
ヴェリタスII

小麦のふすまを用いた 新たな生分解性素材の開発

神奈川県立 厚木高等学校 78期生 2年I組 1班 α

目次

01	-	背景	05	-	実験
02	-	先行研究と概要	06	-	考察と今後の展望
03	-	目的			
04	-	仮説			

01

背景

01

生分解性プラスチックに注目

- ➡
- 製造コストが高い
 - 分解時間が長い
 - 手間がかかる



▷▷▷ 安価/大量にあるもので環境保全に貢献できないか

02

先行研究と概要

02

安価かつ大量に存在する資源を利用した 生分解性プラスチックの作成

大阪大学大学院工学研究科応用科学専攻 高分子材料科学領域 宇山研究室

セルロースとデンプンに注目

耐水性を持った

高強度な生分解性プラスチックを開発¹

¹大阪大学 デンプンとセルロースから高強度・高耐水性の海洋生分解性プラスチックを開発(2024/10/7閲覧).

https://resou.osaka-u.ac.jp/ja/research/2020/20200305_01

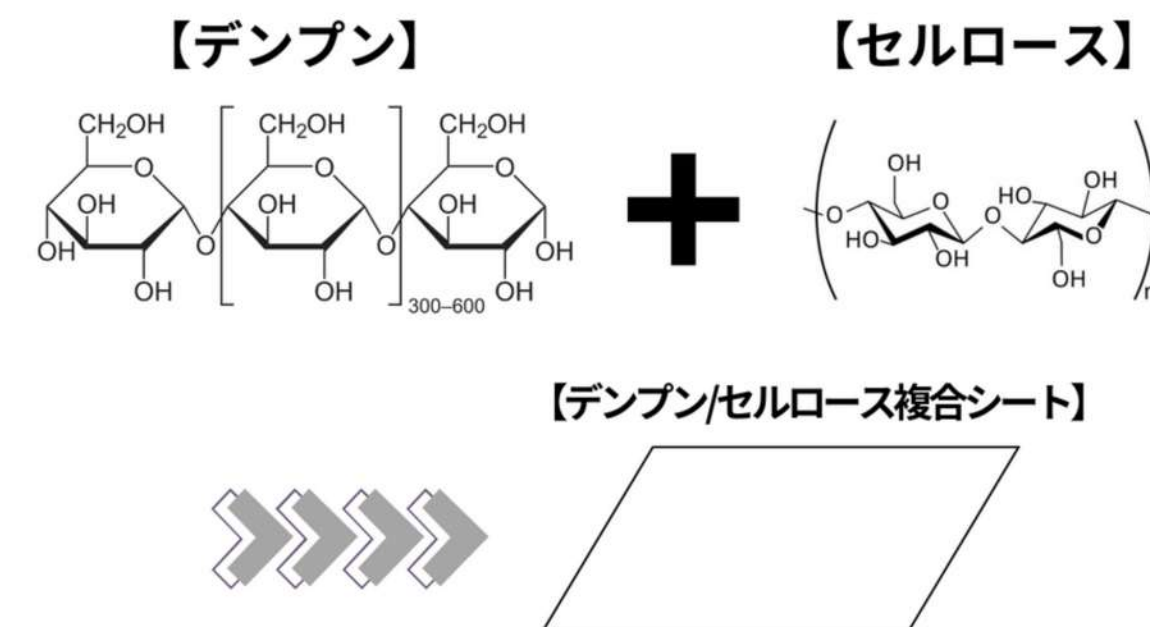


図1 デンプンとセルロースを原料とする生分解性プラスチック

03

目的

03

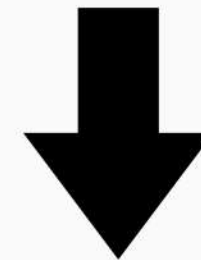
【資源の有効活用】

小麦の表皮 **ふすま**（主成分セルロース）に注目



図2 ふすまの現物写真

年間100万トンも出ているが、
使い道が少ない



より有効な使い道を考える！

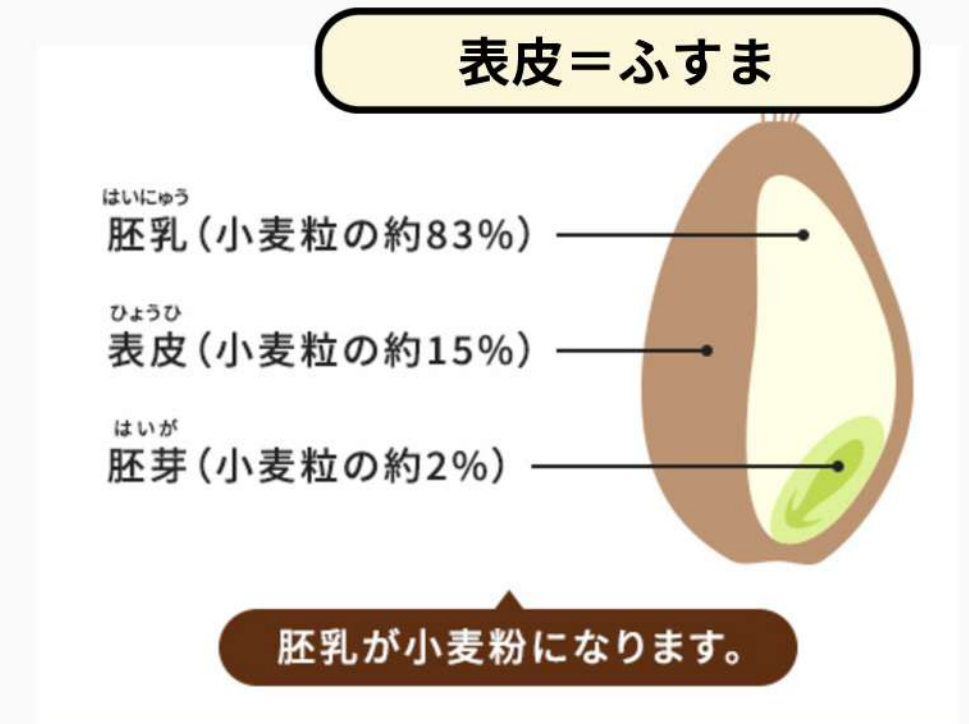


図3 小麦の構造

【環境問題の解決】

- プラスチックを燃やすと温室効果ガスが...
- プラスチックの原料は石油→資源の枯渇
- 生分解性に劣る

これらの心配がない

セルロース由来のふすま素材



04

仮説

04

使い道の限られたふすまから
生分解性素材をつくることができる



05

実験

05

実験1 ふすま素材の作成

【実験準備】

工場から廃棄されたままのふすま（各10 g、洗浄後乾燥）を用意

- 1 補強材として牛乳パック、トイレットペーパーの芯などの紙資源を2分ミキサーにかけてパルプ液を作る。
- 2 パルプ液に用意したふすまを混ぜ、さらに1分ミキサーにかける。
- 3 できたふすまパルプ液を薄く広げて、よく水を切った後乾燥させる。



図5 使用したふすま(nipponさんご提供)



