

## ワイヤレス給電が未来を拓く ～磁気共振の可能性を求めて～

西条市立西条西中学校 第2学年 福田 琉 創

### 1 研究の動機・目的

昨年の研究から、送電コイルと受電コイルの2つのコイルを密着させていないと、ワイヤレスによる電力伝送は効率よく行われなことが分かった。しかし、MIT（マサチューセッツ工科大学）が出した論文には、「磁気共鳴伝送（磁気共振）を使えば、電磁誘導より離れていても電力を送ることができる」と記されている。全ての電気機器にワイヤレスで電力が送れるようになれば、「充電する」という概念はなくなり、EV自動車は大型コイルを組み込んだ道路や駐車場に近づくだけで給電され、エネルギー切れの心配がなくどこまででも走って行ける……なんて考えるテクノロジーの可能性にわくわくする自分がある。

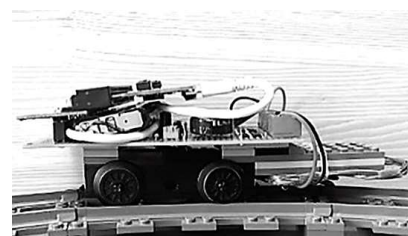


図1 レゴEV自動車

そこで、今回の研究では、「磁気共振によるワイヤレス電力伝送の効率の良い条件を実験により見付け出し、磁気共振によって充電しながら走るレゴEV自動車（図1）を作成し、実際に走らせること」を目的として設定した。

### 2 磁気共振とは

磁気共振とは、送電コイルに電流が流れることにより発生した磁場の振動（波）が、同じ周波数で共振する受電側のコイルに伝わる現象のことである。この周波数のことを共振周波数といい、図2に示す式で求めることができる。今回の研究では、LCRメーター（表1[A]）でL（コイル）とC（コンデンサ）の数値を測定し、共振周波数を求める。

図2

$$\text{共振周波数} = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}}$$

L = インダクタンス [単位：H（ヘンリー）]  
C = キャパシタンス [単位：F（ファラド）]

### 3 自動測定によるデータ収集

計測プログラミングを作成し、表1の[H]・[I]・[J]・[L]を用いて、自動測定を行った。これにより、膨大なデータを正確かつ短時間で取得することが可能になった。さらに、ヒューマンエラー（人による入力ミスなど）やデータ入力に掛かる時間が削減され、実験内容の充実とデータ分析に掛ける時間の拡充が図れた。

実験器具	使用目的
[A] LCRメーター	L:インダクタンス(コイル)とC:キャパシタンス(コンデンサ)の数値を正確に測定し、共振周波数を算出するために使用。
[B] CVCC電源	電圧と電流を設定するために使用する直流電源。
[C] コイル駆動交流電源	ファンクションジェネレーターの信号を、コイルを動かす交流に変換するために使用。
[D] ファンクションジェネレーター	周波数と波形を任意に変えるために使用する測定器。
[E] オシロスコープ	受信した波形を視覚化する測定器。周波数や電圧を測定するために使用。
[F] 負荷抵抗 (5W - 220Ω)	EV自動車のモーターを回転させたとき想定した電力消費の実験を行うために使用。
[G] アクチュエーター	受電コイルをX軸方向(縦)に1cm/sの速さで400mm移動させるための装置。送電コイルをY軸方向(横)にずらして設置し、X軸方向(縦)に移動させることもできる。
[H] マイコン電圧測定基板 (ラズベリーパイピコ基板を使用)	共振で得られた電圧信号をPCに読み込むための変換装置。
[I] アクチュエーター操作PC	アクチュエーターを動かすためのPC。
[J] マイコン電圧測定基板を操作・電圧受信用PC	測定データを受信するためのPC。
[K] 送電側コイル固定台	送電コイルを設置する高さを任意で変えられる固定台。受電コイルとのZ軸方向の距離(高さ)を調整するために使用。
[L] Micro:bitのプログラム書き換え用PC	次の①②を行うためのPC。 ① LEDディスプレイに電圧の状態を表示させる(E[空]→1→…→9→F[満充電])。 ② モーターの駆動電力を調整する。

表1 実験器具一覧

#### 4 実験1 磁気共振と電磁誘導のワイヤレス電力伝送の比較

コイル : 内径 70mm  
 太さ 0.55mm  
 5回巻  
 電圧 : 25V  
 電流 : 0.4A  
 コイル間の距離 : 0cm、5cm、  
 10cm

