

– Energy Transmission to MAV using Flexible Rectenna –

Daisuke Takahashi* , Kouji Tanaka** , Yoshiyuki Fujino*** , Susumu Sasaki** and Kimiya Komurasaki*

*The University of Tokyo **JAXA ***NICT

Abstract

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

Our laboratory has developed a rectenna as a receipt system. But the rectenna is too heavy and thick to install to MAV. So we are developing new rectenna it's light and flexible.

In this lecture, we describe new flexible rectenna.

－ 薄膜マイクロ波レクテナの開発 －

高橋 大祐 (東京大学) 田中 孝治 (JAXA) 藤野 義之 (NICT)
佐々木 進 (JAXA) 小紫 公也 (東京大学)

1 研究の背景

本研究室では、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、供給するという研究を行ってきた。図1に、この計画の概念図を示す。地上から 5.8GHz のマイクロ波を MAV に照射し、MAV からは位置情報を含んだ信号を地上に送り返す。この情報を地上で解析し、MAV へ送るといったものである。

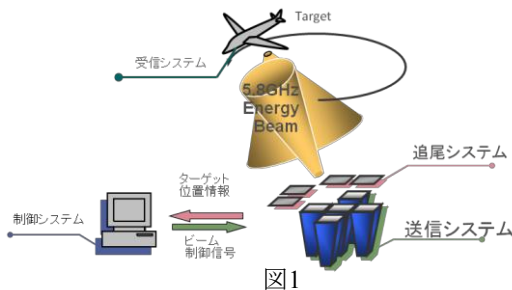


図1

本研究は、受電システムであるレクテナに関する研究である。レクテナとは整流器 (Rectifier) とアンテナ (Antenna) を組み合わせたものである。アンテナでマイクロ波を受電し、整流器で交流電力を直流電力に変換する。

図2が本研究室でこれまでに開発したレクテナである。円偏波用のパッチアンテナとマイクロストリップで構成された整流器を組み合わせたものであり、高い整流効率を持っている。



図2

2 研究の目的

本研究では、MAV へのエネルギー伝送をより現実的なものにするために、以下のようなことを目標とする。

1. レクテナの薄膜化

レクテナは、飛行ロボットに搭載するため、ある程度軽量でなければならない。また、占有体積が大きくなると有害抵抗となってしまう。

このようなことから、レクテナの薄膜化を目標とする。

2. ポーラリティフリー

図3に示すように、レクテナは、アンテナの共振面と電波の振動面が一致しないと受電ができない。MAV は絶えず移動しているためにヨー角が変化してしまう。安定した電力供給のためには、どのヨー角でも受電ができるようにしなければならない。

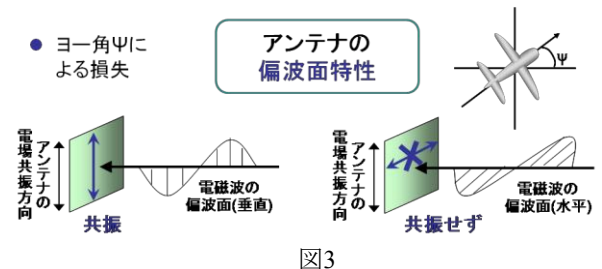


図3

これらの目標を実現するために、レクテナをポリイミドフィルム上に形成することにした。アンテナにはダイポールアンテナを用い、各レクテナを 90° ずらして配置することによって円偏波に対応させる。

3 実験概要

実験ではレクテナのインピーダンス整合と配置に関する実験を行った。そのうえで制作したレクテナの特性を測定した。

図4に実験設備の概要を示す。シグナルジェネレータで波を発生させ、パワーアンプで増幅、ホーンアンテナで送電し、120cm 離れた位置で計測する。交流電力を測定するときはパワーメータで計測する。直流電力を計測するときは可変抵抗につなぎ、抵抗間の電圧から電力を計算する。

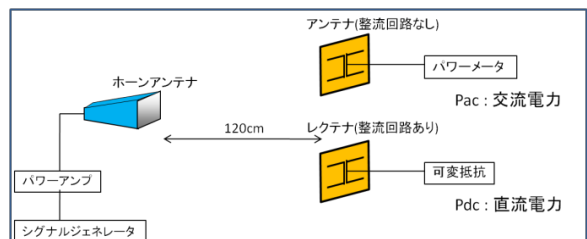


図4

3.1 インピーダンス整合

アンテナで受け取った交流電力を効率よく直流電力に変換するためには、アンテナと整流回路のインピーダンス整合が必要である。インピーダンスとは交流回路における電圧と電流の比であり、信号の伝わりにくさをあらわす。このインピーダンスが異なる者同士が接合されると信号の反射が起こる。インピーダンスの整合を取るために、インピーダンスの異なるアンテナを設計し、それぞれの直流電力を計測した。

