になるまで攪拌しながら, 待ってからビスコテスターで粘度を計った。以降かき混ぜながら温度が設定温度になったところで測定した。また, -15 °C となる以前に粘度が 300 mPa・s 以上となる場合には適当な温度から測定をした。

第4章 実験結果及び考察

4-1 搾油

・クロトン

361 g の種子を 3-3-1 の搾油機で搾油したところ、35.0 mL の油を得た。油の含有率は 9.61 % で、非常に低くなった。これは、搾油機で搾油したため、ロスが多く出たと考えられる。

・キャスター

275 g の種子を 3-3-1 の搾油機で搾油したところ、29.5 mL の油を得た。油の含有率は 10.7 % と非常に低くなった。これは、供試したキャスターが市販のものであり、収穫から非常に時間が経過しているため、及び搾油機で搾油したため、ロスが多く出たと考えられる。



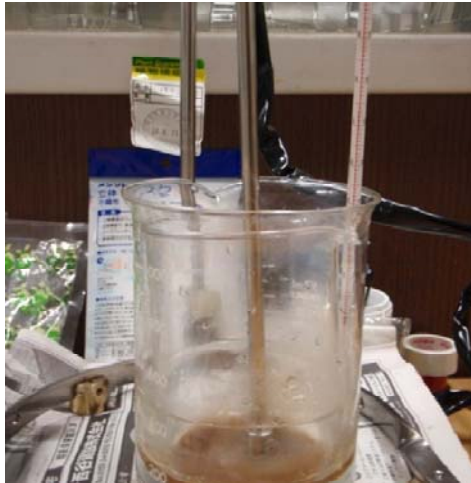


図4-1 クロトン種子から搾油した油 図4-2 キャスター種子から搾油した油

4-2 搾油時に必要な力

(1) 破砕強度試験

図 4-3, 図 4-4 に, クロトンの種子 1 粒を縦方向に破砕した時の 10 回のうち 2 回の測定結果, 図 4-5, 図 4-6 にクロトンの種子 1 粒を横方向に破砕した時の 10 回のうち 2 回の測定結果を示す。また, 図 4-7, 図 4-8 に, キャスターの種子 1 粒を縦方向に破砕した時の 10 回のうち 2 回の測定結果, 図 4-9, 図 4-10 に, キャスターの種子 1 粒を横方向に破砕した時の 10 回のうち 2 回の測定結果を示す。図 4-11, 図 4-12 に, イエローオリアンダーの殻を取り除いた種子 1 粒を破砕した時の 10 回のうち 2 回の結果を, 図 4-13, 図 4-14 に, イエローオリアンダーの殻あり種子 1 粒を破砕した時の 10 回のうち 2 回の結果を示す。図 4-15, 図 4-16 に, ジャトロファの種子 1 粒を縦方向に破砕した時の 10 回のうち 2 回の測定結果, 図 4-17, 図 4-18 にジャトロファの種子 1 粒を横方向に破砕した時の 10 回のうち 2 回の測定結果を示す。図 4-3~図 4-18 のグラフすべて、縦軸に圧縮力 N を示し、横軸に変位 mm を示した。

グラフより油圧ジャッキを用いて圧縮していくと、最大の力がかかった時に種子が破砕し、そのあと急激に圧縮力が下がることが分かる。この破砕した瞬間の圧縮力を種子の破砕強度とした。

表 4-1, 表 4-2 に 10 回の測定結果から種子の破砕強度の最大値, 最小値を除いた, 8 回分の測定結果の平均値と標準偏差を示す。表 4-1, 表 4-2 からイエローオリアンダー殻あり, ジャトロファ縦方向, ジャトロファ横方向, イエローオリアンダー殻なし, クロトン横方向, クロトン縦方向, キャスター縦方向, キャスター横方向の順で破砕強度が大きいことがわかる。イエローオリアンダーは殻ありとなしで 8 倍もの違いがある。よって, イエローオリアンダーを搾油するときには外側の殻を取り除いてから搾油するか, より大きな破砕力

を持つ大型の搾油機を使用すべきだと考えられる。次に破砕強度が大きいジャトロファであるが、縦方向が 1013 N、横方向が 681 N と、殻ありのイエローオリアンダーを除くと非常に値が大きい。これによりジャトロファを搾油するうえで、大型の搾油機が必要である、もしくは圧搾以外の方法をとることが望ましいことを示している。クロトンとキャストはジャトロファやイエローオリアンダーに比べると破砕強度が 40 N~75 N と低く、圧搾法および、小型の搾油機で油を得ることが可能であると考えられる。また、破砕強度が小さいほど、個体のばらつきが少ないことも分かった。

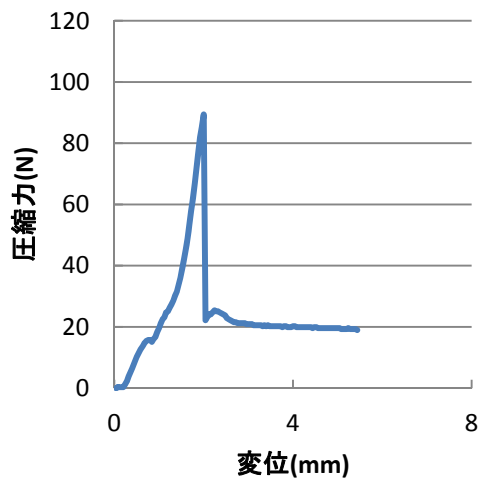


図 4-3 クロトン縦 (1)

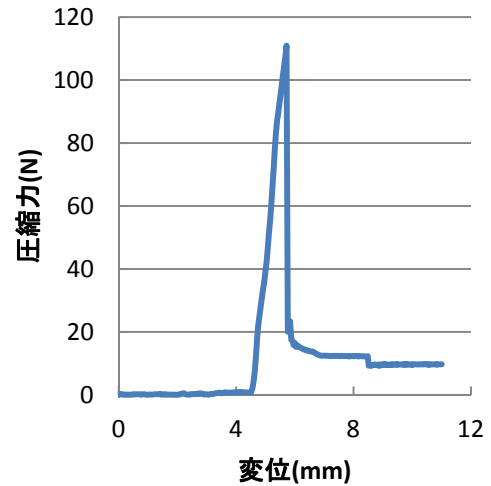


図 4-4 クロトン縦 (2)

