

令和 5 年度
プロジェクトデザイン III
プロジェクトレポート

環境発電を利用した電子機器の非電源化の実験

提出日 令和 6 年 1 月 17 日

学科:情報工学科

指導教員:中沢 実 教授

氏名

細川 蒼生 1002380(4EP4-50)

概要

電子機器は電源によって設置できる場所や動作できる時間が制限される。この問題を解決するためにラジオの電波を電気に変換する回路を用いて設置できる場所や動作できる時間が制限されない電子機器を作成した。この電子機器はラジオ塔から半径 50m 以内の場所で 72 分間スリープモードで電波を電気に変換し続けなければ動作することができず汎用性は低い。しかしこの電子機器はラジオ塔付近であれば暗い茂みでも発電ができるので太陽光発電を電源とする場合よりは様々な場所に設置することができる。

活動履歴

期間	活動内容	活動時間[h]
4-5 月	調査とテーマ決定	120
6-8 月	電波による発電に適した場所の調査(4.1 章)	180
9-10 月	電波によるバッテリー充電実験(4.2 章)	170
11-12 月	非電源で動作する電子機器の作成，動作実験(4.3 章)	130
1 月	論文作成	30

目次

第1章 はじめに	1
第2章 動向調査	2
2.1 既存研究の調査	2
2.1.1 電波からエネルギーを取り出す研究	2
2.1.2 メンテナンスフリーのセンサーを実現するエネルギー・ハーベスティング技術	2
2.2 既存研究からの変更点	2
第3章 提案手法	3
3.1 電波による発電の仕組み	3
3.2 電子機器の構成	3
3.3 実験の手順	3
第4章 実験	4
4.1 電波によるLED点灯実験	4
4.2 電波によるバッテリー充電実験	4
4.3 発電した電気のできることの調査	5
第5章 考察	6
5.1 研究における課題	6
5.1.1 電波による発電の効率の悪さ	6
5.1.2 電波による発電の効率の悪さ	6
5.2 改善点	6
5.2.1 整流回路へのバックワードダイオードの使用	6
5.2.2 運搬性を考慮しないアンテナの作成	6
5.2.3 電子機器に合わせたマイコンの使用	6
第6章 おわりに	7
参考文献	8

図目次

図 1: メンテナンスフリーのセンサー機器の構成	2
図 2: 電波を電気に変換する回路	3
図 3: 電子機器の構成	3
図 4: 製作したアンテナの例	4
図 5: アンテナと場所に違いによる電圧の変化	4
図 6: バッテリー充電時の回路構成	5

表目次

表 1: 場所と発電方法によるバッテリー充電量の比較	5
----------------------------	---

第1章

はじめに

今日では様々な電子機器が開発され、人々の生活を豊かにしている。一方で、電子機器が共通して抱えている問題として、コード式の電子機器であればプラグがコンセントに届く場所にしか置けないように設置場所が電源によって左右されてしまうという問題がある。

電池や太陽光発電を電源に用いればこの問題の対策ができるが、電池なら動作時間が制限され、太陽光発電は日当たり等の別の条件で設置場所が左右されるため、根本的解決はできない。そこで環境発電といわれる電波や光等の環境に含まれるエネルギーを電気に変化する技術を用いて、どこでも利用可能な電子機器を開発しようとした。

第2章 動向調査

2.1 既存研究の調査

2.1.1 電波からエネルギーを取り出す研究

電波による発電の研究において主に行われているのはマイクロ波を用いた発電の研究である。しかしマイクロ波を用いる研究は得られる電力が少なく、部品の調達が難しいと言う点から実験が困難だと判断し、ラジオ波を用いた発電の研究を参考にすることにした。[1]

ラジオ波を用いる発電では鉱石ラジオや壱壕ラジオと呼ばれる非電源でラジオを聞くことのできる古い構造のラジオを参考にして発電を行っている。この発電方式で得られる電力は少なく、スピーカーやLED等のシンプルな電子部品しか動作させられない。

