

アウトドアで使える熱電発電による携帯電話充電器

信州大学繊維学部機能機械学科 島川聡, 岸本修平, 清水公平, 向井俊哉

1. 目的

キャンプ、登山時などのアウトドアで電池切れをして大変困ることがある。そんな際、手軽に携帯電話を充電することができる熱電発電器の開発と試作を研究目的とした。その最終的な携帯電話充電器の完成イメージを図1に示す。



図1 熱電発電による携帯電話充電のイメージ

発電の原理は良く使われる熱電対と同じゼーベック効果を利用したもので、異なる材料の2本の金属線を接続して1つの回路（熱電対）をつくり、ふたつの接点に温度差を与えると、回路に電圧が発生するというものである。一般的に、熱電対を直列に多数繋ぐことによって熱電堆とすれば、感度の良い温度センサとなることは知られている。この熱電堆を使用することによって、熱源があればどこでも十分な発電することが可能である。

中間報告⁽¹⁾では340mVしか発電できなかったが、本報では改良を加え起電力を高めた新型の熱電発電による携帯電話充電器について報告する。

2. 熱電発電器の種類

新型の熱電発電器として、次の3種類のタイプを作製した。表1に特徴を示す。

表1 熱電発電器の特徴

発電器名称	外観形状	組合せ	熱電対数 (対)	常温時 抵抗値(Ω)	重量 (g)
1号機	角型	クロメル-コンスタンタン	200	20	165
2号機	丸型	クロメル-コンスタンタン	210	20	145
3号機	フレキシブル型	銅-コンスタンタン	200	600	50

3. 実験装置

3. 1 熱電対溶接器

鉛筆芯を電極とするアーク溶接器を作製し、これを使ってクロメル・コンスタンタン熱電対(直径 0.8mm, 長さ 45mm)の融着を行う。図 2 に溶接器の回路図を示す。溶接接合部がホットジャンクション(高温側)となる。コールドジャンクション(冷却側)は銀ロウ付けによる方法を採用し、高熱流束に対応できるようにした。両方ともアーク溶接の方が耐熱では優れているが、熱電対長さを整え、接合面の平面寸法を正確に出すためには、手作りの関係上調整しやすい銀ロウ付けにした。

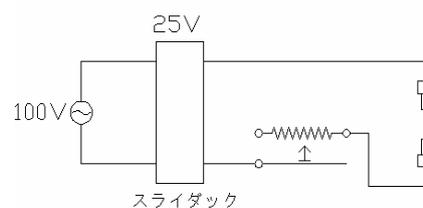


図2 アーク溶接器回路図

3. 2 熱電発電器の製作方法

1号機はプラスチック製の治具を作って、10対の熱電対を正確に板状に揃えてつなげ、それを20枚重ねて200対を直列につないだ熱電発電ブロックを作製した。図3に設計図と外観を示す。このプラスチック製の治具は熱電対どうしがジャンクション以外で接触するのを防ぐため、内径0.8mm 外径1mm、長さ10mmのステンレスパイプの肉厚分の間隔をあけるためのものである。20本直線並列板状につないだものをプラスチック製の型枠の中に収めた。

パイプに10対の熱電対を入れることで間隔が開き、接触することを防いだ後、1600°C以上の耐熱性があるセラミック絶縁材を熱電対の端部にモールドし、乾燥した後少しパイプをずらし、またモールドし、最後にパイプを抜き去る行程をとった。この方法は厳密に絶縁が確保できるが、非常に手間がかかった。外周には適切な四角の中空材が見つからなかったので市販の鉄製枠を採用した。そのため少し重くなった。

高温面は金属の上で熱することを考慮し、裏面に絶縁物質を塗った。直接炎に接触する場合は2号機のようにジャンクションはそのままとし熱抵抗を少なくした。

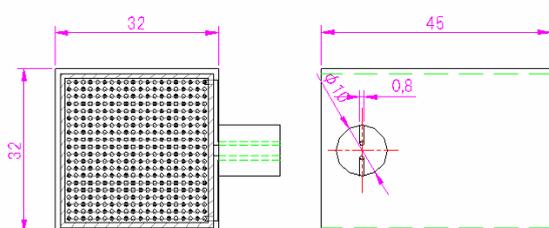


図3 四角状熱電発電ブロック (1号機)

2号機は、円状になるように200対を直列につなげたブロックを作製した。図4に設計図と外観を示す。このブロックでは、市販のセラミック製の絶縁管を使用しジャンクションどうしが接触するのを防いだ。図5に絶縁管を示す。この絶縁管には4つの穴が開いているため、1本に熱電対を2対入れることが可能となる。

