

ユビキタス情報技術における新しいエネルギー源の開発とその応用

代表研究者

安 昌俊

千葉大学大学院 工学研究科 准教授

1 はじめに

近年、インターネットの普及に伴い様々なマルチメディアサービスが急激に増えている。しかし、世界では7割の人がまだ満足なネット接続を得られていない。この問題に対して、図1の様に成層圏に多数の気球を浮かべネットワーク化することで、安価で高速なインターネットを途上国や遠隔地に提供する計画が研究されている[1]。まだ実験段階であるが、第3世代携帯電話並み(数 Mbps)の情報のやり取りが可能であるといわれている。この様なシステムでは、太陽光発電が重要なエネルギー源として利用されている。しかし、自然現象からエネルギーを取り出すため、場所や時間帯等の影響を受けやすく、いつでも発電が可能ではない。また、気球に通信装置を搭載してサービスを行うため、気球に蓄電機などの重い装置を搭載することは非常に困難となる。

本研究は、マイクロ波無線電力伝送技術に注目し、ユビキタス情報機器の新しいエネルギー源として実現させる事を目的とし、無線電力伝送技術の高効率・高性能化と大規模災害時に緊急の通信手段として期待される成層圏気球インターネットサービス計画等のエネルギー充電技術への応用を目指した研究開発である。本研究により、無線電力伝送が成層圏等の高高度通信システムのエネルギー源として応用できれば、太陽光発電が出来ない夜間帯でも通信サービスが実現でき、更に、重い蓄電機を搭載する必要性も無く、安価で小型化することが可能となる。この様な高高度通信システムへの応用は、遠隔地や離島、または通常の通信インフラがすでにある地域に対しても、大規模災害時に緊急の通信手段、災害放送を提供する役割としても応用できるため、その実現に向けた研究・開発の結果を報告する。



図1 Google の成層圏気球インターネット実験

2 ビームフォーミングを用いた無線電力伝送技術

2-1 送信ビームフォーミング

図2には中心周波数の半波長間隔 $\lambda/2$ で各アンテナ素子が配置された位相配列アンテナを示す。位相配列アンテナの指向性パターンは角度 Θ により決定される。例えば $\Theta=0$ の場合、送信信号のメインローブは角度 $\Theta=0$ を中心とする指向性パターンを示す。一方、 $\Theta \neq 0$ の場合、送信信号のメインローブは角度 Θ が中心となるため、各アンテナ素子の出力信号は規則的な遅延時間を持つ。各アンテナ素子間の遅延距離は以下の様に計算できる。

$$x = d \cdot \sin \Theta \quad (1)$$

ただし、 d は各アンテナ素子の間隔である。ビーム指向角度 Θ と位相差 φ の関係は以下の式で計算できる。

$$\frac{2\pi}{\varphi} = \frac{\lambda}{x} = \frac{\lambda}{d \cdot \sin \Theta} \quad (2)$$

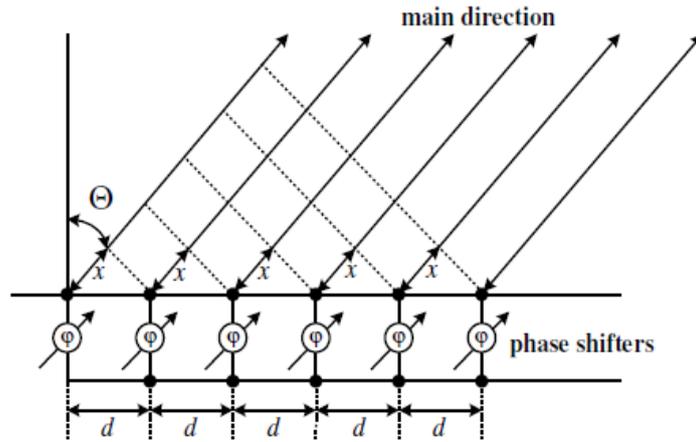


図2 位相配列アンテナ

式(2)により、最大ビーム指向角度は $\varphi = \pi$ 時に、以下の式で計算できる。

$$\Theta_m = \sin^{-1}(\lambda / 2d) \quad (3)$$

式(3)により、最大ビーム指向角度は各アンテナ素子の間隔の逆数に比例する関係であり、各アンテナ素子の間隔を大きくするとビーム指向角度を調整することで無線電力伝送のエネルギー効率を向上することができる。

