

— —

タイトル:環境にやさしいクリーンなバイオディーゼル燃料

～バイオディーゼル燃料は近い未来多く使われるようになるのか～

高校1年 F 組 27 番 名前 本堂 宏紀

指導教諭氏名 原 和也 先生

# 目次

## I. はじめに

### II 地球温暖化は存在するのか

### III. バイオディーゼル燃料とは

### IV. バイオディーゼル燃料の合成の化学的な仕組み

### V. バイオディーゼル燃料の一般的な作成方法

#### (1) 合成実験

#### (2) 燃焼による合成の確認

#### (3) 品質検査キットによる合成の確認

#### (4) 考察

### VI. 身近な物質を用いたバイオディーゼル燃料の合成

#### (1) 合成に用いる物質と量

#### (2) アルカリ触媒の製作実験

#### (3) 身近な物質を用いたバイオディーゼル燃料の合成実験

#### (4) 自作触媒の量と完成したバイオディーゼル燃料の品質

#### (5) 燃料用アルコールの量と完成したバイオディーゼル燃料の品質

#### (6) まとめ

### VII. 酸化カルシウムを用いたバイオディーゼル燃料の合成

#### (1) 合成に用いる物質と量

#### (2) 生石灰を用いたバイオディーゼル燃料の合成実験

#### (3) 考察

### VIII. バイオディーゼル燃料の物質としての特徴

#### (1) バイオディーゼル燃料の粘度計測実験

#### (2) 考察

#### (3) バイオディーゼル燃料の燃焼実験

#### (4) 考察

### IX. バイオディーゼル燃料の問題点

#### (1) カーボンニュートラルなエネルギーとしての問題点

#### (2) 普及するための問題点

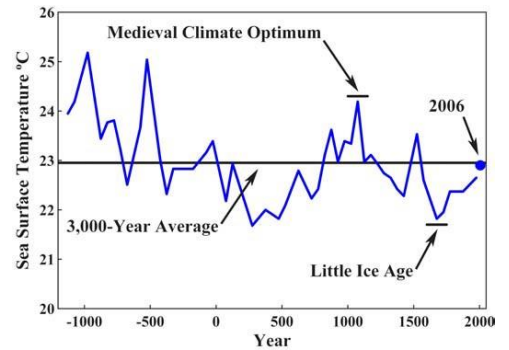
### X. 総評

## I. はじめに

近年、地球温暖化や大気汚染などをはじめとする、環境問題<sup>1</sup>が騒がれ始めている。しかし、地球温暖化は存在するのか、この問いは科学者の間でも議論が行われている。そんな中で、本論文では地球温暖化の解決策として注目されている、バイオディーゼル燃料<sup>2</sup>を一般家庭でも手に入るような物質から合成する方法、そして、その未来について考察する。

## II. 地球温暖化は存在するのか

さて、第45代アメリカ合衆国大統領の Donald John Trump 氏も繰り返し地球温暖化の真偽を疑うコメントをしているが、実際には地球温暖化や地球温暖化への人為的な影響に関する世界的な合意がなされているわけではなく、科学者の中には地球温暖化というもの存在しないと結論づけている論文を書く人もいる。また、右に示すように「Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide」(ARTHUR B. ROBINSON, NOAH E. ROBINSON, AND WILLIE SOON) 中では、北大西洋のサルガッソー海の海面水温の変化が示されており、このグラフを見る限りでは、現在よりも海面水温が高かった時代もあったため、1, 2 世紀の短い期間で平均気温が上がったからと言って、地球温暖化だと結論づけることはできないと考えることもできる。

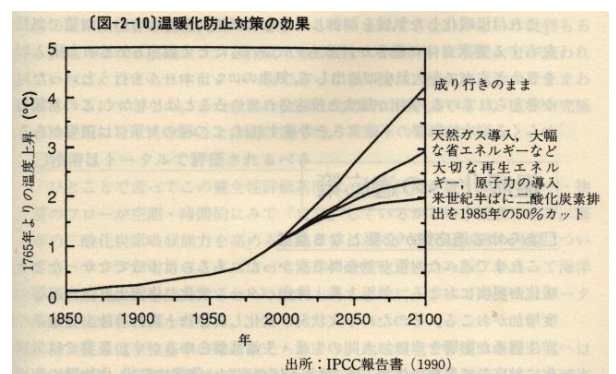


また、化石燃料を燃やすことで二酸化炭素(以下 CO<sub>2</sub> と表記する部分がある)が発生し、地球温暖化が進行するという一般的に言われている意見についても、そもそも化石燃料は数億年前の植物や微生物の死骸から生まれたものであり、これを燃やしても当時の地球環境に戻るだけで大きな問題ではないという意見もある。

『地球温暖化問題懐疑論へのコメント 2008年7月7日 Ver. 2.4』(明日香壽川, 吉村純ら8名)では、地球温暖化に対する懐疑的な意見への反論が示されている。これには、“1993年から2003年までに発表され、ISI データベースに登録されている査読付きのペーパーを分析したところ、928 ペーパーが該当し、かつ、その中で温暖化に対する人為的な影響の存在を否定しているものは一つもなかった”という。

前述したサルガッソー海の海面水温の変化の例も、特定の地点の温度変化であり、気候変動の影響が否定できない。そして、もともと生物の死骸である化石燃料を燃やしても問題ないという意見も、地球上のすべての化石燃料を燃やした場合、地球環境は火星のように大気中の CO<sub>2</sub> の濃度が多くなり、酸素ポンペなしでは外に出ることができなくなってしまう。

