

# Performance of 8-Element Active Phased Array Antenna for Wireless Power Transmission to Micro Aerial Vehicle

Shotaro Nako<sup>†</sup> Kenta Okuda<sup>†</sup> Kimiya Komurasaki<sup>‡</sup> Hiroyuki Koizumi<sup>§</sup>

<sup>†</sup> Graduate School of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo, Bunkyo-ku, Tokyo, 113-8656

<sup>‡</sup> Graduate School of Frontier Sciences, The University of Tokyo, 5-1-5 Kashiwanoha, Kashiwa, Chiba, 277-0882

<sup>§</sup> Research Center for Advanced Science and Technology, The University of Tokyo, 4-6-1 Komaba, Meguro-ku, Tokyo,

## 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.

In the previous system, which had been developed in our laboratory, horn antenna was adopted as antenna element of active phased array. Although a gain of horn antenna is larger, separation of antenna elements can't help becoming larger because of its size. It leads to a large side lobe when a beam is steered. Then we adopted patch antenna, which can be easily manufactured and make antenna separation small, as antenna element.

As the MAV is circling, the transfer beam should be circularly polarized to transmit power at high efficiency without depending on the yaw angle of the MAV. However, it is difficult to manufacture an antenna for perfectly circularly polarized wave. Then, in order to realize better circular polarization, a sequentially routed antenna (SRA) was applied to the power transfer antenna. As a result, the axial ratio of 0.440dB was accomplished.

Using above antenna element, an 8-element active phased array was formed, and power density distribution of the beam formed by it was measured at 1,500mm altitude. Input power is about 5.6 W. As the result, the peak power density was 2.63 mW/cm<sup>2</sup>.

# 小型飛行体への無線電力伝送用 8 要素アクティブフェーズド アレイアンテナの性能

名古屋 正太郎<sup>†</sup> 奥田 健太<sup>†</sup> 宮代 健吾<sup>‡</sup> 小紫 公也<sup>‡</sup> 小泉 宏之<sup>§</sup>

<sup>†</sup> 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

<sup>‡</sup> 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

<sup>§</sup> 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: <sup>†</sup> s.nako@al.t.u-tokyo.ac.jp

**あらまし** 本研究では小型飛行体 (MAV : Micro Aerial Vehicle) へのマイクロ波無線電力伝送システム, 特にその送電系開発について述べる. 飛び回る小型飛行体へマイクロ波を照射するためにビーム方向制御機能を備えた送電アンテナとして, 8 要素で構成されたアクティブフェーズドアレイを作成した. ヨー角が刻々と変化する飛行体へ常に一定の電力を供給するためには送電ビームは円偏波である必要があるが, 本送電用アレイのアンテナ要素にはシーケンシャルローテーションアレイと呼称されるサブアレイパッチアンテナを採用することで 0.440dB の軸比を達成した. またそこから放射される送電ビームの電力密度分布を数値計算, 測定の両面から評価し, 所望の特性がえら手いることを確認した. 電力密度分布のピーク値は 2.63 mW/cm<sup>2</sup>となった.

## 1. はじめに

様々なデバイスにワイヤレスで電力を供給する技術は, 機器からケーブルを排除し多様なアプリケーションを可能にすることを目的とし, 近年盛んに研究がなされている. その一つであるマイクロ波を用いた無線電力伝送は長期距離の電力伝送に適しており, 軌道上の太陽光発電衛星から地上への電力送電などへの応用を主として研究が行われてきた. [1]

本稿ではこの技術を小型飛行体(MAV)への無線電力伝送に応用することを考える. この小型飛行体はカメラ, マイクその他のセンサーを搭載し, 被災地など人間が容易に立ち入ることのできない場所の監視に用いることを想定している[2]. このような飛行体に無線電力伝送を用いることの利点としては, 飛行時間が燃料やバッテリーに依存しないため長時間のアプリケーションが可能になること, また補給のための離着陸が不要になるためそれに伴う危険性を排除することが挙げられる. 着陸は現代においても自動化することが難しい操作であり, 着陸の必要性をなくすことはより人間の手を必要としないシステムの構築につながる.

