

無線電力駆動するミニ四駆の試作

阿部 晋士[†] 星 貴博[†] 石川 貴範[†] 袁 巧微^{††}

^{†,††} 仙台高等専門学校 〒989-3128 宮城県仙台市青葉区愛子中央4-16-1
E-mail: [†]{a1302003,a1102031,s39302}@sendai-nct.jp, ^{††}qwuyan@sendai-nct.ac.jp

あらまし 本報告では、市販の無線電力伝送キットを用い、乾電池で駆動するミニ四駆を無線電力伝送によって駆動させることを報告する。また、試作にあたり送受信素子、整合回路、整流回路について問題点を洗い出し、設計手法と評価方法を検討し、送受信端末間の距離変化によるインピーダンス不整合の対策も述べる。

キーワード 無線電力伝送, 送受信素子解析, 送受信素子測定, Sパラメータ

Prototype of mini-4WD Powered Without Code

Shinji ABE[†], Takahiro HOSHI[†], Takanori ISHIKAWA[†], and Qiaowei YUAN^{††}

^{†,††} Sendai National College of Technology, 4-16-1 Ayashi-chuo, Aoba-ku, Sendai, Miyagi 989-3128 Japan
E-mail: [†]{a1302003,a1102031,s39302}@sendai-nct.jp, ^{††}qwuyan@sendai-nct.ac.jp

Abstract This paper presents a prototype of mini-4WD powered without code by using commercial wireless power transfer(WPT) kit. Firstly, the problems on transmitting and receiving antenna, impedance matching circuit and rectifying circuit are investigated when the commercial WPT is applied to drive a mini-4WD. Then, the method to solve these problems including evaluation approach and matching circuit are described.

Key words Wireless Power Transfer, Antenna analysis, Antenna measurement, S-parameters

1. はじめに

近年、無線電力伝送技術が再び注目を集めている。無線電力伝送(WPT:Wireless Power Transfer)技術とはその名の通りワイヤやコードなどの線を使わず無線で電力を伝送する技術である。無線電力伝送技術は従来の有線電力伝送にとっただけでなく、携帯電話や駆動する自動車、さらには飛行する飛行機などの移動体に対する給電への応用が期待されている [1]。

本研究では市販されている無線電力伝送キットを応用し、無線電力駆動するミニ四駆の試作を行った。試作した無線電力駆動ミニ四駆と市販キットの送信器の写真を図1に示す。このキットには取扱説明書が付属しているが、不明な仕様がいくつかあ

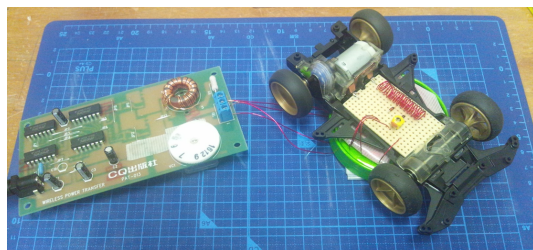


図1: 試作した無線電力駆動ミニ四駆と市販キットの送信器

るため、これらを測定によって確認する。また、キットをミニ四駆の無線電力駆動に応用するにあたりいくつかの問題が生じた。これの洗い出しと解決方法の検討を行った。

試作にあたる設計手法と評価方法を検討した。設計と評価には主に電磁界解析シミュレータを使用し、その確からしさは測定実験によって確認した。

2. ワイヤレス電力給電実験キットの構成

市販されているワイヤレス電力給電キットの構成を説明する。このキットの構成を図2に示すように大きく給電回路、送受信素子、受電回路として3つの部分に分ける。給電回路では高周波電源を生成し、送受信素子により空中を伝搬し、受電回路によりLEDを点灯させる。

