

# バイダイレクショナル方式によるワイヤレス給電システムの基礎的共振回路構成に関する検討

著者	安部 拓馬, 宮原 敏, 佐藤 文博
雑誌名	東北学院大学工学部研究報告
巻	52
号	1
ページ	1-4
発行年	2018-02
URL	<a href="http://id.nii.ac.jp/1204/00024113/">http://id.nii.ac.jp/1204/00024113/</a>

研究論文

# バイダイレクショナル方式によるワイヤレス給電システムの 基礎的共振回路構成に関する検討

## Study of fundamental resonance circuit configuration in wireless power supply system using bidirectional method

安部 拓馬\*  
Takuma ABE

宮原 敏\*\*  
Satoshi MIYAHARA

佐藤 文博\*\*  
Fumihiro SATO

### Abstract:

In recent years, the EV conversion process has been progressing in the automobile industry. In this study, we aim to make an effective use of the in-vehicle battery of the EV as a household power supply. Therefore, it is necessary to enable a unidirectional power supply from home to the EV in the current situation, to supply power in both EV and home. Thus, it is necessary to devise a scheme that enables the bidirectional feeding of EV and home from the unidirectional (household electricity supply to EV) current. This experiment was conducted to confirm if electricity can be supplied from the in-vehicle side to the ground side by using the standard specification coil for EV mounting in a wireless power supply system. The experimental results confirmed that the power supply in the reverse direction can be performed with the same efficiency as that in the forward direction. However, it was observed that the resonance condition needs a control that is different from that in the forward direction.

**Keywords:** Wireless power supply, Electric vehicle, Bidirectional power supply, Resonance circuit

## 1. 研究背景

近年の電気自動車(EV)は、EV 専門メーカーである米国テスラ社の躍進や、日本ではトヨタとマツダの資本提携による EV 共同開発が発表される等、様々な話題が報道されている。またイギリスとフランスでは 2040 年に内燃機関を搭載した車の廃止が予定され、中国においても同様の検討が報道される等、自動車産業における世界での EV 化が顕著である。

そこで、EV の車載電池を駆動用のエネルギー源として考えるだけでなく、電源ステーションとしての有効活用を図るとというのが本研究の背景である。EV を単なる車としてだけでなく、生活の中での電源ステーションとしても利用する事で、社会インフラが大きな転換期を迎えることを意味する。

現状では、EV の普及に伴って充電方式や充電システム自体の利便性が着目されており、市販 EV やプラグインハイブリッドカーにおけるワイヤレス給

電の実用化が目前である。日本においては、電装メーカーが長野市の循環バスにて社会実証済みであり、海外ではメルセデス・ベンツが 2018 年の市販車モデルからワイヤレス給電システムの採用を決定している。

近年における化石燃料の枯渇や、2011 年に発生した東日本大震災の影響による原子力発電所の停止等の問題に対して、「スマートハウス」、「マイクログリッド」や再生可能エネルギーの利用を考慮した電力自由化などのエネルギー源見直しの議論が為されてきた。これは、家庭におけるエネルギー利用形態の変化、つまり電気インフラの変化を意味する。ここに、EV 電源を日常電源として活用できるシステムが組み込まれれば、さらにエネルギーを有効利用できるようになると考えられる。

上述の新しいインフラとも呼べるエネルギー形態の構築には、EV に搭載したワイヤレス給電装置と、家庭用電源との双方向給電システム<sup>[1]</sup>の構築が必要不可欠である。現状では、ワイヤレス給電は家庭側から EV 側への一方向の給電であるが、

\* 東北学院大学大学院

\*\* 東北学院大学

将来的には家庭からEV, EVから家庭という双方向での給電というシステムを想定している. この双方向給電システムの構築によって, 一例としては, 日中は太陽光などの再生可能エネルギーをEVの車載電池へ電気エネルギーとして蓄電し, 夜間にはその電力を夜間電力の補償に充てる, または非常用電源として活用する, という使い方を想定している.

## 2. 実験概要

### 2.1 ワイヤレス給電に関して

ワイヤレス給電とは, 物理的接触なしに電力を伝送するものである. これにより, 防塵や防水を考慮する必要がなくなるため, 充電等の利便性が向上する. また, 大きな空隙を介す事で, 送受電間の位置自由度が増大する.

