

## バクテリアセルロースを用いたストローの開発と評価

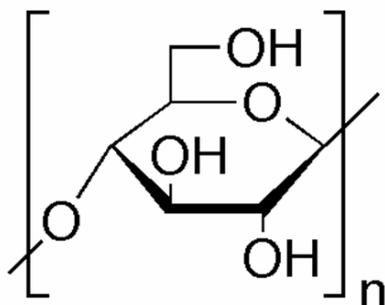
福島県立福島高等学校 (スーパーサイエンス部)

村田美咲・氏家陽菜・本間瑛心・野里彩乃

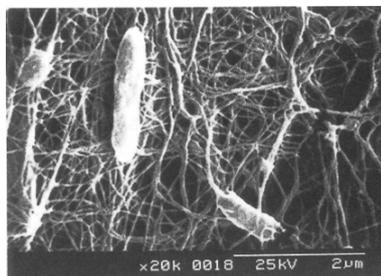
指導教員：高橋昌弘

### 研究概要

バクテリアセルロース (BC) は、繊維の細さが植物性セルロースの 100 分の 1 程度で、生分解性・耐水性に優れており、成分上人体への影響がないという特徴がある。そのため、BC から作製するストローは環境へ影響を与えないといえる。我々は、BC を恒温槽内で培養して膜を作成後、オーブンで乾燥させ、らせん状に巻き、ストローを作成することに成功した。その後、BC ストローを含む材質の異なるストローを純水に浸し質量変化率を比較する評価と、pH の異なる液体に BC ストローを浸し質量変化率を比較する評価の二つの耐水性評価と、BC ストローと紙ストローの切り取り片を使用した引っ張り強度の測定によるストローの強度評価を行い、使用想定時間である 60 分以内であれば問題なく使用できるということを見出した。



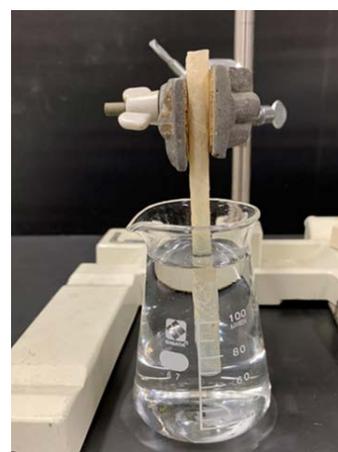
BC の構造式



BC の繊維



←強度評価



耐水性評価→

## 1. 研究背景と目的

今日、世界中で大量のプラスチックゴミが排出され、海洋の生態系に深刻な影響を及ぼしている。この問題の解決のため、紙ストローの導入が進められているが、耐水性・使用感が不十分である上に原料である紙の消費量増加につながり、森林伐採の増加が懸念される。

そこで我々は、酢酸菌が生成する木材を一切用いないセルロース繊維であるバクテリアセルロース（BC）に着目した。BCは生分解性に優れ、成分上人体に影響しないという特性を持つ。また、植物性セルロースの約100分の1の細かさという緻密な構造を持つため、耐水性にも優れている。

加えて、BCの一種である酢こんにやくは、静置発酵法という酢の製造過程で廃棄されてしまうものであるが、この伝統的な製造法を守る酢店が東北で唯一福島県にのみ存在する。大手メーカーの台頭によりこれらの酢店が減少する中、我々は酢こんにやくを用いてBCストローを作製することで伝統的な造酢産業への新たな付加価値の提案ができるのではないかと考え、本研究を始めた。

本研究は、BCを用いた環境に影響を与えない低コストのストローの作製を通して、世界のプラスチックゴミ削減への貢献、伝統的な造酢産業への新たな付加価値の提案を目的とする。

## 2. 実験

実験1 BC膜を用いたストローの作製

### 【実験方法】

- ①酢こんにやくをバットに移し、30℃に設定した恒温槽で10日間放置、BC膜を作製した。
- ②作製したBC膜を水で洗い、4日間、炭酸水素ナトリウム水溶液にして中和した。
- ③膜を水溶液から取り出し、水で洗った後、60℃設定の電気コンベクションオーブンで2時間乾燥させた。
- ④BC膜を細長く切り、螺旋状のストローの形状とした。
- ⑤水分が完全に抜け切るまで加熱乾燥させた。