設計したアンテナのインピーダンスはそれぞれ48Ω、83Ω、127Ωである。これら3つのアンテナを整流回路に接合し、同じ電力密度の空間に配置したときの直流電力を計測した。

測定の結果が図5である。どの電力密度に設置しても、アンテナのインピーダンスが48Ωのレクテナが一番直流電力を取り出すことができた。

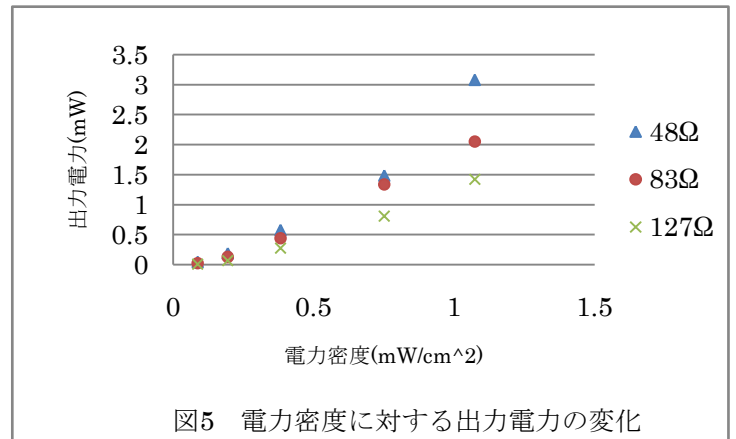


図5 電力密度に対する出力電力の変化

3.2 整流効率

3.1の結果より、一番インピーダンス整合のとれていると思われる、アンテナのインピーダンスが48Ωのレクテナの整流回路の効率測定を行った。

直流電力の測定は、負荷抵抗につなぎ、負荷抵抗間の電圧から求めた。また、整流回路への入力電力の測定には、整流回路を取り除いたアンテナ部をパワーメータにつなぎ、交流としての電力を測定した。

図6がその結果である。整流効率はどの入力電力でも負荷抵抗が100Ωのとき最大で、10mW入力するとき28.1%であった。

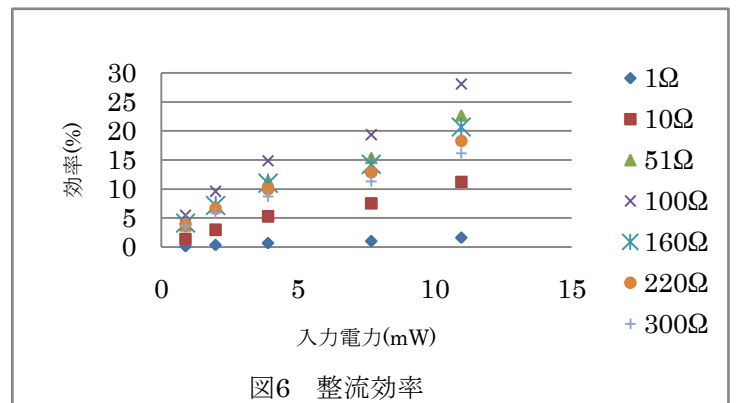


図6 整流効率

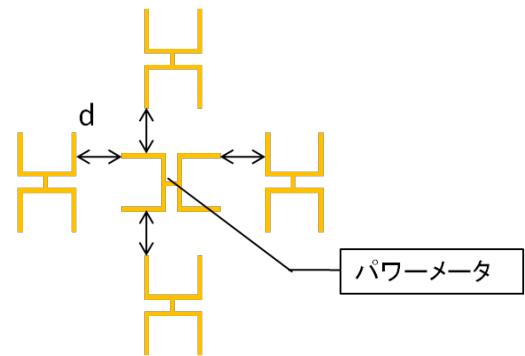


図7 レクテナ間隔

3.3 アレー化

レクテナのアレー化を行う。アレー化するには円偏波に対応させるために各レクテナを90°ずらして配置していく。レクテナは配置によってそれぞれ相互作用を起こす。レクテナ1素子への入力電力を最大にする配置を見つけるために以下のような実験を行った。

図7のように素子間隔をdとする。中心のレクテナは整流回路を取り除いて、アンテナとしてパワーメータにつなぎ、電力を測定する。素子間隔dを変化させて、中心のアンテナの受電電力を測定した。

