

ワイヤレス電力伝送の原理モデルによる基礎研究

著者	堺 和人, 倉持 暁
雑誌名	工業技術 : 東洋大学工業技術研究所報告
号	37
ページ	28-31
発行年	2015
URL	http://id.nii.ac.jp/1060/00007624/



ワイヤレス電力伝送の原理モデルによる基礎研究 Basic Study on Wireless Power Transfer Using Principle Model

堺 和人* 倉持 暁**

1. はじめに

近年、非接触充電は感電心配がなく接続が不要で配置するのみでよいので電気自動車の充電装置や家電機器の充電部に適用され、応用が広がっている。さらに離れた場所でも非接触で給電するワイヤレス電力伝送が新しい価値を生む新技術として注目されている。特に電磁気共振（共鳴）方式は大電力をワイヤレスで送電できるため電力ケーブルが不要になる革新技术である。例えば、電気自動車はバッテリーの重量とコストがネックになっている。ワイヤレス電力伝送システムを地中・壁面に埋め込むことで、走行中に電力を断続的に供給することができ、図1のバッテリーレスの電気自動車、さらには架線不要の鉄道、図2の屋内配線やコンセントのない建物の可能性がある。本研究では、原理モデル及び高周波電源回路を試作し、実験により磁界共振方式ワイヤレス電力伝送の挙動を確認し、基本特性を明らかにする。

2. 磁界共振方式ワイヤレス電力伝送

2. 1 ワイヤレス電力伝送方式

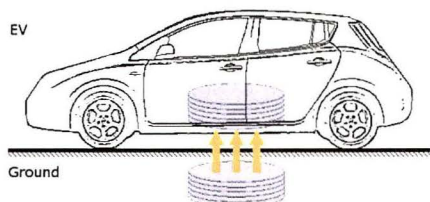


図1 バッテリー不要の電気自動車

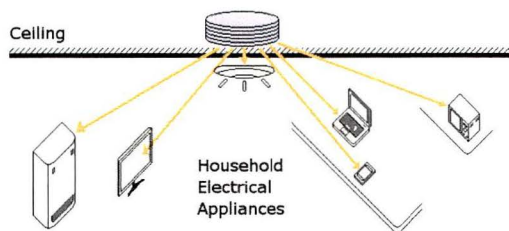


図2 屋内配線不要の建物

電磁界共振を利用したワイヤレス電力伝送は、2007年に米国 MIT が原理実験で実証し、注目されている新技術である。図3に示す様に送電用コイルと受電用コイルが対向されて配置される。送電用コイルを励磁して周囲に電磁界を発生させ、受電用コイルで電磁界を受けることによって電力を電磁界として伝送する。また、磁界共振を利用するために送電及び受電コイルに接続された回路にキャパシタを挿入する。キャパシタは送電側・受電側回路で LC 共振を起こす。送電と受電の両回路が同時に共振を起こすことで、コイルが強く結合された状態となる。共振が起こると、送電距離と位置自由度が向上する。共振のためには高い Q 値のコイルを用い、MIT の実験装置では共振周波数を 10M~20MHz 帯で動作させているが、通常の高周波電源回路で用いる 50Ω 電源は A 級増幅器など電力効率が悪いので将来の実用性を考えると不適當である。そこで、周波数が 1 桁以上低下するが、パワーエレクトロニクス技術を利用した高効率な高周波電源が候補として考えられる。

2. 2 原理検証モデル

実験検証のためのワイヤレス電力伝送装置の基本構成を図3に示す¹⁾⁵⁾。高周波電源を使用して送電コイルに電力を与え、送電コイルから受電コイルへ電磁界における共振を利用して空間で電力を伝送する。将来の実用化を考えると高周波電源は効率とコストの点からイ

