

# 非接触給電によるワイヤレス励磁同期電動機

野沢 亨介\*, 谷藤 光, 金子 裕良, 阿部 茂 (埼玉大学)

Wireless Excitation Synchronous Motor by Contactless Power Transfer System

Ryosuke Nozawa\*, Hikaru Tanifuji, Yasuyoshi Kaneko, Shigeru Abe (Saitama University)

## 1. はじめに

レアアースフリーモータ開発の一環として、ワイヤレス励磁同期電動機を研究している。従来、電磁石を回転子に用いた同期電動機や発電機では、回転子の励磁方式としてスリップリングやブラシレス励磁が用いられてきた。スリップリングは接点を持つので、回転速度に制限があり、摩擦や粉塵が生じる。一方、ブラシレス励磁は接点を持たない方式であるものの、始動時に回転子を励磁できない。これらの問題点を改善する方式として、回転型非接触給電トランスを用いた励磁方式が提案されている<sup>(1)</sup>。この方式は、回転速度に制限がなく、接点不良や摩擦、粉塵、火花が生じず、クリーンでメンテナンスフリーといった特徴がある。また、回転子に電磁石を用いるので、界磁制御が可能となり、回転時の引き摺り鉄損や逆起電力を抑えられる。さらに、発熱や経年劣化による減磁が生じないので、高効率化が期待できる。

本論文では、漏れリアクタンス補償用の共振コンデンサを、一次側に直列、二次側に並列接続した一次直列二次並列コンデンサ方式(SP方式)の回転型非接触給電システムを構築した。8kW励磁同期電動機の励磁回路(回転子側)への給電実験を行い、励磁巻線などインダクタンス成分を含む負荷に給電する場合においても、本方式は給電効率が高くインバータの出力効率も高いことを確認した。

## 2. 回転型非接触給電システム

回転型非接触給電システムの構成を図1に示す。SP方式では、 $C_s$ ,  $C_p$ の値を次のように決定すると、理想変圧器特性が成り立ち、変圧比 $b$ の理想変圧器と等価になる<sup>(2)</sup>。

$$\frac{1}{\omega_0 C_p} = x_p = x'_0 + x_2 \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{1}{\omega_0 C'_s} = x'_s = \frac{x'_0 x_2}{x'_0 + x_2} + x'_1 \dots\dots\dots (2)$$

$$V'_{IN} = bV_L \quad I'_{IN} = I_D / b \quad b = \frac{x'_0}{x'_0 + x_2} \dots\dots\dots (3)$$

2次側負荷を負荷抵抗 $R_L$ とし、鉄損を無視した場合のトランス効率 $\eta_{TR}$ は(4)式で定義できる。

$$\eta_{TR} = \frac{R_L I_L^2}{R_L I_L^2 + r_1 I_1^2 + r_2 I_2^2} \dots\dots\dots (4)$$

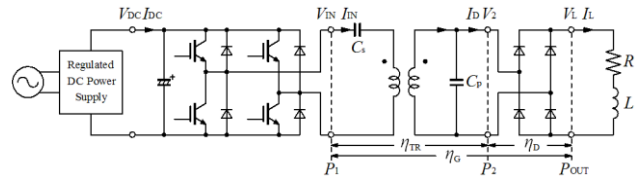


図1 非接触給電システム

Fig.1. Contactless power transfer system

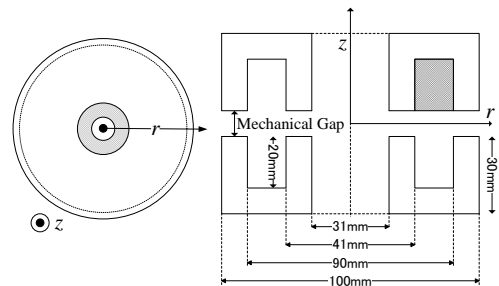


図2 トランスの構成

Fig.2. Dimension of transformer

表1 トランスと励磁巻線のパラメータ

Table1. Parameter of transformer and exciting winding

Mechanical Gap		2mm
Windings wires	Primary	12T
	Secondary	16T
Transformer parameters	$r_1$	27.6mΩ
	$r_2$	39.2mΩ
	$l_0$	66.7μH
	$l_1$	23.6μH
	$l_2$	31.5μH
	$k$	0.764
	$b$	0.790
	$C_s$	0.269μF
Exciting windings	$C_p$	0.0676μF
	$R$	20Ω
	$L$	600mH



