

Microwave Beam Power Rectification System

・ マイクロ波エネルギー伝送高効率受電システムの開発

学生証番号 66210 氏名 小松 周平
 (指導教員 小紫 公也 准教授)

Key Words: レクテナ マイクロ波 無線伝送 高効率 SPS

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「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。図1に、このミッションの概念図を示す。交流から直流への高効率変換レクテナの開発及び使用用途への適合化、そして高い位置でMAVモーターの稼動により、送受信システムの同期が研究の主なポイントとなる。

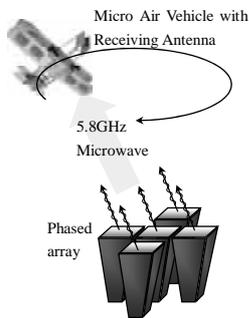


図1. マイクロ波エネルギー伝送の概念図

2. 送受信システムについて

送受信システムの概要は以下のようになっている。

1) 送信システム

送信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Power Dividerにおいて各列に分け、各列においてPhase Shifterによって必要な移相を与え、直線偏波を送信する。送信性能は表1のとおりである。

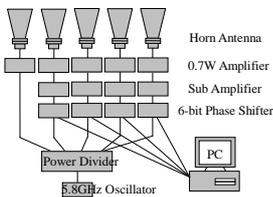


図2. 送電システム

表1. 送信システム性能

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	9° (発散角度)
最大ステアリング角	13°

2) 受信システム

偏波面に依存することなくエネルギーを供給するため、受信偏波を円偏波で受信する。そのために、パッチアンテナを用いた円偏波受信アンテナを用いる(図3)。受信性能は表2の通りである。



図3. パッチ円偏波受信アンテナ

表2. 受信システム性能

マイクロ波周波数	5.8GHz
受信可能面積	~ 5.95cm ²
受信電力効率	~ 40%
r/a	0.33 ~ 0.40

3. 実験の内容と結果

小さい受信電力を最大限活かすために、RF-DC変換整流回路の高効率化、MAVモーターに適合したレクテナアレーの開発及び、送受信システムの同期デモンストレーションを行う。

1) RF-DC変換整流回路の高効率化

一般的なレクテナの整流回路には、図のような構成が用いられる。1/4分布定数回路は、十分大きな容量を持つ出力平滑用コンデンサとともに全波整流回路を構成しており、理論的には100%の効率を得ることができる。しかし実際には内部的に、回路を構成するダイオードやコンデンサ、回路のインピーダンスマッチングなど、外部的には入力電力と接続される負荷抵抗がRF-DC変換効率に影響を及ぼす。

そこで、内部的な問題解決として、構成回路の検討を行う。マイクロストリップライン(以下MSL)を用いて1/4分布定数回路を表現するにあたって、特性インピーダンスの整合により理論的に決定される変数以外のパラメータとして、入力フィルタ用のコンデンサ、整流用ダイオード、出力平滑用コンデンサ、

4) 負荷抵抗調整スタブ、出力伝送ラインを選出した。(図4)

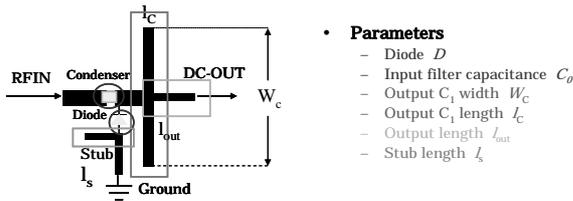


図4. 整流回路概念図

まず、整流用ダイオードには順方向電圧降下が小さくリカバリー特性の強い、高周波に対応したシリコンショットキーバリアダイオードであるHSM88WA(RENESAS)を用いた。次にMSL上で表現されている出力平滑用コンデンサのインピーダンス整合を行った結果、 $C_1=1.043\text{pF}$ で最大効率を示した。そして、入力側に挿入されている直流成分が入力側に流れ込むのを防ぐチップコンデンサの容量をスミスチャートから推測し、一番高効率を示す 100pF の容量を用いた。スタブ長さを調整することで、最大効