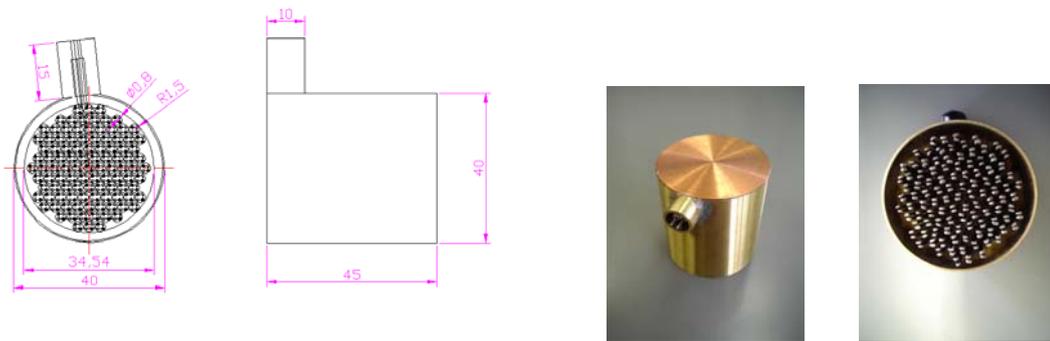


図4 円状熱電発電ブロック（2号機）



図5 セラミック管

1号機に比べると劣るが、比較的密に熱電堆を束ねることが出来、しかも製作しやすいが、回路の都合上4つの分割ブロックを作ってからあわせたため、最後の行程であるコールドジャンクションを銀ロウ付けする際に苦労した。

最後の3号機は直径0.2mm、長さ20cmの銅線とコンスタンタン線を銀ロウ付けによって接合した熱電対を200対直列に接続したもので図6に示す。線状なため、フレキシブルなものとなった。熱電発電器内の内部抵抗を減らすために銅コンスタンタンの組み合わせを用いた。

加熱する際、高温部には熱伝導の良い銅管で焚き火などに投入しやすい熱誘引部をもうけた。図7に加熱部分を示す。

予算の関係上、高温にあまりもたないポリエステル被覆線を使用した。この絶縁を強化するために高温側ジャンクション付近に300℃までもつエポキシ絶縁被覆を塗布した。この絶縁材乾燥行程では木の枠に適当な穴をあけそこに熱電対線の先端を入れ穴より少し細めの棒で固定した。図8に乾燥板と固定に使用した棒を示す。ところが絶縁被覆を塗布乾燥する行程は非常に手間がかかり、おまけに乾燥回数を少なくする結果、被覆がどうしても厚く滴状のムラになり思うような細いコンパクトな熱電堆が出来なかった。この選択はまずく、最初から高価なテフロン又はセラミック被覆線を使用すればよかったと反省している。

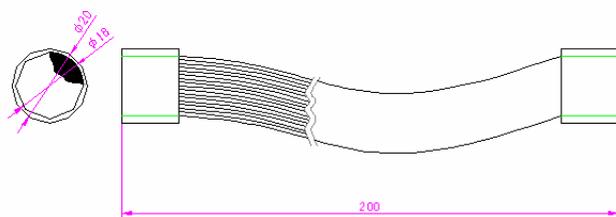


図 6 線状熱電発電ブロック（3号機）

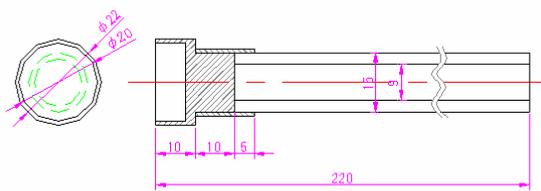


図 7 線状熱電発電ブロックの加熱部分

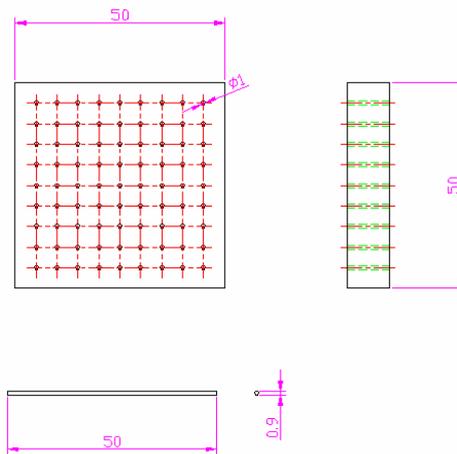


図 8 線状熱電発電ブロックの絶縁接合に使用した乾燥板と棒

3. 3 熱電発電器と携帯電話との接続回路

3つの熱電ブロックに分けたのは、電圧・電流どちらを稼ぐかによって直列・並列回路の選択が可能になるようにしたためである。

今回は市販の乾電池による携帯電話充電器(1,2号機用：株式会社リックス社製 型番RX-JUK548A 3号機用：AIR'S JAPAN社製 型番SJ-BT1)に並列に繋げるようにして携帯電話充電をする方式を採用した。熱電発電器から携帯電話に充電する場合、定電圧回路の配線が必要になる。熱電発電の出力を一定にする回路として一番簡単なツェナーダイオードを使った配線を導入した。図9に示す。

