

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。今年度はノイズ源の調査として、当センターに設置されている様々な電気・電子機器を対象に、稼働中に発生している不要な電磁波ノイズを計測した。

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。今年度は上記①のノイズ源の調査を実施したので、その結果について述べる。

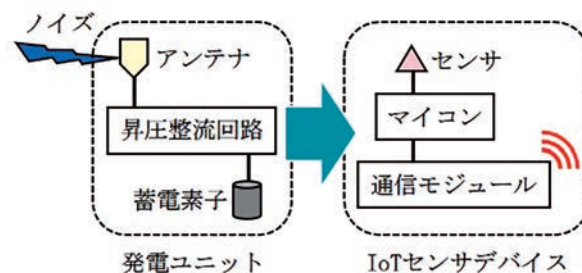


図1 環境電波発電ユニットの模式図



(a) ロッドアンテナ
アンテナ長：20 cm～80 cm

(b) ホイップアンテナ
アンテナ長：30 cm

図2 使用したアンテナ

ノイズ測定には図2に示した市販のアンテナ（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）を使用した。まずはネットワークアナライザを用いて、各アンテナのVSWR（電圧定在波比）を測定した結果を図3に示す。図3の縦軸はVSWR、横軸は周波数でそれぞれ1.0 MHz～350 MHz 及び350 MHz～960 MHz である。VSWRは高周波が通過する際の反射の度合いを示す数値で、反射係数を ρ とすると式1で表される。反射が存在しない場合（ $\rho=0$ ）にはVSWR=1となる。即ち、VSWRが大きいとアンテナの受信効率が劣化すると言える。

$$VSWR = \frac{1+|\rho|}{1-|\rho|} \quad (1)$$

図3(a)～(c)より、ロッドアンテナではアンテナ長を長くするほどVSWRの波形が低周波帯にシフトしており、一方で、アンテナ長が短い方が高周波帯でVSWRが小さくなっているのが確認できる。また図3(d)より、アンテナ長が30 cm 固定のホイップアンテナでは、1.0 MHz～350 MHzの周波数帯域において、ロッドアンテナよりも良好なVSWR特性が得られた。今回、ノイズ測定に用いるスペクトラムアナライザは周波数帯域に応じて入力端子が2系統に分かれており、測定可能な周波数レンジは0.1 MHz～350 MHz、及び240 MHz～960 MHzとなっている。これを考慮し、350 MHz以下ではホイップアンテナ、350 MHz以上ではロッドアンテナ（20 cm）とホイップアンテナを用いてノイズ測定を実施することとした。

