

熱電素子式発電機 製作記

桜田中学校
2 年 2 組
柴崎 湧人

〔目次〕

第一章

準備

- | | |
|----------|-----------|
| 1. 製作の理由 | P 4 |
| 2. 構想・設計 | P 4 ～ 5 |
| 3. 予備実験 | P 5 |
| 4. 材料 | P 5 ～ 1 0 |

第二章

製作

- | | |
|-------------|-------------|
| 5. 発電部・外装製作 | P 1 0 ～ 1 2 |
| 6. 電子回路製作 | P 1 2 ～ 1 4 |
| 7. 配線・配置 | P 1 4 ～ 1 5 |
| 8. 仕上げ・修正 | P 1 5 ～ 1 6 |

第三章

調整

- | | |
|-----------|-------------|
| 9. 動作確認 | P 1 6 |
| 1 0. 設計変更 | P 1 6 ～ 1 7 |

1 1 . 新水冷システムの動作確認	P 1 7
～ 1 8	

第四章

本体詳細

1 2 . 実験	P 1 9 ～ 2 1
1 3 . 本体紹介	P 2 1 ～ 2 3
1 4 . 使用方法	P 2 3 ～ 2 5
1 5 . 使用上の注意	P 2 5 ～ 2 6

第 5 章

感想

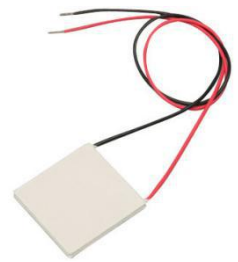
1 6 . 感想	P 2 6
----------	-------

1.製作の理由

近年は自然災害が非常に多く、いつ自分の住んでいるところにやってきてもおかしくない。もし自然災害の被害にあったときどのようなことになるかと考えたとき、電気の供給に困ると思った。それを解消するのがエンジン式発電機だ。僕の自宅にもあるが、大きな欠点があると気付いた。「燃料が届かなければ発電できない」ところだ。そこでろうソクやサラダ油といった身近にあるものを燃やした熱源があれば、発電のできる発電機を作ることにした。

2.構想・設計

熱を電気に変えるものとして「熱電素子」(写真1)がある。これは、車用冷蔵庫や小型冷風機などに使われており身近に使われている。小型で扱いやすいことから、今回の作品では使用するに至った。次にどのような仕様にするか考



(写真1)
熱電素子

えた。今回の作品はあくまで非常用なのでスマートフォンなどの充電のみに使用することとした。今の時代 USB という万能端子がある。ほとんどの電子機器はこの端子から給電できる。なので出力の端子はこの USB とした。USB の電圧は直流 5 V なので発電電圧も 5 V 程度になる。後で詳しく述べるが、熱電素子モジュール 1 枚の発電電圧は 1 V 程度なので安定性も考え熱

電素子モジュールは、6枚使用することにした。また、汎用性を高めるために、100Vコンセントからの入力とリチウムイオンバッテリーの入出力を可能なものにするようにした。ここまでは事前に決めておいたが、詳しい設計は製作しながら行った。

3. 予備実験

いきなり製作に移ると失敗につながりかねないので、予備実験を行った。自宅にあった、発泡スチロールの端材に穴をあけテープで熱電素子を取り付けた。発泡スチロールの中には50度ほどのお湯を入れ、外側は、保冷材を当てて発電させた。(写真2) この実験で熱電素子は、1.26Vの発電があった。この実験によって熱電素子モジュールは6枚使用することが決定した。



(写真2)
予備実験の様子

4. 材料

今回の作品ではアルミフレームなどの材料はホームセンターで、電子部品などはネットショッピングを利用して購入した。

以下に記入する材料には、本体を形づくる部材のみで、接着剤などの消耗品は記入していない。

- | | |
|-------------------------|-----|
| ・ 熱電素子モジュール 40 mm×40 mm | 6 枚 |
| ・ シリコングリス | 適量 |
| ・ アルミ水枕 40 mm×40mm | 6 個 |

・ポリプロピレン製タッパー	1 個
・シリコンチューブ	1 M
・ミニチュアコック	6 個
・ 1.0mm厚銅板 100 mm×365 mm	1 枚
・ 0.3 mm厚銅板 100 mm×365 mm	1 枚
・ナマシ銅管	0.5M
・ 2 mm厚アクリル板 2000 mm×1500mm	1 枚
・アルミパンチング板 0.2 mm厚 180 mm×300 mm	1 枚
・アルミチャンネル 10 mm×10 mm×1000 mm	7 本
・アルミアングル 15 mm×15 mm×1000 mm	3 本
・ M4 トラスねじ 25 mm・ナット・ワッシャ	4 セット
・ M4 ナベねじ 30 mm・ナット・ワッシャ	5 8 セット
35 mm・ナット・ワッシャ	5 セット
・ M3 ナベねじ 25 mm・ナット・ワッシャ	2 セット
・ M3 ナベねじ 90 mm・ナット・ワッシャ	2 セット
・ 三方面金具	8 個
・ ドリルねじ 16 mm	4 本
・ 床束 150 mm	1 個
・ タイル 97 mm×97 mm	8 枚
・ ブレッドボードパターン基盤	1.5 枚
・ 温度センサ IC LM35DZ	1 個
・ 2 桁シングルチップ A/D コンバータ NJU9252P	1 個
・ +5 V 低ドロップ 3 端子レギュレータ 2930L05	1 個