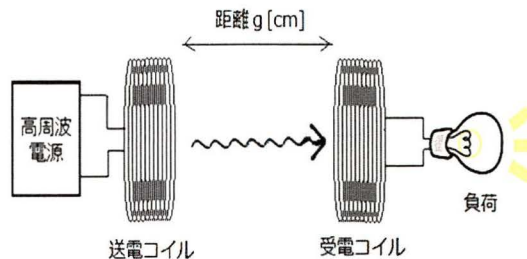


図3 ワイヤレス電力装置
Fig.3 Wireless power system

*理工学部 電気電子情報工学科
**東洋大学工業技術研究所

インバータ電源が有力となる。インバータのパワー素子は高速性が必須となるので高速スイッチングのパワー素子 MOS-FET を適用した回路を検討する。

3. 試作のモデル機と高周波インバータ電源

3.1 試作の送電・受電コイル

コイル方式は電磁共振方式では代表的なヘリカル巻のとした。送電時の周波数は 100 kHz ~ 1 MHz となるのでコイル導線内での渦電流の発生が考えられる。今回は実験方法や評価方法、送電時の電磁気的挙動、基本特性の把握が主となるので単芯の導線を適用した(リッツ線は納期と費用の問題がある)。送電側のコイルを含めた回路の共振周波数と、受電側のコイルを含めた回路の共振周波数は一致する必要がある。そのため送電コイルと受電コイルは同一のものとした。試作した送電と受電コイルは下記とした。

- ・コイル外径：Φ 300mm
- ・導線外径 Φ 1.5 mm
- ・巻き数： 5, 7, 10, 20 ターン (4 種類のコイル)

また、コイルの構成支持部の円盤は非金属で誘電率の低いスタイロフォーム材で試作した。図 4 は試作した送電と受電用ヘリカルコイルである。



図 4 送電・受電用ヘリカルコイル

Fig.4 Helical coils of wireless power transfer

3.2 試作の高周波インバータ

高周波インバータは単相のフルブリッジインバータ回路で構成し、出力端子間に送電コイルを接続する。出力電圧はパワーMOS-FET のスイッチングで方形波を形成する。図 5 に高周波インバータの回路を示す。図 6 に試作した高周波インバータの外観を示す。使用したパワーMOS-FET 素子 (富士電機 2SK3675) はターンオン時間=30ns, ターンオフ時間=55.5ns、最大電圧 900V、

