

「プラスチックの代替素材に関する研究2024（2）」 —スキムミルクと酢で作成した固形物の実用性について—

静岡大学教育学部附属静岡中学校
3年 堀池哲平

1 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、毎年増加し続けている。そして、このプラスチックごみが生態系に悪影響を与えていることから、SDGs：Sustainable Development Goals の解決すべき問題としても取り上げられている。つまり、現在使用しているプラスチックに代わる代替素材が必要である。

そこで私が注目したが、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。この生分解性プラスチックをプラスチックに代わる代替素材として利用できれば、プラスチックごみが自然界に長い間残り続ける量を削減する手段の1つになると考えた。そこで私は、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についての研究を2022年度より続けている。

2 研究成果

2024年度の研究成果の一つとして「プラスチックの代替素材に関する研究2024」—スキムミルクと酢で生成した固形物の特性について—では、スキムミルクを材料として生成した固形物の「切削加工」について切断・切削・研磨を行い、適性を確認した。

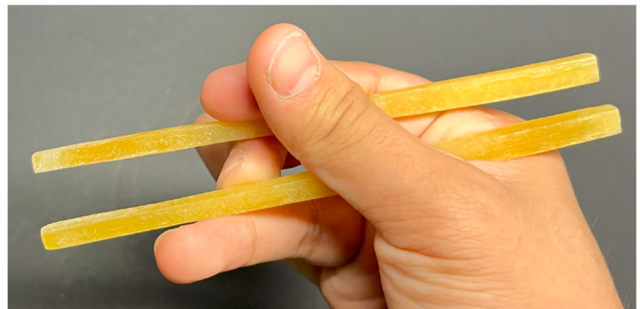


図1 切削加工の結果

図1に切断・切削・研磨加工した結果をしめす。

固形物を切断した断面は、固形物が欠けることなく、中に空洞が無いことを確認した。そして、切削により形状を変更させ、研磨加工で表面を滑らかにすることができた。

3 研究1 自作固形物は「箸」として利用できるか

上述の研究により自作した固形物を使用して「箸」を模した形状加工ができたため、その実用性を確認した。

（1）研究内容

固形物を「箸」として利用する場合、食べ物の水分に接触する。また、「箸」を繰り返し使用するためには、水で洗うことになる。そこで「箸」を模した固形物の一部を一晚（8時間）水に浸けて、その適性を確認した。

（2）研究結果

図2に固形物を水に浸けた結果をしめす。8時間水に浸けた箇所が膨張し、固形物が軟化することを確認した。

（3）考察

本研究により、現在研究している固形物は、水により形状や硬さが変化するため、「箸」として継続的に利用することは難しいと考える。一方で使用時間を制限する「使い捨て箸」に利用が出来る考えた。

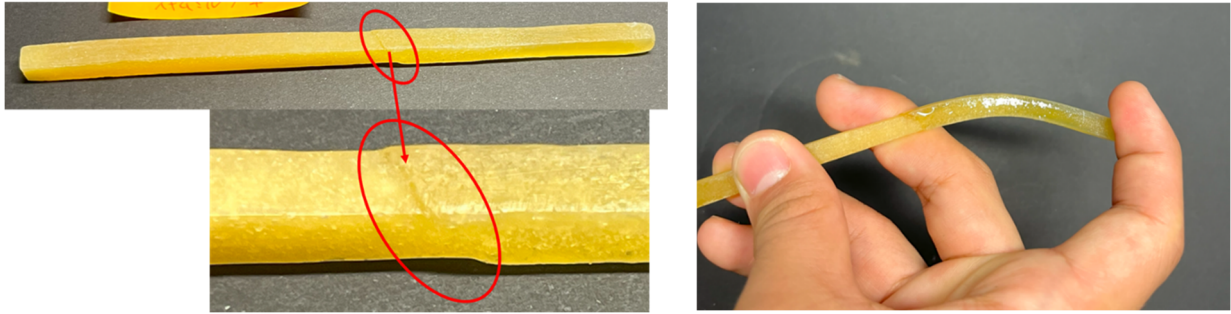


図2 固形物を水に浸けた結果（膨張、軟化の様子）

4 研究2 固形物の再利用に関する研究（強度比較）

（1）研究内容

これまでの研究により、固形物に水を加え再び加熱と加圧をすることで、固形物を再成形できることが確認できた。さらに、固形物の利用価値を追求するため、再成形・修復による固形物の特性変化を追求するため、強度の比較をすることにした。