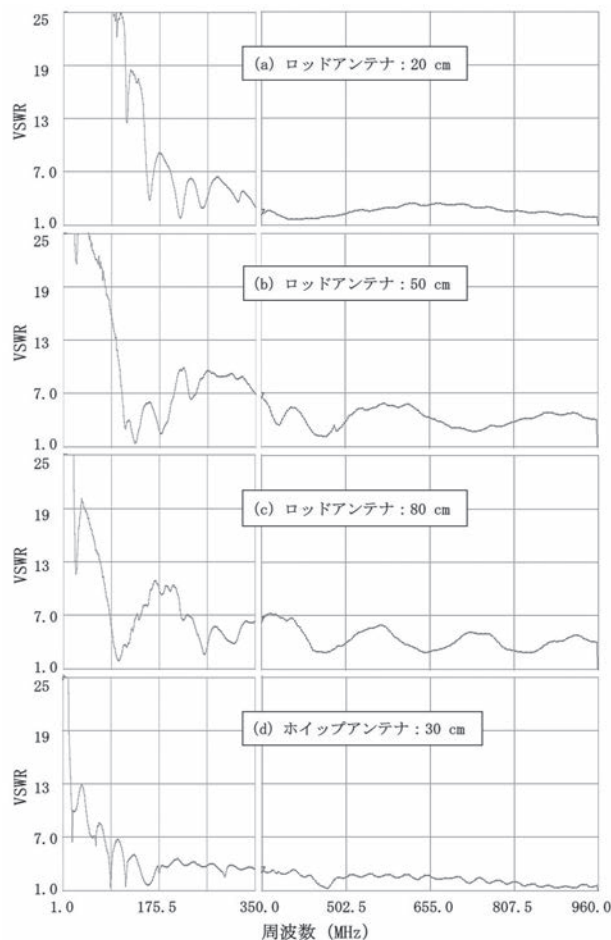


図3 各アンテナのVSWR

次にノイズ源の調査として、当センターに設置されている様々な電気・電子機器を対象に、稼働中に発生している不要な電磁波ノイズを計測した。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、連成解析システムのノイズ測定を行った結果を一例として図4に示す。図4の縦軸は雑音電圧（dB μ V）、横軸は周波数（MHz）であり、図中の(a)はホイップアンテナ、(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。350 MHz～960 MHzの周波数範囲においては同様にホイップアンテナを用いて測定し、ロッドアンテナ（20 cm）での測定結果と比較した。その結果、両者のノイズ波形に有意差は確認できなかったが、ロッドアンテナを用いた場合の方が雑音電圧のピーク値が大きくなる傾向にあった。図4より、連成解析システム（計器校正室）では781.9 MHzで70.6 dB μ Vの雑音電圧（最大ピーク値）が計測されている。

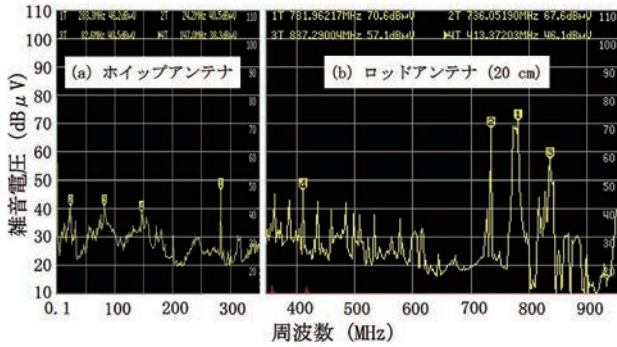


図4 連成解析システム（計器校正室）におけるノイズ測定結果

ノイズ測定を実施した電気・電子機器のうち、稼働率が高い開放設備機器や長時間運転している計算機器などについて、雑音電圧の最大ピーク値とその周波数を表1にまとめた。表1よりAGV（無人搬送車）において最も大きな雑音電力（836.3 MHzで最大ピーク値：83.6 dB μ V）が計測されているが、これは当センター研究員による開発機であり筐体を取り付けていない。そのため筐体によるシールド効果がなく、電磁波ノイズが空間に放射されやすくなっていることから参考測定とした。以上よりAGVを除く複数の電気・電子機器において、700 MHz～850 MHzの周波数帯域で70 dB μ V～80 dB μ V程度の電磁波ノイズが発生していることを確認できた。これらを電力に換算すると、0.2 μ W～2.0 μ W（AGV：4.0 μ W）に相当するノイズレベルである。

また、測定対象機器が停止している状態で、同室内のノイズ測定を行ったところ、280 MHz、780 MHz、840 MHz 近傍では常にノイズが発生していることを確認している。これらは屋外の無線電波によるものと推察されるが、いずれも雑音電圧は30 dB μ V～40 dB μ Vであった。

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。そこで今年度は、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行った。

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や長時間運転している計算機器などを中心に、ホイップアンテナ（アン

表1 ノイズ測定結果

測定対象機器	雑音電圧の最大ピーク値	周波数
振動試験装置	80.6 dB μ V	720.2 MHz
連成解析システム（計器校正室）	70.6 dB μ V	781.9 MHz
連成解析システム（機械設計研究室）	70.1 dB μ V	835.7 MHz
三次元造形装置	74.6 dB μ V	837.4 MHz
機械学習用PC	57.6 dB μ V	733.1 MHz
AGV（※参考）開発機のため筐体なし	83.6 dB μ V	836.3 MHz
超低温恒温恒湿器	57.6 dB μ V	835.3 MHz
冷熱衝撃試験装置	63.6 dB μ V	836.4 MHz

テナ長：30 cm）及びロッドアンテナ（アンテナ長：20 cm）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、複数の電気・電子機器において、700 MHz～850 MHzの周波数帯域で70 dB μ V～80 dB μ V程度の電磁波ノイズが発生しており、これらを電力に換算すると0.2 μ W～2.0 μ Wに相当するノイズレベルであることが分かった。

ワイヤレスセンサデバイスを間欠的に作動させるためには10 μ W程度の発電能力が必要であるため、次年度は、700 MHz～850 MHzの周波数帯域に良好な感度を有するアンテナについて開発を進めていく。

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（レクタナ）、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.