現時点で、化石燃料の使用によって本当に地球温暖化が起こるのか証明することができないが、CO<sub>2</sub> の温室効果は証明されていて、平均気温の上昇を推測することはできる。そして、地球の平均気温は全体的に上昇しており地球は温暖化しているといえるのである。効果が期待される対策はとることが重要だと考える。図-2-10に温暖化防止対策の効果の予想が示した。<sup>3</sup>この図によると、省エネルギー化、再生可能エネルギーを導入することで、温度上昇を抑えられることがわかる。また、同書中では大規模な植林によって、化石燃料の使用で発生する CO<sub>2</sub> を循環させる場合は  $6.7 \times 10^6 \text{ km}^2$  の面積が必要になり、これはヨーロッパ全土の面積に匹敵する。これらのことから、多くの化石燃料を使用し、そこで発生した CO<sub>2</sub> を酸素(以下 O<sub>2</sub> と表記する部分がある)に還元するよりも、省エネルギー化、再生可能エネルギーを導入による対策の方が現実的だと考えられる。



<sup>1</sup> ここでは、フロンガスによるオゾン層の破壊や、地球温暖化、酸性雨など、地球上の自然環境に人類の活動が影響を及ぼすことによっておこる、または起こりうる問題と定義する。

<sup>2</sup> バイオディーゼル燃料(Bio Diesel Fuel)は、BDF と略されることもある。但し、BDF は、有限会社染谷商店の登録商標である。尚、この論文中で「BDF」はバイオディーゼル燃料の総称として用い、「BDF®」は同社の登録商標を表すものとする。

<sup>3</sup> 『-事態はここまで深刻化している- / 地球破壊とは?』(西岡秀三, 諸住哲 編)より引用

### Ⅲ. バイオディーゼル燃料とは

植物は光合成として大気中の CO<sub>2</sub> や水(以下 H<sub>2</sub>O)を原料に太陽からの光エネルギーを利用して、O<sub>2</sub> と有機物を生成する。また、有機物の燃焼では有機物と酸素を原料に、CO<sub>2</sub> や H<sub>2</sub>O を生成し大気中に放出し、エネルギーを得られる。光合成によって生成された有機物を燃焼させた場合、燃焼によって発生する CO<sub>2</sub> の量は、植物が光合成の際に吸収した CO<sub>2</sub> の量と等しいため、大気中の CO<sub>2</sub> の量は変わらない。この炭素の循環をカーボンニュートラルという。

また、ディーゼルエンジンはもともとピーナッツ油を燃料にして動くよう Rudolf Christian Karl Diesel 博士によって作られた。しかし、植物油は粘性が非常に高くすぐに燃料を噴射するノズルが詰まってしまったという。そこで、Mercedes-Benz 社によって初のディーゼルエンジンを搭載した乗用車が発売され、軽油が燃料として普及した。

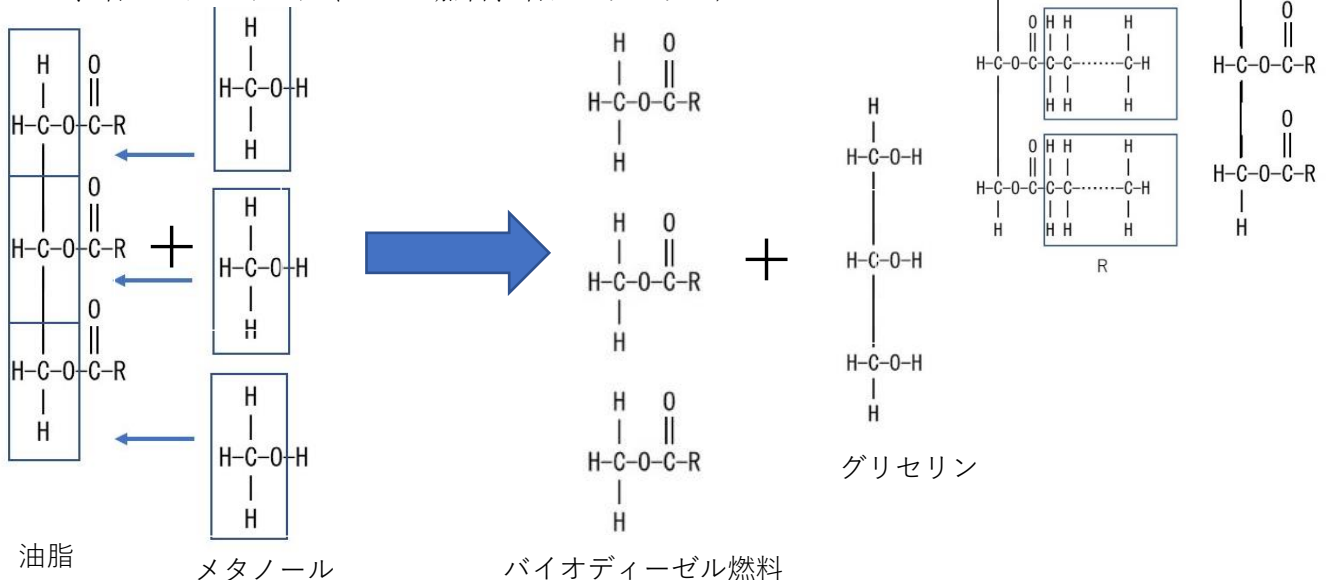
バイオディーゼルは、食用の植物油を原料にして作られる脂肪酸メチルエステルで、カーボンニュートラルな燃料になる。そして製造の際に発生する温室効果ガスの排出量も、軽油に比べて少ない。また、原料の植物油は新油も、揚げ物などに使った廃油となる油も使うことができる。さらに、粘性、沸点など軽油や灯油に非常に似ているため、ディーゼル燃料として使うことができ、軽油や灯油等に代わる再生可能エネルギーとして、注目されている。