図6 紙すきセット

実験1 ふすま素材の作成

【種類】

A ふすま：牛乳パック=2:1

B ふすま：トイレットペーパーの芯=2:1

C ふすま：牛乳パック：トイレットペーパーの芯=4:1:1

各種3つずつ作成
強さ、色、生分解性を検証

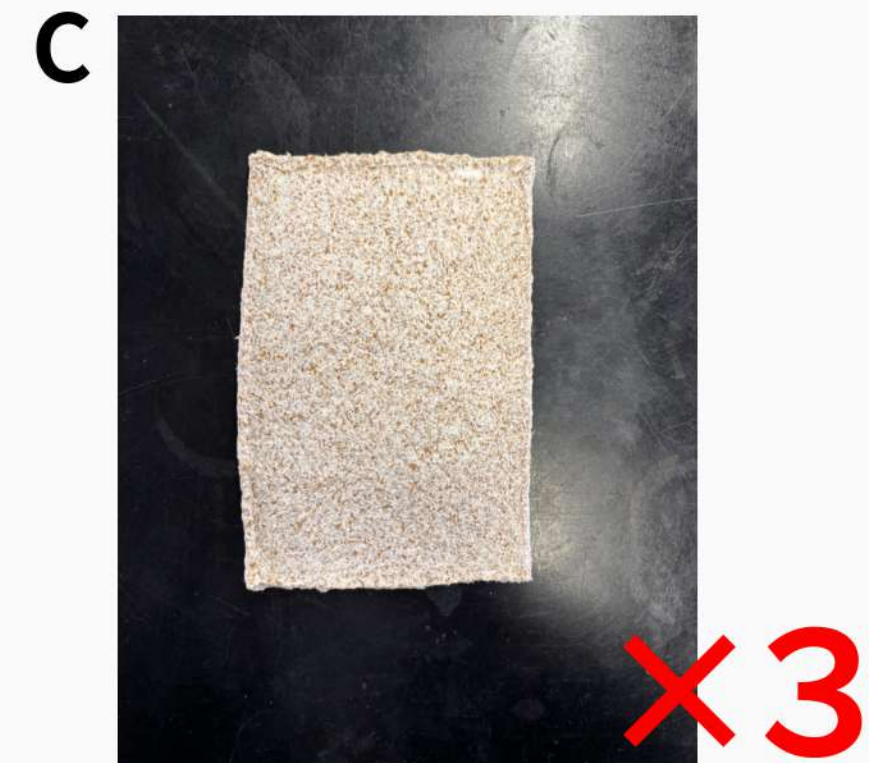
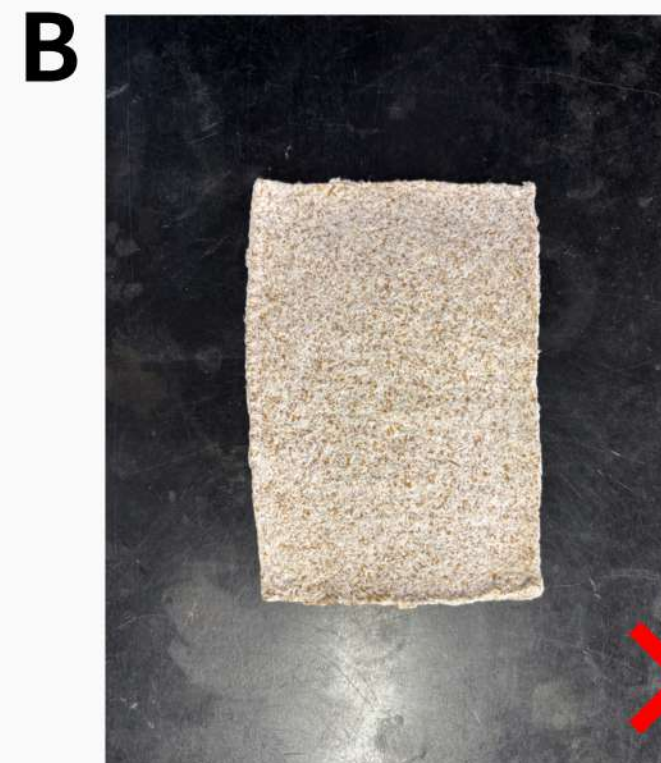
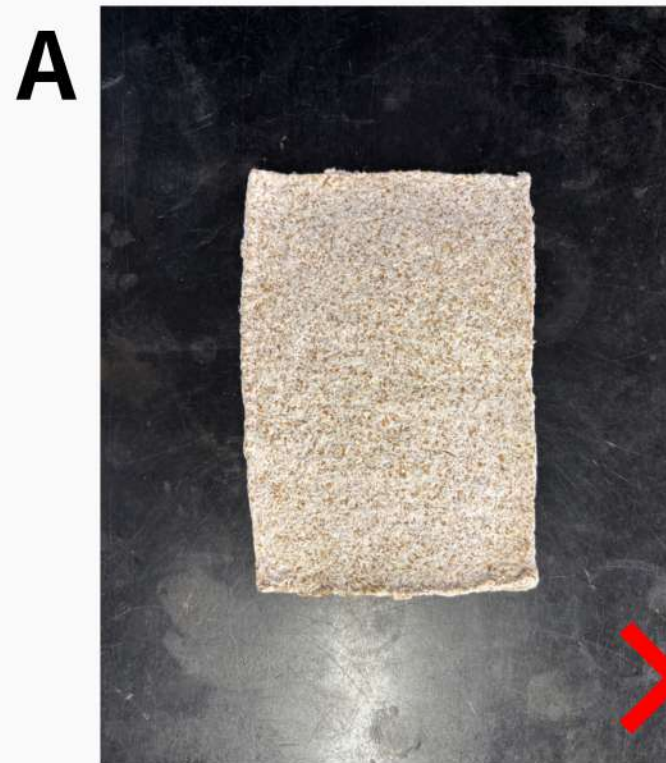


図7 試作品A,B,Cの画像

実験2-1 強さの検証

【実験意義について】



生分解性素材の主要課題の一つ→分解されやすい分、**弱い**

○ふすま素材が**安定した強度をもつことが必要**



補強材（ふすま素材と共にパルプ液状にした原料）
の種類によって強度に違いが出てしまうか

実験2-1 強さの検証

【実験準備】

試作品を各素材個10cm×1cmに切り取る。(図8)

糸、ペットボトルを用いて容器を作成する。

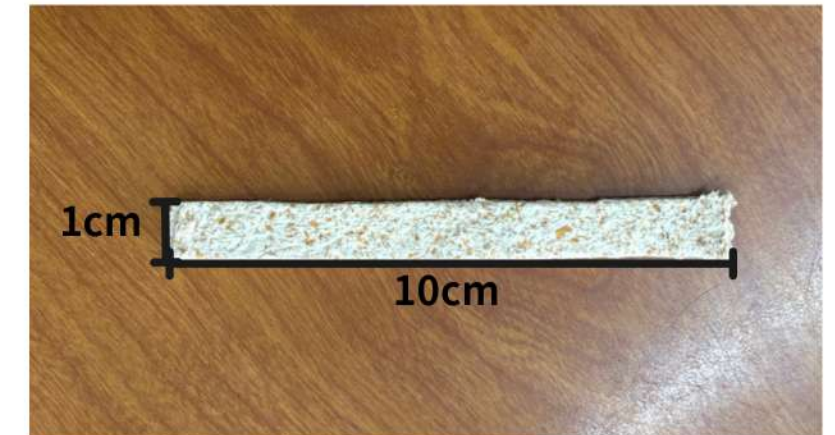


図8 切り取ったふすま

- 1 切り取った試作品の両サイドをスタンドで固定し（間にコットン）、作成した容器を設置する。(図9)
- 2 容器の中に水を入れていき、重りに耐えられず試作品が破れてしまったときの重さを記録する。(図10)
- 3 A,Bの条件で各素材10ずつ（各種30ずつ）データを取る。

