

マイクロ波送電を用いた電気自動車充電システムの評価研究

篠田 健司[†] 篠原 真毅[†] 三谷 友彦[†] 松本 紘[†] 橋本 隆志[‡] 岸 則政[‡]

[†] 京大大学生存圏研究所 〒611-0011 京都府宇治市五ヶ庄

[‡] 日産自動車株式会社 総合研究所 〒237-8523 神奈川県横須賀市夏島町 1 番地

E-mail: [†] { shinoda, shino, mitani, matsumot }@ rish.kyoto-u.ac.jp,

[‡] { t-hash, n-kishi }@ mail.nissan.co.jp

あらまし 宇宙太陽発電所に用いられるマイクロ波無線電力伝送の用途は多岐に渡り始めており、本報告もその一例である。現在、開発が激化している電気自動車が有する幾つかの問題点を解決する手段として、電気二重層キャパシタ、マイクロ波無線電力伝送が注目されている。本報告では、電気自動車充電用に開発した4分配型大電力用小型レクテナ、及びそのレクテナを用いて行った電気二重層キャパシタ無線充電実験の結果について論じる。

キーワード レクテナ、マイクロ波エネルギー伝送、電気自動車

Assessment Study of Electric Vehicle Charging System with Microwave Power Transmission

Kenji SHINODA[†] Naoki SHINOHARA[†] Tomohiko MITANI[†] Hiroshi MATSUMOTO[†]
Takashi HASHIMOTO[‡] and Norimasa KISHI[‡]

[†] Research Institute for Sustainable Humanosphere, Kyoto University Gokasho, Uji, Kyoto, 611-0011 Japan

[‡] Nissan Research Center, NISSAN Motor Co., Ltd. 1 Natsushima, Yokosuka, Kanagawa, 237-8523 Japan

E-mail: [†] { shinoda, shino, mitani, matsumot }@ rish.kyoto-u.ac.jp,

[‡] { t-hash, n-kishi }@ mail.nissan.co.jp

Abstract This report is one such example of Microwave Power Transmission (MPT) used Space Solar Power System. Nowadays, MPT and Electric Double Layer Capacitor (EDLC) are drawing attention as the solutions of some technical considerations about Electric Vehicle (EV). In this report, the 4 divided high-power rectenna for EV charging and the result of wireless charging experiments with these rectennas are reported.

Keyword Rectenna, Microwave Power Transmission, Electric Vehicle

1. はじめに

SSPS(宇宙太陽発電所)に用いられるマイクロ波無線電力伝送技術とは、一般には通信に使用されているマイクロ波を電力として使用し伝送するものである。21世紀に入り、このマイクロ波無線電力伝送は様々な応用されつつあり、RF-IDのような小電力のものから、離島や山頂への大規模送電のような大電力のものまで多岐に渡り始めている。本報告は、マイクロ波無線電力伝送の応用例の一つである。

現在、既に地球温暖化問題、エネルギー問題が叫ばれて久しく、地球規模での課題となっており、自動車排ガスに対してクリーン化及び絶対量の低減が必須な状況になっている。こういった状況下で走行中には排ガス排出量が0に近い電気自動車の開発が激化したの

は必然といえるだろう。エネルギー効率という観点からもガソリン自動車と比べた場合、のように電気自動車が有利となっている。以上のように、ガソリン車よりも優位な点を持ち、研究開発も盛んに行われている。それにも拘らず、大幅な普及にまで至っていないのが現状である。その理由としては、充電時間の短さ、安全性の確保、総重量の増加によるエネルギー効率の低下などが挙げられる。

我々の研究グループでは、これらの諸問題を解決すべく、電源として電気二重層キャパシタ、充電方法としてマイクロ波による無線電力伝送技術に着目し、マイクロ波を用いた電気自動車無線充電システムの検討開発を行っている[1]。

この無線充電システムは、電気二重層キャパシタの

急速充電が可能であるという特性、及びマイクロ波無線電力伝送の無線充電が可能であるという特性から、蓄電エネルギー量の少なさを補填することができる。また、充電の際の安全性を考慮すると共に、車両静止時での充電可能性を踏まえ、図1のように車両下路面に設置した送電システム(マイクロ波源、導波管スロットアンテナ)から放射されたマイクロ波電力を車両底面に貼付した受電システム(レクテナアレイ)で受電することにより直流電力に変換し、電源(電気二重層キャパシタ)を急速充電するという構成となっている。