現在、米国や欧州、ブラジルなどでは、軽油に 5%程度のバイオディーゼル燃料を混ぜたものが発売されている。また、国内でも「菜の花プロジェクト」として地域内で出た廃油からバイオディーゼル燃料を合成し、トラックなどの輸送用機械で使うということも行われている。環境省をはじめとする各省庁も、普及に取り組んでいる。こんな中で、日本でも他の国と同様に街のガソリンスタンドでも、バイオディーゼル燃料や混合燃料が発売されるようになるなど、バイオディーゼル燃料が普及するのではないだろうか。

### Ⅳ. バイオディーゼル燃料の合成の化学的な仕組み

油脂は、C、H、O が基本となっていてできている。それを構造式にあらわすと右の図 4 ようになる。このとき、四角形で囲んだ部分を R とあらわすものとして省略すると、図 5 のようになる。

これにメタノールを反応させると、下のようになる。(左辺左は油脂、右がメタノール、右辺左はバイオディーゼル燃料、右はグリセリン)

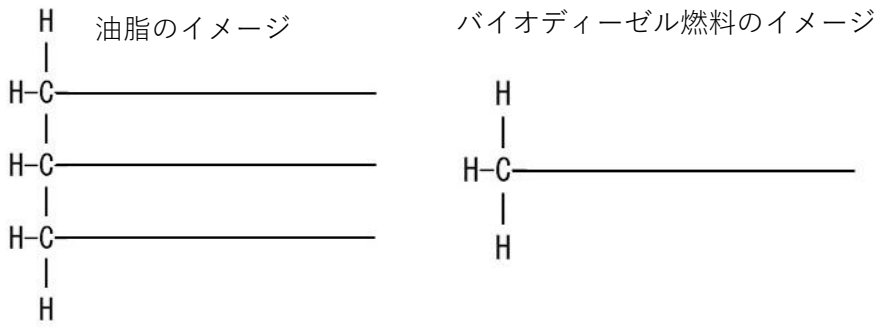


油脂中の四角形で囲まれたところとメタノール中の四角く囲まれた場所が交換される。(エステル交換)すると、バイオディーゼル燃料とグリセリンが生成する。

このような反応を起こすためには、水酸化カリウムや水酸化ナトリウムなどのアルカリ触媒が必要である。これが、次項の①②である。③で上層、下層に分かれているのはグリセリンとバイオディーゼル燃料は混ざり合わないからであり、上層はバイオディーゼル燃料、下層はグリセリンとアルカリ触媒の混合物である。

油脂は下右図のように 3 本の鎖を束ねたような構造をしていて分子同士が絡まりやすいので、ドロドロし

ていて粘度が高い。また触るとべとべととしている。一方、バイオディーゼル燃料は一直線のような構造をしているため、分子同士があまり絡まらないのでさらさらしている。



## V. バイオディーゼル燃料の一般的な作成方法

### (1) 合成実験






一般的に行われている業務用の方法でバイオディーゼル燃料を合成する。<sup>4</sup>

触媒: 水酸化カリウム

アルコール: メタノール




洗浄に用いる物質: 希塩酸

硫酸マグネシウム

反応工程	① <u>メタノール 40mL に水酸化カリウム 2.8g を溶かす。</u> ※この時溶解熱を発生するので、1度に大量の水酸化カリウムを投入すると、メタノールが蒸発してしまうため注意が必要である。 (写真は、メタノールに水酸化カリウムが解けた溶液)	
	② <u>①を 200mL の廃油に入れて、60℃で 45 分間攪拌する。</u> ※メタノールの沸点は 64.7℃であるため、温度の上がりすぎに注意する。 (写真は、反応の様子)	
	③ <u>30 分間静置し、下層を取り除く。</u> 静置すると、2層に分かれた (左の写真は分液漏斗に入れた直後、中央の写真は 30 分静置後、右の写真は取り出した上層(左)と、下層(右))	
洗浄工程	④ <u>③の上澄み液に、温水(60℃程度) 40mL と希塩酸 0.2mL を入れて、60℃で 10 分間攪拌する。</u> (写真は、希塩酸による洗浄の様子)	
	⑤ <u>30 分間静置し、下層を取り除く。</u> (左の写真は分液漏斗に入れて 30 分静置後、右の写真は取り出した 下層(左)と、上層(右))	

<sup>4</sup> 以降実験は、化学が専門である父の監督、助言の下で、安全管理を行なった上で進めた。



	⑥ <u>⑤の上澄み液に、温水(80℃程度) 40mL と硫酸マグネシウム 0.2mL を入れて、80℃で 15 分間攪拌する。</u> (写真は、硫酸マグネシウムによる洗浄の様子)	
	⑦ <u>15 分間静置し、下層を取り除く。</u> (左の写真は分液漏斗に入れて 30 分静置後、 右の写真は取り出した 上層(左)と、下層(右))	
すすぎ 工程	⑧ <u>⑦の上澄み液に、温水 40mL を入れて、90℃で 15 分間攪拌する。</u>	
	⑨ <u>15 分間静置し、下層を取り除く。</u>	
	⑩ <u>⑨の上澄み液に温水(90℃程度) 40mL を入れて、90℃で 15 分間攪拌する。</u>	
	⑪ <u>20 分静置し、下層を取り除く。</u>	
脱水工 程	⑫ <u>⑪の上澄み液を、110℃で 60 分間攪拌する。</u> (写真は完成したバイオディーゼル燃料)	




