

# ワイヤレス充電を電気自動車へ～電力伝送の効率化～

愛媛県立松山南高等学校 コイルんず

稲葉光 奥田真央 越智怜楽 久保田嘉伸 指導教諭 露口 猛

## 1. はじめに

普及が始まった電気自動車だが、充電場所の不足と充電時間の長さが問題になっている。この問題を解決するために、多くの研究機関では電磁誘導<sup>1)</sup>での誘導起電力で電気自動車を充電するワイヤレス充電の研究が行われている。私たちは効率的かつ連続的に充電する工夫として、透磁率の高い鉄をトンネルに利用し、道路とトンネル内にコイルを設置すれば良いのではと考えた。そこで、本研究では磁束量の増大により電磁誘導のさらなる効率向上を目指した。また、磁束量の増加する条件を用いて誘導起電力による電力伝送の効率について実験した。

## 2. 仮説

透磁率がより大きい鉄を使うことによる効果を期待し、次のように設定した。

「鉄パイプを利用することにより、より高い効率で電力伝送を行うことが可能である。」

## 3. 実験方法

### I 鉄パイプの有無による磁束量の変化

- (1) 鉄パイプ内に置いたコイル(図1)に1~10Vの電圧を2Vずつかけ、テスラメーターでコイル端面の磁束量を測定した。
- (2) 机上のコイル(図2)を比較のために測定した。

### II 鉄パイプ内コイルの位置と磁束量の変化

- (1) 鉄パイプ中央に置いたコイル(図3)に4Aの電流を流し、板を基準として1cmずつ5cmまで上げていき、図3の位置での磁束量をテスラメーターで測定した。
- (2) 鉄パイプ内端にコイルを置き(図4)、磁束量を測定した。

### III 単数コイルでの磁束量の巻き数等による変化

以下のコイルを作成し、机上で1~4Aの電流を流した際の磁束量を測定した(図5)。

- ア 直径1.0mmの導線(図6左)\*<sub>1</sub>を直径2.0cmの塩ビパイプ\*<sub>2</sub>に5層に分けて、250回巻いたコイル(\*<sub>1</sub>太い導線、\*<sub>2</sub>塩ビパイプとする)
- イ 直径0.5mmの導線(図6右)\*<sub>3</sub>をアと同様に巻いたコイル(\*<sub>3</sub>細い導線)
- ウ 細い導線を塩ビパイプに3層に分けて250回巻いたコイル
- エ 太い導線を塩ビパイプに2層に分けて100回巻いたコイル
- オ 細い導線を塩ビパイプに2層に分けて100回巻いたコイル



図1 鉄パイプ内コイル



図2 机上コイル



図3 パイプ内中央コイル



図4 パイプ内端コイル

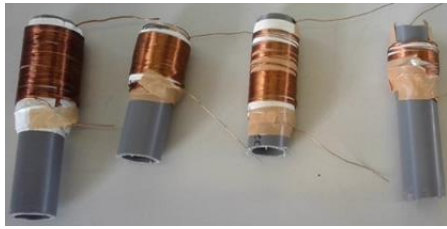


図5 単数コイル



図6 導線の太さ  
(左 : 1.0mm、右 : 0.5mm)

#### IV 鉄パイプ内での2個のコイルによる磁束量

- (1) 太い導線を用いて、同じ巻き数、層数のコイルを2個作成した。
- (2) 一方のコイルを木板の上、もう一方を木板の下、ともに鉄パイプ中央に置き(図7)、上下のコイルに4Aの電流を流した。板を基準として、上のコイルを1cmずつ5cmまで上げ、1cmごとにテスラメーターで磁束量を測定した。テスラメーターの位置は図7の位置に固定した。
- (3) 上のコイルを鉄パイプ内端に置き(図8)、(2)と同様に測定した。
- (4) いずれも上下のコイルの磁極が同方向、逆方向となる配置で測定した。

#### V 鉄パイプ内外での電力伝送効率と周波数の関係

- (1) IVと同様のコイル2個を鉄パイプ外に置いた。一方のコイルに周波数を変化させながら電流を流し\*<sub>1</sub>、もう一方\*<sub>2</sub>に生じる電圧をDrDAQで測定した>(\*1入力コイル、\*2出力コイル)
- (2) 鉄パイプ内の中央(図9)、内端(図10)に2つのコイルを置き、(1)と同様に測定した。
- (3) 次式を電力伝送効率  $e$  [%] とした。ただし、入力コイルの電圧の振幅を  $V_1$  [V]、出力コイルの電圧の振幅を  $V_2$  [V] とする。

