

1 4 非接触電力伝送に関する基礎的検討

宮野忠文, 山本 晃, 長谷川浩治

Study on Wireless Power Transmission

MIYANO Tadafumi, YAMAMOTO Akira and HASEGAWA Koji

Wireless power transfer is paid to attention as a technology that has the advantage of miniaturization of battery, labor saving of battery exchange and the charge. There is a wireless power transfer technology by the electromagnetic induction as a ready-made technology, but transmission distance is short with several mm. Therefore, the application scene of the electric power transmission technology by the electromagnetic induction is limited.

It was shown that the electric power was able to transmit to a place 2m away by using the magnetically coupled resonance by MIT in 2007, but the wireless power transfer with magnetically coupled resonance has not arrived at practical use.

In this paper, a basic examination in the wireless power transfer by magnetically coupled resonance was done. As a result, it was confirmed that a lamp of 40W away by 50cm lights.

キーワード：磁場共鳴, 磁界共振結合, 非接触電力伝送, ワイヤレス電力伝送

1 結 言

非接触での電力伝送は、電池で駆動している機器に適用することで電池交換や充電の手間が省ける上、電池パック部分の小型化や、機器により高度な機能を付加できる、などのメリットを生む技術として注目されている。

また、自動車産業においても、電気自動車をはじめ、電池による電力供給の利用場面は今後も増加することが考えられ、非接触での電力伝送技術の重要性は増大している。

既に実用化されている非接触電力伝送技術として、電磁誘導を利用したものはあるが、伝送距離が数ミリと短かった。ところが 2007 年に MIT(マサチューセッツ工科大学)により磁場共鳴を利用することにより 2m の伝送が可能であることが示され¹⁾、世界的に反響を呼び、国内外の企業、研究機関などで研究が進められつつあるが、まだ実用化には至っていない。

磁場共鳴は磁界共振結合とも呼ばれ、送受信コイルの共振状態において磁界により結合して(共鳴して)電力伝送が行えるという特徴を持っている²⁾。

電力伝送効率は、結合係数 k とコイルの Q との積、と相関がある。 k は伝送距離に依存し、距離が長くなると大きく低下するが、磁界共振結合方式は、 Q の値を高くすることで高い伝送効率を維持できる³⁾。

本研究では、磁界共振結合による非接触電力伝送を利

用した製品開発を目指して、その基礎的検討を行った。具体的には、電力伝送効率の周波数特性、距離特性などの評価を行うとともに、電力伝送の事例として、40W の電球の点灯実験を行った。

2 実験方法

2.1 送受信コイルの作製

磁界共振結合による電力伝送を行うには、送受信コイルを共振させる必要がある。コイルを共振させるには、コンデンサを追加して共振させる方法とコイル自身がつ静電容量を利用して自己共振させる方法がある。

コンデンサを追加する方法は、コンデンサの値を調整ことにより簡単に共振周波数を調整できるが、大電力を伝送する際にはコンデンサの耐圧が問題となる。

自己共振を用いる方法は、コンデンサを用いないため大電力を伝送する場合でも耐圧が問題となることは少ない。しかし、共振周波数の調整はコイルの巻数、ピッチなどにより行う必要があり、容易ではない。

今回は大電力を伝送するのに適した自己共振を用いる方法で実験を行った。

$\phi 2\text{mm}$ 銅線、 $\phi 6\text{mm}$ 銅管を塩ビパイプ(直径 21.5cm)に巻いて 2 種類の送受信コイルを作製した。

ISM(Industrial, Scientific and Medical) 機器が利用する 13.56MHz 付近で共振するようにコイルの巻数な

どを調整した。

共振周波数の評価にはネットワークアナライザ(E5071 アジレントテクノロジー製)を用いた。

図1で示すように送受信コイルと同一軸となるように塩ビパイプにφ2mmの銅線を1回巻いたループコイル(以下、リンクコイルと呼ぶ)をネットワークアナライザに接続して、反射係数 S11 を測定した。図2のように S11 が最小ピークとなる周波数が共振周波数である。

