

# 空飛ぶ目玉焼き

チーム名 高専E☆girls

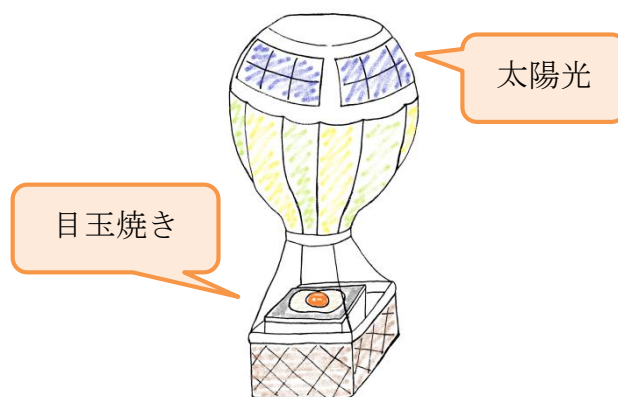
茨城工業高等専門学校電気電子システム工学科

我妻瞳、石井晴乃、植前美紀、加藤美夕、熊谷ひかる、西丸真生、佐藤汐莉、関根喜涼、高野さつき、根本瑞希、山口英莉、横須賀歩 ※五十音順、下線は代表者を示す

## 1. 背景

本実験では、科学技術を楽しく学び、またその成果を面白く表現することを目的として、自己発電で空を飛ぶ目玉焼き気球を制作する（図1参照）。

太陽光発電技術の進歩は目覚ましく、近年ではシート状の太陽光発電モジュールも実用化されている。その重量は $1\text{m}^2$ あたり約 $1\text{kg}$ と軽量であり、これを気球の球皮の一部に使用することで、自己発電しながら飛行可能な気球を製作できるのではないかと考えた。また大気的气温は一般に高度が増すほどに気温が低下することから、この自己発電気球の製作・飛行実験を通して太陽光発電の発電効率の温度依存性も計測できる。気球を飛ばす仕組みとしては、発電した電気を熱に変換し、球皮内の空気を暖めて上昇気流を発生させる、熱気球と同様の機構を検討している。この際、ただ単に電気を熱にして気球を飛ばすだけでは面白くないので、同時に目玉焼きも焼きたいと考えた。飛行実験終了時に美味しい目玉焼きも出来上がる、楽しくて美味しい実験を目指したい。



## 2. 目的

気球を飛ばして、飛行実験終了時に目玉焼きができるようにする。

### 3. 基礎実験

#### 3-1 目玉焼きを焼いてみる

##### 3-1-1 ホットプレート

ホットプレートを用いて気球に取り付けて飛ばす目玉焼きの最適な焼き方を見つける。

##### 使用器具

- ・ I Hホットヒーター ・ 電熱器 ・ サーモカメラ
- ・ フライパン ・ 市販の鶏の卵 ・ 温度計 ・ 各種調味料

##### 方法

実験 1 : フライパンに卵を落とし、I Hヒーターを使って中火で焼いてみる。

実験 2 : 50 ml の水を入れた状態でアルミホイルのふたをし、中火で焼いてみる。

実験 3 : 実験 2 の水の量を 10 ml にして焼いてみる。

実験 4 : 実験 2 の水の量を 15 ml にして焼いてみる。

実験 5 : 実験 4 のヒーターの温度を弱火にして焼いてみる。

実験 6 : 実験 4 のヒーターの温度を強火にして焼いてみる。

実験 7 : 実験室の電気ヒーターの温度を変化させて焼いてみる。なお、フライパンが 75℃ の時に卵、水を入れてふたをする。

##### 結果

##### 実験 1

白身が先に焦げてしまったが、黄身に火が通らなかった。



##### 実験 2

1 分後確認したが、白身に火が通っておらず、黄身は少し火が通った程度で、水が多すぎて焼いているというより茹でている状態だった。

### 実験 3

表 1 : 実験 3 の目玉焼きの様子

	白身の状態	黄身の状態
1分後	固まっていない	固まっていない
2分後	固まってきた	固まっていない
3分後	大方固まった	固まっていない
4分後	白身の端が焦げ始める	固まらない
5分後	変化なし (大体ちょうど良い硬さ)	固まっていない
6分後	変化なし	表面が固まってきた
7分後	変化なし	変化なし
8分後	変化なし	変化なし
10分後	更に焦げ始める	表面が完全に固まるが、内部は固まっていない
12分後	変化なし	内部にも完全に火が通る