ワイヤレス給電には様々な方式があるが, 本実験にて用いるのは一般的な変圧器等に用いられる電磁誘導方式という方式である. この方式は, 1次側コイルに電力を供給することで磁界を発生させ, 2次側コイルにその磁界による誘導電流を発生させるというものである. 回路に静電容量を追加することで共振現象を発生させ, 特定の周波数でより電力伝送の効率を高めることができる. 近年はEVから家庭用蓄電池への電気エネルギー共有等を実現するVtoH(Vehicle to Home)が提案され, 双方向ワイヤレス給電の要望も高まっている.

### 2.2 実験目的

EVワイヤレス給電の仕様<sup>[2]</sup>としては, 国内に於いて2013年に電力伝送周波数85kHz, 普通車電力3.3kWと策定されたため, この数値を参照して実験を行う.

現在, 我々は企業との共同研究において3.3kWクラスのEV搭載用標準仕様コイルを開発済みである. 本実験は, このコイルを用いて1次側と2次側機能を逆転させた際の給電可否を確かめることで, 双方向での給電システムの構築の足がかりとすることを目的としている.

## 3. 実験機材

今回の実験システムで使用するコイルは, 開発済みの標準仕様が想定されている3.3kWクラスの1次・2次側コイル, LC共振回路及び1次直列2

次並列型の共振回路<sup>[3]</sup>である.

3.3kWクラスコイル<sup>[4]</sup>は, 形状はスパイラル形状となっていて, サイズは位置ずれの許容のために一次側コイルは二次側コイルよりも大きくなっている<sup>[5][6]</sup>.

電力供給はインバーター電源を用い, 負荷は電子負荷を用いた.

Fig. 1に1次直列2次並列共振回路の構成概略図を, Fig. 2に実際に使用したコイルを示す.

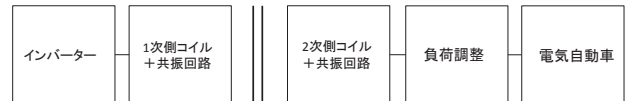


Fig. 1 共振回路構成の概略図

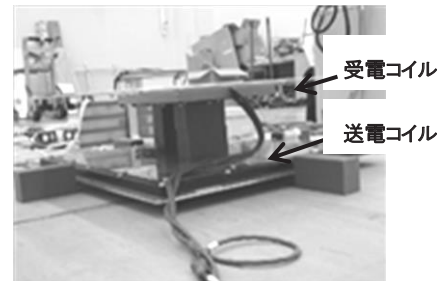


Fig. 2 送受電コイル

また, 参考として標準仕様コイルにて3.3kW給電時の特性をFig.3に示す. すべてのギャップ帯において電力伝送効率は概ね90%前後を得ている.

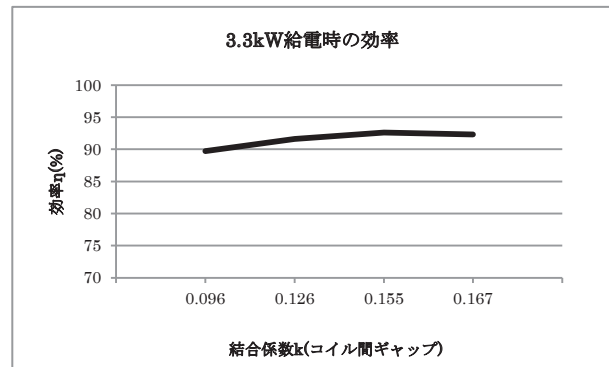


Fig. 3 標準仕様コイル 3.3kW 給電時の特性

## 4. 実験方法

### 4.1 実験内容

標準仕様コイルは一次, 二次共振回路共に直並列の合成回路で最適な動作点を得るように設計されている. 今回の実験では標準仕様コイルをそのまま双方向(二次側から一次側)で使用可能か検討を行うため, まずは基本特性を得るために共振

パターンを固定して検討を行った<sup>[7]</sup>。実際には直列・並列それぞれの共振における 2 パターンについて実験を行った。

前項 3 に示した内容を用いて、まずは 1 次側から 2 次側への給電を行い、次にインバーター電源・電子負荷はそのままに 1 次側と 2 次側の回路を入れ替えて給電を行い、電子負荷に供給された電力とその効率を確認した。