・ カソードコモン 7 セグメント LED	1 個
・ 電解コンデンサ $10\mu\text{F}$	1 個
・ 積層セラミックコンデンサ $0.1\mu\text{F}$	1 個
・ 半固定抵抗 $1\text{K}\Omega$	1 個
・ 炭素皮膜抵抗 0Ω	33 本
$1\text{K}\Omega$	7 本
$100\text{K}\Omega$	2 本
$330\text{K}\Omega$	2 本
・ 金属皮膜抵抗 $8.2\text{K}\Omega$	1 本
$39\text{K}\Omega$	1 本
・ SOP ピッチ変換基盤	1 枚
・ 電池ボックス $\text{R6} \times 4$ 本	1 個
・ トグルスイッチ 1 回路 2 接点	1 個
・ IC ソケット 18 ピン	3 個
20 ピン	3 個
・ レベルメータ IC LM3914	3 個
・ レベルメータ LED	3 個
・ 半固定抵抗 $10\text{K}\Omega$	1 個
$100\text{K}\Omega$	2 個
・ カーボン抵抗 $1\text{K}\Omega$	3 本
$4.7\text{K}\Omega$	3 本
$56\text{K}\Omega$	3 本
・ ユニバーサル基盤	1 枚

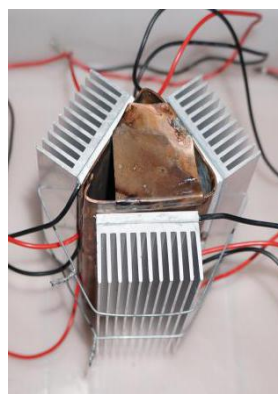
・ 2 芯線ケーブル L 型プラグ	1 本
・ 電源トランス 100V - 12V 3A	1 個
・ 電解コンデンサ 50V ・ 2200 μ	1 個
50V ・ 10 μ	2 個
・ 半固定抵抗 1 K Ω	1 個
・ セラミックコンデンサ 0.1 μ F	1 個
・ 可変型三端子レギュレータ LM350T	1 個
・ ヒートシンク 35 mm \times 35 mm \times 35 mm	1 個
・ ヒートシンク 20 mm \times 15 mm \times 15 mm	1 個
・ シリコン整流用ダイオード 10D-1	1 本
・ 1/4W 金属皮膜抵抗 200 Ω	1 本
・ 2/1W 炭素皮膜抵抗 0 Ω	1 本
・ プリント基板	1 枚
・ ブレッドボードパターン基盤	1 枚
・ トグルスイッチ 1 回路 2 接点	2 個
2 回路 2 接点	1 個
2 回路 3 接点	1 個
・ USB 端子 DIP 化基盤	2 枚
・ USB 端子	2 個
・ 5 mm 高輝度白色 LED	1 個
・ 5 mm 高輝度青色 LED	2 個
・ ポリスイッチ 30 V ・ 1 . 3 A	3 個
・ 三端子レギュレータ NJM 7 8 0 5 FA	2 個

・ ヒートシンク 35 mm×35 mm×35 mm	1 個
・ カーボン抵抗 470 Ω	1 本
・ 2 芯赤黒線	適寸
・ 熱収縮チューブ 色々	適寸
・ 結束バンド	適本
・ 金属皿	1 個
・ 針金	適寸
・ 綿ロープ	適寸

5. 発電部・外装製作

まず、この作品の中心となる熱電素子加熱部分を製作することにした。初めに 1.0mm 厚の銅板を 15cm ほどに P カッターで切断した。この切断した銅板を一面が 5cm ほどになるように曲げていった。熱電素子は 4 cm 四方だが曲げるとどうしても端のほう曲がってしまうのであえて 5cm とした。折り曲げたら、半田をガスバーナーで流し込んだ。この銅の三角筒のままでは熱が上に逃げていってしまう。そこで 0.3 mm 厚の銅板を小さく切った天板を半田で溶着した。

この三角形の銅筒に熱電素子モジュールを 6 枚貼り付けヒートシンクでサンドした。この時に熱伝導率を上げるためにシリコングリスを塗布した。これで熱電素子加熱部分が完成した。



(写真 3)
熱電素子加熱部分

(写真3)

続いてアルミフレームで外装を製作した。外寸は昨年の作品を参考に $300 \times 300 \times 400 \text{ mm}$ に設定した。外寸が決まったので 300 mm のチャンネルを、8本 400 mm のアングルを、4本切り出した。直角に仮組してからセンターポンチで印をつけ、卓上ボール盤で 4.5 mm 径の穴をあけていった。本組するときに、直角を出す三方面金具（写真4）の穴径もこの時に広げておいた。



（写真4）
三方面金具

これらの切り出したアルミフレームをM4のナベねじで硬く固定した。このままではなかに何も固定できないので中にもアルミフレームを組んでいった。 300 mm を5本、 150 mm を2本、 400 mm を1本切り出し各所にM4のナベねじで固定した。この中に組んだアルミフレームには基盤などを固定するため数か所に穴をあけた。