洗浄工程の塩酸はバイオディーゼル燃料中にわずかに残っているアルカリ触媒を中和するために、硫酸マグネシウムは、廃油とアルカリ触媒が反応してできた石鹸分を取り除くために投入する。

すすぎ工程は、洗浄工程で投入した硫酸マグネシウムや塩酸などを取り除くために行う。

脱水工程は、すすぎ工程で投入した水分を取り除くために行う。

## (2) 燃焼による合成の確認

(1)で、完成したバイオディーゼル燃料の品質を確認するために、燃える様子を比較する。

廃油	完成したバイオディーゼル燃料	市販の軽油
		
炎が小さい	炎は大きく、すすはあまり出していない。	炎が大きく、すすが多量。

### (3) 品質検査キットによる合成の確認

(1) で完成したバイオディーゼル燃料の品質を確認するために、BDF 検査キットを使って調べた。この検査キットは、3mm の BDF をキットに入れ、生まれた沈殿の量から、品質を確認できるものである。この結果、95%程度の純度であることがわかる。(右写真)



### (4) 考察

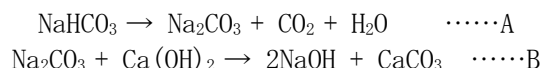
燃焼時に大きな炎を出していたことや、品質検査キットの結果から、一般的に行われている業務用の方法でバイオディーゼル燃料を合成することができることが分かった。

## VI. 身近な物質を用いたバイオディーゼル燃料の合成

一般的に行われている業務用の方法で用いる水酸化カリウム、メタノール、希塩酸は劇物であり、購入するためには毒物劇物取扱免許が必要となる。その他にも硫酸マグネシウム等は一般的に手に入りにくい薬品が多く使われている。そこで、より身近な物質を使ったバイオディーゼル燃料の合成方法を考えた。

### (1) 合成に用いる物質と量

まず、アルカリ触媒として、水酸化カリウムの代わりに水酸化ナトリウムを使用することを考えた。NaOH も劇物だが、以下の反応によって、得ることができる。



これは、A で、炭酸水素ナトリウム(重曹)の熱分解によって炭酸ナトリウムを作り、その炭酸ナトリウムと水酸化カルシウム(消石灰)から水酸化ナトリウムを合成するものである。炭酸カルシウム難溶性の物質であるため、濾過することで簡単に、水酸化ナトリウム水溶液と炭酸カルシウムに分離することができる。

次に、希塩酸はクエン酸で代用することを考えた。クエン酸は食品添加物として売られていて、希塩酸と同じように酸性の物質である。また、硫酸マグネシウムは石鹼分の除去のために使う。このことから、塩化マグネシウム(にがり)で代用することを考えた。そして、メタノールも 100%のものは手に入らないので、燃料用アルコール<sup>5</sup>(メタノール 95%+エタノール 5%)を使用することにした。メタノールは直接反応にかかわる物質だが、エタノールが混ざっていても反応しないか、反応してもバイオディーゼル燃料を生成するかどうかであり、反応後はバイオディーゼル燃料ではなくグリセリンの層に溶けるので、合成するうえで問題ないと考えられる。



### (2) アルカリ触媒の製作実験

業務用の方法では、廃油 200mL に対してアルカリ触媒として水酸化カリウムを 2.8g 使っている。このことから、廃油 200mL からバイオディーゼル燃料を合成するためには、1/20mol のアルカリ触媒が必要だと考えられる。よって、水酸化ナトリウムも 1/20mol=2.0g 必要であるとして、触媒を製作する。この時、前項の化学反応式より、重曹は 1/20mol=4.2g、水酸化カルシウムは純度 70%の園芸用の消石灰(右写真)を使用するため、1/40mol÷0.7=2.65g 必要であり、途中でできる炭酸ナトリウムは 1/40mol=2.4g であると考えられる。



①重曹 4.2g(実際には 4.32g を量り取った)を蒸発皿に入れ、15 分ほど加熱した。加熱後の質量は、2.71g であったため、殆どの重曹は炭酸ナトリウムに分解したと推測できる。

<sup>5</sup>燃料用アルコールは純物質ではないため、劇物から除外されている。

	<p>②①でできた炭酸ナトリウムを 50mL の水 (純製水) に溶かし、その水溶液に消石灰を 2.65g 量り取って投入し、攪拌したのち静置した。</p>
	<p>③上澄み液を蒸発皿に入れ、マントルヒーターで、穏やかに加熱して水分を蒸発させた。</p>

②での上澄み液は、水酸化ナトリウム 1/20mol が 50mL の水に溶けているため、1.0mol/L の水溶液だと考えられる。同様に、②の炭酸ナトリウム水溶液は 0.50mol/L であると考えられる。実験中、重曹 1.0mol/L、炭酸ナトリウム 0.5mol/L、消石灰 (炭酸カルシウム) 1/40mol を 200mL の水に入れたもの (飽和水溶液)、②の上澄み液のそれぞれの pH を簡易 pH 計で計測した。その結果を以下の表に示した。



重曹水溶液 (1.0mol/L)	炭酸ナトリウム水溶液 (0.50mol/L)	消石灰飽和水溶液	②の上澄み液
pH: 8.1	pH: 11.1	pH: 12.0	pH: 12.7