## 2. 研究背景

上記, 小型飛行体への無線電力給電のモデルは次の通りである. 小型飛行体はバッテリーを搭載し, その残存電力が少なくなると所定の場所に設けられたパワーステーションに飛来する. 小型飛行体はその上空を巡回する間に地上ではその位

置を検知, 小型飛行体へ向けてマイクロ波を放射する. 小型飛行体はそのマイクロ波を受け取って直流電力へと変換し, バッテリーを充電する. 当研究室ではこのシステムを追尾, 送電, 受電システムに 3 分割し開発している (図 1). 本稿ではこのうち, 送電システムに主眼を置き, 送電ビームを形成するためのアンテナ系開発について述べる.

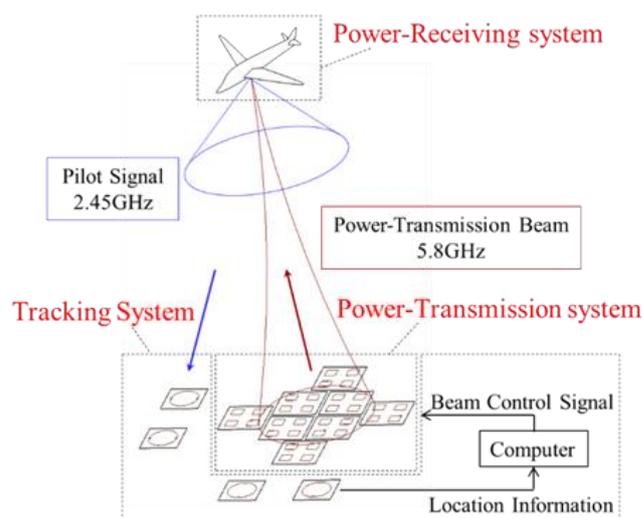


図 1 小型飛行体へのマイクロ波無線電力伝送概念図

## 3. 送電アンテナ要素とフェーズドアレイ構成

送電用のアンテナとして本研究では 5.8GHz パッチアンテナを要素とするアクティブフェーズドアレイを用いる. フェーズドアレイによる送電

マイクロ波ビーム方向操作は機械的な操作よりも応答が速く、高速で移動する小型飛行体への追尾給電に適している。また従来、当研究室の送電系にはホーンアンテナを用いていたが(図2)[3]、これを軽量かつ安価で生産性も高いパッチアンテナに変更した。ホーンアンテナではその形状から素子間隔を広く取らざるを得ず ( $2.2\lambda$ )、送電ビームの走査角を大きくしたときにサイドローブが生じやすいという問題があった。パッチアンテナでは素子間隔を小さくすることが可能であるため、その値を  $0.68\lambda$  とした。

送電を行っている間、小型飛行体は送電アンテナ上空を旋回することを想定しているため、小型飛行体のヨー角に依存せず一定の電力を供給するためには送電マイクロ波は円偏波である必要がある。そこで、パッチアンテナ要素は  $5.8\text{GHz}$  用円偏波アンテナ素子4つのサブアレイによって構成した。一般に完全な円偏波用アンテナを作成するのは難しいため、このサブアレイにはシーケンシャルローテーションアレイ (SRA) と呼ばれる配置を採用した(図3)。ここでは4つのアンテナ素子の給電方向を  $90$  度ずつ回転させており、各素子から放射されるマイクロ波を重ね合わせた結果として偏波を均質化、より円偏波に近い偏波特性を実現する[4]。これを用いて構成した8要素のフェーズドアレイの配置を図4に示す。この送電アンテナ系から放射される送電ビームの軸比を測定した結果が図5であり、 $0.440\text{dB}$  の軸比を達成した。前述のホーンアンテナでは円偏波を達成するためにサーキュライザと呼ばれる金属格子を用いていたが、これは所望の円偏波を得ることが難しく  $2.60\text{dB}$  という軸比であったため、シーケンシャルローテーションアレイの有効性が伺える。