最大電流±7A である。ただし、MOS-FET の性能限界のためスイッチング周波数は 1MHz 以下とする。

インバータ回路の試作に関しては、高周波による浮遊容量や損失による性能低下を抑制するために回路内の配線距離、IC 間の隙間をできる限り短くする設計を行った。

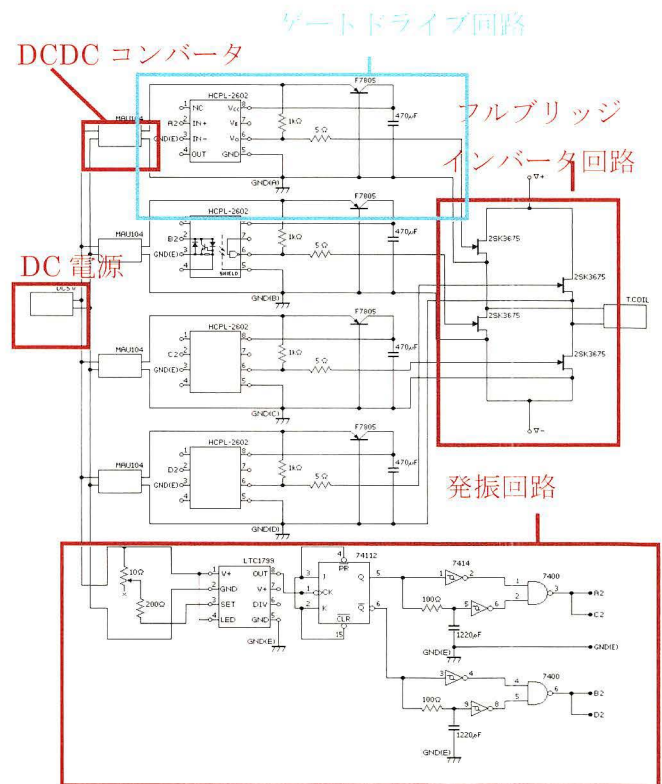


図 5 試作高周波インバータ回路

Fig.5 High-frequency-inverter circuit

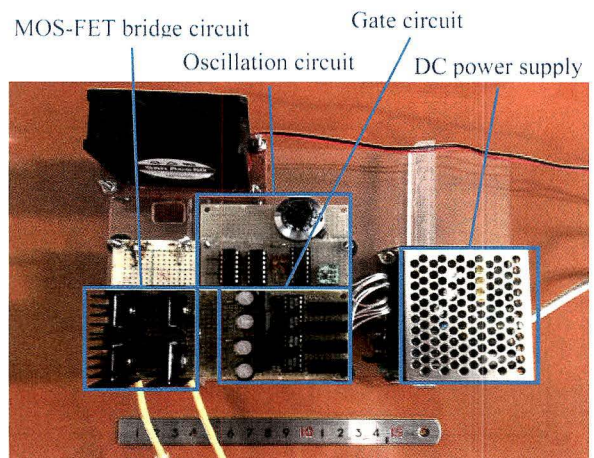


図 6 試作高周波インバータ

Fig.6 Prototype high-frequency-inverter

3. 3 LC 共振用コンデンサ

コンデンサは固定コンデンサ(村田製作所製高電圧セラミックコンデンサ)と可変空気コンデンサ(アルプス電気製バリコン)を並列にして用いた。

4. 実験

4. 1 送電実験方法

送電側と受電側回路は各コイルに対して各コンデンサを直列に接続した直列共振回路とした。図7に電磁共振結合送電機器の等価回路を示す。送電と受電回路の共振周波数は同じ値であり、共振周波数は高周波インバータ回路にある発振器の周波数設定用の可変抵抗で400kHz~600kHzに可変して設定する。

送電特性は送電と受電コイル間の送電距離を変化させて電力等の電気量を測定する。このとき、コイル間の相互インダクタンスはこの距離で変化するため、共振周波数が変動することになる。そこで、距離毎に可変コンデンサでキャパシタンス値を可変して共振周波数に合わせる。送電側と受電側のコンデンサを調整して受電側有効電力が最大値となる点を共振点として計測した。

このとき注意すべき点があることが実験からわかった。真の最大電力を得るには、受電側有効電力が最大となる様に調整した後に、再度送電側コンデンサを再調整して受電電力を増加させて最大電力を得る。さらに再度、受電側コンデンサを再調整して受電電力が増加して最大値とする。これを最大電力が最大上限値になるまで繰り返して調整することがポイントとなる。

100kHz以上の電力測定はインバータ対応の周波数特性の優れた高性能パワーメータ(横河電機、日置製)でも不可能であり、最近発売されたMHzの高周波対応の3相電力計(英国 Newtons4th 社製(代理店:岩通