この時点で細かく外寸が定まったのでアクリル板を切り出した。 $302 \times 425 \text{ mm}$ を2枚、 $302 \times 325 \text{ mm}$ に $280 \times 150 \text{ mm}$ の切り欠きの入ったものを2枚 $302 \times 302 \text{ mm}$ に $150 \times 150 \text{ mm}$ の切り欠きの入ったものを1枚切り出した。切り出したアクリル板には既存のアルミフレームを固定しているネジの位置に 4.5 mm の穴をあけた。

ここでアクリル板をアルミフレームに張り付けると非常に持ち運びにくいことに気が付いた。そこで本体上面に持ち手を

付けることにした。アルミチャンネルで 60 mm を 2 本、110 mm を 1 本切り出した。穴をあけて本体に取り付けた。非常に持ちやすくなった。ここまでの作業で本体外装の製作は終了した。（写真 5）



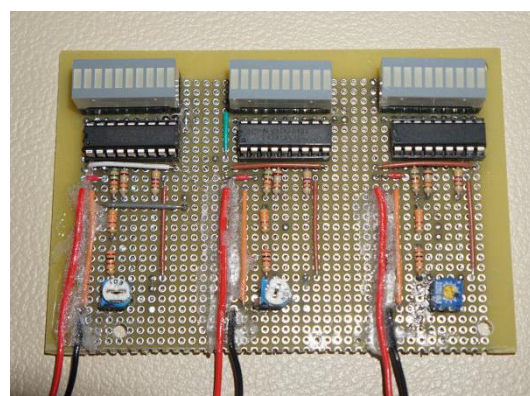
（写真 5）
本体外装完成時
※一部後述の部分含む

内部の構造物を作っていた。木の板に角材を組付け隙間に床束を取り付けた角材の小口にアルミアングルをドリルネジで固定した。そこに前述の熱電素子加熱部分をアルミチャンネルをアルミ溶剤溶着して作った三角形の受座で固定した。これでロウソクやオイルランプの熱源を置く部分が上下可能なものができた。

6. 電子回路製作

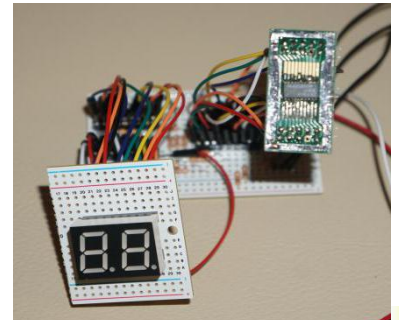
外枠が完成したので内部の回路を作成した。

1 つ目の回路は電圧レベルインジケータ回路だ。レベルメータ IC を使用した回路で大まかな電圧のわかる回路だ。カーボン皮膜抵抗などの高さの低い部品から半田づけしていき全回路を基盤に作っていた。3 か所分なので同じ回路を 3 つ作った。（写真 6）回路が完成したら安定化電源で電源を入力し半固定抵抗を調節することで校正した。



（写真 6）
電圧インジケータ回路

2 つ目の回路は温度計回路だ。シングルチップ A/D コンバータを使用しているため部品点数を少なく作れるところが特徴の回路だ。後の写真では部品点数が多く見えるがそのほとんどはジャンパー線（0 Ω 抵抗）である。初めに S O P ピッチ変換基盤に A/D コンバータをはんだ付けし、一般的な 2.54 mm ピッチに変換する。それを含む部品を基板にはんだ付けした。この回路は校正時に抵抗を使う。電源に接続して指定値になるよう半固定抵抗を回した。校正したら校正用抵抗を取り外し、代わりに、温度センサをはんだ付けした。これでこの回路は完成だ。（写真 7）



（写真 7）
温度計回路

3 つ目の回路は電源回路だ。今回の作品では、コンセント入力に対応する。そのためコンセントの交流 100V を直流 5V に変圧する必要がある。この回路はそのためにある。本回路は、可変型三端子レギュレータとそのほかの部品を使用した回路で、トランスからの電流に含まれるリップルの除去率が高いレギュレータを使用した。また基盤には大きな電流が流れるので、導電面の広くとれるプリント基板を使用した。これも、高さの低い部品からはんだ付けし入力が 5V になるように校正した。本回路に使用している三端子レギュレータは発熱するので、ヒートシンクを取り付けた。これで電源回路は完成だ。（写真 8）



（写真 8）
電源回路

4 つ目の回路は、電源制御回路だ。この回路は、入力された電流（コンセント、熱電素子、バッテリーより）を USB 端子に送り込む回路だ。三端子レギュレータ入力された電流を 5 V に定電圧化する。その電流を遮断するスイッチ、逆電流を防ぐダイオードなどをはんだ付けした。またショートなどによる危険から回路を保護するためにポリスイッチもはんだ付けした。ポリスイッチ（写真 9）の特徴はヒューズやブレーカーのように回路遮断後に復帰作業を行わなくて良い点だ。本作品では、1.3A の電流が流れると回路を遮断するものを 3 つ使用した。各所に配線する被覆線もはんだ付けして完成した。