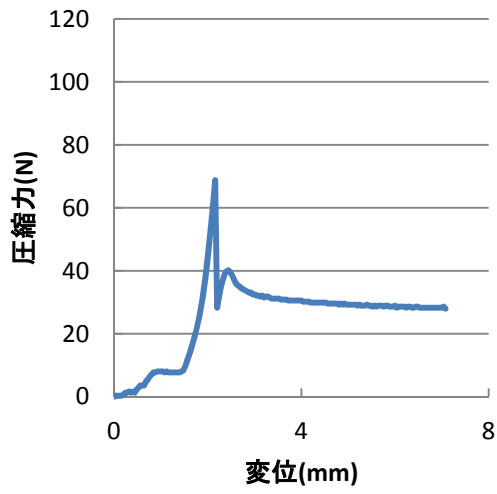


図 4-5 クロトン横 (1)

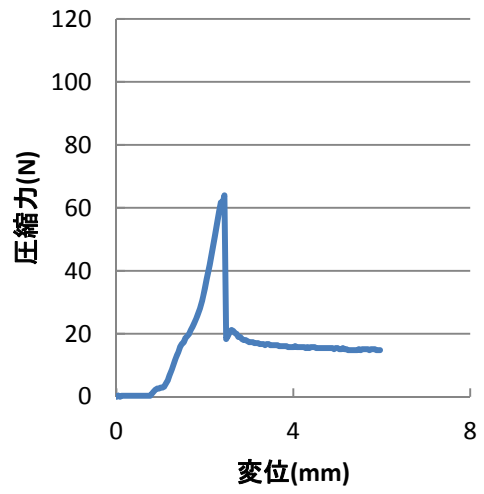


図 4-6 クロトン横 (2)

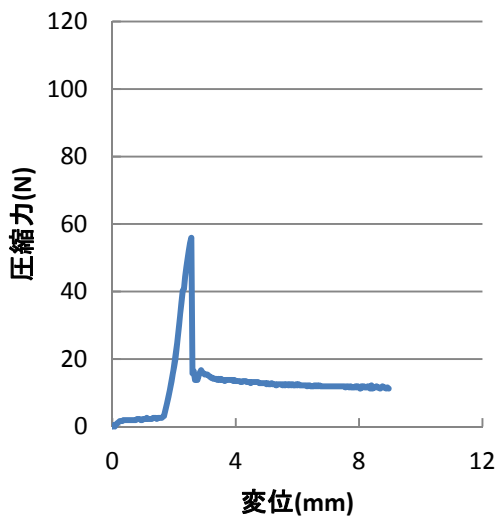


図 4-7 キャスター縦 (1)

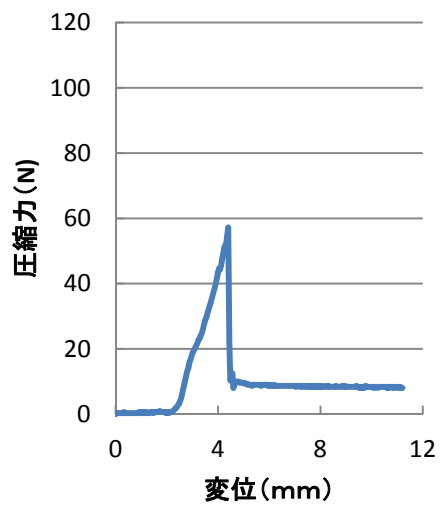


図 4-8 キャスター縦 (2)

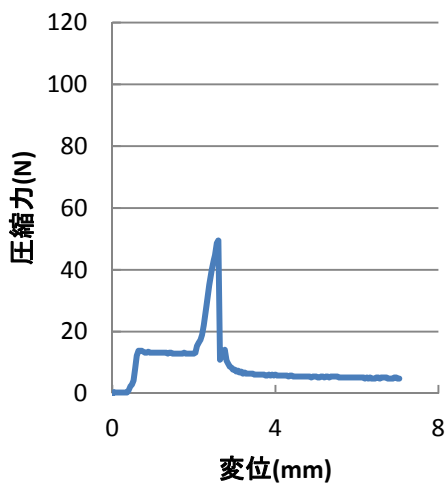


図 4-9 キャスター横 (1)

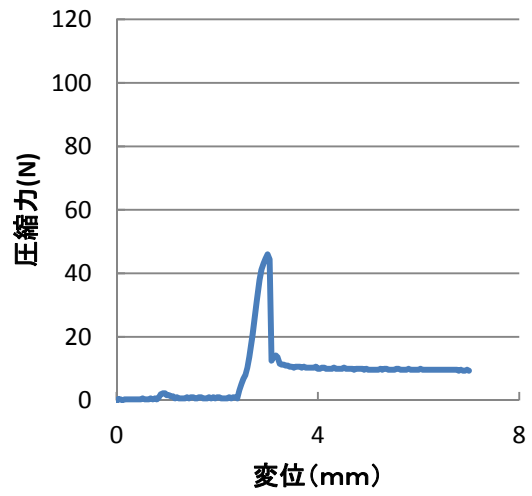


図 4-10 キャスター横 (2)

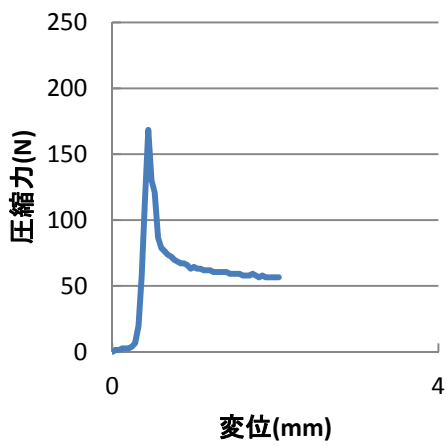


図 4-11 イエローオリアンダー殻なし(1)

