

電波を用いた RF エネルギーハーベスティングモジュールの動作確認

An Operation Confirmation of a RF Energy Harvesting Module by Using Wireless Power Transmission

○新井涼平¹, 三枝健二²

*Ryohei Arai¹, Kenji Saegusa²

Abstract: We study RF energy harvesting module to light the LED at the Nihon University's Funabashi Campus No.4 Building. In the previous paper, when the RF energy harvesting module was directly connected with oscillator, LED lighting was investigated. In this paper, LED lighting by using wireless power transmission is investigated.

1. まえがき

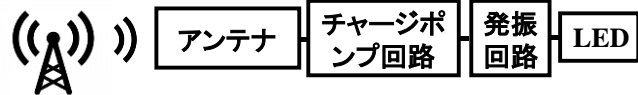
近年, TV 放送や無線 LAN といった空中に存在する電波を回収し, 電力として利用するエネルギーハーベスの研究が盛んである^[1]. この技術は, アンテナにより回収した電波を RF/DC 変換回路で直流電圧に変換し, センサネットワーク等の電力源としての利用が期待されている.

本研究では, 基礎検討として, 日本大学理工学部船橋校舎 4 号館における LED の常時点灯・点滅の実現を目指し, RF エネルギーハーベストモジュールの製作を行っている. 既往研究では, チャージポンプ回路や発振回路を用いて, LED の点灯を実現した^[2]. しかし, これは発振器と回路を直接接続したものであり, 空間を介した無線により LED を点灯させていなかった.

本稿では, 実際に送受信 2 つのアンテナを用いて, 空間を介した無線による LED の点灯を目指し, これまでに組み込んだモジュールの動作について確認する.

2. モジュール構成

RF エネルギーハーベストモジュールの基本構成を Fig.1 に示す.



TV放送電波

Fig.1 RF エネルギーハーベストモジュール基本構成

モジュールの動作としては, 4 号館屋上にて東京スカイツリーからの TV 放送電波をアンテナで受信し, チャージポンプ回路で高周波電圧を直流電圧に変換する. 変換した直流電圧を昇圧発振し, 電力制御を行うことで, LED の常時点灯に必要な電力を管理する. TV 放送電波の周波数は 550 MHz とした.

3. 無線での LED 点灯確認

これまでに組み込んだモジュールが無線で動作するか確認する. Fig.2 のように, TV 放送電波の代わりに発振器を接続したアンテナを使用する. 送信アンテナは TOSHIBA 製 UHF 平面アンテナ DUA-1000 (動作利得 8.4 ~ 9.8 dB), 受信アンテナは MASPRO 製 UHF 八木アンテナ U206 (動作利得 8.5 ~ 13.7 dB) を使用する. 発振器からの出力は周波数 550 MHz の連続波とする.

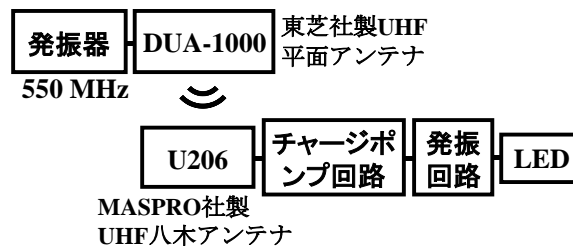


Fig.2 無線での LED 点灯確認実験

3.1 発振器の送信電力の決定

送信電力, つまり Fig.2 における発振器の出力は Fig.3 および(1)式に示す Friis の伝達公式より算出する.

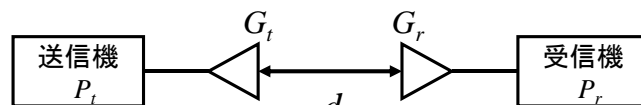


Fig.3 フリスの伝達公式

$$\frac{P_r}{P_t} = G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (1)$$

P_t : 送信電力[W] G_t : 送信アンテナ利得
 P_r : 受信電力[W] G_r : 受信アンテナ利得
 λ : 波長 [m] d : アンテナ間距離[m]

ここで, 2 つのアンテナの距離を $d = 1 \text{ m}$, 周波数 $f = 550 \text{ MHz} (\lambda = c/f = 0.54 \text{ m})$ とする. 送信アンテナは平面アンテナ ($G_t = 8.4 \text{ dB}$), 受信アンテナは八木アンテナ

1: 日大理工・学部・電子 2: 日大理工・教員・電子

($G_r = 8.5$ dB) と、それぞれ前述した仕様の最小動作利得を用いる。また、LEDの点灯に必要な受信電力 P_r は、先行研究より-7.4 dBm とする。以上から、送信電力 $P_t \approx 2.7$ dBm となった。

