

# 竹由来のセルロース系バイオエタノール生成

兵庫県立神戸高等学校 自然科学研究会化学班  
榎木孝太, 西崎俊介, 小谷恭平

## 【目的】

近年,日本で問題となっている竹害の原因である竹を有効活用したいと考え,竹からエタノールを生成するために竹繊維中のセルロースの分解処理における最適条件を追求した。

## 【分解処理の工程】

- ①可溶化処理：水に不要であるセルロースを可溶化する処理
- ②分解処理：可溶化したセルロースを分解する処理

## 【実験1】H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>分解処理

セルロースの「**高温かつ酸性**」の条件下で分解されやすい」という性質から, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>を用いて処理した。

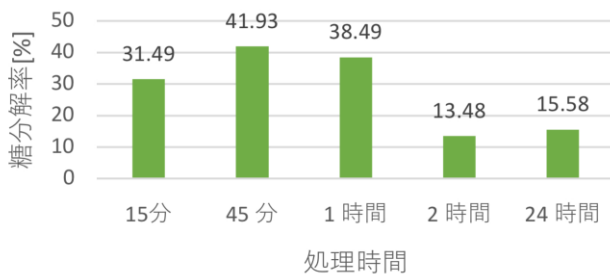
### 〈実験1-1〉H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>分解処理の時間検討

#### 【実験方法】

- ①75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>に30分間,常温で漬け込み可溶化
- ②25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で15分,45分,1時間,2時間,24時間,80°Cで処理

#### 【結果】

### 処理時間と糖分解率との関係



・45分までは処理時間が長くなると分解率が高くなり,45分を超えると分解率が低下した。

#### 【考察】

竹粉末が**炭化してしまった**ため,糖分解率が低下した

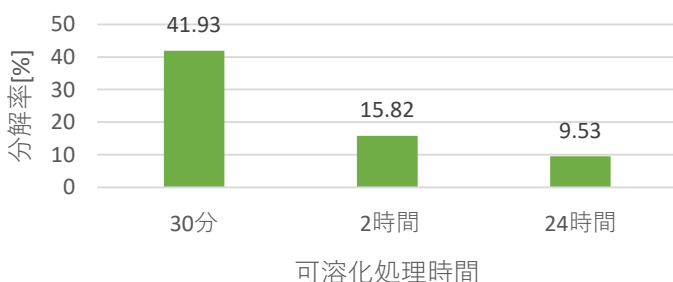
### 〈実験1-2〉H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>可溶化処理の時間検討

#### 【実験方法】

- ①75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で2,24時間可溶化
- ②25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で45分,80°Cで処理

#### 【結果】

### 可溶化処理時間と分解率との関係



・可溶化処理時間が長くなると,分解率は低くなった。  
・2,24時間ともに竹粉末は黒く変色した。

## 【考察】

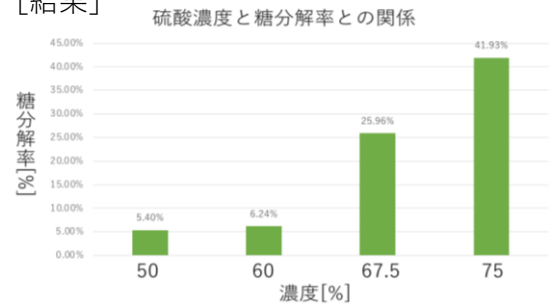
実験1-1と同じく長時間の処理により竹粉末が**炭化してしま**ったため,糖分解率が低下したと考えられる。

### 〈実験1-3〉H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>可溶化処理の濃度検討

#### 【実験方法】

- ①50,60,67.5% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で30分可溶化
- ②25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で45分,80°Cで処理

#### 【結果】



・濃度が高くなるほど,分解率が高くなったが,黒く変色してしまっていた。

#### 【考察】

分解率は高くなったが黒くなってしまったため,炭化してしまったと考えられる。  
結果として, H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>においては75% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>に30分間,常温で漬け込み可溶化した後,25% H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で45分間80°Cで処理するのが最適であるとわかる。

## 【実験2】HCl分解処理

酸による分解の有効性が高い可能性がある  
→HClを用いて処理

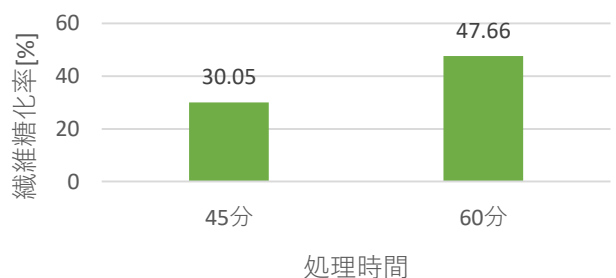
### 〈実験2-1〉HCl分解処理の時間検討

#### 【実験方法】

- ①36% HClに30分可溶化
- ②2mol/L HClで45,60分,80°Cで処理

#### 【結果】

### 処理時間と糖分解率との関係



・60分における糖分解率が47.62%で最大であった。

#### 【考察】

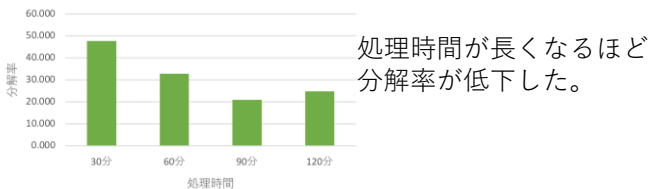
・HClによる処理は有効であると考えられる  
・60分における糖分解率が最大であった