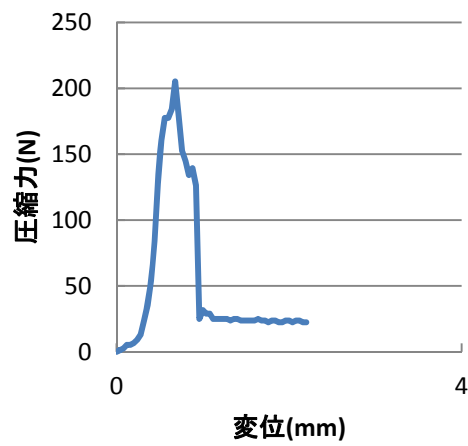


図 4-12 イエローオリアンダー殻なし(2)

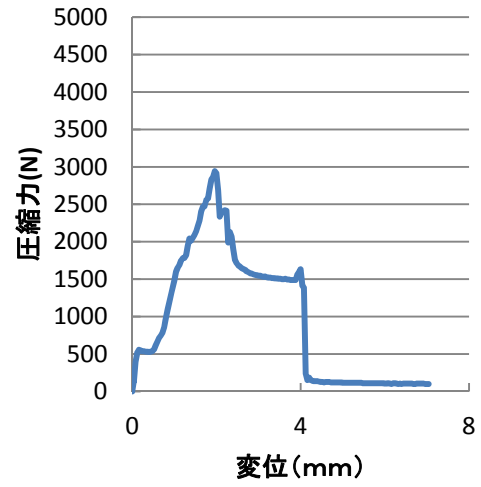
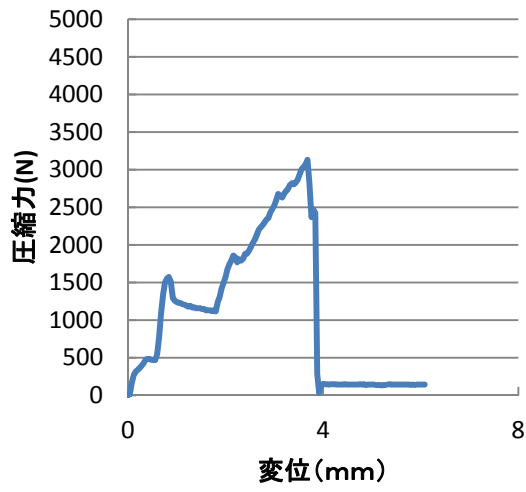


図 4-13 イエローオリアンダー殻あり(1) 図 4-14 イエローオリアンダー殻あり(2)

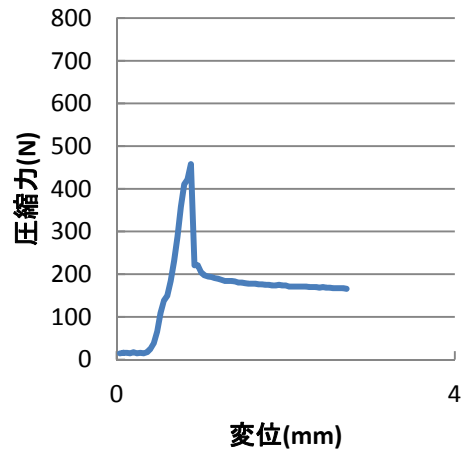
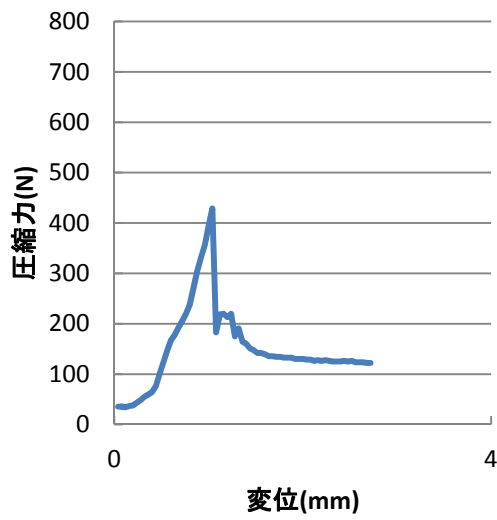


図 4-15 ジャトロファ縦(1)

図 4-16 ジャトロファ縦(2)

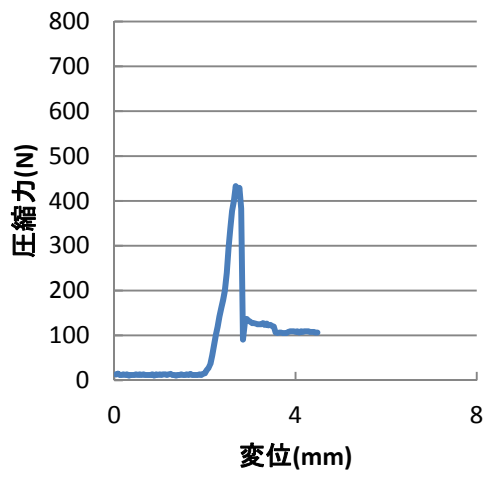


図 4-17 ジャトロファ横(1)

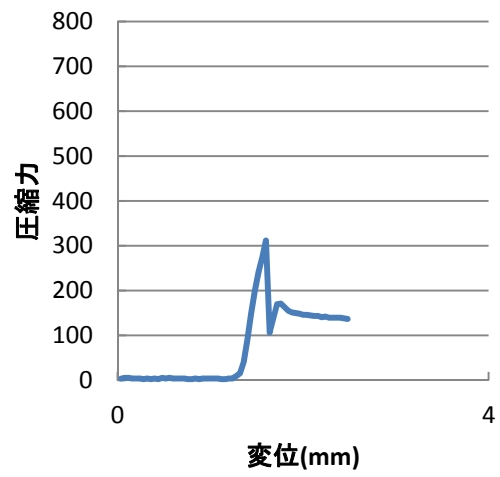


図 4-18 ジャトロファ横(2)

表 4-1 破碎強度試験結果 (N)

	縦	横
クロトン	70.8±22.6	75.8±17.3
キャストター	47.9±7.10	39.4±3.70
ジャトロファ	1014±226.6	681.1±133.3