2.1 給電回路の送信電力と内部インピーダンス

給電回路は2[MHz]の正弦波を生成し、送信素子に給電する。この給電回路は2[MHz]信号発生回路、デッドタイム生成

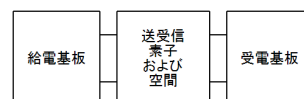


図2: ワイヤレス電力給電実験キットの構成ブロック図

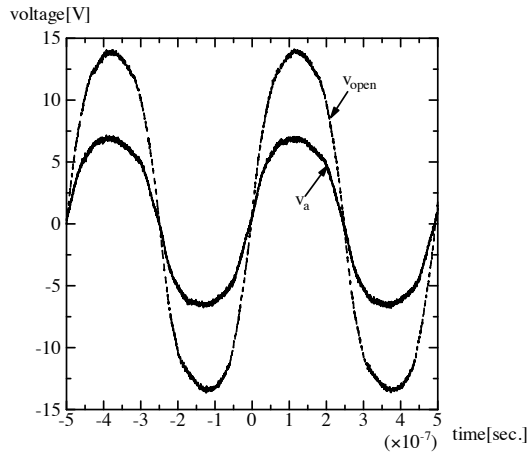


図 3: 無負荷電圧 v_{open} と $50[\Omega]$ を接続した時の電圧 v_a

生成, ドライブ回路を経て AC アダプタの $12[V]$ 直流電源から $14[V]2[MHz]$ の交流電圧を出力する. また, キットの取扱説明書により, 送信素子端子対までの電源側の出力インピーダンス, つまり電源基板の内部インピーダンスは $50[\Omega]$ である. 以下の実験により送信電力と内部インピーダンスを確認する.

まず, 内部インピーダンスを確認する. 給電回路の内部インピーダンス Z_o はオシロスコープを用いた測定から確認することができる. 具体的に, まず出力端子間に負荷がない状態, つまり準オープン状態での電圧 v_{open} を測定する. このときの電圧 v_{open} は電源電圧 v_s と同じである. 次に, 負荷側に適当なインピーダンスを接続し, そのときの電圧 v_a を測定する. 回路理論により, 負荷インピーダンスを調整し, v_a が v_s の半分になるとき, 接続されている負荷は給電基板の出力インピーダンス Z_o と等しい[2]. 出力端子間の無負荷電圧 v_{open} と $50[\Omega]$ を接続したときの電圧 v_a の測定結果を図 3 に示す. 測定実験には Agilent 社製オシロスコープ 54835A を用いた. 今回は $50[\Omega]$ を接続したとき, 電圧がちょうど v_s の半分になったため, 内部インピーダンス Z_o は $50[\Omega]$ であることが実験により確認された. なお, この測定手法はロードプル法とも呼ばれている.

図 3 により, 電源電圧 v_s は $14[V]$ であり, $50[\Omega]$ を接続したときの電圧 v_a は $7[V]$ である. このことから, インピーダンス整合時の送電電力は $W = \frac{|v_a|^2}{2R}$ より $0.49[W]$ であることが分かる.

2.2 送受信素子

送受信素子は給電回路により生成された電力を空間の電磁界に介して受電回路へ伝送する役割を果たしている.

市販のキットでは送受信素子は図 4 に示す直径 $80[mm]$ の空芯コイルを用いる. 送信素子は共振コイルと駆動コイル, 受信素子は共振コイルと出力コイルのそれぞれ二つのコイルによって構成される. 共振コイルの巻き数は $15[T]$, 駆動コイルおよび出力コイルの巻き数は $2[T]$ である.

送受信素子の伝送特性は電磁界数値解析と測定による散乱係数 S_{11}, S_{21} から確認される. 電磁界数値解析には EMSS 社製電磁界解析シミュレータ FEKO(ver.6.1) を用いる. 測定実験には Anritsu 社製ネットワークアナライザ MS2034A を用いる.

