

Manufacturing Accuracy and Efficiency of the Super Light-Weight Flexible Rectenna

Takuji MUNAJIMA[†] Shotaro NAKO[†] Kimiya KOMURASAKI[‡] and Hiroyuki KOIZUMI[§]

[†]Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656

[‡]Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa-shi, Chiba, 277-0882

[§]Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo, 153-8904

E-mail: [†t.munejima@al.t.u-tokyo.ac.jp](mailto:t.munejima@al.t.u-tokyo.ac.jp)

Abstract These days, wireless power transfer is considered to be applied for power feeding to many kinds of devices. And in this research, microwave active phased array for use of wireless power transfer to a micro aerial vehicle (MAV) is developed. In the assumed system, power is transmitted to a circling micro aerial vehicle (MAV) by microwave beam of 5.8GHz, which is formed and directed to the MAV by the active phased array antenna. This unmanned MAV is assumed to be used for observation of an area where human can't reach. This power receiving device—rectenna—needs to be very light-weight and flexible in order to be attached to the wing of MAV, which is curved surface. In our laboratory, the rectenna is made of felt as a dielectric substrate, and copper foil tape as a conductor. But it is handmade so there is a problem in manufacturing accuracy. Therefore, RF-DC conversion efficiency is measured when using a printer which can print a circuit on felt.

超軽量フレキシブルレクテナの製作精度と性能

宗島 拓司[†] 名古 正太郎[†] 小紫 公也[‡] 小泉 宏之[§]

[†]東京大学大学院工学系研究科 〒113-8656 東京都文京区本郷 7-3-1

[‡]東京大学大学院新領域創成科学研究科 〒277-0882 千葉県柏市柏の葉 5-1-5

[§]東京大学先端科学技術研究センター 〒153-8904 東京都目黒区駒場 4-6-1

E-mail: [†]t.munejima@al.t.u-tokyo.ac.jp

あらまし 本研究では、MAV(Micro Aerial Vehicle)へのマイクロ波無線電力伝送システム、特にその受電システムの開発について述べる。当本研究の受電システムは、MAV 底面部にレクテナを搭載し、地上から放射されたマイクロ波を受電・整流することによって直流電源に変換するというものである。このレクテナは MAV に搭載するため非常に軽量である必要があり、また MAV の曲面に沿って張り付けるためフレキシブルな素材である必要がある。そこで当研究室では、誘電体に不織布、導体に銅箔を用いた超軽量フレキシブルレクテナを開発した。またこのレクテナの製作方法は手作りであったため、製作精度に問題があった。そこで回路を印刷することが可能なプリンタを用いることでその精度がいかに上がるかを検証した。さらにレクテナの変換効率を測定した。

1. 研究背景

1.1. 小型飛行隊へのマイクロ波無線電力伝送

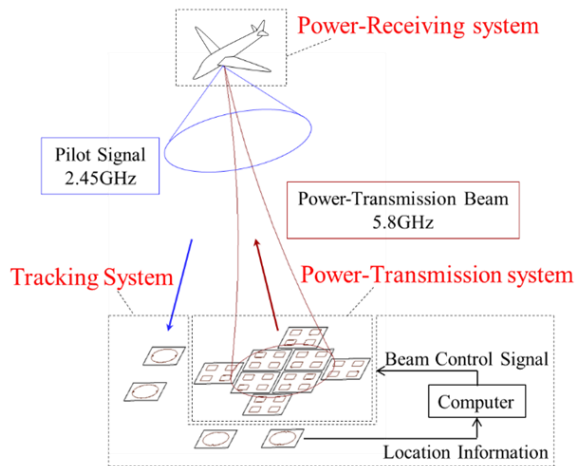


図 1 小型飛行体へのマイクロ波電力伝送の概念

現在当研究室では、小型飛行体(MAV)へのマイクロ波無線電力伝送を想定し研究開発を行っている[1]。そのシステムの流れは、いかのとおりである。まず MAV から 2.45GHz のパイロット信号が発信される。それを地上に x 方向 y 方向各 2 つずつ設けられた追尾用アンテナで受信し、その位相差から MAV の位置を推定する。この追尾法をソフトウェアレトロディレクティブと呼ぶ。パイロット信号にはワイヤレスカメラからの変調波を用いており、位置情報と同時にセンサからの情報を地上に伝送している。次に追尾系が推定した MAV 位置情報を元に送電用アクティブフェイズドアレイアンテナで、MAV に 5.8GHz 送電ビームを照射する。最後に、飛行体に搭載された受信アンテナによ

て照射されたマイクロ波を受信、整流器で直流電力に変換する。

1.2. 研究目的

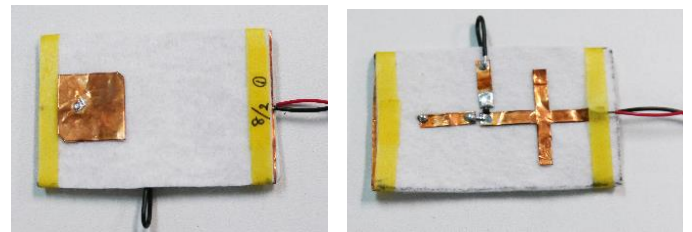


図 2 超軽量フレキシブルレクテナ(左:アンテナ, 右:整流回路面)

当研究室で用いるレクテナは MAV の翼下面の曲面に沿って搭載することを想定されている。そのため、軽量かつフレキシブルな素材で構成されている必要がある。そこで当研究室では、誘電体として不織布、導体には銅箔を用いたマイクロストリップ型超軽量フレキシブルレクテナを開発した。図 2 は実際に製作された軽量フレキシブルレクテナである。

