

エネルギーの有効活用を目指した環境発電に関する研究

(電磁波ノイズの回収と蓄電に関する技術開発)

電子情報科 主任研究員 中 川 豪

IoT の急速な普及に伴いあらゆる場所にセンサデバイスが設置され、情報の収集と演算、データの無線送信が行われている。これら IoT センサデバイスの電源として、環境発電技術が注目されている。代表的な環境発電のエネルギー源として光^[1]・振動^[2]・熱^[3]・電磁波^[4]等が挙げられるが、電磁波エネルギーによる環境電波発電は他のエネルギー源に比べ発電量が 1/100～1/10 と少ないという問題がある。そこで本研究では、屋内で稼働する電気・電子機器（民生機器、産業機器）から放出されている不要な電磁波ノイズに着目し、これをエネルギー源とした環境電波発電ユニットを開発する。今年度はアンテナ形状の検討と、昇圧整流回路の設計・試作を行った。

1. 緒言

持続可能な社会の実現に向け、環境発電（エネルギーハーベスティング）が注目されている。ここでいう環境発電とは、身の回りに薄く広く存在している微小なエネルギーを収穫し、微弱な電力に変換して有効利用する技術であり、送電網（系統電力）から分離した、電池を代替する持続的電源といえる。近年の IoT の急速な普及に伴い、住宅や工場、商業施設、インフラ（道路、橋など）、農場などありとあらゆる場所にセンサデバイスが設置され、ワイヤレスセンサネットワークを構築して情報の収集と演算、データの無線送信が行われている。これら IoT センサデバイスの電源には一般的にボタン電池などが使われているが、センサデバイスが置かれている周囲の環境には捨てられて無駄になっている様々なエネルギーが存在している。これらの環境エネルギーから電力を取り出すことができれば、エネルギー的に自立したデバイスとして、長期間にわたりメンテナンスせずに使用することが可能になる。このように環境発電は IoT 分野と相性が良く、大量の一次電池廃棄に伴う環境負荷を低減できるだけでなく、本来は捨てられていたエネルギーを有効に活用することで間接的な省エネや省資源の実現にも貢献しうる高付加価値なエネルギー源として、今後欠かすことのできない重要な技術であるといえる。

代表的な環境発電のエネルギー源として、光（室内光）・振動（応力）・熱、電磁波等が挙げられるが、いずれのエネルギー源を用いた場合にも発電能力は 1.0 μW ～100 μW 程度と少ない。しかしながら、マイクロコントローラの超低消費電力化や無線技術の発達によって、10 μW 程度の発電能力があれば、データを取り出してワイヤレスセンサデバイスを間欠的に作動させることが十分に可能であるといわれている。

現状、光をエネルギー源とした環境発電が最大のシェアを占めているが、一方で、電磁波エネルギーによる環境電波発電は他のエネルギー源に比べて発電能力が 1/100～1/10 と少なく、実用化は 2030 年頃という予測がある^[5]。また、現在実施されている環境電波発電の研究開発は、そのほとんどが携帯電話や TV 放送、Wi-Fi 用の電波をエネルギー源としたものである。

2. 研究内容と結果

本研究では、屋内で稼働する電気・電子機器（民生機器、産業機器）から放出されている不要な電磁波ノイズに着目し、これをエネルギー源とした環境電波発電ユニットの開発を行う（図 1 参照）。研究項目は以下のとおりである。①環境発電のエネルギー源となる電磁波ノイズについて、周波数範囲とノイズレベルを調査する。②電磁波ノイズをエネルギーとして効率的に回収できるアンテナ形状について検討する。③回収した電磁波エネルギーを二次電池に蓄電するため、昇圧整流回路を設計・試作し、機能評価を行う。④発電ユニットを試作し、充放電試験を行うことで発電量を算出する。今年度はアンテナ形状の検討及び昇圧整流回路の設計・試作を実施したので、その結果について述べる。

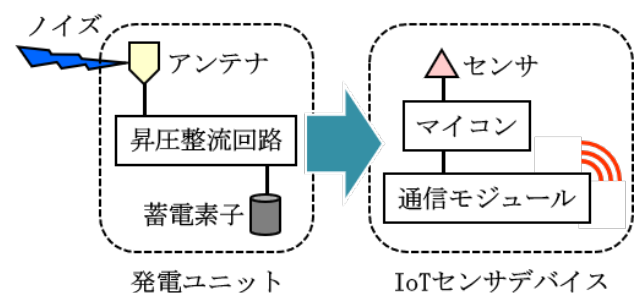


図1 環境電波発電ユニットの模式図

昨年度は市販のアンテナ（アンテナ長：20 cm～80 cm 可変のロッドアンテナ、アンテナ長：30 cm 固定のホイップアンテナ）を使用し、当センターに設置されている様々な電気・電子機器から稼働中に発生している不要な電磁波ノイズを計測することで、ノイズ源の調査を実施した^[6]。今年度は平面アンテナを試作して、同様に電磁波ノイズの計測を行った。FR-4 ラミネート基板（厚さ：2 mm、裏面：銅張、比誘電率：4.7）を用いて試作した平面アンテナの外観を図2に示す。片面をマスキングして、電磁波シールド用の導電性塗料をスプレー塗布することでアンテナ開口部（140 mm×90 mm）を形成した。基板裏面の銅張をGNDにしている。



