

実践報告

環境問題の内在化に向けた実践報告 — バイオディーゼル燃料合成法を例として —

岡島 俊哉*

Practical Study How to Internalize Environmental Problems — On Esterification Reaction to Synthesize Biodiesel Fuel —

Toshiya OKAJIMA*

【要約】

近年、多種多様な環境問題が知られるようになり、それに伴う災害なども深刻化の一途を辿っている。環境問題の一つの流れは公害～地球規模での環境問題で、そのキーワードはエネルギーおよび資源である。一方、化学物質や食料などをキーワードとする健康をテーマとした流れがある。これら複雑な環境問題をひも解き、化学分野における体験（見学）と実験を併用して知識と知恵を内在化させ環境マインドとして定着させるための教育上の一手法（一視点）の提案を行う。

【キーワード】

食用油, トリグリセリド, バイオディーゼル燃料, 地球環境問題

1. 緒言

バイオディーゼル燃料は地球温暖化やエネルギー問題を改善するエネルギー源の一つとされている。原料として植物や廃食用油を利用すれば、新たな二酸化炭素の発生源にはならないと考えられているためである。すなわち、元々が大気中の二酸化炭素を原料とした光合成由来の有機物を燃焼させるため、大気中の二酸化炭素の新たな増加にはつながらないとされている（カーボンニュートラル）。地中に存在する炭素化合物を燃焼して二酸化炭素を大気中に放出する化石燃料と異なり地球温暖化を促進しないと考えられている。

地球温暖化は、生態系の破壊とともに最も本質的な環境問題の一つとされ、緊急な解決が必要とされている。しかしながら、その解決には様々な困難が生じていることも事実である。環境問題の解決方法には規制的手法や経済的手法など様々な手法が施策として実行されてはいるが、「Think

Globally, Act Locally」という言葉に代表されるような、「一人一人ができることを実行することが重要である」ことが古くから提唱されながらも、その実践はかなり遅れていると感じられる。それは、人が環境問題に関する知識や手法を知っていても、内在化が十分ではないことに原因があり、行動につながっていないことが背景にある。この課題を解決するために教育が重要であることは事実ではあるが、どのような教育手法が真に有効かについては多くの実践が行われてきているにも関わらず未だ試行錯誤の状況である。あるいは、これからその成果が顕著に現れてくるであろうか？。いずれにしても現段階で、環境問題の現状は改善してはきているものの、人々の行動様式は環境問題を解決するには未だ十分でない。大気中の二酸化炭素濃度は増加し続けている。法令による規制などによりその進行が抑制されてきていると考えられることはできても、抜本的な解決策には至ってい

ない。

著者の専門分野は化学であるので、本報告では、実際に佐賀市のリサイクルプラザで行われている廃食用油再生工場の工程と化学実験の工程を比較して、教材としての化学実験を「社会を理解するための見える化教材」とし、行政的手法の見学などと結びつけることにした。常に様々な社会現象（特に環境問題への対応）を意識に入れつつ、個人レベルで環境保全の概念を「内在化」させていくための効果的手法を模索した。

本実践報告では、バイオディーゼル燃料の合成を取り上げた。中性脂肪のけん化、エステル交換反応の例として、すでに教材としても利用されており、教科横断的な教材化にも結びつけやすいためである。

2. バイオディーゼル合成の原理

バイオディーゼル燃料 (Biodiesel fuel, 略してBDF) の主成分は脂肪酸のメチルエステルである。原料は廃食用油でその主成分はトリグリセリド (TGと略する, 中性脂肪などはTGの例) であり, TGは脂肪酸とグリセリンから成っている。脂肪酸にはステアリン酸, パルミチン酸, オレイン酸などがある。

水酸化カリウム (KOH) を触媒として原料の廃食用油 (TG) をメタノールと反応させる際, エステル交換反応が起こり, 脂肪酸のメチルエステルが生成する (再生工場ではこれを精製油と呼んでいる)。

3. 廃食用油再生工場の工程

環境教育等の多くで実地体験 (見学) が行われる。見学は講義や映像などと異なり, 現地に赴いて実物を見ることができるという点で学習効果が優れている。しかしながら一方では, 学習者の学習意欲に依存して, 好奇心などが旺盛であれば期待以上の効果をもたらすが, 学習意欲が低すぎるとほとんど効果をもたらさないことも事実である。実際, 廃食用油再生工場の見学では, 実際に視界に入るものはタンクなどの設備であり, 内部で実際に何が起きているのか, どのような状況なの