【結果】酢こんにやく由来のBCを原料としたストローの作製に初めて成功した。

実験2 BCストローの耐水性評価（1）

この実験では（質量変化） $\div$ （ストローの吸水率）として各ストローの耐水性を評価した。

### 【実験方法】

- ①各ストローを純水に60分間浸し、質量と形状の変化を観察した。その際、経過時間ごと（10秒、5分、10分、20分、30分、40分、50分、60分）のストローの形状の変化も観察した。
- ②60分経過後、実際にストローが使用可能かどうか試飲を行った。

【使用想定条件】一般的な冷たい飲料を想定し、氷なしで使用想定時間60分とした。

【比較対象】BCストロー プラスチックストロー 紙ストローA・B（コーティング除去）

### 【結果】

- ・図1のグラフより、実験開始10秒（0.167min）時点でBCストローと紙ストローBにおいて急激な質量の増加がみられた。
- ・浸水開始5分以降の質量変化率はどのストローでも似た傾向がみられた。
- ・いずれのストローも浸水60分後においても正常に使用可能だった。

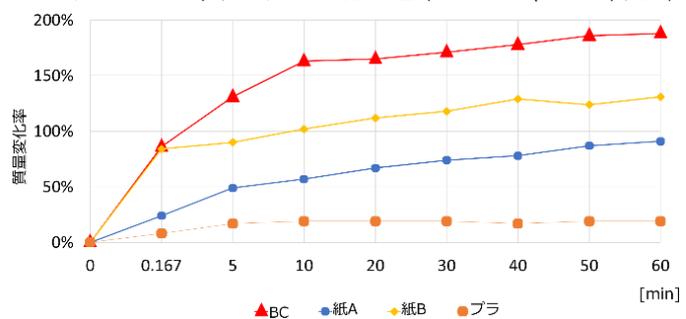


図1:各ストローにおける時間と質量変化率

### 実験3 BCストローの耐水性評価（2）

#### 【実験方法】

- ①性質の異なる7種類の液体を用意し、BCストローの始めの質量を測定した。
- ②実験2と同様に各飲料にBCストローを浸し、経過時間ごと（実験2と同様に）に質量を測定した。

#### 【比較対象】

コーラ：pH2 乳酸菌飲料：pH3 オレンジジュース：pH4 炭酸水：pH5 お茶：pH6  
 コーヒー：pH7 牛乳：pH7

#### 【結果】

- ・図2のグラフより、コーラと乳酸菌飲料の質量変化率が他の飲料に比べて大きくなっていることがわかった。
- ・経過時間ごとでは、pHが減少するにつれて、質量変化率は大きくなる傾向が見られた。
- ・これらのことから、コーラと乳酸菌飲料の質量変化率が大きかった原因はpHに関係があると仮定し、実験4を行うことにした。

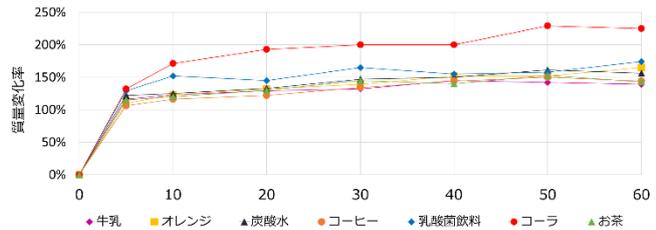


図2：各飲料の質量変化率

### 実験4 BCストローの耐水性評価（3）

#### 【実験方法】

- ①1.0 cm × 3.0 cmに切り取ったBCの質量を測定した後、塩酸を用いてpHを2~7に調整した溶液に60分浸した。
- ②塩化コバルト紙が変色しない状態まで、表面をオープンで加熱乾燥させた。
- ③再度BCの質量を測定した。

【結果】 実験前後での質量変化率を求めたところ、pH4付近で最大となった。

### 実験5 引張強度の測定によるBCの強度評価

引張強度：一定の大きさのサンプルに張力を加え、破断する時点の最大負荷のこと。本実験では紙とBCの素材としての強度を測定し、ストローの強度として1つの指標を示す。

#### 【実験方法】

- ①紙ストローとBCストローをシート状に切り開き、1.0 cm × 3.0 cmに切り揃え、それぞれの中央部分1.0 cmを両側から0.3 cmずつ切り取って、中央が凹のサンプルを作製した（図3）。
- ②①で作製したサンプルの一部を除き、一定時間（20分、40分、60分）純水に全体を浸した。
- ③各サンプル、クランプを用いて、4つの動滑車を組み合わせた実験装置（図3）に設置した。
- ④デジタルフォースゲージを用いて、サンプルを垂直に引っ張り、破れた際の力を測定した。