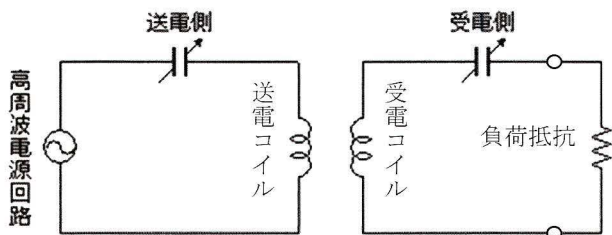


図7 磁界共振の等価回路

Fig.7 Equivalent circuit of a magnetic field resonance

計測) Power Analyzer PPA1530) を用いて特性実験を行った。

4. 2 送電実験結果

受電コイルと送電コイルは直径φ300mmのヘリカル巻のコイルを用いた。導線は外径1.5mmの単芯のマグネットワイヤである。インバータは入力DC電圧を30Vで動作させた。400kHz~600kHzの周波数をパラメータとしたときの受電側有効電力特性を図8に示す。周波数500kHzでは距離40mmで電力は約5.5Wであるが、周波数400kHzでは距離40mmで約16.5W、距離100mmで約13.5Wの送電を保っている。φ300mmコイルは400kHzで特に大きな出力が得られていることから、送電と受電間でより共振に近い状態になっていると推測される。次に、ターン数をパラメータとしたときの受電側有効電力特性を図9に示す。5ターンのコイル

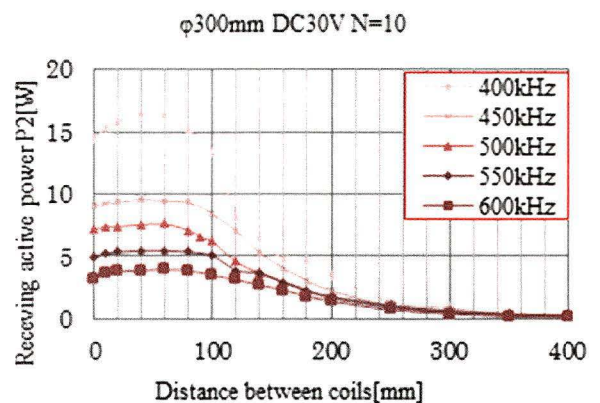


図8 周波数特性

Fig.8 Power transfer characteristics (Parameter: frequency)

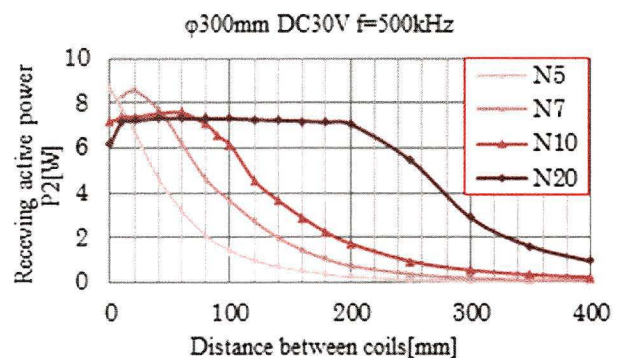


図9 巻数特性

Fig.9 Power transfer characteristics (Parameter: number of turns)

ルでは電力は最大で約 8.6W であるが、コイル間距離が 200mm では約 1.4W まで下がる。10 ターン、20 ターンのコイルでは最大電力がいずれも約 7.3W となり、10 ターンではコイル間距離 80mm まで、20 ターンでは距離 200mm まで最大電力 7.3W を維持している。これは、コイル巻数が大きくなるほど受電電力の減衰を抑える様にみえる。つぎに 20 ターン、30 ターンの各コイルの距離に対する受電有効電力特性を図 10、図 11 に示す。いずれも 400kHz で電力が最大になる。最大電力近傍の最長距離は 10 ターンの 80mm に対して 20 ターンでは 200mm、30 ターンでは 260mm と大幅に拡大している。一方で、0~100mm 近傍の範囲では受電電力が大幅に低下している。これはターン数の倍数的増加によって自己インダクタンスと相互インダクタンスが倍数的に増大し、コンデンサが共振に必要な容量にするの

に不足している可能性がある。また、受電電力増加するために電源の最大電圧が不足している可能性も考えられる。さらに図 12 に示す様にコイル径の増加により送電距離が増加することも本実験で確認された。これらの結果からターン数やコイル径を増加すると十分な容量の電源があれば、さらに送電電力や送電距離を拡大できることが期待できる。