（2）材料

スキムミルク、水（50～60℃）、酢、自作した固形物の粉末

（3）道具

電子はかり、軽量カップ、耐熱グラス、コーヒーポット、ドリッパー、ガーゼ、スポイト、電子レンジ、クッキングシート、クッキングペーパー、彫刻刀、すり鉢、すりこぎ、成形型（自作）

（4）固形物の作成方法1：『基準とする固形物』

以下に、本研究における強度比較の『基準とする固形物』の作成方法をしめす。

ア：スキムミルク 21.4 g に 50～60℃のお湯を注ぎスキムミルクを溶かす。この時お湯に溶かしたスキムミルクが 200 g となるようにする。

イ：1でお湯に溶かしたスキムミルクを沸騰直前まで加熱し、酢を加えてできた固形物をガーゼによる濾過で取り出す。

ウ：取り出した固形物を水に晒し、キッチンペーパーで水分を除く。

エ：固形物の質量が 14g となるまで水分を取り除き、3.5 g に 4 等分する。

オ：自作の成形型を使用して固形物を成形する。

カ：電子レンジ 600W の加熱（3 秒間）と加圧を繰り返し、固形物をひとまとめにする（固形物の粒が無くなり一体化する）。

キ：ひとまとめにした固形物を乾燥させる。

（5）固形物の作成方法2：『修復した固形物』

『基準とする固形物』を、後述する曲げ強度測定によって破壊し、これの修復を試み再び曲げ強度を測定した。この『修復した固形物』の作成方法を以下にしめす。

ア：曲げ強度測定によって破壊された固形物を水に漬けて、固形物に吸水（膨張）させる。

イ：水から取り出した固形物を「固形物の作成1」で使用した成形型に嵌め、破壊された断面が接合するように手で圧力を掛ける。

ウ：電子レンジ 600W の加熱（3 秒間）と加圧を繰り返す。

エ：断面が接合した固形物を乾燥させる。

（6）固形物の作成方法3：『再成形した固形物』

過去に作成した固形物の粉末を用いて固形物を再成形し、強度測定を試みた。この『再成形した固形物』の作成方法を以下にしめす。

ア：過去に作成した固形物を彫刻刀で削り、すり鉢で粉末状にする。

イ：粉末状にした固形物 2.0g に対して水 1.5g を混ぜて 3.5g とする。

ウ：自作の成形型を使用して固形物を成形する。

エ：電子レンジ600Wの加熱（3秒間）と加圧を繰り返し、固形物をひとまとめにする（固形物の粒が無くなり一体化する）。

オ：ひとまとめにした固形物を乾燥させる。

（7）固形物の強度測定

上記の①『基準となる固形物』、②『修復した固形物』、③『再成形した固形物』を使用し、「曲げ試験」による屈曲性能（以後、曲げ強度）の比較をした。「曲げ試験」の方法は、2023年度の研究成果を参考に固形物の両端を支えて中央に荷重を加える「3点曲げ」にて実施した。図3にレゴブロック®で自作した曲げ試験道具、図4に固形物の曲げ試験方法をしめす。台座に固形物をセットし、上から押し型を当て、更に押し型に荷重を吊るすことで、台座に乗せた固形物の両端と押し型の中央部分（アンビル）が固形物に当たり「3点曲げ試験」を実現している。測定道具の改善点として、ガイドの追加と、吊るし紐の利用によって、荷重をバランス改善し、曲げ強度試験を実施し易くする工夫をした。

