

# 汎用駐輪設備に適した電動アシスト自転車用非接触給電トランスの検討 Study of Wireless Power Transfer for Electric Bicycle Suitable for Cycle Rack

生形 直軌 \*1  
Naoki Ubukata

金子 裕良\*2  
Yasuyoshi Kaneko

**1. まえがき** 近年、欧米やアジアなどでは都市型レンタサイクルが普及し、日本においても観光誘致や駅周辺の環境整備の目的で、自治体主導から民間企業の商業ベースまで、電動アシスト自転車を用いたレンタサイクルやシェアサイクルの設置数および利用率が伸びている。充電方式は安全性・利便性・保守性に優れる非接触給電技術が注目されている。電動アシスト自転車向けの非接触給電システムの研究開発も進められている。

現在電動アシスト自転車向けに研究開発されている方式として、コの字型トランスを用いた方式等がある。これらの提案されている方式では、バッテリーが固定された自転車本体に給電しやすい機構を有する専用ポートを設置する必要があり、駅周辺に見られるサイクルラックのような省スペースな汎用駐輪設備への適用は困難である。

そこで、サイクルラックなどの汎用駐輪設備での使用も可能な車輪部分に巻いたコイルを介して給電する車輪トランスシステム[1]が検討され、非金属の車輪において給電が可能であった。しかし、実際の車輪材質を考慮した検討は十分でなく、実用化に向けた車輪コイルおよびトランス形状の検討や設計寸法の評価が必要不可欠である。

したがって、本稿では汎用駐輪設備の非接触給電システム適用時における車輪材質に起因する課題点を挙げ、その解決策を提案し、特性評価を行った。

## 2. 車輪を用いた非接触給電システム[1]

自転車の車輪部に設置したコイルを媒介にしたシステムを図1に示す。地上側の電力はコの字型トランスを介して車輪部受電コイル(円形)

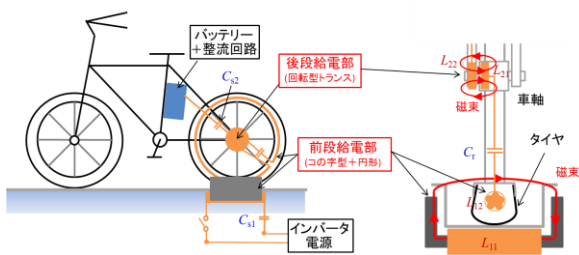


図1 車輪を用いた非接触給電システム

に送電され(前段部)、車輪軸に回転型非接触給電トランス(後段部)を介して給電を行う。二段式システムにすることで、車輪を給電トランスとしてもバッテリーへの充電が可能で、サイクルラックなど汎用的な駐輪設備に適用できる。

**3. 車輪材質における評価** この車輪トランスシステムにおいて、磁束の影響を受けない材質(ベークライト)、アルミリムの車輪、カーボンリムの車輪において二段式 SSS 方式[2]で評価を行った。

**3.1. ベークライト** 前段部の車輪トランスに対し、半径 140mm のベークライトを用い、周波数 85kHz、負荷給電電力 50W とし、給電シミュレーションを行った。結果を表1に示す。磁界の影響を受けない材質であれば、前段部給電効率  $\eta_1$  が 97.1% の給電が可能となる。

**3.2. アルミリム** 半径 350mm のアルミリムの車輪(ステンレス製スポーク付)に対し評価を行った。車輪の外周(タイヤ内部)にリッツ線を巻いた車輪トランスを製作し、給電シミュレーションを行った。結果を表1に示す。結合係数  $k_1$  が 0.0330 と極端に小さいため、前段部給電効率  $\eta_1$  が 16.8% に低下することがわかった。

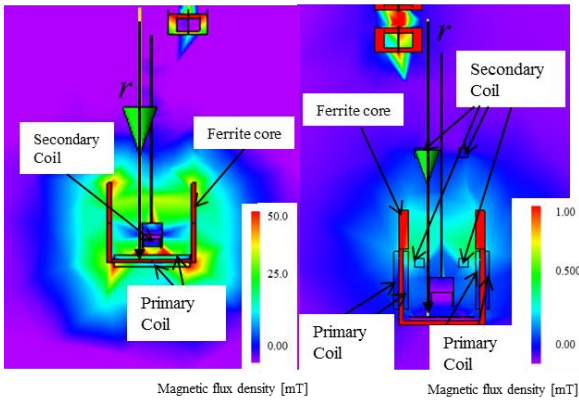
**3.3. カーボンリム** アルミリムと同様に半径 350mm のカーボンリム(鋼鉄製スポーク付)の車輪に対し評価を行った。シミュレーション結果を表1に示す。結合係数  $k_1$  は低くはないが、二次側トランスの巻線抵抗  $r_{12}$  が 21900m $\Omega$  と大きくなり、前段部給電効率  $\eta_1$  も 30.1% に低下した。

