

摩擦熱で目玉焼きを作ろう！！

チーム名：フリクションチャレンジャー

代表者 細井和也（山梨大学工学部応用化学科 2 年生）

迫龍太（山梨大学工学部応用化学科 2 年生）

塚本修平（山梨大学工学部応用化学科 1 年生）

栢野祥得（山梨大学工学部応用化学科 1 年生）

浅川友保（山梨大学工学部応用化学科 1 年生）

〒400-8511 山梨県甲府市宮前町 7-32

山梨大学大学院附属クリスタル科学研究センター 田中研究室

TEL 055-220-8625 または 8656

1 実験背景

摩擦熱は日常生活のいろいろなところで見ることができる。例えば、飛行機が着陸するときにはかなりの煙が出るくらいの摩擦熱が発生している。そこでこの摩擦熱を何か日常生活に活かすことはできないかと考えた。

2 実験目的

金属板を自転車の後輪部に接触させることで摩擦熱の熱源とできるように自転車を改造し、人力によって後輪を回転させ、生じる摩擦熱を利用して目玉焼きを作ることを目的とした。また、予備実験として電動やすりを使い、銅、アルミニウム、鉄、ステンレスの四種の金属板に摩擦熱を発生させ、各金属板の温度分布の時間変化も計測し、適した金属板を検討した。

3 予備実験

3-1 予備実験の概要

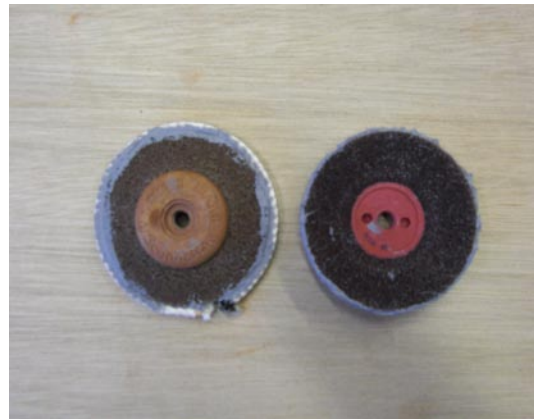
電動やすりを使い、摩擦面に用いる材料の検討を行う。銅、アルミニウム、鉄、ステンレスの四種の金属を同じ圧力で電動やすりに押し付ける。そこで温度の上昇と各金属の摩擦に対する金属の変形や温度分布を調べる。温度の上昇率を測定し最も熱伝導がよく衝撃に強い金属を選択する。

3-2 実験装置の製作

実験に使用した道具・機器類
グラインダー



やすり



変圧器



電圧計



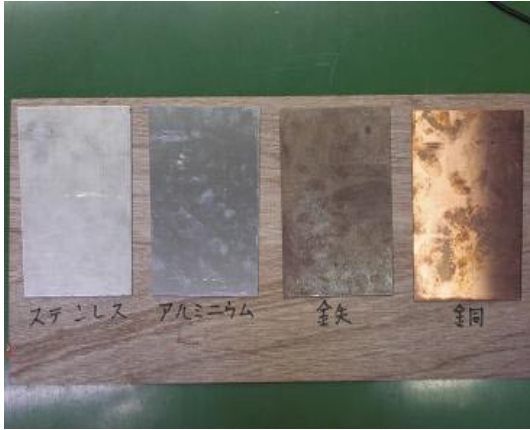
シリコン製接着剤



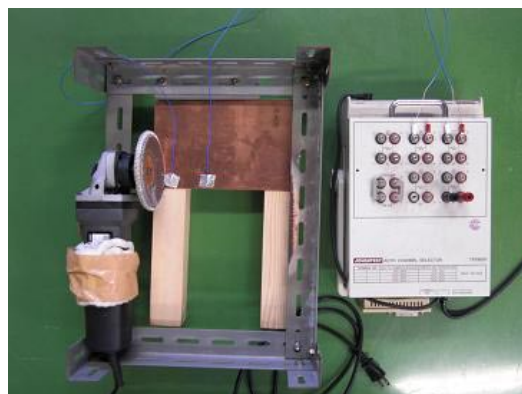
熱電対



金属板(鉄、アルミニウム、銅、ステンレス) デジタルボルトメーター

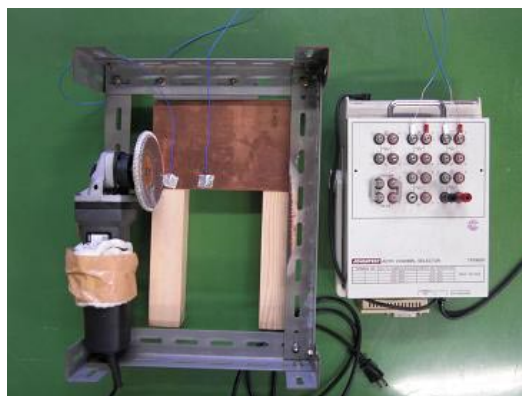


実験①(グラインダー付属のやすりのみの場合)



