

人力でも機能するホットプレートの製作

－ 災害時でも美味しく焼き肉を －

東京電機大学 未来科学部 ロボットメカトロニクス学科 3年
○若林隼, 鈴木元哉, 大塚龍太郎

1 概要

本実験では、人力で（商用電源を使用せずに）安定して 200°C を維持できる鉄板部 A5 サイズのホットプレートを完成させることを目的とする。

人間ひとりが発生することができる仕事量は、文献[1]によると 100W 程度とされており、この結果は NHK の番組企画で 36 人の競輪選手が自転車で発電を行った時の仕事量が約 3600W であったことから確認されている[2]。過去、本熱実験コンテストでも人力による発熱のテーマは複数報告されているが、人力が 100W 程度であることもあり、例えば、文献[3]の第 2 回の実験レポートでも人力で摩擦熱を発生させて達成できる温度は 100°C をやや超える程度であったことが報告されている。焼き肉を焼くためには $200[^{\circ}\text{C}]$ を維持することが必要であり、本実験では、人間の力を使って焼き肉を焼くことを実現させる。

人間は $100[\text{W}]$ 出力することが可能であるが、恒常的ではないと考え、災害時などでも入手可能なお湯の熱も利用して $200[^{\circ}\text{C}]$ の達成を目指す。自動車用の発電機と $3[\Omega]$ の電熱線を利用して銅板を温めることを考える。自動車用の発電機の定格が $12[\text{V}]$ であり、銅板の比熱が $0.379[\text{J/g}\cdot^{\circ}\text{C}]$ であることを考慮すると、理想的にはお湯がある場合、 $23.7[\text{s}]$ で $200[^{\circ}\text{C}]$ に到達し、お湯がない場合は $43.8[\text{s}]$ で $200[^{\circ}\text{C}]$ に達する。

実験では、まず、自転車と接続する発電部分の製作を行った。発電機として自動車用のオルタネータを購入し、オルタネータの解析を行った。オシロスコープを用いて、解析を行った結果、出力が直流であることを確認し、オルタネータの端子には IG 端子があり、オルタネータの出力と IG 端子を接続する必要があることがわかった。実験結果からオルタネータは内部の電磁石を磁化させるために、初期励磁が必要であることから、自動車用の $12[\text{V}]$ バッテリーを接続することにした。タイヤと回転部のロスを減らすために、オルタネータの回転部に滑り止めを巻いた。一方、発熱に関しては、バッテリーと $3[\Omega]$ と $6[\Omega]$ の抵抗を直接接続し、温度の上昇を計測した。 $3[\Omega]$ の電熱線の場合、 $200[^{\circ}\text{C}]$ に到達することができ、 $6[\Omega]$ の場合は到達できなかった。この実験結果より、焼き肉が一枚おけるサイズの銅板を用いて $3[\Omega]$ の抵抗を使用して実機の製作を行った。自転車、オルタネータ、お湯タンクを使用し実際に焼き肉を焼いた。自転車を漕いでいるときは坂道を登っているような負荷感覚があり、お湯がある場合で $200[\text{s}]$ ほどで $200[^{\circ}\text{C}]$ に達し、 $240[\text{s}]$ ほどで肉一枚を焼き上げることができた。外気の影響により、上記、理論値よりも長くかかったしまったと考えられる。

自転車をを使用して人力で発電、発熱する有効な調理器の一次試作機を完成させることができた。今後、災害時においても利用できるよう、より実用的な改良を継続したい。

【添付動画の説明】

添付した動画は、12月13日の14:40~17:00に実施した実験の様子であり、作成したホットプレートを用いて牛肉の調理を行う様子の一部が映されている。添付動画では、自転車にホットプレートを接続し、ペダルを漕ぐことによって牛肉の表面を加熱している様子が映されている。添付動画のように本実験で作成したホットプレートは、牛肉1枚程度の調理を行える仕様であり、自転車を漕ぐことで銅板の上に置いた肉を調理することができる。