この実験では1分ごとにふたを開けて確認したため、ふたの意味がなかった可能性があった。

### 実験 4

実験 3 の反省を踏まえ、5分後にふたを開けて目玉焼きを確認した。白身も黄身も最適な硬さに焼けていた。

### 実験 5

5分毎にふたを開けて確認した。

表 2 : 実験 5 の目玉焼きの様子

	白身の状態	黄身の状態
5分30秒後	大方固まる	固まっていない
10分後	完全に固まる	半熟

表 2 より、弱火ならば10分程度で目玉焼きが焼けることが分かった。

## 実験 6

強火で行っているなので3分後に確認し、黄身にしっかり火が通るまで調べた。

表 3 実験 6 の目玉焼きの様子

	白身の状態	黄身の状態
3分後	大方固まる	半熟
4分後	完全に固まる	半熟（3分後より固まっている）
5分後	端が少し焦げている	しっかりと火が通る

表 3 より、強火で焼くと弱火の時よりも短時間で終わる代わりに焦げてしまった。

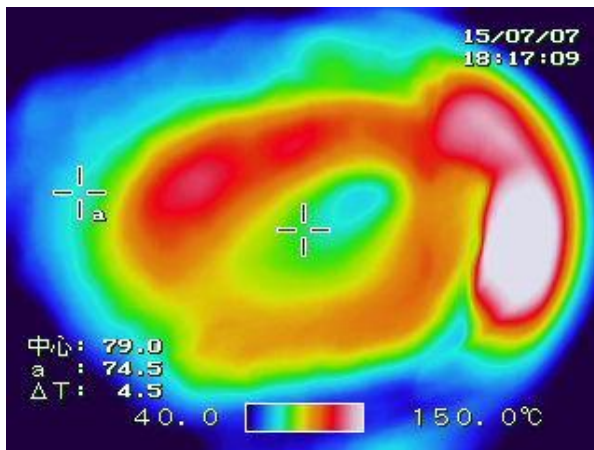
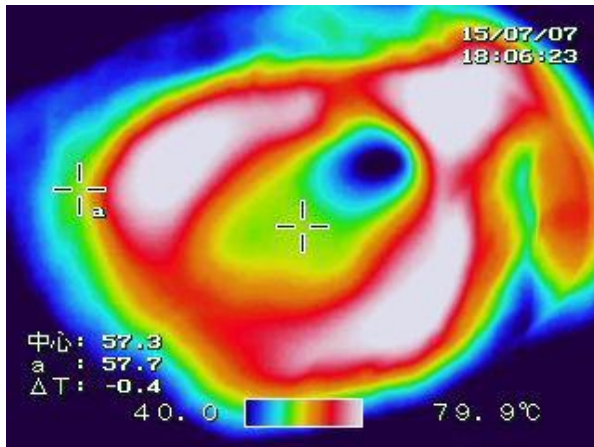


## 実験 7

表 4 実験 7 の目玉焼きの様子

	白身の状態	黄身の状態
100℃	固まっていない	固まっていない
105℃	固まってきた	固まっていない
133℃	端に気泡が表れ、ふっふつとしている。 表面は固まっていた	固まっていない
156℃	大方固まったが、黄身の近くは火が通 っていない	固まっていない
160℃	固まった	表面層は固まっていたが、中心部分は 固まっていない

160℃まで確認したが目玉焼きは適度な固さまで固まらなかった。



目玉焼きは中火で15mlの水を入れ、ふたをして5分間焼くと最適な固さになることが分かった。また、目玉焼きを食べた感想として、長時間焼かれた目玉焼きはあまりおいしくない事も判明した。味の面からも上記の方法で焼くことが最適である。次の実験の課題としては、ある程度高火力にならないと食べられるものにならないため気球に乗せるときに燃料の問題と重さの問題があることである。よって何らかの方法で熱を集める事を検討していきたい。

なお、実験で焼けた全ての目玉焼きは私たち実験者によっておいしくいただいた。

### 3-1-2 太陽光

太陽の光のみで目玉焼きが焼けるか否か、また太陽光の熱の温まり方を調べる。

使用器具

- ・うずらの卵
- ・サーモカメラ
- ・アルミホイル
- ・温度・湿度計

方法

アルミホイルで大・小の2の器を作り、その器にそれぞれうずらの卵を割り、太陽光の下に置く。5分おきに、気温と湿度、気圧、天候、うずらの卵の様子を記録し、サーモカメラで温度の分布をみる。