まず鉄製アングルにナットやねじを使ってグラインダーをしっかりと固定する。温度変化を測定したい金属板の裏に熱電対を耐熱テープで貼り付けデジタルボルトメーターで温度の変化を観察した。やすり面を市販の金属研磨用のものを使い右の図のような装置を組み立て、実験を行った。しかし金属板とやすりの接している部分から火花が発生して危険であった。このことから直接やすり面を金属板に接触させるのではなく、よりやわらかい材料を介して接触させる必要があることがわかった。

実験②(付属やすりに縄を巻いた場合)



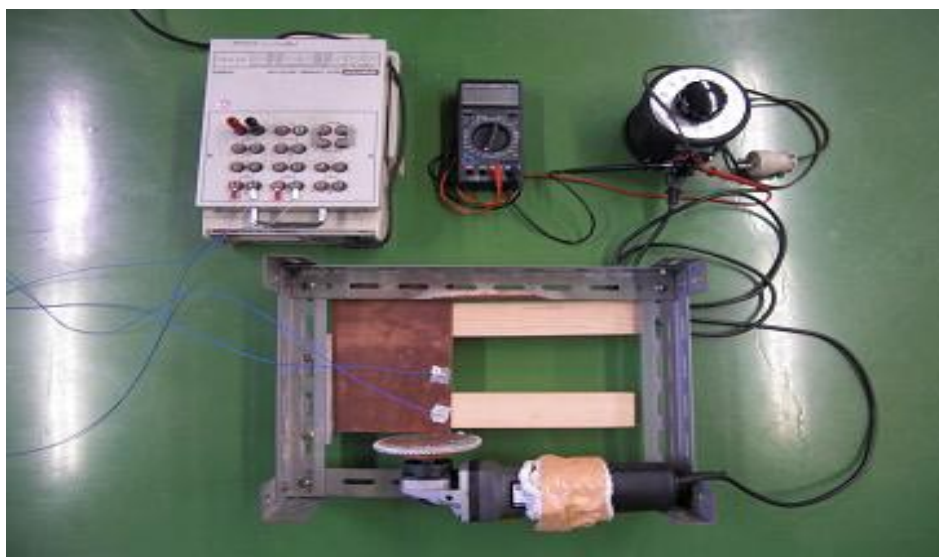
実験装置①での問題点を改善するために本実験で使用するものと同じ縄をやすりの外周部に巻き、耐熱性のシリコン製接着剤を使って貼り付けた。しかし、実験開始数秒で縄がはじけとんでしまった。この原因は、グラインダーの回転速度が 11,000rpm と高すぎたためと考えられ、グラインダーの回転速度を減速させる必要があることがわかった。

実験③(変圧器を用いて回転速度を制御した場合)



