

Developments of Polarity-Free Rectenna for Micro Aerial Vehicles

－ マイクロ飛行機搭載用非偏波方向依存レクテナの開発 －

56206 勝永 健太

(指導教員 小紫 公也 助教授)

Key Words : Microwave, Energy Transmission, Rectenna, Polarization, Polarity-Free

1. はじめに

1.1 背景

本研究の目的は航空宇宙工学専攻を中心に行われているCOEプロジェクト「高機能飛行ロボットの研究開発(IARP)」の一環として、無人飛行機(UAV)やマイクロ飛行機(MAV)などの飛行体へエネルギー供給を実現することである。IARPとは具体的には目的地へ自立飛行し、空中撮影などのミッションを遂行するプロジェクトである。飛行体へのエネルギー供給をその都度離着陸させることなく外部より無線で行うことが出来れば、その用途は大きく広がるものと期待される。

本研究では将来の高速移動体へのエネルギー供給も考え、飛行機体のヨー角に依存せずエネルギーを安定供給可能な非偏波方向依存レクテナシステムの開発を目指す。

1.2 非偏波依存性レクテナの必要性

送電波にはビーミングの精度をあげるために直線偏波を用いている。しかし直線偏波には偏波特性が存在し、送電波エネルギーのうち、受電アンテナの電場共振方向成分しか受電することが出来ない。この偏波特性を解決する方法としては円偏波の利用や受電アンテナの非偏波方向依存化が考えられるが、ビーミング精度向上の為に直線偏波を採用しているので、偏波特性の解決法としては後者で実現する。

アンテナの非偏波方向依存化には既存の複数の偏波依存アンテナによりユニットを構成するUMA(Unit of Multiple Antenna)法とアンテナ自身の偏波依存性を抑えるSPFA(Self Polarity-Free Antenna)法の2種類が考えられる。前者は既存のアンテナを互いに不得意な偏波角を補完するように配置されたものである。Fig. 1にNASAにおけるダイポールアンテナを用いたユニットの例を示す。受電したエネルギーは各々のダイポールアンテナで整流後直列に接続され、直流電源を得ている。この方法の利点は設計や効率の試算容易性、フレキシブル基板への応用性などである。一方、ユニットとしての面積の大きさや受電面積効率の低さ、受電面に整流回路が露出することによるダイオードの入射マイクロ波による直接的損耗、1ユニットあたり8つのダイオードと整流回路が必要になることによるシステムが複雑化などの欠点がある。後者の方法ではアンテナ自身を非偏波方向依存化する事で受電面積を小さく最大限に利用でき、整流回路がアンテナ裏面にあるためマイクロ波による直接的損耗もなく、整流回路も1つで済むためシステムを単純化できるなどの利点がある。しかしながらアンテナ自身の非偏波方向依存化への明確な設計指針が

ない為、本研究では理想的な円偏波アンテナを目指し形状を最適化しよう試みた。

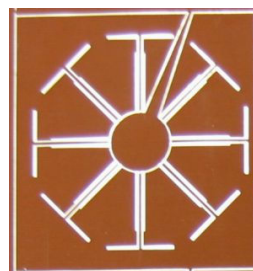


Fig. 1 Unit of Multiple Dipole Antenna

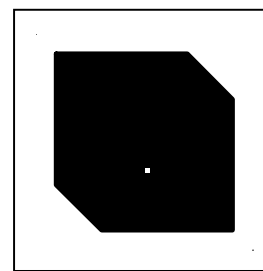


Fig. 2 Antenna for Circular Polarized Wave

2. 実験概要

2.1 ポーラリティフリーアンテナ

本来送電アンテナと受電アンテナは可逆的なものであるため、円偏波を送電できるアンテナ形状であるならば、受電アンテナとしても円偏波を受電でき、ひいては偏波方向依存性もないのではないかという考えから、理論的な円偏波方形パッチアンテナであるACPW (Antenna for Circular Polarized Wave: Fig. 2)を参考に理想的な円偏波アンテナの最適設計を試みた。Fig. 3に検討したパッチアンテナの形状を示す。

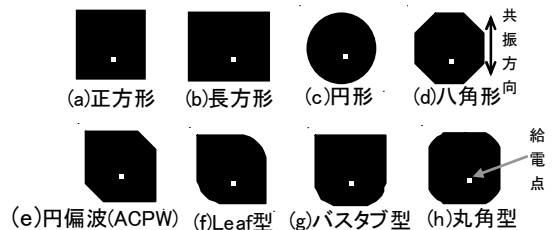


Fig. 3 検討したアンテナパターン

それぞれの偏波面とのなす角 ψ による特性のデータの一部をFig. 4に示す。Theoreticalは一辺の長さを半波長に、もう一辺を半波長よりずらし一方にしか電場を共振させない長方形パッチアンテナの理論効率である。これより他の型が入射偏波角が変わると効率が著しく落ちるのに対しLeaf型は変化が小さく、角度依存性が少ないことが分かる。また、Leaf型の面取り半径比も角度依存性に影響を及ぼすことも分かった。