図2 試作した平面アンテナ

スペクトラムアナライザを用い、0.1 MHz～350 MHz 及び 350 MHz～960 MHz の周波数範囲において、振動試験装置のノイズ測定を行った結果を図3に示す。図3の縦軸は雑音電圧 ($\text{dB } \mu\text{V}$)、横軸は周波数 (MHz) であり、図中の(a)は平面アンテナ、(b)はロッドアンテナ (20 cm) を用いて同時に測定したものである。測定時間を10分とし、ピークホールド測定を行っている。また、アンテナを測定対象機器から30 cmの距離に設置して測定した。図3より、試作した平面アンテナを用いた場合でもロッドアンテナとほぼ同様のピーク波形が観測された。雑音電圧の最大ピーク値は、平面アンテナを用いた場合が817.7 MHzで67.1 $\text{dB } \mu\text{V}$ 、ロッドアンテナでは821.2 MHzで68.1 $\text{dB } \mu\text{V}$ であった。平面アンテナの方が若干ピーク値が低くなっているものの、同軸ケーブルの損失を考慮すれば有意差はないものと考えられる（ロッドアンテナはスペクトラムアナライザに直接接続している）。平面アンテナについては、アンテナパターンだけでなく基板材料の選定も含め、次年度も引き続き検討を進めていく。

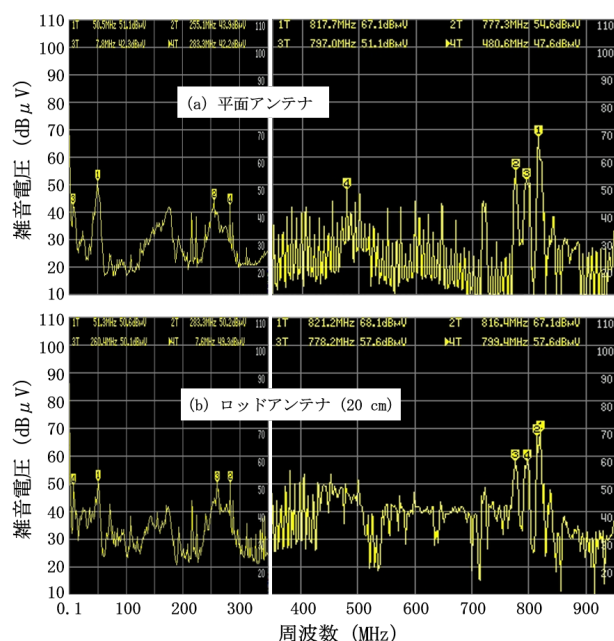


図3 振動試験装置（機械要素試験室）におけるノイズ測定結果

次に、アンテナで回収した電磁波エネルギーを二次電池に蓄電するため、昇圧整流回路を設計・試作し、機能評価を行った。試作した昇圧整流回路の回路図を図4(a)に、外観を図4(b)に示す。図4(a)より、ダイオード2個とコンデンサ2個で1段($N=1$)の回路を構成している。入力に交流電圧（ピーク値： V_p ）が印加されると、入力電圧の正負の反転に応じてダイオードを通しコンデンサが充電される。 C_1 は D_1 を通して最大で V_p まで充電され、入力電圧が反転すると D_2 を通して前段の C_1 に充電された分と入力電圧分が充電されるため、 C_2 にかかる電圧は $2V_p$ となる。その後は入力電圧が反転するたびに前段のコンデンサから各ダイオードを通して次段のコンデンサが充電されるため、 C_2 以降のコンデンサにかかる電圧はいずれも $2V_p$ となる。その結果、回路が N 段の場合、出力とGNDの間には N 個のコンデンサが直列に接続されているため、無負荷での出力電圧 V_o は入力電圧のピーク値 V_p の2倍に段数 N をかけた値となり、式1で表される。

$$V_o = 2NV_p \quad (1)$$

図4(b)より、試作した昇圧整流回路は4段($N=4$)で、使用したダイオードの順方向電圧は0.3 V、コンデンサの容量は330 nFである。100 k Ω の負荷抵抗を接続し、出力電圧を測定した結果を図5に示す。図5の縦軸は出力電圧 (V)、横軸は回路の段数 N であり、周波数30 MHzの正弦波（ピーク電圧 $V_p=0.3 \sim 0.6$ V）を入