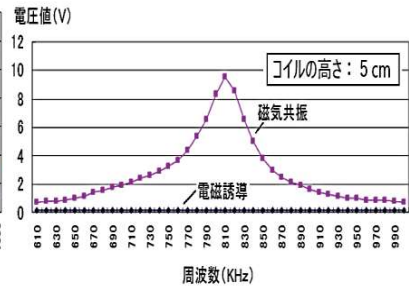
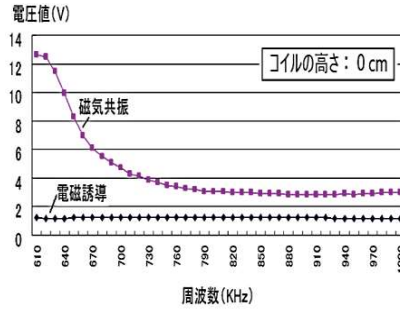


図3 実験1の設定条件

図4 磁気共振と電磁誘導のワイヤレス電力伝送の比較

図4に、図3の設定で実験1を行ったときの結果の一部を示す。電磁誘導は、コイルの高さ0cm以外では受電電圧を得ることができず、長距離のワイヤレス電力伝送には向いていないことが確認された。また、磁気共振では、周波数によって受電電圧が大きく変わるため、高い電圧が得られる周波数をピンポイントで指定する必要がある。

#### 5 実験2 磁気共振によるワイヤレス伝送の効率の良い条件を探る

(1) 高い電圧を受電するコイルとコンデンサの組合せと共振周波数

コイル : 内径 70mm  
 太さ 0.55mm  
 コイルの巻き数 : 2回、5回、  
 10回、20回  
 コイル間の距離 : 5cm  
 コンデンサ : 15種類  
 電圧 : 25V  
 電流 : 0.4A

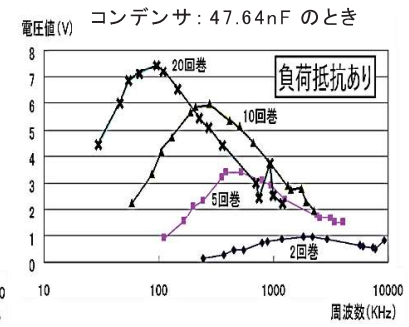
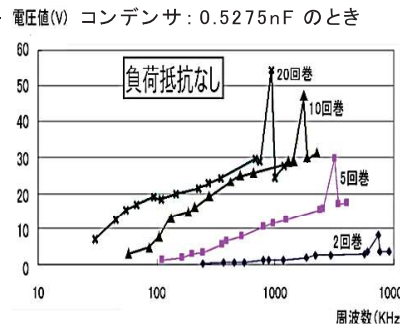


図5 実験2(1)の設定条件

図6 周波数を変化させたときの電圧の変化

図6に、図5の設定で実験を行ったときの結果の一部を示している。どのコンデンサにおいても20回巻のコイルと組み合わせると最大の電圧が得られた。また、共振周波数を100KHzくらいに調整すれば、負荷抵抗により電力を消費しても大きい電圧を受電できることが分かった。

(2) 送電コイルに対する効率よく受電できる受電コイルの角度

コイル : 内径 50mm ※ レゴEV自動車の大きさ  
 太さ 0.55mm から内径を50mmに決定  
 長さ 4m  
 コイルの角度 : 90°、45°、0°  
 コイル間の距離 : 0cm、4cm、10cm  
 コンデンサ : 共振周波数が94KHzのもの  
 電圧 : 25V 電流 : 0.4A  
 アクチュエーターの移動 : 縦

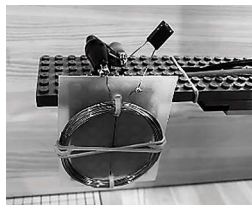


図8 受電コイルの角度を90°に送電コイルを設置した様子

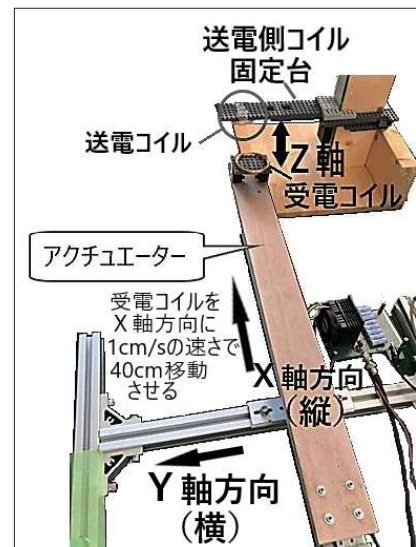


図9 実験2(2)~(4)の設定条件

図7 実験2(2)の設定条件

図9の装置で図7の設定の基、コイルに角度をつけて(図8)実験を行った。図10は、その結果の一部である。受電電圧は、コイルの角度が90°と45°では得ることができず、0°のときのみに得られた。