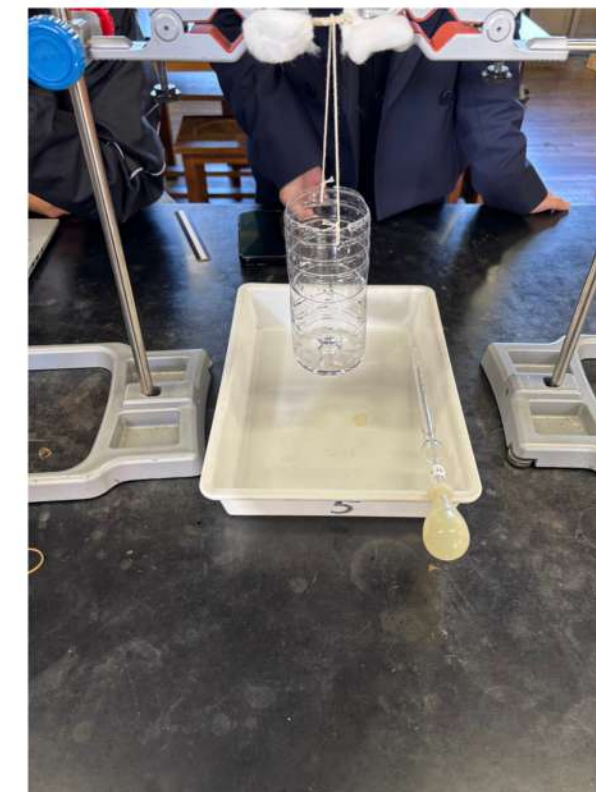


図9 強さ測定装置

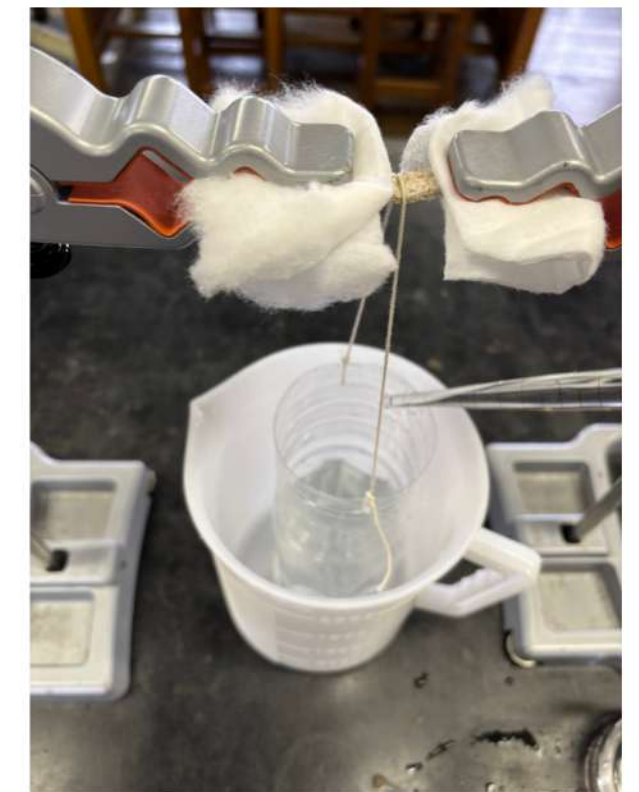


図10 容器に水を入れていく様子

実験2-1 強さの検証

【結果】

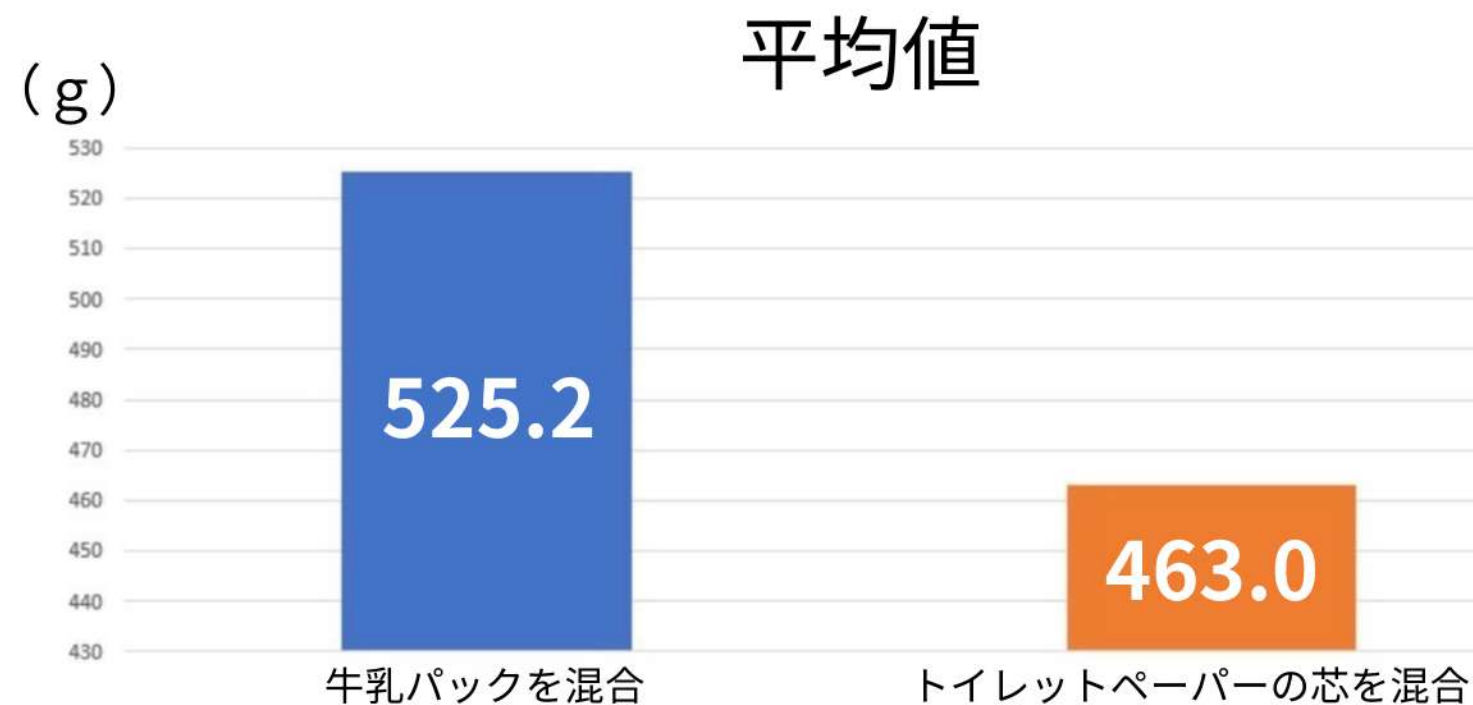
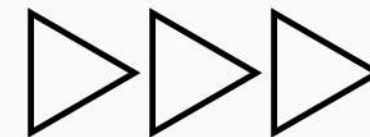


図11 2種類における平均値の比較



各素材のデータを種類ごとに合わせた
独立2群 t-検定の結果

- ・牛乳パックを混合と
トイレットペーパーの芯を混合
統計的に有意差あり ($p < 0.05$)



実験2-2 色の検証

【実験意義について】

💡 製品の容器における色の重要性



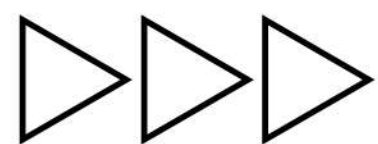
図12 エコな紙ボトル

「白に近い…染色がしやすく便利→様々な用途で利用できる

「ふすまの茶色に近い…ふすま素材の独自性→消費者にアピール



図13 エコな紙ひも



茶色系統の色を持つふすまからできた素材
独自の色合いがみられるか

実験2-2 色の検証

【実験準備】

色の計測は測色計（カラーリーダー）を用いた（図14）。

- ① はじめに基準値として科学室の机の色の値を読み込み写真を撮影しておく。（図15）
- ② 作成したふすま素材に機械を押し当てて、画面に表示された数値を記録していく。
- ③ A,Bの各素材の表裏で計100回（各種300回）繰り返し、比較対象の既存の生分解性素材も行う。



