

フーセンガムの変形測定法「膨張試験」の確立とその実践

牧野 舜 青山 咲穂 浅野間 遼輔 佐藤 夢起 山本 真裕
兵庫県立神戸高等学校 総合理学科2年

ガムの変形を定量的に測定する方法は確立されていない。そこで、私たちはサイフォンの原理を利用してガム膜の膨らみを定量的に測定することにした。しかし、この方法は実際に測定するには欠点が多すぎた。そこで、ピストンを2つ合わせたようなピストン装置を自作し、モーターで動かして、ガム膜に空気を送り込むことにした。また、ガム膜の膨らんだ部分の高さの変位と自作の圧力計の水面下降の変位を測り、時間ごとのガム膜の膨らんだ部分の面積変化とガム膜内の圧力変化の関係をグラフにする。(データの解析が最後まで終わらなかったため、この論文では一部のデータの結果を載せている。その他のデータはパワーポイントやポスターでは説明する予定である。)

1. はじめに

ガムは商品の種類によって膨らみややすさが異なる。それは、ガムベースに含まれる、酢酸ビニル・エステルガム・チクルの配合割合が異なるからである。また、企業ではその膨らみややすさの試験は人間の口によって行われており、ガムの変形を定量的に測定する方法は確立されていない。^[1]

2. 研究の動機と目的

2.1. 研究の動機

ガムベースの酢酸エチル・エステルガム・チクルの配合割合を変えることにより、最もよく膨らむフーセンガムを作ろうと考えた。しかし、ガムの膨らみを定量的に測定する方法が確立されていないと知った。そこで、フーセンガムの変形測定法「膨張試験」を確立し、実際に既製のフーセンガムとフーセンガムでないガム(以下「ガム」とは「既製のフーセンガムとフーセンガムでないガム」を指すとす)数種類の膨らみを測定することにした。

2.2. 研究の目的

ガムの変形測定法「膨張試験」を確立する。その後、ガム数種類で実際に実験し、膨らんだガム膜の表面積と圧力を測定する。この結果を、人間が同じガムを噛んだときの「膨らみやすい」という感覚と比較し、人間が「膨らみやすい」と感じるガムの変形の特徴を見つける。

3. 案① サイフォンの原理を使った方法

3.1. サイフォンの原理とは

一般的に、サイフォンの原理とは、液体が出発点から到着点までの間を、出発点より高い地点を通過しながら移動するための原理のことである^[2]。私た

ちはこの原理を上下を逆さにしたような装置で実験した。(図1)

3.2. 準備物

- パイプ(透明)
- ゴム栓
- ゴムチューブ
- 離型剤(ガムを膜にしたり固定したりするときに接地面につかないようにするスプレー)
- カメラ
- 定規
- スタンド
- ガム膜形成器具一式^{※1}
- ガム膜固定器具一式^{※2}
- ガム数種類

※1 5「ガム膜の形成方法」参照

※2 6「ガム膜の固定方法」参照

3.3. 実験方法

1. ガム膜を形成する^{※3}。
2. パイプ、ゴム栓、ゴムチューブ、定規を図1のようにスタンドに固定する。また、下側の透明なパイプに一杯まで水を入れる。
3. 定規とガムの真正面にカメラを固定する。
4. ガム膜をガム膜固定器具に固定する^{※4}。
5. ガム膜を挟んだガム膜固定器具を水が入っていない側のパイプに取り付ける。
6. ガム膜固定器具がついていない側のパイプを素早く上に上げる。
7. 動画を解析し、ガム膜が破れた時点の水の流入量とガム膜の膨らんだ高さを測定する。