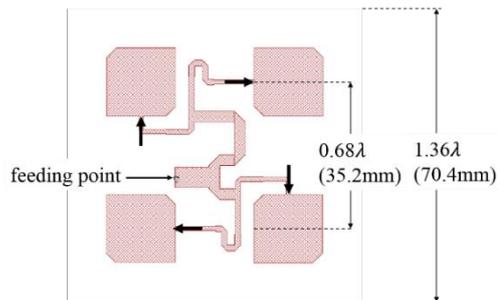


図3 4素子サブアレイパッチアンテナ要素

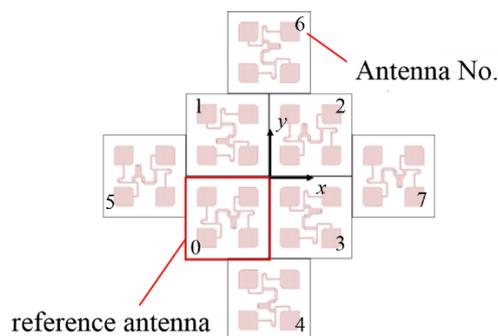


図4 フェーズドアレイ配置

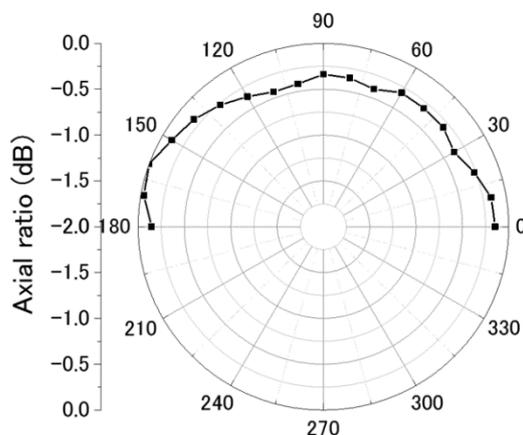


図5 送電ビームの軸比測定結果

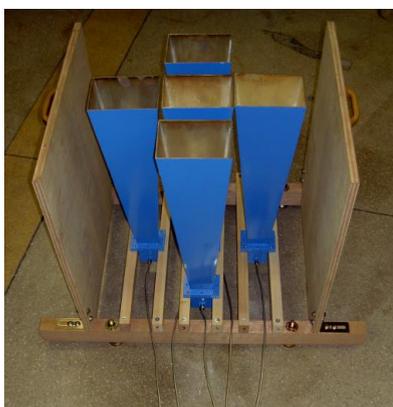


図2 ホーンアンテナを用いた送電系

#### 4. 送電ビームの電力密度分布

構成したアンテナ系から所望の送電ビームが放射されていることを確認するために、送電ビームの電力密度2次元分布を測定した。またその結果を数値計算[5]によって求めた電力密度分布と比較し、評価した。入力電力は各アンテナ要素  $0.7\text{W}$ 、合計  $5.6\text{W}$  とした。電力密度分布はアンテナの上方  $1.5\text{m}$  の平面に関するものとする。

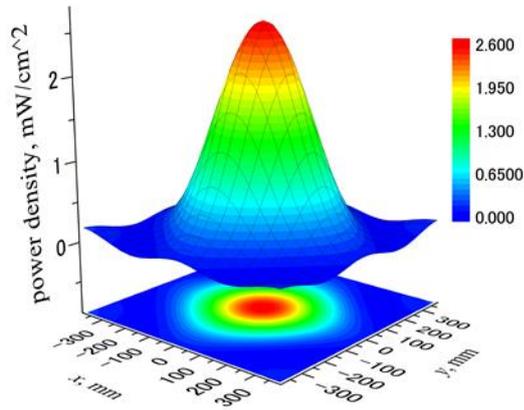


図 6 非走査時電力密度分布（数値計算結果）

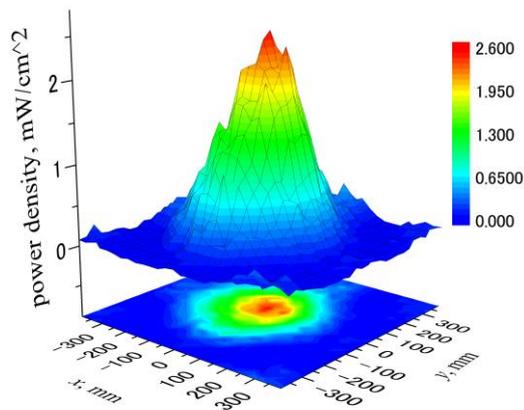


図 7 非走査時電力密度分布（計測結果）

表 1 電力密度分布に関する数値計算結果と計測結果の比較

電力密度ピーク値, $\text{mW}/\text{cm}^2$	計測値	計算値
非走査時 (0deg)	2.54	2.63
走査時 (9deg)	2.08	2.27

数値計算, 及び計測で求めた電力密度ピーク値を表 1 にまとめる. 計算値と計測値の誤差率は, 走査していないときは約 2%, 9 度走査時には約 8% となり, 構築した系で適切な送電ビーム形成ができていないことが伺える. また送電ビームを 9 度走査することによるピーク値の減少は 18% となった.

