

## カートPOSの充電に適した20 W級ワイヤレス給電システム

### 20 W-Class Wireless Power Transfer System for cartPOS Charging

加藤 雅一 KATO Masakazu 荻島 拓哉 OGISHIMA Takuya

量販店などで、POS（販売時点情報管理）機能を備えたショッピングカートの普及が始まっており、東芝テック（株）は、POS機能のほかに販促情報提供機能などを備えたカートPOSを製品化し、提供している。しかし、カートPOSに搭載されるバッテリーの充電作業の煩わしさが、人手不足という社会状況も相まって普及の阻害要因となっている。

当社は、カート置き場にカートを戻すだけで充電が可能な、磁界結合方式による独自仕様の20 W級ワイヤレス給電システムを開発した。送電回路には、145 kHzで動作する高効率な半波電圧共振回路<sup>1)</sup>を採用した。また、通常のカートと同様の収納形態で、各カートを正確に位置決めして高い給電効率を維持できるガイドレール機構を考案し、実用的な環境で20 Wの給電と75%以上の給電効率を達成した。

The popularity of smart shopping carts equipped with point-of-sale information management (POS) functionality is beginning to grow at mass retailers, and Toshiba Tec Corporation now offers carts with such features as POS and product recommendations (hereafter “cartPOS”). However, the cumbersome task of charging POS cart batteries has become a hindrance due to the prevalence of manpower shortages.

We have developed a 20 W-class magnetic field coupling wireless power transfer system with unique specifications that enables charging simply by bringing the shopping cart to the return area. A high-efficiency half-wave voltage resonance circuit that operates at 145 kHz is used for the power transmission circuit. We devised a guide rail mechanism that accurately positions each cart and maintains a high level of power supply efficiency, enabling 20 W power supply at a rate of over 75% in practical environments.

#### 1. まえがき

量販店などで、タブレットなどの電子機器を搭載してPOS機能を備えたショッピングカートが普及し始めている。東芝テック（株）は、2019年からPOS機能付きショッピングカートとしてカートPOSを提供し、顧客からは販促情報の提供やスピーディーな会計の面で、店舗からはリピート率の増加や客単価向上の面で、良い評価を得ている。

カートPOSに搭載するバッテリーを充電する際には、充電ケーブルを接続したり、バッテリーを着脱したりといった煩雑な作業が必要になる。特に、人手不足の中で、作業時間の確保が難しいという側面もある。これを解決するため、カート置き場にカートを戻すだけで充電が可能な、カートPOS向けのワイヤレス給電システムの実用化が求められている。

しかし、店舗内のカート置き場に複数のカートが前後に不規則に重なっている状況でワイヤレス充電することが非常に難しいため、カートに適用した例はなかった。工場や倉庫などで使われる自動搬送車（AGV：Automatic Guided Vehicle）用のワイヤレス充電システムが実用化されている<sup>2)</sup>が、カートPOSには、送電コイルと受電コイル（以下、送・受

電コイルと略記）の高精度な位置決め制御が適さないことや、数百～kW級の給電電力は電子機器の充電には過大であることなどから、新たにワイヤレス給電回路及びシステムを設計する必要があった。

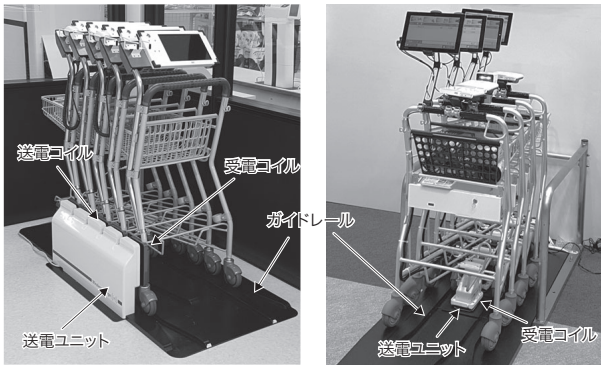
そこで当社は、磁界結合方式による独自仕様のカートPOS向け20 W級ワイヤレス給電システムを開発した。ここでは、開発した20 W級ワイヤレス給電システムの構成と、ワイヤレス給電システム実現のために重要な金属異物の発熱に対する検討について述べる。