(a) 非接触給電トランス (b) 電動機外観

図3 ワイヤレス励磁同期電動機

Fig.3. Wireless excitation synchronous motor

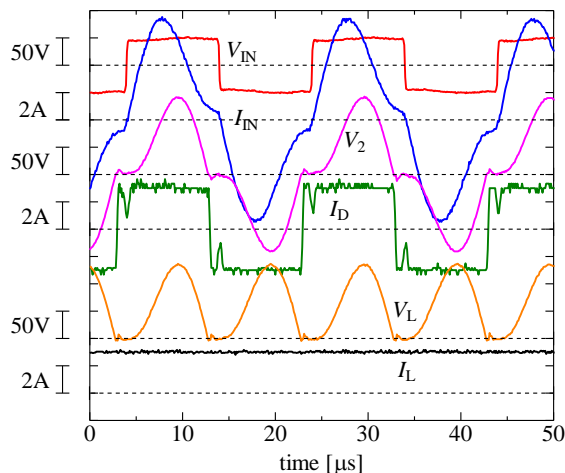


図4 電流電圧波形

Fig.4. Voltage and current waveforms

回転型非接触給電トランスの寸法および定数を図 2 および表 1 に、外形を図 3(a)に示す。トランスにはフェライトを用い、巻線にはリッツ線(0.1mmφ×800 本)を用いた。二次側トランスと共振コンデンサ、整流回路は回転子と共に回転する。二次側回路を軽量化するため、整流回路の平滑コンデンサの代わりに励磁巻線のインダクタンス成分を、またダイオードは小型で高温動作可能な SiC 素子を用いた。トランス中心の回転軸(鋼鉄 S45C)に漏れ磁束が発生し効率が低下するのを防ぐため、トランスのギャップ間に厚さ 1.5mm のアルミパイプを挿入し、回転軸を磁気遮蔽した<sup>(3)(4)</sup>。これらのトランスと 2 次側回路を組み込んだ 8kW ワイヤレス励磁同期電動機の外観を図 3(b)に示す。

### 3. 回転子への給電実験

**〈3・1〉 静止時の給電** 非接触給電システムの静止時の特性を確認するために給電実験を行った。励磁用のインバータ電源の周波数を 50kHz とし、負荷となる励磁回路に定格電流 3A を供給したときの波形を図 4 に示す。整流後の励磁電流  $I_L$  はリップルも少なく、励磁巻線のインダクタンスにより十分平滑化されているのがわかる。また、方形波の入力電圧  $V_{IN}$  と入力電流  $I_{IN}$  の位相はほぼ一致しており、入力力率  $pf_{IN}$  も 0.883 と高い。

**〈3・2〉 出力およびギャップ長変動特性** 励磁電流を変化させ、出力  $P_{OUT}$  を変化させた場合のトランス効率特性を図 5 に示す。(4)式の理論効率特性に従って低出力時に効率が高くなっているが、定格出力(186W)時でも 96.4% と高い効率を保っている。

回転時の振動やフェライトの寸法公差等により、トランス間のギャップ長が変動する場合が考えられる。ギャップ長変動時の影響を検討するため、ギャップ長を 1~3mm に変化させて回転子に給電した際のトランス効率特性を図 5 に示す。共振コンデンサの値はギャップ長が 2mm の場合

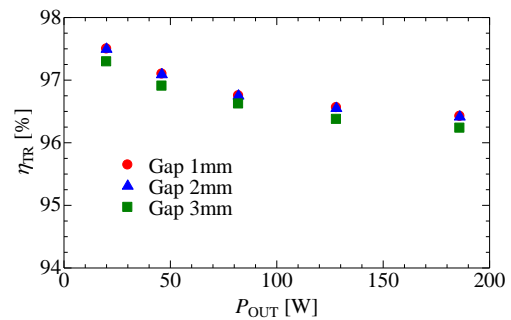


図5 ギャップ長変動特性

Fig.5. Characteristics with gap change

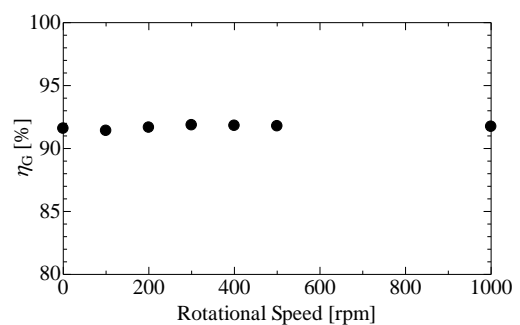


図6 回転時のトランス整流器効率

Fig.6. Efficiency under rotation

の値で決定した。ギャップ長が大きくなった場合においても、96%を超える高い効率を保っている。

**〈3・3〉 回転時の給電効率** 回転数を変化させた場合の定格出力時のトランスと整流器の総合効率  $\eta_G$  を図 6 に示す。回転数に変化しても総合効率は静止時の効率(92.0%)とほぼ変わらず高い。

### 4. まとめ

リアアースフリーモータとしてワイヤレス励磁同期電動機を製作した。励磁回路への給電部分に SP 方式の回転型非接触給電システムを用いた。整流回路の平滑コンデンサを省略しても、励磁巻線のインダクタンスで  $I_L$  を整流できることを確認した。また、インダクタンス成分を含む負荷に対しても高い給電効率と力率が得られることを示した。回転数を変化させても給電効率は変化せず、ギャップ長が変動する場合においても高い効率を得られることを確認した。

#### 文献

- (1) J.P.C Smeets, L. Encica, E.A. Lomonova Industrial Electronics (ISIE), 2010 IEEE International Symposium on, pp. 748-753(2010)
- (2) 藤田, 金子, 阿部 電学論 D, Vol. 127, No. 2, pp. 174-180(2007)
- (3) 谷藤, 野沢, 金子, 阿部 電気学会産業応用部門大会論文集, No.1-97, pp. I-415- I-418(2012)
- (4) 谷藤, 野沢, 金子, 阿部 電気学会半導体電力変換研究会, SPC-13-014(2012)