ここで、順方向給電と逆方向給電の定義を Fig. 4, Fig. 5 に示す。順方向給電を一次側から二次側への給電、逆方向給電は二次側から一次側への給電とする。逆方向給電は、順方向給電の 1 次側コイル+共振回路と 2 次側コイル+共振回路を入れ替えたものと定義する。

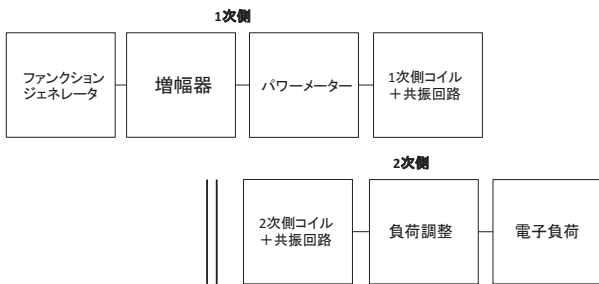


Fig. 4 順方向給電の定義

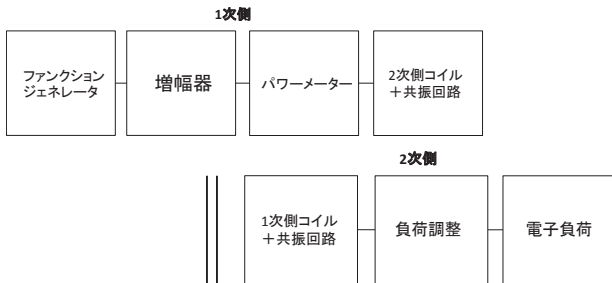


Fig. 5 逆方向給電の定義

表 1, 表 2 に共振回路の構成を示す。Fig. 6 に示したパターン 1 は共振回路に直列回路と並列回路を用いた構成で、Fig. 7 に示したパターン 2 は直列回路のみを用いた構成である。また、パターン 1, 2 の実際のパラメータも併せて Fig. 6, Fig. 7 に示す。

表 1 パターン 1 の共振回路の構成

	一次側	二次側
順方向	直列	並列
逆方向	並列	直列

表 2 パターン 2 の共振回路の構成

	一次側	二次側
順方向	直列	直列
逆方向	直列	直列

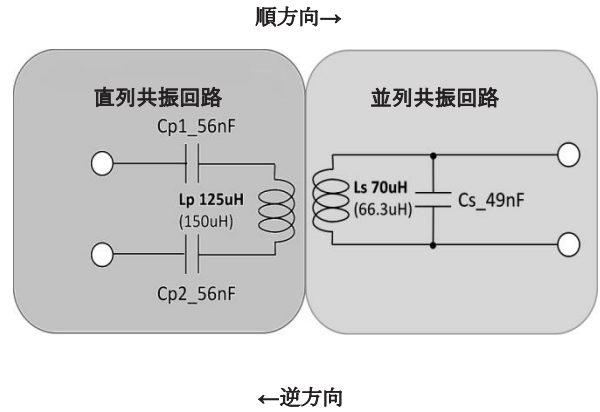


Fig. 6 パターン 1 の実際のパラメータ

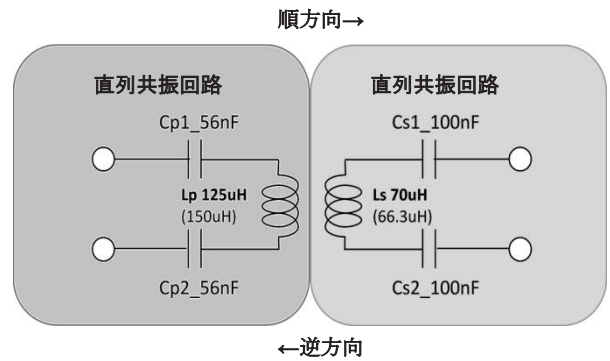


Fig. 7 パターン 2 の実際のパラメータ

今回の実験では、使用周波数を 米国自動車技術会(SAE)が定めた規格である 85kHz に設定している。順方向給電と逆方向給電においては共振周波数がある程度上下するが、いずれもこの規格を遵守している。また、一般家庭における最大出力も同規格により 3.7kW と定められており、本実験では最大 3.3kW の送電を想定している。

## 4.2 実験条件

コイル間ギャップを 70 mm(標準仕様)とし、ギャップの確保には磁界の影響を受けないようセラミックスブロックを用いた。実際のギャップの状態を Fig. 8 に示す。また、今回の実験は双方向駆動の初期検討のため、安全を確認しながらまずは数百 W 程度での運転で実験を行った。