加えて, 走査角を徐々に大きくしていった際のメインローブ含有電力量の変化を数値計算により求めた. 8 要素パッチアンテナ系に関する結果を図 8 に, 5 要素ホーンアンテナ系に関する結果を図 9 に示す. 当システムで想定されている小型飛行体の旋回位置見込み角は 9 度であるが, その位置においても 44% のメインローブ含有電力を

達成している. ホーンアンテナ系に対しては 34% であったため, 改善が伺われる. またサイドローブピーク値がメインローブのピーク値より大きくなる走査角を設計最大走査角と定義し, この角度まで有効にビームを振ることができるとする. 数値計算によってその値を求めると 26 度となった.

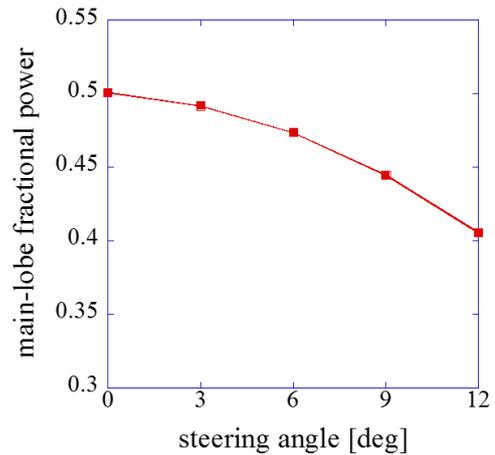


図 8 走査角増加に対するメインローブ含有電力量の変化 (8 要素パッチアンテナ系)

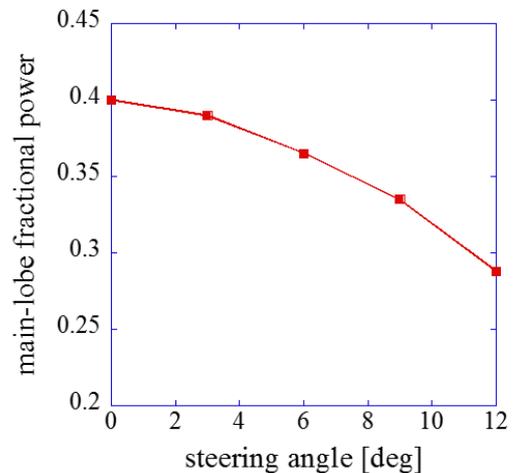


図 9 走査角増加に対するメインローブ含有電力量の変化 (5 要素ホーンアンテナ系)

## 5. まとめ

小型飛行体への無線電力伝送用, アクティブフェーズドアレイを 8 アンテナ要素で構築した. 要素には SRA を用い, 0.440dB という良好な軸比を達成した.

上記送電アンテナから放出される送電ビームの電力密度を測定した. 入力電力が 5.6W のとき, アンテナ上方 1,500mm における電力密度のピー

ク値は  $2.63 \text{ mW/cm}^2$  となった。この値の数値計算からの誤差は約 2%であった。また送電ビームを 9deg 走査したときのピーク劣化は 18%と、小型飛行体への無線電力伝送を想定して十分小さな値となった。

#### 文 献

- [1] 松本紘, 篠原真毅: “宇宙太陽発電所とマイクロ波エネルギー伝送技術”, 信学技報, SAT95-77, MW95-119 (1968), pp.31-36.
- [2] E. Shimane, S. Komatsu, K. Komurasaki, “A MAV Flight using Microwave Power Supply,” 46th AIAA Aerospace Sciences Meeting and Exhibit, 7 – 10 January 2008, Reno, Nevada.
- [3] 小田章徳, 澤原弘憲, 石場舞, 小紫公也ら: “小型飛行体へのマイクロ波無線給電システム” 日本航空宇宙学会誌, vol.59(691) pp.222-227, 2011.
- [4] 手代木扶, 田中正人, 高橋徳雄: “シーケンシャル回転アレーの相互結合低減効果とフェーズドアレーへの適用”, 信学技報, AP96-23, (1996-05).
- [5] 羽石操, 平澤一紘, 鈴木康夫: “小型・平面アンテナ”, IEICE, 1996.