2.1.2 メンテナンスフリーのセンサーを実現するエネルギー・ハーベスティング技術

この研究ではエネルギーハーベスティングと言う熱や振動等の微弱なエネルギーを電気に変換する技術を用いて、非電源で無線通信可能なセンサー機器を開発していた。[2]エネルギーハーベスティングと環境発電は同じ意味である。特に参考にした部分はセンサー機器の回路構成で、実験時に作成した電子機器は同じ構成をしている。図1はこの研究で構想されていたセンサー機器である。

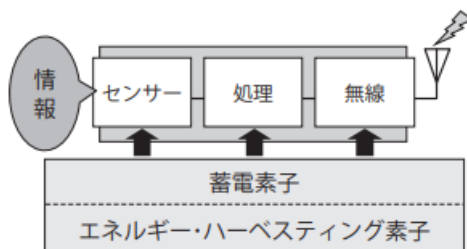


図1: メンテナンスフリーのセンサー機器の構成

2.2 先行研究からの変更点

2.1.1 と 2.1.2 の研究を組み合わせることで1つの研究とし、ラジオの電波を電源とした無線通信可能なセンサー機器を開発した。また電波を電気に変換する回路を全波整流回路のみにして電力損失を抑えたり、センサー機器にスリープモードにして充電に専念する期間を設ける等、微弱なエネルギーでセンサー機器を動かせるような変更を行った。

第3章 提案手法

3.1 電波による発電

図2は電波から電気を取り出す回路の構成である。基本はACDC変換器と言う携帯電話の充電器等で用いられている交流の電気を直流の電気に変換する回路を参考にしている。

当初はこの回路を用いていたが、電源の回路から直接接続されるバッテリー充電用の回路が幅広い電圧の入力に対応していたため、変換時に損失を抑えるためにもアンテナと整流回路以外は取り外して運用した。

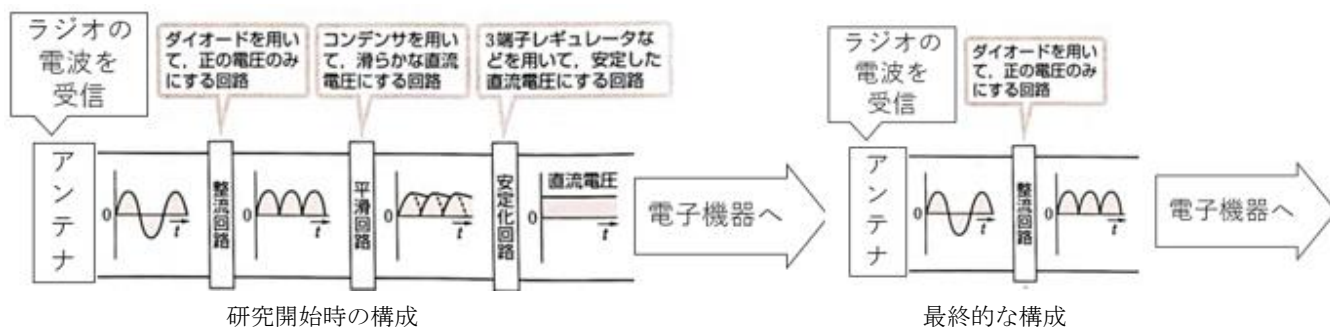


図2: 電波を電気に変換する回路(文献[3]を参考にした)

3.2 電子機器自体の構成

今回の研究ではラジオの電波を用いてLED等よりも複雑な電子機器を電波で動かせるようにする研究を行う。図3は電子機器の構成である。電源ではアンテナが受信した電波から交流の電気を直流の電気に変換する回路を参考にした回路で電気を取り出し、バッテリーへと供給している。

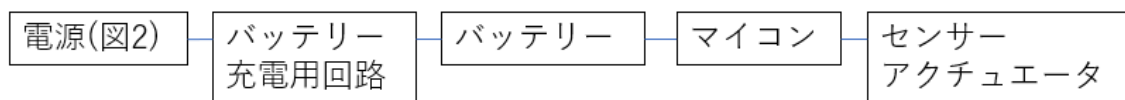


図3: 電子機器の構成

電波から得られる電力は少なく、LEDのように低消費電力のものでなければ常時動作させることはできない。そこで電子機器には消費電力を抑えるスリープモードになる期間を設け、非スリープモード時の動作に必要な電気を充電する。

