

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 27 年 6 月 18 日現在

機関番号：17201

研究種目：基盤研究(C)

研究期間：2012～2014

課題番号：24560465

研究課題名(和文) 拡張性に優れたコンパクト構造のマイクロ波無線電力伝送用レクテナの研究

研究課題名(英文) Differential Rectenna with High Expandability and Compact Structure for Wireless Power Transfer using Microwave

研究代表者

西山 英輔(Nishiyama, Eisuke)

佐賀大学・工学(系)研究科(研究院)・助教

研究者番号：30295026

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 4,100,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、電源のコピキタス化への第一歩となる基礎的な無線電力伝送システムに不可欠なデバイスのレクテナの提案とその研究を行う。アンテナ部と直流変換回路部を一体構成し、さらにはディファレンシャル動作をするレクテナを提案する。このレクテナは、平面アンテナと高周波回路を有効的に組み合わせることで、機能性と拡張性を持つ非常にコンパクトな構成となり、さらには、ディファレンシャル動作により、高い変換効率を得られる。提案しているレクテナをアレーの基本ユニットとした、DCアレーとRFアレーについて検討した。また、その基本ユニットに工夫を加え、さらなる高効率化や多機能化を行い、良好な結果を得た。

研究成果の概要(英文)：In this study, a novel rectenna is proposed and basic characteristics are investigated. This study can improve the wireless power transfer system. Antenna elements are integrated with a rectifying circuit to form a rectenna that has a differential operation with a compact structure. This rectenna has two significant advantages that are an expandability and a high RF-DC conversion efficiency.

A DC-array and RF-array using the proposed differential rectenna as an array unit achieving a high power output are proposed. Because of the compact structure of the differential rectenna, a large scale rectenna that consists of many antenna elements can be design in a simple procedure. In addition, the rectenna is modified to improve the RF-DC conversion efficiency and to achieve any polarization receivable function.

It is conferred that the proposed rectennas and the arrays has excellent performances.

研究分野：アンテナ工学

キーワード：レクテナ 無線電力伝送 平面アンテナ

1. 研究開始当初の背景

近年、スマートフォンに代表されるような高機能の携帯端末の普及が爆発的に進み、ユビキタス社会の本格到来が確信されるようになりつつある。それらの電源機能が拡張されれば、その利便性は格段に良くなる。また、電気電子技術の発展に伴い、人間社会のほとんどが電気エネルギーに依存している。そのために、災害時において発電や電力伝送系の喪失で、現地のインフラのほとんどがストップしてしまう問題も顕著になった。

2. 研究の目的

本研究では、電源等の問題の解決手段の一つとして、電源のユビキタス化への第一歩となる基礎的な無線電力伝送システムの基となるレクテナの提案とその研究を行う。レクテナは、主にアンテナ部と直流変換回路部から構成され、現在、開発されているものは構造が複雑になる。さらに実用的な電圧を得るためには、構成自体を大型にしなければならない問題がある。本研究では、アンテナ部と直流変換回路部を分離することなく、それらを一体構成したレクテナを提案する。このレクテナは、平面アンテナと高周波回路を有効的に組み合わせることで、機能性と拡張性を持つ非常にコンパクトな構成となり、さらには、ディファレンシャル動作により、高い変換効率が得られる。

3. 研究の方法

まず、アンテナ部と直流変換回路部を一体構成したレクテナを提案し、レクテナの基礎性能の検討を行った。本研究の基本となる入射 RF 波エネルギーに対する直流出力変換効率を電磁界シミュレータと実験で求める。さらに、変換効率の向上のために高調波抑圧や整流回路の再検討を行った。次に、本レクテナは拡張性に優れ、レクテナユニットのアレー化とアンテナ素子のアレー化が考えられるため、このレクテナを基本ユニットとしたユニットのアレーと平面アンテナ素子を多数配列し、両平面給電回路で接続したアレーレクテナを提案する。ユニットの直列接続、並列接続と直並列併用接続を行い、その特性をシミュレータと実験で求め、その有効性を確認する。

4. 研究成果

図 1 に本研究で提案したディファレンシャルレクテナを示す。ディファレンシャルレクテナは、2つのアンテナ素子から RF 信号を逆相で整流用のダイオードに印加する構成になっている。アンテナの給電回路と整流回路を一体化したために、非常にコンパクトな構成になっている。このレクテナでは、2つの RF 信号を逆相で合成することにより、2倍の電圧がダイオードに印加されるため高い変換