表 4-2 破碎強度試験結果 (N)

	殻あり	殻なし
イエローオリアンダー	2615±906.9	324.9±39.70

(2) 搾油時圧縮力測定

図 4-19～図 4-21 に、クロトン種子 10 粒を搾油した時の 3 回の測定結果を示す。図 4-22～図 4-24 に、キャスター種子 10 粒を搾油した時の 3 回の測定結果を示す。図 4-25～図 4-27 に、ジャトロファ種子 10 粒を搾油した時の 3 回の測定結果を示す。図 4-28～図 4-30 に、イエローオリアンダーの殻を取り除いた種子 10 粒を搾油した時の 3 回の測定結果を示す。

これらの図より、油圧ジャッキを用いて種子を圧縮していくと、筒の中の種子が破砕すると圧縮力が下がり、さらに圧縮すると破砕しては圧縮力が上昇するがさらに破砕され、圧縮力の上昇・下降を繰り返し、限界に達すると油脂がにじみ出てきて、圧縮力が徐々に下がっていくことが分かる。この時の最大値を搾油時圧縮力とした。

表 4-3 に 3 回の測定結果と平均値を示す。表 4-3 より、クロトン、キャスター、ジャトロファ、イエローアリアンダーの順で搾油時圧縮力が大きいことが分かった。クロトンの搾油時圧縮力は 1702.3 N と特に大きく、クロトンを搾油する際は、キャスターの 5 倍、ジャトロファの 10 倍の圧縮力を必要とすることが分かった。キャスターの搾油時圧縮力も 320.6 N と 178.3 N のジャトロファに比べると 2 倍近い圧縮力は必要であるが、クロトンと比較するとひじょうに小さな力で搾油することが可能と考えられる。殻を取り除いたイエローオリアンダーについては、153.5 N と最も小さな力で搾油をすることが可能だという事がわかった。表 3 から搾油時圧縮力はばらつきが大きいことがわかる。これは、種子の個体差が激しいことを示している。よって搾油時には可能ならば、種子の選別を行い、なるべくばらつきを無くすことで搾油機に負担をかけないなどの工夫が必要だと考えられる。

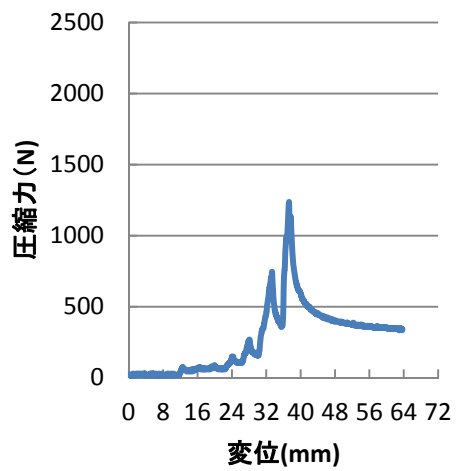


図 4-19 クロトン (1)

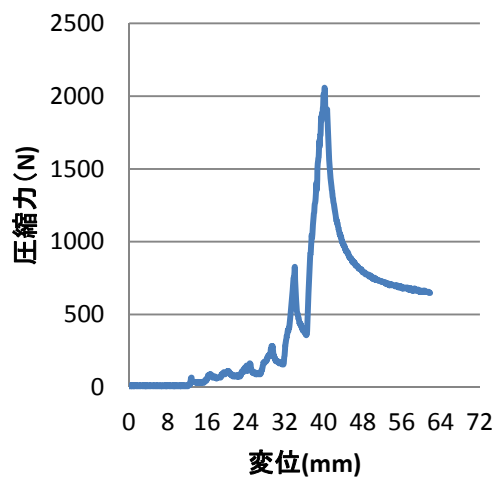


図 4-20 クロトン (2)

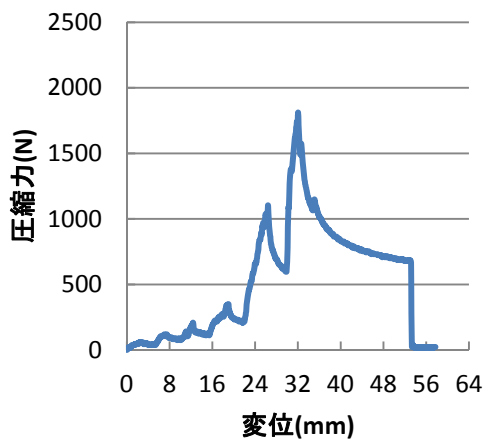


図 4-21 クロトン (3)

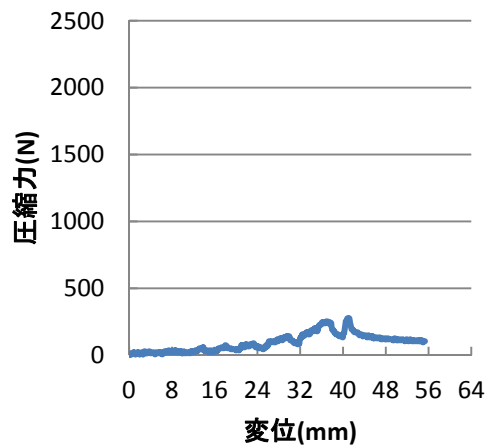


図 4-22 キャスター (1)

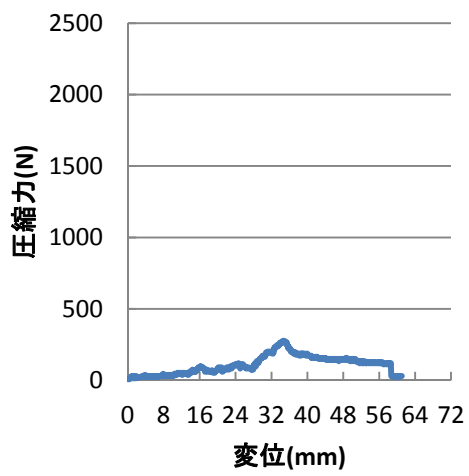


図 4-23 キャスター (2)