※3 5「ガム膜の形成方法」参照

※4 6「ガム膜の固定方法」参照

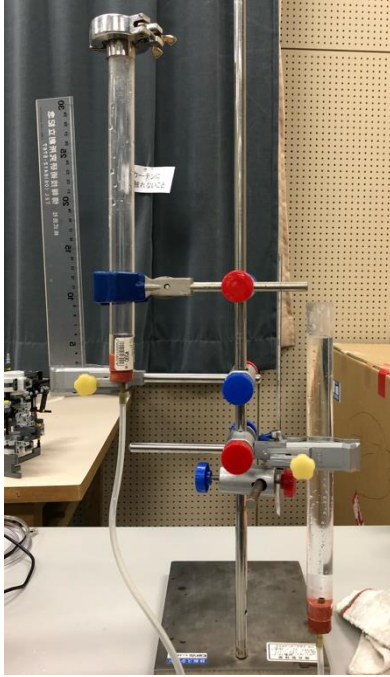


図1 案①の実験装置

3.4. 案①の長所

- 実験装置が簡素である。

3.5. 案①の短所

- ガム膜がどこで「破れた」と言えるのかが不明瞭である。
- パイプの体積より多い分量の空気がガム膜に送り込めない。
- 空気の流入速度が調節しづらい。

3.6. 考察

短所が多く、方法案①では正しい実験結果が得づらいと考えた。そこで、方法案②を考案した。

4. 方法案② 静水圧を使った方法

4.1. 準備物

- 自作のピストン装置（図2）
- パイプ（透明）
- ゴムチューブ
- ゴム栓
- 逆止弁
- スタンド
- 定規
- カメラ
- ガム膜形成器具一式
- ガム膜固定器具一式
- ガム数種類



図2 ピストン装置

ピストンを2つつなげ、クランク機構によってモーターの円運動を直線運動に変換して動かす。また、ピストンの両方の先端にはそれぞれ逆止弁をつけて、ピストンから押し出す方向にしか空気を送ることができないようにする。

4.2. 予備実験の目的と仮説

実際に本実験を試したところ、圧力計の水面の再上昇とガム膜が破れるタイミングにズレが生じた。水面が上昇しているのにガム膜が膨らみ続けていることに疑問を感じ、原因を探ることにした。

✓ 仮説1

ガム膜内の圧力よりも圧力計の水による圧力が勝り、空気が圧力計から逆流した。

✓ 仮説2

ガム膜が破れたことによる空気の流入量よりも、ポンプの送り込む空気量が多かった。

4.3. 予備実験方法

1. ガム膜を形成する。
2. ピストン装置、パイプ、ゴムチューブ、ゴム栓、逆止弁、定規、カメラを図3のようにスタンドに固定する。
3. 圧力計のパイプに一杯まで水を入れる。
4. ガム膜をガム膜固定器具に固定する。
5. ガム膜を挟んだガム固定具をスタンドに取り付ける。
6. ピストン装置を動かし、ガム膜に空気を送り込む。
7. 圧力計の水面の下降が止まったらピストン装置を止め、ガムの変形を見る。
8. 少ししてから再びピストン装置を動かす。

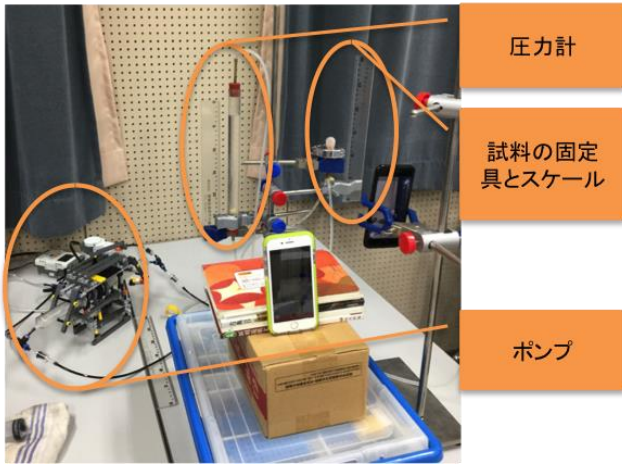


図3 案②の実験装置

手前のスタンドには、奥のスタンドのパイプ（圧力計のパイプ）より高い位置にもう1本パイプを設置している。

4.4. 予備実験結果

行った6回の実験全てで、ピストン装置を止めるとガム膜はしぼみ始め、その後再びピストン装置を動かしても、ガム膜は膨らまなかった。

4.5. 予備実験考察

結果より、水面の下降が止まった時点で、ガムが破れたと言える。よって、圧力計からの空気の流入がないことが確認され、目に見えて明らかな破れ方だけではなく、小さな穴が空くわかりにくい破れ方もあることがわかった。したがって、仮説2が正しいと言える。また、ガム膜が破れた時点での空気の流入量は水面が最も低くなったところを測定することで得られることがわかる。