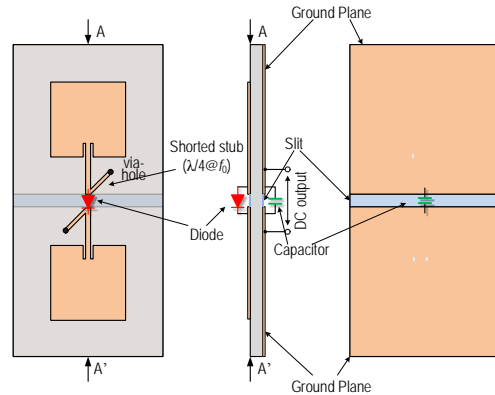


図 1. ディファレンシャルレクテナ

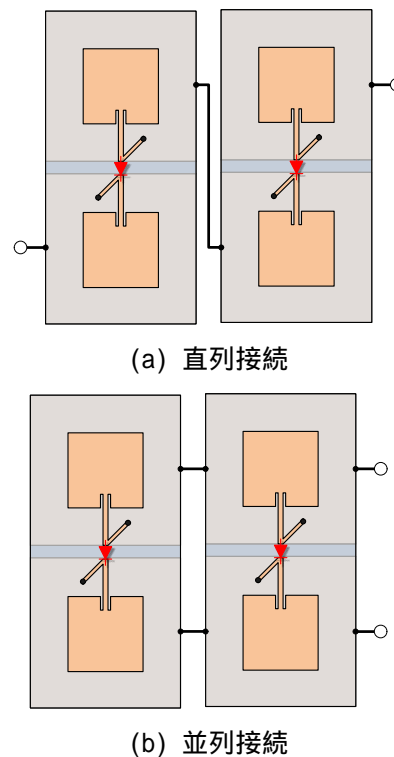


図 2. DC アレー

効率が得られること、優れた拡張性が特徴となっている。まず、提案するレクテナの基本形について、その特性を詳細に調べた。その結果、レクテナのアンテナ部の給電線と整流回路を構成する回路の特性インピーダンスが、最も電力変換効率の関係していることが分かった。特性インピーダンスにより電力変換効率が変わり、最大の変換効率を得られる値があることを明らかにし、電力密度が $0.034\text{mW}/\text{m}^2$ の非常に微弱な場合において、約 45%の極めて高効率の RF-直流電力変換効率を得られることが分かった。これは、本研究で提案したレクテナの構成が、コンパクト構造で高効率の性能を持つことを示している。

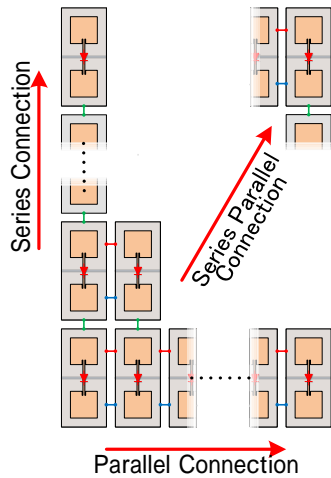


図 3. DC 直並列アレーコンセプト

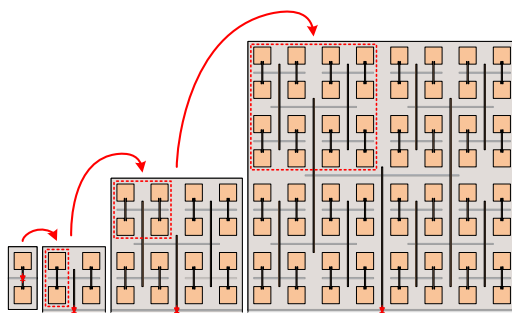


図 4. RF アレーコンセプト

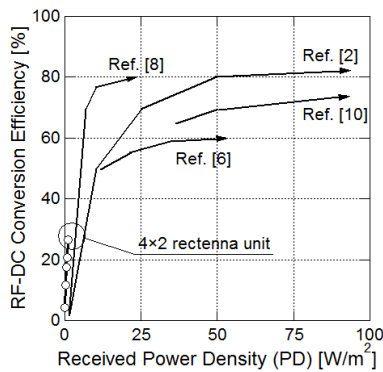
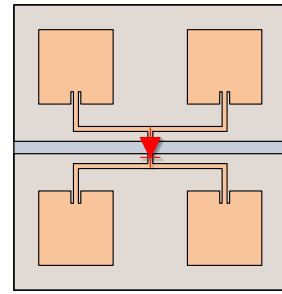
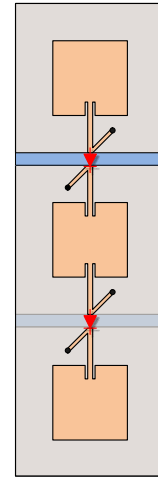