実験②での問題を解決するために、上図のように変圧器と電圧計を使い、グラインダーにかかる電圧を調節することによって回転速度を制御できることがわかった。

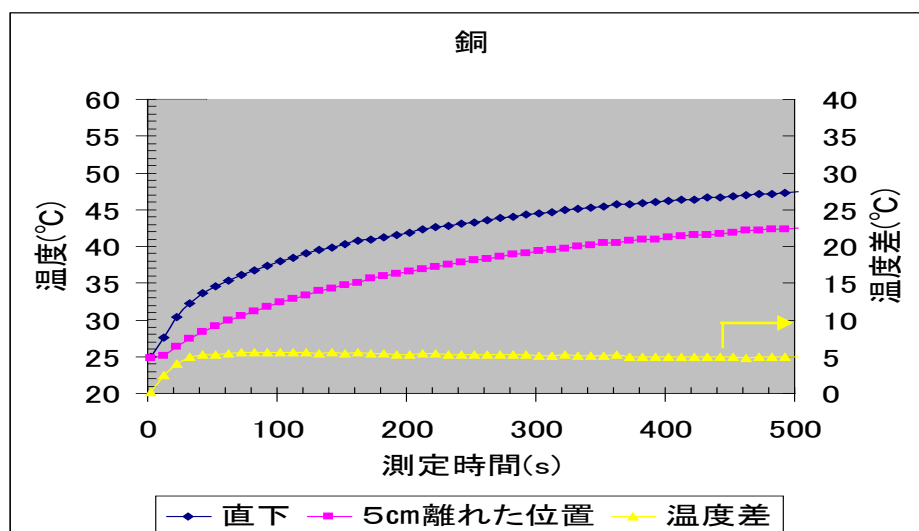
実験装置



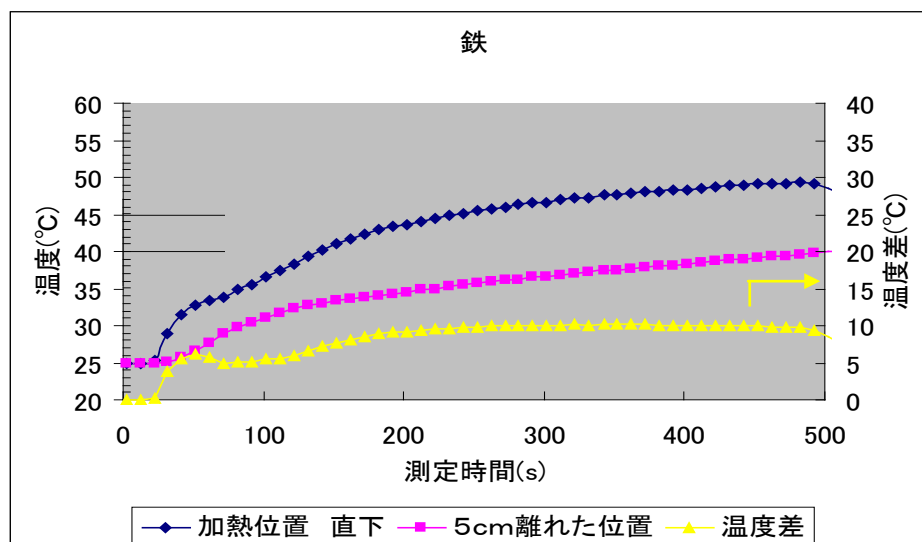
これらの装置を組み合わせた。印加電圧はグラインダーの回転が安定する最低の電圧30Vとした。その結果、縄のはじけとぶことはなくなった。こうして金属の材質のみが違うという条件で熱変化を測定できる装置が完成した。この装置によって、安全に安定した測定ができるようになった。

3-3 摩擦による金属の温度変化測定

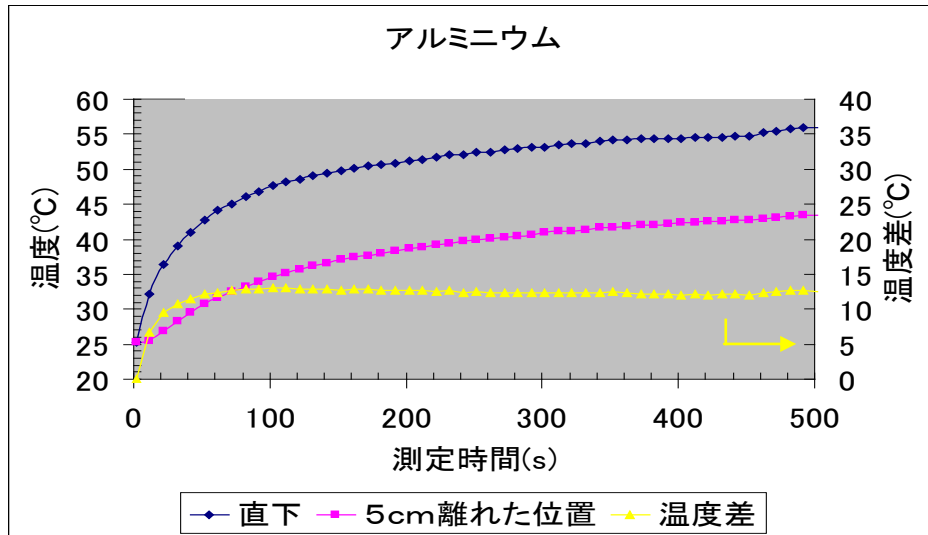
やすりと直接、接している加熱部直下の部分と、そこから 5cm 離れた位置での温度を 500 秒間 10 秒ごとに測定した。そのデータおよび 2 点間の温度差をグラフにプロットした。



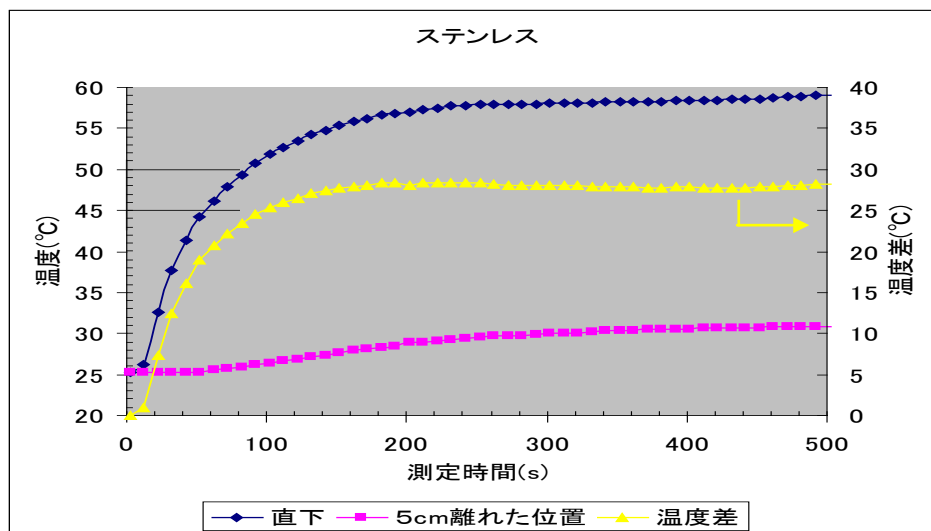
銅では加熱部直下での最高温度が 47.4°C だった。5cm 離れた位置との温度差は実験開始 60 秒からほぼ 5°C でその後は実験終了までほとんど変化しなかった。