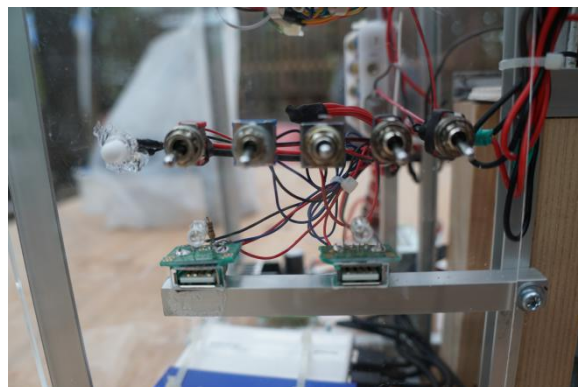
（写真 9）
ポリスイッチ

7. 配線・配置

外装と中に詰める回路が完成したのでそれぞれの基盤類を外装フレームに組み付けていった。本体底面には基盤を張り付けるためのアクリル板を切ってネジで固定した。準備ができたので、基盤類をスペーサーで外装フレームにはんだ面が付かないように（ショート防止）調節しながら固定していった。この配置時には後の配線のことを考慮し、配置した。また、本体フレームに熱電素子加熱部分をネジで固定した。この時に本体の耐火性を高めるため、高温になりやすい部分にタイルを張った。

こうすることで万が一本体に炎がゆらいでも電子パーツやアクリル板に悪影響を及ぼさないようにした。

次に、操作をつかさどるスイッチや計器類を取り付けた。前面用のアクリル板だけねじ止めし、穴にスイッチ、基盤、発光ダイオードなどを接着・ねじ止めした。この前面のスイッチ類はとても壮観だ。(写真 10)



(写真 10)
前面、スイッチ・計器類

このままでは完成時に中の配線がぐちゃぐちゃでみっともないので、結束バンドを使用して結線することにした。できるだけ配線を短い距離に、そして見やすいように心をかけて結線した。

各回路の動作確認は基盤作成時に確認していたが、全体での確認ができていなかったなので、アクリル板で全面を覆う前に確認した。この時 USB 端子の＋極と－極が反転していた。きちんと確認しておいてよかった。

8. 仕上げ・修正

回路の動作が確認できたので仕上げを行う。

まず内部を清掃した。掃除機でアクリル板の切りくずなどの細かいゴミを除去した。いよいよアクリル板を取り付け完成だが、アクリル板にはうっすら手垢や不純物が付着していたので、

エタノールでふき取った。今度こそアクリル板を取り付ける。アクリル板に事前にあけておいた穴に細かい修正をしながらネジで取り付けた。ここで問題となる最後の一面の取り付けだが、初めに上の2点だけは手で押さえて止め、最後の2点は本体下部の隙間からラジオペンチで押さえて止めた。

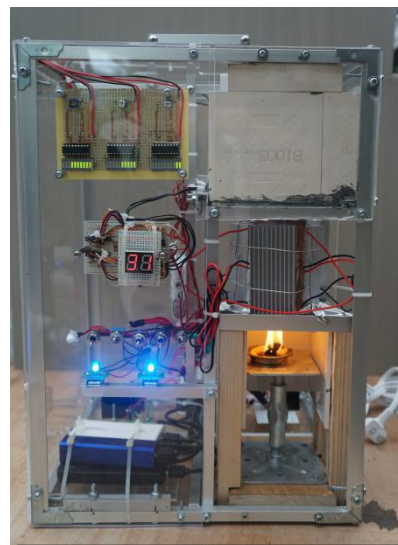
9. 動作確認

いよいよ動作確認だ。火を扱うので屋外で行った。

まずコンセントからの入力だ。前述のように動作は確認済みだ。なのであっさりと動作した。

次にバッテリーの確認だ。まず30分ほど充電をした。問題なく充電した。放電の方もうまく動作した。

最後に、熱電素子式発電の確認だ。オイルランプ皿にサラダ油を入れて綿ロープの芯に点火し、本体の熱電素子加熱部分にあてた。徐々に電圧が上がったのだが（写真11）2分ほどで熱電素子の耐熱を超えてしまい熱電素子が割れて壊れた。



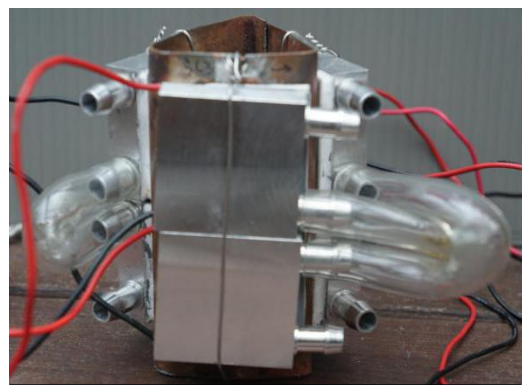
（写真11）
発電中の様子

10. 設計変更

熱電素子が耐熱を超えて破損してしまったので設計変更をすることにした。壊れた熱電素子の耐熱は80度なので、火で

あぶるには貧弱すぎた。そこで設計変更し、熱電素子を耐熱が150度のものにし、冷却用の水枕と組み合わせることにした。

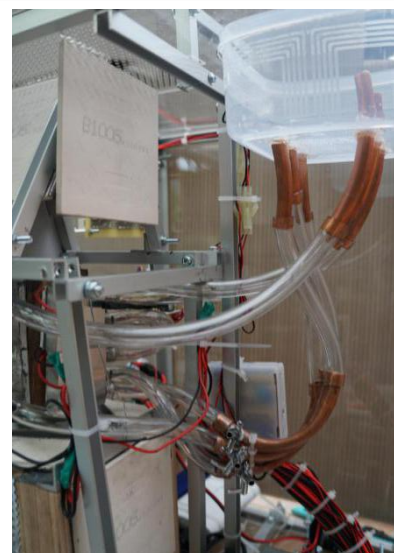
水枕で冷却する場合には、ポンプで循環させるのだが、ポンプ駆動用の電池が必要なことから自然循環式とした。水は温められると上の方に対流することから、上部の水槽と水枕をチューブで連結することで水冷システムを製作した。(写真12)