2-2 受信レクテナの開発

マイクロ波を利用した無線電力伝送技術は1960年代から研究が進められてきた[2]。レクテナ (Rectenna: Rectifying Antenna) と呼ばれる電磁波を受信し、整流して電気として取り出す装置は無線電力伝送システムの主要な構成要素の1つである。図3と図4には本研究で用いられた試作したレクテナを示す。本研究では電力伝送された無線信号から電力を取り出す装置として、ISM (Industry-Science-Medical) バンド 5.8GHz で最大電力を取り出すように設計された。ISM バンドは周波数免許が不要であり、簡単に実装実験に利用することができるため、幅広く利用されている。一般的にレクテナ設計はマイクロストリップダイポールやパッチアンテナが広く使われる。マイクロストリップアンテナは軽量化と小型化が可能である。しかし、狭帯域、制限された入射電力、低利得などのデメリットもある。本研究では、小型化と偏波特性がないマイクロストリップパッチアンテナを採用し、レクテナ設計を行った。

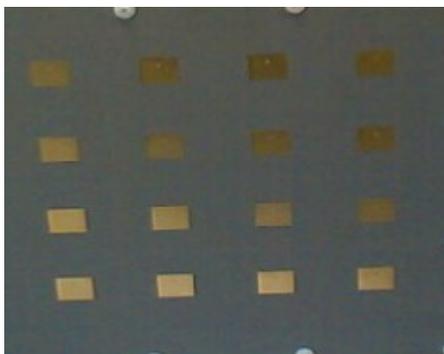


図3 試作した16素子レクテナ (前面)

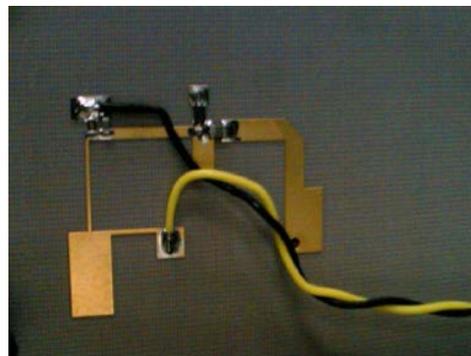


図4 試作したレクテナ (裏面)

レクテナの整流回路は RF-DC 変換効率を決めるキーエレメントであり、HSMS-8202 ショットキーダイオードを用いた。試作したレクテナは ISM バンドである 5.8 GHz で最大利得を得るように誘電率 10, 膜厚 1.6 mm の PTFT (Teflon) ボードを用いて試作を行い 6.2dBi の利得を得ることが出来た[3]。

