

# 使ったプリントをエネルギーに ～身近なものから作るバイオエタノール～

宮城県仙台第三高等学校

近年、環境に配慮したエネルギーの需要が高まっており、バイオエタノールが注目されている。しかし、現在主流の生産方法ではとうもろこしなどの食料を原料となっており、食料危機に繋がる恐れがある。そのため古紙からバイオエタノールを作成する方法が模索されているが、実用化は困難である。そこで本研究では、より高濃度のエタノールを得る手法を検討することを目的とした。予備実験ではpH値によって実験中に溶液のpH値の上昇が見られたことから、セルラーゼを用いた糖化では、pHの調整が必要であると仮説を立て、以下ではpH値の違いに関する実験と、セルラーゼの保管場所として冷蔵庫を使用していたため、温度の違いに関する実験を行い、考察した。\*セルラーゼとは食物繊維の一種で、セルロースを分解する酵素である。今回使用したセルラーゼは黒カビ由来のものである。

## 1 背景

近年、環境に配慮したエネルギーの需要が高まっている。しかし、再生可能エネルギーの総発電量は僅かである。私たちが注目したバイオエタノールも再生可能エネルギーの内のひとつで、現在、利用が進められている。しかし、現在の主流である作成方法では、とうもろこしなどの食糧を原料としており、将来的な食糧不足の原因となるなどの問題がある。そこで最近では、食糧ではなく、セルロースを原料とするバイオエタノールの研究が進められている。また、先行研究<sup>1)2)</sup>では、古紙からエタノールを精製することが可能であることが示されている。しかし、それらではエタノールを作成することを目的としており、収率は良くなかったことも示されていることから、現状の方法では収率が悪く、実用化は困難である。

## 2 目的

上記のとおり、先行研究では古紙からエタノールを作成することに成功していたが、精製することを目的としており、収率については考えられていなかった。そこで、私達は古紙から高濃度のエタノールを得る手法を検討することを目的とした。

## 3 研究方法

古紙からバイオエタノールを生成する過程について以下の方法を採用した。硫酸を用いてセルロースの結合を切り、加水分解する方法もあるが、安全面・価格の観点から酵素を用いた方法を選択した。

①フードプロセッサーで細かく砕いた古紙を水に浸し、その溶液にセルラーゼを入れる。

②溶液を攪拌したあと数日間放置し、溶液を糖化発酵させる。

③糖化発酵によって溶液内に生成されたグルコースにイースト菌を入れ、数日間放置する。

④イースト菌によってグルコースが分解され、エタノールが溶液内に作られる。

⑤この溶液を蒸留し、エタノールを取り出す。

本研究ではこの①から③過程の透過発行の過程において溶液中の糖度を増やすことに着目した。

なお、本研究の手法によって得られるグルコースの濃度の理論値は

(セルロースの分子量)≒162

アボガドロ定数を $6.0 \times 10^{23}$ とすると

紙(セルロース10%とする)0.1gの中に含まれるグルコースの数量は

$$\frac{0.1}{\frac{162}{6.0 \times 10^{23}}} \div \frac{10^{22}}{27}$$

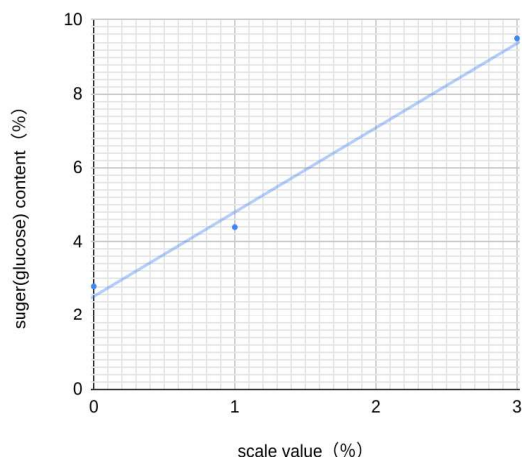
(グルコースひとつ分の質量) × (紙0.1gのグルコースの数量) = (グルコースの総量)

$$\left( \frac{180}{6.0 \times 10^{23}} \right) \times \frac{10^{22}}{27} \div 0.11$$

したがって、溶液中のグルコースの質量パーセント濃度の理論値は

$$\frac{0.1}{5.0+0.1} \times 100 = 1.96 \div 2.0 [\%]$$

また、以下の実験で使用した糖度計はショ糖用のものであったため、糖度計の取扱説明書を基にグルコース濃度に換算する方程式を作成し、濃度を補正した。



$$(\text{糖度}) = 1.9 \times (\text{実測値}) + 2.6$$

図1 実測値と糖度の関係

#### 4-1 予備実験1

酵素が働くことを確認することを目的として行った。セルラーゼの総量が少なかったため、蒸留水の量を多めにするように考え、ビーカーを用いて蒸留水100.g、セルラーゼ0.15g、古紙0.1gという条件を設定し、実験を行った。また、30℃に設定された定温乾燥機で1週間保管した。

#### 4-2 結果と考察

予備実験1ではグルコースを得ることができなかった。そこで試験紙で調べたところ、溶液は弱アルカリ性に変化していた。また、溶液から腐っているような匂いがした。以上のことから腐敗が起こったことや、セルラーゼの量に対して水の量が多すぎたことが原因で酵素が働かなかったと考えられる。

