

# 差込式非接触給電トランスの開発と性能評価

柿沼 賢造\*, 金子 裕良 (埼玉大学)

Development and Evaluation of Insertion Type Wireless Power Transformer  
Kenzo Kakinuma\*, Yasuyoshi Kaneko (Saitama University)

## 1. はじめに

近年、ショートによる発火や感電の危険性がない非接触給電技術を家庭内直流給電のコンセントプラグに用いる研究が進められている<sup>(1)</sup>。非接触コンセント用トランスは小型軽量の形状が望まれ、ギャップ長が短い位置ずれに対して強いことが望まれる。更に機器や人体への影響を考慮し、漏洩電磁界を抑制する構造を考慮する必要がある。本稿では差込式非接触コンセントとして適応可能な薄型コの字ソレノイドトランスを提案し、給電実験を行って空芯円形形状のトランスと性能比較した。また電磁遮蔽用アルミ板による漏洩電磁界の低減効果について検討する。

## 2. 非接触給電システム

図 1 に一次直列二次並列コンデンサ方式(SP 方式)を用いた非接触給電システムの構成を示す<sup>(2)</sup>。フルブリッジインバータで方形波電圧を出力し、二次側で全波整流器を通じ、バッテリーを模擬した抵抗負荷へ給電する。

図 2 に詳細等価回路を示す。一次側諸量は二次側に換算し(ダッシュ)をつけて表す。二次側並列コンデンサ  $C_p$  は二次側自己インダクタンス  $L_2$  と共振するように、一次側直列コンデンサ  $C_s$  は一次側電源力率が 1 となるよう(1)式の値に定める。このとき(2)式のような変圧比  $b$  の理想変圧器特性が成り立つ。また、鉄損を無視し、銅損のみを考慮したトランス効率  $\eta$  は(3)式のように表される。(3)式よりトランスの最大効率  $\eta_{max}$  とそのときの負荷抵抗値  $R_{Lmax}$  は(4)式で表される。

$$\frac{1}{\omega_0 C_p} = \omega_0 L_2 = x_p = x'_0 + x_2, \frac{1}{\omega_0 C_s} = x'_s = \frac{x'_0 x_2}{x'_0 + x_2} + x_1 \dots (1)$$

$$V'_{IN} = bV_2, I'_{IN} = I_D/b, b = \frac{x'_0}{x'_0 + x_2} \dots (2)$$

$$\eta = \frac{R_L I_L^2}{R_L I_L^2 + r'_1 I'^2_{IN} + r_2 I_2^2} \dots (3)$$

$$\eta_{max} = \frac{1}{1 + \frac{2r_2}{x_p} \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r'_1}{r_2} + 1}}, R_{Lmax} = x_p \sqrt{\frac{1}{b^2} \frac{r'_1}{r_2} + 1} \dots (4)$$

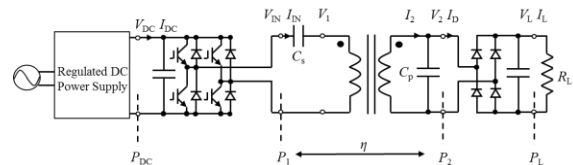


図 1 非接触給電システム

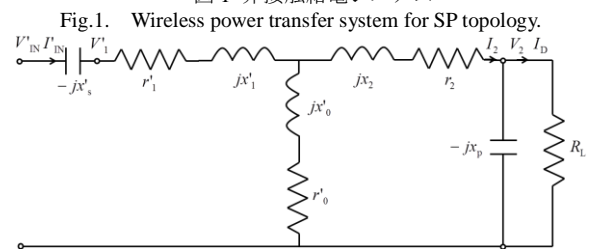
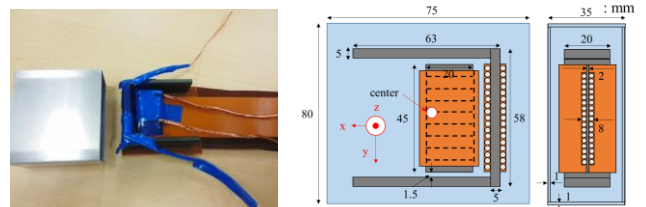


図 2 詳細等価回路  
Fig.2. Detailed equivalent circuit.



(a) トランス外観 (b) 寸法

図 3 薄型コの字ソレノイドトランス

Fig.3. U-shaped thin solenoid transformer.

## 3. 非接触給電トランス

薄型コの字ソレノイドトランスの外観、寸法を図 3、仕様を表 1 に示す。コの字ソレノイドトランスは外側の一次側トランスの磁極部を拡張しているため、内部に挿入する小型二次側トランスの位置ずれによる効率低下も少ない<sup>(3)</sup>。今回はバッテリーへの充電を考慮して入力 100V、出力 40V、1.25A、50W の仕様で設計した。コアにはフェライト、巻線にはリッツ線を用いた。二次側トランスはコア断面積が小さいと磁気飽和、自己インダクタンスが小さいと過電流、並列数増加による巻線厚みの増加が考えられる。トランスが過電流、磁気飽和せず、薄型化を維持できるようにコア寸法、巻数比を考慮した。装置全体は二次側コイルを挿入する面以外の 5 面を電磁遮蔽用アルミ板(AIC : Aluminum case)で覆った。トランスの一次側はコアによりコの字型に構成され、二次側は厚さ 2mm のフェライトを繋げて構成し

表 1 トランス仕様

Table 1. Specifications.

Type	Solenoid +AIC
Frequency[kHz]	90
Gap[mm]	1.5
$N_1$ [T]	61(1p)
$N_2$ [T]	18(6p)
$P_1$ [W]	50
$\Delta_2$ [A/mm <sup>2</sup> ](limit)	3.00
$B_2$ [T](limit)	0.30

表 2 給電実験結果

Table 2. Experimental results.