3.2 LED 点灯確認

送信電力 2.7 dBm, 周波数 550 MHz の連続波を発振器から出力する。そして、アンテナ間距離を 1 m に設定して LED が点灯するか確認した。この条件では LED の点灯は確認できなかったが、アンテナ間距離を 0.4 m, もしくは送信電力を 4.6 dBm にしたところ LED が点灯した。

設定した送信電力よりも 1.9 dB 不足した要因の一つとして、ケーブルの損失を考える。ケーブルの損失は、受信側が 0.12 dB, 送信側が 0.15 dB であった。ケーブル損失を含めても 1.6 dB 不足しているが、これは現実の各アンテナの動作利得が、仕様の値よりも小さかったことも要因の一つであると考えられる。以下の Fig.4 に LED 点灯の様子を示す。

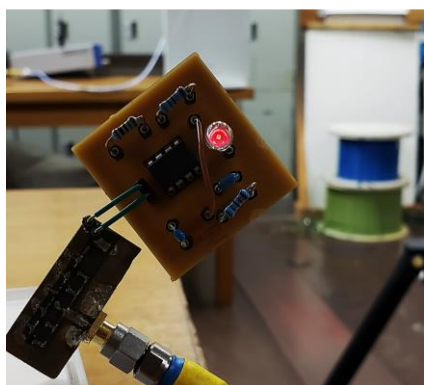


Fig.4 無線での点灯確認

4. アンテナ間距離対受信電力の大きさ

送信電力を 2.7 dBm, 距離を 0.01 m ~ 1 m の範囲で、2 つのアンテナを用いて空間を介したときの、距離対受信電力の測定結果を Fig.5 に示す。アンテナからの放射界は $1/d$ で変化する、-20 dB/dec で減衰する。その比較としてこれも同様に Fig.5 に示す。

Fig.5 より、-20 dB/dec の減衰と同様に、送信アンテナと受信アンテナの距離が離れるほど、受信電力が小さくなるため、この結果は妥当であるといえる。測定値が直線にならずリップルが生じているのは、測定時の周囲の障害物による反射が主な原因と考えられる。以上より、アンテナ間距離が 1 m 離れると受信電力が 4 dBm 低下する。そのため、スカイツリーのように送信源が遠方のとき、受信電力も低下すると考えられる。

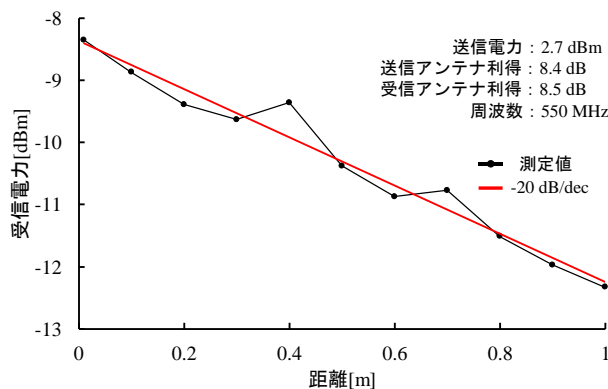


Fig.5 距離-受信電力特性

5. 船橋校舎 4 号館屋上の受信電力測定

実際に、TV 電波を利用する際に受信電力がどの程度不足があるのか、日本大学理工学部船橋校舎 4 号館の屋上で、東京スカイツリーからの TV 放送電波の受信電力を測定する。受信アンテナは UHF 八木アンテナ U206 を使用する。

スペクトラムアナライザで 550 MHz における受信電力を測定した結果 -30.7 dBm となった。このことから受信電力は、LED 点灯に必要な最小受信電力 -7.4 dBm まで、23 dB 以上増幅しなければならないことが分かった。以上の対策として、蓄電部を加えることが考えられる。

6. まとめ

これまで、発振器と回路を直接接続して LED の点灯を行っていた。そこで今回、電源を接続しない状態での LED 点灯、つまり無線による電源供給で LED が点灯するかを確認した。その結果、2 つのアンテナを用いて空間を介した状態で LED が点灯することを確認し、これまでに組み込まれてきた回路を用いて動作することを示すことができた。さらに、アンテナ間の距離が離れるほど受信電力が低下することもわかった。

また、東京スカイツリーより受信できる電力の大きさと、現状の LED 点灯に必要な受信電力の大きさの差はどの程度なのか確認した。その結果、LED を点灯させるにはスカイツリーからの受信電力を少なくとも 23 dB 以上増幅しなければならないことが分かった。

参考文献

[1] R. Shigeta *et al.*, IEEE Sensors Journal Vol.13, Issue: 8, pp. 2973 - 2983 May. 2013.
 [2] 藤田裕樹, 他, 平成 30 年度日本大学理工学部学術講演会, M-27.