3.3 実験の手順

3.2 電子機器自体の構成にて説明した電子機器を作成する準備として、まず様々な場所で電波による発電を行い、発電に適した場所を調査する。次に発電に適した場所で得られる電力を調べ、作成可能な電子機器を考える。最後に電子機器を作成し、どの程度の時間をスリープモードにし続ける必要があるのかを調べて、電波による電子機器の非電源化の有用性を考察する。

第4章 考察

4.1 電波による LED 点灯実験

まず電波を電気に変換する流れの確認や電波による発電に適した場所を探すために電波をエネルギー源として LED を発光させる実験を行った。受信する電波には大学の施設内にある 50W の FM ラジオを用いることにした。発電用のアンテナにはシンプルな形状で加工の容易なダイポールアンテナやループアンテナを用いた。図 4 は製作したアンテナの画像である。



ダイポールアンテナ



ループアンテナ

図 4: 製作したアンテナの例

13 パターンのアンテナを作成し、ラジオの電波を受信した時の波形をオシロスコープを用いて確認した。図 5 はこの実験により得た電気の電圧を比較したものである。実験は 4 ヶ所で行い、地点 D、地点 C、地点 B、地点 A の順でラジオ塔に近い。アンテナの種類や角度、ラジオ塔との距離によって得られる電圧が変化することを確認したが、電圧の最高値は 150mV 程度であり、発光に 1.2V 程度必要な LED は動作しなかった。

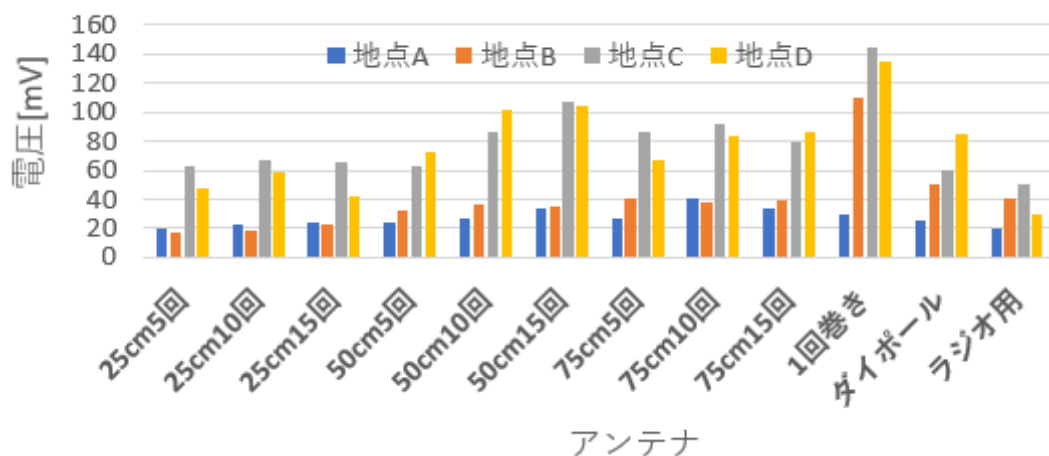


図 5: アンテナと場所に違いによる電圧の変化

LED が発光するレベルの電圧を得られない原因が利用しているラジオの出力が弱いためだと判断し、別のラジオ塔で実験を行うことにした。この時に別のラジオ塔まで自転車で移動するため、運搬性を考慮して銅線を複数回巻いたループアンテナを採用することにした。学内のラジオを除いて 3 つのラジオ塔で実験を行ったところ、最終的に 10kW の AM ラジオ塔と 1kW の FM ラジオ塔のある公園で AM ラジオ塔からの距離が半径 50m 程度なら、LED を発光させることができた。

