

「生分解性プラスチックの作成 2023」―作成時における加熱と加圧方法、素材の脂質に関する調査2―

静岡大学教育学部附属静岡中学校

2年 堀池哲平

1 研究動機

現在、ごみが社会的に大きな問題になっている。中でも、投棄されたプラスチックは、完全に分解されず自然界に長い間残り続け、それを生き物が食べてしまうと死んでしまい、生態系が崩れてしまうと言われている。この問題が改善できないと、ほとんどの生物が生きていけなくなり、最終的には宇宙に出て他の星に移らなくてはいけなくなってしまう。私は、そうなることがとても嫌で悲しい。でも、私たちは、いきなりプラスチックの無い生活を送ることもできない。したがって、プラスチックの代わりとなる素材の研究が必要だと考えた。

ここで注目したのが、生分解性プラスチックである。生分解性プラスチックは、タンパク質から作成することができ、微生物によって水と二酸化炭素に分解することができる環境に優しい素材であるを知り、プラスチックごみ問題の解決手段の1つになると考えた。

2 今までの研究の振り返り

昨年度(2022年度)、牛乳と酢から作成できる生分解性プラスチックの1つであるカゼインプラスチックを作成した。しかし、作成結果は、固形物が焦げたり、破裂したりして思うような形に成形することができなかった(図1)。

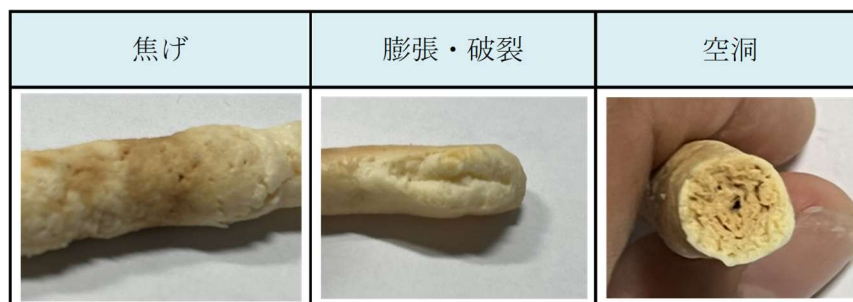


図1 昨年度(2022年度)に作成した固形物

ここで、固形物が焦げた原因は、成形時に加熱しすぎているためだと考えた。また、固形物の膨張・破裂や、中に空洞ができる原因は、固形物内の空気・水分・脂肪分が加熱により膨張しているためだと考え、この空気・水分・脂肪分の抜けた後が空洞になっていると考えた。そこで、2023年夏の研究では、一度に加熱する時間を変化させ、素材を牛乳よりも脂肪分の少ない、低脂肪牛乳やスキムミルクを使用して固形物を作成した。そして、レゴブロックで自作した成形型(図2)を使用して固形物を成形した。結果として、いずれも同じような形状の固形物を作成することが出来た(図3)。そこで、本研究ではこの固形物の質量変化と強度について着

目し、作成時における加熱と加圧方法、素材の脂質に関する調査を行った。



図 2 レゴブロックで自作した成形型

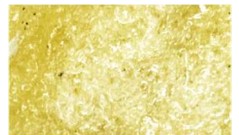
素材	上面	上面の拡大	側面
牛乳			
低脂肪牛乳			
スキムミルク			

図 3 成形に型を使用した結果の一例（5 秒毎に加熱と加圧を繰り返し）

3 作成した固形物の調査

（1）作成した固形物の質量変化

ア 研究内容

本研究で作成した固形物を放置すると、柔らかい固形物が固まり、反りや表面のシワのような溝が発生した。これは、加熱直後から更に乾燥が進んだことが原因であると考えた。そこで、加熱後から 10 日後の質量を測定し、加熱直後からの質量変化を調査した。

イ 研究結果

加熱直後の質量は、いずれの素材においても 1 回の加熱時間が短い方が、加熱後の質量が大きく、1 回の加熱時間が長い方が、加熱後の質量が小さいことが分かった。また、10 日後の質量では、加熱時間に関係なく素材毎に同程度の質量となり、牛乳で作成した固形物は、平均 6.9 g、低脂肪牛乳で作成した固形