図14 使用した測色計



図15 基準値（科学室の机）

実験2-2 色の検証

【結果】

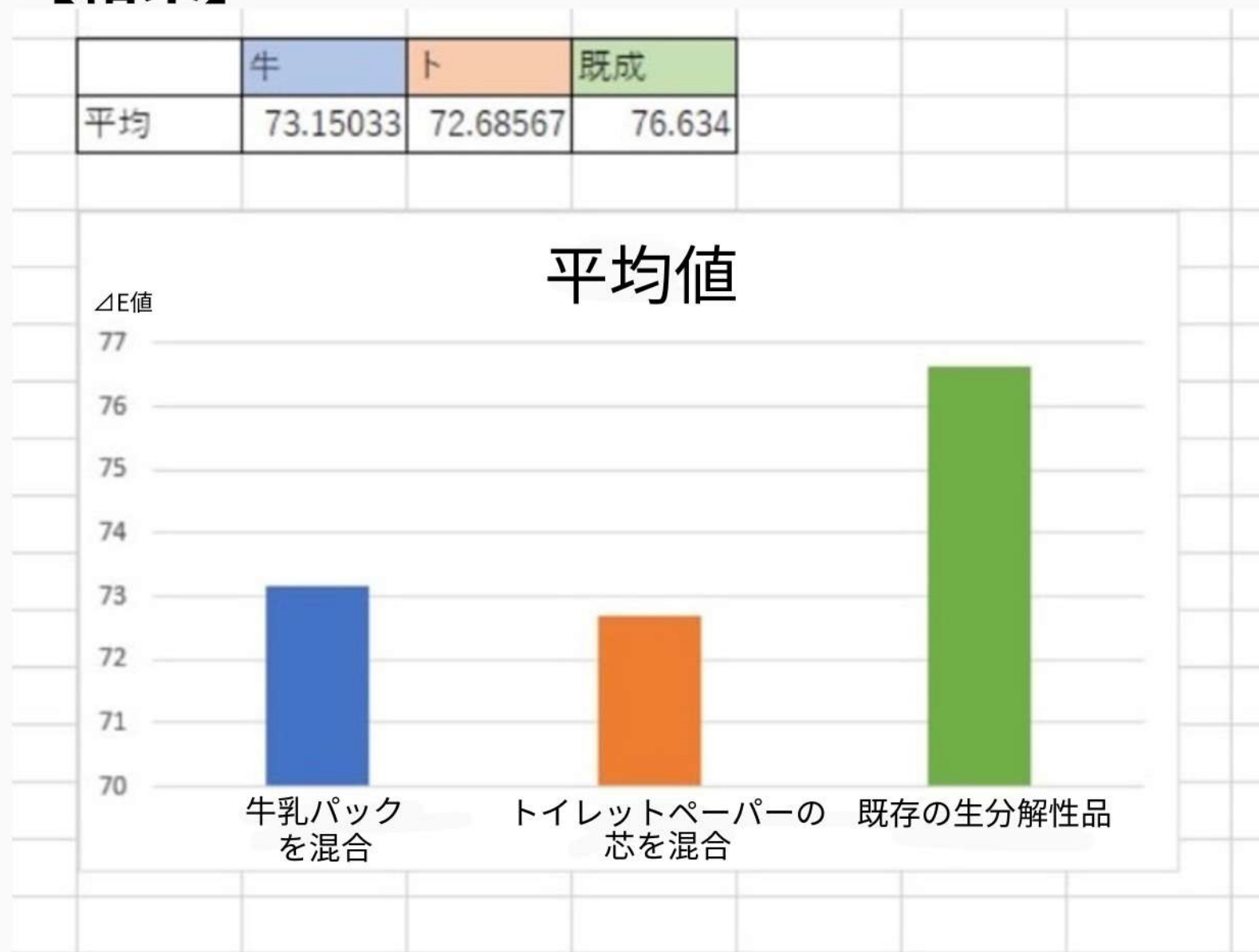
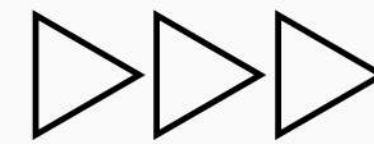


図16 2種類と既存の製品における平均値



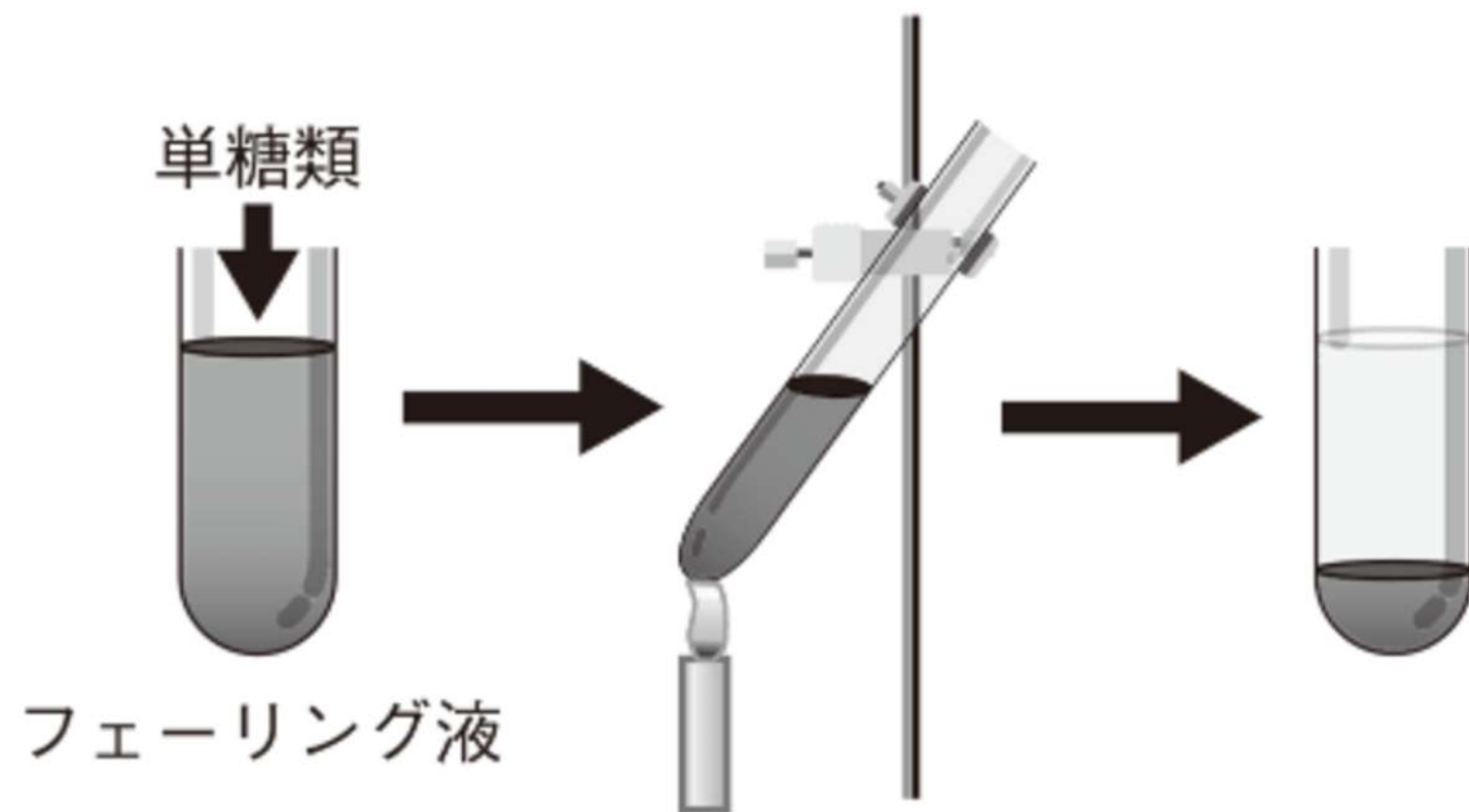
各素材のデータを種類ごとに合わせた
独立2群 t-検定の結果

- ・牛乳パックと既存品
統計的に有意差なし ($p < 0.05$)
- ・トイレットペーパーの芯と既存品
統計的に有意差なし ($p < 0.05$)

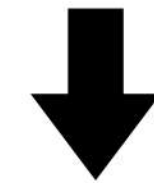
実験2-3 ふすま素材の分解性の検証



単糖類の水溶液の還元性を利用



酵素セルラーゼとふすま素材を反応させる



多糖から単糖ができた場合

フェーリング液が反応して青から赤に

図17 フェーリング液の還元

実験2-3 ふすま素材の分解性の検証

【実験準備】

作成したふすま素材と牛乳パック、トイレットペーパーの芯を1.0cm×1.0cmに切り取る。(図18)

- ① X: $8.3 \times 10^{-2}\%$ に希釈したセルラーゼ溶液4.0ml+水4.0ml
Y: 傍線部に1.0%に希釈した酵素溶液 (図19) 8.0ml
を試験管に加えて各種用意する。
- ② 試験管を恒温室に入れて40℃で9日間放置する。(図20)
- ③ 試験管にフェーリング液2.0ml (図21) と沸騰石を入れ、
ガスバーナーで加熱して反応を見る。