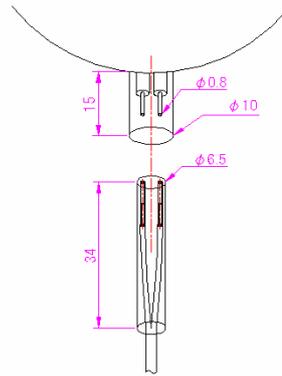
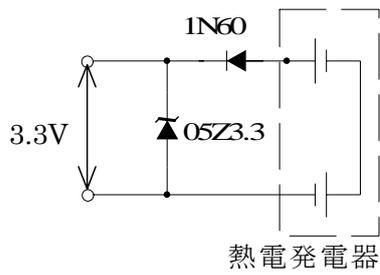


図 9 熱電発電器から携帯電話への配線図とコネクタ部

3. 4 実験装置

実際に、1号機の熱電発電ブロックの起電力を測る。今回、ヒータとガスコンロの2通りで加熱を行った。冷却側には、アルミ容器に水を注いだものを使用した。このときの起電力を測る。加熱面、冷却面の温度は $\phi 0.25\text{mm}$ のクロメル・アルメル、インコネルシース熱電対でアドバンテスト製マルチ温度計を使って測定した。1号機と3号機の実験風景を図11に示す。

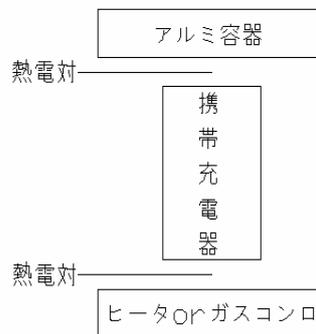


図10 実験図



1号機



3号機

図 11 実験風景

4. 実験結果と考察

ヒータで加熱した際の温度差と起電力の関係を図 12 に示す。

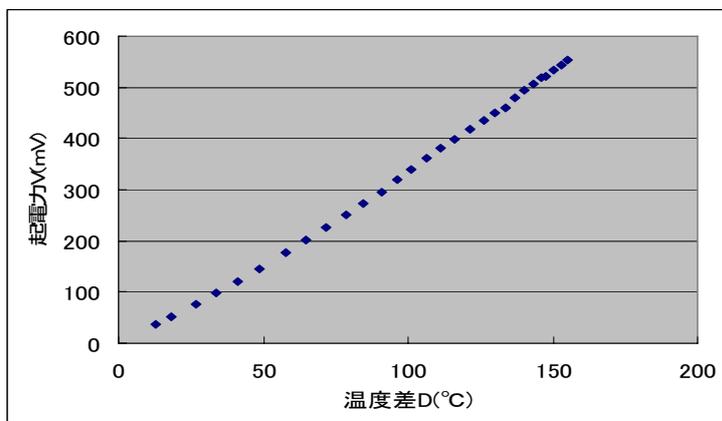


図 12 温度差と起電力の関係(ヒータ)

1号機で使用したクロメル・コンスタンタン熱電対は、長さによらず起電力は決まっている。その起電力は、温度差 100°C で 1 対当たり 6.32mV である。今回 200 対使用しているの、その起電力は、

$$V = 6.32 \times 200 = 1264 \text{mV} / 100^\circ\text{C} \approx 1.26 \text{V} / 100^\circ\text{C}$$

となる。しかし、実験結果を見ると 100°C で約 340mV しか出ていない。この効率は、理論値の約 25% にしか及ばない。これは、ブロック本体に使用している絶縁帯があり、それによって温度を測っている場所と熱電対の端との温度に差があるため、実際に熱電対自体に発生している温度差は低いと考えられる。フーリエの熱伝導式で計算してみると、