大きい器

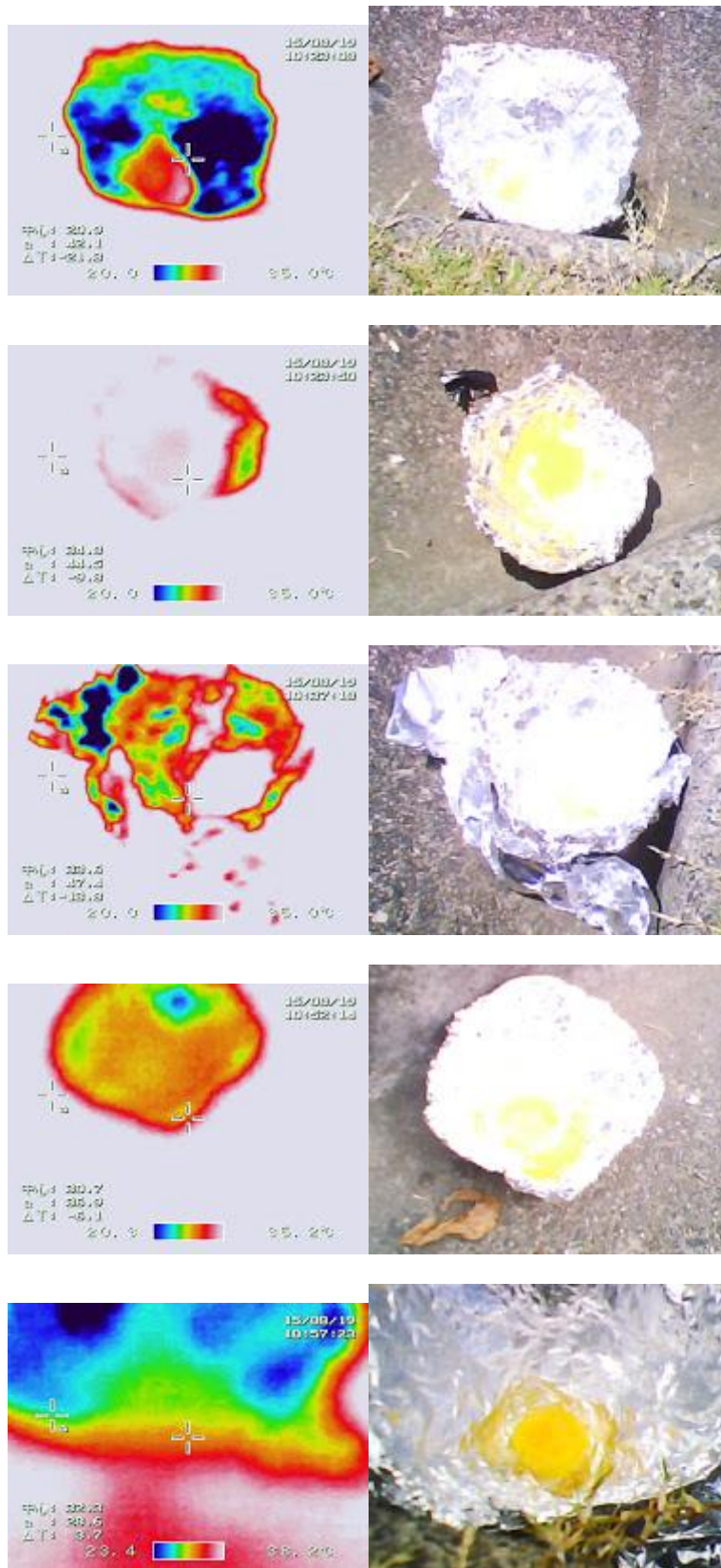
小さい器

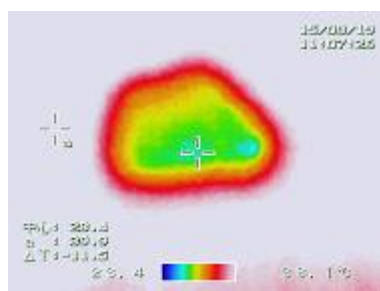
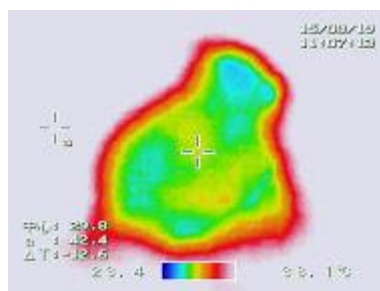
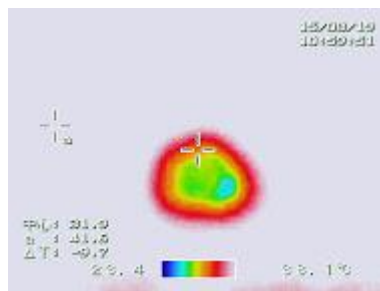
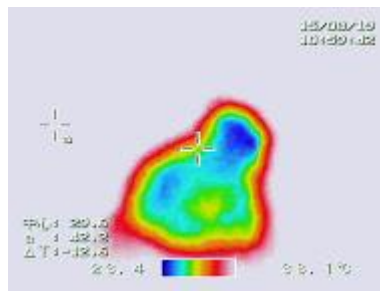
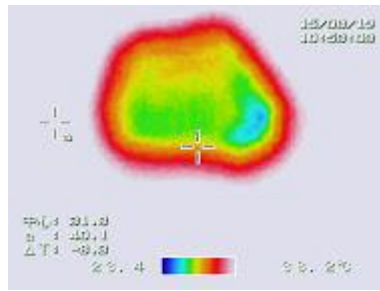
表5のような測定結果となった。