2 実験目的

人間一人が発生させることができる仕事量は100[W]程度である[1]。NHKの番組企画で36人の競輪選手が自転車で発電を行った時の仕事量が約3600[W]であった[2]。また、過去の熱実験コンテストにて自転車をを用いて発生させられる温度が100[°C]程度であったことが報告されている[3]。災害現場や屋外で利用可能なたき火などの温度調整の難しい熱源で100[°C]のお湯は沸かすことができるため、お湯と人力を組み合わせた熱源を利用し、人力で200[°C]を維持できる鉄板部A5サイズのホットプレートを実現することを目的とする。

3 使用機器・材料

表1に今回の実験で使用した実験機器を、表2に使用した実験試料を示す。なお、使用した抵抗は、自動車電源用の電気ポットを分解して、これに使われている電熱線を利用している。

表1 実験で使用した機器

使用機器名	個数	備考
定電圧電源装置	1	購入
オルタネータ(定格12V)	1	購入
マルチメータ	2	大学の設備を借用
接触温度計	1	購入
自転車	1	個人の自転車を借用

表 2 実験で使用した試料

実験試料	個数	備考
導線	2	購入
6角ボルト	2	購入
6角ナット	2	購入
ミノムシクリップ(中)	2	購入
木材	1	大学の設備を借用
銅板	1	購入
ビニルテープ	1	購入
滑り止め防止テープ	1	購入
固定金具	8	購入
抵抗(3Ω程度)	1	購入
抵抗(6Ω程度)	1	購入
抵抗(1Ω程度)	1	購入
保温器	1	購入

4 実験内容・実験結果

作成するホットプレートは、軽自動車用オルタネータを自転車と接続することで発電を行う発電部とお湯によってホットプレートの温度を保持する保温器で構成される。保温器にお湯を入れることにより、銅板をあらかじめ温め、発電による加熱以降も外気によって銅板の熱が下がることを防ぐことができる考える。オルタネータは、ローラ部分を回転させることで発電を行う装置である。オルタネータを用いて発電を行う場合、初期励磁として起電力を必要とするが、自転車を使用してローラ部分を回転させることで電源を取り外しても発電を続けることができる。初期励磁とは、オルタネータに電流を流すことによって、磁界を発生させるとである。図 1 に実験装置の全体構成図を示す。図 1 のように保温機構とオルタネータによる発電部を統合することで目標温度 200[°C]までの加熱を行うホットプレートを作成する。

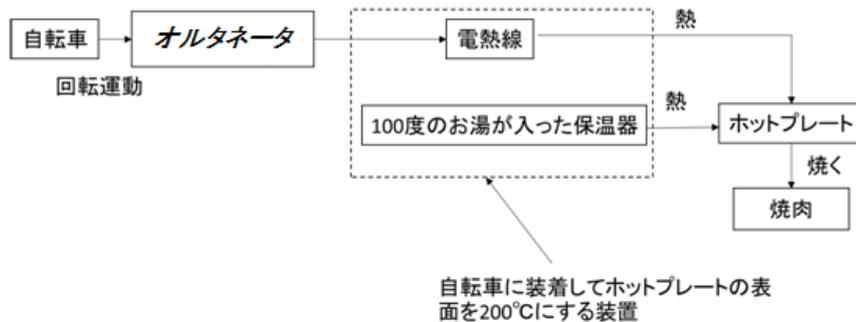


図 1 全体構成図

4.1 自転車とオルタネータによる発電部の開発

4.1.1 実験内容

実験で使用するオルタネータを図 2, 図 3 に示す. 図 2 のようにオルタネータには自転車と固定するための金具を取り付けることで自転車の揺れによる相対的な位置関係の誤差を改善する. 図 3 のようにローラ部分にすべり止め用のテープを巻くことによってオルタネータと自転車の接触を改善し, 発電に必要な仕事を軽減できると考えた. オルタネータで発電を行う場合, 初期励磁として起電力が必要なため, 定電圧電源をオルタネータに接続した. オルタネータの発電開始後, 定電圧電源が不要となるため定電圧電源を装置から外し, 発電を続ける. オルタネータの出力を計測するため回路内の抵抗部分にかかる電圧と電流を測定することでオルタネータからの発電された電力を計算する.



