

バクテリアセルロースストローの開発と評価

～福島県の伝統産業から世界のプラスチックごみ削減へ～



福島県立福島高等学校スーパーサイエンス部

バクテリアセルロース班

伊藤英聖 和田晴人 小椋蒼士 佐藤真里佳 吉田橘平

【1.研究の背景と目的】

現在、資源の枯渇や新生素材による環境破壊が世界中で問題になっている。そのひとつの例として、プラスチックごみによる海洋生物の痛ましい事案が挙げられる²⁾。

一方、その対策の1つとして、飲食店などではプラスチックストローから紙ストローへの切り替えが進められている。しかし、その耐水性は不十分であり、紙の口触りが悪いなど、使用感にも改善の余地がある。また、紙ストローの消費は紙の消費量増加をもたらす可能性があり、根本的な環境問題の解決には至っていない。

そこで我々は、木材を一切用いることのない「バクテリアセルロース」に着目した。これは酢酸菌が養分である糖を変化させることで生成され、植物性セルロースに比べて1/100の細かさを持ち、緻密な構造を形成している。また、この繊維は耐水性や生分解性に優れており、強度も高いことが知られている³⁾。

我々は、これらのバクテリアセルロース特有の性質を生かして、バクテリアセルロースを原料とした環境にやさしいストローの開発を目指して本研究を行った。



図1 鼻にプラスチックごみが刺さり流血する亀の様子²⁾



図2 バクテリアセルロース繊維（電子顕微鏡で撮影）

【2.バクテリアセルロース膜の生成】

市販の紅茶キノコの菌株を用いて、バクテリアセルロース膜の作製を以下の手順で行った。

- ① 培地として、ペプトン、酵母エキス、硫酸マグネシウム、エタノール、グルコースからなる覆水液を用いた。
- ② 覆水液の中に紅茶キノコの菌株を入れたものをバットに移し、30℃恒温槽内で7日間静置培養すると、覆水液面上にゲル状のバクテリアセルロース膜が生成された。取り出したバクテリアセルロース膜を図3に示す。



図3 生成したバクテリアセルロース膜

【3.紅茶キノコの菌株由来のバクテリアセルロースストローの作製】

紅茶キノコの菌株由来のバクテリアセルロースストローは以下の手順で作成した。

- ① バクテリアセルロース膜をオーブンで加熱乾燥させ、完全に乾ききる前に取り出し、それを細長い形に加工した。
- ② 紙ストローを参考にし、図4のようにしたバクテリアセルロース膜をストロー状に巻いた。
- ③ 60℃設定のオーブンで、完全に乾ききるまで加熱乾燥させた。

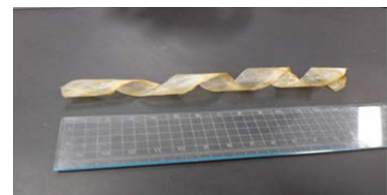


図4 らせん状のバクテリアセルロース膜

【4.結果】

紅茶キノコの菌株由来のバクテリアセルロースを用いたストローの作製に成功した。なお、このストローは接着剤も使用していない。作製したストローを図5に示す。



図5 完成した紅茶キノコの菌株由来のバクテリアセルロースストロー

【5.伝統的な造酢産業とバクテリアセルロースの関係】

我々は、伝統的な食酢の製造過程において「酢こんにやく」と呼ばれるバクテリアセルロース膜が得られることを知った。しかしそれは酢の生産には不必要なもの、できては困るものであり、ろ過され捨てられてしまっている⁴⁾。また大手メーカーの台頭などもあって、伝統的な製造方法で酢を生産する酢店は減少しつつある⁵⁾。表1に酢の製造法とその特徴を示す。

そのような中、福島県には東北で唯一伝統的な製造法を守り続ける酢店が存在した。そこで我々は、酢こんにやくを用いたストローの作製をすることで、ストローの材料コストを少なくするとともに、伝統的な造酢産業への新たな付加価値を提案することも目標に研究を進めた。