Type	Solenoid+AIC
$V_{IN}$ [V]	96.9
$V_2$ [V]	31.1
$I_2$ [A]	3.57
$V_1$ [V]	40.9
$I_1$ [A]	1.23
$P_1$ [W]	50.3
$\eta$ [%]	94.0
$\Delta_2$ [A/mm <sup>2</sup> ]	2.53
$B_2$ [T]	0.108

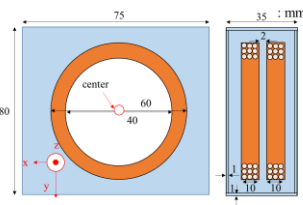
表 3 比較実験結果

Table 3. Comparing experimental results.

Type	Solenoid +AIC	Solenoid	Circular +AIC	Circular	Circular +FMS	Circular +FMS+AIC
$r_{o1}$ [mΩ]	2810	914	1550	933	2640	2920
$r_{o2}$ [mΩ]	99.4	98.0	144	66.1	232	259
$k$	0.560	0.385	0.364	0.489	0.549	0.498
$b$	0.804	0.699	0.360	0.476	0.535	0.492
$L_1$ [μH]	416	683	140	206	265	238
$L_2$ [μH]	17.6	18.1	12.5	18.9	24.3	21.2
$R_{Lmax}$ [Ω]	21.9	16.7	20.3	27.1	29.0	27.0
$\eta_{max}$ [%]	95.8	97.0	89.5	97.0	93.3	91.2
$\eta$ [%](Exp)	94.3	93.5	90.5	96.9		



(a)トランス外観



(b)寸法

図 4 空芯円形トランス

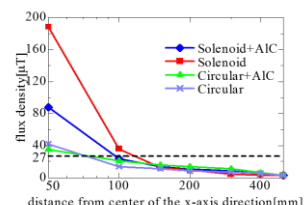
Fig.4. Coreless Circular Transformer.

た。製作したトランスの漏洩磁界とアルミ板による遮蔽効果について検討するために図 4 に示す、コの字ソレノイドトランスと同じ電源周波数、ほぼ同寸法、同巻数の空芯円形トランスを作製した。比較パターンとしてソレノイドトランス、円形トランスそれぞれに電磁遮蔽用アルミ板を用いた場合と用いなかった場合について検討した。また、アルミ板の渦電流損を低減するために、遮蔽板と空芯円形トランスの間(トランスから 2mm の距離)に磁気シート(日立金属製ファインメットシート:FMS)を差し込んだパターンについても検討した。

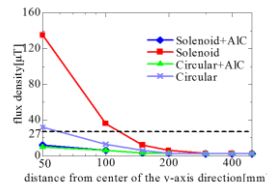
#### 4. 実験結果

薄型コの字ソレノイドトランスの給電実験結果を表 2 に示す。表 1 で設定した電流密度、磁束密度の許容値を下回っており、トランス効率 94.0%を実現した。また、ソレノイドトランスと空芯円形トランスの比較結果について表 3 に示す。上段の値は LCR メータによる定数測定から算出し、下段の値は直流負荷抵抗の値を調整して得た給電実験時の最高効率値である。ソレノイド型にアルミ板を用いると  $k$ 、 $b$ 、 $r_{o1}$  が増加し、 $L_1$  が減少するが  $k$  が増加するため銅損による効率低下は 1.2%に収まる。一方、空芯円形の場合、 $r$  が増加、 $k$ 、 $L$  が減少するため銅損による効率低下が 7.5%と大きい。給電実験による鉄損も考慮した効率の測定よりソレノイド型はアルミ板による効率の低下がなく、空芯円形はアルミ板による効率の低下が 6.4%であった。

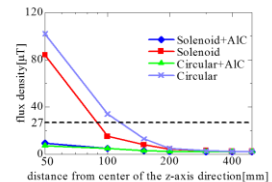
トランス中心から  $x$ 、 $y$ 、 $z$  の三方向について測定した漏洩磁束密度を図 5 に示す。ソレノイド型は  $x$ 、 $y$  方向、空芯



(a)x 方向



(b)y 方向



(c)z 方向

図 5 各方向の漏洩磁束密度

Fig.5. Leakage flux density of each direction.

円形は  $z$  方向の漏洩磁束が強く、ICNIRP2010 の基準値  $27\mu T$  を上回ることを確認した。また、電磁遮蔽用アルミ板によりどちらのトランスでも  $y$ 、 $z$  方向の漏洩磁束が基準値以下になることを確認した。ただし、開口面  $x$  方向の漏洩磁束は基準値を下回っていないため実用的には開口面もアルミ板で覆う構造を検討する必要がある。以上の検討よりソレノイド型トランスに電磁遮蔽用アルミ板を組み合わせても効率の低下がなく、漏洩磁界が低減可能であると考えられる。

#### 5. まとめ

差込式非接触コンセントにも適応可能な二次側寸法が  $45 \times 20 \times 8 \text{mm}$  のトランスに  $50W$  給電し、効率 94.0%を実現した。ソレノイド型トランスに電磁遮蔽用アルミ板を用いると効率の低下がなく漏洩磁界の遮蔽が可能であることを検証した。

#### 文献

- (1) 小鹿他:電学論 D Vol.135,No.1,pp.49-57(2015)
- (2) 阿部他:電学誌 Vol.128,No.12,pp.796-799(2008)
- (3) 吉岡他:平成 26 年電学全大 No.4-091,pp.150-151(2014)