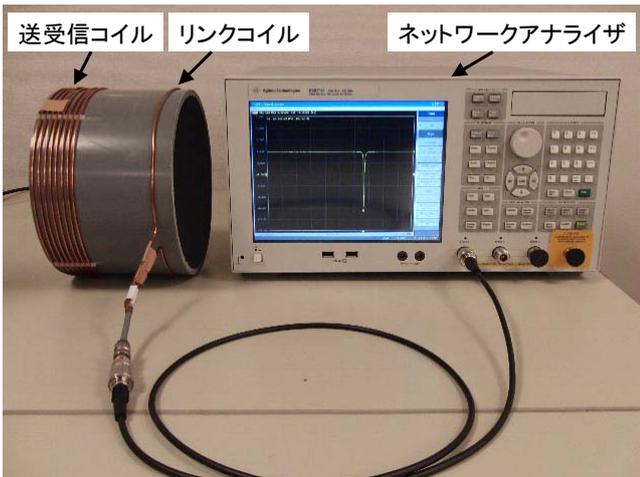


図1 送受信コイルの共振周波数の評価

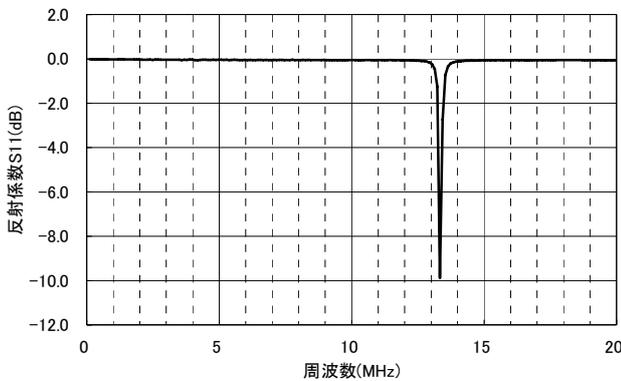


図2 送受信コイルの反射係数 S11 の周波数特性 (コイル1A(表1記載))

作製したコイルの詳細を表1に示す。なお、表中のピッチは巻数と長さより、キャパシタンスの値は共振周波数とインダクタンスから計算により求めた値である。

表1 作製したコイルの詳細データ

コイル No.	材料	線径	パイプ直径 (mm)	巻数	長さ (mm)	ピッチ (mm)	共振周波数 (MHz)	インダクタンス (μH)	キャパシタンス (pF)
1A	銅線	2mm	215	8	47	5.9	13.34	21.99	6.47
1B	銅線	2mm	215	8	47	5.9	13.53	21.17	6.54
2A	銅管	6mm	215	9.5	107	11.3	13.53	20.73	6.67
2B	銅管	6mm	215	9.75	106	10.9	13.43	21.47	6.54

2.2 電力伝送効率の評価方法

図3のようにネットワークアナライザにより、透過係数 S21 を測定し、作製した送受信コイル間の電力伝送効率を評価した。

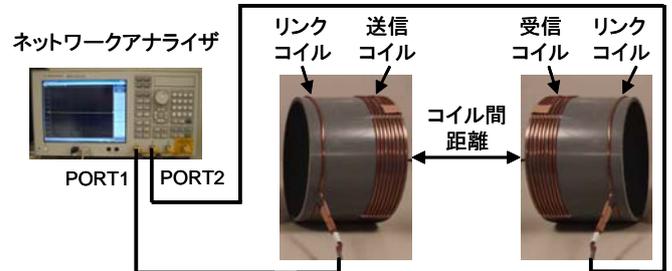


図3 電力伝送効率評価

透過係数 S21 は、PORT1 からどのくらいの電圧が PORT2 に伝わったかを表す。透過係数 S21 により伝送効率 η は式(1)で求めることができる。

$$\eta = S21 \times S21 \quad (1)$$

φ2mmの銅線のコイル1Aと1B、φ6mmの銅管のコイル2Aと2B、を送受信コイルとして、送受信コイル間の距離を0mmから1000mmまで100mm刻みで、伝送効率の評価を行った。なお、送受信コイル間の距離としたのは、図に示した塩ビパイプ間の距離である。