表1 酢の製造法とその特徴

名称	通気発酵法	静置発酵法
主な使用者	大手メーカー	伝統的な酢店
特徴	大量生産が可能	日本古来の伝統的な製法
発酵にかかる時間	約6時間	4か月以上

【6.酢こんにやく由来のバクテリアセルロースストローの作製】

我々は、須賀川市にある太田酢店の協力のもと酢こんにやくを譲り受け、それを用いてバクテリアセルロースストローを作製した。実験は紅茶キノコの菌株由来のバクテリアセルロースストローの作製法を生かし、以下の手順で行った。

- ① 酢こんにやくを、30℃恒温槽内で7日間静置培養し、ゲル状のバクテリアセルロース膜を生成した。培地には、酢こんにやくが入っていた酢をそのまま利用した。
- ② 酢の独特のにおいを消すために、①で生成したバクテリアセルロース膜を炭酸水素ナトリウム水溶液に浸し、1日間放置した。
- ③ その後、中和した膜は、紅茶キノコの菌株由来のバクテリアセルロース膜と同様の方法で、ストロー状に加工した。

【7.結果】

酢こんにやく由来のバクテリアセルロースを用いたストローの作製に成功した。実際に作製したストローを図6に示す。

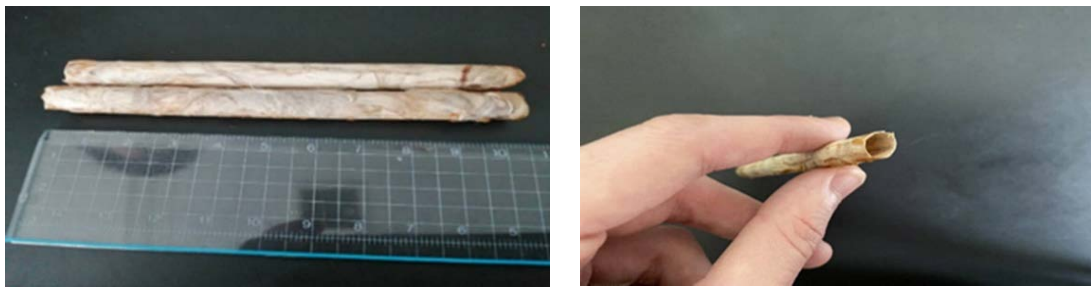


図6 完成した酢こんにやく由来のバクテリアセルロース

【8.バクテリアセルロースストローの耐水性評価 (1)】

これまで我々は、紅茶キノコの菌株由来、酢こんにやく由来のバクテリアセルロースストローの作製を試みてきた。次に我々は、自作したストローを実用化に近づけるため、以下の手順で酢こんにやく由来のバクテリアセルロースストローについて耐水性の評価を行った。

- ① バクテリアセルロースストロー、紙ストロー、プラスチックストローを用意し、それぞれの質量を測定した。
- ② それぞれのストローを図7に示すような実験装置で、純水に5cm浸し60分間放置した。その際ストローの質量を測定し、同時にその形状の変化の有無も観察した。質量については、純水からストロー取り出した後の条件を統一するため、空中に3秒間静止させてから測定した。なお、実験時間は実際のストローの使用時間を想定して設定した。

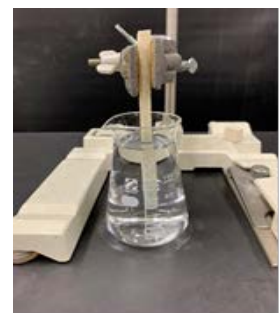


図7 実験装置の様子

【9.結果(1)】

バクテリアセルロースストロー、紙ストロー、プラスチックストローの浸水前後での質量変化率のグラフを図8に示す。質量変化率は次のようにして求めた。

$$\text{質量変化率} = \left(\frac{\text{経過時間ごとのストローの質量}}{\text{浸水前のストローの質量}} - 1 \right) \times 100$$