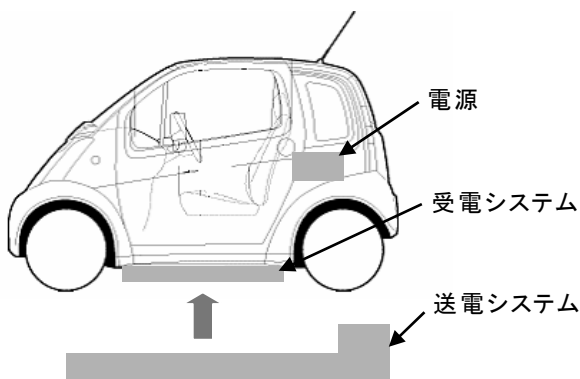


図1 電気自動車充電システム構成

このシステムにより、路面からのマイクロ波放射によって車両静止時での無線急速充電が可能となる。つまり、車両未使用時における車庫での充電や、赤信号停止中での急速充電などが可能となり、電気自動車の利用法が拡大し、更なる普及に繋がると考えられる。

2. 受電システム

本システムでは送電されたマイクロ波を整流し、電気二重層キャパシタに充電する必要性から、受電システムとしてレクテナを使用する。しかし、電気自動車の急速充電を目的とすることから大電力化が、また本システムの構成上、レクテナを車両底面に貼り付けなければならないため小型化が重要となる。大電力化に関しては、過去に当研究グループにて「4分配型大電力用レクテナ」[2]が開発されている。しかし、このレクテナの整流回路部の面積が大きい(縦 115mm×横 132mm)ため、レクテナアンテナ部に直角となるよう接続する形をとっている。そのため、実験に使用する電気自動車の最低車高値が 120mm であるため、本システムに使うことが不可能である。従って、電気自動車無線充電システム用のレクテナとして、8分配型大電力用小型レクテナを開発した。

2.1. 8分配型大電力用小型レクテナ

過去開発されたウィルキンソン・ディバイダを用いた4分配型大電力用レクテナの面積的非発展性を打破

するため、新しい形の8分配型のディバイダを接続した8分配型大電力用小型レクテナを製作した。その結果、図2のモデル(大きさ縦 24.5mm×横 32.8mm)で、 $S(1,1)$ が -46.2dB、 $S(2,1) \dots S(9,1)$ が全て -9.12dB となり、1.6%の損失で均等に8分配されることを確認した(図3)。このモデルの特徴として、給電点の位置、ライン特性インピーダンスの2点を挙げる。まず、給電点の位置であるが、既存のレクテナのように給電点を回路端に作るのではなく、一段目の2分配ディバイダを回路中心としその中心から給電点まで 50Ω とし、マイクロストリップラインを伸ばす方法を取っている。この方法によって、給電点の位置を考慮する必要がなくなる。次に、ライン特性インピーダンスについて述べる。Wilkinson パワーディバイダの場合、特性インピーダンス 50Ω で構築した場合、ディバイダからみた特性インピーダンスは 70.7Ω となるが、今回の8分配型ではそうはなっていない。これは、ライン長が長くなり回路全体が大きくなるためである。