図 5. 変換効率

さらに、このディファレンシャルレクテナを基本ユニットとしたアレー化について検討を行った。最も単純なアレー構成として、図 2 に示すような 2 ユニットのアレーの直列、並列接続について検討した。直列接続することで 2 倍の電圧、並列接続することで 2 倍の電流を得ることができた。一般のレクテナでは、高出力を得るためにアンテナ部の拡張による RF 領域で電力合成が行われるが、この場合給電回路における損失が変換効率を下げる。本研究では、DC 領域で電力合成が可能であるために、損失を増やすことなくレクテナの拡張に見合った高出力が得られることが明らかになった。さらには、図 3 に示すように、直並列を繰り返し DC 大規模アレーを



(a) 2x2 アレーユニット



(b) Stacked アレーユニット

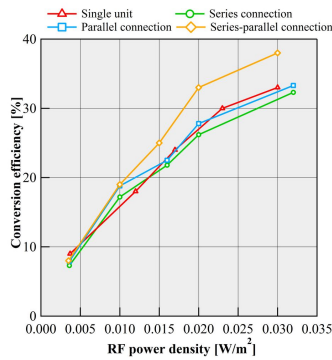
図 6. アレーユニットの検討

構成することで大電力の出力が可能になる子が分かった。

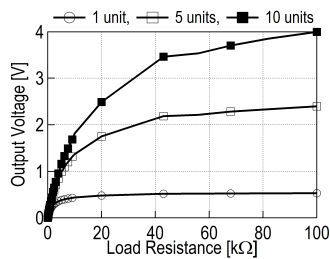
次に、ディファレンシャル動作する RF アレーについて検討を行った。図 4 にそのコンセプトを示す。RF アレー構成することで、より大きい電力をダイオードの印加することができるため、RF-DC 変換効率が向上する。本研究では、両平面回路技術を給電回路に用いることで、単純な繰り返しで RF アレーが構成できるレクテナアレーについて検討した。本研究においては 8(4x2)素子の特性について実験的に調べた。その変換効率の結果を図 5 に示す。ディファレンシャル動作により低電力化において良好な変換効率を得た。

さらに、アレーユニットの構成について検討を行った。図 6 に新しく提案した構成を示す。図 6 (a)は 2x2RF アレーをユニットとした構成で、図 6 (b)は図 1 のモデルを重ね合わせた構造でユニットを構成している。それぞれのユニットを DC アレー構成した結果の一例を図 7 に示す。いずれの構成の場合でも、高効率で DC 高出力を得ることができた。

続けて、図 8(a)基本ディファレンシャルレクテナユニットを「口」形状に接続した構成のレクテナアレーを提案した。一般的には、RF 無線電力伝送では、アンテナの偏波面と到来電波のそれを一致させる必要があり、ミスマッチで伝送特性が低下する。ここで提案したレクテナアレーは、電波の偏波面の不一致による伝送効率の低下を抑え、偏波面によらず効率よくエネルギーを変換できることを特



(a) 2×2 ユニットの DC アレー



(b) Stacked ユニットの DC 直列配列

図 7. 出力特性

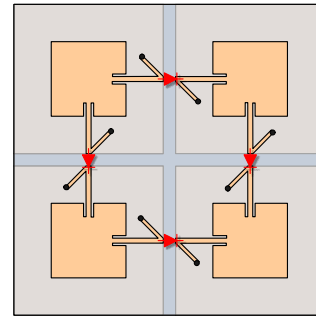
徴としている。図 8(b)に、入射偏波角に対する出力電圧を示す。このレクテナアレーの特性を実験的に調べ、偏波角によらず、良好な RF-DC 変換特性が得られることを確かめた。本研究では、アンテナ部と直流変換回路部を一体構成し、さらにディファレンシャル動作をするレクテナを提案する。このレクテナは、平面アンテナと高周波回路を有効的に組み合わせることで、機能性と拡張性を持つ非常にコンパクトな構成となり、さらに高い変換効率を得られる。実際に、提案しているレクテナをアレーの基本ユニットとした、DC アレーと RF アレーについて検討した。また、その基本ユニットに工夫を加え、さらなる高効率化や多機能化を行い、良好な結果を得た。