$$e = \frac{V_2}{V_1} \times 100$$



図7 IV鉄パイプ内  
中央コイル



図8 IV鉄パイプ内  
線コイル

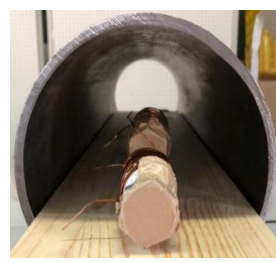


図9 V鉄パイプ内  
中央コイル

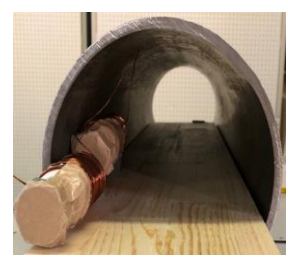


図10 V鉄パイプ内  
中央コイル

### 4. 実験結果

#### I 鉄パイプの有無による磁束量の変化

鉄パイプ内外での磁束量の変化を図11に示す。鉄パイプ内のコイルは、各位置で鉄パイプ外のコイルより磁束量が多く、鉄パイプによって磁束量が増加することが分かった。また、共に磁束量が電圧に比例することが分かった。

## II 鉄パイプ内コイルの位置と磁束量の変化

鉄パイプ内での位置と、コイルからの距離を変えた場合の磁束量を図 12 に示す。鉄パイプ内端に置いたコイルの磁束量は、各位置で鉄パイプ中央に置いたコイルの磁束量より多かった。また、コイルとテスラメーター間の距離が長くなるほど磁束量が少なく、距離依存性があることが分かった。

## III 単数コイルでの磁束量の巻き数等による変化

銅線の太さ・巻き数・層数と磁束量の関係について図 13 に示す。導線の巻き数、コイルの層数ともに多い方が磁束量が大きくなることが分かった。層数が多くなると単位長さ当たりの導線の密度が大きくなり、磁束量が増えると考えられる。

## IV 鉄パイプ内での 2 個のコイルによる磁束量

鉄パイプ内での 2 個のコイルの距離・磁極の向きと、磁束量の関係を、パイプ中央の場合を図 14 に、内端の場合を図 15 に示す。パイプ中央とパイプ内端共に、2cm で逆向きの磁束量が極大値になり、中央では 0~1cm で単コイルの磁束量が最も多く、3 つとも同様の増減だった。内端では逆向き 2cm で単コイルの約 2 倍の磁束量だった。

以上から、対極に達する前に磁束が合成し、磁束が弱くなりすぎない距離が 2cm 付近にあると考えられる。また逆向きの時、コイルの長さよりコイル間距離の方が短いので、磁束がもう一方のコイルの対極に入ったため、同じ向きの時より磁束量が多くなったのではないかと考えられる。コイルの配置方法によってはさらに増大ができる可能性があると考えられる。