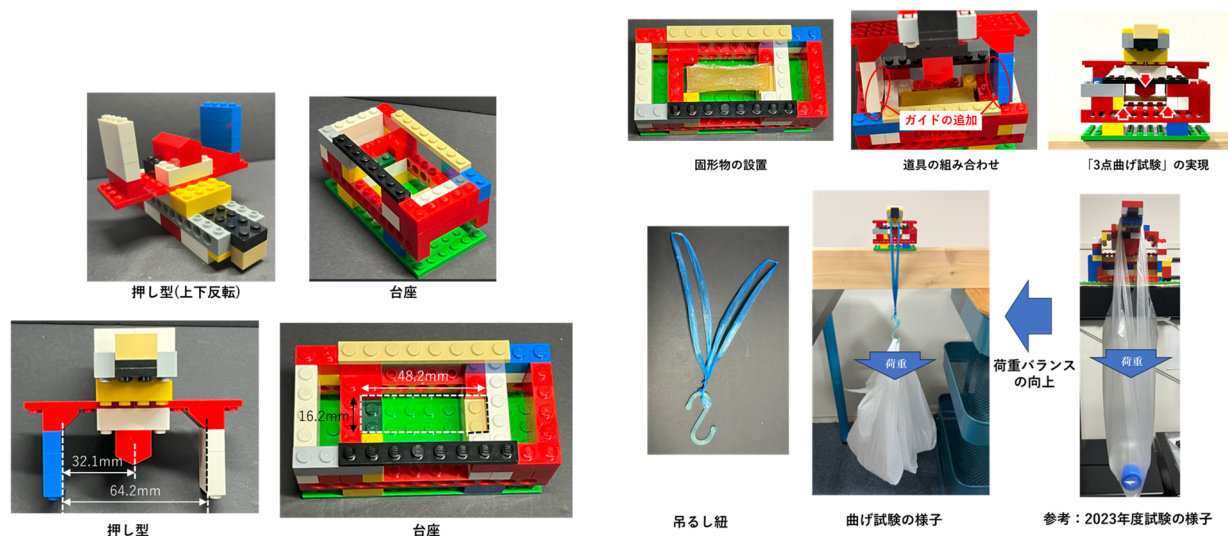


図3 曲げ試験道具（レゴブロック®）



図4 曲げ試験方法

（8）研究結果

図5に曲げ強度の測定結果をしめす。①『基準となる固形物』として測定したサンプル1～4（図5の基準1～4）において基準1，2，4に対して、3の耐荷重強度が低くなった。②『修復した固形物』として測定したサンプル1～4（図5の修復1～4）は、修復1以外の耐荷重が低くなり、曲げ強度試験で破壊する前の耐荷重が低くなった。③『再成形した固形物』（図5の再成形）の耐荷重が一番良好な値となった。

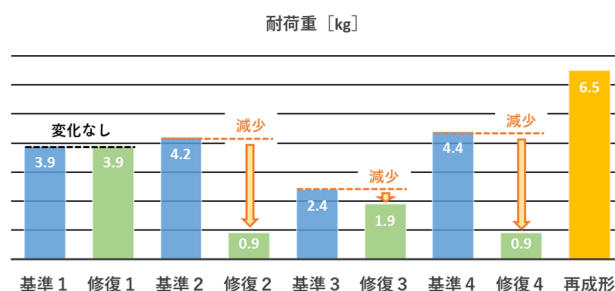


図5 曲げ強度測定結果

（9）考察

基準3の耐荷重が基準1，2，4よりも低下した理由は、固形物の作成ばらつきであり、強度に欠陥のあるサンプルであったと考える。また、修復2～4の耐荷重が低い結果となったことから、本研究の修復方法が適切ではなかったと考える。ただし、修復1の耐荷重は基準1（＝修復前）と同じ耐荷重となったことから、修復方法を改善することができれば修復前と同じ耐荷重を実現することができると考える。

また、再成形の耐荷重が最も高くなった理由として、①再成形の成形方法が、曲げ耐性の高くなる方法

である可能性と②再成形により、曲げ耐性の高い素材に変化している可能性があると考えた。

5 研究3 成形方法に関する追究

今までの研究で自作した固形物の特性研究をした結果、固形物に熱可塑性がないことを確認した。そして、任意の形状に加工する手段として切削加工の適性があることを確認した。この「切削加工」の最大のメリットは精密で複雑な形状に加工ができる点にある。一方で、材料の切削加工により、生産過程で材料の無駄が発生し易いこと、切削加工に時間を要し、大量生産には向かないことがデメリットとなる。そこで、切削可能よりも容易な成形方法について追究をする。今までの研究により、加圧と加熱により固形物をひとまとめにしても、完全乾燥するまでの間、固形物が柔らかい状態であることに気付いた(図6)。そして、この状態の固形物は、型で抜き取ることで成形ができると考え、この検証をした。



図6 乾燥前の固形物

(1) 研究内容

今までの研究で実施してきたレゴブロック®の成形型に固形物を詰める①圧縮成形と固形物を成形型で抜き取る②型抜き成形について、成形する形状を変化させ、加工の容易性と出来栄えについて比較した。

(2) 圧縮成形の確認

以下に、圧縮成形による固形物作成方法の確認手順をしめす。

ア:「4 研究2 固形物の再利用に関する研究(強度比較)」の「(4) 固形物の作成方法1:『基準とする固形物』」に示した手順1~3に従い、スキムミルクと酢をまぜて生成できる乾燥前の素材を用意する。

イ:素材を成形型に入れる。成形型として「棒状」や「板状」よりも複雑な形状である星形のクッキー型を使用した。素材を圧縮するための板は、下敷きをクッキー型に切り抜き重ねて使用した。

ウ:成形型に詰めた素材に圧力を掛ける。図7に素材を加圧する様子をしめす。圧縮用の板に対してできるだけ均一な圧力を掛ける工夫として、箸(使用済で廃棄予定だったもの)を束ねて使用した。