かは見るができない。また, 見学の時間帯に作業が行われていなければ真に設備だけの見学に留まってしまう。そこで, 事前あるいは事後学習と称して, 何がどのような状況で行われているかを説明するが, 同時に行うことが困難なために, 学習動機を高揚させることが難しい。

そこで, 見学先に反応器具を持ち込んで実験を平行する, あるいは, 事前に反応などのビデオ撮影をしておき, 見学先で見せるという方法が考えられる。

以下に挙げる写真は生徒などが実地で目にする設備である。反応工程および設備操作手順を下記にまとめておく。

- ① メタノール貯留タンク (図1)
(エステル交換反応を行う薬品で, 廃食用油とともにバイオディーゼル燃料の原料である)
↓
- ② 廃食用油貯蔵タンク (図2)
(バイオディーゼル燃料の最も基本となる原料で, 家庭から収集される)
↓
- ③ 廃食用油分離タンク (図3)
(廃食用油には天ぷらなどの残渣や水分などが混入しているので静置して分離させる)
↓
- ④ 軽油代替燃料化装置 (図4~図8)
(触媒KOHを計量しメタノールに投入して攪拌し, 溶解して混合液をつくる。反応容器に廃食用油を移送後, 混合液を投入してエステル交換反応を開始する)
↓
- ⑤ グリセリン分離タンク (図9)
(反応終了後に副産物としてグリセリンが精製するので, 精製油から分離する (合成された精製油は上層, グリセリンは比重が大きいため下層に分離する))
↓

- ⑥ 副産物 グリセリンの分離 (図10～図11)
(分離したグリセリンをグリセリン取出しタンクに移送する)
↓
- ⑦ 精製油貯留タンク (図12)
(グリセリンを分離除去した精製油を精製油貯留タンクに移送し、60℃を維持して循環させ、分離器で夾雑物を除去する)
↓
- ⑧ 建屋外の貯留タンクに貯留し車に給油する (図13)
(佐賀市のバスや廃棄物収集車は精製油(バイオディーゼル燃料)を使用している)
↓
- ⑨ グリセリンはポリ容器に映す (図14)
(グリセリンは運び出され、別施設にて堆肥などに混合されて肥料として利用される)

このような過程を経て廃食用油から精製油(バイオディーゼル燃料)が合成されるが、見学等で実際に見ることができるのは作業中であっても反応そのものを見る機会はほとんどなく、容器だけのことが多い。



図1 メタノール貯留タンク



図2 廃食用油貯蔵タンク
(搬入されてきた廃食用油は建屋外のタンクに一時的に貯留される。)



図3 廃食用油分離タンク

図3 は廃食用油分離タンクで、この中で油分と水分が静置・分離され、水分は比重が大きいいため下方から排出される。このタンクの前には固形物を分離除去するスクリーンを通す工程があるので、タンク内には大きな固形物はほとんど入らない。再生工場の廃食用油の状態は黄褐色に着色しているものの、予想よりも透明でかなりきれいな液体である。



図4 軽油代替燃料化装置1系

図4は、再生工場の中で最も重要な設備で、バイオディーゼル燃料化のための一体型反応装置である。この内部で廃食用油がメタノールと触媒である水酸化カリウム (KOH) と混合加熱 (70℃) されてBDFの合成が進行する。



図5 触媒 KOH の計量



図6 メタノールにKOHを投入して混合液とする (内部のタンクにはすでにメタノールが入っている)



図7 軽油代替燃料化装置内にある反応容器 (左下がメタノール+KOH混合タンク)

図5～6 の工程は反応の準備段階で、メタノールと触媒であるKOHを混合する工程である。図7の右の大きなタンクには廃食用油が 200リットル入っており (1回の反応量)、左下の小さいタンク内の混合液がこのタンクに移送されて混ぜられ、加熱下で反応が開始される。



図8 軽油代替燃料化装置に表示されたエステル交換反応工程を制御するための画面



図10 グリセリン取出シタンク



図9 グリセリン分離タンク

図9は図4に示した軽油代替燃料化装置内で合成された精製油と、副産物として生成したグリセリンを分離するタンクである。内部では反応混合液が静置され、比重の大きいグリセリンが下方に移行し、二つの層を形成する。下層のグリセリン層は図11に示すように、グリセリン取出シタンクに移送され、貯留される。

