

平成 25 年度 山形県高等学校教育研究会 工業部会研究発表会
環境化学コース課題研究四年間の経過と成果
『廃棄物からのバイオマスエタノールの合成』

山形県立米沢工業高等学校 梅津 悌宏

1 はじめに

本校建設環境類・環境化学コースの生徒の課題研究で取り組んできた成果を発表する機会を得たので、その研究の経過と成果を掲載することとする。

これらの関連研究は四年前に着手し始めた。当時は環境に関わるテーマとして「ECO」を題材に取り組んできた。エネルギーの自給自足や諸問題というよりも、身近で無駄になっているものに光を当てて、再利用・有効利用という観点であった。取り上げてきた素材は、次の通りである。

(1) 発泡スチロール

効率的な輸送のために一旦リモネンに溶解し、さらに発泡することで元の発泡スチロールにリサイクルする研究

(2) ペットボトル

ポリエチレンテレフタレートを原料にした衣料用品があるということで、繊維状にする研究

(3) 生ゴミ

一般家庭でも普及しているコンポストをヒントに、自作のものを作成し生ゴミを処理する過程で発生する発酵熱を熱源として取り出す研究

(4) 木屑（紙屑）

木屑の成分は、大別するとリグニン、セルロース、ヘミセルロースに分類できる。成分を説明するのに例えられるのが、鉄筋コンクリートであるが、鉄筋にあたるのがセルロース、それを束ねるワイヤーがヘミセルロース、流し込むコンクリートがリグニンである。

今回はその成分中のセルロースに着目して、それを原料にしたバイオマスエタノールの合成として掲載する。

バイオエタノールの一般的な合成には、トウモロコシやサトウキビなどの食品系が使用されている。世界の人口爆発に伴い食糧問題が発生していることに楔を打ち込む上で、食品系ではなく非食品系のゴミになる木屑や紙屑を原料にすることは、無から有を生み出すと共に、そのことでエネルギー問題に一石を投じる事になればと考え取り組むこととした。

(我々は、非食品系を原料にすることから、バイオマスエタノールという表記を使用しました。)

2 実験概要及び結果

この研究の最大のネック（問題点）は、セルロースの糖化でグルコースを、如何にして得るかという点にある。第一段階として、裁断紙を利用することとした。（紙は純粋なセルロースである。）実験結果は下記の通りである。

① 裁断紙（セルロース $(C_6H_{10}O_5)_n$ ）を糖化することで、グルコース $(C_6H_{12}O_6)$ を得ることに成功した。

（糖化のために濃硫酸法、希硫酸法、酵素法などさまざま実験から試行錯誤を繰り返し、最終的にはセルラーゼ酵素を利用する方法を採用した）

② 上で得た糖をアルコール発酵によってエタノールの合成に成功した。（市販のイースト菌をビーズに固定化して使用）

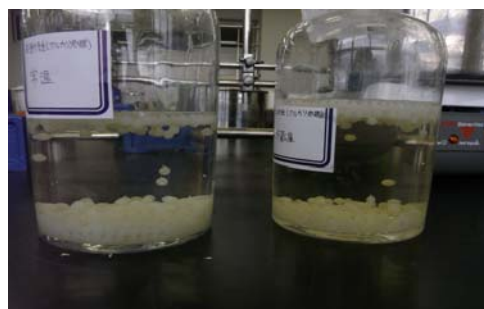


図1 (糖溶液のアルコール発酵の様子)
(発酵ビーズの呼吸の現象が伺える)

反応式



A：セルラーゼ酵素（加水分解）

B：発酵ビーズ（イースト菌の固定）

③ 生成したエタノールを単離濃縮することに成功した。（頭頂蒸留、クライゼン形精留器使用）

④ 濃縮したバイオマスエタノールの燃焼試験に成功した。（得られたエタノールの濃度は、量が

少ないため測定不能であったが、燃焼が起こることから推測すると 60 ～80%と思われる)

- ⑤ 木屑から高純度のセルロースの抽出に成功した。
(アルカリによる還流でリグニンの除去)



図2 (木屑セルロース糖化実験と糖濃度測定)



図3 (裁断紙(左)及び木屑(右)を原料にして合成したバイオマスエタノール)

- ⑥ 裁断紙と同じ工程で純度の高いエタノール合成に成功した。
⑦ 木屑を原料にしたバイオマスエタノールについても燃焼試験に成功した。



図4 (バイオマスエタノールの燃焼実験)
(木屑～: 1mlで約2分の燃焼時間)

- ⑧ 糖、エタノールの検証試験を行い、いずれも陽性であった。(糖はベネディクト試薬、エタノ

ールはヨードホルム反応による)

3 考察とまとめ

- ① セルロースとグルコースは分子構造が似通っていることから紙や木材からグルコースを得ることは理論上できるだろうと考えていたが、実際にグルコースを得ることが証明できた。ただし、セルラーゼ酵素を入手することが、この研究の成果に繋がるまでの最大の難関であり、幸運なことでもあった。その他にも、硫酸を使用した方法も試みたが、後処理が煩瑣で収率等を考慮して採用を見送った。

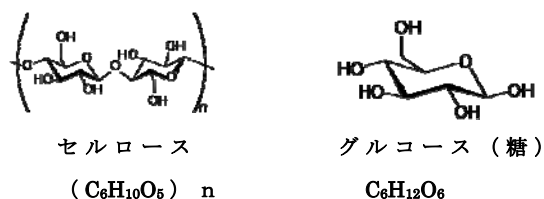


図5 (セルロースとグルコースの分子構造)

- ② エタノール濃度を上げるためには、①の糖の濃度に依るところが大きい。(アルコール発酵は容易である。)
③ 燃焼可能なエタノールにするために、蒸留(精留)の工夫が必要であった。(EtOHは共沸物質のため通常蒸留では水が混入する)

4 今後に向けて

- ① 収率が原料に対して 10 ～15%であった。また、最終的にエタノールの合成入手まで2～3週間ほどかかることから、収率向上および時間短縮ができないか検討する必要がある。
② 内燃機関への利用、また他の用途などに利用できないか今後の研究につなげていきたい。
③ 酵素を利用しない糖化を研究していきたい。

5 おわりに

高校生にはハードルが高く難しいテーマで、どこまでやれるだろうかと心配していたが、その年度毎、こつこつ地道に取り組んだ結果、最終目的まで達し、生徒共々安堵と達成感でいっぱいです。この研究をすすめる上で、不可欠だったセルラーゼ酵素を提供いただいた他、物心両面でご支援いただいた京都大名誉教授の堀井文啓先生に感謝申し上げます。