結果は図8である。素子間隔が6mmのときアンテナへの入力電力が最大になった。

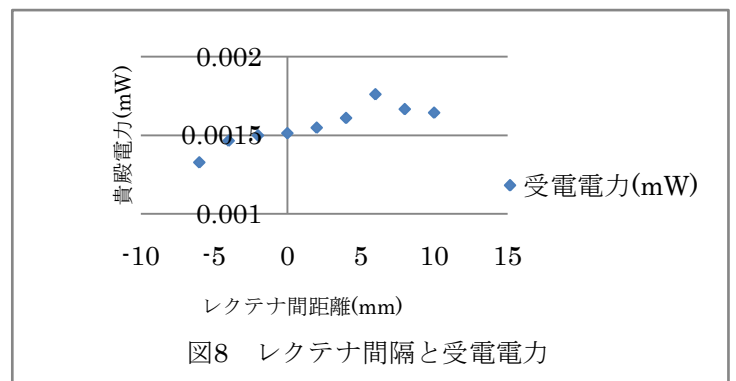


図8 レクテナ間隔と受電電力

3.4 アレー化したレクテナ

3.1~3.3の結果より、アレー化したレクテナを制作した。図9が制作したレクテナである。16素子で構成されており、各レクテナは90°ずらして配置されている。このアレー化されたレクテナから取り出される電力を、負荷抵抗を変えて測定したところ、図10のようになった。

一つの偏波に対応するレクテナが8素子なので、1素子から取れる電力の8倍の電力が取り出せるはずである。実際に計測したところ約6倍の電力が取り出せた。これは中心からレクテナの端にかけて電力密度が一定でないためだと思われる。



図9 フレキシブルレクテナ

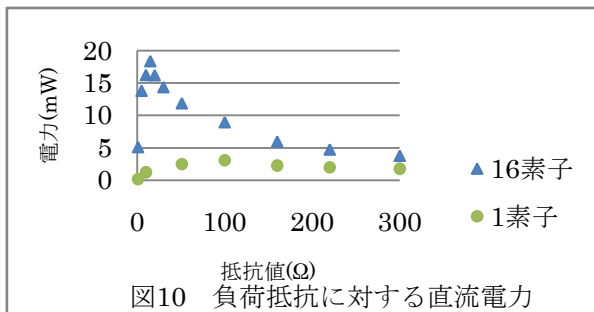


図10 負荷抵抗に対する直流電力

4 結果

4.1 薄膜化

制作したフレキシブルアンテナと従来のレクテナのサイズおよび質量の比較を行う。表1がその結果である。

厚さは3.2 cmから最薄で50 μmまで薄くすることができた。また、単位面積当たりの質量は0.026g/cm²と、従来の約45分の1まで軽くすることができた。

4.2 ポーラリティフリー

| | フレキシブル | 従来のレクテナ |
|---------------------------------|--------------------|---------|
| 質量 (g) | 10.4 | 85.4 |
| 厚さ | 最小 50 μm 最大 1mm | 3.2 cm |
| 単位面積当たりの質量 (g/cm ²) | 0.026 | 1.15 |

制作したレクテナが、ヨー角が変わっても電力を受電できるか実験を行った。実験では送電電波を円偏波と直線偏波で行った。その結果を図12に示す。

直線偏波で受電した場合、受電電力の変化は大きい。これは円偏波で受電した場合、整流回路への入力電力が直線偏波で受電した時に比べて小さくなってしまいうためである。また、円偏波で受電した場合はヨー角に対する受電電力の変化は小さくなった。

いずれの偏波で受電した場合でも、どのヨー角でも受電は可能であり、ポーラリティフリーなレクテナであるといえる。

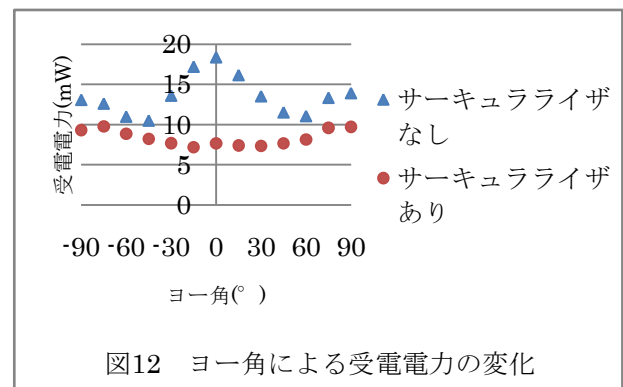


図12 ヨー角による受電電力の変化

5 まとめ

- 軽量かつフレキシブルなマイクロ波受電レクテナの開発ができた。
- 偏波、ヨー角にかかわらず受電が可能なレクテナのアレー化ができた。