表5 各測定結果

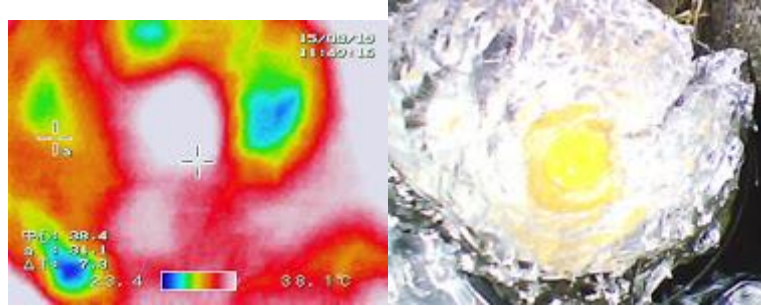
時間 [分]	気温 [°C]	湿度 [%]	気圧 [hPa]	天候 [風の強さ]	うずらの卵の様子 1 (大きい器) 2 (小さい器)
0	38.5	42	1013.5	晴れ (弱)	1・2とも変化なし
5	40.0	36	1013.5	晴れ (弱)	1・2とも変化なし
15	41.0	32	1013.5	晴れ (弱)	1・2とも変化なし
20	41.0	32	1013.5	晴れ (強)	1・2とも変化なし
25	42.5	34	1013.5	晴れ (強)	1 表面に変化 2 変化なし
30	43.5	31	1013.5	晴れ (弱)	1・2とも変化なし
35	39.5	40	1013.5	日差し (弱)	1 黄身がしわしわになった 2 変化なし
40	35.0	47	1013.5	曇り	1・2とも変化なし
45	34.0	48	1013.5	曇り	1・2とも変化なし
50	34.5	48	1013.5	日差し	1・2とも変化なし
55	34.0	48	1013.5	曇り (弱)	1・2とも変化なし
60	34.0	50	1013.6	曇り (強)	1・2とも変化なし

サーモカメラによる記録









太陽光だけでは、うずらの卵を焼くことができる程の熱（火力）が集まらなかった。目玉焼きを作るためには、太陽光の他に固形燃料などを用いて火力を強める必要があることが分かった。

### 3-1-3 固形燃料

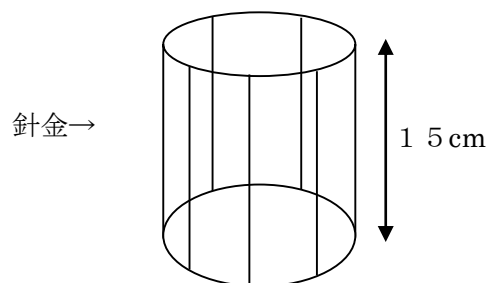
目玉焼き(うずら)ができあがる時間を計測し、固形燃料のサイズがどれぐらい必要か、安全に焼くためにはどうすれば良いかを調べる。

#### 使用器具

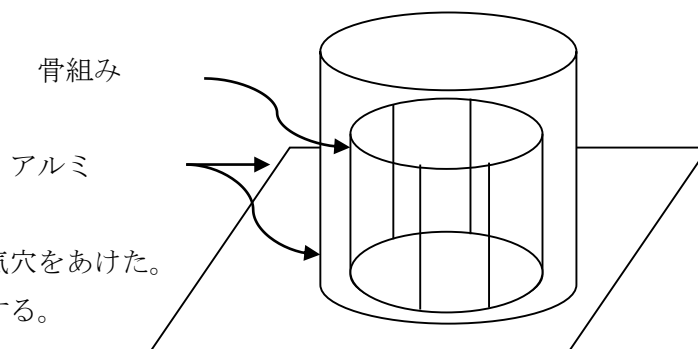
- ・固形燃料 1個30g
- ・カルメ焼き器
- ・ストップウォッチ
- ・アルミ製のふた

#### 方法

- ① カルメ焼き器にうずらの卵を入れて、アルミのふたをかぶせる。
- ② 針金で作った台にカルメ焼き器をのせ、下に固形燃料を入れて火をつける。



上図のような骨組み(針金)だけのものでは、5分ぐらいで白身が固まり始め、10分で完全に白身が固まった。しかし、実際に気球に取り付けるとなると火が危ないため、周りをアルミで作った筒の中に骨組みを入れて実験をしてみることにした。