図 2 オルタネータ全体

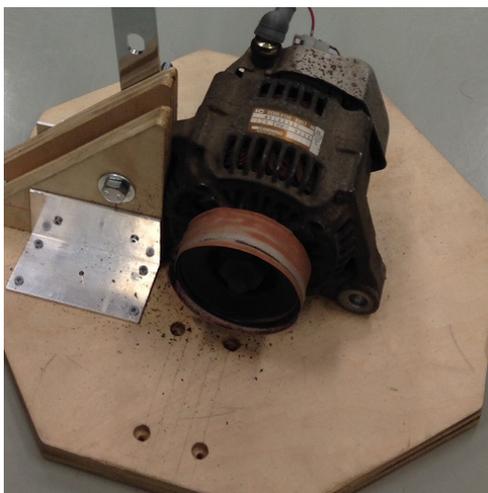


図 3 オルタネータのローラ部分

4.1.2 実験結果

実際に自転車とオルタネータを接続して発電した計測結果を表 3 に示す。

表 3 オルタネータの計測結果

	電圧[V]	電流[A]	電力[W]
モータ(1 Ω)	14	1	14
ヒータ(3 Ω)	12	6	72
ヒータ(6 Ω)	12	4	48

表 3 の結果から 100[W]の電流を実現することができなかった。表 3 の結果から 3[Ω]のヒータを用いて発電した場合、最も大きい電力を実現できたため、3[Ω]のヒータをホットプレートに採用することにした。ヒータの抵抗値が大きくなるに伴い、自転車のペダルを踏むのに要する力が大きくなった。ヒータの抵抗値が大きくなったため、発電を行うために必要な仕事が大きくなり、ペダルを踏むのに要する力が大きくなったと考える。

4.2 ホットプレートおよび保温機構の作成実験

4.2.1 実験内容

ホットプレートと保温機構を図 4 に示す。

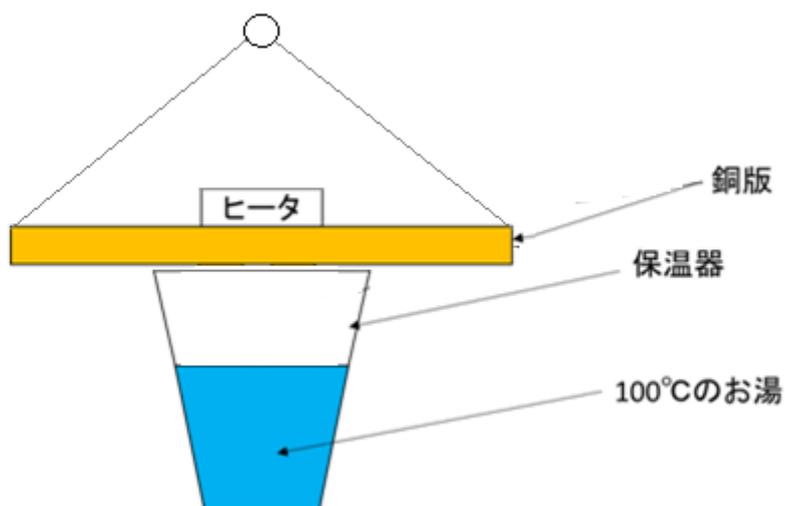


図 4 ホットプレートの保温機構

図 4 により保温器内部のお湯によって銅板は 90[$^{\circ}$ C]程度まで温められる。保温器を保温性の高い箱に入れ、蓋をかぶせることで密閉性を高め、外気の影響で銅板の温度が下がることを防ぐ。ホットプレートの発熱部のヒータには 3[Ω]の抵抗を使用する。使用するオルタネータの定格電圧は 12[V]であり、発電できると考えられる電力 $W[W]$ は式(1)により求める。

$$\begin{aligned}
 W &= \frac{V^2}{R} & (1) \\
 &= \frac{12^2}{3} \\
 &= 48
 \end{aligned}$$

