

Development of High Efficiency Rectenna at mW input

Naoki Shinohara^{*}, Hiroshi Matsumoto^{*}, Atsushi Yamamoto^{**}, Hirokatsu Okegawa^{**},
Tomohiro Mizuno^{**}, Hiroyuki Uematsu^{**}, Hiroshi Ikematsu^{**}, and Izumi Mikami^{**}

^{*}) Research Institute for Sustainable Huanosphere, Kyoto University,
Gokasho, Uji, Kyoto 611-0011, Japan

E-mail: shino@rish.kyoto-u.ac.jp, Fax: +81-774-31-8463

^{**}) Communication Systems Center, Mitsubishi Electric Corporation

Abstract

Before the commercial SPS, we have to carry out a satellite experiment of the SSPS. The typical experimental satellite launched by H-IIA class rocket will transit 100-400 kW microwave of 5.8 GHz from 10-20m square phased array antenna in low earth orbit to the ground and a rectenna will receive less than 1mW microwave power. However, characteristics of almost all past rectennas are for over 100mW rectifying and the RF-DC conversion efficiency is less than 20 % at 1mW microwave input.

In this paper, we show the experimental results of development of mW-class rectenna. We have survey all circuit parameters in order to increase the efficiency at 1mW microwave input and finally we have succeeded to develop new rectenna whose efficiency at 1mW microwave input is approximately 50%. The new rectenna is composed of a printed dipole, a LPF and a rectifying circuit on coplanar line whose impedance is 200 Ω . We can apply the new rectenna for wearable ubiquitous power source and the RF-ID.

Presented at the Seventh SPS Symposium, 16-17 September, 2004

mW 級高効率レクテナの開発^{注1}

篠原真毅*, 松本紘*, 山本敦士**, 桶川弘勝**, 水野友宏**, 植松弘行**, 池松寛**, 三神泉**

*) 京大大学生存圏研究所, **) 三菱電機通信機製作所

E-mail: shino@rish.kyoto-u.ac.jp, FAX: 0774-31-8463

要旨: 宇宙太陽発電所 SPS の実現に不可欠な実証実験衛星の宇宙—地上マイクロ波送電実験のためには mW 級以下のマイクロ波入力で高効率動作するレクテナの開発が必須である。従来のレクテナは将来の実用 SPS を見据え、100mW 以上のマイクロ波入力で高効率動作するものであり、マイクロ波送電実験で想定される mW 級入力時には 20%以下の効率しか実現できていなかった。本研究ではレクテナ整流回路パラメータの再検討を行い、これまでと同じ構成でありながらパラメータ最適化の結果、1mW マイクロ波入力で 50%以上の高効率レクテナを実現した。本技術を発展させ、ウェアラブルレクテナの開発やユビキタス電源への応用へと繋げることも可能となる。

1. 研究の目的

宇宙太陽発電所 SPS をの実現に不可欠な実証実験衛星の宇宙—地上マイクロ波送電実験のためには mW 級以下のマイクロ波入力で高効率動作するレクテナの開発が必須である。例えば最近検討されている実証実験衛星の典型的なパラメータとして H-IIA1 機で打ち上げられる衛星の最大のサイズとして、16m×17.6m の送電アンテナ、マイクロ波出力 340kW、周波数 5.8GHz、そして軌道 370km から地上へマイクロ波送電実験を行う場合、地上でのマイクロ波強度は最大で 0.29W/m²となる。地上のレクテナを 0.75λ 間隔で配置するとしたらレクテナの整流回路へは 0.435mW@15cm²(0.75λ 角)しかない。つまり mW 級で高効率のレクテナが必要となるのである。