3 実験結果

図 3 には無線電力伝送実験装置の構成を示す。

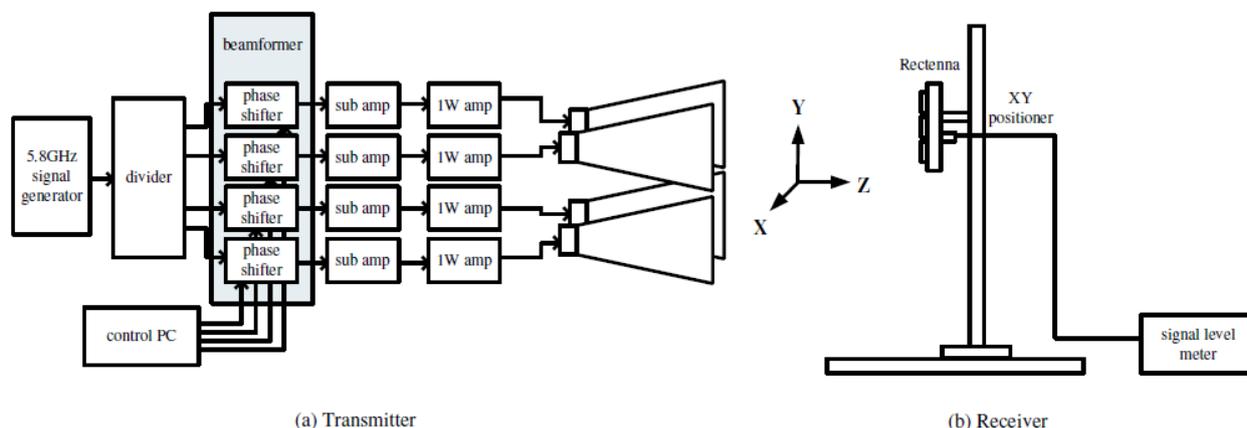


図 5 無線電力伝送実験装置

無線電力伝送実験装置は電界効果トランジスタ (Field effect transistor, FET) 発信器により、5.8 GHz の信号が生成される。生成された信号は分配機に入力され、4つの出力信号として分配される。4つの出力信号はそれぞれ4つの移相機に入力され、位相制御パソコンにより入力された信号を 5.625 度の分解度で位相を変更する。位相変更された信号を 1 ワットアンプに入力するにはその電力が低いため、中間アンプを経由し、1 ワットアンプに入力される。総送信電力は 4 つのアンプから出力されるため 4 ワットとなる。送信アンテナとして利用されるホーンアンテナは図 5 に示すように横縦 112mm×85mm でアンテナ利得は 16dBi である。受信レクテナは 4×4 のパッチアンテナで構成される。各パッチアンテナ設計は誘電率 10, 膜厚 1.6 mm の PTFT (Teflon) ボードを用いて行い 6.2dBi の利得を得る。各パッチアンテナは横縦 19mm×15mm で設計された。試作装置による無線伝送実験は、伝送距離を 200mm, 400mm, 600mm, 800mm, 1000mm でそれぞれ行った。表 1 には無線電力伝送実験装置の諸元を示す。

表 1 無線電力伝送実験装置の諸元

Device	Specification
Signal generator	5.8GHz, 10dBm
Power divider	-6.4dB
Phase shifter	6 bits shifter
Sub amplifier	30dB
Power amplification	30dBm±2dB
Horn antenna	15dBi
Patch antenna	6dBi
Rectenna	16 patch antennas

図 6 にはホーンアンテナ単体とビームフォーミングを行った位相配列アンテナのビーム特性を示す。ビームフォーミングを行っていないホーンアンテナ単体はビーム広がり角が 38 度と広いビーム特性を示す。一方、ビームフォーミングを行った位相配列アンテナはビーム広がり角が 22 度とビームフォーミングを行っていないホーンアンテナ単体と比べ、狭いビーム特性を示す。