鉄では加熱部直下での最高温度が 49.4°C だった。5cm 離れた位置との温度差は多少ばらつきがあったが実験開始 200 秒からほぼ 10°C になった。



アルミニウムでは加熱部直下での最高温度が 56.0℃だった。5cm 離れた位置との温度差は実験開始 60 秒からほぼ 12℃になった。



ステンレスでは加熱部直下での最高温度が 59.1℃だった。5cm 離れた位置との温度差は実験開始 160 秒からほぼ 28℃でその後は実験終了までほとんど変化しなかった。

3-4 考察

以上の実験結果に基づいて四種類の金属の特徴について以下に考察する。

銅では四つの金属の中で最も温度差が小さくなった。しかし加熱部直下の最高温度が四つの金属の中では最も低かった。これは熱伝導が大きすぎるため摩擦で発生した熱が高速で拡散しやすいことが原因だと考えられる。

鉄では温度差が銅に次いで二番目に小さくなった。加熱部直下での最高温度は四種類の金属で三番目だった。

アルミニウムでは温度差が鉄に近い結果となり三番目に小さい。しかし加熱部直下と5 cm離れた位置での最高温度がともに鉄より高くなった。

ステンレスでは温度差が四つの金属のなかで極端に大きくなった。加熱部直下の最高温度は唯一55℃に達したが、5 cm離れた位置での最高温度は四種類の金属中で最も低かった。

目玉焼きを作るには、最高温度が高く、広範囲に熱を拡散できる金属が必要になる。そこに観点をおき四つの金属について下表にまとめた。この表から、熱伝導の大きさだけから目玉焼きを作るのに適した金属を選べないことがわかった。

	最高温度	温度差	温度差が一定となるのに要した時間	熱伝導(W/m・K)
銅	×	◎	◎	398
アルミニウム	○	○	◎	236
鉄	△	○	○	80
ステンレス	◎	△	△	15

3-5 まとめ

卵の主成分であるたんぱく質が固まり始める温度は45℃前後であるが、卵全体が固まるには金属板の温度を60℃以上にする必要がある。また、摩擦熱を加えている部分だけが高温になっても卵全体に熱が伝わりにくいので、使用する金属板にはある程度の高い熱伝導が必要である。

このことを踏まえ、予備実験の結果から推測すると、摩擦熱を利用して目玉焼きを作るにはアルミニウムとステンレスが適していると判断できる。すなわち、アルミニウムを選択したのは、加熱部直下での最高温度が高く2点間の温度差も比較的小さいので、目玉焼きを作る条件に適していると判断した。また、ステンレスは、2点間の温度差が大きくなってしまったが、他の金属に比べて加熱部直下での最高温度が極端に高くなったのでラップをかけるなどして保温処理をすれば目玉焼きを作ることができるのではないかと判断した。

4 本実験

4-1 本実験の目的

自転車を使って発生する摩擦熱を利用して、その熱で目玉焼きを作る。

4-2 実験装置の製作

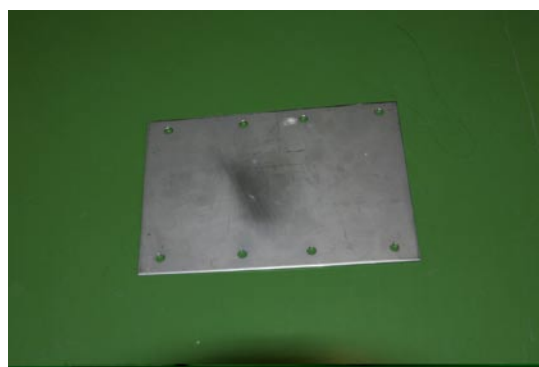
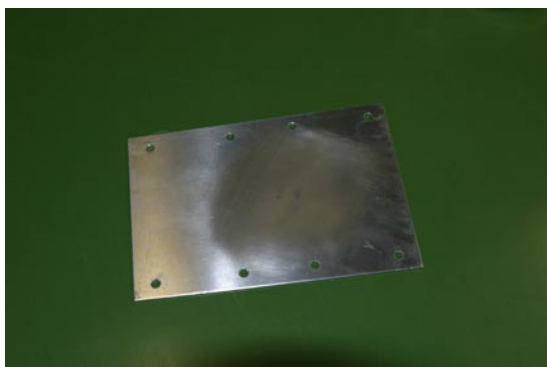
実験に使用した道具・機器類