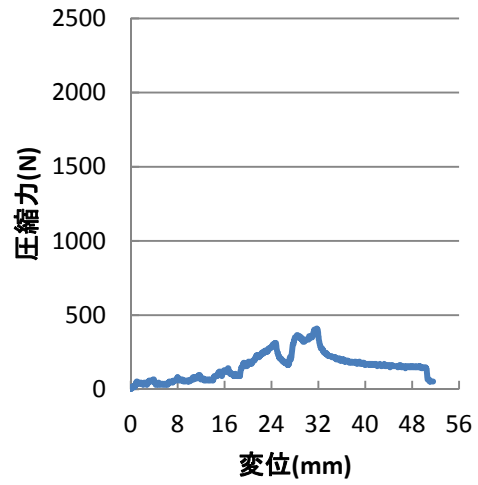


図 4-24 キャスター (3)

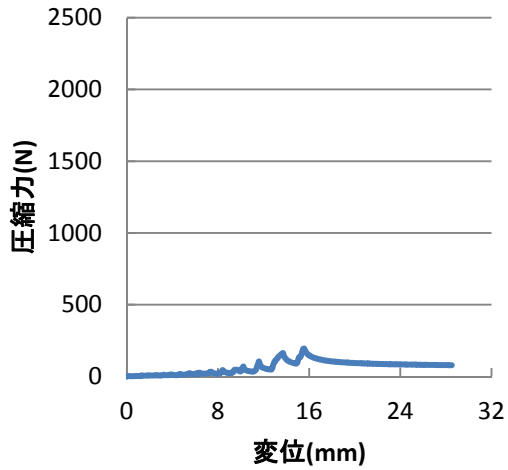


図 4-25 ジャトロファ(1)

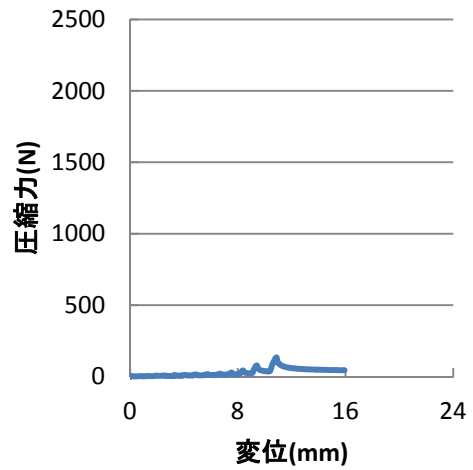


図 4-26 ジャトロファ(2)

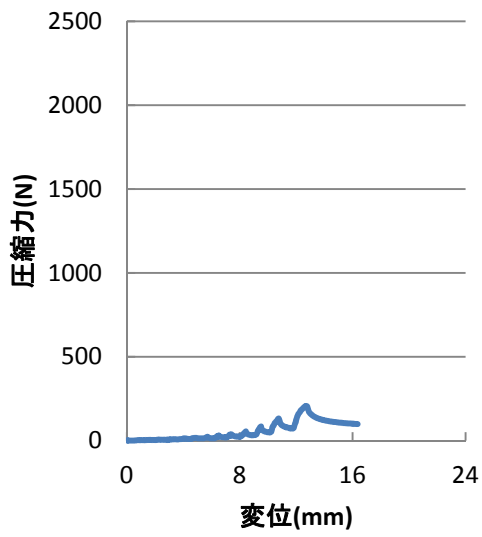


図 4-27 ジャトロファ(3)

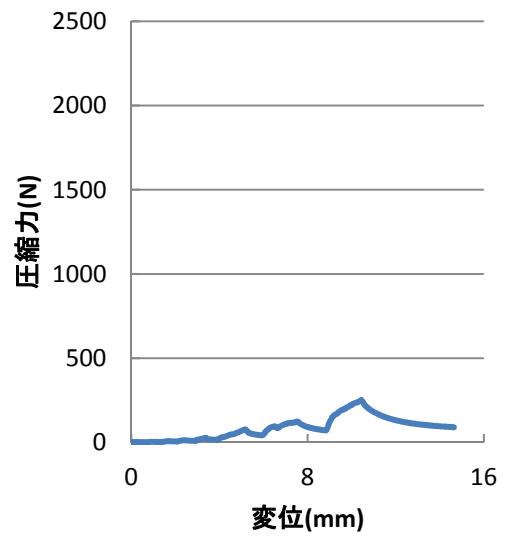


図 4-28 イエローオリアンダー(1)

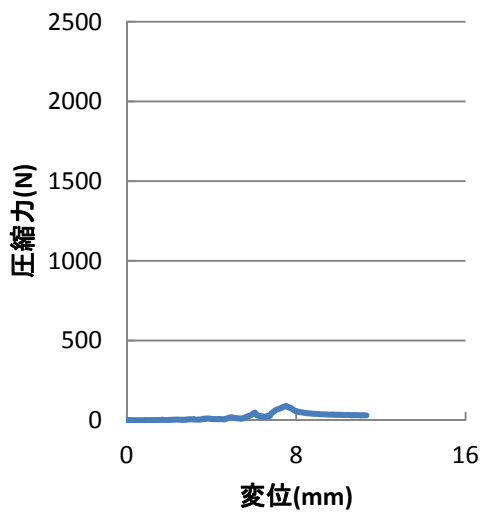


図 4-29 イエローオリアンダー(2)

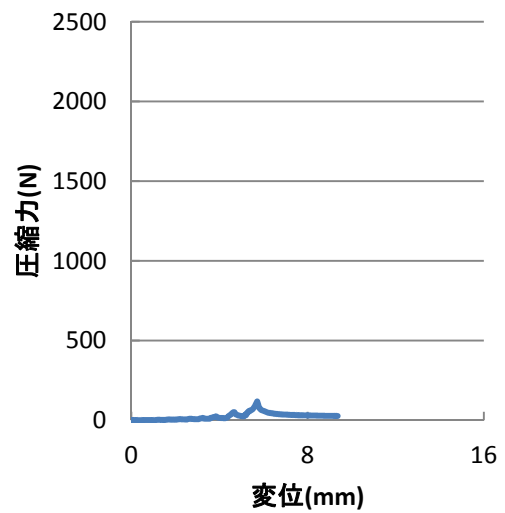


図 4-30 イエローオリアンダー(3)