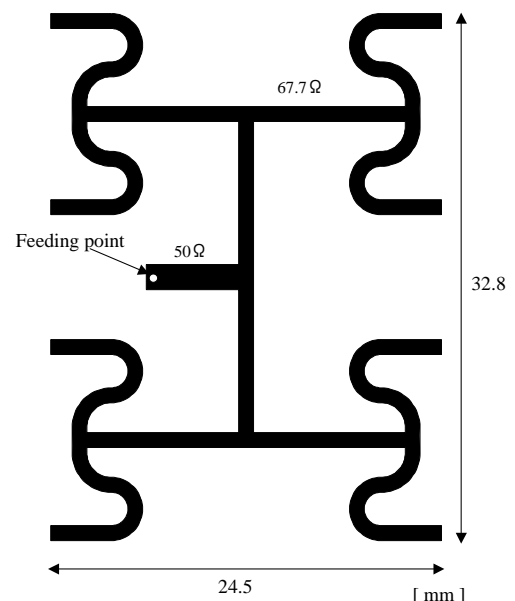


図2 8分配型ディバイダ

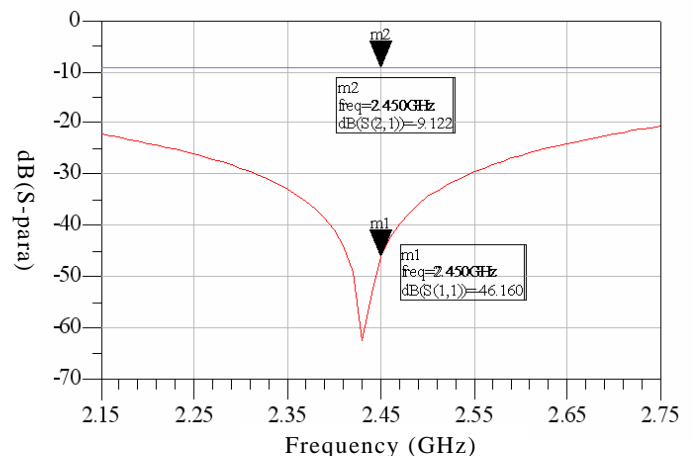


図3 8分配型ディバイダ特性

上述の 8 分配パワーディバイダを用いて 8 分配型大電力用小型レクテナを開発した。整流回路部単体のスタブは小型化のため曲げて調節を行った。但し、構成回路にはマイクロストリップラインを、構成基板には高誘電率基板(中興化成 CGC-500 厚 1.6mm 誘電率 10)を用いた。また、大電力に対応させるために、4 個の Si ショットキバリアダイオード(日本電気製 1SS281(1))を 2 直列 2 並列にして実装した。8 分配型大電力用小型レクテナのサイズは図 4 に示すように横 80.8mm×縦 42.4mm となっており、かなりの小型化に成功した。RF-DC 変換効率(η)は下式で導出し、 P_{out} は直流出力電力、 P_{in} はマイクロ波入力電力、 R_l は負荷抵抗である。

$$\eta = \frac{P_{out}}{P_{in}}$$

$$P_{out} = \frac{V_{dc}^2}{R_l}$$

その結果を図 5 に示す。図 5 から分かるように、RF-DC 変換効率の最大値は 60.3% となり、このときの負荷抵抗は 10Ω 、入力電力は 2.7W である。更に、0.5W から 13W の広い範囲で変換効率が 50% 以上となっている。

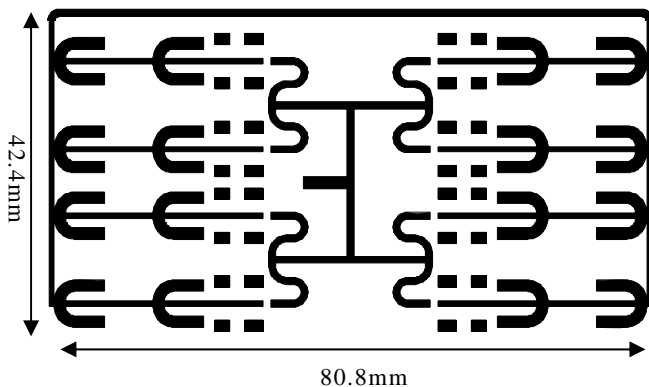


図 4 8 分配型大電力用小型レクテナ
整流回路部

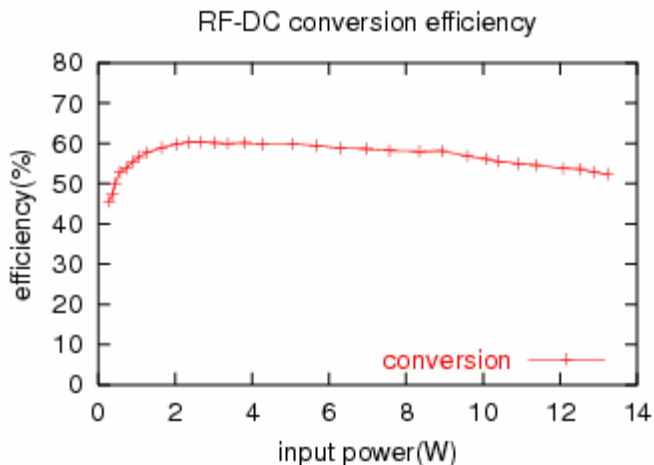


図 5 8 分配型大電力用小型レクテナ
RF-DC 変換効率

3. 無線充電実験結果

上述の 8 分配型大電力用小型レクテナを使用し、実際に車両の無線充電実験を行った。送電システムには、SPORTS2.45 の PCM(Phased Controlled Magnetron)を 5 台、導波管スロットアンテナを 5 本、受電システムには、8 分配型大電力用小型レクテナを 81 個用い 9 直列 9 並列のレクテナアレイとした。また、送受電間距離は電気自動車の実際の最低車高値に近い 12.5cm とし、レクテナアレイ-キャパシタモジュール間には何らかの素子を入れず直結した。5 台の PCM からの放射電力は、それぞれ約 200W となっており、合計マイクロ波電力は約 1kW である。この実験結果の充電電圧時間変化を図 6 に、充電電力-充電電圧の関係を図 7 に示す。