ここでダイポールアンテナユニットとの有効性について議論する。通常アンテナの共振方向長さは $\lambda/2$ の整数倍

の長さで、最短で 0.5λ の長さとなり半波長パッチアンテナでは $0.25\lambda^2$ 程度の面積になる。一方半波長ダイポールアンテナ素子の実効面積は以下の式で表せる。(R=73.13Ω)

$$Ae = \frac{Wm}{P} = \frac{30\lambda^2}{R\pi} = 0.131\lambda^2 \quad (1)$$

しかしながら実際には素子は半波長パッチアンテナとほぼ同等の面積を占めてしまい、貴重な受電面積にロスが生じる。この影響を考慮に入れ、本実験で得られたLeaf型パッチとダイポールアンテナユニットとの比較がFig. 5である。非偏波方向依存レクテナユニットとしてのダイポールユニットの効率は約0.1程度となり、平均効率36%を達成するLeaf型の方が、ダイポールユニットより有効であると言える。

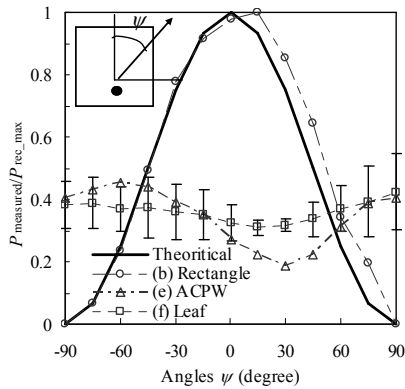


Fig. 4 形状と角度依存性

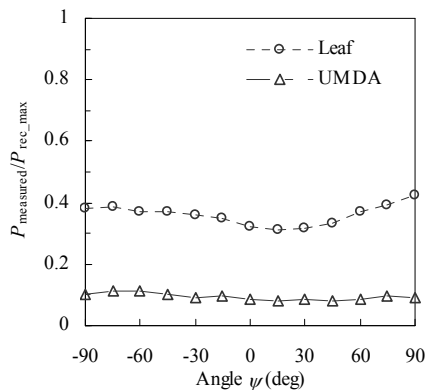


Fig. 5 Leaf型アンテナとダイポールアンテナユニットの比較

2.2 整流回路

整流回路はマイクロストリップライン回路を採用した。Fig. 6にその回路パターンと可変パラメータを示す。可変パラメータは、コンデンサ容量やダイオードの種類、スタブ長さなど多々あるが、最初に基準値を設定後、全てのパラメータを個々に変化させて特性を調べた。実験に用いた基板はSanhayato社製ガラスエポキシ基板で、比誘電率は4.7程度となっている。実験結果の一例としてチップコンデンサにmuRata GRM42-6 SL 330J、ダイオードにNEC 1s97を用い、入力部長さ l_{in} のみを変化させた際の結果をFig. 7に示す。これにより理論上は設計に影響を及ぼさない入力部長さ l_{in} も効率に大きく影響を与え、また接続する負荷抵抗値に応じて効率も大きく変化し、最適負荷が存在することがわかる。同様に入力電力の最適値が存在するこ

とも知られている。また、予想外ではあったが自作整流回路が市販のPE8016の性能を超えることが出来た。そもそもPE8016が小信号用であるとはいうものの、それを越える効率を達成したことは大きな成果である。

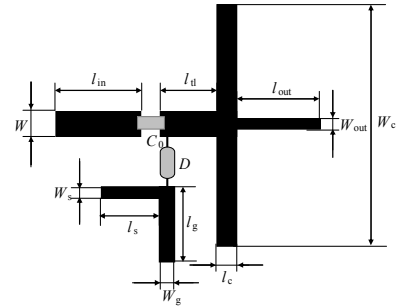


Fig. 6 整流回路パターンとその可変パラメータ

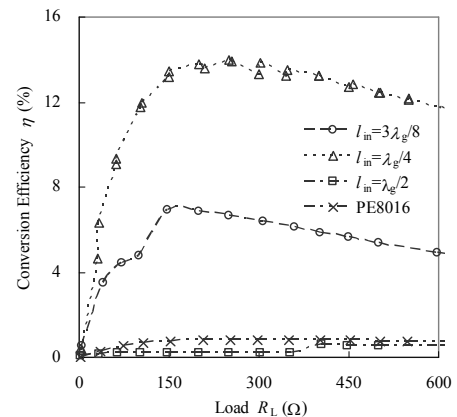


Fig. 7 整流回路の負荷-変換効率特性(l_{in} 変化)

2.3 レクテナ化と地上試験

上記で得られた非偏波方向依存アンテナ及び整流回路素子を4並列に接続したレクテナを製作した。本研究で整流後も交流成分が一部残ることが確認された為、各レクテナの直流電力給電点からの距離が全て等しくなるような位置で合成するように工夫した。これにMAV搭載用小型モーター(最小稼働出力:1.2mW)を接続し、実際のMAV搭載を見据えた地上試験を行った。結果としては出力ホーンアンテナの直上、0~2cmの高さの位置でモーターの稼働を確認した。また、レクテナを回転させてもモーターは停止しなかったことから非偏波方向依存であることも立証できた。

3. 今後の展望と課題

本研究の結果、単一で極めて高い非偏波方向依存性を示すアンテナ素子と小型マイクロストリップ整流回路を開発し、非偏波方向依存性レクテナとしての地上実験を行うことが出来た。しかしながらアンテナに比べ整流回路が少し大きくなってしまった。今後は整流回路基板の誘電率を大きくすることで小型化し、アンテナ基板の誘電率を小さくすることで受電面積を増やし、レクテナとしてのサイズのバランスを調整する必要がある。また、各素子としてのみでなく合成したレクテナとしての最適化設計を継続し、全体としての電力変換効率を改善することにより、実際の飛行高度での実証試験及びMAVに搭載し追尾システムを併用しての飛行実験が実現できるものと考えている。