

〈第 33 回 山崎賞〉

ラテックスボールについての研究

静岡県立科学技術高等学校 自然科学部
2 年 山本兼生 稲葉叶多 植野達裕 岡田壮真

1 動機

私たちは小さい頃遊んだスーパーボールがラテックスと酸で作れることをインターネットで知り、製法に興味を持った。調べたところ、ラテックスはゴムの木のような植物から採れる白い乳状の物質で、成分は水、ゴム炭化水素(ポリイソプレン)、タンパク質、糖などが含まれたコロイドであることがわかった。そこで、コロイドの特徴を生かし、製法を変えてラテックスボールができるのか、またできたボールを落とした時の飛び跳ねる高さが違うのか調べてみようと考えた。

2 目的

- (1) ラテックスボールのよく飛び跳ねる条件の検証をする。
- (2) ラテックスボールの生成の仕方(酸による)を調べる。

3 測定方法

実験 1. 2. 4. 5 で作成したラテックスボールについて以下の 5 項目を計測した。

- (1) 質量・・電子天秤でラテックスボールの質量を測定した。
- (2) 直径・・電子ノギスを用いてラテックスボールの直径を測定した。
- (3) 体積・・メスシリンダーに適量の水を入れ、その中にラテックスボールを入れ、増えた水の量を測定し体積とした
- (4) ボールの飛んだ高さ

実験室の台上 30cm の高さからラテックスボールを静かに落とし、ボールの飛び上がった高さをハイスピードカメラを用いて撮影し計測した。各ボールについて撮影できた 10 回のデータを用いボールの飛んだ高さとし、反発係数を算出した。

(5) 弾性率

アクリルパイプにスケールを張り、中にラテックスボールを入れ、その上にピストンをのせ(0.125g)、ピストンの上のおもりを増やしていき(0.2kg, 0.5kg, 0.7kg, 1.0kg, 1.5kg)、それぞれ縮んだボールの直径を測定した。

(5) の値をもとに横軸にラテックスボールの直径、縦軸にピストンと重りの合計(重さ)をとり、近似線を求めた。近似線の y 切片の値が、ラテックスボールの直径が理論上 0 になる時の重さと考え、その値をラテックスボールの赤道面の面積で割り、単位面積当たりの圧縮弾性率とした。

4 実験 1 酸によるラテックスボールの作成

(1) 実験方法

- ア ラテックス 2.5g の入ったビーカーに水 10mL を加える。
- イ アのビーカーに 0.3mol/L のクエン酸を 20mL 加え、よく攪拌する。
- ウ ラテックスが固まったら丸く成形する。これを 5 個作成する。
- エ 塩酸、酢酸も同様にア～ウを行う。計 15 個作成。

(2) 結果及び考察

図1は横軸に、クエン酸、塩酸、酢酸ボール計15個の飛んだ高さ、反発係数、図2は密度と反発係数、図3は圧縮弾性率と反発係数のグラフを表している。3種類の酸を用いた反発係数が同じだったため、酸の種類によらない。密度が大きい方がボールがつぶれにくくなる