#### 2. ワイヤレス充電対応カートPOSの構成

##### 2.1 カートPOSシステムの構成

カート置き場にカートを戻すだけでワイヤレス充電ができるようにするために、2種類の独自仕様の20 W級ワイヤレス給電システムを開発した。図1(a)は送電ユニットを縦置きにしたタイプであり、送電部及び送電コイルを床から垂直に立てて置き、受電コイルをカートの側面に設けた。図1(b)は送電ユニットを平置きにしたタイプであり、送電部及び送電コイルをカート下の床面に置き、カート前方下部に設けた受電コイルにカート下側から給電する。

磁界結合型のワイヤレス給電では、高い伝送電力と給電



(a) 送電ユニット縦置きタイプ (b) 送電ユニット平置きタイプ

図1. ワイヤレス充電対応カートPOSシステム

どちらのタイプも、カートをカート置き場に戻すだけで、ワイヤレス充電できる。  
Wireless power transfer-compatible cart POS system

効率を維持するために、送・受電コイルを正確に正対させることが必要となる。各カートの受電コイルと送電ユニットの送電コイルを、所定の精度で位置決めするため、2.2節に述べるガイドレール機構を考案した。

送・受電コイルの間に金属の異物があると異常発熱する。縦置きタイプは送・受電コイル共に直立しているため、金属異物がコイルの周囲にとどまることが少なく、金属異物の発熱が生じにくいという利点がある。平置きタイプは、送・受電コイルの間隔を10 mm程度に安定して近接できるため、縦置きタイプよりも高電力伝送に適している。その一方で、クリップやコインなどの小さい金属異物が送・受電コイルの間に挟まり、発熱するおそれがあるため、金属異物検出機能、若しくは金属異物を排除する仕組みが必要になる。金属異物検出機能については、4章で述べる。

## 2.2 ガイドレール機構

カートを適切に位置決めするガイドレール機構を図2に示す<sup>(3)</sup>。カートの前輪がはまるように、ガイドレールに深さ2 mm、長さ40 mm程度の凹部を設けることで、前後方向で±10 mm以内の位置決め精度を確保した。

## 3. 20 W級ワイヤレス給電システム

### 3.1 基本回路構成

店舗が営業を休止する夜間の8時間で100 Whのバッテリーを満充電とするためには、12.5 Wの給電電力が必要になる。そこで、バッテリー容量の増加や充電時間の短縮に対応できるよう、20 W給電を目標仕様とした。20 W級ワイヤレス給電システムの回路構成を、図3に示す。