- ・アルミの筒には上下に空気穴をあけた。
- ・先ほどと同じ手順で実験する。

空気の循環が良すぎて1個の固形燃料でも、高火力で危険だとわかったため固形燃料を1/4, 1/8の大きさにして実験してみる。

☆固形燃料を1/4の大きさにしたところ、

卵の様子 焦げ始め、黄身が膨れ上がった。

☆固形燃料を1/8の大きさにしたところ、

燃焼時間 4分35秒

卵の様子 焦げていない、黄身までしっかりと火が通っている。

固形燃料の大きさは1/8で丁度良いということがわかった。

### 3-1-4 器の材質選び

卵を焼く(目玉焼き)最適な容器の材質を調べるために、4つの金属の中で、軽量かつ温まりやすいものを調べる。

#### 使用器具

- ・電熱器 300W
  - ・温度計・電子天秤
  - ・金属板(銅・アルミ・真鍮・ステンレス)
- 大きさはすべて、2.0×100×100mm

#### 方法

- ① 4つの金属板の質量を電子天秤で計測する。
- ② 金属板を電熱器で温め、1分ごとに温度を計測する。200℃を超えたら終了。

#### 結果

①

銅板 [g]	アルミ板 [g]	真鍮板 [g]	ステンレス板 [g]
176	53	170	152

②

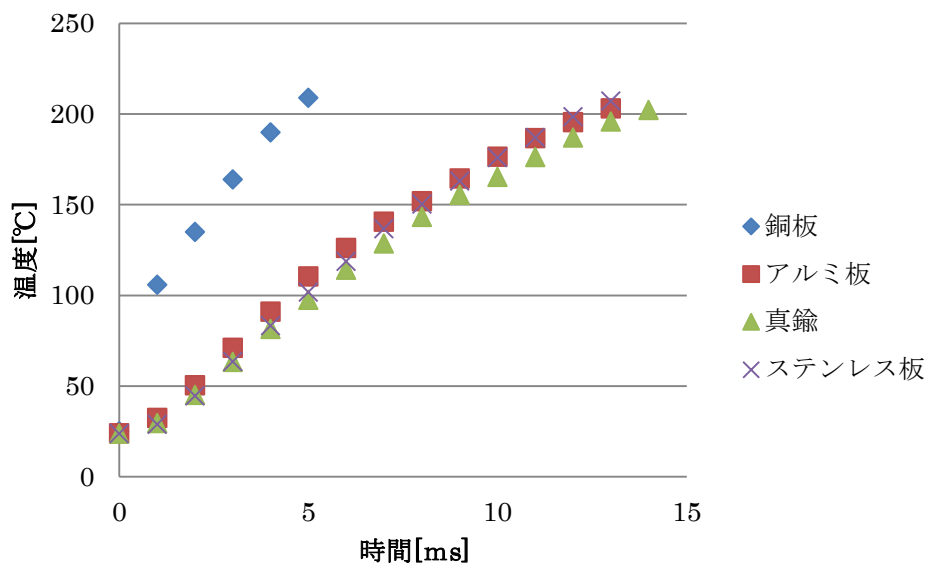


図1 金属板の温まり方

軽量なものとしてはアルミ板が一番良かったが、目玉焼きを焼くための熱としては不十分だと判断した。グラフからわかるように4つの金属板の中で一番温まった銅板が約10分で200℃をこえた。そのため、気球が飛んでいる間でも十分に目玉焼きを焼くことができると考えた。質量の面を考慮し話し合いをした結果、銅製のカルメ焼きの器はそこまで重くないので良いのではということになった。

## 3-2 気球

### 3-2-1 太陽光

太陽光で袋内の空気を温め、膨張させて浮かぶかを確認する。

#### 使用器具

・ポリエチレン袋・ビニールロープ・・ビニールテープ

#### 方法

- ① ポリエチレン袋の中に空気を入れ、口をしっかりと閉じる。
- ② 日光のあたる場所に置く。
- ③ 5分ごとに袋の状態を観察し、気温、湿度、気圧、天候とともに記録する。

#### 結果

表6 第一回目

経過時間 [分]	気温 [°C]	湿度 [%]	気圧 [hPa]	天候	袋の状態
5	31.5	67	1008	曇り	(初期状態)
10	32.0	67		少し日が差した	少し温まった
15	34.0	59		変化なし	少し膨らんだ
20	33.0	64		少し強く日が差した	表面温度が少し下がった
25	35.5	59		少し弱まった	温かくなった
30	35.5	56		少し強まった	変化なし
35	35.5	61		強めに日が差した	少し膨らんだ
40	38.5	59	1007.9	弱まった	少し萎んだ(空気が抜けた可能性あり)
45	37.0	55		さらに弱まった	変化なし
50	35.5	58		少し日が差した	変化なし
55	35.5	66		日差しがかなり強くなった	変化なし
60	38.0	56		変化なし	変化なし

表7 第2回目

経過時間 [分]	気温 [°C]	湿度 [%]	気圧 [hPa]	天候	袋の状態
5	33.0	63	1007.9	強めに日が差して いた	(初期状態)
10	35.0	59		変化なし	少し温まった
15	34.0	60		曇りはじめた	変化なし
20	33.0	62		曇り	変化なし
25	33.0	62		変化なし	変化なし
30	32.5	65		変化なし	変化なし
35	31.5	66		変化なし	変化なし
40	31.5	68		変化なし	変化なし
45	32.0	66		変化なし	少し膨らんだ

表8 第3回目

経過時間 [分]	気温 [°C]	湿度 [%]	気圧 [hPa]	天候	袋の状態
5	34.0	65	1008	曇り	(初期状態)
10	33.0	69		変化なし	変化なし
15	34.0	69		少し日が差した	少し膨らんだ
20	35.0	62		変化なし	変化なし
25	36.5	62		変化なし	変化なし
30	35.0	66		変化なし	変化なし
35	34.0	68		変化なし	変化なし
40	32.5	65		少し曇った	変化なし
45	31.5	67		変化なし	変化なし
50	32.5	67		少し日が差した	変化なし
55	33.0	67		変化なし	変化なし

膨らみはするものの、浮かびはしなかった。太陽光では、袋すらも浮かばないので気球を飛ばすためには、別の方法を考える必要がある。本物の気球の様に熱源をつける必要があると考えた。

### 3-2-2 布団乾燥機

布団乾燥機を用いて袋内の温め、且つ膨らませることで袋の内外の温度差によって浮くかを確認する。

## 使用器具

- ・ポリエチレン袋 7枚 1枚 15g・ビニールテープ・布団乾燥機
- ・温度計・サーモカメラ・ストップウォッチ

## 方法

ポリエチレン袋をビニールテープで貼り付け、2種類の直方体を作成する

1号機 64.5×64.5×158 [cm<sup>3</sup>] 106 [g]

