

Energy Transmission to MAV using 5.8 GHz Phased Array

Shuhei Komatsu*, Eri Shimane*, Kimiya Komurasaki*, and Yoshihiro Arakawa**

* Department of Advanced Energy, Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, Chiba, Japan

(Tel : 03-5841-6586; E-mail: komatsu@al.t.u-tokyo.ac.jp)

** Department of Aeronautics and Astronautics, Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, Tokyo, Japan

Abstract:

A Micro Aerial Vehicle (MAV) flight using microwave power supply has been planned in the department of Aeronautics and Astronautics, the University of Tokyo, as a part of Japanese Center of Excellent projects.

The 5.8GHz microwave is provided by a Field Effect Transistor, and divided into five lines. Their phases are controlled using 6-bit digital phase shifters and a LabVIEW system on a PC. Then, each of them is amplified to 0.7W by FET amplifiers and led to a horn antenna.

Measured microwave power profiles showed that the main lobe of the profile has the divergence angle of 9deg and is steerable ± 9 deg as well. The beam is pointed using software in the PC.

Another important rectenna element is the rectifier. We adopted the microstrip-line circuits. The current rectification efficiency is 25% at 150 Ω impedance and 5 % for 30 Ω impedance of the external load. The rectennas are connected in parallel to have enough receiver area to drive a MAV model.

Further improvements are necessary, but we were successful in amplifying electricity using a parallel array for the rectenna to drive a micro electric motor designed for MAV. We have demonstrated the operation of the electric motor of MAV at 40cm altitude.

In the future, we would like to analyze the performance/capability of the individual rectifier, which make up the rectenna, from a logical perspective. Then, we are planning to demonstrate it steering by tracking system and phased array system.

5.8GHz フェーズドアレーを用いた小型飛行体へのエネルギー伝送

小松周平*、嶋根愛理、小紫公也(東大新領域)、荒川義博(東大工学系)
 *Tel : 03-5841-6586; E-mail: komatsu@al.t.u-tokyo.ac.jp

(Key Words : Microwave, Transmission, Rectenna, Phased array)

1. はじめに

東京大学において、COE プロジェクトの一環として

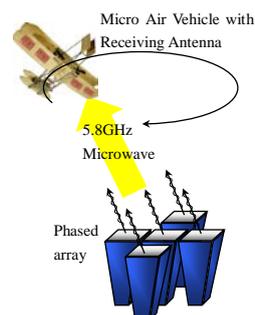


図 1. マイクロ波エネルギー伝送の概念図

「Innovative Aerial Robot Project」が進められている。我々は、このプロジェクトにおいて飛行ロボット (Micro Aerial Vehicle) に推進のための電気エネルギーを 5.8GHz のマイクロ波によって外部から追尾し、供給することを研究の目的としている。[1] 図 1 に、このミッションの概念図を示す。

送電エネルギーを最大に得るための受電方法(受電アンテナのアレイ化)及び交流から直流への高効率変換整流器を開発することが研究の主なポイントとなる

2. 送受電システムについて

2.1 送電システム概要

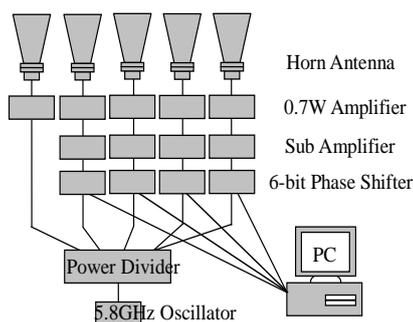


図 2 送電系システム

送電系システムの概略図を図 2 に示す。まず Oscillator において 5.8GHz のマイクロ波を発生させ、このマイクロ波を各列に分け、各列においてデジタル移相器によって必要な位相差を

与える。現時点での送電システムのスペックは表 1 のとおりで、送電アンテナからの高さとしビーム外径およびパッチアンテナ 1 つで受電できる電力の理論値の関係を図 2 に示す。最終的に目標とする高さは 102cm で、このときリ

ーフ型パッチアンテナで 1mW 程度の電力を得ることができる。

表 1 送電システム

マイクロ波周波数	5.8GHz
発信パワー	3.5W
アレイ外径	330mm
ビーム品質	6° (発散角度)
最大ステアリング角	13°

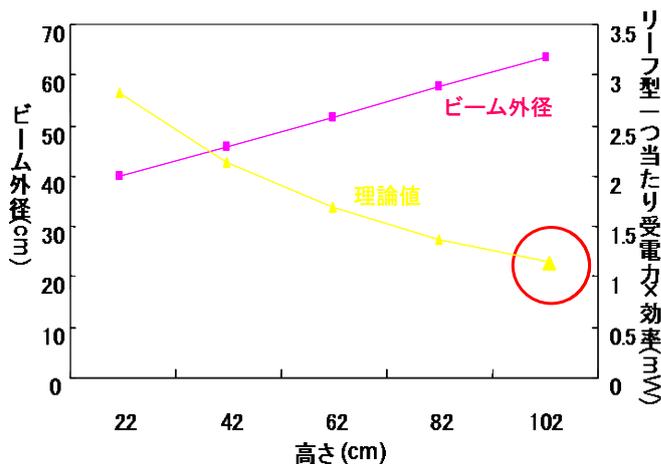


図 5. 各高さにおける単位面積当たりの受電電力

2.2 受電システム概要

受電アンテナには図 3 に示すようなリーフ型のパッチアンテナを用いる。このアンテナと他通常の円偏波パッチアンテナ及び、方形パッチアンテナの受電効率比較を図 4 に示す。[2]このグラフより、リーフ型パッチアンテナがどの受電角度においても一定の電力を受電可能としていることが分かる。