物は平均 4.0 g、スキムミルクで作成した固形物は、平均 4.3 g となった（図 4～図 6）。

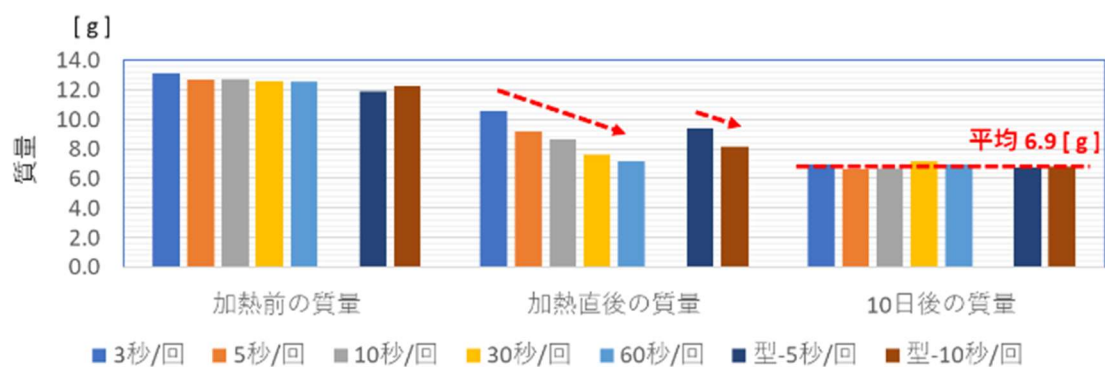


図 4 牛乳で作成した固形物の質量変化

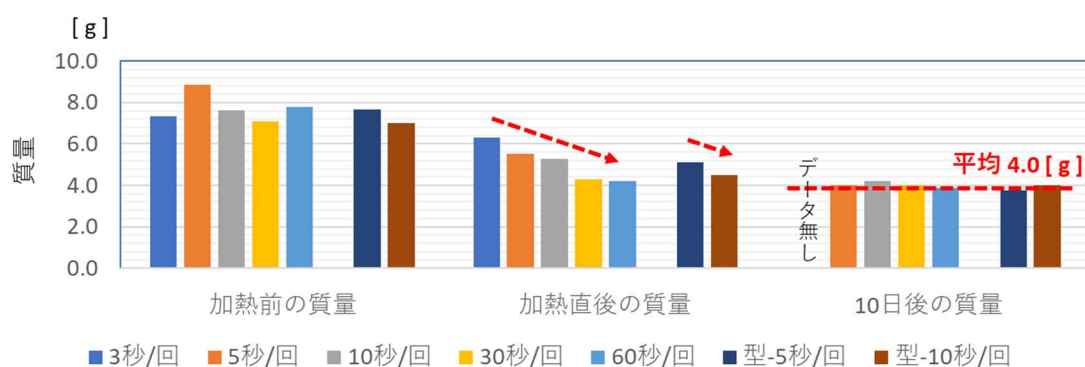


図 5 低脂肪牛乳で作成した固形物の質量変化

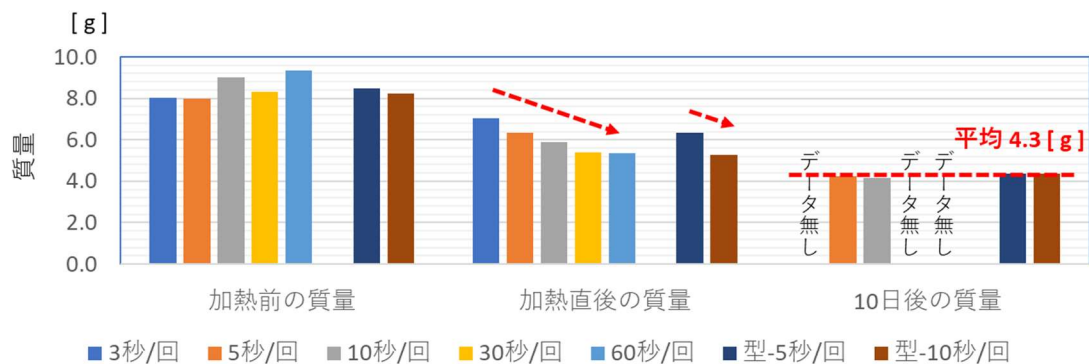


図 6 スキムミルクで作成した固形物の質量変化

ウ 考察

10 日後の質量が、素材毎に同じ程度の質量となったのは、今回の加熱方法では、固形物が十分に乾燥できていないと言える。そして、素材によって作成できる固形物の量の差は、固形物内に残る「脂質」の量が影響し、牛乳には多くの「脂質」が残っていると考えた。