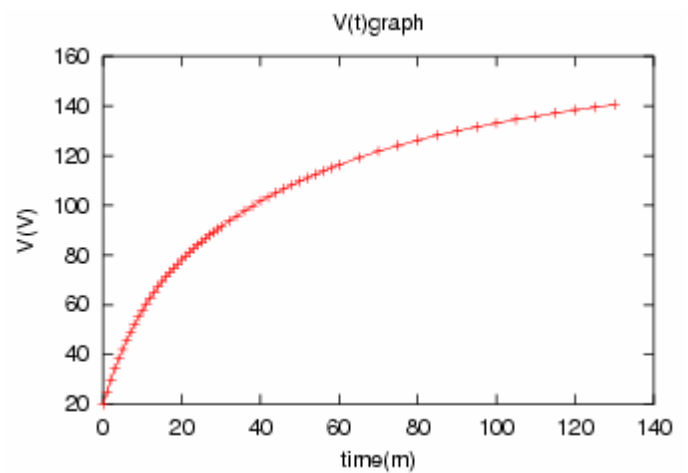


図 6 充電電圧変化

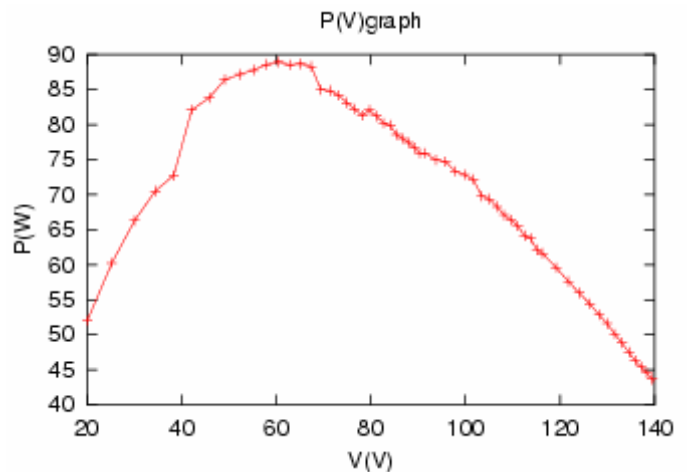


図 7 充電電圧-充電電力関係

図 6 から分かるように、1 時間 10 分で 120V(333kJ)の、2 時間で 140V(476kJ)の充電エネルギーを得る電気自動車無線充電システムの構築に成功したといえる。この結果は、充電エネルギーという点から見ると電気自動車が動くレベルであり、70 分充電は夜間などの車両未使用時における充電に十分な時間といえる。しかし

ながら、図7から 1kW もの放射に対して最大で 90W の電力しか得られていない。この結果から充電効率を判断すると、PCM から発生する電力に対するキャパシタモジュール充電効率は 10% も無いこととなり、エネルギー効率が非常に悪いと言わざるを得ない。この原因としては、マイクロ波の漏れ電力が大きいこと、レクテナアレイの総合効率が低下していることの二つと共に、導波管スロットアンテナから放射されるマイクロ波の位相が全ての導波管スロットアンテナが一致していなかったことが挙げられる。今回の実験では 9 直列 9 並列レクテナアレイの幅と導波管スロットアンテナ 5 本の設置幅がほぼ同じであったため、漏れ電力が大きくなっていると予想される。また、総合効率に関してはレクテナ 1 つ当たりの入力電力が一定でない場合、直列接続では極端に RF-DC 変換効率が低下する。さらに、並列でもレクテナ入力電力が極端に違う場合、RF-DC 変換効率が低下することが知られている [3]。そのため、レクテナ単体の最大 RF-DC 変換効率である 60%での動作はしておらず、かなり低い RF-DC 変換効率で動作していると考えられる。そこで、漏れ電力及び、レクテナのアレイ化による RF-DC 変換効率低下の影響を極力減らし、充電効率を上げるため導波管スロットアンテナ一本にて測定を行った。但し、受電間距離は導波管スロットアンテナ 5 本の場合と同じ 12.5cm である。このときの導波管スロットアンテナ一本から放射されるマイクロ波電力は 190W と、導波管スロットアンテナを 5 本用いたときの 20% となっている。実験結果の充電電圧時間変化を図 8 に、充電電圧-充電電力の関係を図 9 に示す。図 8 から、車両駆動電圧である 120V まで充電するのに 2 時間 10 分かかっており、導波管スロットアンテナを 5 本(放射電力約 1kW)用いたときと比較して、2 倍近くの時間がかかってしまっている。これは単純に導波管スロットアンテナを 1 本しか用いていないためである。