2号機 64.5×64.5×79 [cm<sup>3</sup>] 50 [g]

2つの試作機に布団乾燥機で温風を吹き込み、それぞれ5、8、10分後の様子を観測する。今回の実験は室内で行うが、風の影響を防ぐため、予め窓や扉は閉めておいた。

## 結果

表9 観測開始前の各条件

	1号機	2号機
湿度 [%]	62.0	62.0
袋外部の温度 [°C]	25.5	25.5
袋内外の温度 [°C]	27.0	30.0

表10 時間経過による試作機の変化

経過時間 [分]	1号機の様子	2号機の様子
0	温風を入れた直後でも浮く様子は見られなかった。	温風を入れた直後に浮き始めるが、すぐに床についた。
5	袋が萎み始めた。	袋が萎み始めた。
8	袋の内部の温度と外部の温度が等しくなった。	変化は見られなかった。
10	変化が見られなかったため、実験停止。	変化が見られなかったため、実験停止。

ただ温風を吹き込むだけでは袋内の温度は室温まで低下するだけであるため、袋を浮かせることは出来なかった。袋内外の温度差で飛ばすためには、内部の温度を上昇させるか、高い温度を維持し続ける必要がある。どちらの条件の場合も、袋の内部の温度は今回の実験以上の値にすべきであると予想されるため、これをもとに飛ばす方法を考え直す必要がある。

#### 4-2-3 生石灰

生石灰に水を加えると熱が発生する。この熱を利用して卵が焼けるかを確認するため

どの程度発熱するかを確認した。

#### 使用器具

- ・ビーカー・乾燥剤（生石灰＋ゼオライト）・熱電対・ストップウォッチ

#### 方法

コップに一定量の生石灰を入れ、そこに水を加えていった。水の量、加え方を変えて一定時間ごとに温度を計測した。

#### 結果

表 1 1 生石灰：15 g 水：様子を見ながら適量加えていった。1 分ごとに計測

経過時間 [分]	温度 [°C]
1	21.0
2	74.3
3	130.2
4	105.1
5	88.7
6	73.2

表 1 2 生石灰：15 g 水：様子を見ながら適量加えていった。30 秒ごとに計測

経過時間 [秒]	温度 [°C]
0	23.1
30	59.5
60	47.6
90	41.3
120	36.0
150	70.7
180	55.7
200	59.2
240	55.1
270	54.2
300	52.6

表 1 3 生石灰：15 g 水：20m l を一気に加えた。30 秒ごとに計測

経過時間 [秒]	温度 [°C]
0	20.1
30	75.8
60	87.4
90	85.6
120	79.9
150	73.4
180	67.2
210	61.4
240	68.2
270	65.5
300	61.9

持続的かつ卵が焼ける程の温度を生石灰の発熱反応で得るのは難しい。

また、生石灰が溶けた水は強いアルカリ性のため処理が大変であった。そして、発火の危険性もあるため使用しないことにした。生石灰の方法が向いていなかったため、より安全で効率の良い卵を焼く方法を考えなければならない。

#### 4-2-4 ロウソク

気球を飛ばす方法を決めるために、その候補としてろうそくが挙がったため、確認の実験を行った。

使用器具

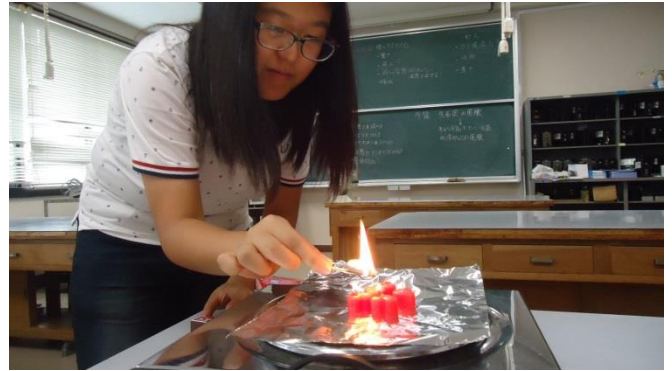
- ・ポリエチレン袋・ろうそく・レスキューシート

結果

表 1 4 ろうそくビニール袋の関係

ビニール袋[枚]	ロウソク[本]	
1	6	飛ばない
	10	飛んだ
	7	飛んだ
0.5	9	飛ばない
2	11	飛んだ
3	16	飛んだ





今回の実験からポリエチレン袋1枚分を飛ばすためにかなりの火力が必要だと感じた。よって今後の実験では、もっと火力が強いものを探す必要がある。また、ポリエチレン袋は熱に弱いので、それに対応した球皮を調べることも必要である。

#### 4-2-5 固形燃料

ろうそくを熱源として球皮（ポリエチレン袋）をもちあげる実験をしたが、どちらも、もちあがらなかった。ろうそくが火力不足だったのではないかと考え、より熱量をえるための手段として固形燃料を使用した。

なお、ろうそくの実験でポリエチレン袋は1枚だと熱にたえきれなかった。したがってポリエチレン袋を何枚かつなげて体積をふやしたときの実験も行う。また、球皮をレスキューシートにかえて実験する。