図18 切り取った断片



図19 セルラーゼの他に加えた酵素



図20 恒温室の様子



図21 フェーリング液の調製

実験2-3 ふすま素材の分解性の検証

【結果】

試作品でフェーリング液に反応が見られた。
→特に多様な酵素溶液を加えた試験管で濃く反応

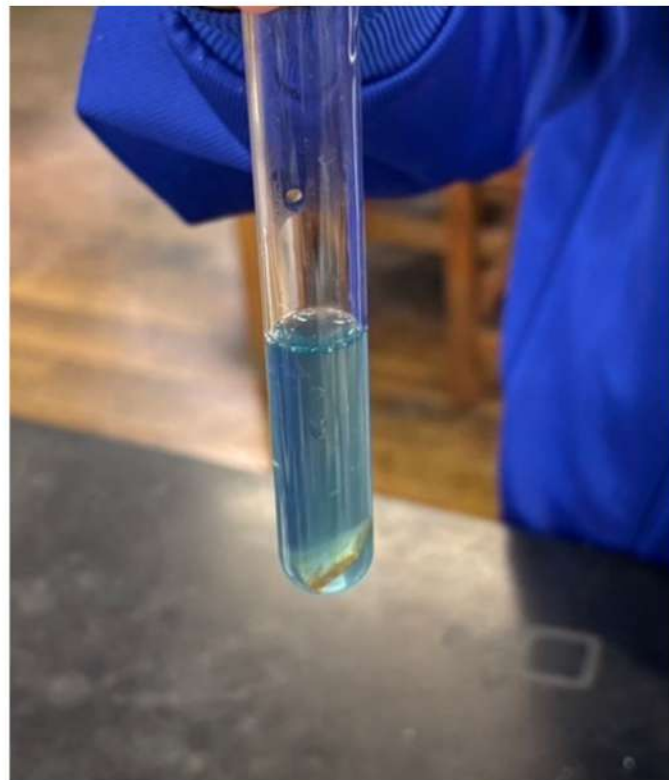


図22 反応前の試験管

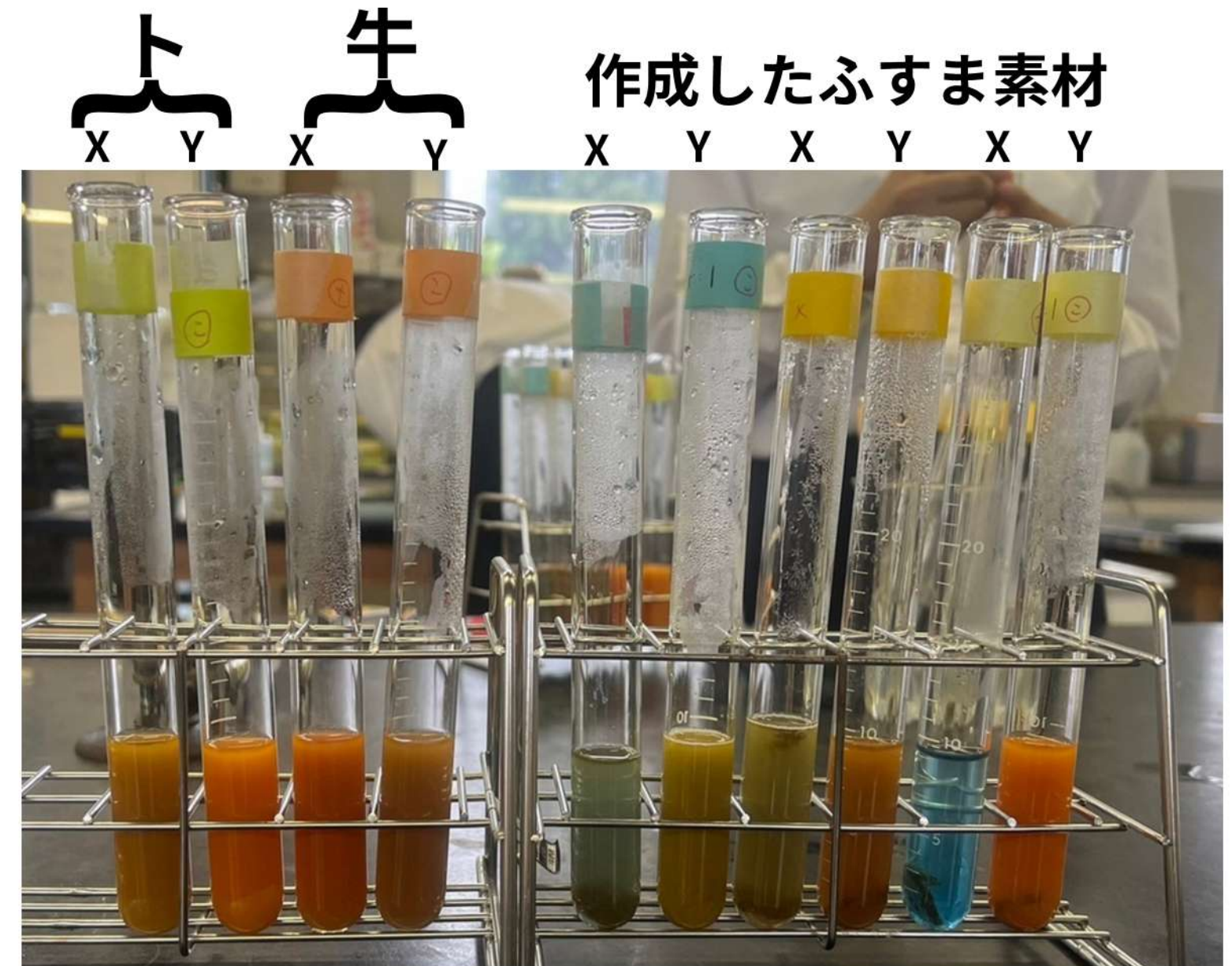
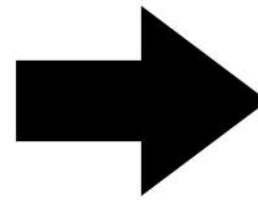


図23 反応後の試験管

06

考察と今後の展望

06

考察と今後の展望

○実験2-1 強さの検証

【考察】

- ・牛乳パック、トイレットペーパーの芯を混合したものに有意差が見られた。
- 繊維は同じため、繊維の密度の違いに影響がでた可能性（図26）

➡ 紙資源を供給量とふすま素材製品の目的に応じて適切に選択する必要

【今後の展望】

- ・種類関係なく素材によって差（水の抜け方、歪み）
- ・利用出来そうな他の紙資源を混合したふすま素材の検証
- ・既存の生分解性素材と比較した強度差



図24 針葉樹パルプと広葉樹パルプの特徴

考察と今後の展望

○実験2-2 色の検証

【考察】

- ・ A,Bの試作品ともに既存の製品との色の有意差は見られなかった。
→既存の製品と比べた色の特徴は見られず…

➡ 色の影響を受けない使用用途

【今後の展望】

- ・ ふすまの比率を変化させたとき
 - ・ ふすまを漂白して脱色したとき（図27）
- など別パターンでふすま素材を作成し、製品の使用用途を広げる。



図25 漂白して脱色されたふすま（右）

考察と今後の展望

○実験2-3 生分解性の検証

【考察】

- ・ふすま素材は単糖類に分解されていたと考えられる。
→生分解性を持ち、セルロース由来の環境に優しい素材
- ・少なくとも9日経過時点で分解が始まっていた。
→短期的に見ると分解が順調に進んでいる。

【今後の展望】

- ・試作品によってフェーリング反応（色の変化の大きさ）に違いが見られた。
→数値データを取る必要性
- ・長期的な分解経過
- ・異なる環境下での分解（水場、土壌etc）



図26 プラスチックの分解にかかる時間

【謝辞】

本研究を遂行するにあたり、ご理解・ご協力くださった
株式会社ニッポン中央研究所の皆様に深く御礼申し上げます。

【参考文献】

1)手すきはがき（てすきはがき）|牛乳パックで作ろう 楽しい工作

<https://www.meg-snow.com/fun/make/craft/craft10.html> (最終閲覧2024/10/17)

2)KonicaMinolta 色の数値化には表色系を利用します1|色々雑学

<https://www.konicaminolta.jp/instruments/knowledge/color/section2/2-02/>

(最終閲覧2024/10/17)

3)宇都宮大学 セルロースを利用したバイオエタノール学習の教材化

<http://www.edu.utsunomiya-u.ac.jp/chem/v12n2/kawamura> (最終閲覧2024/10/17)

4)東京大学 分子を大きくして渋滞解消：3億個の分子を動かしてセルロースの

酵素分解メカニズムを解消 https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20190307-1.html

[_ml](https://www.a.u-tokyo.ac.jp/topics/topics_20190307-1.html)(最終閲覧2024/10/17)

5)J-stage 糖類の性質

https://www.jstage.jst.go.jp/article/kakyoshi/69/10/69_420/pdf (最終閲覧2024/10/17)

THANK YOU!

ありがとうございました!



