

ワイヤレス電力伝送における送受電コイルの パラメータ変化を用いた位置推定に関する基礎研究

平 貴仁*, 居村 岳広 (東京理科大学)

A Basic Study on Position Estimation Using Parameter Change of Transmitting and Receiving Coil
in Wireless Power Transmission

Takahito Taira, Takehiro Imura (Tokyo University of Science)

1. はじめに

本論文はワイヤレス電力伝送を搭載したロボットの位置センサに向けた基礎研究を行う。

一般にロボットの位置推定方法として GPS、ジャイロセンサ、カメラセンサなど様々な例が挙げられる。先行研究ではベイズフィルタや SLAM などの統計データに基づき位置推定法を提案されている⁽¹⁾。しかしロボットに位置を搭載するとシステムとしてかなり複雑になる。よって本論文では、付属された位置センサを使わず、ロボットに組み込まれたワイヤレス電力伝送のコイルのみを利用して位置推定できる可能性について検討する。

2. 提案法と実験方法

<2・1>提案法 最初に提案法について説明する。本論文では基礎検討のためロボットを使用せず、ワイヤレス電力伝送で使用する送受電コイルのみを使用して行う。位置推定方法として、壁に埋め込まれた受電コイルの位置情報を送電コイル側が検知する。使用するワイヤレス電力伝送の回路は、大電力かつ長距離伝送できる S-S 方式を使用する⁽²⁾。S-S 方式とは、1, 2 次側に共振構造を持つ回路である。本稿で提案する位置推定方法は、送受電コイル間の距離(g)を広げ、パラメータの変化により位置を推定する。本実験で比較するパラメータは共振周波数の差 $f_e - f_m$ 、入力インピーダンスの実数成分 $Z_{in1}(Real)$ である。

<2・2>実験方法 使用する素子は S-S 方式で使われる送受電コイル L_1, L_2 、共振コンデンサ C_1, C_2 、二次側負荷 R_L である。測定機器はパラメータを測定するインピーダンスアナライザである。使用した等価回路を Fig.1 に、共振コンデンサを入れた状態の送受電コイルのパラメータを Table.1 に示す。

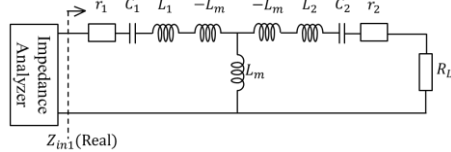


図 1 使用した S-S 方式等価回路

Fig.1. S-S method Equivalent Circuit

表 1 使用した送受電側の素子の各パラメータ

Table.1. Parameters of each element used

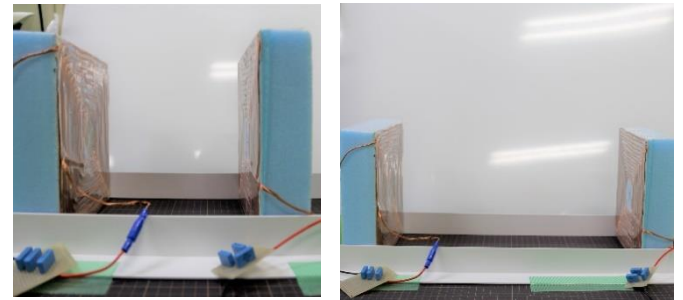
	送電側	受電側
コイルの大きさ[mm]	200×200	200×200
コイルの巻数 N_1, N_2	14	14
共振周波数 f_0 [kHz]	940	941
内部抵抗 r_1, r_2 [mΩ]	505	555
共振コンデンサ C_1, C_2 [nF]	1.23	1.01

次に測定方法について説明する。

- ① 送受電コイルの g を 0cm~20cm まで各 1cm ずつ、20cm~50cm まで各 5cm ずつ変化させて測定した。実験の様子として Fig.2 に写真を示す。
- ② 負荷 $R_L = 1\Omega, 10\Omega, 20\Omega$ と素子を変えて、それぞれについて①を繰り返した。
- ③ インピーダンスアナライザで測定したパラメータは $f_e - f_m, Z_{in1}(Real)$ について、横軸 g 、縦軸各パラメータでグラフ化した。