#### 使用器具

- ・ 固形燃料 4つ：ひとつ 20g
- ・ ポリエチレン袋 3枚
- ・ レスキューシート 1枚：56g
- ・ アルミシート 1枚
- ・ 椅子 1脚
- ・ ライター
- ・ ストップウォッチ



#### ○ポリエチレン袋

- ① 椅子をひっくりかえして骨組みとする。
- ② 固形燃料を1つだけアルミシートの上に置き、①に固定する。  
その上からポリエチレン袋をかぶせる。

③ 固形燃料にライターで火をつける。

ポリエチレン袋内の空気を温めて、ビニール袋がうくかどうか観察する。

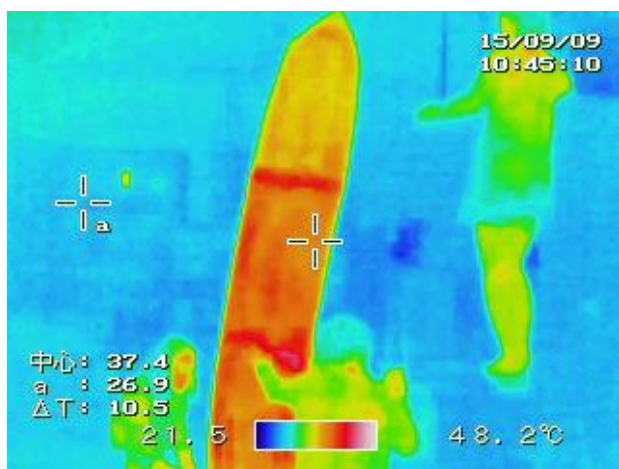


同様に、ポリエチレン袋を2枚つなげたときと、3枚つなげたとき、球皮をレスキューシート1枚にかえたときを実験する。

実験場所：室内 気温：25.0度 湿度：65%

表15 ポリエチレン袋

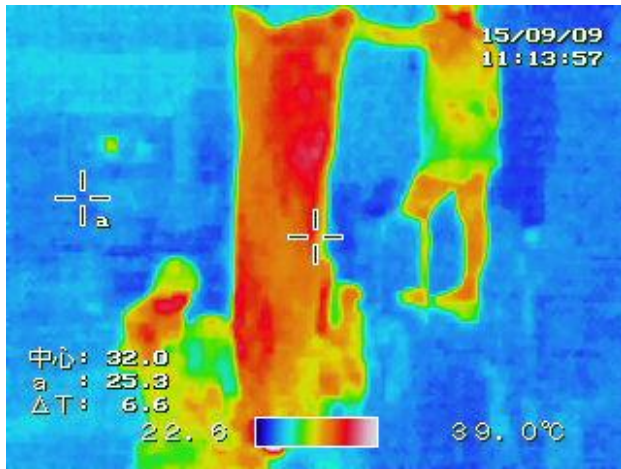
袋1枚	6秒後	天井高く、浮かんだ。
袋2枚	50秒後	ゆっくりと、天井へ浮かんだ。袋内の温度が、1枚の時より9.2度温かい。
袋3枚	1時間後	数秒後に袋がふくらんだが、1時間たっても、浮かばなかったため実験を停止。



2枚のときの、袋の内部温度



2枚のときの実験の様子



3枚のときの、袋の内部温度



3枚のときの実験の様子

#### ○レスキューシート

実験場所：室内 気温：24.5度 湿度：68%

表16 レスキューシート

20秒後	袋が膨らむ。
40秒後	浮いた。

球皮の材質はレスキューシート、熱源は固形燃料が最もよい条件である。

球皮に、固形燃料の火が燃え移るのをふせぐ方法を考える。

#### 4. 本実験

気球に目玉焼きをつけて飛ばす

#### 気球の設計

基礎実験から温度などの条件を見積もり必要な球皮の大きさや形状を検討した。

##### ① 球皮を球形状と仮定したとき

上記の条件のもと以下の内容についてそれぞれ半径が1m~5m、温度差1°C~15°C  
場合で計算する。また使用した式も示す。

- 浮力・球皮質量>0(浮くために必要)
- 天頂圧力>200~400gw/m<sup>2</sup>(形状維持のために必要)

22gw/m<sup>2</sup>あれば球皮とつり合い天頂部を支えられるが安定して保つためにある程

度の天頂圧を必要とする。そのため 200~400gw/m<sup>2</sup>という値を目安とする。

浮力  $\frac{4}{3}\pi r^3(t-t^*)$  r:球の半径 t:球内部の温度 t\*:外気の温度

浮力-球皮質量  $\frac{4}{3}\pi r^3(t-t^*) - 4\pi r^2\sigma - M > 0$   $\sigma$ :球皮材料の面密度 M:その他の質量

※その他:熱源の質量やのせる重りの質量など

天頂圧力  $\Delta P \times r = (t-t^*)ghr$   $\Delta P$ :圧力差(簡単化のため頂上部の圧力差(最大)を用いる)h:開口部からの高さ g:重力加速度