(2) 生成した固形物の「曲げ試験」と断面観察 (1)

ア 研究内容

作成した固形物を使用し、「曲げ試験」による屈曲性能（以後、曲げ強度）の比較と破壊断面の調査をした。曲げ強度の調査は、自作したレゴブロックの台（図 7）におもりを乗せて「3点曲げ」を行い、固形物が破壊される強度を比較した（図 8）。そして、破壊断面の調査をした。

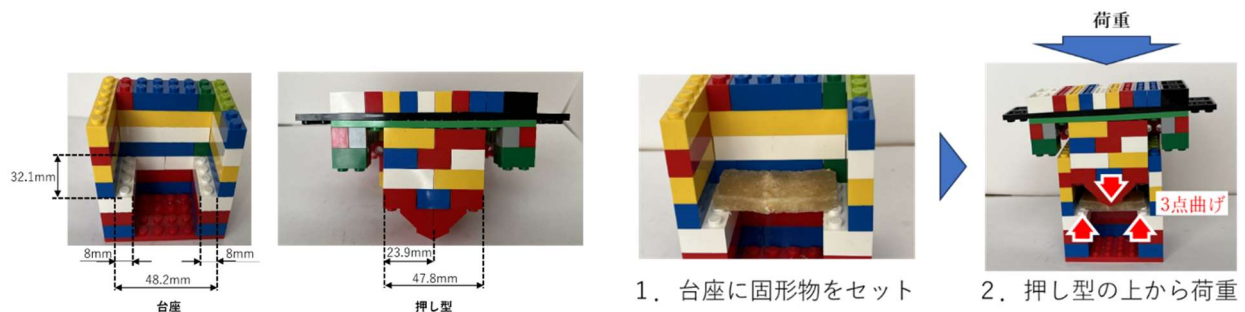


図 7 レゴブロックで自作した台

図 8 強度の測定方法

イ 研究結果

曲げ強度を調査するために押し型の上部におもりを乗せたが、用意していた荷重 (2kg) では変化が無く、定量的な強度比較をすることが出来なかった。そこで、おもりの代わりとして手による押下で固形物が破壊するまで力を加え、その時の力加減から曲げ強度を評価した。調査の結果、曲げ強度の順番は、

- 1位. 牛乳で作成し、5秒ずつ加熱した固形物
- 2位. スkimミルクで作成し、5秒ずつ加熱した固形物
- 3位. 低脂肪牛乳で作成し、5秒ずつ加熱した固形物
- 4位. 牛乳で作成し、10秒ずつ加熱した固形物
- 5位. 低脂肪牛乳で作成し、10秒ずつ加熱した固形物
- 6位. スkimミルクで作成し、10秒ずつ加熱した固形物

となった。このことから、いずれの材料においても5秒ずつ加熱した固形物の方が10秒ずつ加熱をするよりも曲げ強度が高くなることが分かった。また、牛乳で作成した固形物の断面には、多くの空洞が見られたが、低脂肪牛乳やスkimミルクで作成した固形物の断面にはプラスチックのような光沢が確認できた（図 9）。

素材	加熱方法	曲げ強度	破壊後の様子	断面の様子	コメント
牛乳	5秒/回	1位			断面から脂が出てきた。
	10秒/回	4位			固形物の断面に穴や隙間が出来ていた。 断面から脂が出てきた。

低脂肪牛乳	5 秒/回	3 位			断面が結晶化していた。
	10 秒/回	5 位			断面が結晶化していた。 断面に凹凸がある。
スキムミルク	5 秒/回	2 位			内部が結晶化していた。
	10 秒/回	6 位			焦げた部分から簡単に折れてしまった。 内部が結晶化していた。

図 9 曲げ試験結果と固形物破壊後の様子

ウ 考察

いずれの材料においても、5 秒ずつ加熱した固形物の方が曲げ強度が高いことから、10 秒の加熱時間では、固形物を加熱し過ぎており、固形物の構造や組成を変化させ、曲げ強度を減少させると考えた。そして、牛乳で作成し 5 秒ずつ加熱した固形物の曲げ強度が 1 番高い原因は、牛乳で作成した固形物の方が、低脂肪牛乳やスキムミルクで作成した固形物よりも厚み（高さ）があるためと考えた（図 9）。