このことから、消石灰の水溶液や炭酸ナトリウム水溶液が 2 倍に濃縮されても、pH12.7 になることはないため、水酸化ナトリウムが合成されたと考えられる。しかし、一般に、水酸化ナトリウムは強塩基であり、1mol/L の水溶液は、pH14 になることが知られている。このことから、できたアルカリ触媒は 5 パーセント程度の純度であると推測できる。このできた触媒を、自作触媒<sup>6</sup>と呼ぶことにする。

また、②の上澄み液を少し取り出し、アルミニウムを入れたところ、アルミニウムの表面から泡が出て反応した。(右写真)この実験中で使用・生成した、重曹 (炭酸水素ナトリウム)、炭酸ナトリウム、消石灰 (水酸化カルシウム)、炭酸カルシウム等は常温ではアルミニウムと反応することはない。このことから自作触媒中に水酸化ナトリウムが含まれることを確認できる。



### (3) 身近な物質を用いたバイオディーゼル燃料の合成実験

身近な物質を用いてバイオディーゼル燃料を合成することができるかを確認する。水酸化カリウム 2.8g の代わりに自作触媒 2.0g、メタノール 40mL の代わりに、燃料用アルコールは濃度が薄い分 50mL 使用する。また、希塩酸の pH は、1.5 であったため、クエン酸を水に溶かして pH1.5 にした水溶液を 0.2mL 使用する。そして、硫酸マグネシウム 0.2g の代わりににがり薬さじ一杯を用いて、業務用と同じ方法・反応時間で実験を行った。

そして、完成したバイオディーゼル燃料 (右上写真) の品質を品質検査キットで確認したところ、右写真のように、業務用の方法よりも多くの沈殿が見られた。このことから、業務用の方法に比べてできたバイオディーゼル燃料の品質は悪いということがわかる。そこで、自作触媒やアルコールの量を変えて実験をしてみることにした。



<sup>6</sup>今回合成された自作触媒はの水酸化ナトリウム濃度は、劇物には当たらない 5%以下である。



(4) 自作触媒の量と完成したバイオディーゼル燃料の品質まずは、廃油 200mL、燃料用アルコール 50mL を使用し、自作触媒の量を 3g、4g、……と増やしていった。この時、10 分ごとにサンプルを取り、その後の工程をそれぞれ行ったのち、品質検査キットで品質を確認した。

その結果、自作触媒 3g を使用したときは 2g のときに比べて沈殿が少なくなった。そして、4g の時は、10 分～60 分のすべてのサンプルで沈殿が確認できなかった(右写真)。このことから、廃油 200mL に対して自作触媒 4g、燃料用アルコール 50mL で反応を行ったとき、業務用の方法よりも高品質なバイオディーゼル燃料を合成することができるとわかった。



(5) 燃料用アルコールの量と完成したバイオディーゼル燃料の品質

廃油 200mL、自作触媒 4g を使用し、燃料用アルコールの量を 40mL に減らして実験をした。その時、前項と同様に、10 分ごとにサンプルを取り、その後の工程をそれぞれ行ったのち、品質検査キットで品質を確認した。

その結果、少量の沈殿がみられるようになり、50mL の時よりも品質が悪くなったことが分かった。(4) 及び(5)の実験結果を以下の表にまとめた。◎は品質検査キットにおいて殆ど沈殿が確認できなかったもの、○は品質検査キットにおいて少し沈殿を確認したもの、△は沈殿が多く確認できるもの、×は沈殿が著しく多かったものや反応していないものである。

アルコール	触媒	反応時間(分)					
		10	20	30	40	50	60
40mL	KOH 2.8g				○(45分)		
50mL	自作触媒 2g						×
	自作触媒 3g			×			△
	自作触媒 4g	◎	◎	◎	◎	◎	◎
40mL	自作触媒 4g			×			△

(6) まとめ

バイオディーゼル燃料を身近な物質から合成することに成功した。この時の物質の量は、廃油 200mL に対して自作触媒 4g、燃料用アルコール 50mL であることが分かった。そして、この条件の下では反応時間が 10 分程でできることも分かった。

## VII. 酸化カルシウムを用いたバイオディーゼル燃料の合成




前項では、水酸化ナトリウムを含む自作触媒を用いたバイオディーゼル燃料の合成方法を考えた。しかし、水酸化ナトリウムは水やグリセリンに溶解するため、反応後回収することが難しく、使い捨てになってしまう。さらに、水酸化ナトリウムは自然にそのまま流すと悪影響が出てしまうため、中和したり多量の水で希釈したりするなどの処理に手間がかかってしまう。一方で、同じく強アルカリ性を示す水酸化カルシウムや酸化カルシウムを触媒として用いた合成方法の研究が多く、研究機関でも行われている。この中で、東京都市大学 工学部 エネルギー科学科准教授の高津淑人氏らの研究では、酸化カルシウムを微粉末にして触媒にする方法での合成に成功している。この酸化カルシウムはグリセリンに溶解せず、濾過によって回収できるため、再利用ができるというメリットがある。また、処分の際も、グリセリンとの混合物に、水を加えれば水酸化カルシウムになるため、畑などに肥料としてまくことが可能である。

この方法は一般的な装置で再現できるかを試してみることにした。

(1) 合成に用いる物質と量

酸化カルシウムは、消石灰や、校庭などのライン引きやチョークなどに用いられている炭酸カルシウム等を高温で加熱をして製作できるが、今回は乾燥剤として売られている生石灰を使用する。生石灰(CaO)は  $1/20\text{mol}=2.8\text{g}$  必要である。その他の物質は同じものを使い、量も前項で最適だと求めた量で実験する。