4.6. 本実験方法

1. ガム膜を形成する。
2. ピストン装置、パイプ、ゴムチューブ、ゴム栓、逆止弁、定規、カメラを図3のようにスタンドに固定する。
3. 圧力計のパイプに一杯まで水を入れる。
4. ガム膜をガム膜固定器具に固定する。
5. ガム膜を挟んだガム固定具を水が入っていない側のパイプに取り付ける。
6. ピストン装置を動かし、ガム膜に空気を送り込む。
7. 動画を解析^{※4}し、ガム膜が破れた時点でのガム膜内の圧力と、膨らんだガム膜の面積変化を測定し、グラフにする。

※4 解析の方法

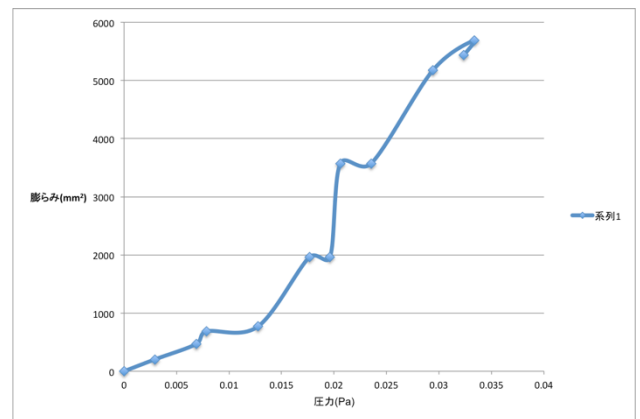
- ①ガムの大きさの変化と水面下降の様子をそれぞれ段階ごとに静止画にする。
- ②時間ごとの水面下降の変位をスケールのメモリか

ら読み取る。

- ③②の変位から膨らんだガム膜内の圧力を計算する。
- ④時間ごとのガム膜が膨らんだ高さをスケールから読み取る。
- ⑤ガム膜の膨らんだ部分を球の一部とみなし、ガム膜が膨らんだ高さでガム膜への空気流入口の大きさから面積変化を計算する。
- ⑥③と⑤のデータから、時間ごとの膨らんだガム膜内の圧力変化とガム膜の面積変化をグラフにする。

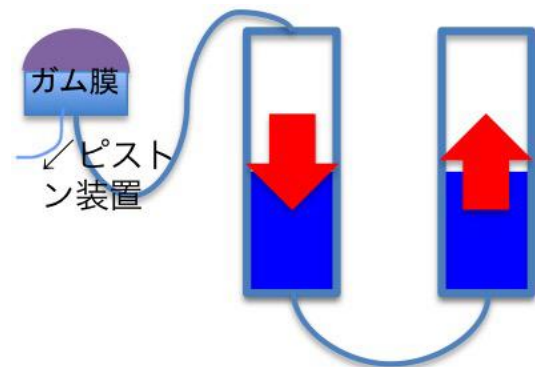
4.7. 本実験結果

ガムベースの圧力と膨らみの関係



4.8. 本研究で使用している圧力計について

本研究では、静水圧を利用した圧力計を用いている。ポンプを動かした際にガム膜によって加えられる圧力で水面の位置が変化し、その水面差を利用して、圧力を計算することができる。