(写真12)
新 熱電素子加熱部分

水冷システム化したことにより熱電素子加熱部分周辺温度計を水枕温度計にすることができ、熱電素子の耐熱を超えないか監視できるようになった。

また水槽と水枕の接続チューブ内の水が簡単に抜けるようにミニチュアコックを付けた。ドレンホースも設置した。(写真13)

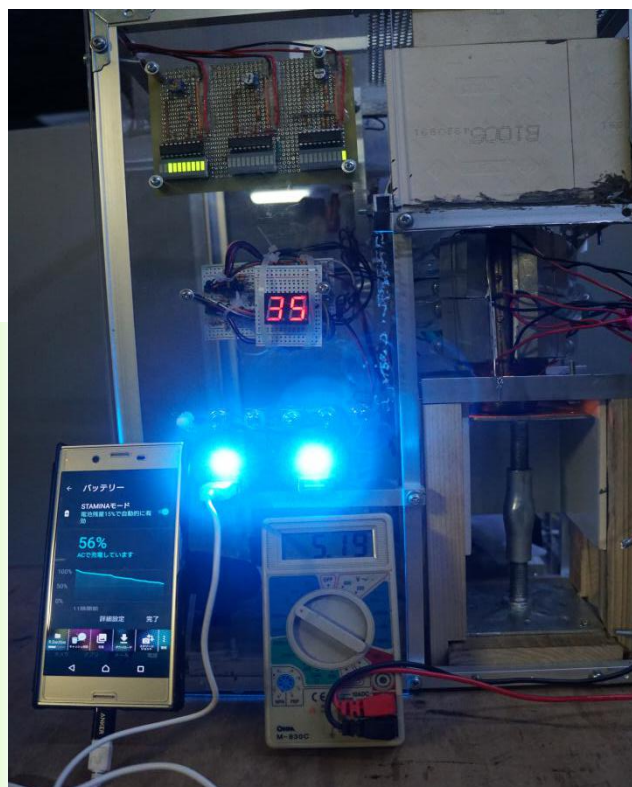


(写真13)
水冷システム

11. 新水冷システムの動作確認

新水冷システムが完成したので、動作確認を行った。新水冷システムの水タンクに水を気泡が入らないように注いだ。すると、水タンクとナマシ銅管の接続部分とミニチュアコックの接合部分からぽたぽたと水漏れを確認した。なのでグルーガンに加えシリコンシーラントで接合部分をコーキングした。乾燥後

再び水を注いだ。ここでは水漏れはなくなった。水冷システムが完成したので、綿ロープに点火し発電を試みた。すると順調に電圧が上昇し、最高電圧は 5.21V を記録し父のスマートフォンの充電ができた。（写真 1 4）（写真 1 5）



（写真 1 4）
発電中の様子



（写真 1 5）
スマートフォン充電中
〈赤線部注目〉

12. 実験

本作品の性能を確認するべく、実験を行うことにした。実験は、燃料の油種を サラダ油、使用済サラダ油、ごま油、オリーブオイルとしたときに水枕温度、電圧にどう関係するかを調査した。またこの実験は外気温 26℃、無風の条件下で行った。