5. 主な発表論文等

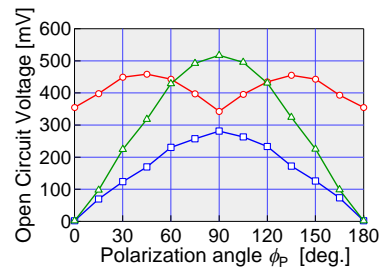
(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文](計 15 件)

1. 高橋, 西山, 豊田, "ショートスタブ整合回路を用いたディファレンシャルレクテナの高効率化に関する検討," 映情学技報, 査読無, vol.39, no.4, BCT-2015-5, pp.17-20, 2015年1月.
2. 中島, 西山, 豊田, "電流合成型マルチ偏波受信レクテナの等価回路を用いた特性評価 ~ 入力電力と接続法に関する検討 ~," 映情学技報, 査読無, vol.39, no.4, BCT-2015-8, pp.29-32, 2015年1月.
3. R. Nakashima, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Performance Evaluation of a



(a)レクテナの構造



(b) 偏波角に対する出力電圧

図 8. 任意偏波に対応するレクテナ

5.8-GHz Current Aggregation Type Multi-Polarization Rectenna," 2014 Int'l Symp. on Antennas and Propag., 査読有, FR4D-03, Kaohsiung, Dec. 2014.

4. I. Toyoda and E. Nishiyama, "Advanced Planar Rectenna -Expandability and Functionality of Rectenna-," 2014 Thailand-Japan Microwave, 査読無, TH3-1, Nov. 2014.
5. R. Nakashima, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Performance of 5.8-GHz Multi-Polarization Rectenna for Linearly/Circularly Polarized Wave Reception," Proc. WPTC 2014, 査読有, pp.208-211, May 2014.
6. 中島, 西山, 豊田, "直交偏波分離型マルチ偏波受信レクテナの偏波角依存性の検討," 信学技報, 無線電力伝送研究会, 査読無, WPT2013-27, pp.1-5, Jan. 2014.
7. T. Matsunaga, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "5.8-GHz Stacked Differential Mode Rectenna Suitable for Large-Scale Rectenna Arrays," Proc. 2013 Asia-Pacific Microwave Conf., 査読有, P3-53, pp. 1200-1202, Nov. 2013.
8. T. Sakamoto, Y. Ushijima, E. Nishiyama, M. Aikawa, and I. Toyoda, "5.8-GHz Series/Parallel Connected Rectenna Array Using Expandable Differential Rectenna Units," IEEE Trans. Antennas & Propag., 査読有, vol.61, No.9, pp. 4872-4875, Sept. 2013.