表1 トランス定数とシミュレーション結果

	Bakelite	Aluminum	Carbon
$r_{11}$ [m $\Omega$ ]	39.7	237	558
$r_{12}$ [m $\Omega$ ]	271	512	21900
$L_{11}$ [ $\mu$ H]	27.8	28.3	32.7
$L_{12}$ [ $\mu$ H]	144	14.6	90.2
$k_1$	0.245	0.0330	0.192
$\eta_1$ [%]	97.1	16.8	30.1
$\eta_{12}$ [%]	96.2	16.1	29.6

\*1 埼玉大学大学院理工学研究科博士前期課程 2 年

\*2 埼玉大学大学院理工学研究科



(a)従来トランス (b) 改良トランス  
図2 給電時の磁界解析結果

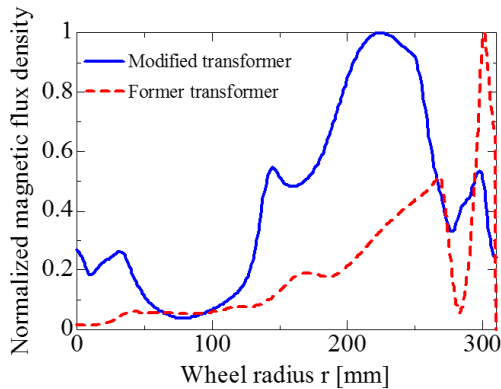


図3 給電時の磁束密度分布

#### 4. 車輪コイルの改善と分割巻コの字トランス

上記のように車輪に実装する際に課題点が存在する。ここでは、結合係数が低下したアルミリムに関して、磁界解析シミュレーションソフト JMAG を用いて磁束分布を解析し、磁束が集中する部分で効率良くカップリングが行える機構を検討した。

**4.1. 車輪コイルの改善** 車輪のタイヤ内部にコイルを形成する従来のアルミリム車輪コイルを検討した。3.2の機構では図2(a)、図3に示すようにコイル部分の磁束密度がアルミリムによって遮蔽され、コの字トランス底部(巻線に近い部分)とリムの間に磁極が集中し、本来通したい位置(車輪コイルの内側)の磁束が少なく、結合の低下を招いていた。磁束はコの字トランスの磁極部分に集中しているため、磁極サイズを考慮して小型コイルを形成することで、集中している部分の磁束を受け取ることができると考えられる。シミュレーション解析では小型コイルを形成することで、結合係数が増加し給電効率も改善した。

**4.2. 分割巻コの字トランス** 従来のコの字トランスでは、トランス底面とリムの間付近に磁極が集中する。これを改善するため、コイルの巻き位置を変更した分割巻コの字トランスを検討した。その結果、図2(b)、図3に示すように結合している部分の磁束密度が大きくなり、

表2に示すように結合係数 $k_1$ も大きく改善した。

表2 改良後のトランス定数と給電実験結果

	Bakelite	Aluminum	Carbon
$r_{11}$ [mΩ]	94.0	1242	4120
$r_{12}$ [mΩ]	257	553	731
$L_{11}$ [μH]	103	78.7	105
$L_{12}$ [μH]	160	13.3	20.7
$k_1$	0.409	0.262	0.433
$\eta_1$ [%]	98.3	73.1	76.6
$\eta_{12}$ [%]	95.6	69.4	73.2

**4.3. ベークライト** 磁束の影響を受けないベークライトに車輪コイルと分割巻コの字トランスを適用した給電システムを製作した。このときのトランス定数および50W給電実験結果を表2に示す。分割巻コの字トランスは結合係数 $k_1$ も大きくなっているため、給電効率は上昇し、前段部給電効率 $\eta_1$ は98.3%になった。

**4.4. アルミリム** 次にアルミリムの車輪に対し改良トランスを設置した場合の結果を表2に示す。結合係数が上昇し、前段部給電効率 $\eta_1$ は73.1%となり、実用上最低給電が可能なレベルまで改善した。

**4.5. カーボンリム** カーボンリムについても検討を行った。アルミリムの車輪と同様に、カーボンリムに対し改良トランスを設置した場合の結果を表2に示す。車輪コイルに起因する巻線抵抗 $r_{12}$ も改良前に比べて小さくなり、結合係数も上昇した。前段部給電効率 $\eta_1$ は76.6%となり、アルミリム同様、実用上給電が可能なレベルまで改善した。

**5. まとめ** 本稿では、車輪を用いた非接触給電システムに対し、車輪素材において評価を行った。従来の車輪トランスシステムは、磁界の影響を受けない材質であれば高効率の給電が可能であるが、実際の車輪では給電効率が低くなっていた。このため車輪コイルは磁束の集中している部分で効率良くカップリングが行える機構を検討し、結合係数の増加と巻線抵抗の抑制が可能な車輪トランスを提案した。提案トランスを製作し50W給電実験実施の結果、3種類の材質の車輪において、実用上給電が可能なレベルまで給電効率を向上できることを示した。

#### 文献

- [1] 大住 征有紀他:「走行中給電可能な二輪車向け非接触給電システムの検討」,平成28年電気学会産業応用部門大会,1-97,pp.345-350  
[2] 福島 健太他:「二段式非接触給電回路の理論解析」,平成28年電気学会産業応用部門大会,Y-4,p.4