自転車 タイヤの直径 26 インチ 1 台

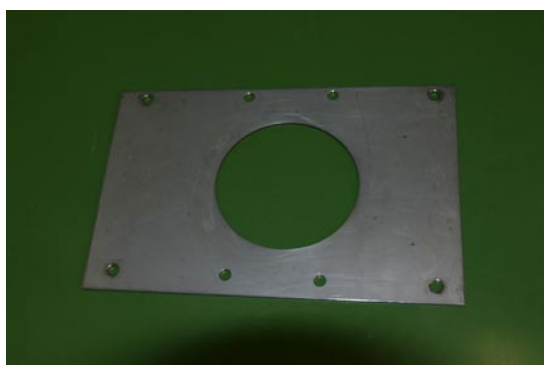


紐 綿 太さ 6mm φ 25m
木材 30×40×1000mm 1 本
釘 直径 2.45mm 長さ 45mm 4 本
ナット 直径 6mm 長さ 18mm 4 本
アングル 50mm 4 枚
L字アングル 200mm 2 枚
自転車用荷台 1 個
自転車用両足スタンド 1 個
自転車用速度計 1 個
ストップウォッチ 1 個
デジタルボルトメーター 1 台
熱伝対 2 対

ステンレス、アルミの板 200×140×2mm 各1枚



型 200×140×2mm 円の大きさ 直径 80mm 1枚



① 自転車の改造 I

ゴムタイヤのままだと摩擦熱によって融けてしまう可能性があるため、タイヤを取り外し、車輪に紐を巻きつけた。巻きつける際にタイヤのゴムが外れにくく、外すのに苦労した。また、計画当初、車輪の回転と平行な紐を巻く計画であったが、設置面が少なくなることが懸念されたため、製作の段階で回転方向に対して垂直な方向にまきつけることとした。

1. 後輪のタイヤ、鍵、泥はねを取り除いた。
2. 後輪のタイヤを切り、紐を巻いた。

② 自転車の改造 II

静止した状態で車輪を回せるようにするために片足スタンドを両足スタンドに取り替えた。また、車輪の回転数を評価するために自転車用の速度計を後輪部分に装着した。

1. スタンドの交換を行った。

完成図

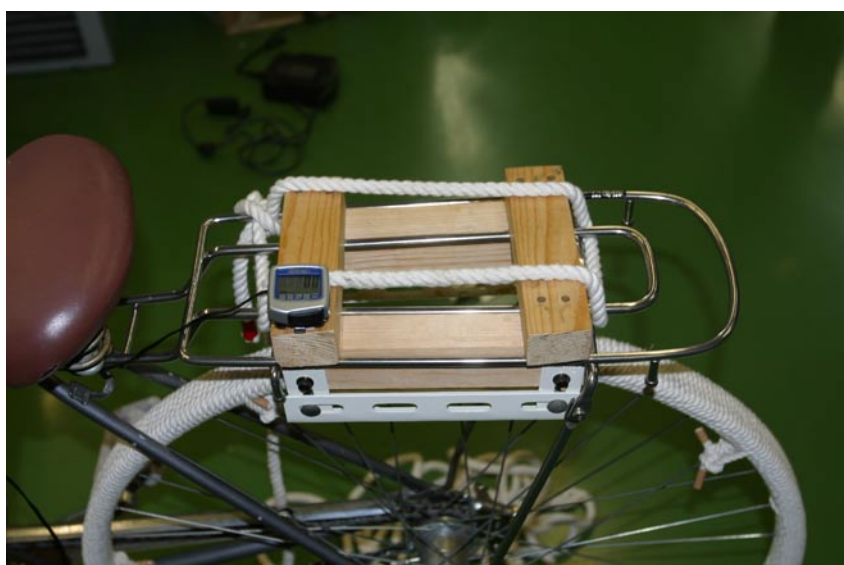


③ 金属板固定治具の製作

このままでは卵を焼くことが出来ないなので、木材を使って金属板を固定できるように固定装置を作った。

1. 材木を切断し、釘で枠の形（20×14センチ）に固定した。
枠の大きさは自転車の荷台にはまる大きさに合わせた。
2. 枠を荷台にはめ込み紐で固定し、アングル、L字アングルを取り付けた。