(2) 生石灰を用いたバイオディーゼル燃料の合成実験

	<p>①反応が起こりやすいように生石灰の乾燥剤を乳鉢でよくすりつぶす。</p>
	<p>②①の粉末をるつぼとマッフルを用いて加熱する。 (今回用いる乾燥剤は活性炭入りのものであった。また、乾燥剤は開けた瞬間から空気中の水分を吸収して水酸化カルシウムに変化してしまう。このことから、活性炭を燃やし、水酸化カルシウムを酸化カルシウムにするために、900℃以上の高温で加熱する必要がある。)</p>
	<p>③②の粉末を 2.8g 量り取り、これを触媒として、自作触媒の時と同様に反応させ、洗浄、すすぎ、脱水の工程を行う。</p>

完成したバイオディーゼル燃料を品質検査キットで検査すると、沈殿がとても多く出た。

②で酸化カルシウムができているかを調べるため<sup>7</sup>に、②の粉末を少し試験官にとり、水を垂らした。すると、湯気を出しながら反応した。(右写真)



### (3) 考察

この実験においては、②の粉末に水を垂らしたら湯気を出しながら反応したので、酸化カルシウムは生成していると考えられるが、合成バイオディーゼル燃料を品質検査キットの沈殿がとて多かったことから、実験は失敗であったと考えられる。この理由として、粉末の大きさが考えられる。水酸化カルシウムや自作触媒はエタノールに溶解するので触媒として強い効果があるが、酸化カルシウムはエタノールに溶解しないため、できるだけ細かくする必要があったとも考えられる。実際、高津淑人氏らの研究では専用の粉砕機を使い、1 μm程度に砕いて使用している。その他の研究でも、何らかの工夫をして酸化カルシウムを使っていることから、この方法で合成をすることは難しいと考えられる。

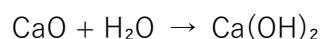
## VIII. バイオディーゼル燃料の物質としての特徴

### (1) バイオディーゼル燃料の粘度計測実験

Ⅱでも触れたが、ディーゼルエンジンはそもそもピーナッツ油を燃料としていたが、粘度が高いため燃料は軽油に移り変わった。そこで、バイオディーゼル燃料と、軽油、灯油、廃油、グリセリン、水の6つの物質の粘性を比べる。

まず、先を細くしたガラス管を作り、下から2cm程の場所に印をつけ、そこから5mL分上、10mL分上の場所にも印をつけた。この時の下から2cm程の場所の印をA、5mL分上の印をB、10mL上の印をCとする。このガラス管の中に測りたい物質をCの位置まで入れ、B、Aまで液面が下がるのにかかる時間を記録した。その結果が以下の通りである。

<sup>7</sup> 酸化カルシウムには、水と反応すると以下のように反応し、熱を発する性質がある。



調べた物質	流れ落ちるのにかった時間(s)	
	C-B	C-A
バイオディーゼル燃料	11	36
軽油	10	28
灯油	9	26
廃油	45	140
グリセリン	43	133
水	9	23



### (2) 考察

この結果から、バイオディーゼル燃料は、灯油や軽油に近い粘性であることが分かった。このことから、これらの代わりとしてディーゼル燃料や灯油ヒーターなどに詰まることなく利用できると考えられる。また、廃油は粘度が非常に高くドロドロしているので、エンジン内で詰まってしまうことが考えられ、このままではディーゼル燃料としては使えないことも裏付けることができた。

灯油や軽油も、水よりは粘度が高いことも分かる。また、バイオディーゼル燃料を合成する過程で得られるグリセリン<sup>8</sup>は廃油に近い値になり、ドロドロしていた。

### (3) バイオディーゼル燃料の燃焼実験

バイオディーゼル燃料を「燃料」として使う以上、燃え方は非常に重要なことである。例えば、低級アルコールや低級アルカンは粘度が低く、沸点も低いため引火しやすいが、燃焼させた時に得られる熱量は少ない。逆に、軽油や灯油、重油等は、粘度が高く、沸点も高いため引火しにくい、燃焼させた時に得られる熱量は多い。今回は、バイオディーゼル燃料の燃焼の様子を、キャンプ用コンロを用いて観察した。同時に発生する熱の大まかな量を調べるため、25℃(外気温と同じ)の水 100mL をこのコンロで加熱し、90℃、100℃になるまでの時間を計測した。



同時に発生する熱の大まかな量を調べるため、25℃(外気温と同じ)の水 100mL をこのコンロで加熱し、90℃、100℃になるまでの時間を計測した。

<sup>8</sup> 今回の実験では、バイオディーゼル燃料の合成によって得られたグリセリンではなく、薬局などで売られているグリセリンを用いた。



	バイオディーゼル燃料	軽油	灯油
予熱	 <p>最初、火をつけてから予熱の間は赤い炎が出る。</p>		
予熱開始後	 <p>予熱の時間が長かった。予熱が完了すると青と黄色が混ざった安定した炎になった。炎の大きさは他のものより大きかった。</p>	 <p>バイオディーゼル燃料と比べて予熱の時間は短かった。炎の色は青と黄色が混ざった、安定した炎となった。</p>	 <p>予熱が完了すると青い炎となった。炎の大きさはほかのものに比べて小さかった。</p>
100mLの水が90°Cになるまでの時間	6m30s	6m	6m30s
100mLの水が100°Cになるまでの時間	8m30s	8m	8m