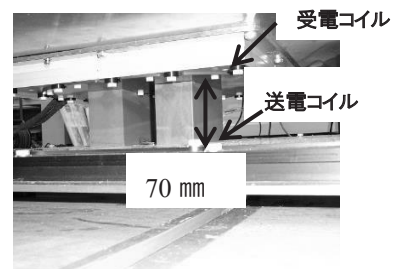


Fig. 8 実験でのコイル間ギャップの状態

## 5.実験結果

まずはパターン1の構成で実験を行った。

パターン1では、順方向給電・逆方向給電共に標準仕様周波数近辺では電源とのマッチングができず、駆動できなかった。

次に、パターン2の構成で実験を行った。表3、表4に実験結果を示す。パターン2では、順方向・逆方向給電共に給電を確認できた。両方向の給電において、高効率で給電が可能であることを確認する事ができた。

表3. パターン2・順方向給電

R_load [Ω]	Frequency [kHz]	Vac [Vrms]	Iac [Arms]	Pin [W]
30	83.4	8.3	3.9	32.4
20	83.4	12.1	3.9	47.2
10	83.4	22.7	3.9	88.5
5	84.9	44.7	3.84	171.6
2.5	84.8	68.5	3.2	217.9

$\lambda$ in	Vdc[V]	Idc[A]	Pout[W]	$\eta$ [%]
1	28	0.94	26.32	81.3
1	28	1.43	40.04	84.8
1	27.5	2.78	76.45	86.4
1	27.1	5.47	148.24	86.4
0.994	21.2	8.51	180.41	82.8

表4. パターン2・逆方向給電

R_load [Ω]	Frequency [kHz]	Vac [Vrms]	Iac [Arms]	Pin [W]
30	82.5	7.8	3.9	30.4
20	82.5	11	3.9	42.9
10	81	15	3.9	58.5
5	79.1	9.2	3.89	35.8
2.5	78.6	5.8	3.89	22.6

$\lambda$ in	Vdc[V]	Idc[A]	Pout[W]	$\eta$ [%]
1	27.1	0.95	25.75	84.6
1	26.8	1.38	36.98	86.2
1	22.1	2.23	49.28	84.2
1	11.6	2.32	26.91	75.2
1	6	2.34	14.04	62.2

## 6.考察、課題

3.3kWクラスのEV搭載用標準仕様コイルにて、一次二次共に直列共振モードの場合は小型車載電源で逆方向(双方向)での給電が可能であることを確認できた。

標準仕様に於ける回路構成での実験では高効率での出力を確認できた。実際の標準仕様コイルは順方向での電力伝送を最適化するために直並列共振を同時にチューニングしているが、逆方向の場合は直列共振モードに比重を置いた制御が必要であることがわかった。今後は、シミュレーションを用いて、共振周波数を定められた規格内に収めつつ、逆方向での直並列状態における最適なチューニング割合を見つけ出すことが必要である。

また、今回は2つの回路構成にて実験を行ったが、どちらの構成においても順方向、逆方向の伝送効率はほぼ同じ値であることが確認できた。

## 7.参考文献

- [1] 望月大樹:「双方向非接触給電の基礎検討」, 電気学会研究会資料, 半導体電力変換研究会(2011), pp. 23-28
- [2] 日下佳祐:「電磁誘導現象を用いた非接触給電システムの開発動向」, 電気学会研究会資料, MD(2016), pp. 81-94-96
- [3] 望月大樹:「一方向非接触給電から拡張容易な双方向非接触システム」, 電気学会論文誌D, Vol.133, No.7(2013), pp. 707-713
- [4] 藪本卓也:「3kW双方向非接触給電システム」, 信学技報 Vol. 116, No.238(2016), pp. 13-17
- [5] 安倍秀明:「双方向磁気結合給電の効率に関する考察」, 電気学会研究会資料, 半導体電力変換研究会(2013), pp. 1-6
- [6] 佐藤文博:「ワイヤレス給電用コイルのパラメータ推定に関する基礎的検討」, 電子情報通信学会講演論文集(2012), p. 2
- [7] 佐藤文博:「電磁誘導型ワイヤレス給電における性能指標を用いた負荷整合の条件」, 電気学会研究会資料. MAG, マグネティックス研究会(2010), pp. 33-38