この実験途中で AM ラジオ塔のすぐ近くにある FM ラジオ塔の方にアンテナを向けると LED が発光しなかった。また先行研究では私が利用した 10kW の AM ラジオ塔よりも出力が圧倒的に少ない 100W の AM ラジオ塔で LED が発光させられている。これらのことからラジオ波を用いて LED を発光させることにはラジオ波の出力の高さはあまり関係なく、ラジオ波の種類が AM 波であることが重要だと考えられる。AM 波は振幅変調方式によって作られている。これは電波に音声情報を電圧の変化として含ませるものである。そのため音声情報次第では AM 波から得られる電気は FM 波のものよりも高い電圧となることがあると考えられる。LED や整流回路に用いられるダイオードは一定の方向からある程度の電圧をかけた場合のみ電気が流れるものであり、逆方向から電圧をかけた場合やかける電圧が低すぎる場合は電気は流れない。よって AM 波の電圧が高くなるタイミングのみ LED に電気が流れ、発光している。

4.2 電波によるバッテリー充電実験

次に電波による発電で 3.7V, 860mAh のバッテリーの充電を行うことにした。充電を行う回路には DTP-LIPO-CHARGER を用いた。これは対応している入力電圧が 3.75～6V と幅広いので、整流後の電気をそのまま供給した。最初にループアンテナを 1 つ充電用回路に接続した際にはバッテリーへの充電ができなかったため、今までに作成してきた他のループアンテナを 4 つ連結し、充電可能な状態にした。図 5 は充電用回路が動作した時の回路構成である。アンテナは整流回路に対して並列に連結したが、1ヶ所だけ出力が増加したので指でつまんで接地した状態にしている。

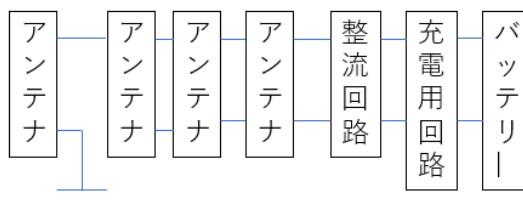


図 5: バッテリー充電時の回路構成

この時にどの程度充電されているのかを確認するためにバッテリーの残量を調べる機械を用いて太陽光発電と電波による発電の比較実験を行った。実験内容はラジオ塔から約 30m 離れた場所にある日向と日陰の 2ヶ所で太陽光パネルとアンテナをそれぞれ 30 分間バッテリー充電用回路に接続し、バッテリーが何%充電されたかを調べた。太陽光パネルの実験は日当たりを揃えるために空模様の近い 2 日間に分けて行った。

表 1 はこの実験の結果を表したものである。日向では太陽光発電の充電量が高いが、日陰では電波による発電の方が高い。これは日陰と設定した場所を太陽光発電が機能しないレベルで暗い茂みにしたためである。

表 1: 場所と発電方法によるバッテリー充電量の比較

場所\発電方法	太陽光	電波
日向	7	2
日陰	0	3

今回用いた 4 つアンテナの面積の合計は太陽光パネルの面積のおよそ 33.2 倍である。そのため日向の太陽光発電の発電量を面積の差と夜間は発電できないことを考慮して増やし、電波による発電の平均値と比較した。その結果太陽光発電

は電波による発電の約 46.5 倍の出力があり、圧倒的な差があることが分かった。しかし太陽光発電の発電は行えられないが、電波による発電であれば行えられる環境も存在するので、電波による発電にも僅かに優位性は存在する。

4.3 発電した電気のできることの調査

最後に発電した電気で、どの程度の電子機器を動作させることができるのかを調べた。作成した電子機器は動作確認のしやすさから温度計にした。温度計の主な仕様としては、一定時間ごとに温度を測定し、メーターによる温度の表示と無線通信による過去 10 回分の温度データの送信を行い、それらを行わない時間は消費電力を抑えるためにスリープモードに入ると言うものである。通信方式には長距離通信が可能な通信方式を用いたかったが、マイコン自体が対応していなかったので、Bluetooth 通信の一種である BLE を用いた温度計として作成した。温度計の作成時には Sced Studio XIAO nRF52840 という小型のコンピュータを用いた。この温度計を 30 分間に 1 度だけ動作させたところ、バッテリーは 6%消費された。電波によって 30 分間バッテリーを充電した際に平均 2.5%充電されたことから、 $(6/2.5) \times 30 = 72$ 分間に 1 度の間隔で動作させれば、理論上はこの温度計を動作させ続けることができる。ただしバッテリーを充電しつつ、スリープモード中の電子機器を動作させることはできないという問題を抱えており、過去の温度データを記録するフラッシュメモリの寿命から 1 年程度しか動作できないので、実際に運用するのは困難だと予想される。