本研究では、固形物の厚み（高さ）を統一しなかったため、正しい強度比較が出来なかった。また、固形物を手による押下で破壊したため、曲げ試験として定量的な強度比較をすることが出来なかった。そこで、固形物の作成条件の更なる追求と成型型の見直しが必要であると考えた。

4 固形物の作成条件の見直しと固形物の調査

（1）成型型・加熱時間の見直し

ア 研究内容

固形物の曲げ強度を定量的に測定し、それぞれの固形物が同じ厚さになり、より低い荷重で曲げ強度の比較をするために、細長い固形物を作成できる成型型を自作した（図 10）。この成型型を使用し、質量的変化が無くなるまで、焦げないように加熱乾燥を繰り返して固形物の作成を行った。

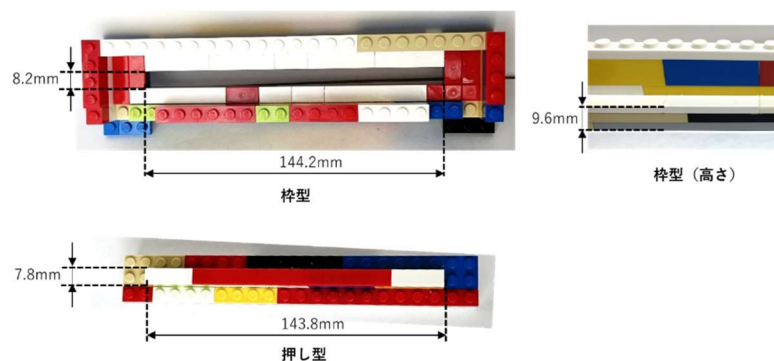


図 10 改良した成型型

イ 研究結果

牛乳・低脂肪牛乳・スキムミルクのいずれの材料においても、質量の変化が無くなるまで加熱と加圧を繰り返すことで、焦げや膨張の無いまっすぐで表面の凹凸の少ない固形物を作成することができた(図 11～図 13)。しかし、加熱された固形物は、冷めてしばらく時間が経過するまで硬くならなかった。



図 11 牛乳で作成した固形物



図 12 低脂肪牛乳で作成した固形物



図 13 スキムミルクで作成した固形物

ウ 考察

本研究により焦げや膨張の無いまっすぐで表面の凹凸の少ない固形物を作成するためには、加熱と加圧の調整が重要であると考えた。また、加熱された固形物は、完全に硬くならないことが分かり、固形物の作成方法には、更に工夫が必要だと考えた。

(2) 生成した固形物の「曲げ試験」と断面観察 (2)

ア 研究内容

改良した台座(図 14)を使用して、作成した固形物の「曲げ試験」を実施した(図 15)。また、強度の比較対象として、割りばし(1本)の曲げ強度を測定した。そして、固形物の破壊断面の調査をした。「曲げ試験」の方法は、「(2) 生成した固形物の「曲げ試験」と断面観察(1)」と同様に、固形物の両端を支え、中央に荷重を加える「3点曲げ」を行った。今回の研究では、押し型にビニル袋を吊るし、中にペットボトルを入れて荷重をかけることで荷重量を増やす工夫をした。