図 3 リーフ型パッチアンテナ

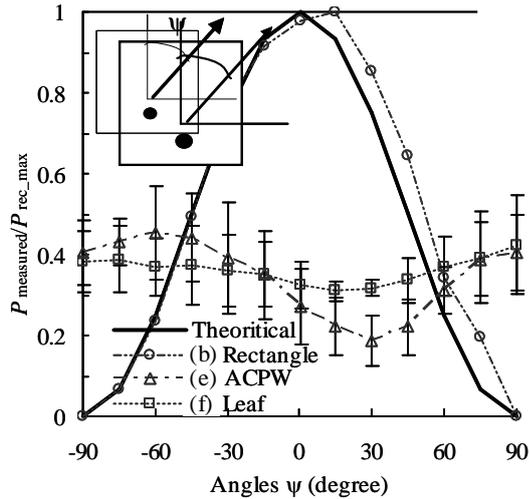


図4 パッチアンテナ受電効率比較

3. 実験

3.1 整流回路とレクテナの製作と特性評価

パッチアンテナでのアンテナ一つ当たりの受電可能電力は分かったが、整流器で直流に変換するとさらに使用可能電力が減少する。最終的にレクテナのアレー化によって電力を得るので、レクテナ状態で使用可能電力を評価し、最適なレクテナアレーを開発する必要がある。[3] ここではまず、整流回路のみの特性と、レクテナ素子を形成した場合の特性を評価するため、それぞれの負荷特性を調べた。

図5に製作した整流回路、および図6にレクテナを形成した時の整流回路（アンテナ裏面）を示す。これらの寸法やダイオードなどは同一である。図7にRF-DC変換効率の測定系を示し、図8に負荷特性を示す。整流回路部は入力電力10mWのときの特性で5素子の平均値である。エラーバーは素子のばらつきを示し、平均±1.8%程度のばらつきがある。



図5 整流回路

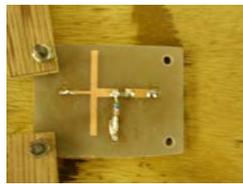


図6 レクテナ素子

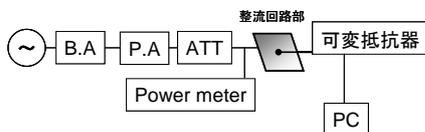


図7 整流回路部負荷特性測定系

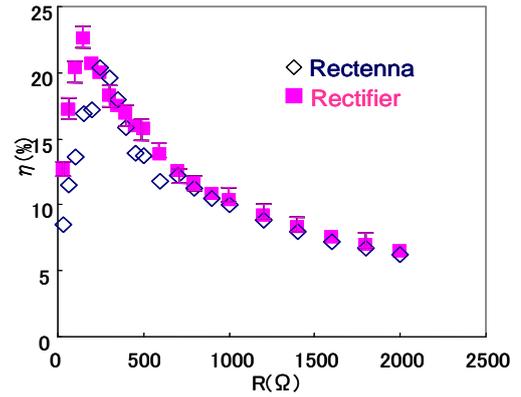


図8 整流回路とレクテナ素子の負荷特性比較

今回制作した整流回路は、負荷が150Ωのときに最大の効率が得られる回路となっている。10mWという電力に対して最適化されておらず、最大で25%程度の整流高率である。レクテナでもほぼ同一の特性が得られたが、低負荷時にはレクテナの変換効率が若干低い。これはアンテナと整流回路部の不整合が原因であると思われる。

3.2 レクテナのアレー化

マイクロ飛行機やロボットのモーターは一般的に負荷が小さい。たとえば4節で紹介するマイクロモーターの負荷は30Ωである。そこで、レクテナ素子を並列に接合し、負荷との整合をとって変換効率の改善を図ると共に、モーターの回転に必要な出力を得る必要がある。

レクテナ素子の接続法及び出力電力の関係を調べるためにレクテナ素子を2つ結合した実験を行った。測定系は図9の通りである。接続による不整合で低下する出力電力を評価するために出力電力低下率を次式で定義する。

$$\text{Power drop} = \frac{(P_{1\max} + P_{2\max}) - P_{\text{cmax}}}{P_{1\max} + P_{2\max}} \quad (1)$$

ここで、 $P_{1\max}$ 、 $P_{2\max}$ はそれぞれレクテナ1及びレクテナ2単体での最大出力を示し、 P_{cmax} は直列もしくは並列接続時の最大電力である。