式(1)よりオルタネータによる発電できる電力は 48[W]である。ここで今回使用するプレート部分の銅板を 30[g]とし、お湯により銅板が 100[°C]まで加熱されている状態とする。そこからオルタネータを用いることでさらに 100[°C]加熱しホットプレートの温度が 200[°C]になるようにしたい。この時に必要な熱量 Q [J]は銅の比熱 $c = 0.379$ [J/g · °C], 質量 m [g], 変化温度 T [°C]を用いて式(2)で表せる[4].

$$\begin{aligned}
 Q &= c \cdot m \cdot T & (2) \\
 &= 0.379 \cdot 30 \cdot (200 - 100) \\
 &= 1137[\text{J}]
 \end{aligned}$$

式(2)より必要な熱量は 1137[J]とわかる。以上より熱量 Q と電力 W [W]は時間 t [s]を用いて

$$\begin{aligned}
 Q &= W \cdot t \Leftrightarrow t = Q / W & (3) \\
 t &= 1137 / 48 \\
 &= 23.7
 \end{aligned}$$

式(3)より $t = 23.7$ [s]の間、自転車を漕ぎ続けることでホットプレートの温度は 200[°C]に達すると考えられる。お湯を用いない場合、同様に式(1), 式(2), 式(3)より $t = 43.8$ [s]となるため自転車を 200[°C]に達するために自転車を漕ぐ時間を短縮できると考える。3[Ω]のヒータを用いて銅板を加熱する際お湯の効果が見られるかどうか検証する。