高効率化のため、送電回路には、耐圧が200 VのNチャンネルMOSFET (金属酸化膜半導体型電界効果トラン

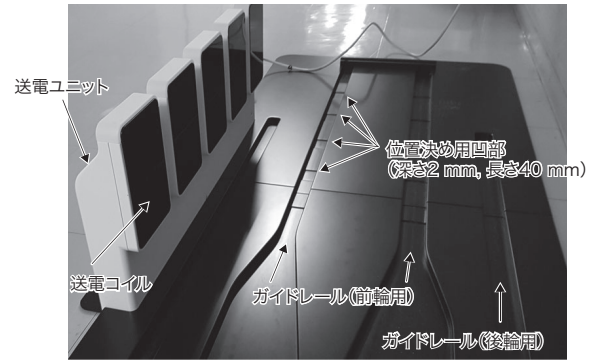


図2. カートの位置決め用ガイドレール機構

カートの前輪がガイドレールの凹部にはまるようにして、カートの前後方向で±10 mm以内の位置決め精度を実現した。

Guide rail for cart positioning

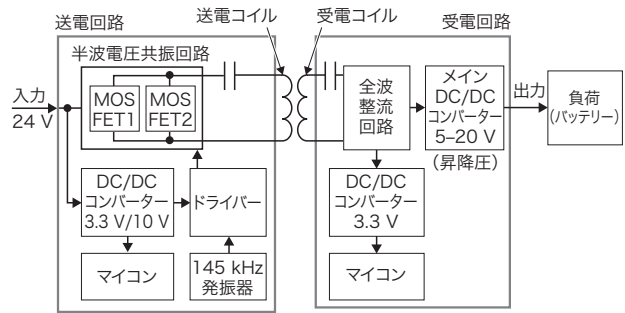


図3. 20 W級ワイヤレス給電システムの回路構成

半波電圧共振回路で145 kHzのZVSを行うことで、20 W給電時に最大で75 %以上の給電効率を達成した。

20 W-class power transfer system circuit configuration

ジスター)である東芝製TPH1110ENHを並列接続した、145 kHzのZVS (Zero Voltage Switching) を行う半波電圧共振回路<sup>(1)</sup>を採用した。受電回路には、低順電圧 (順電圧10 Aのとき順電圧0.45 V)、耐圧50 Vの4個のショットキーバリアダイオードから成る全波整流回路を採用した。リッツ線を平面状に巻いた送・受電コイルは、10 ~ 20 mm程度の間隔で対向して配置され、磁界結合する。受電回路のメインDC (直流)/DCコンバーターでは、出力負荷の要求仕様に応じて5 ~ 20 VのDC電圧に昇降圧変換する。

### 3.2 送・受電コイルと周辺部材の構成

送・受電コイルと周辺部材の平置きタイプにおける配置イメージを、図4に示す。受電コイルを送電コイルの3/4程度の大きさとする事で位置ずれ時の効率低下を抑えられることから、送電コイルは80 mm角、受電コイルは80 × 60 mmのサイズとした。

送電コイルと送電基板を収納する送電部シールドケース

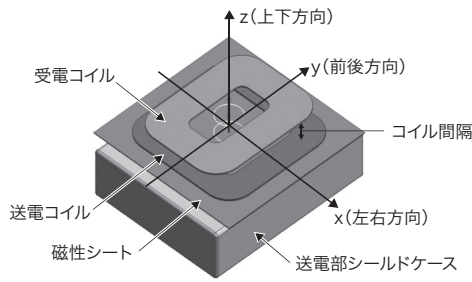


図4. 送・受電コイル周辺の配置図(平置きタイプ)

金属の影響による効率低下や発熱を避けるため、送電コイルと送電部シールドケースの間に磁性シートを設ける。送電部シールドケースの材質には、アルミニウムなどの非磁性体が適する。

Layout around transmission coil/receiving coil (Tx/Rx) (flat type)

の間には、金属表面に発生する渦電流の影響を避けるため、磁性シートを設けた。受電側も、受電コイルの近傍に受電基板を収納するシールドケースを配置する場合に磁性シートを設けたが、給電効率向上のため、コイルとシールドケースをできるだけ離れた配置とした。

### 3.3 電力伝送特性

電力伝送特性において、送・受電コイルの間隔、送・受電コイルの位置ずれ量、及び給電電力の間には互いにトレードオフの関係があり、例えば、一定電力を給電する場合は、コイル間隔が広がると位置ずれ許容量は小さくなる。また、給電電力が大きいほど、コイル間隔を狭く、位置ずれ量を小さくする必要がある。

カートPOS向けに要求される給電電力が最大値の20 W、コイル間隔が15 mmのとき、y (カートの前後) 方向に位置ずれしたときの給電効率と整流後のDC電圧の測定結果を、図5に示す。給電効率は、位置ずれ量が0 mmの場合の約77%をピークに、位置ずれ量が増えるに従って減少した。特に、位置ずれ量が±15 mmを超えると給電効率が急激に低下し、動作が不安定になった。