完成図



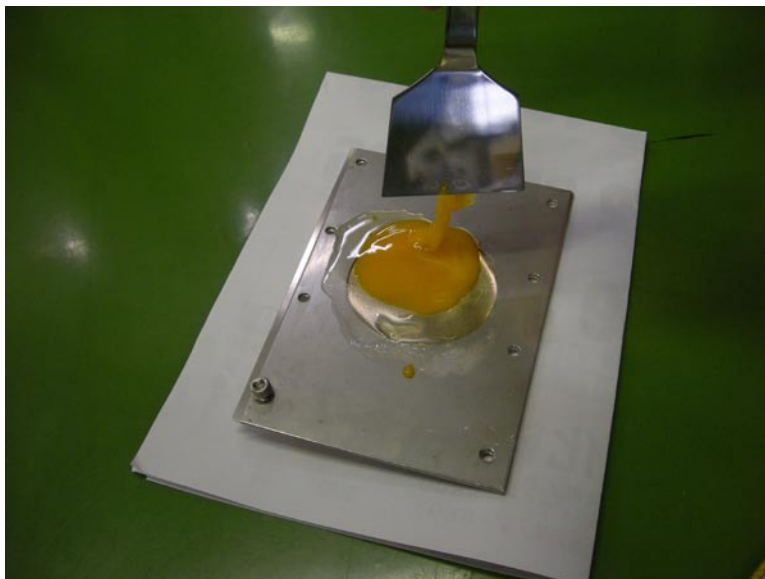
③金属板の取り付け

予備実験の結果を考慮して、アルミニウムとステンレスの2種類の金属板を取りつけて実験した。

4-3 目玉焼きの作製実験

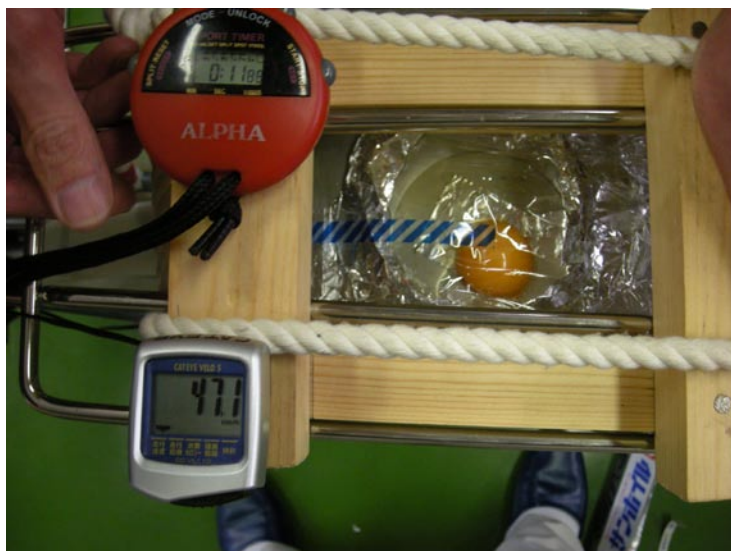
実験は金属板固定装置にアルミニウムまたはステンレスの金属板を入れて自転車を漕いだ。速度計をみながら、約 40km/h を 10 分間維持してペダルをこぎ続け、車輪と金属板との間で摩擦熱を発生させ、目玉焼きの出来具合を調べた。予備実験の結果から目玉焼きを焼くのに適していると推定されたアルミニウムとステンレスの 2 種類の金属板について目玉焼きの作製を行って目玉焼きの焼き上がりに違いがあるかを調べた。生卵が流れ落ちないように金属板の上には中央を円状に切り取った金属板を型にして重ねて設置し、熱をより逃がさないようにアルミ箔とサランラップを組み合わせる蓋をした（フライパンで焼く状態に近づけた。）。卵は鶏の卵を使用し、型からあふれ出さないように卵白の量を調節した。実験中自転車を安定させるため自転車が倒れないように後ろで自転車を抑えながら実験した。