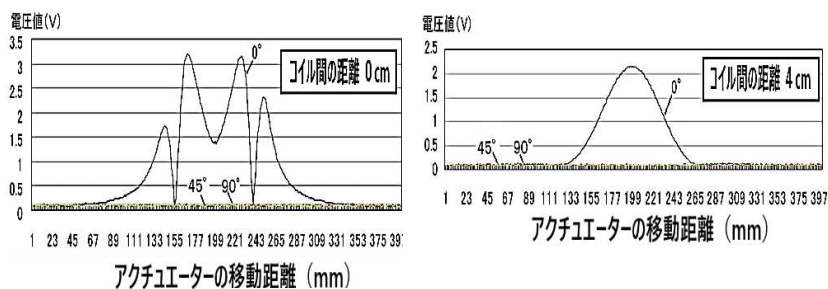


図10 コイルの角度と受電電圧値

(3) コイルの角度0°で効率良く受電できるX Y Z軸の相対位置

コイル・コンデンサ・電圧・電流  
 : 実験2(2)と同じ  
 コイルの角度 : 0°  
 コイル間の距離(Z軸)  
 : 0~10cmまでを1cmごと  
 アクチュエーターの移動  
 : X軸(縦)…1cm/sで400mm  
 : Y軸(横)…±5cmを1cmごと  
 ただし、0は送電コイルの真下

図11 実験2(3)の設定条件

図12に、図11の設定で実験をした結果の一部を示している。コイル間の距離が小さくなるほど電圧は大きくなり、受電範囲が広がる傾向が見られた。また、2~10cmでは、送電コイルの真下(X軸距離200mm)で最大電圧を得た。Y軸(横)方向については、コイル間の距離で最大電圧を得られる位置が変わるが、受電コイルを搭載するレゴEV自動車の車高に相当する4cmでは、横方向0cmのときに送電コイルの真下で最大電力を示した。

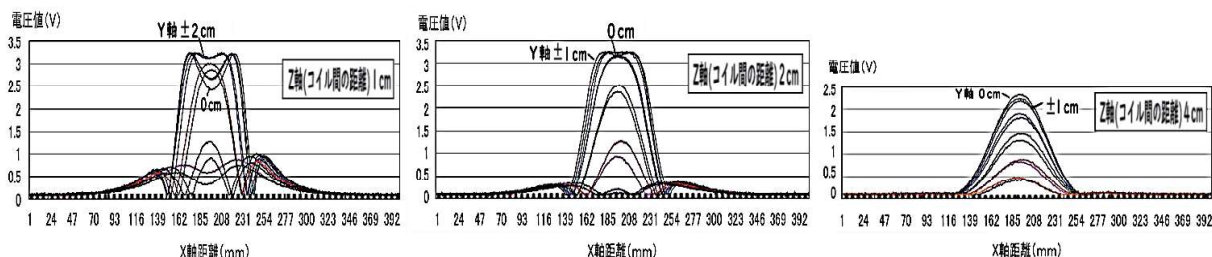
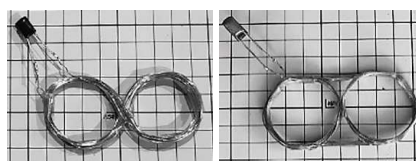


図12 X Y Z軸の相対位置と受電電圧値の関係

(4) 効率よく広範囲で受電できるコイルの形状組合せ

コイル・コンデンサ・電圧・電流  
 : 実験2(2)(3)と同じ  
 コイルの角度 : 0°  
 コイル間の距離(Z軸) : 4 cm  
 アクチュエーター  
 : X軸(縦)…1cm/sで400mm  
 : Y軸(横)…0cm  
 コイルの形状 : 円形、長方形、楕円形、  
 ∞字、改良型∞字

図13 実験2(4)の設定条件



∞字 改良型∞字  
 ※ 改良型∞字  
 同じ方向に巻いた3つの円形コイルから構成されている。  
 ∞字とは異なり、交点がなく、電圧が落ちるコイルのくびれ部分を補うように直線が入ったコイル。

図14 コイルの形状

図13の設定で、コイルを2個ずつ組み合わせることで実験をした結果、円形同士の組合せのときに、受電電圧(2.8V)、受電範囲(98mm)のどちらも最大になった。さらに、コイルの真横に共振誘導コイル