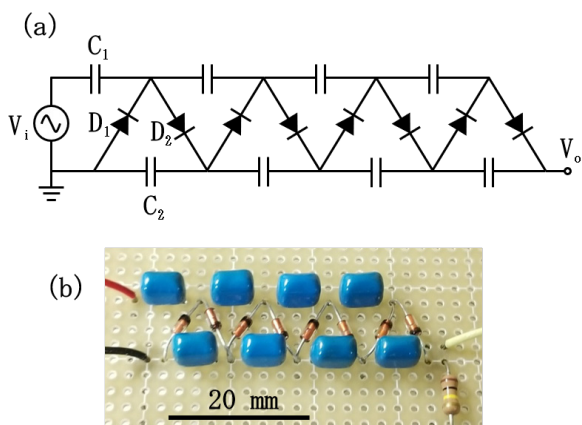


図4 昇圧整流回路

力して出力電圧を測定したものである。図5より、入力のピーク電圧が 0.3 V（ダイオードの順方向電圧と同等）の場合は、昇圧できているものの回路の段数 N と出力電圧が比例していない。これはダイオードに流れる電流が少なく、コンデンサの充電が不十分となったためである。一方、ピーク電圧が 0.4 V 以上では、回路の段数 N の増加に伴い出力電圧が線形に増加しているのが確認できた。

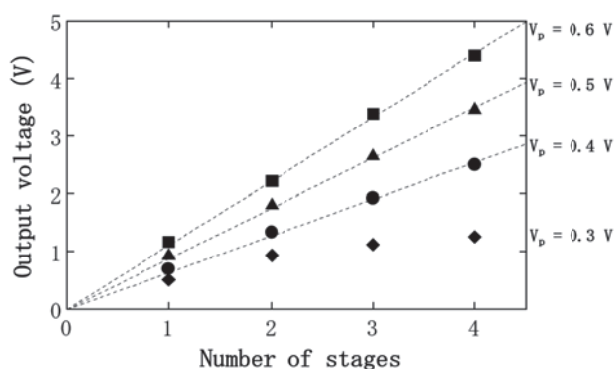


図5 試作した昇圧整流回路の評価結果

3. 結言

本研究では、屋内で稼働する電気・電子機器から放出されている不要な電磁波ノイズに着目し、これをエネルギー源とした環境電波発電ユニットの開発を行う。昨年度は環境発電のエネルギー源となる電磁波ノイズについて、周波数範囲とノイズレベルの調査を実施し、今年度はアンテナ形状の検討及び昇圧整流回路の設計・試作・評価を実施した。

当センターに設置されている様々な電気・電子機器のうち、稼働率が高い開放設備機器（振動試験装置）をノイズ源として、試作した平面アンテナを用いて雑

音電圧の最大ピーク値とその周波数を測定した。その結果、市販のロッドアンテナ（アンテナ長：20 cm）とほぼ同様のピーク波形が観測された。また、チャージポンプ方式の昇圧整流回路を試作し、出力電圧特性を評価した結果、設計どおりの昇圧整流特性を確認することができた。

本研究と同様に、電気・電子機器から発生する電磁波ノイズをエネルギー源とした環境発電ユニットの先行開発事例が、2023年9月7日にプレスリリース^[7]された。これは、ノイズ源となる電気・電子機器等の金属部をアンテナの一部として活用することにより、モジュールの小型化に成功している。収穫対象のノイズ周波数を 100 MHz 以下とし、放射ノイズではなく伝導ノイズを主なエネルギー源としている点が本研究とは異なるが、数 10 μ W～数 10 mW の電力収穫を可能としており、IoT 機器への安定的な電力供給用途としては太刀打ちできない。そこで今後は、応用例の一つとして想定していたノイズ抑制用途に方針転換し、引き続き検討を進めていく。

参考文献

- [1] 瀬川浩司：有機系太陽電池を利用した環境発電と蓄電の新技术、化学工学 Vol.84, No.6, pp.263-265, 2020.
- [2] 神野伊策：振動エネルギーによる環境発電（振動発電）、表面技術 Vol.67, No.7, pp.348-352, 2016.
- [3] 一般社団法人 日本熱電学会、ロードマップ、<https://thermoelectrics.jp/roadmap.html>, Accessed 2023.
- [4] 篠原真毅：電波エネルギーによる環境発電（レクテナ）、表面技術 Vol.67, No.7, pp.353-356, 2016.
- [5] 日経産業新聞、「エネルギーハーベスティング」携帯電話で発電、2020.2.14.
- [6] 中川豪：長崎県工業技術センター研究報告、No.52, pp.27-29, 2023.
- [7] ソニーセミコンダクタソリューションズ株式会社：電磁波ノイズエネルギーから高効率に電力を生成するエナジーハーベスティング（環境発電）用のモジュールを開発、<https://www.sony-semicon.com/ja/news/2023/2023090701.html>, Accessed 2024.