表 4-3 搾油時圧力測定結果 (N)

	1 回目	2 回目	3 回目	平均値
クロトン	1238	2058	1812	1702
キャストター	275.8	275.8	410.1	320.6
イエローオリアンダー	252.0	89.80	118.5	153.5
ジャトロファ	195.0	133.5	206.5	178.3

4-3 成分分析

(1) 酸価, ヨウ素価, ケン化価

表 4-5 にクロトンにおける酸価 1 回の実験結果と, ヨウ素価 2 回, ケン化価 4 回の実験結果の平均値と変動値を示す。(今回キャスターについては, 坂志朗: バイオディーゼルのすべて, アイピーシー社, 27 を参照とした。)

酸価は, 精製前の原料油脂の状態ではほぼ 5.0 以下となり (宮澤陽夫, 藤野泰郎, 2000), この値が高いと燃料に変換した際, 燃料系統の材質の腐食や燃料劣化が起りやすくなる。今回は種子から油脂を抽出して早い段階で実験を行ったため, 1.4 程度の低い値となった。ヨウ素価は, 精製後の燃料においては 120 以下が規格として定められており (坂志朗, 2006), この値が高すぎると燃料としての酸化安定性が悪化し, 逆に低すぎると燃料としての低温流動性が悪化する。今回はクロトンが 149 と高い値になった。また, ヨウ素価の変動値が大きい理由として, 滴定の際, 混液が淡黄色になったときの判断が難しく, 誤差がでたと考えられる。ケン化価は, 多くの油脂では 190 前後となり (宮澤陽夫, 藤野泰郎, 2000), この値が低いと燃料に変換する際, 変換割合を下げる原因となる。今回はクロトンが 213 と高い値になり, キャスターは油脂の標準的な値であった。

表 4-6 にクロトンに関して行った脂質成分分析の結果から, 各脂質成分の含有割合を求めたものを示す。分析は 7 回行い, バイオディーゼル燃料の主成分となるトリグリセリドは全てにおいて, 非常に高い値となった。また, 今回の実験により, 超小型手動搾油機により抽出した油脂と FOLCH 法により抽出した油脂で脂質成分は変わらないということも分かった。

表 4-5 化学実験結果

	酸価	ヨウ素価	ケン化価
クロトン	1.4	149±8	213±3
キャスター	—	85±5	181±5

表 4-6 クロトンの脂質成分割合 (%)

	1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	7回目
トリグリセリド	88.7	88.2	86.9	84.6	87.8	84.3	83.3
遊離脂肪酸	4.4	6.6	2.8	4.6	3.2	2	3.3
ステロール類	6.9	5.2	10.3	8.3	7.1	10.5	11.3

4-3 バイオディーゼル変換

・クロトン

4-1 で搾油したクロトンの油 35.0 mL を 3-4-1 の方法で BDF に変換した。不純物を取り除くと 22.0 mL の BDF を得ることが出来た。変換割合は 62.9 % であった。



図 4-95 クロトン油から作った BDF

・キャスター

4-1 で搾油したキャスターの油 29.5 mL を 3-4-1 の方法で BDF に変換した。不純物を取り除くと、17.5 mL の BDF を得ることが出来た。変換割合は 59 % であった。グリセリン以外の不純物も多く見られ、その理由として油の酸化が進んでいたと考えられる。また、精製を行っていないことも原因と考えられる。

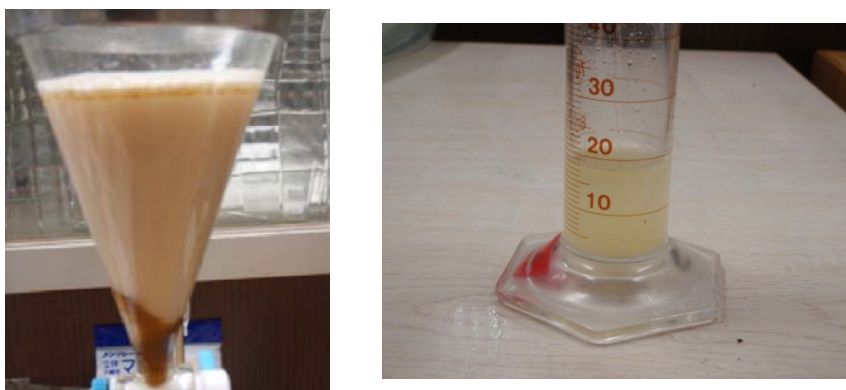


図 4-96 キャスター油から作った BDF

・植物油

未使用の植物油 1 L を 3-4-1 の方法で BDF に変換したところ、940 mL の BDF を得た。変換割合は 94 % で、非常に良い。



図 4-97 植物油から作った BDF

4-4 粘 度

植物油から作った BDF，エコ ERC で購入した蒸留 BDF，購入した特 3 号軽油の $-15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ の粘度特性の結果を図に示す。

$-15\text{ }^{\circ}\text{C}$ のとき，植物油から作った BDF は固化してしまい測定不能であった。 $5\text{ }^{\circ}\text{C}$ でも $150\text{ mPa}\cdot\text{s}$ と高い値を示したため，そのまま冬期の利用は出来ないと考えられる。蒸留 BDF は固化こそしなかったものの， $-15\text{ }^{\circ}\text{C}\sim -5\text{ }^{\circ}\text{C}$ では $240\text{ mPa}\cdot\text{s}\sim 75\text{ mPa}\cdot\text{s}$ と高い値を示した。特 3 号軽油と同等の性能を求めると， 100% BDF の使用は難しいと考えられる。特 3 号軽油は，すべての温度で $50\text{ mPa}\cdot\text{s}$ となり，低温でも問題なく使用できると考えられる。