## 〈実験2-2〉 HCl可溶化処理の時間検討

### [実験方法]

- ①36% HClに60分,90分,120分可溶化
- ②2mol/L HClで60分,80°Cで処理

処理時間と糖分解率との関係



### [考察]

竹粉末がグルコース以下まで分解されたため糖分解率が低下した。結果として、HClにおいては36% HClに30分間可溶化させた後、2mol/LのHClで60分間80°Cで処理

### 【実験3】 H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>分解処理

セルロースの性質

「特定の酵素により**酸化的に開裂**されると分解されやすい」

→**酸化剤**が有効か

### [実験方法]

2,5,8mol/L H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>で24時間45°Cで処理

### [結果]

全ての処理において竹粉末はほとんど分解されなかった

### [考察]

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>を用いた処理に**有効性はない**。  
酸化力の強い酸化剤なら有効である可能性がある

### 【実験4】 KMnO<sub>4</sub>分解処理

H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>より酸化力の強いKMnO<sub>4</sub>を使用

### [実験方法]

- ①竹粉末3gをH<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>酸性条件の0.04mol/L KMnO<sub>4</sub>aq 30mlを用いて常温で30分間処理

### [結果]

10分ほどでKMnO<sub>4</sub>の赤紫色が消え、液が透明になっていた

### [考察]

竹粉末中の成分によって**KMnO<sub>4</sub>が還元された**

### 【実験5】 KMnO<sub>4</sub>と竹の反応

竹粉末中のどの成分がKMnO<sub>4</sub>を還元しているか明らかにする。

**仮説1: KMnO<sub>4</sub>が比較的短時間で還元されていたことから、竹粉末中の水溶性成分によるものである。**

### [実験方法]

竹粉末を熱水で10分間処理し、煮沸した竹粉末(疎水性成分)と煮沸液(親水性成分)とをそれぞれKMnO<sub>4</sub>に加える。

### [結果]

煮沸した竹粉末ではKMnO<sub>4</sub>の色が消えたが、煮沸液ではほとんど変化が見られなかった。

### [考察]

竹粉末中の**疎水性成分**によってKMnO<sub>4</sub>が還元された。

**仮説2 竹粉末中の疎水性成分には主としてセルロース、リグニン、ヘミセルロースが存在するが、ヘミセルロースは含有量がすくない  
→セルロースまたはリグニンによるものである**

### [実験方法]

5%NaOHaqで2時間処理してリグニンを一部除去した竹粉末と、75%H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で処理し、リグニン以外を除去した竹粉末をそれぞれKMnO<sub>4</sub>aqに加える。

### [結果]

両方で、KMnO<sub>4</sub>の色が消えていた

### [考察]

セルロースとリグニンのどちらもKMnO<sub>4</sub>を還元する  
→両方の化合物にある**-OHの酸化**が起きているだけで、セルロースの酸化開裂は起っていないのではないかと考えられる

**仮説3: セルロースの酸化開裂は起こっておらず、-OHの酸化反応が起きている**

### [実験方法]

竹粉末をKMnO<sub>4</sub>と反応させ、ベルトラン法を用いて**還元糖の存在確認**をする

### [結果]

還元糖は生成していなかった。

### [考察]

セルロースの酸化開裂は起こっておらず、**-OHの酸化反応**だけが起っていた。  
→-OHがなくなったのなら、それに由来するセルロース分子内の水素結合も消え、可溶化処理と同じ効果があるのでは？

KMnO<sub>4</sub>の可溶化処理の有効性検討

### [実験方法]

- ①竹粉末をKMnO<sub>4</sub>で処理
- ②2mol/L H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>で45分、80°Cで処理

### [結果]

糖分解率は12,2%以上であった

### [考察]

KMnO<sub>4</sub>による可溶化処理は有効である

## 【今後の展望】

- KMnO<sub>4</sub>を用いた場合、グルコース生成後にグルコン酸まで酸化されている可能性がある  
→グルコン酸の還元の妥当性、還元法の検討
- KMnO<sub>4</sub>によるセルロース可溶化の条件検討
- 各処理の実用化への妥当性の検討

## 【参照】

- 1) 孫照勇, "Development of an Environment-friendly Process for Production of Ethanol from Bamboo by Using Concentrated Sulfuric Acid Hydrolysis", 熊本大学博士論文, 甲第253号(2012)
- 2) 内山拓, Lytic polysaccharide monoxygenase increases cellobiohydrolases activity by promoting decrystallization of cellulose surface, ScienceAdvances, 第8巻51号(2022)