図7 圧縮成形の様子

エ:電子レンジ600Wの加熱(3秒間)と加圧(上記方法)を繰り返し、固形物をひとまとめにする(固形物の粒が無くなり一体化する)。

オ:ひとまとめにした固形物を乾燥させる。

(3) 型抜き成形の確認

以下に、型抜き成形による固形物作成方法の確認手順をしめす。

ア:「4 研究2 固形物の再利用に関する研究(強度比較)」の「(4) 固形物の作成方法1:『基準とする固形物』」に示した手順1~3に従い、スキムミルクと酢をまぜて生成できる乾燥前の素材を用意する。

イ:素材を板状の成形型に入れ、成形する。今までの研究と同様、レゴブロック®を使用し、型(星形のクッキー型)に合わせたサイズに調整した(図8)。

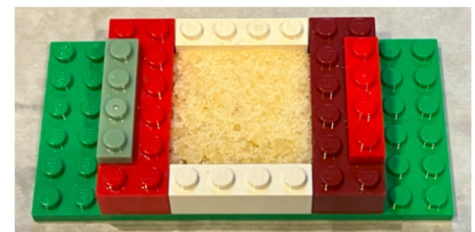


図8 成形の様子

ウ:電子レンジ600Wの加熱(3秒間)と加圧を繰り返し、固形物をひとまとめにする(固形物の粒が無くなり一体化する)。

エ:加熱と加圧により板状になった乾燥前の柔らかい状態の固形物を型で抜き取る(図9)。



図9 型抜き成形の様子

オ：型で抜き取った固形物を乾燥させる。

(4) 研究結果

図10に圧縮成形と型抜き成形の成形結果をしめす。事前に想定したように圧縮成形は、型の形状から固形物のはみ出しが発生し、乾燥による反りも大きくなった。そして、型抜き成形の方が、容易に出来栄の良い固形物となり、加工適性があることを確認できた。

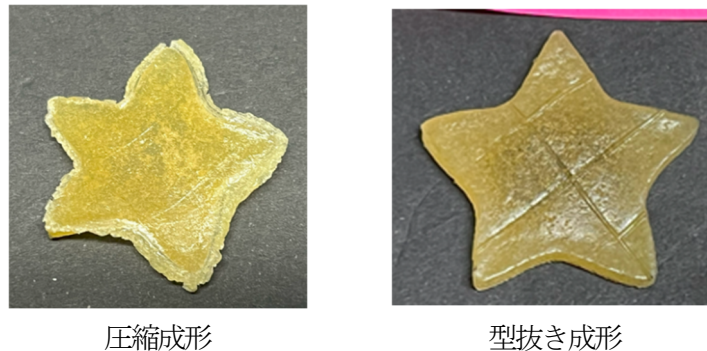


図10 成形結果

(5) 考察

圧縮成形の出来栄が良くなかった原因として、今回用意した成形型において隙間が発生し易いこと、型の狭いところに適切な圧力が掛けられなかったことがあると考える。この課題を解決するためには、精密な成形型を用意する必要があり、結果的に容易な成形が難しい。一方、型抜き成形は、出来栄の良い固形物が容易に作成できることが分かった。このことから切削加工よりも容易で大量生産向けの加工方法であると考ええる。

6 まとめ

スキムミルクと酢で作成する固形物の実用性を追究した結果、以下のことが分かった。

固形物は、水により形状や硬さが変化する。実用性を考えると「箸」の様に水に浸かる環境において、継続的に使用することは困難である。水に触れる使用方法の場合、使用時間の限定される「使い捨て」に利用できる可能性がある。

固形物を一度粉末にして、再成形すると「曲げ強度」を高くすることができた。曲げ強度が高くなる原因は、追究が必要である。

固形物の成形方法として、型抜き成形が可能である。成形手段、条件を追究することで切削加工よりも大量生産に向けた加工方法にできる可能性がある。

7 今後の展望

スキムミルクと酢で作成した固形物の特性調査を継続し、特性を活かせる製品を調査。実用化に向けた研究を今後も追究する。また、牛乳タンパク質（カゼイン）以外のタンパク質を用いて同様の固形物を作成し、特性の違いの有無を調査やタンパク質を混ぜ合わせた時の影響について調査したい。そして、将来的には廃棄食材のタンパク質を利用して作成する固形物の可能性について追究したいと考える。

8 参考情報

※1：樹脂の切削加工 | 加工方法の種類や手順を解説 (<https://koyofirst.jp/resin-cutting/>)