以上より計算し半径 2m を目安とした球皮を設計することにした。

## ② 実際の球皮の形を設計

半径 2m くらいになるよう球皮を設計した。

実際作成した 球皮半径 2.1m 高さ 5.4m 気球体積 42.89m<sup>3</sup> 気球全表面積 62.75m<sup>2</sup>

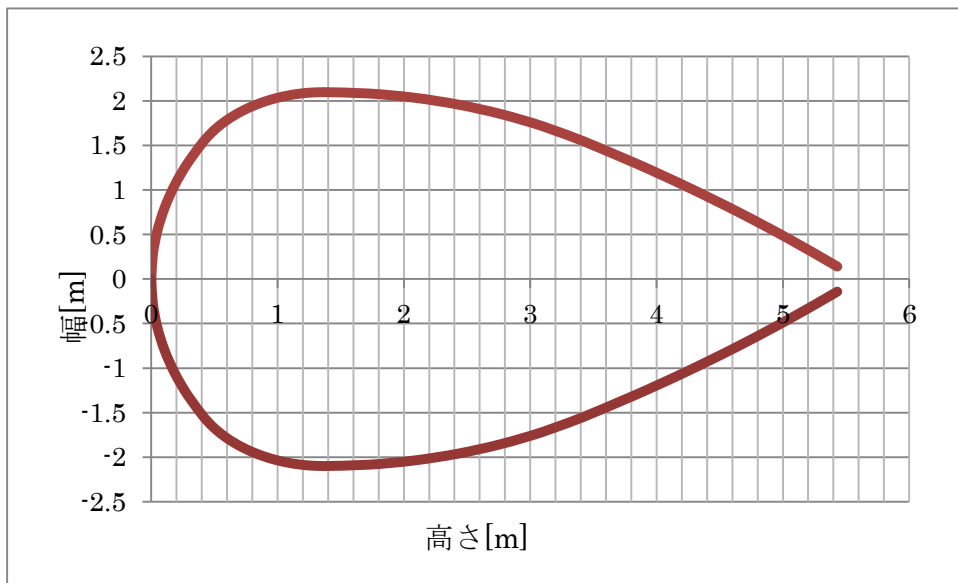


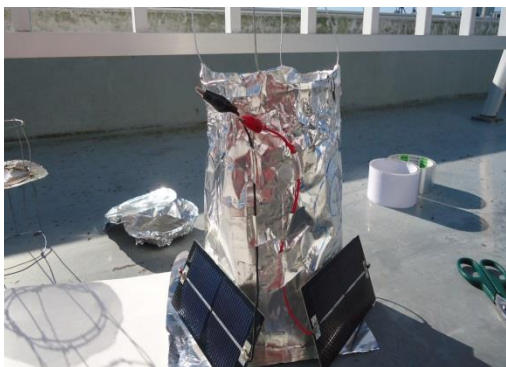
図 2 球皮の平面図

方法 ①球皮にヒーターと布団乾燥機で暖かい風を送り込む。

② 球皮が十分にふくらんだら固形燃料に火をつける。

③ 目玉焼きの容器を気球につける。

④ 空に飛ばす。



使用器具：石油ヒーター、布団乾燥機、気球、固形燃料、チャッカマン、ストップウォッチ、送風のための筒、太陽光パネル、針金

結果 1 地上から浮かせた場合



1 球皮に空気入れ始め



2 空気入れている途中



3 浮かす直前

空気を入れるのに40分かかった。気球を浮かすことができたが30秒程度しか浮かなかった。このため、屋上から落とすことにした。気球が地上についたとき目玉焼きは焼けていた。



4 浮いた！

## 2 屋上から落とす場合



1 空気を入れるところ



2 浮かせ始め



3 浮いた！



4 浮いた！

空気を入れるのに1時間13分かかった。1分程度浮いて、地上から浮かせた場合よりも長く浮いた。気球が浮かんだとき風にあおられて卵が入っていた容器の固定が甘く、吹き飛んでしまった。目玉焼きは焼けなかった。

## 5. 検討

気球を飛ばすとき、風が吹くと球皮があおられて上手く空気が入らず空気を送り込むのに時間がかかったのに加え、周りの障害物に当たり球皮に穴が開いてしまうことが何度かあった。球皮を燃えにくく丈夫な素材にし、風が吹いてもあおられない工夫をする必要があると考えた。

目玉焼きを作る容器が簡易的で、風に対する対策が不十分だった。容器の形や素材を考えたしつかりしたものを作る必要があると考えた。

気球が大きさに対し、空気を送り込む熱源が小さすぎたため最初に入れた空気が冷えてしまい、時間がかかり効率が悪かった。強力な熱源を用意し短時間で空気をいれる必要があると考えた。

当初は太陽光パネルを使い、そのエネルギーで気球を飛ばそうと考えていたが球皮の素材や太陽光パネルの重さや形状の関係で行うことができなかった。球皮の素材を変え、太陽光パネルをつけ発電しながら飛ぶことのできる気球が作れるようにしたい。

## 6. まとめ

実験は思いどおりにいかない場面も多かったが、得られることも多かった。いつか発電しながら気球を飛ばし、地上につくころおいしい目玉焼きが作れるような気球を作りたい。