第 5 章

考察

5.1 研究における課題

5.1.1 電波による発電の効率の悪さ

電波による発電で得られる電力は少なく、太陽光発電の約 50 分の 1 である。そのため発電した電気をを用いて電子機器動かすには省電力に特化したマイコンを用いて長時間動作させず電池の充電に専念し、数秒だけ動作させるのが限界である。特に致命的なのは、充電時でも僅かにマイコンで電力が消費されることで、充電しつつマイコンのスリープモードを維持することはできない。

5.1.2 使用したマイコンと作った電子機器の相性

今回使用したマイコンは本体自体の消費電力が少ない点や更に消費電力を減らすディープスリープモード機能がある点、リポバッテリーによる電源供給と充電が可能な点は優れているが、メモリの寿命が何度もデータを書き込む処理によって縮まる点や本来計画していた通信方式への対応がしていない点等、目的に対して最適なマイコンではなかった。これは予算や時間的都合により、研究室内にあったマイコンを利用したためである。

5.2 改善点

5.2.1 整流回路へのバックワードダイオードの使用

電波を電気に変換する回路の部品であるダイオードでは、電流が流れた際に電力が消費される。電波による発電は効率が悪いので無駄な電力消費を抑えたい。そのためこの研究ではショットキーバリアダイオードと言う消費電力の少ないダイオードを用いているが、現在では研究段階だが、消費電力が限りなく 0 に近いバックワードダイオードと言うものが存在する。このダイオードを用いて消費電力を減らせば、現状よりも使える電力が増えて、電波による発電でできることの幅が広がると考えられる。

5.2.2 運搬性を考慮しないアンテナの作成

電波による発電で用いたアンテナはループアンテナと言うものである。これは銅線を複数回巻いて作成したもので、正方形の形をしている。他にも幾つかアンテナを作成したが、アンテナ 1 つではどれも発電量が少ないので、実験を行うラジオ塔まで複数のアンテナを自転車で運ぶ必要があった。そこで運搬性を考慮し肩に担いだり、たすき掛けにしたりして複数個まとめて運ぶことができるループアンテナを実験では主に用いた。しかし運搬性を考慮せずに発電量を重視したアンテナを自動車で運搬すれば、得られる電力は増やせると考えられる。

5.2.3 電子機器に合わせたマイコンの使用

消費電力の少ないマイコンは一般的なコンピュータと比較して機能が限定されている。そのため用途に応じて適切なマイコンを用意する必要がある。それを行うためにも金銭的、時間的余裕を持たせた計画をたてる必要があると考えられる。

第6章 おわりに

電波による発電を用いて非電源の電子機器を作成することはできた。発電が可能な場所は限定されており、当初解決しなかった電子機器の設置場所の制限を無くすことはできなかった。しかし太陽光発電が行えない場所で発電できることもあるので、電子機器が設置できる場所は少し広がったと考えられる。また電波による発電にはまだ改善点があり、今回作成した温度計以外の電子機器の電源として使えるようになる可能性もある。

謝辞

本研究の実施において協力して頂いた中沢研究室の皆様に感謝致します。

参考文献

- [1]電波からエネルギーを取り出す研究, 入手先<<https://gakusyu.shizuoka-c.ed.jp/science/sonota/ronnbunshu/102017.pdf>>, (参照 2023-12-7).
- [2] メンテナンスフリーのセンサーを実現するエネルギー・ハーベスティング技術
入手先 <<https://www.fujitsu.com/downloads/JP/archive/imgip/jmag/vol64-5/paper14.pdf>>, (参照 2023-12-22).
- [3]高木茂孝 鈴木慶次：電子回路 新訂版, 実教出版株式会社 (2021)