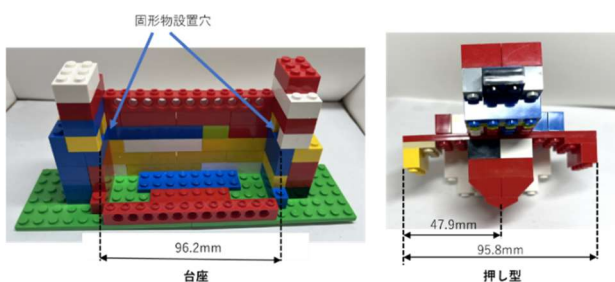


図 14 レゴブロックで自作した台

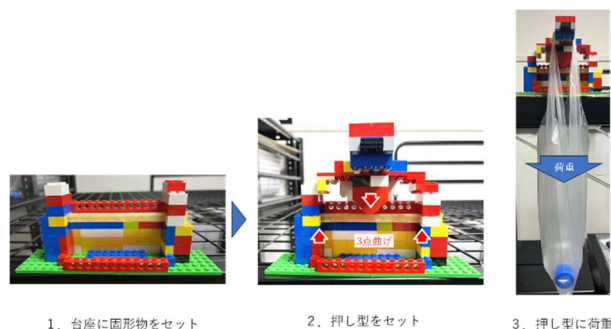


図 15 強度の測定方法

イ 研究結果

曲げ強度を確認した結果、牛乳の耐荷重が 1.1kg と一番低く、低脂肪牛乳の耐荷重が 2.3kg、スキムミルクの耐荷重が 5.5kg となり、割りばしの耐荷重の 5.2kg よりも高くなった。また、牛乳で作成した固形物の断面には、多くの隙間があった。一方で低脂肪牛乳やスキムミルクで作成した固形物の断面は、光沢が見られ、固形物が結晶化しているように見えた。特に耐荷重の一番高いスキムミルクで作成した固形物は、断面が真っすぐになった (図 16)。

素材	耐荷重	断面の様子
牛乳	1.1 k g	
低脂肪牛乳	2.3 k g	
スキムミルク	5.5 k g	
割りばし	5.2 k g	

図 16 強度の測定結果

ウ 考察

加熱と加圧を繰り返した結果、低脂肪牛乳やスキムミルクで作成した固形物が結晶化し、牛乳よりも耐荷重性能を上げることができたと考える。一方、牛乳で作成した固形物の結晶化ができなかった理由は、脂質の影響が高いと判断した。一番耐荷重の高いスキムミルクで作成した固形物以外は、破壊箇所が真ん中で折れなかった。この原因は、固形物の強度が均一に出来ていないと考えた。したがって、加熱と加圧方法を見直すことで固形物の強度を更に上げることが可能であると考ええる。一方、一番耐荷重の高い固形物が割りばしよりも高い値となったため、箸の形状に加工するなどの実用化に向けた研究を進めることができると考えた。

5 まとめ

今回の研究では、固形物の作成に必要な加熱乾燥や加圧の方法、成形型の見直しを行い、作成した固形物の曲げ試験を行うとともに牛乳に含まれる脂質の影響を調査した。研究の成果として、素材の変更と固形物

の加熱と加圧の調整によって、焦げや膨張・破裂、空洞のない固形物を作成し、昨年度よりも見た目の良い固形物を作成することができた（図 17）。そして、十分に乾燥させた固形物の質量が作成方法に関係なく材料毎にほぼ同一の数値となることが分かった。本調査により各材料で固形物を作成した時に乾燥の見極めを固形物の質量で定めることができるようになった。ただし、固形物を十分に乾燥させるためには、数日間の時間が掛かり、その間に固形物を変形させない工夫が必要であるため、今後の改善課題と考える。

また、作成した固形物の「曲げ試験」を実施した結果、割りばし（耐荷重：5.3kg）より耐荷重強度の高い固形物（耐荷重：5.5kg）を作成することができた。今後は、固形物を箸などに加工し、実用性に向けた研究に取り組みたいと考える。

	2022 年度研究成果	2023 年度研究成果
外観		
断面		

図 17 昨年度(2022 年度)と本研究(2023 年度)の成果比較

今回の研究により、カゼインプラスチックの作成は、見た目や曲げ強度の観点において、素材には脂質が含まれてない方が良いと判断した。これは、低脂肪牛乳・スキムミルクが牛乳から脂質を除いたものと同等であると仮定したものであり、実際に牛乳から脂質だけを除いた素材を使用した固形物を作成し、比較する必要があると考える。他にも、見た目や曲げ強度以外の内容における脂質の影響を探究することも今後の研究課題である。

5 今後の展望

今回の研究結果をもとに以下の研究をすすめ、生分解性プラスチックの可能性を追求したいと考える。

1. 固形物の加熱・乾燥時間の短縮検討
2. 低脂肪牛乳とスキムミルクの特性差分とその原因追求
3. 箸などの形状加工と実用性の確認
4. 牛乳に含まれる脂質の影響調査の継続
(推定内容の検証と影響範囲の拡大調査)
5. 生分解性についての調査