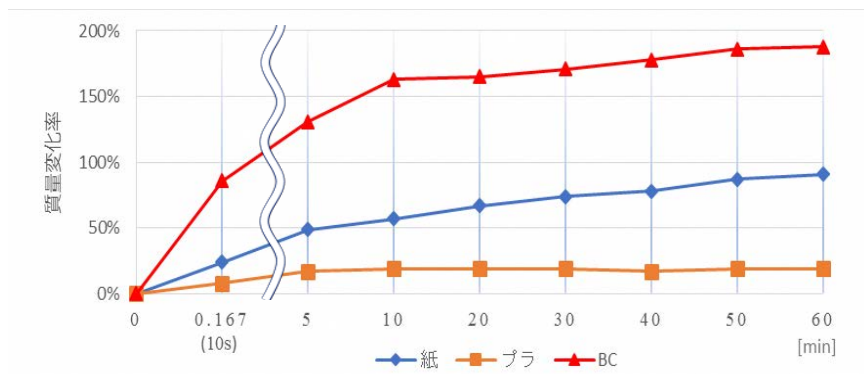


図 8 浸水前後の質量変化率

開始 10 分までの質量変化率はバクテリアセルロースストローが最も大きく、次に紙ストロー、プラスチックストローの順となった。それ以降の時間における質量は、バクテリアセルロースストロー、紙ストロー共に徐々に増加していった。また観測時間内においては、全てのストローの形状に大きな変化は見られなかった。

【10.考察(1)】

耐水性評価 (1) から、バクテリアセルロースストローの質量変化率が 10 分までに急激に増加したのは、その表面の凹凸が他のストローに比べて大きく、凹凸に水が付着したためと考えた。つまり、紙ストローの耐水性はその表面のコーティングによって表面が滑らかになり、凹凸を限りなく減らすことにより、向上していると考察される。

【11.バクテリアセルロースストローの耐水性評価 (2)】

我々は耐水性評価(1)から考察される、コーティングの有無による紙ストローの耐水性の変化を調べるために、次の実験を行った。

- ① 紙ストローA (市販の紙ストロー) のコーティングを、やすりを用いて除去した。(コーティング除去済みの紙ストローを紙ストローBとした。)
- ② 耐水性評価(1)と同様にして、質量を測定し形状の変化を観察した。

【12.結果(2)】

耐水性評価(2)の結果を図 8 に加えたものを、図 9 に示す。

開始 10 分にかけて紙ストローB の方が紙ストローA に比べて質量変化率が大きかった。開始 10 分までの質量変化率はバクテリアセルロースストローが最も大きく、ついで紙ストローB、紙ストローA、プラスチックストローの順になった。その後は、耐水性評価(1)と同様に、どのストローにも変化率に大きな差は見られなかった。また、すべてのストローの形状においても、観測時間内では大きな変化は見られなかった。

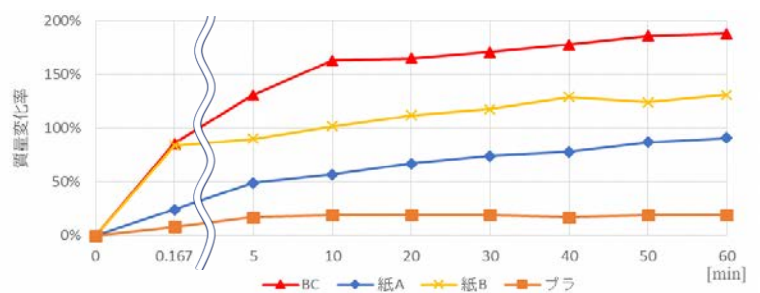


図 9 浸水前後の質量変化率

【13.考察(2)】

紙ストローA と紙ストローB の比較から、紙ストローのコーティングが紙ストローの質量変化率を減少させていることが確認された。また、耐水性評価において、バクテリアセルロースストローが最も質量変化率が大きかったことの一因に、バクテリアセルロースストロー表面の凹凸が関与している可能性が考えられた。生成したバクテリアセルロース膜を一部乾燥させ、ストロー状に巻いた後に完全に乾燥させたもののため、膜表面の凹凸が残ったままになっていると考えられる。