測定にあたっては、各距離において送信側、受信側で整合が取れ、伝送効率が最大となるようにリンクコイルの位置を調整している。

3 実験結果および考察

3.1 伝送効率の周波数特性

図4にφ2mmの銅線コイル、図5にφ6mmの銅管コイルにおける伝送効率の周波数特性を示す。

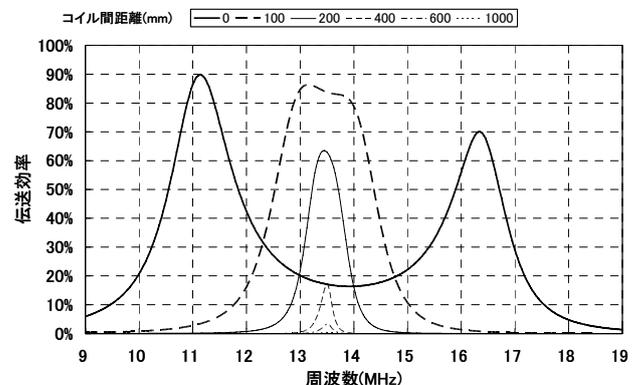


図4 伝送効率の周波数特性(φ2mmの銅線コイル)

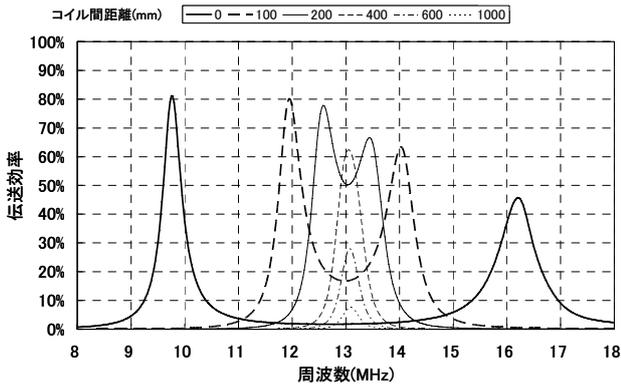


図5 伝送効率の周波数特性(φ6mmの銅管コイル)

送受信コイル間が、φ2mmの時は接触したときのみ、φ6mmのときは、200mmの時まで、伝送効率が高くなる周波数が2つ現れる双峰特性となった。ある距離以上になると単峰特性となり、距離が長くなると伝送効率も低下した。

送受信コイルが相互インダクタンスMで結合したときの共振周波数を f_L 、 f_H とすると、式(2)、(3)となる⁴⁾。

$$f_L = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L+M)C}} \quad (2)$$

$$f_H = \frac{1}{2\pi\sqrt{(L-M)C}} \quad (3)$$

送受信コイルが近接した場合、相互インダクタンスMは大きくなり、共振周波数が2つ現れるため双峰特性となる。送受信コイルが離れると、相互インダクタンスMは小さくなり、ある距離で f_L と f_H は一致し単峰特性をとる。

3.2 伝送効率の距離特性

次に、伝送効率の距離特性を示す。図4、5のように伝送効率は周波数によって変化するが、最大の伝送効率を距離ごとに示したものが図6である。

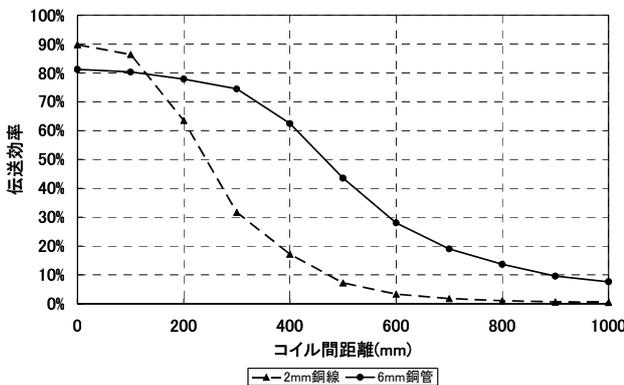


図6 伝送効率の距離特性

φ2mmの銅線で巻いた送受信コイルでは、距離200mmで急激に伝送効率が低下しており、400mm以上では20%以下となっている。φ6mmの銅管では、300mmまでは急激な低下は見られず、600mmでも約30%となっており、φ6mmの銅管のほうが伝送効率の距離特性は優れている。