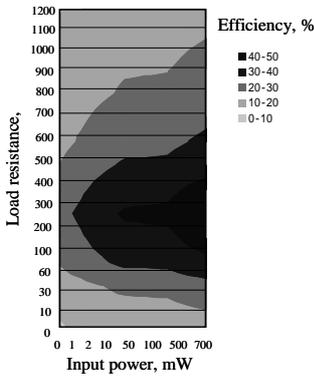


図4. 整流回路特性

2) MAVモーターに適合したレクテナのアレー化

RF-DC変換効率への外部的な要因の解決策として、レクテナ高密度化による受信電力量の増加と並列化による負荷抵抗との整合を行う。図5に対象となるMAVのモーターを示し、図6に高密度に配置したレクテナを示す。



電圧：200mV
電流：6mA



図5. 33 MAVモーター 図6. レクテナアレー高密度化

これにより従来、整流回路の大きさに依存していたレクテナの高密度化が実現し、送信アンテナからの高さ82cm程度において11%以上の受信電力量増加と、負荷抵抗260 による整合からMAVモーター可動条件を満たす、250mV、7.97mAの出力を実現した。高密度化レクテナアレーの特性を図7に示す。個々のレク

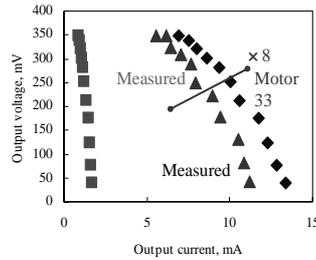


図7. レクテナアレー特性

テナの接続状況や素子間の相互作用によって、単純に一つのレクテナを8倍したときより出力は落ちているが、ほぼ近い値を示している。

3) デモンストレーション

図8のような回転台に、MAVを仮想した飛行模型にレクテナアレーを設置し、送信システムとのステアリングポイント実験及び、同期実験を行った。ステアリング実験では、Z軸に対してX軸方向に9degステアリングさせたポイントにビームを送り、そのポイントを通り過ぎるときのみMAVモーターが可動の様子を撮影し、実際に出力電圧を測定した。同期実験においては、ビームを回転台と同じスピードで回転させ、ビームが回転台に取り付けてあるセンサーを通過した瞬間に回転台が回転することによって送信システムとの同期を図っている。このとき

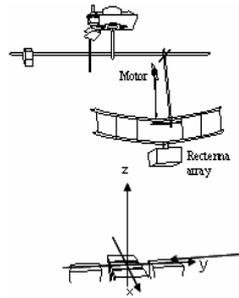


図8. MAV回転台

も同様に出力電圧を測定した。結果をそれぞれ図9、10に示す。結果から、ステアリング実験においてはビームポイントを通り過ぎたときのみ出力電圧がモーター可動条件を超え、同期実験においてはすべてのポイントにおいてモーター可動条件を超えていることが分かる。

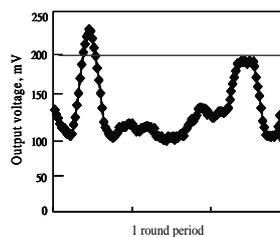


図9. ステアリング実験結果

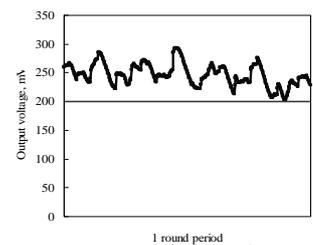


図10. 同期実験結果

4. まとめ

- 低入力電力でも高い変換効率が可能な整流回路を開発した。
- MAVのモーターに適合したレクテナアレーを開発した。
- 送信アンテナからの高さ82cmにおいてMAVのモーターを可動させることで、送信システムと受信システムの同期が実現できた。