5. ガム膜の形成方法

5.1. 準備物（ガム膜形成器具一式）

- 下敷き
- クッキングシート
- 離型剤
- 麺棒
- 湯沸かし器
- 耐熱容器
- カッター
- カッターマット

5.2. ガム膜の形成方法

1. 実験室の室温を $19.0^{\circ}\text{C} \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ に保つ。
2. クッキングシートに離型剤をかける。
3. 耐熱容器に 40.0°C の湯を入れ、その中で3分間ガムを練る^{※5}。
4. 下敷き2枚の間にクッキングシートで軽く挟んだガムを置き、麺棒で下敷きの薄さに伸ばす。
5. カッターで4のガム膜を約2.3cm四方の正方形に切り分ける。
6. 5のガム膜を 37°C の湯につけておく。
7. 実験直前に6のガム膜をもう一度麺棒で下敷きの薄さに伸ばす。(湯につけておくと縮むため。)

※6 練り方

ガムを押しつぶす→2回折りたたむ→ガムを押しつぶす→2回折りたたむ→…を3分間繰り返す。また、ガムを練る担当の人を1人に決める。

5.3. 温度を一定に保つ理由

ガムは人間の体温である、約 37°C で一番良く膨らむようになっていることがわかった。というのは、約 60°C の湯の中でガムを練ったところ、スライムのような流体になり、約 20°C の水の中で練ったガムを膨張試験器で膨らませようとしても膨らまなかったからである。

6. ガム膜の固定方法

6.1. 準備物 (ガム膜固定器具一式)

- 自作のガム膜固定器具

6.2. 自作のガム膜固定器具について



図5 ガム膜固定具

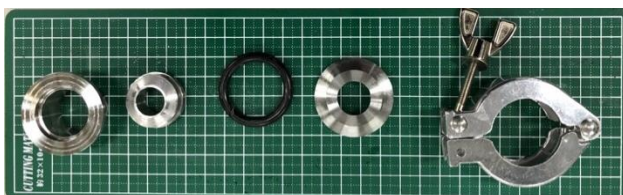


図6 ガム膜固定具の各パーツ

左のパーツから順番に上に重ねていき、一番右の

パーツで重ねたものを固定する。

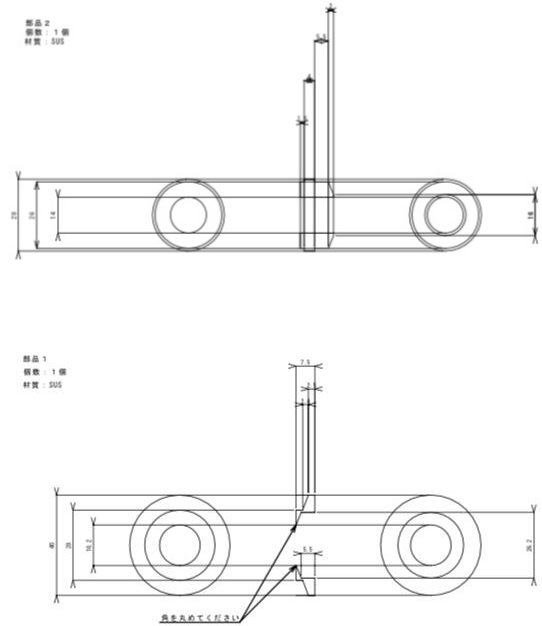


図7 ガム膜固定器具の製作図面

7. 今後の展望

今回はガムを膨らませたが、この実験装置を応用して風船やシャボン玉を膨らませてみたい。また、「よく膨らむ」の定義がわかっていないので調べてみたい。

8. おわりに

貴重な意見をくださった先生方、先輩方、サイエンスアドバイザーの皆様、丸川製菓株式会社様、ガム膜固定器具を作ってくださった株式会社旭工業所竹山雅義様、ガムベースをくださった富士ケミカル株式会社顧問中山博様のご協力は私たちの研究には欠かせないものでした。本当にありがとうございました。

[参考会社・参考URL]

[1] 丸川製菓株式会社様

[2] <https://www.olivehitomawashi.com/column/2018/03/post-1350.html>

[3] 製作:株式会社旭工業所様