$$q = \lambda \Delta\theta / x$$

$$\Delta\theta = q x / \lambda = 19.4^\circ\text{C}$$

$$q : \text{ヒータの熱流束 } 1.08 \times 10^4 \text{ W/m}^2$$

$$\lambda : \text{熱電対の熱伝導率 } 25 \text{ W/(mK)}$$

$$\Delta\theta : \text{熱電発電装置の高温部と低温部の温度差}$$

$$x : \text{熱電対の長さ } 0.045 \text{ m}$$

となり、温度差が低いことがわかる。図 13 に熱流束の模式図を示す。

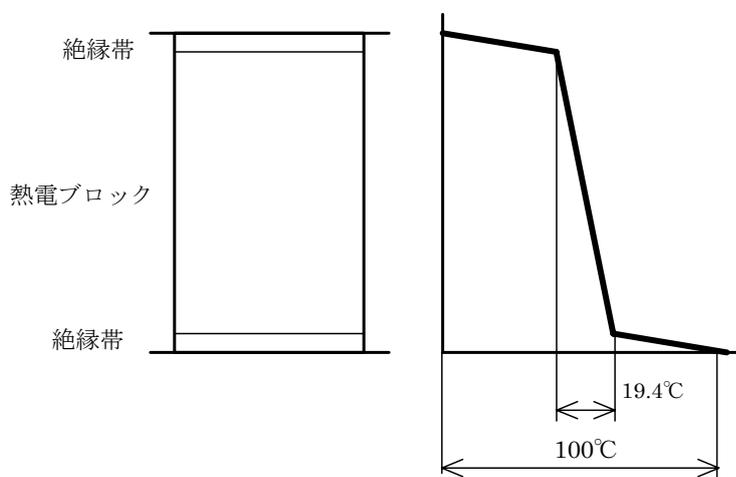


図 13 熱流束の模式図

次に、ガスコンロで加熱した場合の実験結果を表 2 に示す。

表 2 ガスコンロで加熱した場合の実験結果

run	1ch 加熱面温度(°C)	2ch 冷却面温度(°C)	D 温度差(°C)	V 出力電圧(mV)
1	47.6	34.1	13.5	43.5
2	115.6	37.3	78.3	191
3	161.6	41.1	120.5	343.5
4	202.9	47.8	155.1	486.5
5	242.6	55.7	186.9	622.3
6	282.4	63.4	219	768.9
7	319	72.4	246.6	912.3
8	353.2	81.5	271.7	1105
9	380.2	91.3	288.9	1915
10	407.9	99	308.9	2086
11	431.2	106.8	324.4	2208
12	451.6	113.7	337.9	2309
13	469.8	119	350.8	2400

温度差と起電力の関係を図 14 に示す。

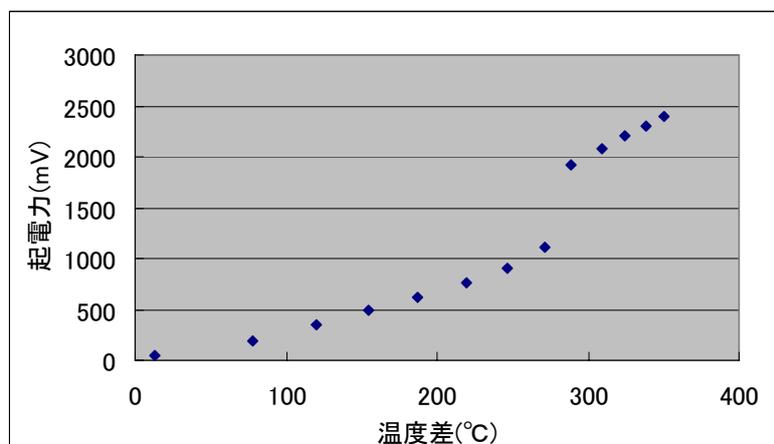


図 14 温度差と起電力の関係(ガスコンロ)

温度差が 280°C で起電力の上がりが激しくなっている。280°C 前の効率はヒータとほぼ等しく理論値の約 30% であるが、280°C 後は理論発電起電力は 3.54 Volts であるから約 50% となった。これは、絶縁帯において絶縁材の熔融固着が完了し、空気などの接触抵抗が減少したため起電力が上がったと考えられる。

1 号機でのガスコンロ加熱面温度は最高 469.5°C、冷却面温度は 119°C であり、出力は 2.4 Volts が得られた。まだ高温域まで発電ブロックは安定して作動するが、加熱面のアルミ伝熱板の条件からこの点で実験を終えた。充電定格電圧 3.3 Volts 以上を得るための 482°C の温度差を 1 号機だけで実現することも材料的には可能かもしれないがやはり少し高すぎる。

1 号機の熱電ブロックと 2 号機の熱電ブロックを直列に繋げば十分余裕を持って充電定格電圧 3.3 Volts 以上を獲得できることが分った。

5. 結論

野外で携帯電話の電池切れをおこした際、手軽に充電することができる熱電発電器の開発と試作を試みた。その結果、充電定格電圧 3.3 Volts 以上を発電ブロック 2 ヶをシリーズで繋ぐことによって十分充電機能を発揮することが分った。

6. 謝辞

実験を進めるにあたり多大なご協力を頂いた張歆嘉君、日向研究室の諸君に深く感謝いたします。

参考文献

- (1) 岸本 修平, 八光熱の実験コンテスト 中間報告書
-