図10及び11に反応終了後に分離されたグリセリン取出シタンクと、グリセリン層の色を示す。原料は家庭から排出された使用済みの食用油なので、グリセリン層（水に溶解しやすい物質を含む層）には様々な夾雑物が溶けていると考えられ、暗褐色を呈している。



図11 グリセリン分離タンクからグリセリン取出シタンクへの排出（色は暗褐色を呈する）



図12 精製タンク2系

(右上は分離機で中にフィルタが入っている)

図9～11の工程でグリセリンが取り除かれた精製油は、精製タンクに移送されて、さらに加熱・静置されて少量残留しているグリセリン層が取り除かれる。

図13 左端に見える精製油貯留タンクから
佐賀市営バスへの給油

精製油（BDF）は最終的には、図13の左端に見える建屋外の貯留タンクに移送され、佐賀市の廃棄物収集車や佐賀市営バスの燃料として給油される。

廃食用油からバイオディーゼル燃料を合成する際には大量のグリセリンが生成する。このグリセリンは現在は堆肥等に混入されて肥料として活用されている。

図14 グリセリンはグリセリン取出しタンクから
ポリ容器に移されて運び出され、他施設において
肥料として再生される

4. 化学実験の工程

上記に示した様々な設備の内部が反応中にどのような状態になっているかについては、化学実験により確かめることができる。^{1,2)} 下記に一連の工程を示す。

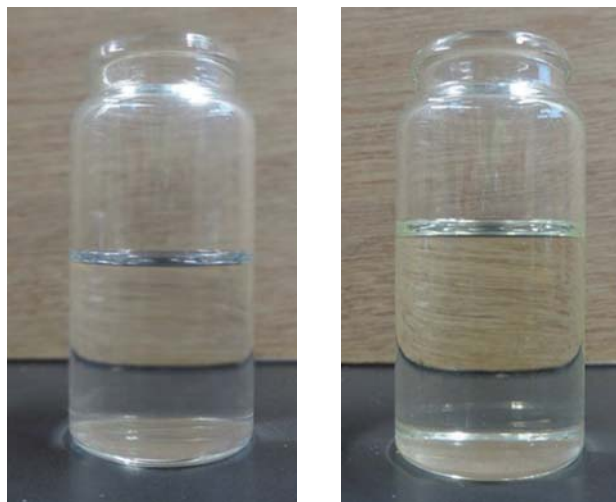
図15 左はメタノールの純品、右は未使用の食用油
(微黄色)

図15は、メタノール貯留タンク（図1）および廃食用油貯留タンク（図2）の内部に相当する状況である。

水酸化カリウム（KOH）を量りとり、メタノールに加えて攪拌すると次第に溶解する（図16-17）。これを再生工場では混合液と称しており、図7に示す廃食用油が入っている反応タンクに、左下の

小さなタンクからメタノール性 KOH 溶液が移送された状況を図18に示す。



図16 触媒（水酸化カリウム, KOH)



図19 反応中（湯浴使用, 70℃)



図17 メタノールにKOHを溶解する
（“メタノール性KOH”と言われる）



図18 メタノール性 KOH（上層の透明な層）
と食用油（下層）

図19は、図4に示す軽油代替燃料化装置の機能を示す実験である。



図20 反応液を良く振ると懸濁する（メタノール性
KOHと食用油は混合しにくい）

図20は図18-19に示す液体を十分に攪拌した状態で、濁って見える。食用油とメタノールは互いに溶解しにくいので反応中は常によく攪拌して分子同士を十分に接触させる必要がある。



図21 反応終了後には精製油（上層）とグリセリン層（下層）が分離して二層になる。

反応は1時間程度で終了するので、静置すると精製油（BDF）層とグリセリン層（下層）が次第に分離してくる。実験では未使用の食用油を使用しているため、グリセリン層は黄色に着色しているだけであるが、再生工場において分離取り出されたグリセリンは黒色が強く、原料である家庭から排出された使用済み廃食用油に不純物が多いことがわかる。

この後、図10～11に示すように下層のグリセリン層を分離するが図示を省略する。

5. 実践例

まず、この手法の実践を、日本人学生2名に対して見学と実験を併用して行った。授業の一環として時間的余裕を持たせたこと、ほぼ同時並行的に進行できたことなどから、理解が促進されたと判断できた。教員側からも、学校教育の内容と社会で行われている手法が結びついたことが学生の評価が大変高かった理由と分析している。