なお, 送受信素子は磁界共鳴の状態であるいはインピーダ

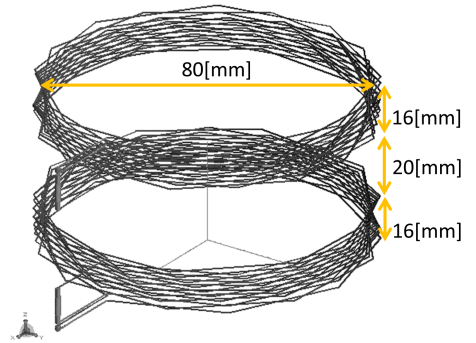
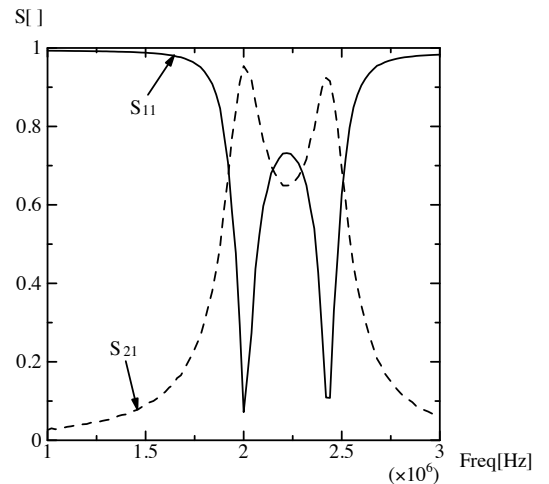
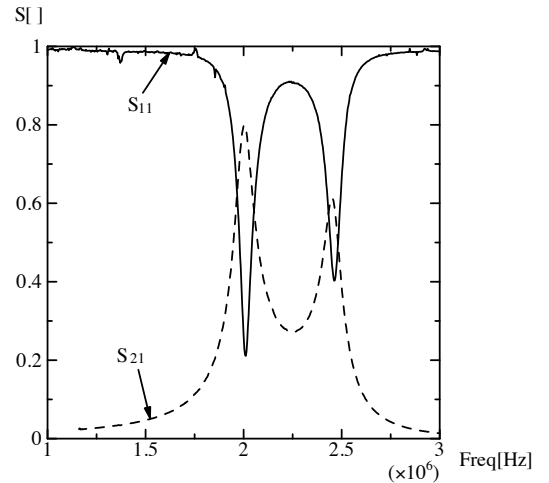


図 4: 市販 WPT キットの送受信素子の寸法



(a) 電磁界解析ソフトによる散乱係数 S_{11}, S_{21} の解析結果



(b) ネットワークアナライザによる散乱係数 S_{11}, S_{21} の測定結果

図 5: 散乱係数 S_{11}, S_{21} の解析結果 (a) と測定結果 (b)

ンスマッチングを取れた状態で最大電力伝送を行えることが既に広く知られている [3]. その状態を実現するひとつ手法としては, コンデンサの調整により共振コイルを共振させる方法がある. コンデンサの最適値の選定は, 電磁界数値解析ソフトにより行うことができる. 具体的には, 解析ソフトで送受信素子間の S_{21} が最大になるコンデンサーの値を見つける. 最適なキャパシタンスを設定したときの S_{21} の解析結果とその最適なキャパシタンスを実装した実回路の S_{21} の測定結果を図 5 に示す. こ

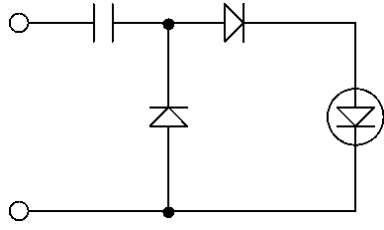


図 6: 受電回路に用いられる倍電圧整流回路

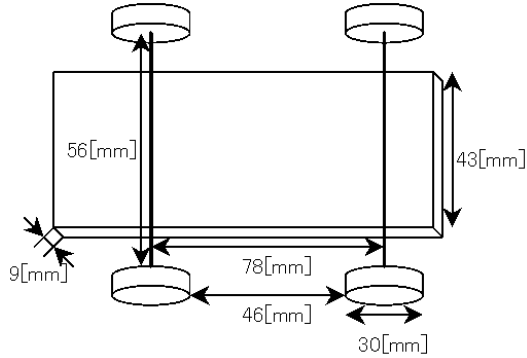


図 7: ミニ四駆 (VS シャーシ) の寸法

のときの送受信素子間の距離は図 4 と同様に 20[mm] とした。

図 5 から下記のことが分かった。

- 解析結果と測定結果がほぼ一致している。
- 距離 20[mm] において S_{21} の大きき 0.797[] が得られ、非常に高い伝送効率を実現している。