3. 実験結果と理論式との比較

<3・1>実験結果 実験結果をグラフ化したものを Fig.3 と Fig.4 に示す。



(a) $g = 20\text{cm}$

(b) $g = 40\text{cm}$

図 2 実験の様子

Fig.2. Outline of the Experiment

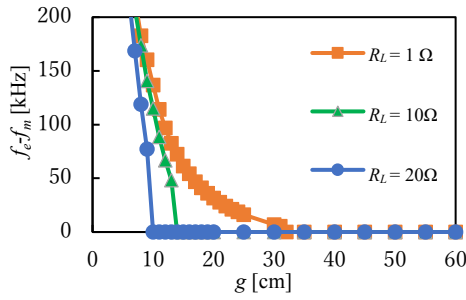


図3 ギャップ g と共振周波数の差 $f_e - f_m$

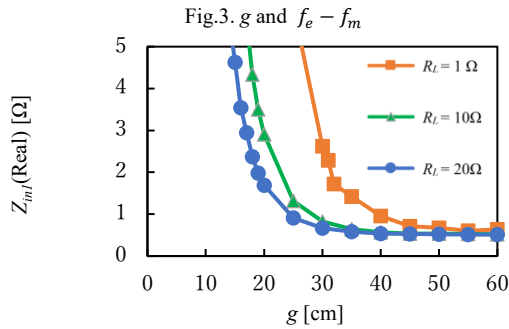


図4 ギャップ g と $Z_{in1}(Real)$

Fig.4. g and $Z_{in1}(Real)$

g と $f_e - f_m$ のグラフ Fig.3 について、 $R_L = 1\Omega$ の時 $g = 30\text{cm}$ で値は一定となり、 $R_L = 10\Omega$ で $g = 13\text{cm}$ 、 $R_L = 20\Omega$ で $g = 9\text{cm}$ で値は一定となる。つまり負荷 R_L の値が小さいほど検出可能距離は大きくなると言える。 g と $Z_{in1}(Real)$ のグラフ Fig.4 について、 $R_L = 1\Omega$ は $g = 45\text{cm}$ で値は一定となるが、変化が小さいため、推定可能距離は 35cm 程度と分かる。 $R_L = 10\Omega$ で $g = 30\text{cm}$ 、 $R_L = 20\Omega$ で $g = 25\text{cm}$ で値は一定となる。 $f_e - f_m$ と $Z_{in1}(Real)$ を比較すると $Z_{in1}(Real)$ がより遠方まで位置推定可能であるといえる。また R_L を変えたことによる変化は小さい。よって $f_e - f_m$ と $Z_{in1}(Real)$ を比較した際、 $Z_{in1}(Real)$ が位置推定に使えるパラメータであると言える。

<3・2> $Z_{in1}(Real)$ の理論値と実測値の比較 入力インピーダンス $Z_{in1}(Real)$ の理論式について、Fig.1 についてキルヒホッフの法則を解くと(1)式のように示される⁽²⁾。また理論値と実測値を比較したグラフを Fig.5～Fig.7 に示す。

$$Z_{in1}(Real) = r_1 + \frac{(\omega_0 L_m)^2}{r_2 + R_L} \quad (1)$$

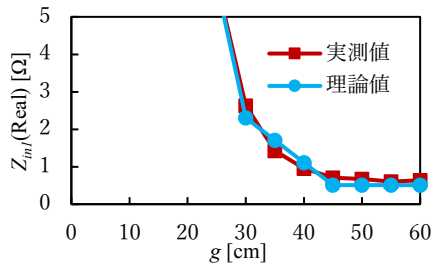


図5 ギャップ g と $Z_{in1}(Real)$ ($R_L = 1\Omega$)

Fig.5. g and $Z_{in1}(Real)$ ($R_L = 1\Omega$)

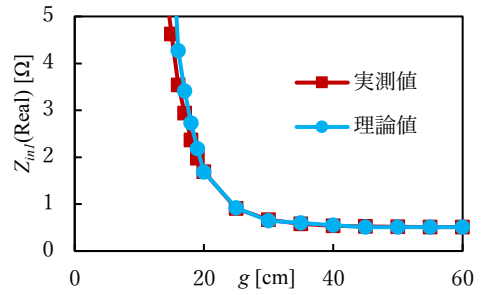


図6 ギャップ g と $Z_{in1}(Real)$ ($R_L = 10\Omega$)

Fig.6. g and $Z_{in1}(Real)$ ($R_L = 10\Omega$)

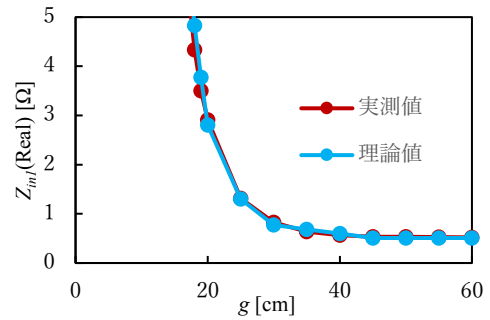


図7 ギャップ g と $Z_{in1}(Real)$ ($R_L = 20\Omega$)

Fig.7. g and $Z_{in1}(Real)$ ($R_L = 20\Omega$)

Fig.5～Fig.7 について理論値と実測値はほぼ一致した。多少の誤差の要因について説明する。実験で使用した送受電コイルは同じ設計のものを作成したが、僅かなずれがあり非対称コイルと言える。そのコイルを利用して g を大きくすると共振周波数もわずかに変化する。よって式(1)の ω_0 が変化するため誤差が生じたと考えられる。

4. まとめ

実験結果より次のことが言える。負荷 R_L が小さいほど位置推定可能な距離は大きくなり、パラメータ毎により位置推定可能な距離も変化する、最大で 35cm まで推定可能であることが分かった。理論値と実測値はほぼ一致し、提案手法が有効であることがわかった。

謝 辞

本研究の一部は JSPS 科研費 17H04915 の助成を受けたものです。

文 献

- (1) 鈴木泰斗, 中村壮亮, 今西淳一, 橋本秀樹, 「無線充電ロボットを用いたモバイル機器へのシステムにおけるナビゲーション機能の提案」, Proceedings of the 2015 JSME Conference on Robotics and Mechatronics, Kyoto, Japan May17-19, 2015
- (2) 居村岳広, 「磁界共鳴によるワイヤレス電力伝送」 森北出版株式会社, 2017