過去に開発されたレクテナの例を図 1 に示すが、多くのレクテナは 1mW 入力に対して 10%以

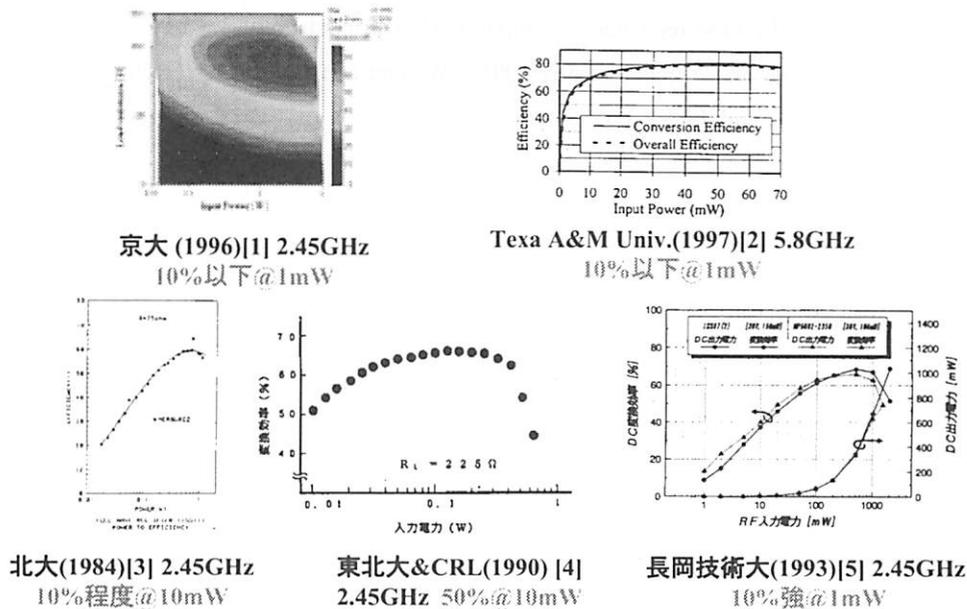


図 1 過去に開発されたレクテナの性能

注1 第 7 回 SPS シンポジウム、九州工業大学にて 2004 年 9 月 16、17 日開催

下の効率しかない。これらはもともと弱いマイクロ波入力用に設計・開発されたものではないので当然である。最近実証実験衛星の必要性が叫ばれ、mW 級レクテナの開発が手がけられ始めている。それとは別にユビキタス情報社会の一つの最新技術として注目されている RF-ID(もしくは IC タグ)には SPS 関連以外で初めてマイクロ波送電が応用されており、非常に小さな IC チップの中にレクテナが挿入されている。RF-ID は $100\mu\text{W}$ 以下で動作するとされており、実証実験衛星のパラメータと非常に近い。これらの最近の研究成果を図 2 にまとめる。これらの研究も未だ 10mW 級の効率の議論が多く、 1mW 以下の効率の議論はほとんどされていない。我々は 1mW マイクロ波入力で高効率のレクテナの開発を行った。同時にユビキタス社会への応用も目指し、ウェアブルな形状も目標の一つとしている。