実験材料：本作品、サラダ油、使用済サラダ油、ごま油、オリーブオイル、水

器具：ストップウォッチ、マルチテスター（電圧計）、ライター、ラジオペンチ

方法：①本作品に水を注ぐ。

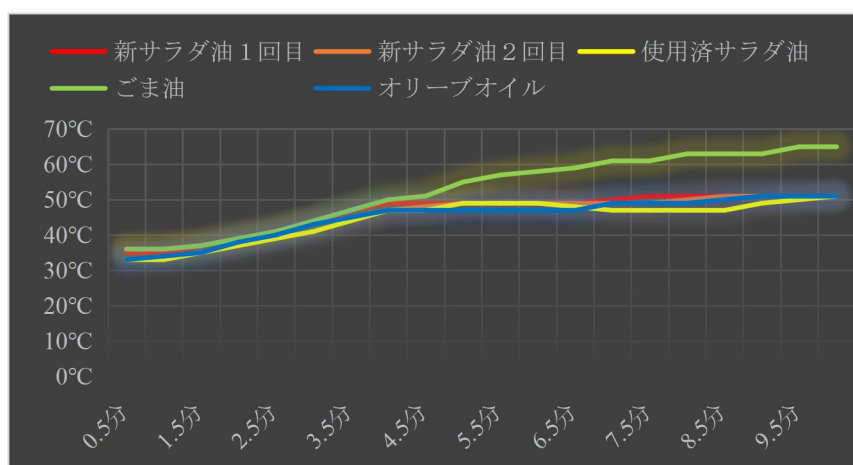
②各種、燃料油を燃料皿に注ぎ芯に点火する。

③点火と同時にストップウォッチをスタートし30秒おきに水枕温度と発電電圧を記録用紙に記録する。

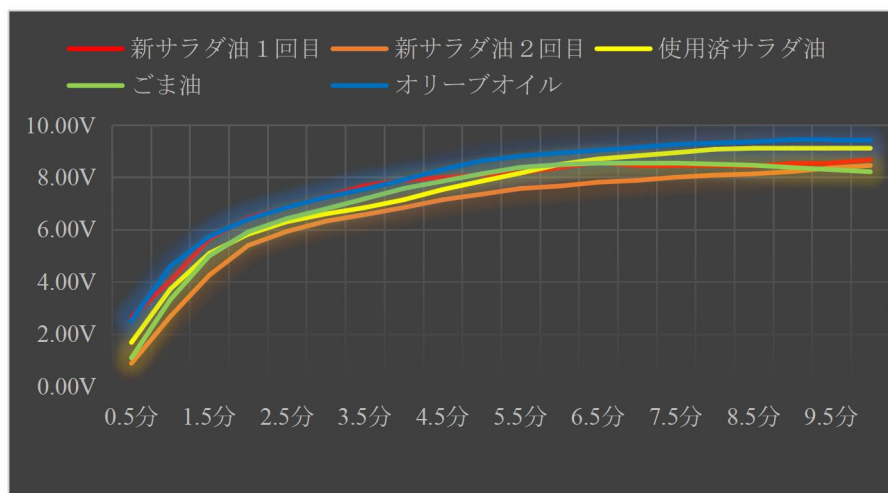
④10分間の実験後記録用紙よりグラフを作成する。

結果：記録をもとにグラフを作成した結果以下のようになった。

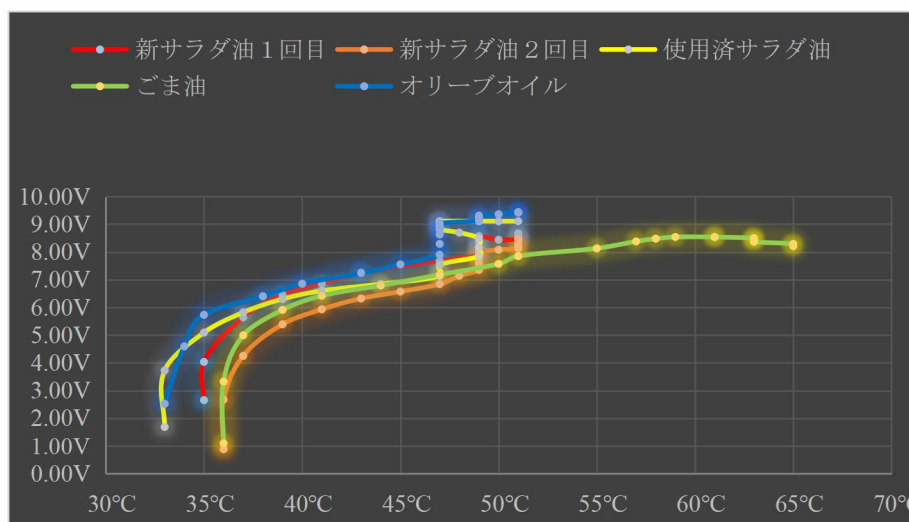
・油種類毎の水枕温度変化



- 油種類毎の発電電圧変化



- 油種類毎の温度と電圧の関係



考察： これらのグラフから性能を重視する場合は、
 オリーブオイル > 使用済サラダ油 > 新サラダ油 > ご
 ま油 がよく、コストパフォーマンスを重視する場合
 は、 使用済みサラダ油 > 新サラダ油 > オリーブオイ
 ル > ごま油 であると考えた。
 この実験から、油によって大きく性能差があって驚いた。
 非常時に油を選ぶことは難しいと思うが、このデータか