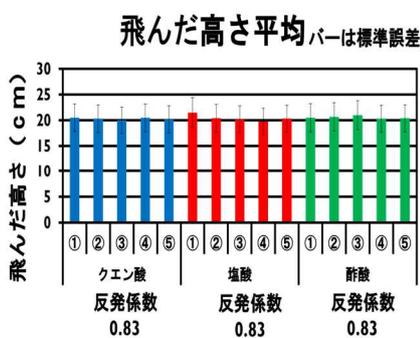


図1 飛んだ高さの平均

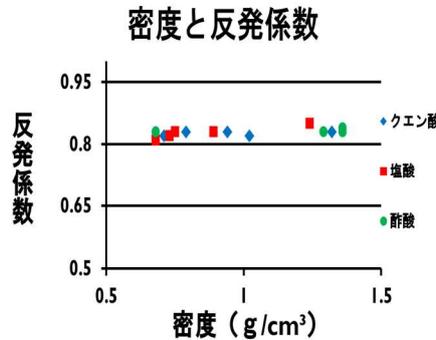


図2 密度と反発係数

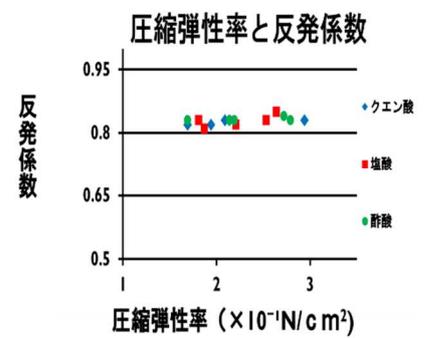


図3 圧縮弾性率と反発係数

5 実験2 塩析によるラテックスボールの作成

(1) 実験方法

- ア ラテックス 2.5g の入ったビーカーに水 10ml を加える。
 - イ アのビーカーに 0.3mol/L の NaCl を 20ml 加え、よく攪拌する。
 - ウ ラテックスが固まったら丸く成形し、ボールを作る。これを 5 個作成する。
 - エ MgCl₂、MgSO₄ も同様にア～ウを行う。計 15 個作成。
- ※NaCl は 0.3mol/L で塩析しなかったため飽和状態で作成した。

(2) 結果及び考察

図4はNaCl、MgCl₂、MgSO₄計15個のボールの飛んだ高さ、反発係数、図5は密度と反発係数、図6圧縮弾性率と反発係数のグラフ。塩析によるボールの作成は塩の違いにより、反発係数が異なり、密度と圧縮弾性率、反発係数の相関が見られず、その理由を調べるため実験3を行った。

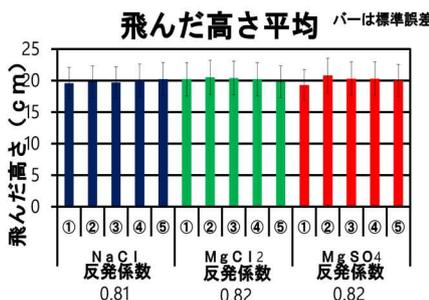


図4 飛んだ高さ平均

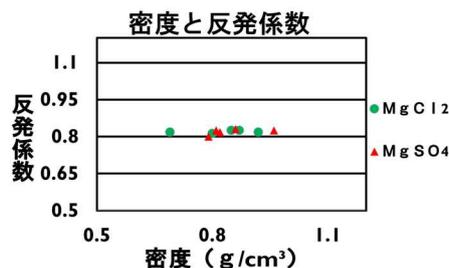


図5 密度と反発係数

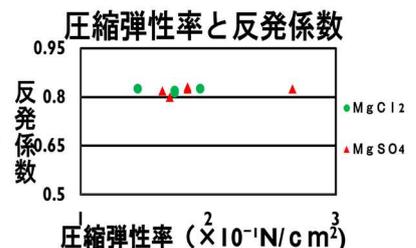


図6 圧縮弾性率と反発係数

- 6 実験3 電子顕微鏡によるラテックスボールの表面および内部断面の観察
 (1) 塩析、酸により作成したボール内部を電子顕微鏡により撮影した
 (2) 結果及び考察

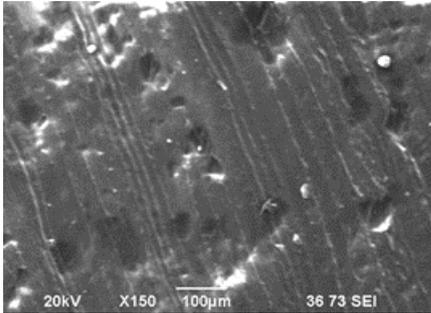


図6 クエン酸 中 150倍
酸と比べ、塩析ではボール内部に大きな裂け目の様な孔が見られた。(図6、7)

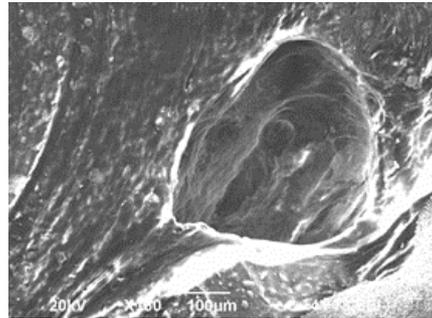


図7 MgCl₂ 中 150倍

- 7 実験4 ラテックス量を変えて作成したボールの飛んだ高さの比較

実験方法

ラテックスをビーカーに2.5g、5.0g、7.5g 入れ各水10ml を入れたものを各5個用意しクエン酸溶液0.3mol/L をそれぞれ20mL、40mL、60mL 加えてボールを作り3日後にボールの測定をした。