- * ラップをしないで実験を行ったところ、下の写真に示したように黄身は乾燥してしわくちゃになり、熱も逃げてしまったため、黄身にまったく熱が通らなかった



① ステンレス板で実験

金属板固定装置にステンレス板を取り付け、そして熱電対を金属板の中央と端にそれぞれ一つずつ取り付けてそれぞれの温度を測りながら、目玉焼きを焼いてみた。



② アルミニウム板で実験

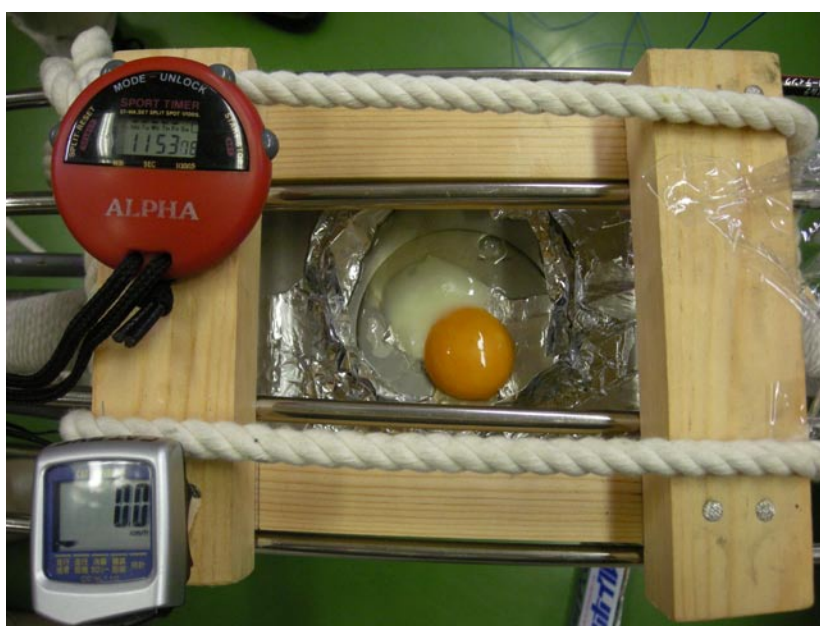
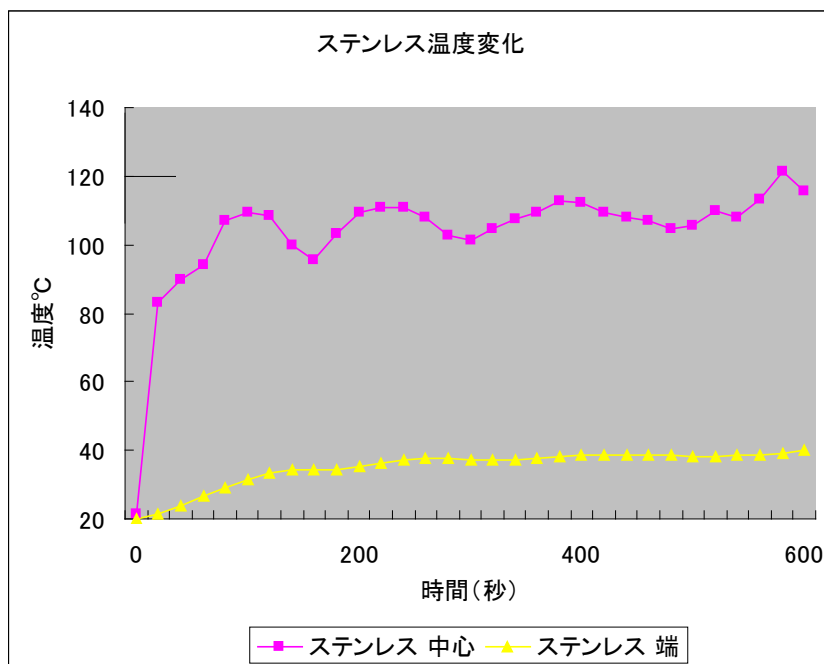
金属固定装置にアルミニウム板を取り付け上述と同様に温度を測りながら卵を焼いてみた。



4-4 実験結果

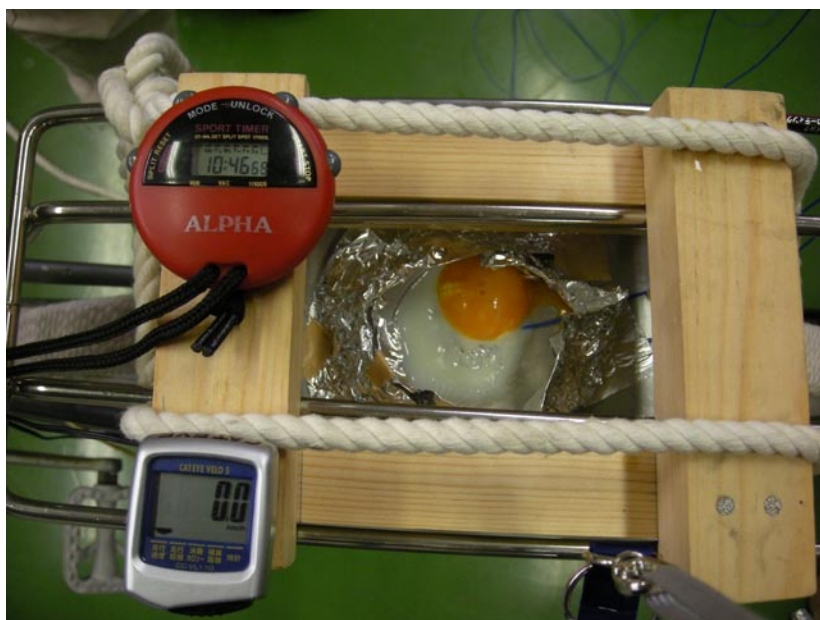
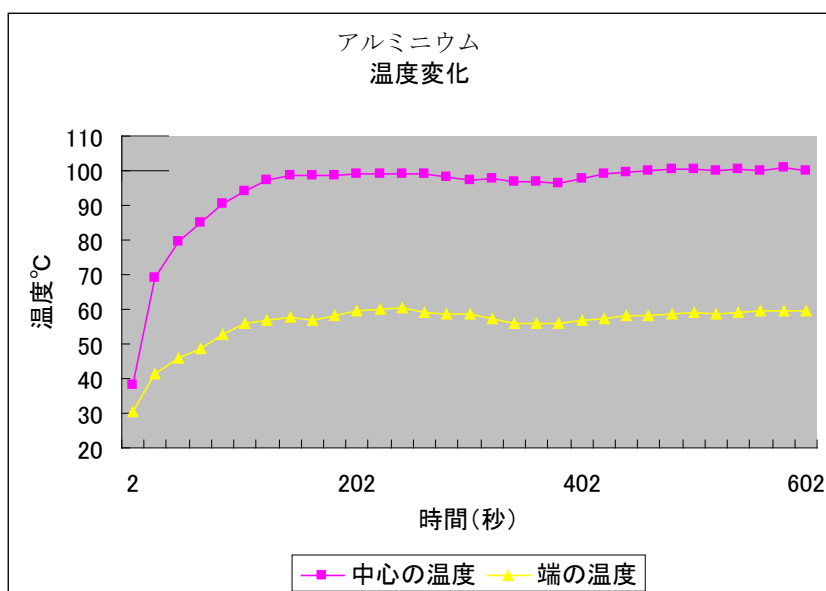
① ステンレス板