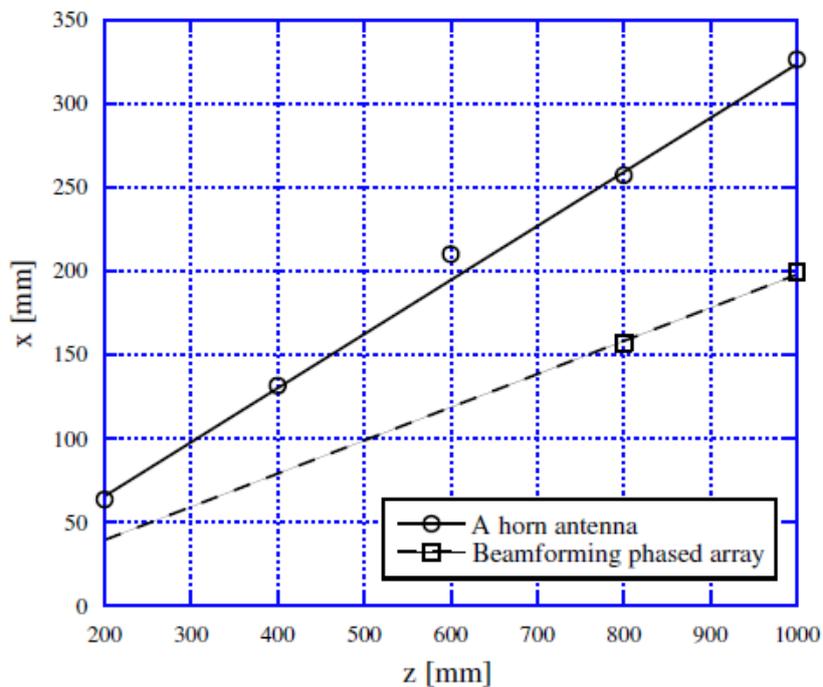


図 6 測定したビーム特性

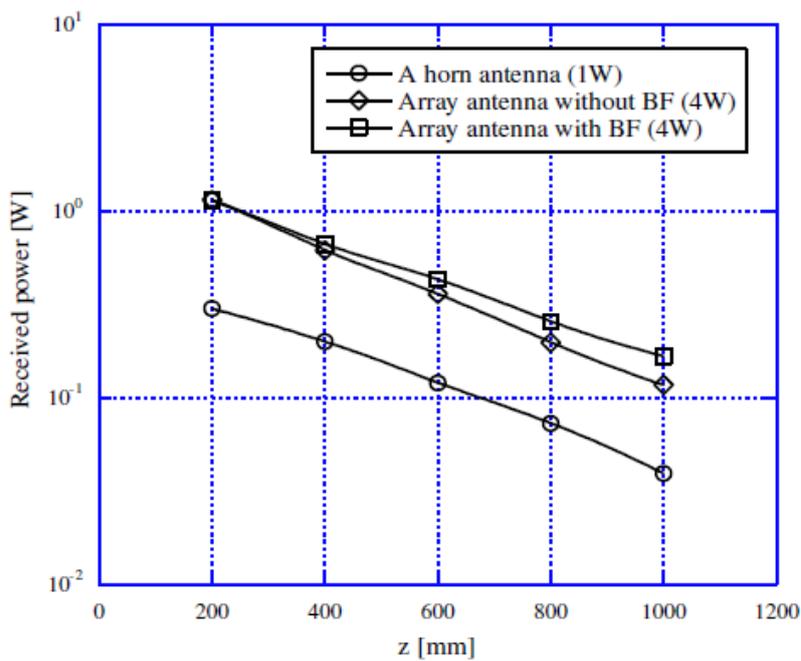


図 7 受信電力特性

一般的にビーム特性 (M^2) は以下の式で評価される [4]。

$$M^2 = \frac{\omega}{\omega_0} = \frac{\tan \theta_{div}}{\tan \theta_{div,0}} \quad (4)$$

ただし、 θ_{div} は測定したビーム広がり、 $\theta_{div,0} = \lambda / \pi \cdot d$ で定義される回折限界ガウスビームのビーム広がりである。図 6 の結果から θ_{div} は 10.87 度、 $\theta_{div,0}$ は 8.6 度であり、ビーム特性 (M^2) は 1.26 でなる。一般的に位相配列アンテナの各素子数を増やし、全体的な面積を広げるとより優れたビーム特性を実現できる。今回の実験では、4 つのホンアンテナを用いて実験を行った。

図 7 にはホンアンテナ単体とビームフォーミングを行った位相配列アンテナの受信電力特性を示す。実験結果からビームフォーミングを行った位相配列アンテナの受信電力はビームフォーミングを行っていないホンアンテナ単体と比べ、約 1.46 倍の電力を受信できることが示された。

4 むすび

本研究は、マイクロ波無線電力伝送技術に注目し、ユビキタス情報機器の新しいエネルギー源として実現させる事を目的とし、無線電力伝送技術の高効率・高性能化と大規模災害時に緊急の通信手段として期待される成層圏気球インターネットサービス計画 (Project Loon) 等のエネルギー充電技術への応用を目指した研究開発である。試作した装置を用いた実験結果から効率良くエネルギー伝送が可能であることから電源として利用可能であることを確認した。

【参考文献】

- [1] <http://www.google.com/loon/>
- [2] W. C. Brown, "The history of power transmission by radio waves," IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, vol.32, no.9, pp.1230-1242, September 1984.
- [3] C. Ahn, T. Kamio, H. Fujisaka and K. Haeiwa, "Prototype of 5.8GHz Wireless Power Transmission System for Electric Vehicle System," Proc. of IEEE International Conference on Environmental Science and Technology (ICEST 2011), Singapore, vol.1, pp.128-131, February 2011.
- [4] K. Komurasaki, T. Nakagawa, S. Ohmura, and Y. Arakawa, "Energy Transmission in Space Using an Optical Phased Array," Transactions JSASS Space Tech. Japan, vol.3, pp.7-11, 2005.

〈発表資料〉

題名	掲載誌・学会名等	発表年月
RF Energy Harvesting and Charging Circuits for Low Power Mobile Devices	IEIE Transactions on Smart Processing and Computing	2014 年 8 月
RF Energy Harvesting with W-CDMA	Proc. of IEEE International Symposium on Consumer Electronics (ISCE 2014)	2014 年 6 月
IQ Imbalance and Carrier Frequency Offset Compensation Schemes for TFI-OFDM	Proc. of IEEE International Symposium on Intelligent Signal Processing and Communication Systems (ISPACS2014)	2014 年 12 月
Wireless power transmission with rough beamforming method	電子情報通信学会 信学技報 CS2014-107	2015 年 2 月