

小型無線機器のための高効率エネルギーハーベスティング技術の研究開発

代表研究者 安 昌 俊 千葉大学大学院 工学研究科 准教授

1 はじめに

近年、太陽光、風力、振動等による発電、蓄電を行うエネルギーハーベスティング技術に注目が集まっている。エネルギーハーベスティングとは、周辺のエネルギーを能動的に収集・利用する環境発電を意味する。具体的には、圧電素子などを利用したエネルギー発電などがあげられる。しかし、環境発電は、自然現象からエネルギーを取り出すため、場所や時間などの影響を受けやすく、いつでも発電が可能ではない問題がある。近年、無線による電力伝送技術がエネルギー問題を解決する一つの方法として様々な検討が行われている。無線電力伝送技術は、米国の NASA を中心に宇宙から発電した電力を地球に送り出す技術として広く研究されている [1]。日本においても、JAXA と京都大学などが高エネルギーを中心とした研究が行われている [2]。無線電力伝送装置は高エネルギーを送るため、人体や環境への影響も十分考慮する必要がある。一方、携帯電話等の情報通信機器が様々な場所で使用できることからわかるように、無線信号は巷に溢れている。携帯電話等の無線信号からエネルギーをハーベスティングすることができれば、太陽光、風を取り入れることのできない場所や時間においても自由にエネルギーを得ることが可能となる。特に、人体や環境にも優しく、エネルギー資源の有効利用面から大きな意味も持っている。

現在、アクティブ RFID タグ、ZigBee 等の小型無線機器の電源に使用されている 1 次電池(酸化銀電池、リチウム電池等)は国内の電池生産個数の約 4 割(19 億個、580 億円)を占めており、これに相当する数が毎年廃棄されていると考えられる [3]。これらの電池の廃棄による環境汚染の懸念は解消されていない。また、リサイクルによる再資源化効率とそれに要するコストとの均衡が保てないといった課題もある。本研究により、電池使用数量を減らすことができれば、廃棄による環境汚染問題とリサイクルに関する再資源化効率とコストという 2 つの課題を 1 度に解決することが期待できる。また、アクティブ RFID タグ、ZigBee を利用したワイヤレスセンサーネットワークはその消費電力の小ささから、産業、ビルオートメーション、医療、住宅向けの幅広い管理・監視などへの応用が産業分野を中心に広がりを見せている。ワイヤレスであることからセンサー設置場所/対象物の自由度が高く、また配線にかかる時間とコストを削減できることは非常に優位性がある。一方で、ワイヤレスであるが故に、電池による駆動が必要であり、電池寿命管理および電池交換作業に伴う煩わしさがある。機器の更なる省電力化が検討されているものの、電池駆動である限り、完全なメンテナンスフリー化というのは不可能である。本研究により、空間上に存在する無線信号から駆動に必要な全てのエネルギーをハーベスティングすることが可能になれば、電池が不要になり、前述の電池寿命管理および電池交換作業が皆無なメンテナンスフリーワイヤレスセンサーネットワーク構築も実現することができる。

本研究は、空間上に無数に飛び交う無線信号のエネルギーを受信し、そのエネルギーを利用して効率良く発電するエネルギーハーベスティング技術を確立し、現在電池を使用している機器の電池の小型化、使用数量減、あるいは無電池化を図ることで、小型で、安価、かつメンテナンスフリーといった経済的メリットに繋がり、更に無線信号というどこにでも存在し得る環境資源を使用し、環境面にも配慮したエネルギーハーベスティング機能を有する無線機器の研究・開発であり、その結果を報告する。

2 エネルギーハーベスティング技術の開発

2-1 レクテナの開発 (5.8GHz)

マイクロ波を利用した無線電力伝達技術は 1960 年代から研究が進められてきた [4]。レクテナ (Rectenna=Rectifying Antenna) と呼ばれる電磁波を受信し、整流して電気として取り出す装置は無線電力伝送システムの主要な構成要素の 1 つである [5]-[7]。図 1 のようにレクテナは受信アンテナ、整合回路、整流回路で構成され、空間中の電磁波を受信し、電気を取り出す装置である。本研究ではエネルギーハーベスティング技術のキーテクノロジーであるレクテナの開発を ISM(Industry-Science-Medical)バンド 5.8GHz

で最初に行い、得られた設計技術を携帯電話周波数に拡張することでエネルギーハーベスティング技術の開発を行った。ISMバンドは周波数免許が不要であり、簡単に実装実験に利用することができるからであった。