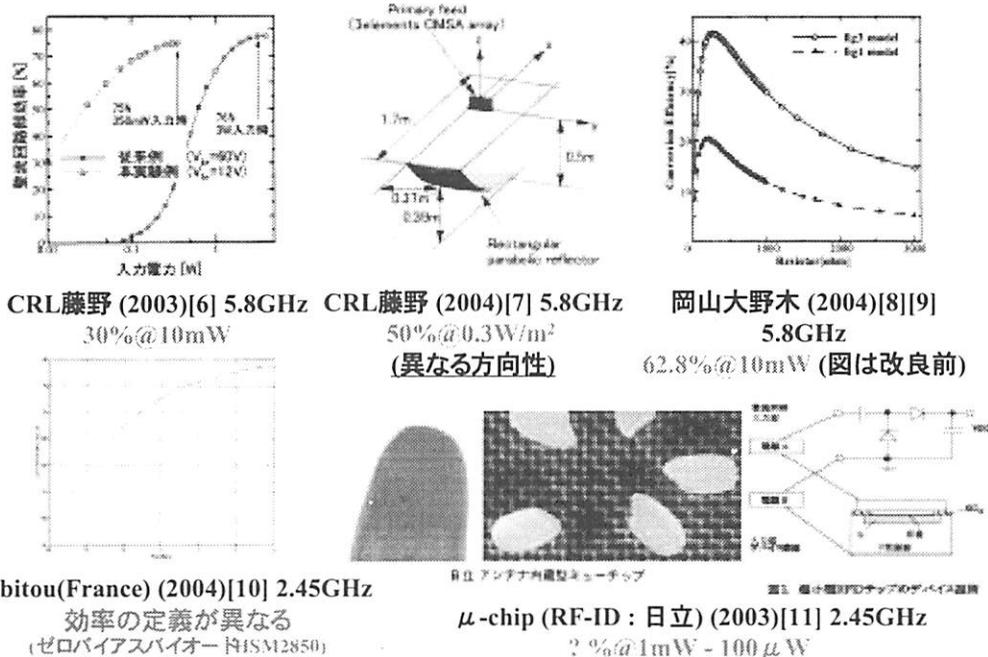


図 2 最近開発された弱電用レクテナの性能

2. アンテナ部

レクテナの開発に先立ち、まず誘電体基板の選択を行った。通常マイクロ波回路では誘電損失の少ないテフロン基板か、もしくは回路の小型化のために高誘電率のアルミナ等を用いる。しかし、今回は「ウェアブル」と先々の応用のために「光透過性」に重点を置いて新しい基板の選択を行った。その比較結果が表 1 である。PET 樹脂が最適化とも思われるが、耐熱性が悪く、チップ部品の実装の際に解けてしまうという欠点があったため、今回はポリイミド基板を用いてレクテナを開発することとした。

続いてアンテナ部の比較検討を行った。レクテナの多くはマイクロストリップアンテナ(MSA)を採用しているが、光透過性向上のために地導体を小さくした MSA を開発したところ放射効率が約 10%と非常に悪く、アンテナとしての性能が不十分であった。そこで今回はプリントダイポールを選択することとした。プリントダイポールは地導体が基本的に不要で放射効率も高く、帯域も広いが、平行系であるため非平衡系である MSA との接続が難しい。そこで今回はマイク

ロストリップ線路(MSL)ではなくコプレーナストリップ線路(CPSL)を用いた回路開発を行うこととした。また、線路インピーダンスは開発の容易さから 50Ω系で開発されることが多いが、今回はこの制約をはずし、製作の容易さから 200Ω系で回路開発を行うこととした。

表1 レクテナ用誘電体基板の比較

	光透過性	可撓性	耐紫外線性	経済性	耐熱性	特徴
ポリイミド	△	○	×	△	○	茶色透明。チップ実装時に半田付けが可能。可撓性は高く、基板折り曲げ時の信頼性もある程度確保可能。
PET 樹脂	○	○	○	○	×	無色透明。耐熱性は低く部品実装は低温で硬化する導電性接着剤等を使用する必要有り。
PTFE	×	×	△	×	○	可撓性低く光透過性もない。ただし、5.8GHz 帯では最も低損失で高効率化の点では有利。コスト高。
ガラスエポキシ	×	×	○	○	○	可撓性低く光透過性もなし。コストはPTFEよりは低いが高損失。誘電率は4.6と比較的高い。

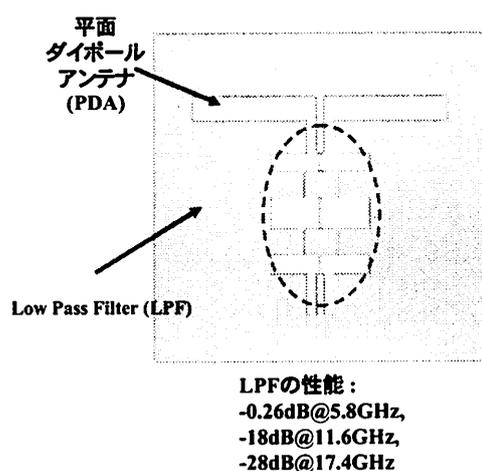


図3 ダイポールアンテナ+LPF

図3に設計/開発したプリントダイポールアンテナとLPFを示す。特性インピーダンスは200Ωである。図4にはVSWRの周波数特性と、E面指向性それぞれの理論値と実験値を示す。LPFがある場合とない場合で特性が変化しているが概ね5.8GHz帯のアンテナとして良好な特性を示していると思われる。

3. 整流回路部

図5にCPSLを用いた整流回路の基本形を示す。CPSLであってもMSLであっても整流動作原理に変わりはない。今回は1mWマイクロ波入力に焦点を絞り、図5中のすべてのパラメータを最適化することで1mWマイクロ波入力時での効率向上を図った。図6がLPF+整流回路のRF-DC変換効率特性の理論値、図7(a)が実際に製作したLPF+整流回路、(b)がそのLPF+整流回路の変換効率特性の実測値である。設計では入力1mWで49%の変換効率を実現した。しかし、製作段階での製作誤差や理論値と実際のパラメータの誤差等があり、実測では40.5%にとどまった。LPFを除けば1mW入力時の実測でほぼ50%の効率を実現している。