2.3 受電回路

受電回路は受信素子に誘起された電圧により LED を点灯させる役割を果たしている。

受電回路にはまず受信素子に発生した交流電圧を整流回路により直流に整流し LED に直流電圧を供給する。整流回路と LED を含めた回路図を図 6 に示す。整流回路は倍電圧整流が用いられている。ダイオードの発光の度合によって感覚的に無線給電の効率が判断できる。

3. ミニ四駆駆動への応用に伴う問題点

ミニ四駆を無線電力伝送によって駆動させるために 2. 節にて説明したキットを応用する際の問題点を説明する。

3.1 送受信素子

ミニ四駆駆動への 2. 節のキットの応用に伴い送受信素子の大ききと送受信素子間の位置関係が問題となる。

受信素子をミニ四駆の車体に取り付けるためには受信素子の大ききが問題となる。2. 節のキットの受信素子はヘリカルアンテナを用いているためミニ四駆に対して直径と厚さが大きい。受信素子をミニ四駆に搭載するためには小径かつ薄型の受信素子を選択する必要がある。ミニ四駆の車体の寸法を図 7 に、送受信素子の寸法を図 4 に示す。受信素子をミニ四駆の底面に取り付けるためには直径を 56[mm] 以内 (タイヤとタイヤの幅)、厚さを 6[mm] 以下 (タイヤ半径 15[mm] - 車体の厚さ 9[mm] = 車高 6[mm]) にする必要があり、キットで用いているヘリカルアンテナは明らかにこれよりも大きいため使用できない。

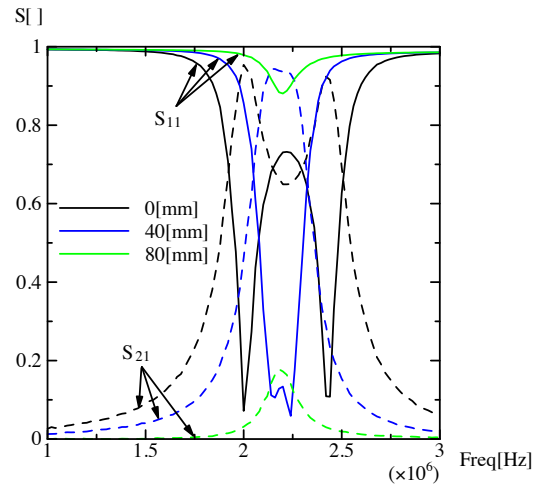


図 8: 送受信素子の位置ズレと散乱係数 S_{11} , S_{21}

また、ミニ四駆を駆動させる際に送受信素子間の位置関係が変化し問題となる。ミニ四駆を駆動させたときに送信素子を動かさない場合送信素子と受信素子の中心軸がずれる。受信素子をミニ四駆に搭載するためにはなるべく広い範囲に給電を出来る送受信素子を選択する必要がある。もしくは広い範囲に給電できる給電システムを考える必要がある。

3.2 整合回路

ミニ四駆駆動への 2. 節のキットの応用に伴い送受信素子間の位置関係によるインピーダンス不整合が問題となる。

送受信素子間の位置関係を変更、たとえば水平方向に半径分 (40mm)、直径分 (80mm) とずらすとインピーダンスの不整合が起こり、散乱係数 S_{11} の大ききが増加する。位置をずらしたときの解析結果を図 4.1 に示す。したがって、送受信素子の位置関係による伝送効率の低下を防ぐために、インピーダンスの不整合を解決する必要がある。

3.3 整流回路

ミニ四駆駆動への 2. 節のキットの応用に伴いモータ駆動のための電源形式が問題となる。

ミニ四駆駆動のためには直流モータに給電をする必要がある。キットでは倍電圧整流が用いられていたが、モータに給電をする場合には問題となる。LED の場合、電圧の大ききが発光の度合に関係する。しかし直流モータは LED と異なり、モータを駆動するには大きな電流が求められる。