【14.飲料の違いによる耐水性の評価】

我々は、これまでの耐水性評価の実験でストローを純水に浸してきたが、飲料の性質の違いによる耐水性への影響およびその変化を検討するために、以下の手順で実験を行った。

- ① 性質の異なる7種類の飲料(コーラ、カルピス、お茶、コーヒー、牛乳、オレンジジュース、炭酸水)を用意した。そして、それぞれの飲料の pH を pH 試験紙を用いて測定した。
- ③ それぞれの飲料に、バクテリアセルロースストローを 5cm 浸し、60 分間放置した。その間、ストローの質量を測定した。質量については、それぞれの飲料からストローを取り出して、空中に 3 秒間静止させてから測定した。

【15.結果と考察】

pH 試験紙で測定した飲料の pH の結果を表 2 に示す。

表 2 飲料の pH の測定結果

	牛乳	オレンジ	炭酸水	コーヒー	カルピス	コーラ	お茶
pH	7	4	5	7	3	2	6

飲料に浸した前後のバクテリアセルロースストローの質量変化率を図 10 に示す。

図 10 より、コーラは他の飲料に比べて、ストローの質量変化率が大きい傾向が見られた。また、炭酸水の質量変化率がコーラを除く飲料と明らかな差がみられなかったことから、コーラの質量変化率の原因は炭酸(気体の二酸化炭素)の影響ではないと考えられる。