参考:プロパンガスのバーナーの炎



普段、私が実験時に使用しているカセットボンベ式のバーナーの炎は青色である。燃料は低級アルカンであるプロパンである。

#### (4) 考察

そもそも、炎の赤い色は炭素が加熱されて生じる色である。プロパン、灯油、軽油はいずれもアルカンであり、プロパンは1分子当たりの炭素の数が3個であり、灯油は10-14個、軽油は14-18個だとされている。よって、これらの炎で現れた色の差は1分子当たりの炭素の個数によるものだと考えられる。バイオディーゼル燃料についても同様に、1分子当たりの炭素の個数は15-20個程度であるため、同じことが言える。

また、炎の中心部の温度は発火点以上の温度が保たれることで知られている。このため予熱の時間は、炎の中心が燃料の発火点以上の温度に安定するための時間であると考えられる。バイオディーゼル燃料は予熱に時間がかかったことから、灯油や軽油よりも発火点が高いと考えられる。そして、炎の大きさが大きかったため、一度燃え始めれば燃えやすいことが分かった。



次に、水を加熱する実験では、どの燃料もほぼ同じ時間で 100℃になったが、多少バイオディーゼル燃料は時間がかかったことから、灯油や軽油よりもやや発熱量が少ないことも分かった。

## IX. バイオディーゼル燃料の問題点

### (1) カーボンニュートラルなエネルギーとしての問題点

今まで、実験によってバイオディーゼル燃料は身近なものでも作れるものだというを示し、その性質を確認してきたが、このバイオディーゼル燃料にもいくつかの問題がある。

まず、原料として用いる燃料用アルコールは主に石油や天然ガスなどの化石燃料から合成して作られているということである。現在、アメリカでシェールオイルの採掘に成功し、石油はあと 10000 年採掘し続けても枯渇しないとまで言われているが、このエタノールから合成したバイオディーゼル燃料やグリセリンを燃やせば、化石燃料の分の二酸化炭素を発生させることになる。

これは、メタノールを木から精製したり、醸造によって作ったエタノールを使ったりすることができれば解決できる。メタノールは木精とも言われ、木材を乾留することで得られる木酢液を蒸留することで生成することができる。木材中のメタノールは植物の光合成によって作られたものなので、二酸化炭素を新たに発生させることはない。エタノールも同じく、植物が光合成によって作り出したでんぷんや糖などを微生物の力で分解してエタノールを得ることができ、発酵中やエタノールの燃焼時に発生しても、新たに二酸化炭素を増加させることはない。また、近年はバイオマセタノールの研究も進んでおり、この純度が高いエタノールを生成する技術とバイオディーゼル燃料を合成する技術を組み合わせれば、より効率的になるとも考えられる。

他にも、バイオディーゼル燃料を合成する際に加熱、保温が必要であり、このために多くのエネルギーが必要であるという問題もある。今回の実験のようにマントルヒーターなどを使うときには電気を使うことになる。しかし、原子力発電所の多くが発電を中止している現在、日本では多くの電気を火力発電に頼っていて、この燃料には化石燃料が使われている。もちろん原子力発電というクリーンな発電を利用することで安価に効率的に発電することができるが、現在の日本では、放射性廃棄物の最終処分場などの問題からこれを主流にすることは容易ではないと考えられる。よって、木材のチップやバイオディーゼル燃料、バイオマセタノールなどのカーボンニュートラルな燃料を使った火力発電や、太陽光発電、風力発電、地熱発電、波力発電などの再生可能エネルギーを利用した発電を主流にすることによる解決が最もよい選択といえるであろう。これが実現すれば、バイオディーゼル燃料を使い発電をして、その電力の一部を用いてバイオディーゼル燃料を合成する。そして合成したバイオディーゼル燃料を使って発電する……といったまさに夢のような循環も行える。

これらのことを実現することができれば、本当の意味でのカーボンニュートラルなエネルギー源となりうると考えられる。

### (2) 普及するための問題点

前項では、カーボンニュートラルな燃料としての問題点をあげたが、それ以外にも様々な問題がある。まず、最初の問題として、原料の廃油はそこまで多く発生するわけではないということがある。また、石鹼も廃油を原料に作るなどしているところもあり、廃油をすべてバイオディーゼル燃料にすることもできない。これだけでは、国内のディーゼル燃料のすべてをまかなうことは到底できないどころか、ディーゼル燃料のほとんどは軽油や灯油などのままになると考えられる。では、廃油だけではなく、バイオディーゼル燃料を作るためにアブラナや大豆などを栽培してはどうだろうか。

現在、日本は多くの食用油を輸入していて、国内で搾油されているものも、その原料の大豆や菜種はアメリカやカナダなどからの輸入である。バイオディーゼル燃料を欧米などから輸入することは難しいと考えられるため、バイオディーゼル燃料をより多くの量を作るためには、国内で栽培から行うか海外から植物油は輸入するのが現実的であると考えられる。しかし、日本は国土が小さく、多くの油を栽培するのは難しい。

「仮に、現在の年間に排出されている廃食油をすべてバイオディーゼル燃料に転換しても、現行の軽油年間消費量のわずか 1%にとどまる。また、不作付け地や耕作放棄地をすべて菜種栽培して搾油し、食用にせずに直接バイオディーゼル燃料に変換して使用しても、廃食油と併せて軽油の年間使用量の 2.5%程度に過ぎない。」<sup>9</sup>