- 実験5 経過日数を変えて作成したボールの飛んだ高さの比較

実験方法

(1) 実験4 で用いたボールを25日後に測定した。

(2) 実験4、5の結果及び考察

2.5g は経過により飛ぶ高さが増加した。5.0g は経過により飛ぶ高さは増加したが増加の度合いは2.5g に対して小さい。7.5g は経過により増加した。全てにおいて3日後より25日後の方が反発係数は大きくなっている。

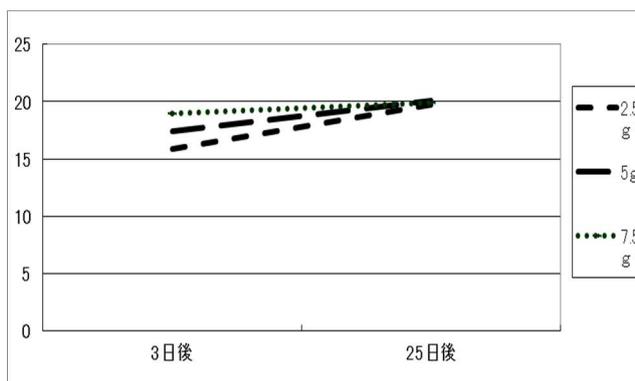


図8 2.5g、5.0g、7.5g 3日後、25日後の飛んだ高さ

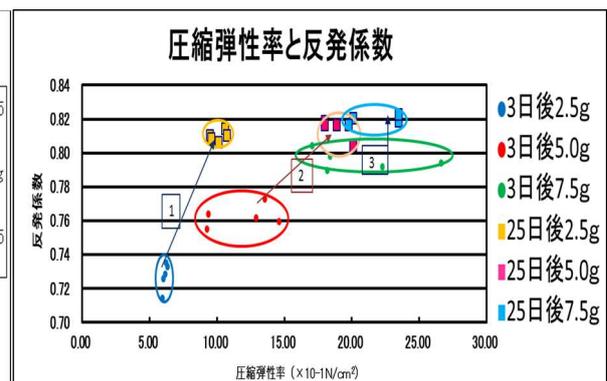


図9 圧縮弾性率と反発係数

図9は横軸が圧縮弾性率、縦軸が反発係数のグラフである。①は2.5gのラテックスボール3日後から25日後の反発係数の変化である。②は5.0gの3日後から25日後の変化、③は7.5gの3日後から25日後の変化を表す。圧縮弾性率、反発係数ともに①、②で増加し、③は変わらなかった。その理由として③は25日後までに水分が大きく減少した。ボール内部のコロイド粒子に水和していた水分が乾燥により抜けた所が空気としてボール内部に閉じ込められ、密度は減少したものの圧縮弾性率が3日後と25日後で大きく変化せず反発係数が変わらないという結果になったと考えられる。

8 実験6 ラテックスが固まった pH の測定

(1) 実験方法 (酸で作成したラテックスボールでのみ実験した。)

- ア ラテックス 2.5 g の入ったビーカーに水 10ml を加える。
- イ アのビーカーに pH メーターを入れ、クエン酸を少しずつ滴定していく。
- ウ ラテックスが固まり始めたら pH を測定する。
- エ 塩酸、酢酸も同様に行う。

(2) 実験結果及び考察

図10は、横軸に加えた酸の溶液の体積を、縦軸に pH を表したグラフである。塩酸は少し加えた瞬間、加えた部分が固まりだし、pH7.13 でほぼ固まり、pH1.79 で完全に固まった。クエン酸も同様で加え始めから少し固まりだし、pH4.0 で完全に固まった。酢酸はあまり固まりが見られず固体と液体が入り混じったような状態だった pH4.1~pH4.5 がラテックスの固まる pH だと考えた。塩酸、クエン酸での急激な変化が見られた理由として、塩酸は強酸だからまたクエン酸は弱酸だが3価の酸だからと考えられる。