予想される質問



+

予想される質問①

・ なぜトイレットペーパーと牛乳パックなのか

安価かつ手軽に手に入れられる。回収なども行っている(図29)ため有効活用できる。

・ なぜ9日間なのか。

授業の日数の関係上。放課後は強度の測定などに尽力していた。

・ 【実験2-1】において既存の製品と比較しなかったのか。

既存の生分解性素材やプラスチックは作り方、技術力が異なるため、比較をすることは妥当ではないと判断した。



図27 牛乳パック回収BOX

- ・ なぜこの比率で作製したのか。

前段階で比率を変えて作製していったときに一番見た目、感触の点から安定していた比率を選んだ。

- ・ 強度の実験の際、コットンを挟んだ理由

根元でふすま素材が折れてしまうことを防ぐため。

- ・ 強度の実験に出てくる容器とは

ペットボトルに紐を通して作ったもの。(図30)ふすまの真ん中に通し、水を入れていくことで容器全体の重さが増し、耐えきれなくなると机上に落ちる。



図28 作成した容器

・アミラーゼ、プロテアーゼ、リパーゼの酵素溶液を加えた理由

ふすまの主成分はセルロース。(ものによって異なる)

しかし、その中にも微量ではあるがその他の糖質(炭水化物)やタンパク質、脂質なども含まれている。

→それらの成分も分解に関係するのではないかと考えたため。

また、当初初めて生分解性の実験を行った際にセルラーゼ溶液のみではフェーリング反応が行われなかったため、その他酵素も加えてみることにした。(補足スライド参照)

栄養成分表		
主なソース: USDA		
小麦ふすま		
216 カロリー (kcal) - 100 g あたり		
Nutrient	Amount(g)	DV(%)
脂質	4.3 g	
コレステロール	0 mg	
ナトリウム	2 mg	
カリウム	1,182 mg	
炭水化物	65 g	
タンパク質	16 g	