5. まとめ及び今後の課題

今回開発したレクテナは光透過型・薄型でありながら入力マイクロ波強度1mWの時にほぼ50%のRF-DC変換効率を実現できた。このような弱電用高効率レクテナはSPS実現のための実証実験衛星には必須であると同時に、世界中で実用化を目指しているRF-IDにも必須の技術であるため、今後研究が激化していくと予想される。さらに実用的な弱電レクテナとしてはさらにあと1桁低いマイクロ波入力である100μWで50%以上の変換効率を持つものを開発していか

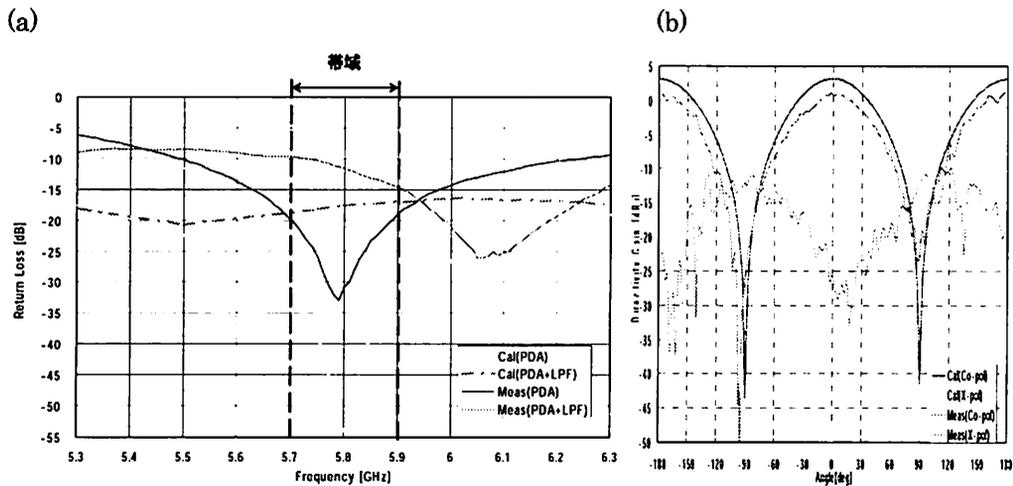


図 4 (a) アンテナの VSWR

(b) LPF 込みの E 面指向性

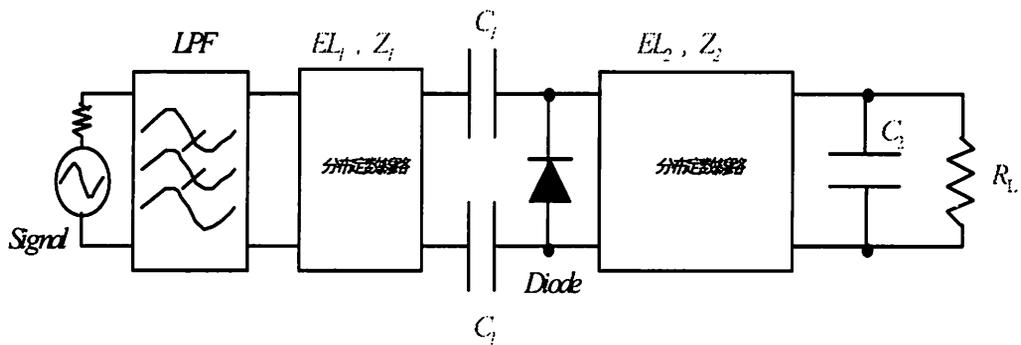


図 5 CPSL を用いた整流回路 (C_1 : DC カット用キャパシタ, C_2 : 平滑用キャパシタ, EL_1 : 入力側分布定数線路長, Z_1 : 入力側分布定数線路インピーダンス, EL_2 : 出力側分布定数線路長, Z_2 : 出力側分布定数線路インピーダンス, R_L : 負荷抵抗)

なければならない。

参考文献

- [1] 篠原真毅, 國見真志, 三浦健史, 松本紘, 藤原暉雄, 目標自動追尾式マイクロ波送電器のデモンストレーション公開実験, 信学論誌 B-II, vol.J81-B-II, no.6, pp.657-661, 1998
- [2] J. O. McSpadden, L. Fun, and K. Chang, A High Conversion Efficiency 5.8 GHz Rectenna, IEEE MTT-S Digest, pp.547-550, 1997
- [3] 伊藤精彦, 太陽発電衛星受電用基地局末端端子「レクテナ」に関する基礎研究, 昭和 58 年度科学研究費補助金(一般研究(B))研究成果報告書, 北海道大学, 1984
- [4] 時澤勝, 伊藤猛男, 藤田正晴, 手代木扶, 成層圏無線中継システム用レクテナ素子の研究, 信学技報, A・P89-108, pp. 7-10, 1990.2
- [5] 小林祐司, 関一, 伊藤猷顯, 成層圏無線中継システム用レクテナ整流回路の特性改善, 1993 年信学会春季大会予稿集(通信), p.2-37, 1993