5. まとめ

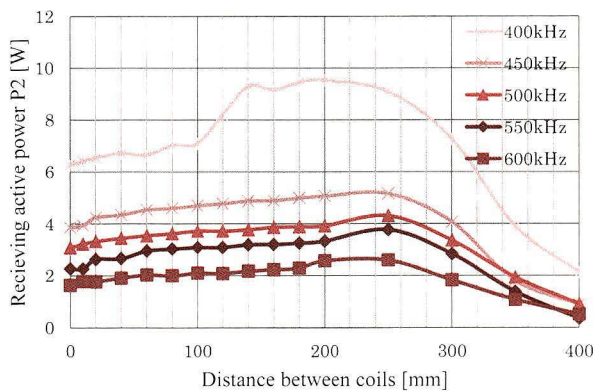


図 10 20 ターンコイルの周波数特性(DC30V)
 Fig.10. Power transfer characteristics of 20turn coils (DC30V)

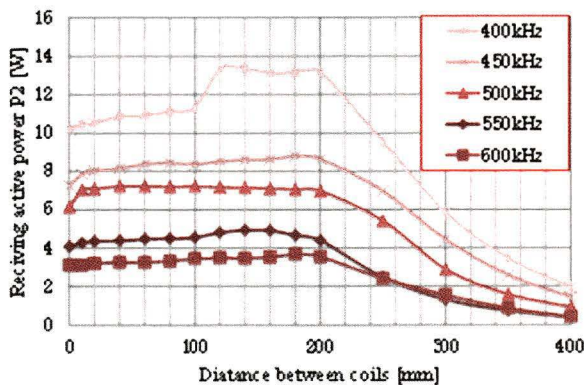


図 11 30 ターンコイルの周波数特性(DC30V)
 Fig.11 Power transfer characteristics of 30turn coils (DC30V)

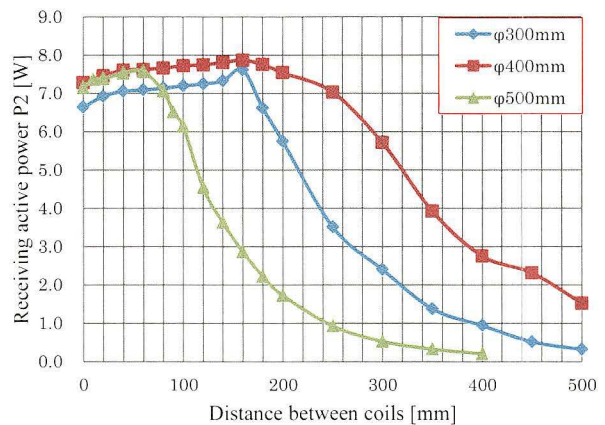


図 12 コイル径による受電特性(DC30V)
 Fig.12 Power transfer characteristics for coil diameter (DC30V)

共振周波数、コイルの巻数、コイル径を増加すると、送電電力を維持して電力伝送距離が伸びることが明らかになった。また、送電と受電コイル、コンデンサ等の主要共振回路部での周波数変化により、電力伝送効率や送電距離に影響すると考えられる。

参考文献

- 1) 布施浩司・堺和人：「高周波インバータを用いたワイヤレス電力伝送の送電実験」平成 26 年電気学会全国大会 (2014-3)
- 2) 布施浩司・笠松健太・堺和人：「ワイヤレス電力伝送に関する基礎研究」平成 25 年電気学会産業応用部門大会, Y-5 (2013-8)
- 3) 布施浩司・中里圭佑・倉持暁・堺和人：「ワイヤレス電力伝送の基礎研究」東洋大学工業技術研究所研究発表会(2013-2)
- 4) 中里圭佑・布施浩司・倉持暁・堺和人：「ワイヤレス電力伝送に関する基礎研究」平成 24 年電気学会産業応用部門大会, Y-53 (2012-8)
- 5) 布施浩司・中里圭佑・堺和人：「ワイヤレス電力伝送の基礎研究」東洋大学アカデミックシーズ展 (2012-12)