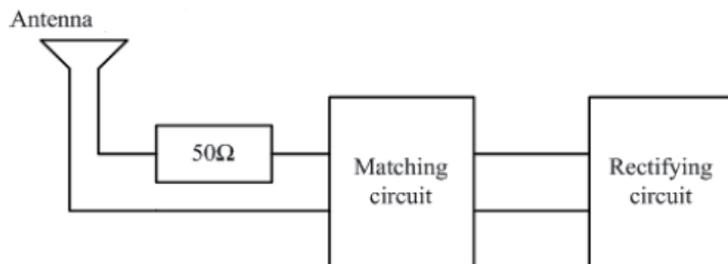


図1 レクテナの基本構成

一般的にレクテナ設計はマイクロストリップダイポールやパッチアンテナが広く使われる。マイクロストリップアンテナは軽量化と小型化が可能である。しかし、狭帯域、制限された入射電力、低利得などのデメリットもある。本研究では、小型化と偏波特性がない、マイクロストリップパッチアンテナを採用し、レクテナ設計を行った。

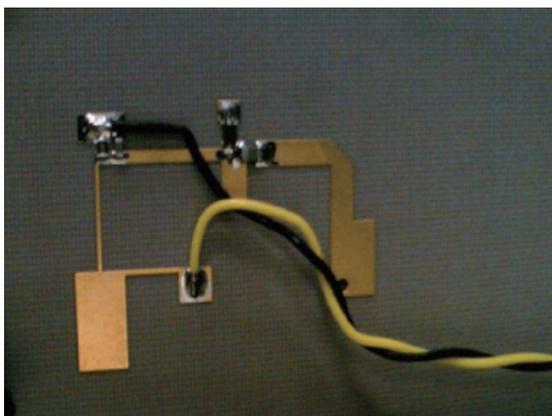


図2 試作した 5.8GHz レクテナ

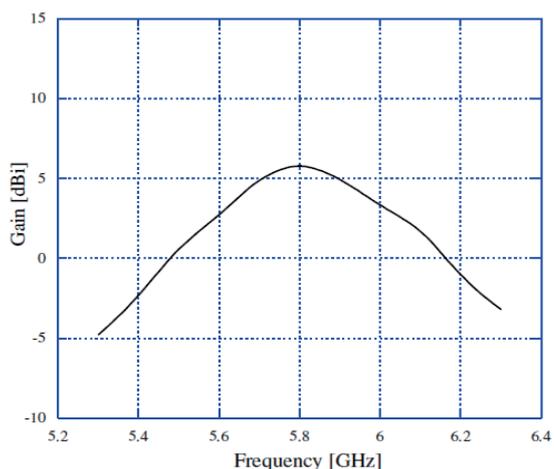


図3 試作した 5.8GHz レクテナの利得特性

図2は試作した 5.8GHz レクテナを示す。レクテナの整流回路はRF-DC変換効率を決めるキーエレメントであり、HSMS-8202 ショットキーダイオードを用いた。図3は試作したレクテナの周波数に対する利得特性を示す。試作したレクテナはISMバンドである 5.8 GHz で最大利得を得るように誘電率 10、膜厚 1.6 mm のPTFT (Teflon) ボードを用いて試作を行い 6.2dBi の利得を得ることが出来た。

2-2 レクテナの開発 (2.12~2.14GHz)

5.8GHz レクテナの開発で得られた設計技術を携帯電話周波数 (CDMA:2.12GHz、WCDMA:2.14GHz) に拡張し、受信可能なレクテナの開発を行った。特に、CDMAの2.12GHzとWCDMAの2.14GHzはSパラメタ (S11) 特性において、中心周波数から 3 dB レベル差以内に両周波数が含まれるように設計を行った。試作した装置は、図4のようにアンテナ部、電力合成部、整流・昇圧部で構成される。電力合成部は、一つのプリント基板で4個のパッチアンテナ素子からの受信電力を合成する。中央に配置したプリント基板は、同様に他のパッチアンテナからの電力を最終的に1つにまとめて受信電力を出力する。