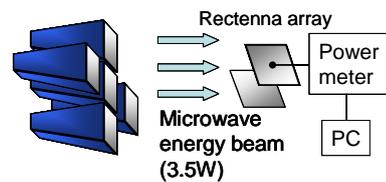


図9 レクテナアレー特性測定系

出力電力低下率の測定結果を表 2 に示す。直列接続時にはうまく電力が結合されていないが、並列接続においては、少ない損失で電力結合が行われていることが分かる。

表 2 レクテナアレーの電力結合特性

Characteristic rectenna array				
height(cm)	Input P(W)	power ratio	Series connection power drop(%)	Parallel connection power drop(%)
42	3.5	1.1	50.3	12.4
62	3.5	1.07	49.2	9.1
82	3.5	1.04	49.6	10.3
102	3.5	1.01	48.8	9.6

4. 結果

今回用意した超小型模型飛行機用マイクロモーター(可動条件 200mV, 6mA) を駆動するため、16 素子並列接続レクテナアレーを作成し、送電実験をしたところ高さ 40cm 付近でのモーター可動が確認された。(図 10)

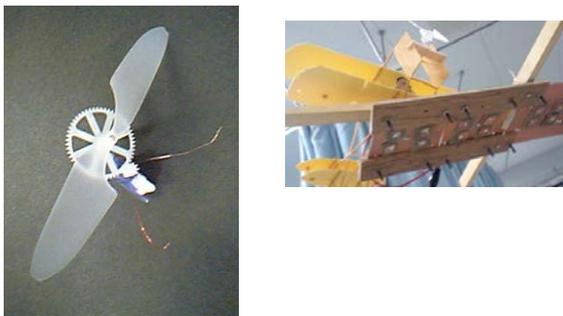


図 10 小型モーター(左)およびレクテナアレー(右)

5. 考察

駆動が確認された高さ 40cm 付近では、一つのパッチアンテナにつき 2mW 程度受電可能である。このときの単レクテナの負荷特性のマップを図 11 に、レクテナアレーをモーターに接続した際の、アレー数と出力の比較を図 12 に示す。図 12 から分かるように、アレー素子数が 8 を超えると、素子数を増やしても、それにつれて単体の変換効率(図中直線)が低下するため、得られる総出力は増えない。今後は、負荷抵抗との整合を理論的に開けて、最適化を行う必要がある。

6. まとめ

レクテナアレーを製作し 40cm 付近での小型飛行体用モーターの駆動に成功した。現在追尾システムも研究中で、

一次元でのターゲット位置特定に成功している。[3]今後は、二次元化と位置特定精度の上昇、及び、送電システムとの統合を図り、マイクロ波エネルギー伝送システム全体のデモンストレーションを行いたい。

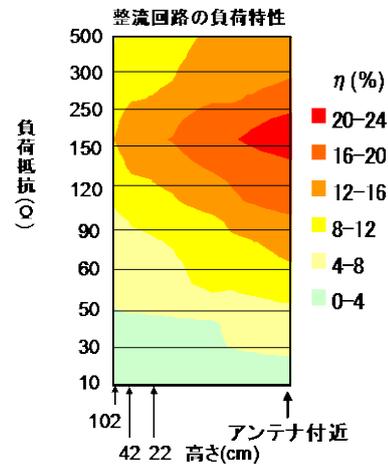


図 11 整流器の負荷特性

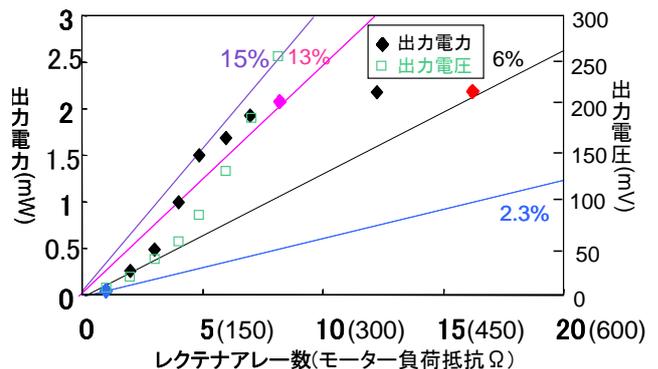


図 12 並列接続素子数と出力電力

7. 参考文献

- [1] Shinohara N. and Matsumoto H.: Experimental study of large rectenna array for microwave energy transmission, *IEEE Trans. on Microwave theory and Techniques*, 46 (3), pp. 261-268, 1998.
- [2] Ozawa, R., Takayanagi, H., Komurasaki, K., Katsunaga, K., Ertel, H., Wireless Energy Transmission for Micro Aerial Vehicles Using a Microwave Phased Array, AIAA paper 2005-5704, 3rd International Energy Conversion Conference, San Francisco, CA, 2005.
- [3] Komatsu, S., Ozawa, R., Katsunaga, K., Komurasaki, K., Arakawa, Y. : Power Transmission to a Micro Aerial Vehicle, AIAA paper 2007-1003, Aerospace Meeting, Reno, NV, 2007.