9. T. Matsunaga, E. Nishiyama, I. Toyoda, "Experimental Evaluation of 30-element Stacked Differential Rectenna Array," The 66th Joint Conf. of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu, 査読無, 03-1P-03, 2013.
 10. E. Nishiyama, H. Otomaru, and I. Toyoda, "Study on Characteristic Impedance of differential Rectenna Unit," 2013 IEEE Int'l Symp. Antennas and Propag. and USNC-URSI Nat'l Radio Science Mtg., 査読有, 541.8, July 2013.
 11. Y. Ushijima, T. Sakamoto, E. Nishiyama, M. Aikawa, and I. Toyoda, "5.8-GHz Integrated Differential Rectenna Unit using Both-Sided MIC Technology with Design Flexibility," IEEE Trans. Antennas & Propag., 査読有, Vol.61, No.6, pp.3357-3360, June 2013.
 12. 松永, 西山, 豊田, "大規模集積化に向けた縦積みディファレンシャルモードレクテナの構成パラメータ検討," 信学技報, アンテナ・伝搬研究会, 査読無, vol. 113, no. 34, AP2013-32, pp. 91-96, May 2013.
 13. I. Toyoda, R. Nakashima, and E. Nishiyama, "5.8-GHz Multi-Polarization Rectenna Integrating Dual-Polarized Antennas," 6th Global Symp. on Millimeter-Waves 2013, 査読有, T6-3, Sendai, Apr. 2013.
 14. 乙丸, 西山, 豊田, "ディファレンシャルモードレクテナユニットの特性インピーダンスの最適化," 映像情報メディア学会, 放送技術研究会, 福岡工業大, 福岡市, 2015年1月.
 15. 中島, 西山, 豊田, "任意方向の直線偏波受信を可能としたレクテナの基礎検討," 映像情報メディア学会, 放送技術研究会, 福岡工業大, 福岡市, 2015年1月.
- [学会発表](計 13 件)
1. 高橋, 西山, 豊田, "ショートスタブ整合回路を用いたディファレンシャルレクテナの高効率化に関する検討," 映像情報メディア学会, 放送技術研究会, 福岡工業大, 福岡市, 2015年1月.
 2. 中島, 西山, 豊田, "電流合成型マルチ偏波受信レクテナの等価回路を用いた特性評価 ~入力電力と接続法に関する検討~, 映像情報メディア学会, 放送技術研究会, 福岡工業大, 福岡市, 2015年1月.
 3. R. Nakashima, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Performance Evaluation of a 5.8-GHz Current Aggregation Type Multi-Polarization Rectenna," 2014 Int'l Symp. on Antennas and Propag., Kaohsiung, Taiwan, Dec. 2014.
 4. I. Toyoda and E. Nishiyama, "Advanced Planar Rectenna -Expandability and Functionality of Rectenna-," 2014 Thailand-Japan Microwave, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Bangkok, Thailand, Nov. 2014.
 5. R. Nakashima, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "Performance of 5.8-GHz Multi-Polarization Rectenna for Linearly/Circularly Polarized Wave Reception," IEEE Wireless Power Transfer Conference 2014, Jeju, Korea, May 2014.
 6. 中島, 西山, 豊田, "直交偏波分離型マルチ偏波受信レクテナの偏波角依存性の検討," 電子情報通信学会, 無線電力伝送研究会, 佐賀大学, 佐賀市, Jan. 2014.
 7. T. Matsunaga, E. Nishiyama, and I. Toyoda, "5.8-GHz Stacked Differential Mode Rectenna Suitable for Large-Scale Rectenna Arrays," 2013 Asia-Pacific Microwave Conference, Kaohsiung, Taiwan, Nov. 2013.
 8. T. Matsunaga, E. Nishiyama, I. Toyoda, "Experimental Evaluation of 30-element Stacked Differential Rectenna Array," The 66th Joint Conf. of Electrical and Electronics Engineers in Kyushu, Kumamoto Univ., Kumamoto, Sept. 2013.
 9. E. Nishiyama, H. Otomaru, and I. Toyoda, "Study on Characteristic Impedance of Differential Rectenna Unit," 2013 IEEE Int'l Symp. Antennas and Propag. and USNC-URSI Nat'l Radio Science Mtg., Orlando, FL, USA, July 2013.
 10. 松永, 西山, 豊田, "大規模集積化に向けた縦積みディファレンシャルモードレクテナの構成パラメータ検討," 電子情報通信学会, アンテナ・伝搬研究会, 大分, pp. 91-96, May 2013.
 11. I. Toyoda, R. Nakashima, and E. Nishiyama, "5.8-GHz Multi-Polarization Rectenna Integrating Dual-Polarized Antennas," 6th Global Symp. on Millimeter-Waves 2013, Sendai, Apr. 2013.
 12. 乙丸, 西山, 豊田, "ディファレンシャルモードレクテナユニットの特性インピーダンスの最適化," 映像情報メディア学会, 放送技術研究会, 熊本大学, 熊本市, Jan. 2013.
 13. 中島, 西山, 豊田, "任意方向の直線偏波受信を可能としたレクテナの基礎検討," 映像情報メディア学会, 放送技

術研究会，熊本大学，熊本市，Jan.
2013.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕
出願状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
国内外の別：

取得状況(計 0 件)

名称：
発明者：
権利者：
種類：
番号：
出願年月日：
取得年月日：
国内外の別：

〔その他〕
ホームページ等

6. 研究組織

(1) 研究代表者

西山 英輔 (NISHIYAMA Eisuke)
佐賀大学・工学系研究科・助教
研究者番号：30295026

(2) 研究分担者

豊田 一彦 (TOYODA, Ichihiko)
佐賀大学・工学系研究科・教授
研究者番号：80612663

(3) 連携研究者

()

研究者番号：