4. 無線電力駆動するミニ四駆の試作

ミニ四駆を無線電力駆動させるための送受信素子・整合回路・整流回路について考察する。

4.1 送受信素子

無線電力駆動のために送受信素子の大ききと送受信素子間の位置の調整が必要である。

大ききの問題を解決するために新たなアンテナを設計する。送受信素子、特に受信素子の大ききと形状は下記の条件に制約される。

- 送受信アンテナ間の垂直距離は 20[mm]

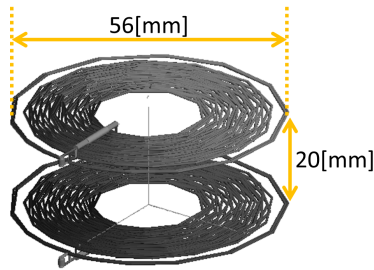


図 9: 平面スパイラルアンテナの寸法

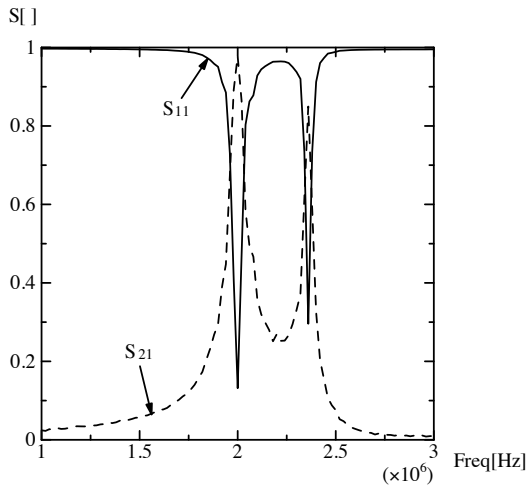


図 10: スパイラル型送受信素子の散乱係数 S_{11} , S_{21} の解析結果

- アンテナの直径は 56[mm] 以内
- アンテナの厚さは 6[mm] 以下
- 電源周波数は 2[MHz]

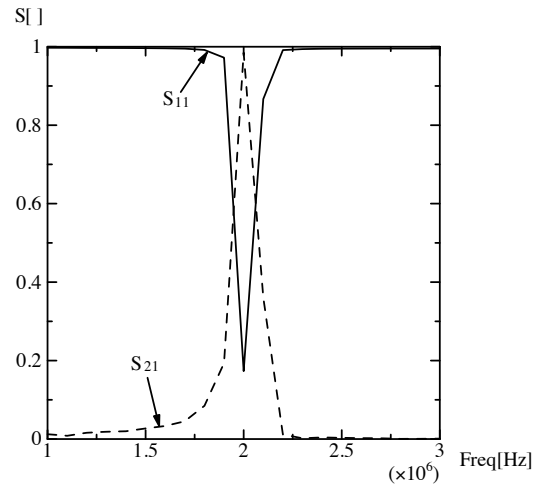
である。アンテナの設計には解析と同様に EMSS 社製電磁界解析シミュレータ FEKO(ver.6.1) を用いる。新しいアンテナとして平面スパイラルアンテナを用いる。新たな平面スパイラルアンテナのモデルと寸法を図 9 に示す。共振コイルの巻き数は 27[T], 駆動コイルおよび出力コイルの巻き数は 2[T] である。この平面スパイラルアンテナの設計はまず駆動スパイラル・出力スパイラルの外径と巻き数を調整する。巻き数調整の基準は従来のコイルのリアクタンスである。ヘリカル形状のときのそれぞれのコイルのリアクタンスを測定し、その値と同じになるように巻き数を調整した。外径を定めた基準はミニ四駆に収まるような大きさである。駆動スパイラル・出力スパイラルの巻数 2[T] はヘリカル形状のときのパラメータを流用した。