この測定結果から、受電電力20 W、コイル間隔15 mmにおいて、位置ずれ量±15 mmが動作限界となることが明らかになった。ばらつきなどを考慮して、位置ずれ量の目標仕様を±10 mm以内とした。実用化に向けて、受電電力、コイル間隔、及び位置ずれ量がそれぞれ適切な値となるよう設計し、実験的に検証していく。

## 4. 金属異物の発熱

### 4.1 シミュレーション解析

数十k~数百kHzの伝送周波数を用いた磁界結合型ワイヤレス給電システムでは、送・受電コイルの間に金属異物が挟まった状態で電力伝送を行うと、磁界により金属に渦

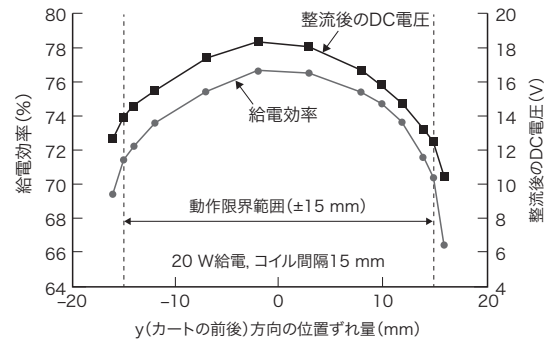


図5. 給電効率・整流後電圧測定結果

位置ずれがないときは約77%の給電効率を得られるが、位置ずれ量の増加とともに低下する。給電効率の低下に伴って発熱が大きくなるため、位置ずれ量を適切な範囲にする必要がある。整流後のDC電圧も、同様に低下する。

Power transfer efficiency and post-rectification measurement results

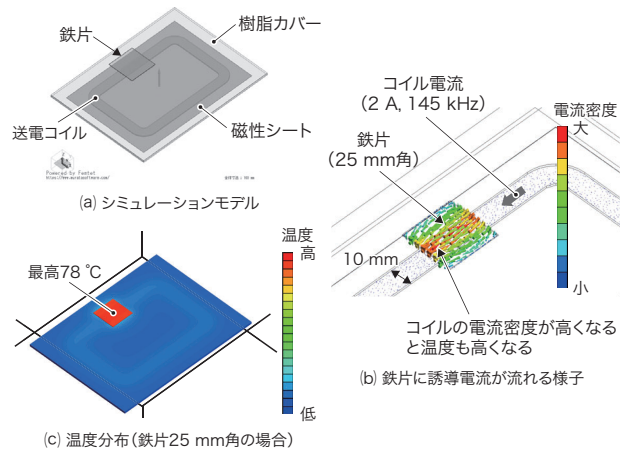


図6. シミュレーションによる鉄片の発熱解析

コイル電流により発生する磁場の影響で、鉄片に誘導電流が流れて発熱する。

Simulated iron piece thermal generation analysis

電流が発生して発熱する<sup>(4)</sup>。145 kHzの伝送周波数を用いるカートPOS向けのワイヤレス給電システムも例外ではなく、製品の安全性を担保するためには金属異物を検出する機能が必須となる。

図6に、電磁界シミュレーターによる、金属異物の発熱解析の結果を示す。送電コイルに流れる電流により発生する磁場の影響で、送電コイルの上に置かれた25 mm角の鉄片に誘導電流が流れて発熱する。また、送電コイルから離れた位置に鉄片を置くと、鉄片の温度が低下することも確認された。