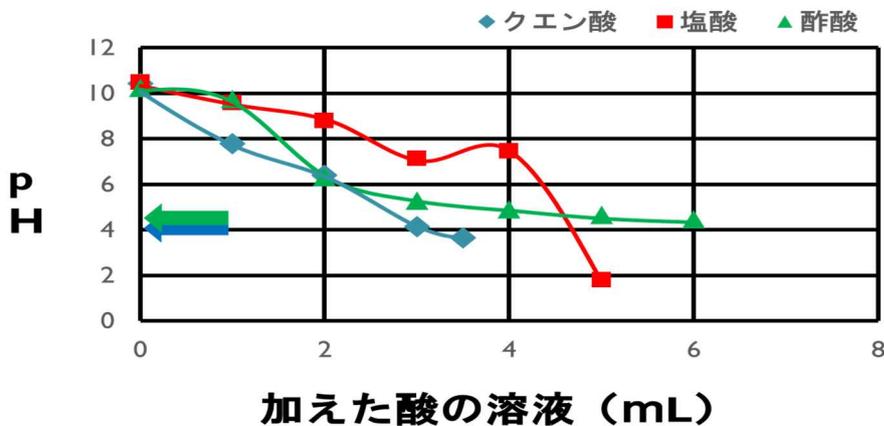


図10 ラテックスの固まった pH の測定

9 実験7 ラテックスの等電点の測定

酢酸により、ラテックス液の pH をゆっくり下げていった時、ラテックスが固まるのが酸による変性ではなく等電点沈殿だとすると、ラテックスを希釈して酢酸を加え続けた時、等電点をこえて pH をさらに下げればラテックス液が固まらない状態が見られるはずである。確かめるために以下の実験をおこなった。

(1) 実験方法

- ア ラテックスに水 200mL 加え、ラテックスボール作成時より希釈しコロイド粒子同士が凝集しにくい状態にしたものを 15 個用意する。
- イ ビーカーに 0.3mol/L の酢酸 (1mL、2mL、~15mL) を加え、よく攪拌する
- ウ 漏斗でろ過し、固まったラテックスの質量とろ液の pH を測定する。

(2) 結果及び考察

酢酸を 6 mL (pH 4.38) 加えるまでは固まりは見られなかったが、7 mL (pH4.3) 固まりだした。このことからラテックスのコロイドの等電点は pH4.3 と推定できる。酢酸を加えていくとゲル状になったのは、等電点の付近でゆっくり等電点沈殿したためだと考えた。

10 全体考察

- ・ラテックスがコロイドであるという特徴により、酸を加える方法、さらに塩析による方法でも作成できることがわかった。
- ・酸はクエン酸や塩酸、酢酸のような、作成したボールの反発係数は酸の種類(クエン酸、塩酸、酢酸)により左右されないが、塩析では塩の水和力が違うため塩の種類により、違いがあった。
- ・酸によるラテックスボールの特徴として反発係数、密度、圧縮弾性率各 3 つの相関)によりボールがつぶれにくいほうが(圧縮弾性率大)密度が大きく、よく飛ぶことが分かった。
- ・塩析による方法は上記の特徴が見られなかった。その理由として下記のような、ボールのでき方の違いにあると言える。
- ・酸による作成は pH の急激な変化(低下)による変性や等電点 pH4.3 付近でコロイド粒子が反発力を失って凝集する等電点沈殿によるが、塩析では塩がコロイドの水和水や溶媒としての水を奪うため水に溶けきれなくなったラテックス粒子が塩の溶液とともに析出したと考えられる。そのため、ラテックスボールの内部に塩の溶液のあった部分が、乾燥してできた孔部分が酸に比べて大きく、そのことが原因と考えられる。
- ・ラテックスの量を増やすと作った直後は、飛ぶ高さは高くなるが、経過日数が増えるとどれも高く飛ぶが、ラテックスの量が少ない方がより大きく増加し、結果的に変わらなくなる。

11 反省と課題

ボールを手で形成したので完全な球にするのが難しくそのためボールを落下し真上に飛びあげるのが難しかった。ボールの成形方法を工夫し球形度の高いボールを作成する方法を考える。

12 参考文献

- (1) ケニス株式会社 ☆手作りスーパーボールを作ろう！
<https://www.youtube.com/watch?v=nVWbWKNy4GM>
- (2) 天然ゴム；一口メモ mh.rgr.jp/memo/mq0135.htm