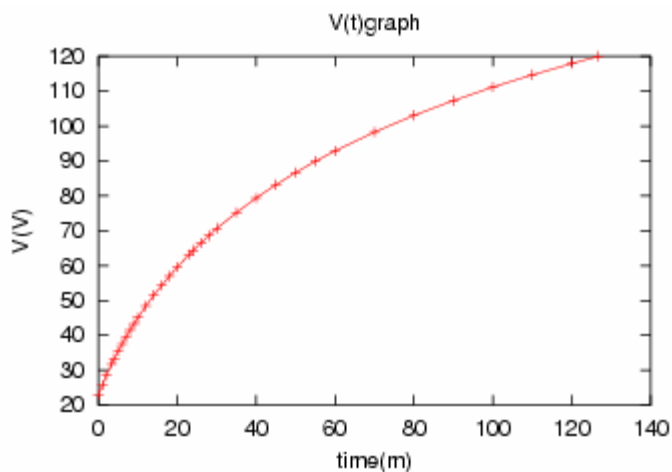


図 8 充電電圧変化

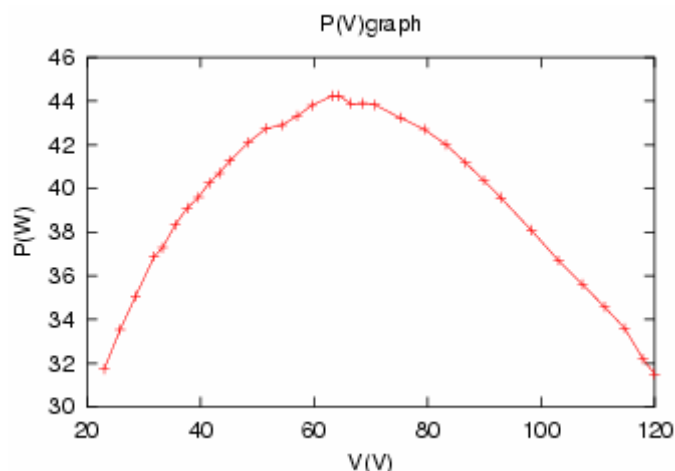


図 9 充電電圧-充電電力関係

しかしながら、図 9 から最大受電電力が 44W であるため、マイクロ波放射電力に対する充電効率は 23% となり、導波管スロットアンテナ 5 本を用いた場合の 2 倍以上となっている。この実験では、導波管スロットアンテナが 1 本であるため、レクテナアレイの並列方向へのマイクロ波電力が均一ではないと考えられ、レクテナアレイに均一にマイクロ波電力が入射する場合、更なる充電効率が望める。つまり、指向性の強い導波管スロットアンテナの放射幅を覆うだけの受電サイトが存在し、マイクロ波が同位相で送電アンテナから放射されているならば 20% 以上の効率が得られるだろう。

4. まとめ

電気自動車無線充電システム用のレクテナとして RF-DC 変換効率の最大値が 60.3% である、横 80.8mm × 縦 42.4mm の 8 分配大電力用小型レクテナを製作した。更に、このレクテナを用いて 70 分で 120V (333kJ) の充電が可能な電気自動車充電システムを構築すると共に、充電効率を 23% まで上昇させることが可能ということが分かった。今後は、電気自動車充電システムの更なる性能上昇に向けて研究していく予定である。

謝辞

本実験は、京都大学生存圏研究所全国共同利用「マイクロ波エネルギー伝送実験装置」の電波暗室にて行われた。

文 献

- [1] 篠原真毅, 松本紘: “マイクロ波を用いた電気自動車無線充電に関する研究”, 信学論(C), VOL.J87-C, No.5, pp.433-443, May. 2004.
- [2] 三浦健史, 平山勝規, 篠原真毅, 松本紘: “マイクロ波電力伝送用レクテナの大電力化に関する研究”, 信学論(B), VOL.J83-B, No. 4, pp.525-533, Apr. 2000.
- [3] 三浦健史, 篠原真毅, 松本紘: “マイクロ波電力伝送用レクテナ素子の接続法に関する実験的研究”, 信学論文(B), VOL.J82-B, No.7, pp.1374-1383 1999.