しかし、当研究室で開発されたフレキシブルレクテナの RF-DC 変換効率は最大で 58% であるものの、実際に設計通りに制作してもその値を出すことが非常に難しい。図 2 は製作されたレクテナの平均の変換効率である。これは銅箔と不織布によってできているため手作りで製作せざるを得ない。その結果製作精度に問題が合ったためと考えられる。そこで本研究では、手作りによる製作精度の大きさを測定し、それが RF-DC 変換効率に与える影響を見積もる。

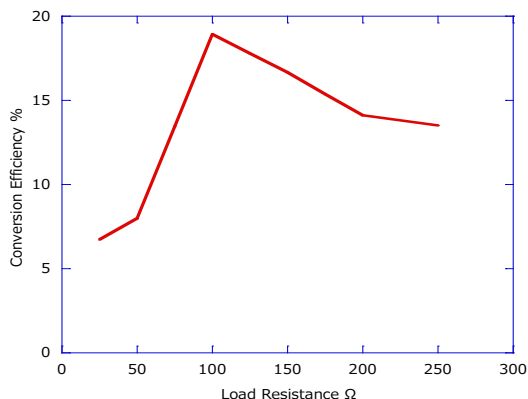


図3 実際に製作されたレクテナの変換効率

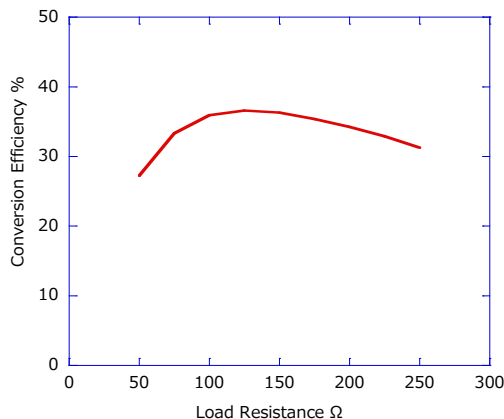


図3 設計点-0.5mmでのシミュレーション結果

2. 製作誤差分析

表1 周波数共用アンテナの構造

誤差範囲	誤差平均
$-1.5\text{mm} < \alpha < 0.8\text{mm}$	$ \bar{\alpha} = 0.45$

前述のとおり，当研究室で開発されたフレキシブルレクテナは手作業により製作されており，製作誤差が基板加工機等を用いて製作した場合に比べ大きくなることが考えられる．そこで，過去に製作されたレクテナ※個の寸法を測定しなおし，その最大最小値，更に絶対平均値を算出した．その結果を表1に示す．

寸法から-0.5mmほどずれた場合での，変換効率のシミュレーション結果を図※に示す．ここからわかるように実測値は設計値よりも下がるものの，シミュレーション結果は一致せず，効率低下の原因は製作誤差以外にも存在することを示唆している．

また製作誤差が変換効率に与える影響を見積もるため，図4には設計点からの誤差とその性能が設計値と比べどれほどの割合になるかを示すグラフを示す．±1mmの誤差で変換効率が40%ほどになってしまう事がわかる．よって変換効率の低下の原因は，製作誤差だけではないものの，大きな影響を与えることがわかる．製作誤差以外にレクテナの効率を低下させる要因として考えられるものとしては，

- 1.ハンダ付けによるダイオード劣化
 - 2.銅箔のシワによる線路インピーダンス変化
 - 3.不織布のシワによる実効比誘電率の変化
- などが考えられる．

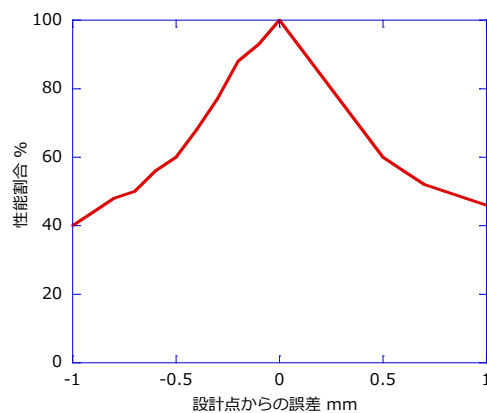


図4 製作誤差に対する性能劣化

3. まとめ

本研究では手製作によるレクテナ製作誤差を定量的に見積もり，その影響を分析した．その結果，手制作による誤差は約0.5mmであり，これは性能に影響を与えるものの，他の要因も十分に考えられる程度のものである，ということが分かった．更に±1mmの誤差で，約40%にまで変換効率が低下することがわかった．

文献

- [1] 小田章徳，澤原弘憲，小紫公也，荒川義博ら“小型飛行体へのマイクロは無線給電システム，”日本航空宇宙学会誌，vol.59(691)，pp.222-227，2011．
- [2] Y.Ueda, K.Fujimori, S.Nogi, M.Sanagi, “Efficient Conversions of Rectification Circuit for Low Power Rectennas” *ieice*, 2004
- [3] Y.Torimaru, K.Fujimori, M.Sanagi, S.Nogi, “FDTD Analysis of Rectification Circuit for Low Power Rectenna”, *ieice*, 2004
- [4] T.Takagaki, K.Fujimori, M.Sanagi, S.Nogi, “Improvement in Conversion Efficiency of a Rectenna Circuit by Considering Harmonics” *ieice* 2006
- [5] 名古屋正太郎，“2周波数共用フレキシブルアンテナを用いた電力情報同時無線伝送”，2014年度修士論文，東京大学大学院工学系研究科航空宇宙工学専攻．