金属板の中心部分の到達温度は約 110°Cに達したのに対し、周辺部の到達温度は 40°Cにも満たなかった。そのことを反映して、目玉焼きの出来具合は中心に近い部分ではうまく焼きあがったのに対し、周辺に近い部分では、卵のたんぱく質が固まるほど加熱されなかったため白身が変化せず残っていた。また、金属板の中心に近い黄身は底の一部を除いてほとんど生のままであった。



② アルミニウム板

金属板の中心部分の到達温度は約 100℃とステンレス板に比べて約 10℃低かったが、周辺部の到達温度は 60℃近くに達した。このため、卵のたんぱく質が固化するのに十分な熱が供給され、周辺に近い部分も含めて白身は十分に焼きあがった。しかし、黄身も半熟卵のような感じに出来上がった。



4-5 考察

表 1 熱伝導率の比較

材料	熱伝導率 (W/m・K)
ステンレス	15
アルミニウム	236

表 1 を参考にすると、熱伝導率が高いアルミニウムでは、摩擦で得たエネルギーが金属板全体に広がり易いので、タイヤとの接点とその周辺での温度差が比較的小さい。それに対して、ステンレスでは熱伝導率が低いので、タイヤとの接点とその周辺との温度差が比較的大きい。そのため、ステンレス板を用いて焼いた目玉焼きは中心部分しか焼けてなかったが、アルミニウム板を用いて焼いた目玉焼きは端のほうの自身まで焼けていた。

ステンレス板を用いた実験で中心付近の温度が上下したのは人がこいでいるためどうしても速度にゆれがあるためである。4-3 に記したように実験は速度計が 40 km/h を示し続けるように行ったが、この 40 km/h に相当する回転を維持するには、全力でペダルをこぎ続ける必要があり、これを 10 分間継続することは非常に体力を消耗するものであった。このことに関して、実験中にスタンドにもよほどの負荷が掛かっていたのかスタンドが破損したので新しいのに付け替えた。

4-6 まとめ

その結果、ステンレスでは、加熱部直下では 100°C 以上の高温に達することができたが 5cm 離れた位置では 40°C に達しなかったために、時速 40km の速度で 10 分間回転させても、中心部の自身は固まる程度で周辺部の自身や黄身は生に近い状態だった。一方、アルミニウムでは、加熱部直下では 100°C に達し、5cm 離れた位置でも 60°C に達していたので、半熟卵のように自身は全体的に固まり黄身は半熟に仕上がった。

本実験において自転車を使った摩擦熱により目玉焼きを作ることに成功した。

5 総括

本研究は金属板と自転車の後輪部との摩擦熱を利用して目玉焼きを作ること
を目的とした。まず、予備実験としてグラインダーを使い、銅、アルミニウム、
鉄、ステンレスの四種の金属板に摩擦熱を発生させ、各金属板の温度分布の時
間変化も計測し、適した金属板を検討した。その結果をもとに金属板を自転車
後輪部に取り付け実験条件を変えて目玉焼き作りを試みた。

予備実験の結果、アルミニウムは、加熱部直下での最高温度が高く加熱部直
下と 5 cm 離れた位置との温度差も比較的小さいという特性があることがわか
り、目玉焼きを作る条件に適していると考えられる。ステンレスは、2 点間の
温度差が大きい、他の金属に比べて加熱部直下の最高温度が極端に高くなる
のがわかり、ラップをかけるなどして保温処理をすれば目玉焼きを作ることが
できると考えられる。

本実験では、まず、自転車の後輪部に紐を巻きそこに金属板を固定できるよ
うに苦心して自転車を改造した。そして予備実験で選択したアルミニウム板と
ステンレス板を改造自転車に固定し、回転数を調整しながら目玉焼き作りを行
った。その結果、ステンレスでは、加熱部直下では 100°C 以上の高温に達するこ
とができたが 5cm 離れた位置では 40°C に達しなかったために、時速 40km の速
度で 10 分間回転させても、中心部の自身は固まる程度で周辺部の自身や黄身は
生に近い状態だった。一方、アルミニウムでは、加熱部直下では 100°C に達し、
5cm 離れた位置でも 60°C に達していたので、半熟卵のように自身は全体的に固
まり黄身は半熟に仕上がった。

本実験において自転車を使った摩擦熱により目玉焼きを作ること成功した。