4.2.2 実験結果

作成したホットプレートと保温機構を図 5 に示す。

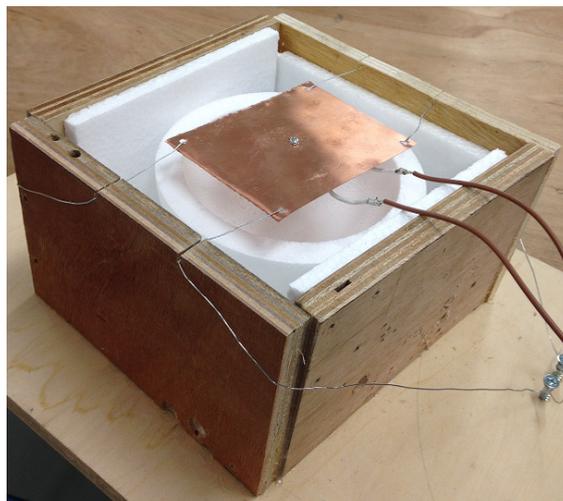


図 5 ホットプレートと保温機構

図 5 の保温器にお湯を入れた時と入れていない時にホットプレート表面の温度上昇の様子を図 6 に示す。

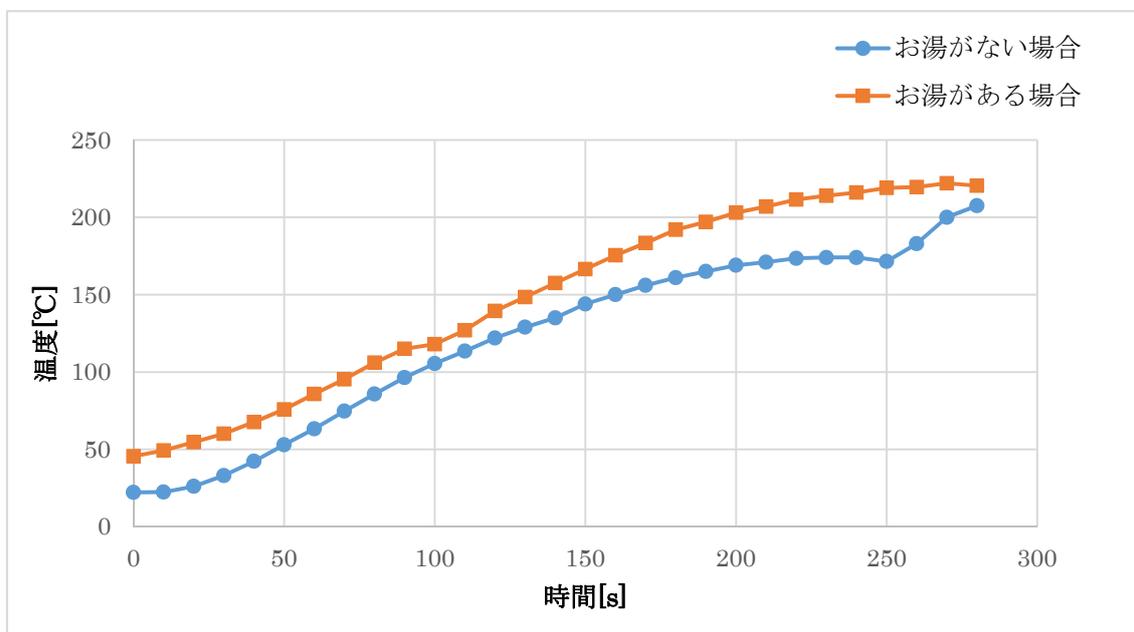


図 6 お湯の有無による温度上昇の差異

図 6 からお湯がある場合とお湯がない場合を比較すると、お湯を入れてホットプレートを温めた場合、 200°C に到達する時間が $80[\text{s}]$ 程度早くなっていることがわかる。これは初期温度の違いにより生じていると考えられる。図 6 に示した結果から、お湯を使用することによって $80[\text{s}]$ 程度早く銅板を 200°C に加熱できることが確認された。

4.3 発電部とホットプレート部分の統合

4.3.1 実験内容

発電部とホットプレート部分を接続した全体図を図 7 に示す。図 7 のように自転車とオルタネータ、ホットプレート部を統合し、実際に自転車を漕いで発電を行い、目標温度である 200°C まで加熱を行う。



図 7 装置を統合した全体図

4.3.2 実験結果

作製したホットプレートを使用して $200[^\circ\text{C}]$ を達成した様子を図 8 に示す。またホットプレートを使用して実際に調理を行った様子を図 8 に示す。図 9 のように焼き肉は焼けたが 4.2 節で述べたものと異なり $200[^\circ\text{C}]$ に達するまでに $240[\text{s}]$ もの時間を要してしまった。これは外気と当日吹いていた風の影響だと考えられるため、保温機構部の密閉性をさらに高めて外気の影響を受けないような構造にする必要があると考えられる。



図 8 ホットプレートが $200[^\circ\text{C}]$ を超えた様子



図 9 調理中の様子

5 結論

ホットプレートの目標温度である 200[°C]を達成するための仕組みを考え、オルタネータ発電による加熱と保温器による機構の考案を行った。オルタネータの原理・構造について調べ、発電回路を設計した。オルタネータの揺れを防止するために土台作りおよび自転車とローラ部分にすべり止めテープを採用した。保温器を作製することでお湯を利用して目標温度までの達成時間を早めることができた。保温機と発電装置を統合することで発電を行い、実際にホットプレートを加熱して目標温度であった 200[°C]を達成し、焼き肉を焼くことができた。焼き肉が焼けるまでには自転車を回してもかなりの運動量が必要であった。この結果から仕事量を電気に頼っているのか理解することができた。災害直後などの緊急時において限られた電気、装置しかなくても焼き肉は焼いたり電力を確保したりすることは有用なことであると考えられる。

6 参考文献

- [1] 八田章光, 「人力発電機を用いたエネルギー科学教育の実践－理工学教育から学校教育へのアプローチ」, エネルギー環境教育研究, Vol.1, No.1, pp.40-49, 2007.
- [2] 「人力発電メリーゴーランド」, NHK 大科学実験より (2014年5月19日参照)
http://www2.nhk.or.jp/school/movie/clip.cgi?das_id=D0005300852_00000&p=box
- [3] 細井和也ほか, 「摩擦熱で目玉焼きを作ろう!! (山梨大学 工学部 応用化学科)」,
第2回 八光熱の実験コンテスト 実験レポート
- [4] 熱容量と比熱,
<http://www.wakariyasui.sakura.ne.jp/4-3-0-0/4-3-1-2netuyouryou.html>