φ2mmの銅線とφ6mmの銅管のコイルのQをQメータ4342A(横河ヒューレットパッカーD製)により測定した。

前者は445、後者は645となり、φ6mmの銅管のコイルのほうがQが高い結果となった。このことは、Qの高い送受信コイルのほうが大きな距離まで電力を伝送できることを示し、Qの値を高くすることで高い伝送効率を維持する磁界共振結合方式の特徴を示している。なお、Qは、伝送効率評価で使用した13.56MHz付近で測定できなかったため、測定可能な2.4MHzで評価している。

φ2mm銅線について伝送周波数を13.45MHz、φ6mm銅管について伝送周波数を13.1MHzに一定にした場合の伝送効率と最大効率の比較を図7に示す。

図から、送受信コイルが近接する場合には、伝送効率が最大となるように伝送周波数の調整が必要になることがわかる。

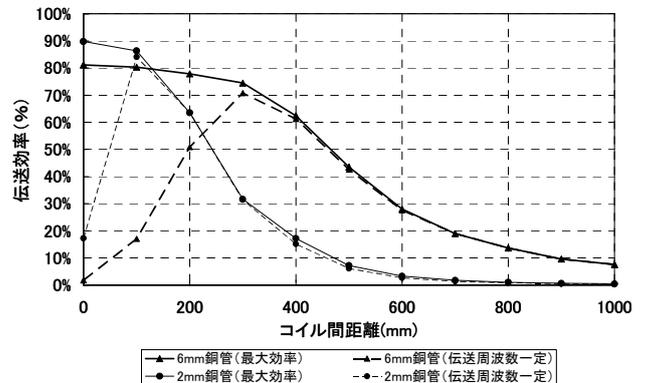


図7 伝送周波数調整の有無の比較(φ6mm銅管)

3.3 電球点灯実験

非接触電力伝送の事例として、電球を点灯させる実験を行った。送受信コイルには、直径500mm、13.5MHz付近で自己共振するように4.5回巻いたものを用いた。図8のような機器構成で実験を行った。

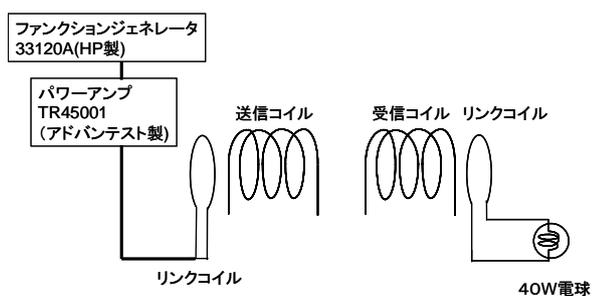


図8 電球点灯実験機器構成

実験の様子を図9に示す。送受信コイル間の距離が500mmで40Wの電球が点灯することを確認した。



図9 電球点灯実験

4 結 言

本報告では、磁界共振結合による非接触電力伝送につ

いて、電力伝送効率の周波数特性、距離特性などの評価を行った。

その結果、 $\phi 6\text{mm}$ 銅管の送受信コイルを用いた場合、距離200mmで伝送効率が約80%、距離600mmで約30%となることがわかった。

また、電力伝送の事例として、40Wの電球を点灯させる実験を行ったところ、距離500mmで点灯することを確認した。

大電力を伝送する場合には、損失は許されないので、伝送効率を重視する。無線センサ機器のような消費電力が小さい機器へ適用する場合、多少の損失があっても長距離伝送が可能となれば適用範囲は広がるので、伝送距離を重視する。このように、用途に応じた電力伝送システムを構築する必要がある。

実用化に向けては、送受信コイルの小型化、伝送周波数の調整手法、伝送後の整流などの課題について検討する必要がある。

文 献

- 1) 日経エレクトロニクス編：ワイヤレス給電 2010, 66 日経BP社
- 2) 居村他：ワイヤレス・エネルギー伝送技術の最前線, 18, エヌ・ティー・エス
- 3) <http://eetimes.jp/content/3351>
- 4) 平山他：ワイヤレス・エネルギー伝送技術の最前線, 74, エヌ・ティー・エス