図29 小麦ふすまの主成分

+

予想される質問④

・測色計（カラーリーダー）について

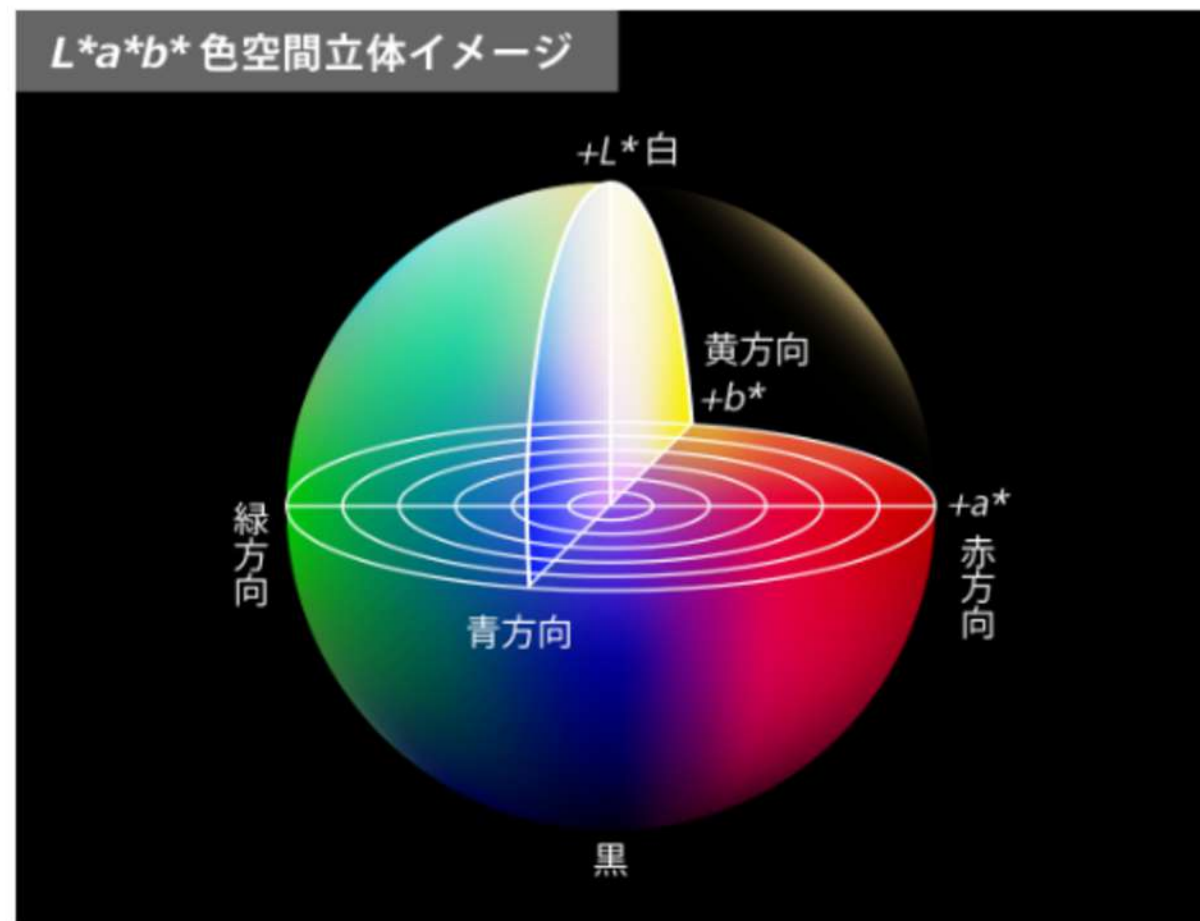


図30 L*a*b*空間

$$\Delta E76 = \sqrt{(\Delta L^*)^2 + (\Delta a^*)^2 + (\Delta b^*)^2}$$

図31 ΔEの計算方法

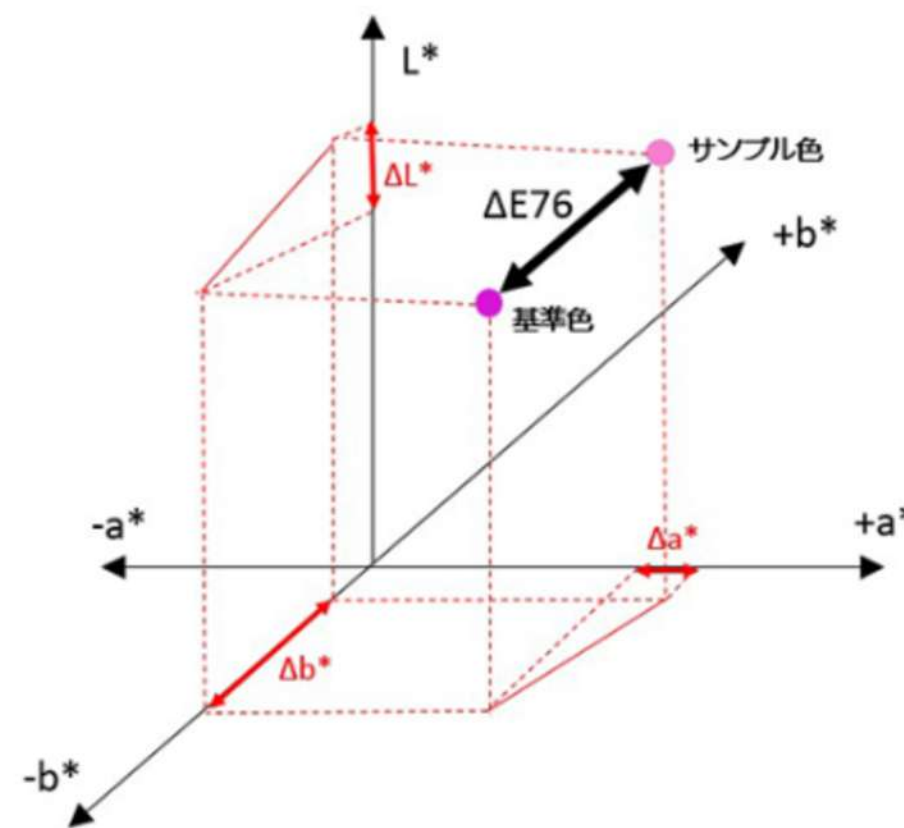


図32 a,b,L,ΔEの説明

○L*a*b*色空間

L*...明度

a*,b*...彩度

a* ←→ -a*
b* ←→ -b*

▷▷▷ 測定値からΔEを計算

・ 早くに分解が始まると、製品の保存が出来ないのではないか

私たちが作成したものは水に触れると分解が始まることが生分解性の実験から分かっている。そのため卵の容器など水に触れない用途を目的としている。

・ 牛乳パックにはコーティングがあり、それが強度の結果に影響するのではないか

牛乳に触れる面のコーティングは事前に手で剥ぎ取った。
実際に製品化する際にその手間を考えると、牛乳パックにも懸念点がある。

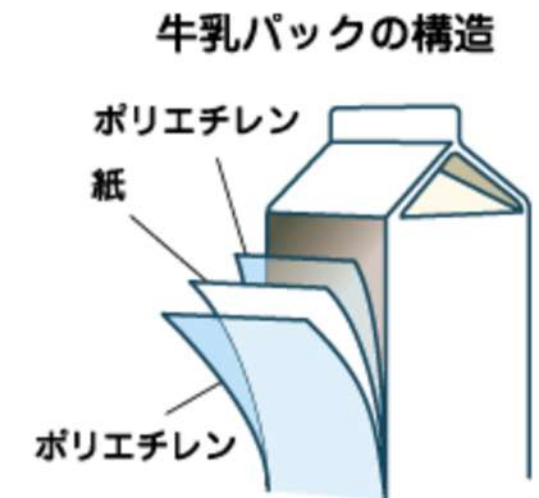


図33 牛乳パックの構造

+

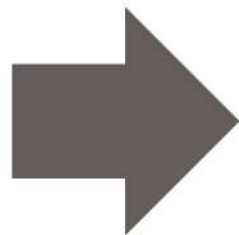
予想される質問⑥

・針葉樹と広葉樹についての詳細

ふすまに含まれるリグニンの量が関係しているのでは？

植物細胞壁の主成分で、細胞壁を固くしっ
かりとした構造にするための物質。

★針葉樹はリグニンが多く、
広葉樹はヘミセルロースが多い傾向にある。



牛乳パックの方が針葉樹が多く使われている？
(調べたところ、実際に牛乳パックには針葉樹パルプが使われていた。)

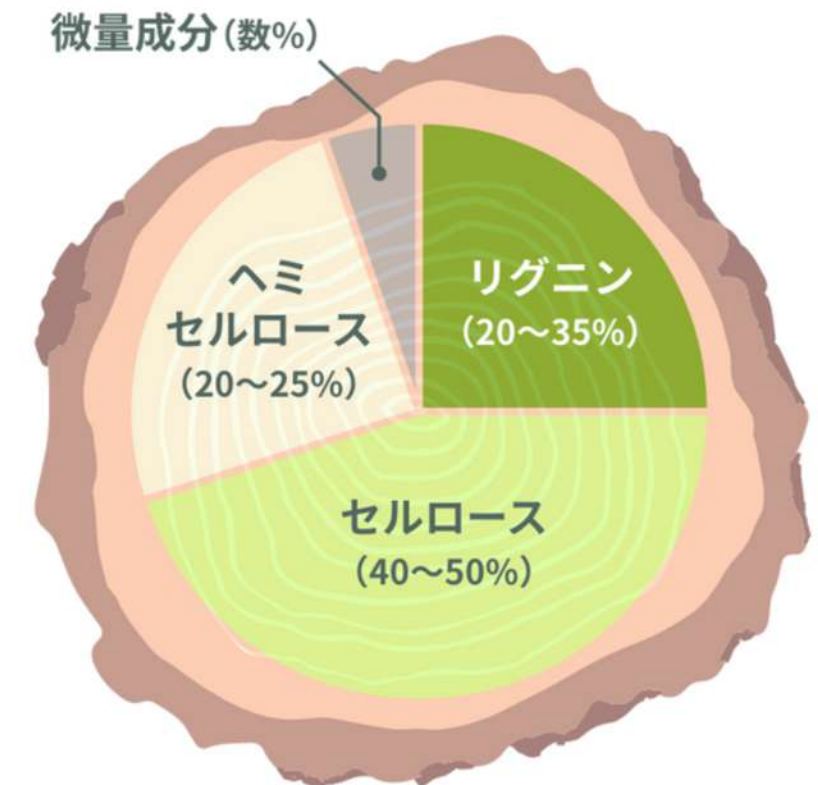


図34 木を構成する成分

+

予想される質問⑥

- ・ ふすま素材は防水性に劣るのでは...?
→ 卵のような**固形物の容器**に利用

〈プラスチック製品の現状〉
約4割が容器や包装に



ポイ捨て、
環境問題へ

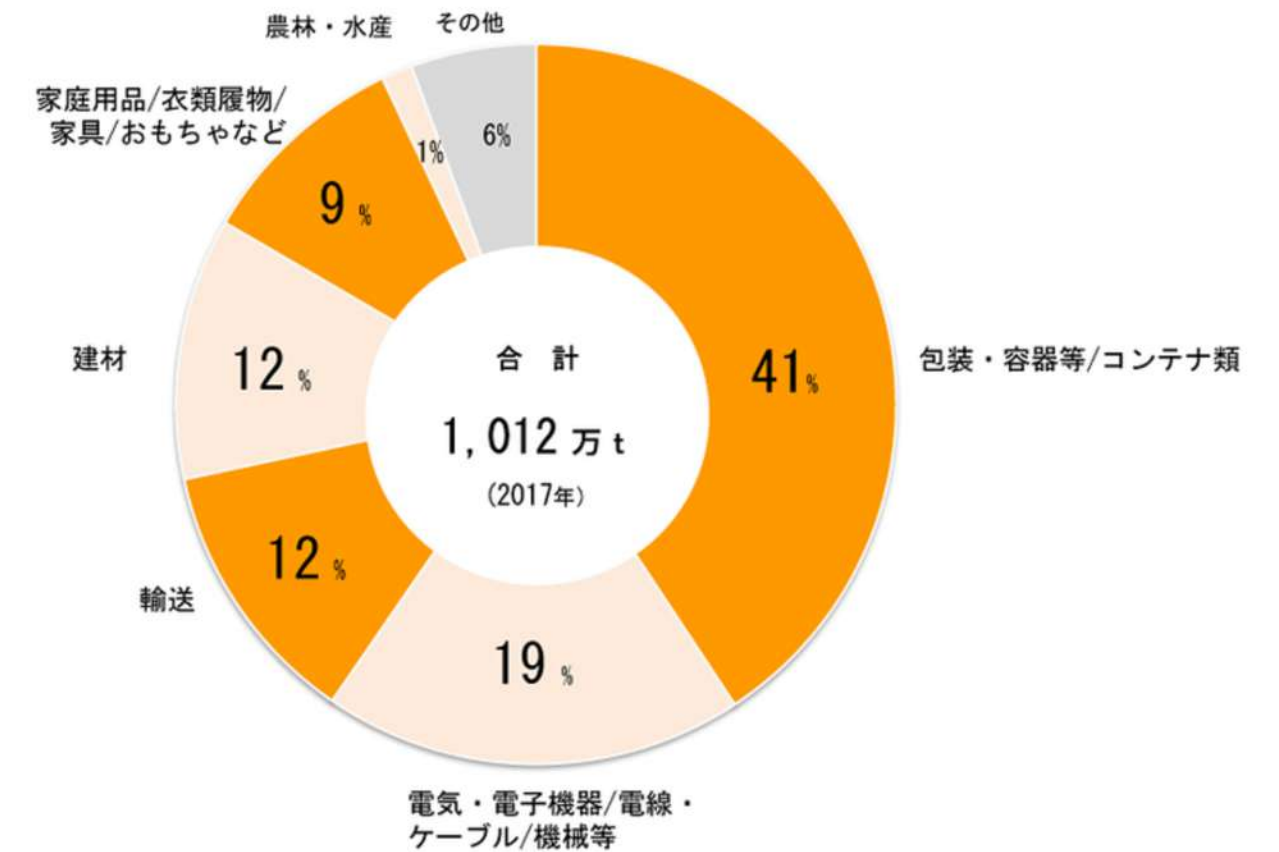
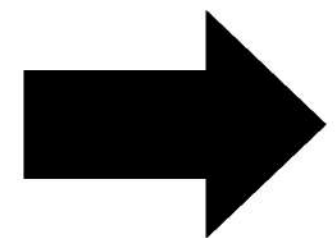


図35 プラスチック製品の使用内訳



捨てられても問題が無いふすま製の容器

・「色の影響が少ない使用用途」とは？

ふすま素材は既存の独自の色合いは立証されず、
また染色がしやすいかどうか今回の実験からは分からなかった。
→外観については考えず“包装としての目的のみ”で利用していきたい。
ex) 固形物で、中身が見えなくても問題のない製品
(卵の容器、紙皿、トイレットペーパーやティッシュの箱など)