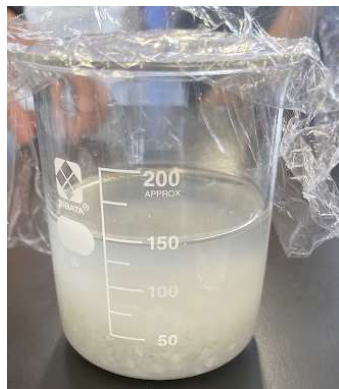


図2 一週間放置した後の溶液の様子

#### 5-1 予備実験2

予備実験1でグルコースを精製することができなかった理由として、セルラーゼの量に対して水の量が多すぎ

たと考え、ビーカーではなく試験管を使用し、古紙0.10g、水5.0g、セルラーゼ0.15gに設定した。また、古紙にも原因があるのではないかと考え、古紙の代わりに綿0.10gを用いて同様に実験を行った。

#### 5-2 結果と考察

古紙と綿のどちらもグルコースが精製されたことを確認することができた。また、実験中に溶液のpH値の上昇が見られた。古紙には問題なかったが、水に対するセルラーゼの割合が小さすぎたことが正しかったと言える。



媒質	古紙	綿
画像		
糖度(%)	0.20	0.090

図3 媒質の違いにおける糖度

#### 5-3 仮説

予備実験2より実験中に溶液のpH値の上昇が見られたことから、セルラーゼを用いた糖化では、pHの調整が必要である。

#### 6-1 実験1 酸性条件下での変化

先行研究<sup>2)</sup>ではpH値を一定に保たせて行っていたため、身近である食用酢を用いた酸性水溶液を使用し、pH値を4程度に保たせて行った。また、古紙0.1g、酸性水溶液5.0g、セルラーゼ0.15gを用いて行った。

#### 6-2 実験1の結果と考察

溶液の糖度は2.7%を示した。実験中に溶液のpHが上昇したため、その都度適量の酢酸を加えた。今回は食用酢を使用したが、それには糖が含まれているため理論値を超えてしまったのだと考えられる。

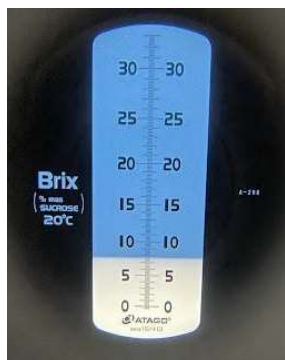


図4 実験1の結果 2.7%

### 7-1 実験2 最適なpH値の検証

実験1と同量の古紙、酸性水溶液、セルラーゼを用いて行った。実験1について、食用酢に含まれていた糖が検出されたのではないかと考え、塩酸に変更した。試験管を3本使用し、それぞれpH4・5・6に保たせた。pHが上昇した際、塩酸を加えて調整した。

### 7-2 実験2の結果と考察

pH4の溶液は0.25%、pH5の溶液は0.2%、pH6の溶液は0%の糖度を示した。pH4の酸性水溶液のときに最も糖度が高くなったため、pH4程度が最適であると考えた。

pH	4	5	6
画像			
糖度(%)	0.25	0.20	検出なし

図5 各pHごとの画像と糖度

### 8-1 実験3 溶液を保管する際の温度条件

試験管を2本と実験1と同量の古紙、pH4に保たせた酸性水溶液、セルラーゼを使用し、それぞれ定温乾燥機(40℃)と冷蔵庫(約3℃)で保管する。pHが上昇した際、塩酸を加えて調整した。

### 8-2 実験3の結果と考察

冷蔵庫で保管した溶液は検出されず、定温乾燥機で保管した溶液は0.30%の糖度を示した。また、実験1、2

と同様に実験を開始してから数日間はpH値の上昇が確認された。

保管場所	40℃の定温乾燥機	冷蔵庫
画像		
糖度(%)	0.30	検出なし

図6 各温度の糖度

## 9 結果と考察

今回の実験ではpH4、40℃で保管したときに、最も糖度が高くなった。それぞれの実験からセルラーゼがセルロースを分解する過程ではpHが上昇し、反応を阻害する、溶液を酸性(最適pH4)に保つ必要がある、低温よりも30～40℃の温度環境のほうがセルラーゼに適している、溶液に元々糖が含まれている場合、反応を促進する可能性が考えられるということがわかった。

## 10 展望

実験中に確認された溶液のpHの上昇の原因についての研究が必要である。また、材料費などの総合的なコストの削減について検討する必要があると考えている。

### 参考文献

1 岩手県立一関第一高等学校・附属中学校 令和元年度課題研究集録 (1)紙からエタノールを作ろう！

[https://ic1-h-ssh.sakura.ne.jp/wp/wp-content/uploads/2021/08/2019\\_01.pdf](https://ic1-h-ssh.sakura.ne.jp/wp/wp-content/uploads/2021/08/2019_01.pdf)

2 岡山県立東岡山工業高等学校 工業化学科 化学研究部 「シュレッダー裁断紙の有効利用」

<https://www.toko.okayama-c.ed.jp/7osirase/syureda/kankyoukagaku-img/h20-kankyoukagakukai-toukou.pdf>

f

3 新居浜工業高等専門学校「再利用だけで終わらせ  
ない～古紙利用はここまでできる～」

[https://www.khc.or.jp/ology/pdf/technoai2014prize\\_2.  
pdf](https://www.khc.or.jp/ology/pdf/technoai2014prize_2.pdf)

4 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』

[https://www.yamagata-c.ed.jp/kougyou/guests/bukai  
hou/no51/4-5.pdf](https://www.yamagata-c.ed.jp/kougyou/guests/bukaihou/no51/4-5.pdf)