<sup>9</sup> 新訂新装版 バイオディーゼル-天ぷら鍋から燃料タンクへ-(山根浩二/著) より引用

このことから、海外から植物油を輸入することになるが、この場合、製造にかかるコストが高いことが問題としてあげられる。一般的に軽油は¥100/L程で売られているが、同書内では、東南アジアなどからパーム油を輸入し、バイオディーゼル燃料を合成した場合、¥40-80/L程になると試算されている。現行法においてはバイオディーゼル燃料も軽油取引税約¥30/Lがかかるため、軽油と同程度の金額で販売するには¥65以下で製造する必要があるが、企業の利潤等も含めて考えると軽油よりも少し高い金額で販売されることが予想される。

解決策として、バイオディーゼル燃料の軽油取引税の引き下げまたは廃止がある。環境省が主導となり、環境にやさしいエネルギーへの減税等を積極的に行うことによって軽油よりも安い価格で販売でき、バイオディーゼル燃料を普及させることができると考えられる。

さらに、日本ではディーゼル車の台数が年々減少しており、特に乗用車では、ガソリン車が占める割合が非常に高くなっている。これはガソリン車の燃費向上とディーゼル車と比べた時の安さ等の理由によるものだと考えられる。わざわざバイオディーゼル燃料を使うためにディーゼル車に買い替える人は少ないであろう。このため、日本においてはトラックや重機などの企業が所有するディーゼル車における利用にとどまってしまうと推測できる。

## X. 総評

バイオディーゼル燃料は、二酸化炭素を新たに排出することのない、カーボンニュートラルな燃料であると同時に、植物由来の成分しか含まないので、NOx(窒素酸化物)やSOx(硫黄酸化物)などの有害物質の排出量も少ないといわれているなど環境に優しいクリーンな燃料である。このバイオディーゼル燃料の合成は簡単で、身近な物質から特別な設備も使わずに合成することができる。一般的な水酸化カリウムを使用する方法では、合成のために毒物劇物取扱責任者免許所持者の監督が必要になったり、扱いには細心の注意が必要であったりするが、触媒を自作することで、除外濃度(毒物や劇物が特定の濃度以下であれば扱う際に免許が必要でない。この濃度を除外濃度という。水酸化カリウム、水酸化ナトリウムの除外濃度は5%以下である。)の範囲になり、塩酸もクエン酸等の非劇物に代用できるため、誰でも、安心して行うことができる。既に自動ですべての工程を行える機械も開発されており、今後は合成がより容易になるであろう。

一方で、バイオディーゼル燃料は軽油に比べて製造に高いコストがかかってしまい、同等の軽油取引税が課された場合、販売価格が高くなってしまうという問題もある。そのため、軽油取引税の引き下げなどを行うことで、より普及しやすくなるのではないかと思う。

現在日本ではバイオディーゼル燃料の認知度も低く、あまり使用されることはないが、環境問題への人々の意識や関心が集まってきているのは明らかである。これから近い未来に、再生可能エネルギーがより普及していき、その中でカーボンニュートラルな燃料であるバイオディーゼル燃料の使用機会は増えていくと思う。

今回の研究では、石油由来のエネルギーや物質を利用してバイオディーゼル燃料を合成したため、「本当の意味でのカーボンニュートラルな燃料」といえるものにはならなかった。このため、今後は植物由来のエネルギーや物質(アルコール)を使ってバイオディーゼル燃料を合成することについて調査して行きたい。また、身の回りの物質から簡単に作れる、環境にやさしい触媒についても研究していきたい。

## 【謝辞】

最後に、本研究をするにあたって、材料となる廃油を提供していただいた皆様に深く感謝いたします。また、実験の監督、助言を行ってくれた私の父、本論文の校閲をしていただきました、原和也先生および近藤一樹氏にも深く感謝申し上げます。

## 【参考文献】(順不同)

- 『新訂新装版 バイオディーゼル 一天ぷら鍋から燃料タンクへー』(山根浩二/著 東京図書出版会 2006年)
- 「Environmental Effects of Increased Atmospheric Carbon Dioxide」(ARTHUR B. ROBINSON, NOAH E. ROBINSON, AND WILLIE SOON)
- 『地球温暖化問題懐疑論へのコメント 2008年7月7日 Ver. 2.4』(明日香壽川, 吉村純, 増田耕一, 河宮未知生, 江守正多, 野沢徹, 高橋潔, 伊勢武史/編 <http://www.cir.tohoku.ac.jp/~asuka/> 2008年)
- 『-事態はここまで深刻化している- / 地球破壊とは?』(西岡秀三, 諸住哲/編 東京教育情報センター 1997年)
- 『図解 バイオディーゼル最前線』(松村正利, サンケアヒューエンズ(株)/編 工業調査会 2006年)
- 『改訂版 視覚でとらえるフォトサイエンス化学図録』(数研出版 2013年)
- 『三訂版 視覚でとらえるフォトサイエンス化学図録』(数研出版 2016年)
- 『改訂版 視覚でとらえるフォトサイエンス生物図録』(鈴木孝仁/監修 数研出版 2013年)
- 『新課程 視覚でとらえるフォトサイエンス物理図録』(数研出版 2012年)
- 『視覚でとらえるフォトサイエンス地学図録』(数研出版 2016年)
- 『総合図説化学』(佐野博敏, 花房昭静/監修 第一学習社 2003年)
- 『理科年表 平成27年』(国立天文台/編 丸善出版 2014年)
- 『毒物劇物取扱者合格教本』(竹尾文彦, 花輪俊宏/著 技術評論社 2015年)