図36 エコな卵の容器

・この研究の新規性は？

生分解性という点から小麦ふすまは注目をうけるものの、利便性や効率性の面で弱点が多くある。今回私たちの方法も大量生産や製品化にはほぼ遠いが、私たち高校生ならではの簡単な手法からまず考えてみることで今後の飛躍的发展に繋がるのではないかと考える。

・ふすま素材の個体差については？

何度か作製を試みるうちに、自分たちの技術も安定してきたが、水の抜け方（圧力のかけ方）や、時期によっての乾燥スピードには差が出てしまったと思う。一年を通した個体差についても今後みていけたら良いと思っている。

②軽量で破損しにくい、加工や着色が容易、水分や酸素を通しにくく食品を効果的に保護できるなど。

図37 プラスチック製品のメリット（Agenda 家庭基礎より）

・ふすまを脱色させる意図は？

ふすまを脱色することで、素材が白に近い色合いになり、染色がしやすくより幅広い使用用途で利用していけるというメリットに繋がると考えたから。一方で脱色には漂白剤を用いているため、環境への負荷が大きいという懸念点も感じている。

・今後の展望より、「他の利用できそうな紙資源」とは？

簡単に手に入り、リサイクル面で問題を抱える紙資源として、新聞、チラシ、書籍、ダンボール、雑がみ等を利用していけないかと考えている。小麦ふすまの積極的利用とともに、紙資源の再利用にも貢献していきたい。

・強度測定には色々な力のかけ方があることについては？

外方向力をかける、内方向に潰す、ひねって力をかける、など様々な力のかけ方があるが、容器に利用するという目的に沿って、1点から重力がかかる場合を今回は検証することにした。

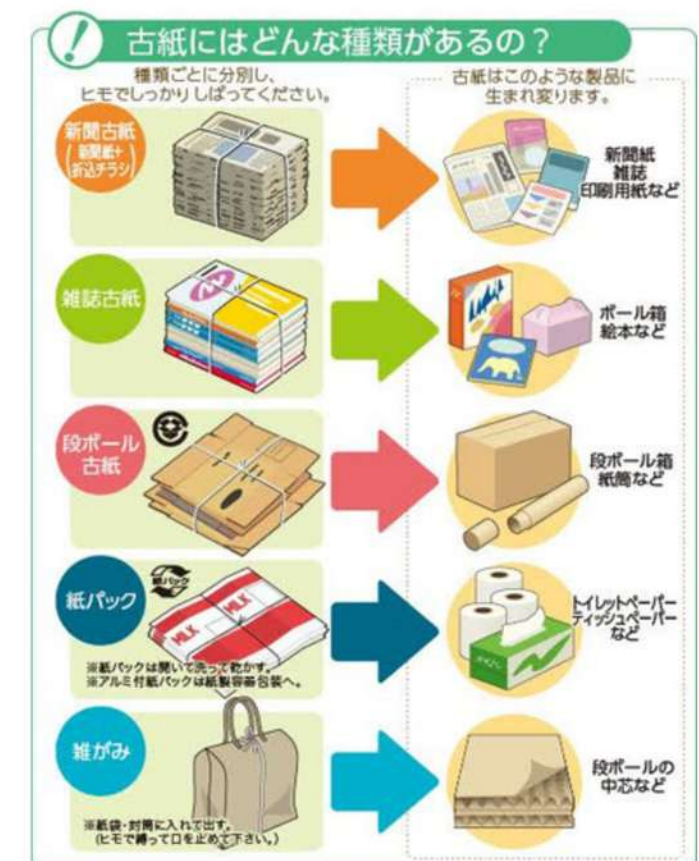


図38 古紙一覧

・ フェーリング液の分解と濃さに関係はあるのか？

今回試験管によって色の感じや濃さに違いが出たが、その点と分解の激しさについての関係性は分からなかった。糖の量から考察していけないかと考えている。

・ 科学室の机の色を基準にした理由は？

活動場所が科学室であったのに加えて、科学室の机は全体的に模様や色の濃淡が見られなかったため、基準として適すと判断したため。

・ セルラーゼ溶液の濃度は？

セルラーゼ溶液の濃度は先行研究を参考にして、決定した。また、酵素は大量に投下しても反応速度を上げることができないため、上記の濃度を用いた。

・小麦ふすまを利用することは社会にどんな利益があるか？

前述した通り、環境保全を大きな目的として抱えているが、その他にも影響が考えられる。例えば、製粉会社が他の会社と連携して、ふすまを提供することでふすま素材の普及に取り組むなど、環境配慮の視点が思わぬ形で日本の経済を支えるようになることもあると考える。

・ふすまの現在の使い道に支障が出ないか？

栄養価が高いことから料理に用いられたり、家畜の餌にも広く使われている。しかし小麦ふすまら約100万トンという莫大な量が年間排出されるため、問題がないという判断とnipponさんとのご相談の元、今回の研究に至った。

・ ふすま素材の厚さの考慮は？

厚さは個体差が大きく見られなかったため強度には影響が出ないと判断した。

・ ふすまの管理は？

小麦ふすまにカビが生えないように、冷蔵保存で管理した。使い続けても問題がないというnipponさんからのご指導の元、使用した。

・ 強度を測定するときの素材の向きは？

紙すきを用いて、パルプ液を広げて作製したため、向きは考慮に入れてない。

・ 分解させたときに、肉眼の変化はあったのか？

若干の変化はあったものの、著しい変化は見られなかった。9日間という限られた時間であるため、長期的な経過に関しては今後の展望としていきたい。

+

実験α ふすま素材の分解性の検証

【実験準備】

作成したふすま素材と牛乳パック、
トイレットペーパーの芯を1.0cm×1.0cmに切り取る。(図39)

- ① $8.3 \times 10^{-2}\%$ に希釈したセルラーゼ溶液4.0mlを試験管に入れて各種5本ずつ、恒温室に9日間放置する。(図40)
- ② フェーリングA液とB液を2.0mlずつ混ぜてフェーリング液を4.0ml作る。(図41)
- ③ 試験管にフェーリング液と沸騰石を入れ、ガスバーナーで加熱して反応を見る。

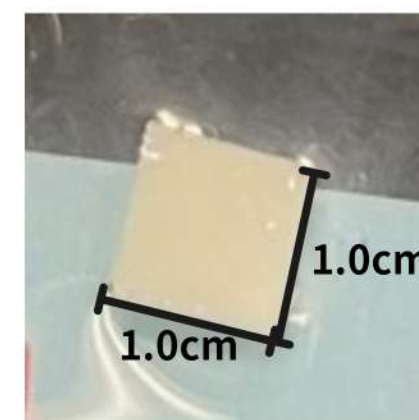


図39 切り取った断片



図41 フェーリング液の調製



図40 恒温室の様子

+

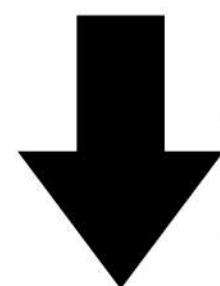
実験α ふすま素材の分解性の検証

【結果】

- ・ いずれも反応しなかった。



図42 フェーリング反応①



フェーリング液を
2.0ml、1.0mlに

- ・ 少し色が濃くなったが、色の変化は見られず。



図43 フェーリング反応②

- ・ 牛乳パック、トイレットペーパーの芯は反応した。
→セルラーゼは効果をなしている。



図44 フェーリング反応
(牛乳パック)



図45 フェーリング反応
(トイレットペーパーの芯)

実験β ふすま素材の分解性の検証

【実験準備】

実験αで反応を行わなかった試験管を用いた。

- ① 1.0%に希釈した酵素溶液（アミラーゼ、プロテアーゼ、リパーゼ）を5.0ml加え恒温室に+5日間（計14日間）放置する。
- ② フェーリングA液とB液を0.5mlずつ混ぜてフェーリング液を1.0ml作る。
- ③ 試験管にフェーリング液と沸騰石を入れ、ガスバーナーで加熱して反応を見る。



図46 使用したヤマノ生酵素サプリ（カプセル型）



図47 使用したヤマノ生酵素サプリの混入酵素

+

実験β ふすま素材の分解性の検証

【結果】

・ともに反応した。

→赤色の濃さは試験管によって違いが見られた。



図48 フェーリング反応①



図49 フェーリング反応②



図50 試験管別