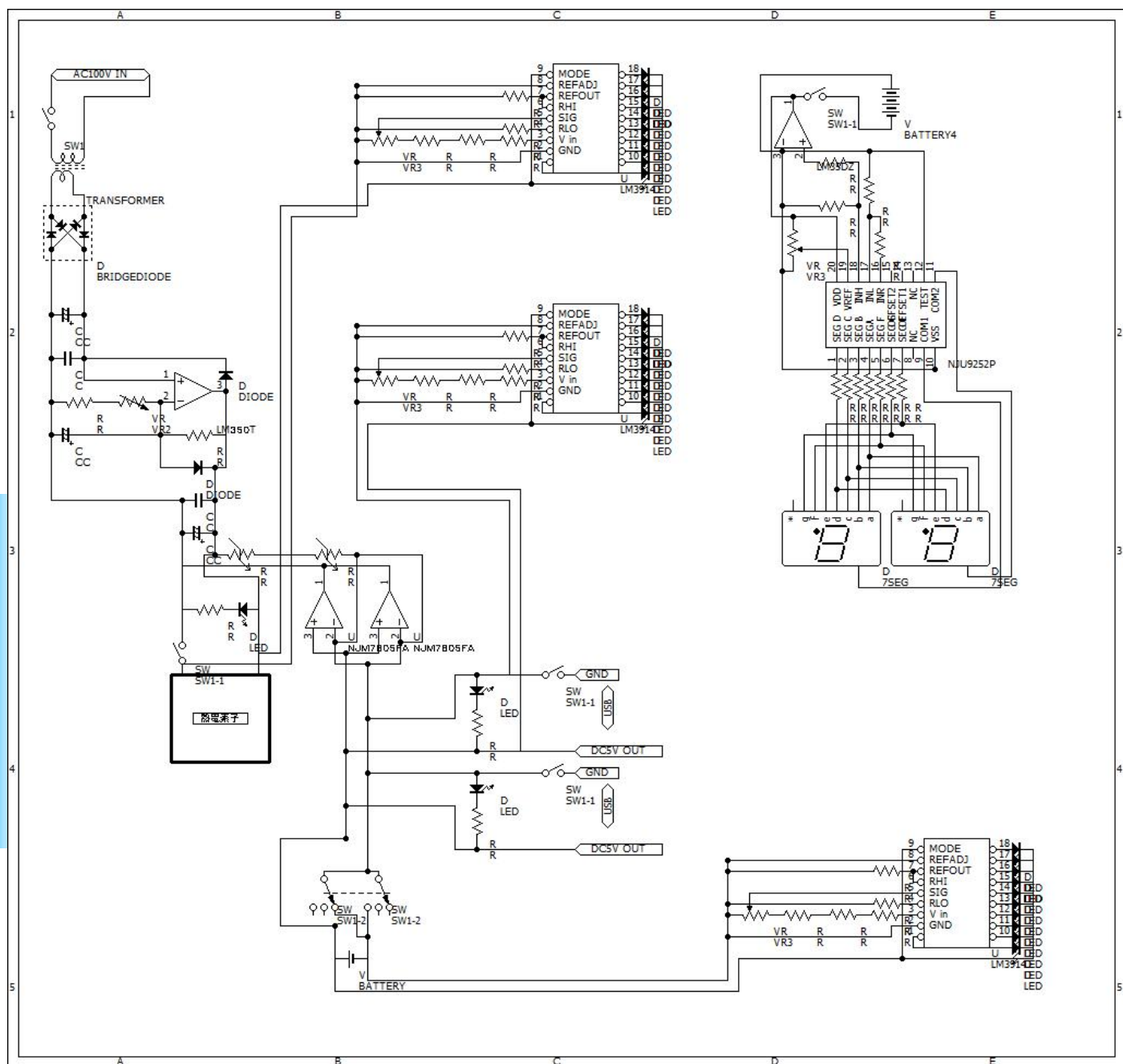
らより効率よく発電ができる。

13. 作品紹介

□本作品スペック

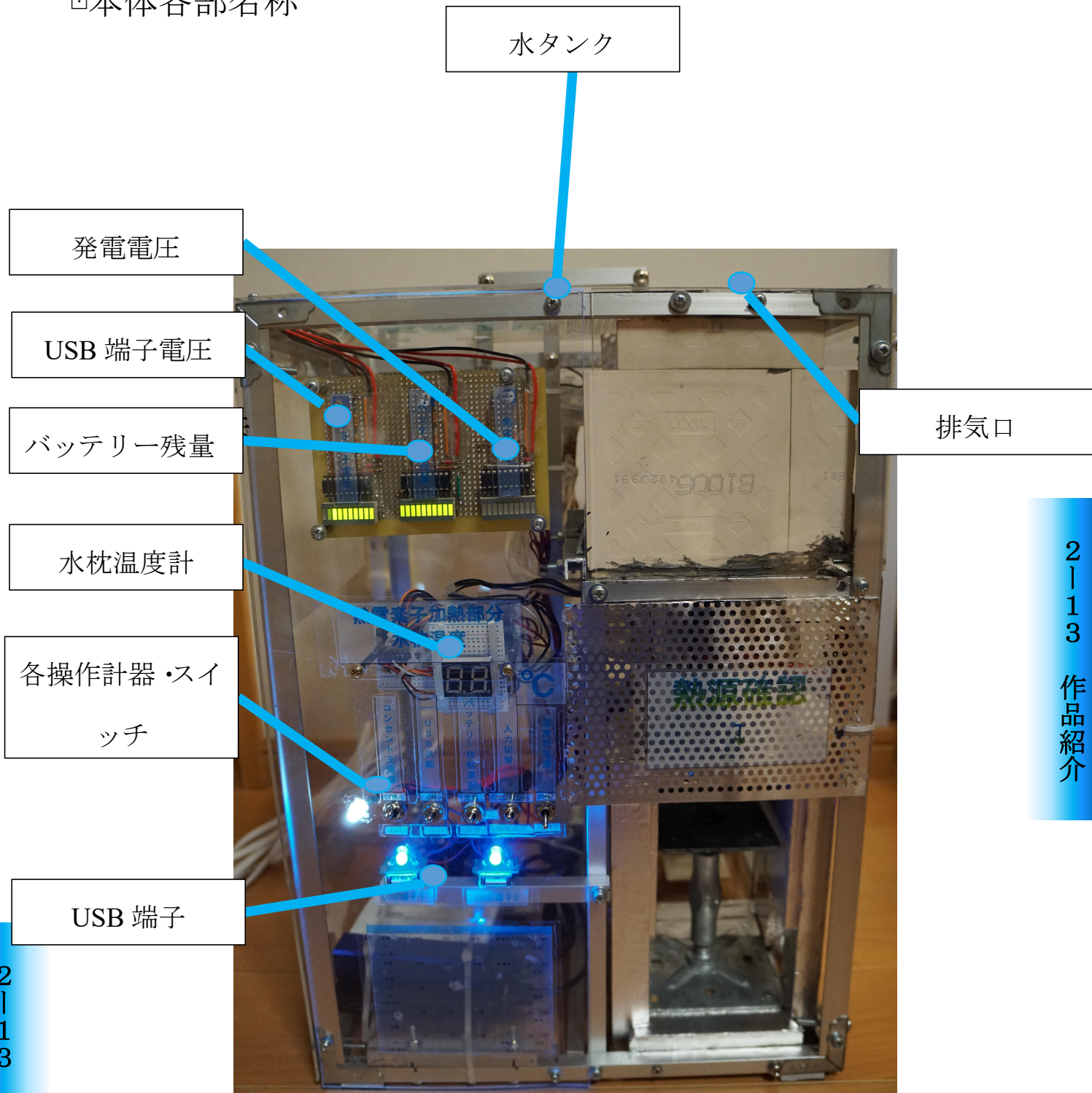
- ・本体外寸…425 mm×308 mm×308 mm (突起部分を含まない)
- ・ 本体質量…約 6.5 kg
- ・ 電源コード長さ…1500 mm
- ・ バッテリー容量…8350mA h
- ・ 充電 USB 端子出力… 2 個 (5 V 合計 2 A)
- ・ 温度計用乾電池使用本数…単三電池 (R6) × 4 本
- ・ 使用冷却水量…0. 7 L