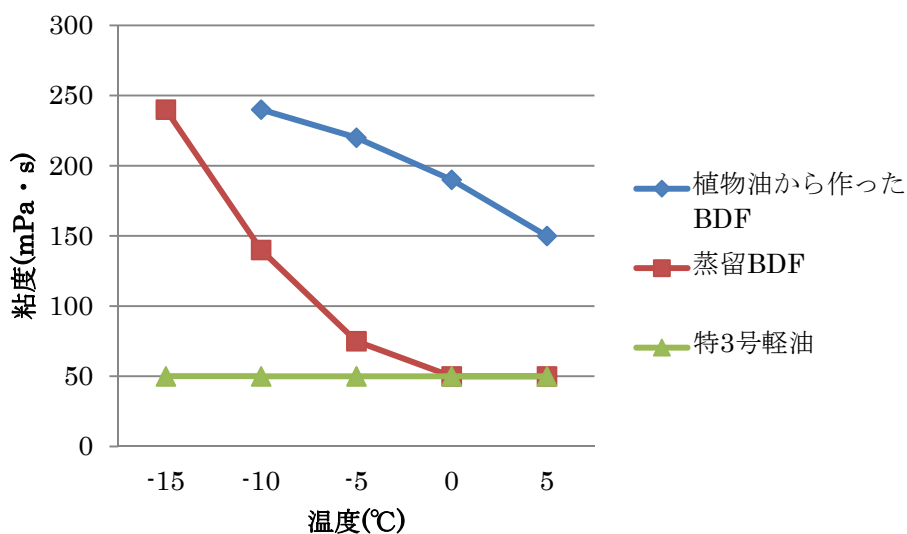


図 4-98 粘度特性の結果

第5章 摘要

本研究では、バイオディーゼル燃料生産における原料油脂として、非食用油糧作物であるクロトン、キャスター、イエローオリアンダーについて、原料油脂としての適性を調べた。

クロトンはケン化価が高く、燃料の主成分となるトリグリセリドを多く含むため、バイオディーゼル燃料に変換すると非常に良質な燃料になると考えられる。しかし、搾油時圧縮力が 1700 N 程度と大きく、本実験で使用した小型搾油機による圧搾法はクロトンには不向きであったと考えられる。ただし、破砕強度実験による 1 粒 1 粒の種子の外皮を破砕する力は小さいため、10 個以下の少量ずつの搾油であれば小型搾油機での搾油も可能であると考えられる。抽出法で精製した場合は殻の硬さに関係なく油を得ることが出来るが、精製工程で多量の損失がでてしまうことや、経費が高くなってしまふことが考えられる。また、クロトンはヨウ素価が高いため、酸化安定性が悪いことが推察される。これを改善するには、酸化を防ぐ精製工程、保存方法の工夫、酸化防止剤の使用などの対策が必要である。しかし、クロトンは種子の生産の段階で、もともと自生植物でありコストをかけずに生育が可能であり、常緑樹で高さが 35m になるという特徴を活かし、生け垣などに利用されていることを考慮すれば、クロトンのバイオディーゼル燃料原料油脂としての利用は十分に可能であると考えられる。ただし、大型の搾油機を使用した大規模なプラントや、多額の設備投資が必要となる抽出法を使用するプラントには不向きであり、簡易な設備で、搾つてすぐに変換するような家庭サイズの小規模なプラントに向いているといえる。

キャスターはケン化価が高く、燃料の主成分となるトリグリセリドを多く含むため、バイオディーゼル燃料に変換すると非常に良質な燃料になると考えられる。ヨウ素価も低く、酸化安定性も高く、燃料利用に適しているといえる。

破碎強度実験による 1 粒 1 粒の種子の外皮を破碎する力も 50 N 以下と小さく、個体によるばらつきも少ないため、搾油時圧縮力も 320 N 程度と小さい。ただし、バイオディーゼル燃料への変換効率が 59 % であるので、変換工程でのロスは何とあると考えられる。しかし、搾油工程での手間やコストが小さくてよい事、生産過程でほとんど手間がかからないことから、大規模プラントでの大量生産にも適応でき、工業的用途にも利用が可能であると考えられる。また、超小型搾油機による人力による搾油も比較的容易に行うことが可能であると推察され、機械化が進んでいない発展途上国の家庭などでも利用しやすいと考えられる。

イエローオリアンダーは破碎強度実験による 1 粒 1 粒の種子の外皮を破碎する力が殻の付いたままであると 2600 N を越え、そのままでは本実験で使用した小型搾油機では搾油できなかった。殻を取り除いての搾油時圧縮力実験ではクロトン、キャスターよりも小さい値の 155 N 程度となり、搾油は十分可能であると推察された。しかし、厚い外皮を割るために非常に大きな圧縮力が必要のため、圧搾法だけでなく抽出法で利用するとしても非常に手間がかかると推察される。また、外皮と比較して中の種子が必要とする破碎強度は 324.9 N と 8 分の 1 以下となり、外皮を割るための力をかけると中の種子まで潰してしまう。これらのことより、イエローオリアンダーは固い外皮を取り除く方法を考察しなければ、バイオディーゼル燃料としての利用は大変困難だと考える。

発展途上国の大規模プラントでバイオディーゼル燃料を作った場合、先進国に輸出して外貨を得る手段になると考えられるので、寒冷地で使用することになった場合を考慮して温度による粘度特性を測定した。本実験では、クロトンやキャスター、イエローオリアンダーから作ったバイオディーゼル燃料の量が少量で、それらの粘度を測ることが出来なかったため、植物油から作ったバイ

オディーゼル燃料，企業で作られ蒸留されたバイオディーゼル燃料，寒冷地で冬季に使われている特 3 号軽油の 3 種類の粘度を測定した。−15 °Cの際に蒸留していない植物油から変換しただけのバイオディーゼル燃料は固形化してしまった。しかし，蒸留バイオディーゼル燃料と特 3 号軽油は固化しなかった。このことより，寒冷地では精製・蒸留していないバイオディーゼル燃料のみの使用は不可能であると考えられる。ただし，0 °C以上であれば粘度は 150 mPa・s と蒸留バイオディーゼル燃料や軽油と比較すれば値は高いものの，流動性は確認されたため，温暖な地での利用は精製・蒸留をしなくてもかのであると推察される。寒冷地での使用の場合は，100 %でなく軽油に混合したり，添加剤を混合することにより，低温での粘度特性を改善することが必要である。