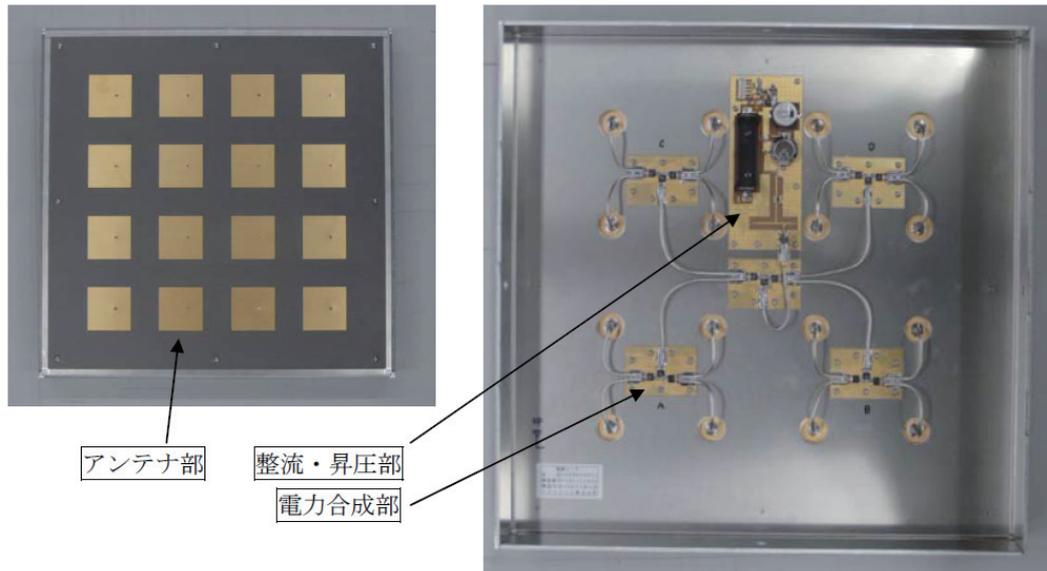


図4 試作したレクテナ (2.12~2.14GHz)

受信電力の出力は、整流・昇圧部のプリント基板にSMAコネクタで接続されている。整流部は、受信周波数に同調した効率の良い半波倍電圧整流回路を用いている。整流して得られた直流電力は、電気二重層コンデンサと電解コンデンサからなる平滑コンデンサによって、蓄電し平滑される。昇圧部は、フライバック方式のDC-DCコンバータ回路であり、平滑コンデンサの電圧が1.0V以上になると起動して3.3Vの安定化電圧を出力する。一旦起動した後は、電圧が0.7Vに低下するまで昇圧動作を行う。充電可能なNi-HM電池は、受信電力を長時間に渡って充電するときや3.3Vの出力電圧を試験的に発生させたいときに電池ホルダに装着して使用する。

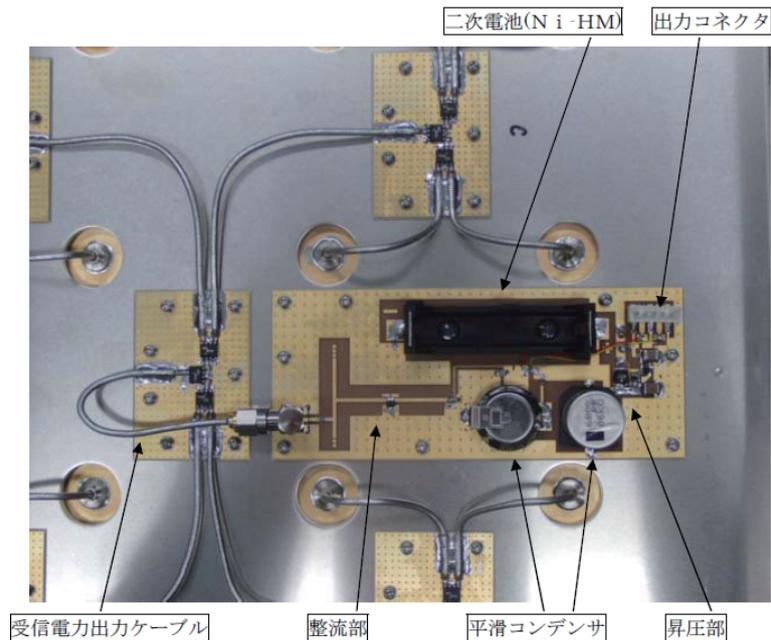


図5 試作した整流部と昇圧部の構成

3 実験結果

3-1 受信実験

図6は基地局の印加電力に対する受信特性と距離換算値を示す。検波出力は実測値であり、距離に対し変化する。図6から分かるように距離が180m離れた場合、検波出力は21mVであった。また、距離が100m離れた場合に検波出力は92.6mVであった。この結果から近似を行うと検波出力が1V以上になる距離は基地局から12m以内である必要があった。試作したレクテナを基地局から12m以内で置くとZigBee等の小型無線機器の電源として利用可能となる。