□本体全体回路図



本作品の回路作成には (株) 秋月電子通商 様の WEB サイトを参考にした。

□ 本体各部名称



今回の作品では発電時とコンセント・バッテリー供給時では操作方法が異なるため分けて記述する。

【発電】

- ①. 各スイッチを「発電」の状態に切り替える。（表1）参照
- ②. 水タンクに気泡が入らないように水を注ぐ。
- ③. 何らかの熱源を熱源配置部分に置く。
- ④. USB 端子に電子機器を接続するかバッテリーに充電させる。

【発電終了】

- ①. 本体側面の排水コックを3つとも開く。
- ②. 完全に排水した後、排水コックを、3つとも閉じる。（次回使用時の誤操作防止のため。）

【コンセント・バッテリー供給】

- ①. コンセントにプラグを差し込む。（コンセント供給時のみ）
- ②. 各スイッチを「コンセント・バッテリー供給」に切り替える。（表1）参照
- ③. USB 端子に電子機器を接続するかバッテリーに充電させる。

（表1）
スイッチ操作表

	コンセント スイッチ	USB 端子 スイッチ	バッテリー 状態スイッチ	供給設備 選択スイッチ	温度計 スイッチ
発電 to USB 端子	OFF	ON	中立	熱電素子	ON ・ OFF 自由

発電 to 充電	OFF	OFF	充電	熱電素子	ON ・ OFF 自由
コンセント to USB 端子	ON	ON	中立	コンセント	ON ・ OFF 自由
コンセント to 充電	ON	OFF	充電	コンセント	ON ・ OFF 自由
バッテリー to USB 端子	OFF	ON	放電	コンセント ・ 熱電素子 自由	ON ・ OFF 自由

16. 使用上の注意

- ・ 高温になる部分が多いので、触れ方に注意する。近くに可燃物を置かない。
- ・ 必ず水を入れて発電する。また水は、できるだけ純度の高いものにする。
- ・ 熱源に炎を使うので発電時は、屋外で使用する。
- ・ 熱源を熱配置部分に置いたまま移動しない。
- ・ 水を入れたまま移動しない。
- ・ 動作に危険を感じた場合などは使用を中止する。

- ・ 分解は絶対にしない。また、トランスには触らない。
- ・ 本機の USB ポート出力は 5 V 2 A までなのでそれ以上の使用は故障の原因となるため注意する。
- ・ 当然ながら、本機は非防水のため水をかけたりしない。
- ・ 高温、多湿、劣悪な環境では使用しない
- ・ 使用時は、必ず水平な場所に置き衝撃などを与えたりしない。

17. 感想

僕が今回の作品を作って、1 番大変だったことは、熱の管理だ。なぜなら熱電素子モジュールは耐熱が低いからだ。そのため熱電素子モジュールの耐熱を超えないよう水冷式を採用するなどの工夫をした。そのほかにも電子回路の設計は、逆電流や部品の電気抵抗に悩まされた。どの部分を作成するにもたくさんの苦労があったが、すべてが完成して感無量である。

今回の製作で得た知識や技術は今後のものづくりに生かしていきたい。

参考文献：（株）秋月電子通商 WEB サイト

終わり

熱電素子式発電機

制作記

全 28 ページ

製作 2019年 7月・8月

発行 第一版2019年8月（県展出品冊子）

第二版2019年10月（本冊子）

企画・制作・著作 柴崎 湧人

作図・撮影 柴崎 湧人

協力 柴崎 嘉郎