図 9 に示した送受信素子に最適コンデンサを装荷したときの解析結果を図 10 に示す。このときの送受信素子間の距離は図 4 と同様に 20[mm] とした。

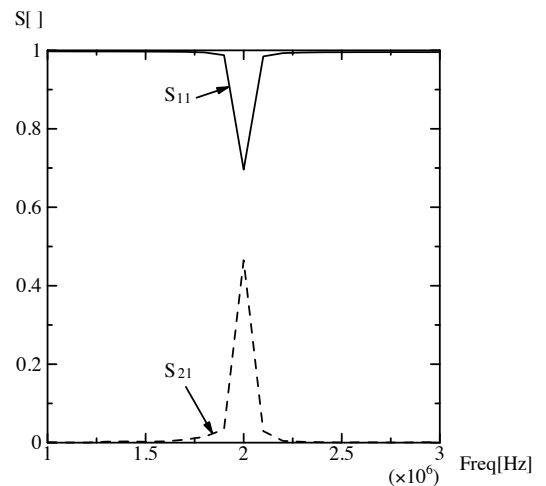
図 10 からわかることは

- ヘリカル形状と同程度の優れた伝送特性であること
- 距離 20[mm] において非常に優れた伝送効率を実現していること

である。送受信素子をミニ四駆に搭載できる様に小型化しても高い伝送効率を実現できていた。この平面スパイラルアンテナを送受信素子として利用し、実際にミニ四駆を無線電力駆動さ



(a) 半径分 (28mm) ズレ時



(b) 直径分 (56mm) ズレ時

図 11: 位置ズレ時の散乱係数 S_{11} , S_{21} の解析結果

せることが成功した。

送受信素子間の位置ずれに伴う効率低下の問題を解決するために、位置をずらしたときの最適なキャパシタンスの設定における伝送特性を解析した。この結果を図 11 に示す。

この解析結果、図 11 からアンテナの直径分のズレであれば 5 割、半径分のズレであれば 9 割を超える電力供給が可能であることが分かる。アンテナの半径分のずれに対応できれば送信器の数を増やすことによって単純に供給範囲を広げることが可能である。

また、これは共振コンデンサの調整のみによって実現されている。ヘリカル形状のときの位置ズレによる散乱係数の変化、図から分かるように、位置がずれることにより、システムの共振周波数が電源周波数とずれて伝送特性が低下している。これは共振コンデンサにより解決可能である。

4.2 整合回路と整流回路

無線電力駆動のために送受信素子間の位置関係によるインピーダンス不整合を解決する必要がある。この問題は前小節で述べたようにほとんどの場合共振コンデンサの値を調整することによって解決できた。今後その自動制御を検討していく予定

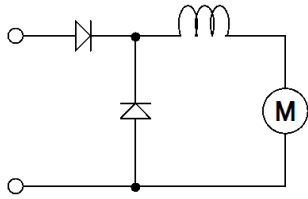


図 12: ミニ四駆に用いられる倍電流整流回路

である。

また、無線電力駆動のためにモータ駆動のための電源形式にも問題がある。直流モータは LED と異なり、モータを駆動するには大きな電流が望まれる。本試作では、モータ駆動のため倍電流整流回路を用いる。整流回路とモータを含めた回路図を図 12 に示す。これにより、試作でモータの駆動を確認できた。

5. ま と め

本報告では市販の無線電力伝送キットのミニ四駆駆動への応用を報告した。ミニ四駆駆動のためには主に送受信素子の新たな設計が必要となったが、定めた環境の中で平面スパイラルアンテナを設計し、優れた伝送特性をもつ送受信素子を設計した。また、設計にあたる磁界共鳴型無線電力伝送システムの測定の中で送受信素子間の位置のズレは共振コンデンサのみの調整で広い範囲で解決可能であることが確認できた。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 25420305 の助成を受けたものである。また、豊橋技術科学大学の大平教授に本研究に関して貴重な助言をいただき、深く感謝する。

文 献

- [1] 篠原真毅, 小紫公也, ワイヤレス給電技術-電磁誘導・共鳴送電からマイクロ波送電まで-, 科学技術出版, 東京, 2013.
- [2] 岡田文明, マイクロ波工学 基礎と応用, 学研社, 東京, 1993.
- [3] 袁巧微, 陳強, 澤谷邦男, S パラメータによる無線電力伝送システム伝送効率の解析, 信学技報, WPT2011-18, pp53-58, Oct. 2011.