次に pH と質量変化率の関係図 11 に示す。

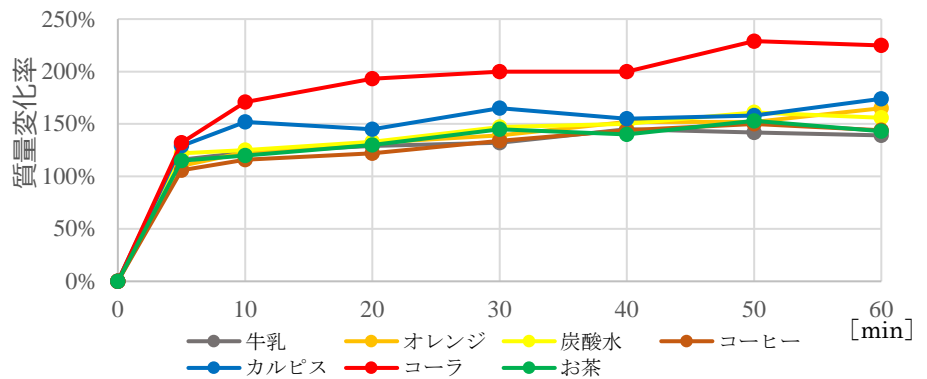


図 10 飲料の違いによるバクテリアセルロースストローの質量変化率

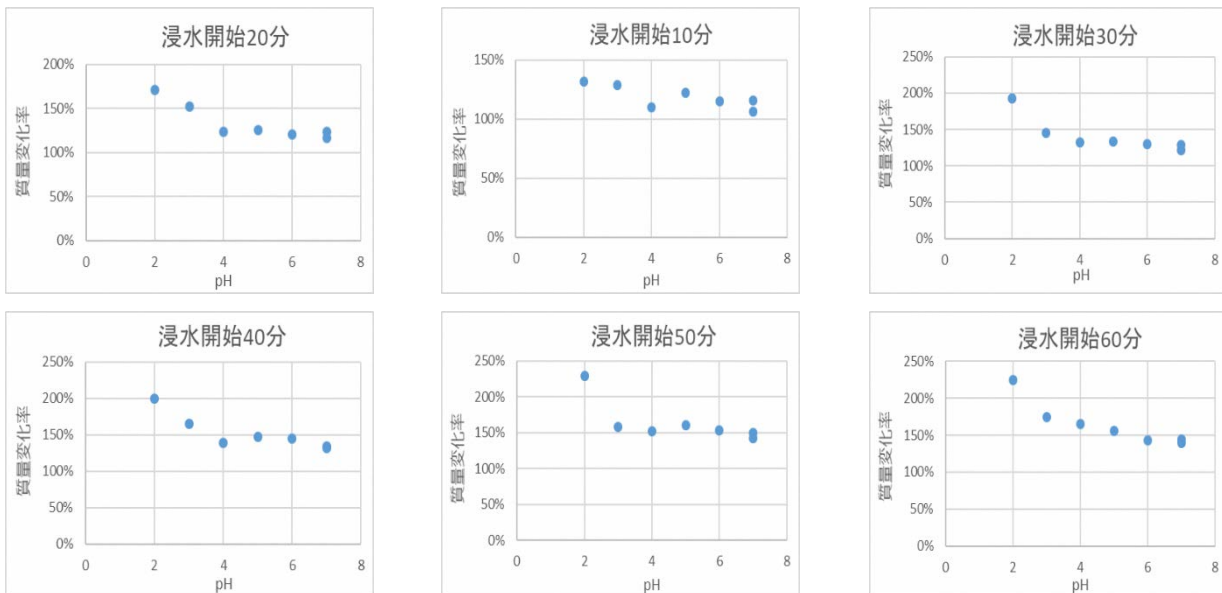


図 11 各時間における pH と質量変化率

いずれの時間においても、pH の減少に伴って質量変化率が増加する傾向がみられる。これより、質量変化率と pH、つまり耐水性と pH には関係があり、コーラの変化率が大きかった原因は、コーラの pH が他の飲料よりも低いためと考えられる。バクテリアセルロースの作られる環境が、酢酸による酸性条件下であることをあわせて考えると非常に興味深い。

さらに純水と、pH が 7 付近の飲料との質量増加率の比較では、飲料の質量増加率が低い傾向が見られた。このことは飲

料中の水以外の成分が水の付着を阻害している可能性が考えられる。

【16. 結論と今後の展望】

今回の実験から明らかになったことは、次の2つである。

- ① バクテリアセルロースを用いたストローの作製は可能である。
- ② バクテリアセルロースの耐水性には pH 依存性がある。

バクテリアセルロースストローを実用化することができれば、世界のプラスチックごみの削減と森林の保護につながると考えられる。特に酢こんにやくによるストローが実用化できれば、廃棄物の有効活用に止まらず、伝統的な造酢産業に新たな広がり生まれ、その保全と活性化にもつながる可能性がある。

また、紙ストローはコーティング加工をすることによって、その表面の凹凸を少なくすると同時に、使用直後の耐水性を高めていることがわかった。同様に、バクテリアセルロースにも表面にコーティング加工を施せば、耐水性を高め、ストローとしても十分に使用可能な性能になると考えられる。さらに、コーティング剤が懸念される場合にも、表面の凹凸を少なくする工夫を施すことで、現状よりも耐水性を向上させることができると考える。

今後は、pH とバクテリアセルロースストローの耐水性との関係をより明確にしていくとともに、ストローの強度などの耐水性以外の観点からも性能評価を行っていききたい。そして、表面の凹凸を少なくする工夫、衛生面に配慮した膜の作製等、ストローの作製方法についても再検討し、実用化に向けてさらなる性能の向上を目指していききたい。

【17. 参考文献】

- 1) 一般財団法人 JEAN 環境への悪影響 海ごみの問題点
www.jean.jp/m-litter/matter02.html
- 2) NATIONAL GEOGRAPHIC
鼻にストローが刺さったウミガメを救助 南米コスタリカ沖で研究者が発見
<https://natgeo.nikkeibp.co.jp/atcl/news/15/081900226/>
- 3) 京都大学生存圏研究所
http://www.rish.kyoto-u.ac.jp/labm/wp-content/uploads/2012/09/1_pdfsam_KyotoJST090908.pdf
- 4) 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～
愛媛大学附属高等学校理科部 2年 小山絵風 (2017)
https://www.cri.ehime-u.ac.jp/cri_k5m4gn7/wp-content/themes/focri_theme_v3/pdf/2017grp01.pdf
- 5) 富士酢 醸造元 飯尾醸造
静置発酵 <https://www.iio-jozo.co.jp/process/su>