を置くと、最大電圧(2.5V)の数値は下がるが、受電範囲(140mm)は42mm広がった。また、複数の円で構成する図14のコイルのうち、受電・送電コイルが共に改良型∞字コイルの場合には、受電電圧(2.7V)は円形のとおり同じくらい大きく、しかも、共振誘導コイルを加えたときの受電範囲(1個:166mm、2個:211mm)が円形よりも大きく広がることも分かった。

(5) レゴEV自動車作成のために導き出した条件

実験2の結果から、充電しながら走り続けるレゴEV自動車作成の条件を表2のように設定した。

作成の観点	実験の結果から導き出した条件
共振周波数	100kHz くらい
送電コイルに対する受電コイルの角度	0°
Y軸・Z軸の範囲	Y軸 = 0 cm、Z軸 = 4 cm
受電・送電コイルの形状	改良型∞字コイル
共振誘導コイル	改良型∞字コイル 1個 ※ レゴEV自動車の大きさから1個を選択

表2 レゴEV自動車作成のための条件

6 実験3 充電しながら走り続けるレゴEV自動車を作成し、走らせる

観点	結果
ア レゴEV自動車が、給電地点で電池(電気二重層コンデンサ)に充電できたか。	○ 電池をE(空)の状態からF(満充電)の状態にすることができた。
イ レゴEV自動車が、給電地点を通過したときに、走行しながらの充電ができたか。	○ レゴEV自動車が給電地点を通過した後に、電圧表示の数字が上がった。(図16) このことから、走行中に給電地点を通過することで電池に充電されたことが確認できた。
ウ レゴEV自動車が、給電地点を通過したときに充電した電力で、走り続けることができたか。	× 給電地点で充電する電気量よりも、モーターを動かすための電気量の方が大きかったため、充電しながら走り続けることは、今回の実験では実現できなかった。

表3 レゴEV自動車走行に関する観点と結果

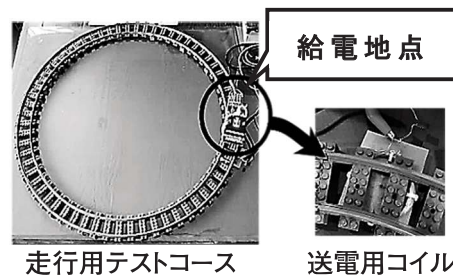


図15 給電地点の送電用コイル

		1回目	2回目	3回目	4回目	5回目	6回目	平均
走行距離 (cm)	充電なし	546.0	500.0	389.0	423.0	592.0	537.8	498.0
	充電あり	672.3	545.1	458.2	479.1	586.2	539.8	546.8
走行時間 (秒)	充電なし	24.09	21.19	24.72	22.41	21.65	19.86	22.32
	充電あり	28.88	26.42	24.91	21.60	22.51	20.13	24.08

表4 走行時の充電の有無による走行距離・走行時間の比較

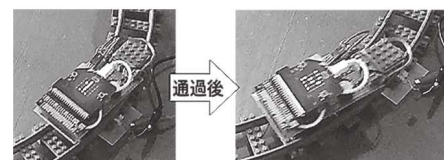


図16 レゴEV自動車が給電地点を通過したときの様子

表2の条件に基づきレゴEV自動車を作成し、走行させた結果が表3・表4である。

給電地点(図15)に置いた自動車をワイヤレスで満充電することができた。また、走行しながらの充電は、電圧表示の数字の上昇(図16)と、充電ができる場合の走行距離(9.8%)や走行時間(7.9%)が伸びたことから確認できた。しかし、電気量は給電地点で上がるものの走行で消費する方が大きく、自動車は走り続けられなかった。満充電したレゴEV自動車の車輪は、74秒間回転した。このことから、車輪の摩擦や自動車の重量(2.23N)などで走行時間が70%も減少したことが明らかになった。充電しながら走り続けるには、モーターの容量以外にも様々な条件を考慮する必要がある。

7 終わりに

僕はいつも、マイケル・ファラデーの言葉、「何かが起こったら、必ず、特にそれが新しいもののときは、『原因は何だろう? どうしてこうなるのだろう?』と考えるべきです。いずれその答えが見つかるでしょう。」を心に留めながら研究を行っている。「磁気共振によって充電しながら走り続けるレゴEV自動車」にならなかったのはどうしてだろうと考えることは、世界中から電気コードがなくなり、現在では魔法のようにしか思われえない技術が当たり前となる未来を拓いていくことにつながっていると思う。

8 参考文献

- [https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/7/1/7\\_13/\\_pd](https://www.jstage.jst.go.jp/article/bplus/7/1/7_13/_pd)
- [https://www.daihen.co.jp/technologygeeks/cat01/cat01\\_04/72/](https://www.daihen.co.jp/technologygeeks/cat01/cat01_04/72/)