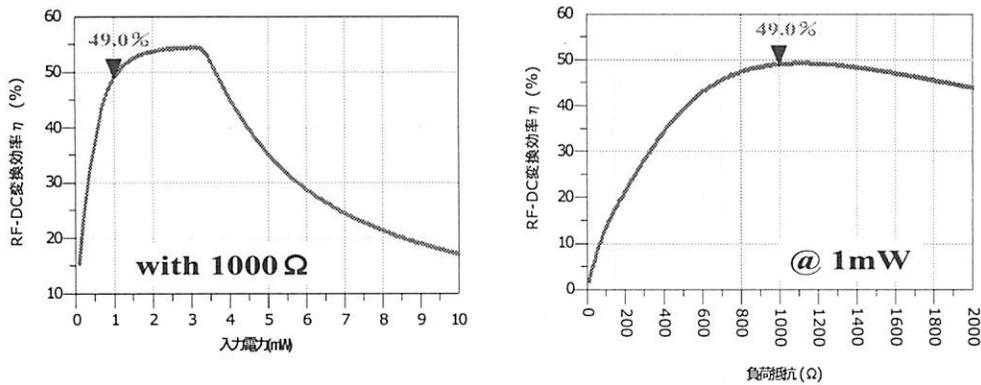


図 6 LPF+整流回路部の RF-DC 変換効率特性 (理論値)

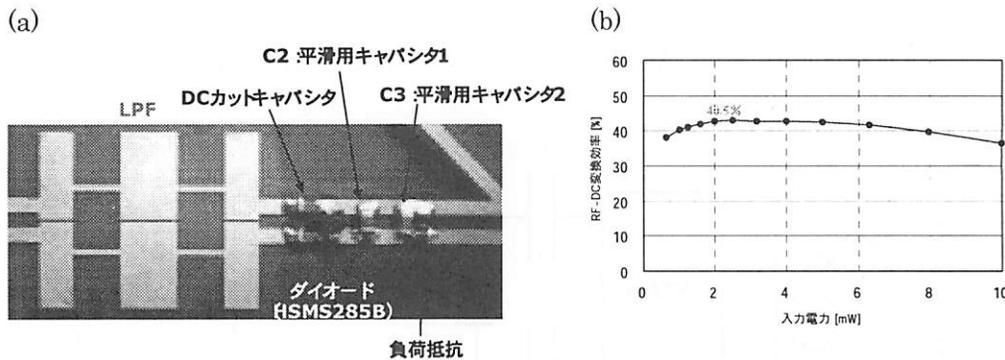


図 7 (a) 製作した LPF+整流回路 (b) LPF+整流回路の RF-DC 変換効率特性 (実測値)

[6] 藤野義之, SPS 実証試験用マイクロ波受電レクテナ, 信学技報 SPS2003-05(2004-02), pp.29-35, 2004

[7] 藤野義之, 荻村晃示, SPS 実証試験用楕円ビーム長方形パラボラレクテナ, 電子情報通信学会総合大会予稿集, SBC1-10, pp.S19-20, 2004

[8] 植田雄祐, 藤森和博, 野木茂次, 佐藤稔, 小電力受電レクテナ用整流回路の高効率化, 電子情報通信学会総合大会予稿集, SBC1-9, pp.S17-18, 2004

[9] 植田雄祐, 烏丸雄祐, 藤森和博, 野木茂次, 佐藤稔, 小電力受電レクテナのダイオード実装部構造による整流特性の影響への基礎検討, 信学技報 SPS2004-01(2004-09), pp.1-6, 2004

[10] Zbitou, J., M. Latrach, and S. Toutain, Monolithic and Hybrid Integrated ZB Converter Design, *Proc. of SPS'04*, in print, 2004

[11] 宇佐美光雄, 超小型 RF-ID チップ : μ チップ, MWE2003 講演集, pp.22-22, 2003