

BS-2-10

ZigBee 端末用マイクロ波無線電力供給システムの研究開発

STUDY AND DEVELOPMENT OF A MICROWAVE WIRELESS POWER SUPPLYING SYSTEM
FOR ZIGBEE DEVICE鈴木望
Nozomu Suzuki篠原真毅
Naoki Shinohara三谷友彦
Tomohiko Mitani京都大学 生存圏研究所
Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto Univ.

1 背景および研究目的

近年、センサーネットワークは広い用途に使用されることが期待されており、例えば建物内の冷暖房やセキュリティ管理（ビルディングオートメーション）、温度や湿度などのモニターによる農業生産管理などが挙げられる。しかし、有線で通信・電源を確保するシステムにおいてはネットワーク端末自体よりも配線にコストがかかってしまう場合がある。一方、ワイヤレス通信とバッテリーを用いるシステムでは配線の必要が無く、電源の確保が難しい場所にも適用が容易だが、各端末に対してバッテリー交換の必要がある。

本研究の目的はマイクロ波無線電力伝送を用いてバッテリーレスまたは遠距離からのバッテリー充電を可能とするワイヤレスセンサーネットワーク端末の開発である。通信端末には ZigBee を採用した。ZigBee は無線通信規格の一つであり、無線 LAN や Bluetooth に比べ消費電力が小さいという利点が、送電できる電力の限られるマイクロ波無線電力伝送に適している。また、ZigBee は生産コストも低く、ネットワーク容量が大きくセンサーネットワークに適した規格と言える [1]。

2 マイクロ波受電システム

送電マイクロ波の周波数は 2.4GHz 帯を使用する。これは 2.4GHz 帯が ISM バンドであると同時に、ZigBee の通信周波数と同じ周波数帯とすることで、一つのシステムに対して複数の周波数帯を使用することを避けるためである。しかし送電マイクロ波によって ZigBee 通信が行えなくなる場合があり、通信と送電の両立を図る必要がある。

マイクロ波受電システムは受電アンテナと RF-DC 整流回路を組み合わせたレクテナ素子、および蓄電素子で構成される。それを ZigBee 端末に接続し、基地局等から送電マイクロ波を放射することで電力を受電アンテナに入力して ZigBee 端末の電源として動作させる。受電アンテナには開口面積が広く生産性に優れたパッチアンテナを使用し、作成したパッチアンテナの利得はおおよそ 6.35dBi であった。整流回路は ZigBee 端末の入力インピーダンスと同じ 140Ω を最適負荷として設計し、単体における RF-DC 変換効率は 23mW 入力の場合で 65% であった。実際には 180Ω が最適負荷となり 140Ω 抵抗接続時よりも 2% 程変換効率が高かった [2]。限られた電力密度からより大きな電力を受電するためにレクテナ素子は基本的に ZigBee 端末 1 つに対して複数使用する

るものとする。

ZigBee 端末には NEC 社製 ZB24FM-Z を使用した。この端末は 2.8~3.2V 程度の入力電圧で動作し、入力インピーダンスは約 140Ω、入力電圧 3.1V における消費電力は 68mW であった。

3 外部マイクロ波が ZigBee 通信に与える影響

外部からマイクロ波を放射した状態で ZigBee 通信実験を行ったところ、外部マイクロ波の電力が大きい場合に通信が行えなくなることが確認できた。また外部マイクロ波の周波数を 2.46GHz とした場合では比較的高い電力密度のマイクロ波中でも ZigBee 端末が通信を行えることがわかった [3]。

この実験において、ZigBee 端末が通信が行えなくなる外部マイクロ波強度は ZigBee 通信の受信信号強度によって大きく異なったため、受信信号強度を変化させて外部マイクロ波中の ZigBee 通信実験を行い、通信を維持したまま送電可能な電力密度の特性を求めた。この実験において外部マイクロ波周波数は 2.46GHz とした。

図 1 に示した点が測定結果であり、点がほぼ直線上に並んだ。図中の直線は最小二乗法により求めた直線であり、傾きが 1.024 となった。これより受信信号強度と送電可能電力密度は比例関係にあると考えられる。受信信号強度は端末間の距離や端末の向きにより変化するため、送電マイクロ波の電力密度がこの直線を超えないように端末の位置を設定することで ZigBee 通信と送電を同時に行えると言える。しかし受信信号強度は 2dBm ほどの振幅を持つため、安定したシステムのためにはこの直線の電力密度の 1/4 程度に抑えることが好ましい。

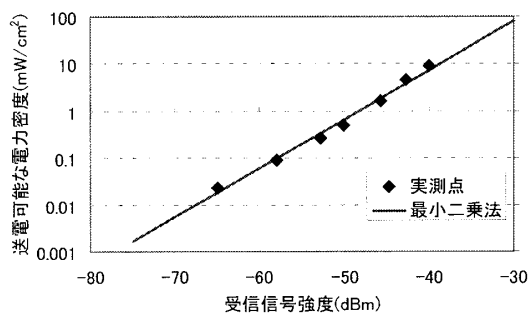


図 1 受信信号強度に対する送電可能電力密度

4 無線電力伝送実験

作成したレクテナ素子を使用して無線マイクロ波による電力伝送実験を行った。レクテナ素子は4~9素子使用して並列、直列を組み合わせることで負荷抵抗に接続し、並列数および直列数を変えて各接続数における変換効率を測定した。負荷抵抗を ZigBee 端末の入力インピーダンスと同じ 140Ω として測定した。測定結果を図2に示す。2直列2並列および2直列3並列の場合に変換効率が高かったが、その時の変換効率は55%となり整流回路単体での変換効率よりも10%程度下がった。