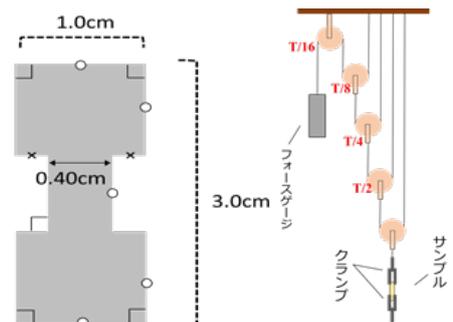


図3：BCの強度評価

【結果】 サンプルの引張強度の導出に関し、次のように文字を定義した。

なお本実験では滑車及び糸に働く重力、摩擦を無視し、サンプルは十分に軽いものと仮定した。

$g [m/s^2]$  : 重力加速度  $F [N]$  : 実際にサンプルに加わる力

$F' [N]$  : フォースゲージを引く力  $T [N]$  : 引張強度

$m [kg]$  : クランプの質量

力のつり合いより、式 (i) , (ii) が成り立つ。

$$F = 2 * 4F' \quad \dots (i)$$

$$F = mg + T \quad \dots (ii)$$

したがって、式(iii)が成り立つ。 $T=2*4F-mg$ ・・・(iii)

式(iii)をもとに、 $g=9.80\text{m/s}^2$ 、 $m=0.233\text{kg}$ として、一定時間における紙とBCの引張強度を測定し、強度を評価した。

浸水0分時点では、紙の方が引張強度に優れていたが、浸水時間の増加に伴い、その強度は著しく低下した。BCは、急激な引張強度の減少は見られず、その強度は60分後も実験開始時とほとんど変化しなかったことから、長時間の浸水に対してもBCの強度は保障されると考えられる。実験5の後、デジタルノギスを用いて、サンプルとして使用したBC及び紙の実験前の厚さを測定した。なお、測定した3回の平均値は以下の通りであった。

紙：0.423(mm)      BC：0.136(mm)

### 3. 考察

- ・実験2の結果より、浸水開始10秒における質量の増加は、BCストローの表面の凹凸に水が付着したことが原因だと考えられる。

- ・実験4では、水素イオンが多い条件下では、BCの分子間水素結合が切断されやすく、そこに水が侵入しやすくなり質量の増加につながったと仮定した。実験3の結果とある程度の関連性が見られたので、IRスペクトルによるBCの構造解析などの他の手法も用いて、今後も研究を進めていく。その際に加熱乾燥の均一化を行い、より正確な実験結果を得られるようにしていきたい。

- ・実験5より、BCが紙の約3分の1の厚さでありながら、急激に強度が減少しなかったのは、BC特有の緻密な構造により、植物性セルロースに比べて強度が高まるためだと考えられる。

### 4. 結論と今後の展望

- ・BCストローは使用想定時間内であれば、正常に使用可能な耐水性を持っていることがわかった。

- ・pHとBCストローの質量変化率には関連性が見られた。

- ・BCは紙の約3分の1の厚さでありながら、浸水後も引張強度の大幅な減少が見られなかった。

- ・成分解析をはじめとする、耐水性・強度以外の面でのBCストローの性能評価を行う。

- ・IRスペクトルを用いたBCの構造的変化の解析や、衛生面からの安全性の評価を行う。

### 5. 参考文献

- 1) 伝統的なお酢産業再興作戦～日本独自の発酵産業の文化的・科学的価値～小山絵風 (愛媛大付属高校)
- 2) 山中茂 「微生物がつくる超微細セルロース利用研究の最近の進歩」 繊維学会誌 52(3), p115-118, 1996
- 3) 吉永 文弘, 外内 尚人, 渡辺 乙比古 「バクテリアセルロース研究の新展開」 化学と生物, 1997年 35巻 11号 p. 772-779