環境教育はさらに低年齢において十分に行うことが重要と考えるが、あまり知識の理解が進んでないと十分な教育成果が上げられない。現段階ではこの手法は中学生以降において有効であろうと推測している。

実際に、佐賀大学文化教育学部附属中学校5名

（2年生3名，1年生2名）に同じBDF合成実験を体験してもらった。廃食用油再生工場の工程を写真を交えた図で示し、実際に合成を行い、見学と実験を併行した状況を設定した。そのアンケートからの感想文のいくつかを示す。

（問）環境問題とのつながりについて知ったこと、感じたことは？

①使用済み燃料の改良で自家用車にも使える？
時間と経費がかからない方法でBDFとグリセリンが分離できる？

②廃食用油からきれいな燃料ができるので捨てないようにする。

③グリセリンは肥料として利用できることに感心した。

④BDF燃料をつくって石油の枯渇を防ぎたい。などの感想が得られた。また、内容で印象に残ったこととして、「実験中に反応溶液が分離していったことが見れたこと」という回答が2名あった。

重要なことは、再生工場の工程を時間の都合上できるだけ簡潔に説明し、環境問題にもほとんど言及しなかった（できなかった）にもかかわらず、BDF合成実験を化学実験として行うことで、環境問題について質の高い言及ができていたことである。環境教育では、環境保全への行動を促す目的で時間の多くを環境保全の重要性や手法の理解、課題解決型学習などに当てるが、学校教材と社会的教育資源をうまく組み合わせれば、環境保全の重要性が感覚的に印象に残る教材にできるという確信のようなものを持たせたことが中学生への実践での大きい成果であった。

化学分野で環境保全に貢献できる手法として、社会で実際に利用されている設備の見学とその原理を学ぶための化学実験が同時進行で実現できることは、環境マインドの形成に大きく貢献できることを確かめることができた。

6. まとめ

近年、地球環境問題が深刻になる中で、個人の役割が重要視されている。個人の意識は教育の成果もあり次第に高まってきたと判断できる。しかしながら一方で、まだ行動が十分に伴っていない。

豊かさや便利さは人間にとって大きな魅力であり、多くの“できること”を提案されつつもなかなか行動に結びつかない。環境マインドと称される“環境保全に貢献する姿勢と態度”を育成するには、自然のしくみとしての資源とエネルギーを如何に有効に、また、効率的に利用できるかを考え、実際に行動する力を身につけることが重要である。いわゆる“もったいない”を実践する（できる）ことだけでも個人レベルで定着すれば、地球環境問題は大きく改善されるのではないか。特に資源の有効利用という面では、化学分野にできることは大きい。

環境教育では体験が重視されるが、体験あるいは様々な活動とそれに付随する講義（説明）を組み合わせることだけでは効果が薄いのではないか。やはり、自然のしくみがどうなっているかを探求し、例えば化学物質の性質を知ること、化学反応を知ることにより立ち返り、同時に、社会で実際に行われている化学に関する業務を同時進行的に学ぶことで大きな感銘が期待できることが次第にわかってきた。これまでの体験と講義を組み合わせることとの違いは、「なるほど、そうか!」という感情を如何に芽生えさせることができるか、である。

将来教員を目指す学生あるいは学校の生徒が、自然のしくみを理解し、社会で実際に行われている業務との関連の中で環境保全の大切さを身をもって体験し、自分の行動に溶け込ませ、そして他人に伝えていけるような印象的な手法を見出していかなければならない。

環境保全に関する意識を常に内在化させ環境マインドを形成・維持させるためには、関連する知識を様々な活動の場において必要に応じて常に意識によみがえらせ（思い起こし）活用する（できる）ことが重要である。知識をいつでもどこでも安定して使えるようになっていることが学習の質として重要で、行動のための継続的動機となる。体験と知識学習あるいは実験学習を如何に効果的に遂行すべきか、その手法はどのようなものかについて今後も追求していく。

【参考文献】

- (1) 視覚でとらえるフォトサイエンス 化学図録, 数研出版, pp233 2013.
- (2) 実感する化学「(上巻) 地球感動編」, NTS, pp249 2006.