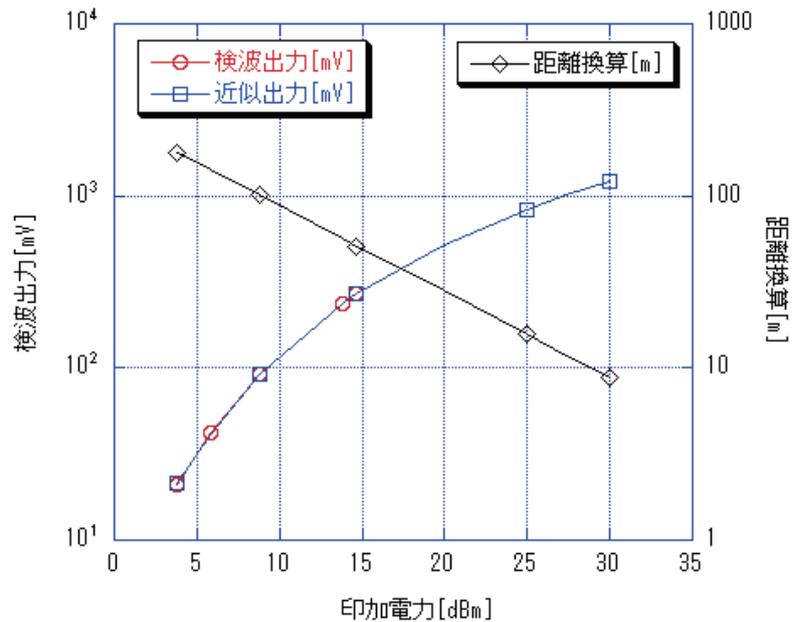


図6 基地局の印加電力に対する受信特性と距離換算値

3-2 昇圧回路の特性評価

平滑コンデンサの電圧が1.0V以上になると起動して3.3Vの安定化電圧を出力する。一旦起動した後は、電圧が0.7Vに低下するまで昇圧動作を行う。図7は昇圧回路の変換特性を示す。

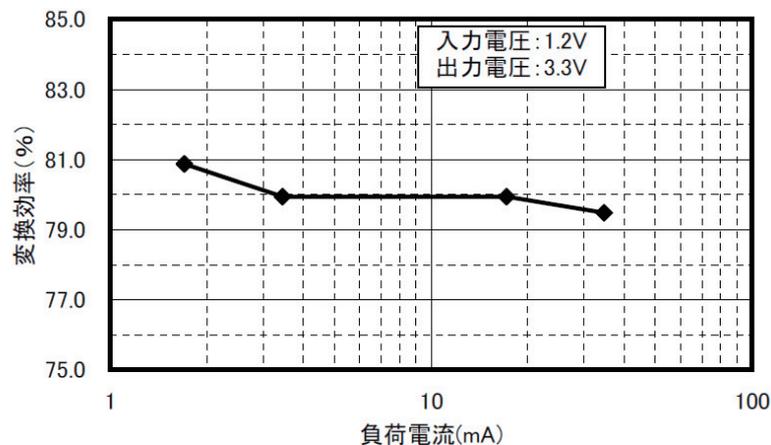


図7 昇圧回路の変換特性

入力電圧が 1.2V と出力電圧が 3.3V の際、電流により変換効率が少し変わり、1.7mA の際に変換効率は約 80.9%になる。しかし、電流が 34.6mA の際に変換効率は 79.5%になった。

4 むすび

本研究は、空間上に無数に飛び交う無線信号のエネルギーを受信し、そのエネルギーを利用して効率良く発電するエネルギーハーベスティング技術の検討を行い試作したレクテナの性能から ZigBee 等の小型無線機器の電源として利用可能であることを確認した。

【参考文献】

- [1] G. Landis, M. Stavnes, S. Oleson and J. Bozek, "Space transfer with ground-based laser/electric Propulsion," (AIAA-92-3213) NASA Technical Memorandum TM-106060, 1992.
- [2] N. Shinohara, and H. Matsumoto, "Microwave power transmission system with phase and amplitude controlled magnetrons," Proc. of RAST2005, pp.28-33, Istanbul, Turkey, 2005.
- [3] 「2008 電池関連市場実態総調査」, 株式会社 富士経済, 2008 年 11 月.
- [4] W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 1984, vol. 32, no. 9, pp. 1230-1242.
- [5] B. Strassner, and K. Chang, "5.8GHz circularly polarized rectifying antenna for wireless microwave power transmission," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2003, vol. 50, no. 8, pp. 1870-1876.
- [6] J. Heikkinen, and M. Kivikoski, "A novel dual-frequency circularly polarized rectennas," IEEE Antennas and Wireless Propagation Letter, 2003, vol. 2, no. 1, pp. 330-333.
- [7] Y. Ren, and K. Chang, "5.8GHz circularly polarized dual-diode rectenna and rectenna array for microwave power transmission," IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, 2006, vol. 54, no. 4, pp.1495-1502.

〈発表資料〉

題 名	掲載誌・学会名等	発表年月
Prototype of 5.8GHz Wireless Power Transmission System for Electric Vehicle System	Proc. of IEEE International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST 2011)	2011 年 2 月
Prototype of 5.8GHz Wireless Power Transmission System for Electric Vehicle System	電子情報通信学会 信学技報 CS2010-108	2011 年 3 月