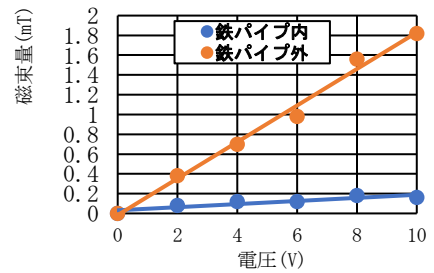


図 11 鉄パイプ内外での磁束量

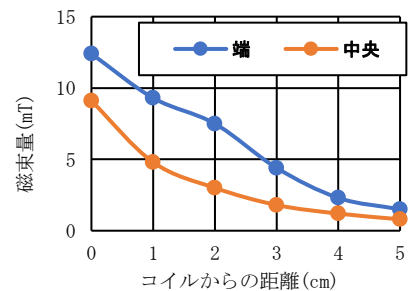


図 12 コイルからの距離と磁束量

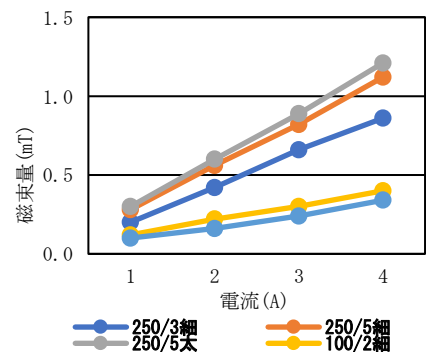


図 13 導線の太さ・巻き数・層数と磁束量

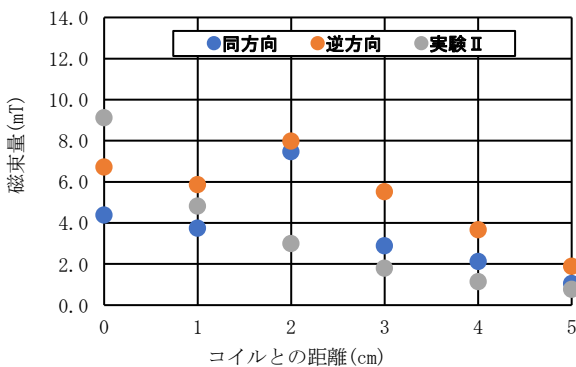


図 14 IVパイプ内中央での磁束量

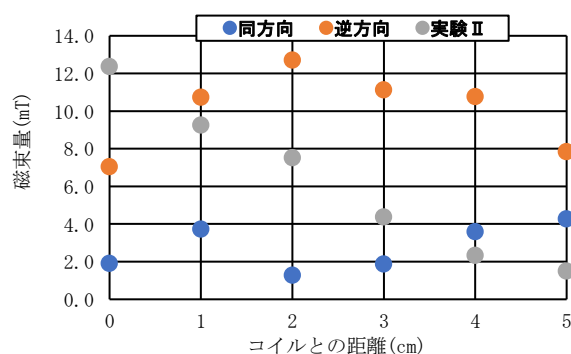


図 15 IVパイプ内端での磁束量

## V 鉄パイプ内外での電力伝送効率と周波数の関係

図 16 に電力伝送効率と流した交流の周波数の関係を示す。9000Hz まで鉄パイプ無しが最も効率が良かった。また、内端は 10000Hz まで最も効率が悪かった。更に、50Hz で極大値となり、パイプ無しは 5000Hz、パイプ中央は 7000Hz、パイプ内端は 6000Hz で極小値であった。現在測定している範囲では、50Hz で鉄パイプ中央に設置した場合が効率最大であった。しかし、10000Hz より高周波の方が 50Hz の時より効率が良い可能性はある。発信器の限界により、ここまでしか測定できなかった。

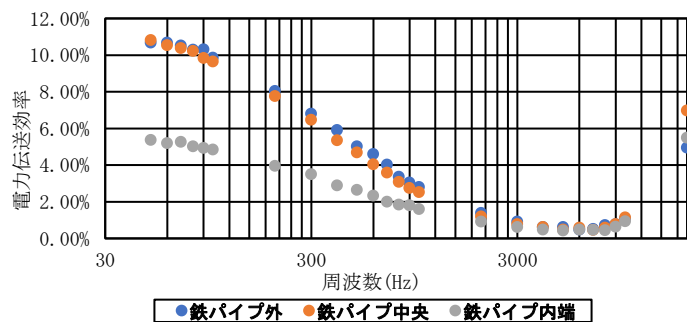


図 16 コイルの位置と電力伝送効率の関係

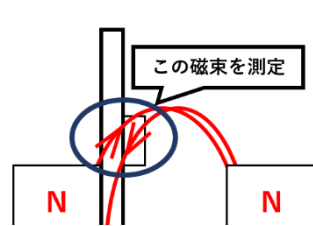


図 17 磁極同方向での磁束

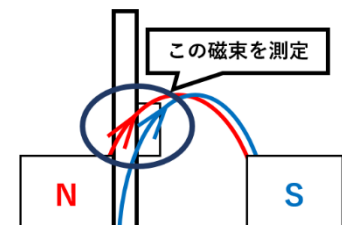


図 18 磁束逆方向での磁束

### 5. 考察

#### (1) 複数コイルでの磁束量

図 17、18 に磁極同方向、逆方向での磁束の様子を示す。コイル 1 個の磁束が重なることで 2 個の場合の磁束と考えられ（重ね合わせの原理）、テスラメーターの位置での磁束は、次のように考えられる。

ア 磁極が同方向の場合、近距離では一方のコイルから図 17 の上向きに出た磁束と、離れたコイルから下向きになった磁束が重なったと考えられる。そのため、1 個より磁束量が減少する。

イ 磁極が逆方向の場合、一方のコイルから図 18 のように上向きに出た磁束と、離れたコイルに下向きに入る磁束の上向き部分が重なったと考えられる。そのため、1 個より磁束量が増える。

#### (2) 鉄パイプによる磁束量

鉄パイプがあることにより磁束量が増え、端の方が多いことは透磁率から予測できるが、詳細については不明であり、検討が必要である。

#### (3) 電力伝送効率の周波数依存性

電力伝送効率が特定の周波数で極小値を持つことは先行研究でも知られており<sup>2)</sup>、それによると 20000Hz 以上の高周波では、効率がより増大することが予測される。ただし、磁束量は鉄パイプ有りの方が多いにも関わらず、交流での伝送効率は鉄パイプが無い方が大きくなった。仮説は否定されることとなったが、その原因はまだ不明であり、今後研究を続ける必要がある。

### 6. まとめ

磁束量を増大させるには、鉄パイプを用い、コイルを鉄パイプに近づける、コイルを複数個用い、互いの磁束が逆方向になるように配置する、太い銅線を多層化したコイルがよい、ということが分かった。また、電力伝送効率は、50Hz～10000Hz では鉄パイプの有効性がないことが分かった。今後、高周波数での実験を通して、パイプの有用性をさらに検討していきたい。

### 7. 参考文献

- 1) 川原圭博(2019) ”スマホなど部屋中どこでもワイヤレス充電東大が実験部屋を公開 “ (<https://www.t.uTokyo.ac.jp/shared/press/data/setnws20190611145016741845423217957.pdf>)
- 2) 宮野忠文, 山本晃, and 長谷川浩治. ”非接触電力伝送に関する基礎的検討.” 広島県立総合技術研究所西部工業技術センター研究報告 54 (2011): 53-56.