今後，以下のような点について，さらに研究が必要であると考え。非食用油糧作物であるクロトン，キャスター，イエローオリアンダーのバイオディーゼル燃料原料油脂としての利用には，さらに詳しい化学的特性を調べる必要がある。今回調べた性状も実験回数が少ないため，信頼度が高いとは言えない。これらの性状をさらに詳しく調べることで，更に脂肪酸組成や水分量などを調べることも必要であると考え。また，燃料精製後の性状は規格で定められている基準値を達成しなければならないため，実際に燃料として利用するには，精製後に粘度特性などの燃料特性も調べなければならない。また，原料油脂の物理的特性を考慮した上で，精製に必要な動力やコストを最低限に抑えることができる，それぞれの原料油脂に適した搾油工程の策定が必要である。最終的に非食用油糧作物が食用油糧作物に代替し，食糧と競合せず，環境負荷の無い真のクリーンエネルギーとなり得るには，種子の育成から燃料としての精製まで，その植物におけるライフサイクル全体の環境影響を評価する必要がある。

謝 辞

本研究にあたって、いつもあたたかくご指導ご鞭撻を賜りました帯広畜産大学地域環境学研究部門 岸本 正准教授に心からの感謝の意を表して厚くお礼申し上げます。また、実験のご指導や実験器具の提供をして頂いた帯広畜産大学食品工学部門 小疇 浩教授に厚く御礼申し上げます。

また、本実験器具の製作、調整にあたり多大なる御協力をいただきました機械実習工場の飯島和司技官に厚く御礼申し上げます。実験器具の提供をして頂いた株式会社エコ ERC の皆様、実験材料の提供をして頂きましたジョモ・ケニヤッタ大学の皆様に厚く御礼申し上げます。

また、本論文のご校閲を頂いた佐藤 禎稔准教授、小疇 浩教授に深く感謝の意を表します。

岸本准教授の下で共に研究している、博士課程 胡 楠氏、邵 明亮氏、修士課程 川村 康輔氏、高橋 昂志氏、学部四年生に謹んで感謝の意を表します。本実験に御協力を頂きましたゼミの 3 年生の皆様にこの場を借りて御礼を申し上げます。

参考文献

- 1) 松村正利編著：図解バイオディーゼル最前線，アイピーシー社(2006)
- 2) 坂志朗，バイオディーゼルのすべて，アイピーシー社 (2006)
- 3) 宮澤陽夫，藤野泰郎，脂質・酸化脂質分析法入門，学会出版センター (2006)
- 4) 武田邦彦，バイオ燃料で、パンが消える，PHP 研究所 (2008)
- 5) 谷添健太，バイオディーゼル燃料の粘度温度特性 (2008)
- 6) G.Robbelen, R.K.Downey, A.Ashri, Oil Crops of the World, McGraw-Hill, Inc.(1989)
- 7) Pradip Krishen , Trees of Delhi: A Field guide illustrated ed Edition, Dorling Kindersley (2006)
- 8) Egon Cossou, Tanzania puts faith in jatropha plant, BBC World News Business Tanzania (2009)
<http://news.bbc.co.uk/2/hi/business/8407855.stm>
- 9) Braam van Wyk, Photo Guide to Trees of Southern Africa (2011)
- 10)Tim Noad, Ann Birnie, Trees of Kenya (2011)
- 11) GTZ, Conference Report, National Bioenergy Conference (2008)
- 12) GTZ, A roadmap for Biofuels in Kenya (2008)
- 13)FAO, The State of Food and Agriculture(2008)
- 14)University of Hohenheim, BMBF Jatropha project(1996-2013)
- 15)Aaron MASCHO, AFP BB News(2008)
<http://www.afpbb.com/article/environment-science-it/environment/2536852/3484348>
- 16)キース・アディソン，平賀緑，ジャーニー・トゥ・フォーエバー(1999)

Summary

In recent years, many people feel the necessity of the development of alternative fuels, due to the possibility of an oil supply crisis and the impact of greenhouse gases. Bio diesel fuel is one of the alternative fuels. Mostly, bio diesel fuel is made from various edible crop oil such as soybean, rapeseed and oil palm. This affected the crop price and market in the world and has caused the rising global food prices. Through the background, we studied producing bio diesel fuel from inedible crops such as Croton (*Croton megalocarpus*), Castor (*Ricinus communis*), and Yellow oleander (*Thevetia peruviana*).

In the oil expression experiment which used the electric small oil mill, a croton content 9.61 % oil, and a castor content 10.7 % oil. The collection rate of oil and fats was very low. This shows that this type of a expeller is not suitable for oil extracting of these types of crop seeds. A yellow oleander had very hard shell, and it was not able to express oil in the oil mill. Therefore, we measured compressing force required of oil expression.

In the force to cracking shell experiment which used the small load cell, shelled yellow oleander showed an average of 2615 N. This is the highest value. A croton and a castor are values very small also in 40 N ~ 70 N. So it was estimated that oil expression is possible by power smaller than jatropha in which the value of 1000 N shown. Then, we measured compressing force of oil expression. A croton showed an average of 1700. This value is very large compared with 320 N of a castor and 178 N of jatropha. A

croton showed the force to cracking shell is small, but compressive force is large. This is estimated as depending on the characteristic of germ.

Componential analysis of oil and fats was conducted about a croton with little information for oil crops. As a result, saponification value showed 213 and it was high. So it was considered that the use as fuel is possible enough. However, the iodine value is a high of 149 and it was considered oxidation stability is low. Acid values showed 1.4 and it was low.

In order to measure the fluidity of the bio diesel fuel at the low temperature, it experimented using a cryostat and a viscometer. We determined the viscosity of the bio diesel fuel produced from vegetable oil, the bio diesel fuel produced in the company, and light diesel oil. As a result, the bio diesel fuel produced from vegetable oil was solidified by -15 degrees. The bio diesel fuel produced in the company showed a low fluidity, but also it was not solidified.