レクテナの最適負荷は並列数と直列数の比率によって変化するため3直列3並列の場合と2直列2並列の場合には最適負荷が同じとなるが、図2では横軸を全受電アンテナへの入力電力としているため1素子あたりの入力電力が大きい2直列2並列の方が変換効率が高くなっている。

レクテナ素子を多く使用した方が広い範囲で電力を受け取り、必要な送電マイクロ波電力密度は低くなり通信と送電を両立させやすい。しかしレクテナを9素子使用する場合に受電アンテナの大きさがA4紙程の大きさとなるため、システム小型化の面から2直列3並列および2直列2並列での使用を主に検討する。

レクテナ6素子を2直列3並列で ZigBee 端末に接続した場合、ZigBee 端末を動作させるのに必要な総受電電力は 120mW 、受電パッチアンテナ1枚当たり 20mW となる。その時の送電マイクロ波の電力密度は $0.4\text{mW}/\text{cm}^2$ であり、図1の直線から受信信号強度を -53dBm 以上にするだけで通信と送電を同時に行えると言える。2直列2並列の場合に必要なマイクロ波電力密度は $0.6\text{mW}/\text{cm}^2$ となり2直列3並列の場合よりも必要な電力密度が高いが、 -50.5dBm 程の受信信号強度を確保することで通信と送電の両立が可能となる。

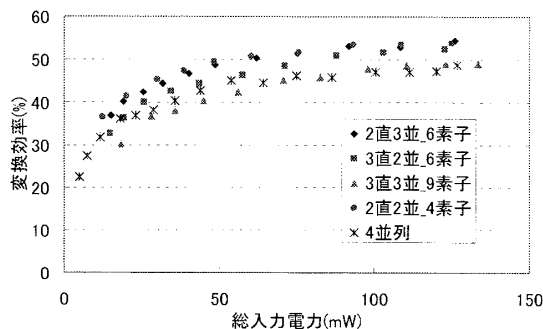


図2 各接続数における 140Ω 抵抗接続時の変換効率

5 受電アンテナによる送電マイクロ波の遮蔽

送電マイクロ波が ZigBee 通信に与える影響を抑え、より大きな電力を送電可能とするための方法として受電アンテナの背後に ZigBee 端末を設置することで ZigBee 端末の位置における送電マイクロ波電力密度を減少させる方法を考案した [2]。この方法によって実際に送電可能となる電力を求めるため、図3のようにダミーロードで終端した受電アンテナの背後に通信中の ZigBee 端末

を設置し、受電アンテナに向けて外部からマイクロ波を放射した状態で通信実験を行った。外部マイクロ波の送電電力を大きくしていき、ZigBee 端末が通信が行えなくなった場合に受電パッチアンテナに入力される電力を測定した。ZigBee 通信の受信信号強度を変えて測定を行い、受電パッチアンテナの枚数は9枚、6枚、4枚の3通りとした。図4に測定結果を示す。受電アンテナが9枚の場合に受電電力が大きくなったが、6枚および4枚の場合にはあまり差は見られなかった。受電アンテナ6枚、受信信号強度 -53dBm の場合にはパッチアンテナ1枚当たり 31mW の受電が可能となり、送電可能電力が図1に示した ZigBee 端末に直接送電マイクロ波を放射する場合と比較して1.5倍まで増加した。

同じ信号受信強度の場合でも最大送電可能電力が大きくなることから、送電マイクロ波が直接 ZigBee 端末に放射される場合よりも通信の途絶えにくい、より安定した送電システムが構築できると言える。

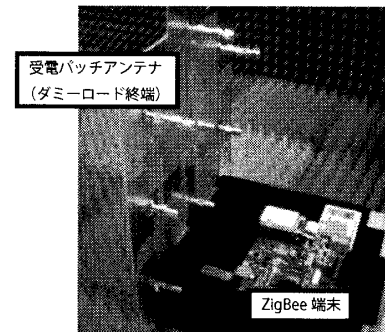


図3 受電アンテナによる遮蔽

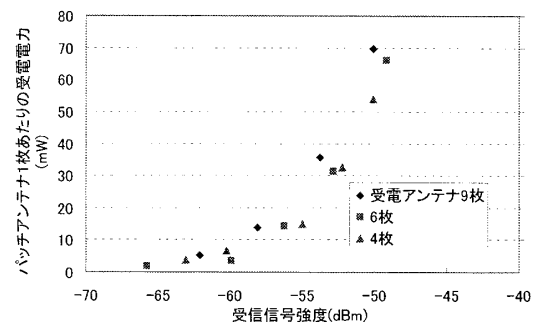


図4 受電アンテナで送電マイクロ波を遮蔽した場合の受電可能電力

参考文献

- [1] 鄭立, ZigBee 開発ハンドブック, 株式会社リックテレコム, 2006年
- [2] 鈴木望, 篠原真毅, 三谷友彦, ZigBee 端末用マイクロ波受電システムの研究開発, 信学技報, WPT2010-12, pp.27-31, 10月, 2010年.
- [3] 鈴木望, 篠原真毅, 三谷友彦, ZigBee センサーネットワークに対するマイクロ波無線電力供給システムの研究開発, 信学技報, SPS2009-12, pp.11-15, 3月, 2010年.