### 4.2 金属異物の検出方法

金属異物が送電電力の一部を吸収すると送電回路電流が増加する現象を利用して、送電コイル上の金属異物を検

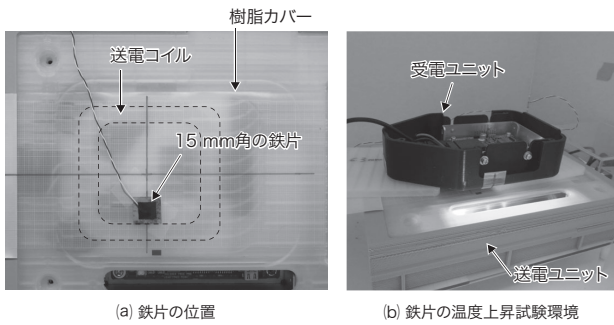


図7. 鉄片の温度上昇試験

異物検出境界に鉄片を置き、20 W 給電時の温度上昇を測定した結果、室温 25 °C で約 70 °C まで温度上昇した。更に、送・受電コイルの位置ずれが 15 mm のときは、約 90 °C まで上昇した。

Iron piece temperature rise test

出する方法を検討した。送電回路内の電流しきい値を定め、受電コイルのない待機状態に送電回路電流がしきい値を上回った場合、金属異物が存在すると判定する回路を試作した。

更に、金属異物の検出感度向上のため、電源投入時に金属異物を検出する電流しきい値を自動調整する制御回路を設けた。送電部が設置される床材などの周囲環境により送電回路の電流値は変動するため、送電部ごとに最適なしきい値を自動設定することで、判定精度が向上する。

4.3 金属異物の温度上昇評価

4.2 節に述べた金属異物の検出機能により、15 mm 角サイズの鉄片の検出が可能になった。しかし、送電コイルからずれた位置に 15 mm 角の鉄片を置いた場合には検出できず、送電時に鉄片の発熱が観察された。そこで、最悪の温度上昇ケースを想定して送電コイル上の検出境界の位置に 15 mm 角の鉄片を置き、20 W の給電を行って鉄片の温度上昇を測定した (図7)。

測定の結果、鉄片の温度は、室温 25 °C において約 70 °C に上昇することが確認された。送・受電コイルの位置ずれにより給電効率が低下して送電電流が増加した場合は、更に 20 °C 程度上昇し、最大で約 90 °C に達した。

このような金属異物の給電中の発熱リスクを回避するため、給電中に定期的かつ一時的に送電を停止して異物検出を行う方法<sup>(5)</sup>などを確立し、給電開始前の異物検出方法と組み合わせて用いることが望ましい。

5. あとがき

カート POS 充電時の課題を解決できる 20 W 級ワイヤレス給電システムを開発した。簡易な回路構成で実現できる半波電圧共振回路を採用し、最大 75 % 以上の給電効率を達

成した。また、カートを正確に位置決めして高い給電効率を維持できるガイドレール機構を考案し、ワイヤレス給電時の送・受電コイルの位置決め精度を要求仕様の ±10 mm 以下にした。

送・受電コイルの間に挟まった 15 mm 角サイズの鉄片検出を実現し、安全面の課題を解決した。実用化に向けては、金属異物検出の更なる高性能化が必要であり、給電中にも金属異物を検出可能にすることで、カート POS 向けワイヤレス給電システムの普及を進めていく。

文献

- (1) 宇佐美豊, ほか. 小型機器向け 磁界共振方式ワイヤレス電力伝送技術. 東芝レビュー. 2013, 68, 7, p.15-18.
- (2) 亀田篤志. 工場でのワイヤレス給電システムの導入状況と今後の展望. 電気設備学会誌. 2018, 38, 7, p.369-372.
- (3) 東芝テック. 加藤雅一, 荻島拓哉. 送電装置および給電システム. 特許第7154940号. 2022-10-18.
- (4) 橋本俊哉. 非接触充電における金属異物の発熱量の最大値に関する研究. 自動車技術会論文集. 2019, 50, 2, p.359-364.
- (5) 東芝テック. 加藤雅一. 送電装置及び給電システム. 特開2023-90438. 2023-06-29.



加藤 雅一 KATO Masakazu  
東芝テック (株)  
技術戦略部 リサーチ&デベロップメントセンター  
Toshiba Tec Corp.



荻島 拓哉 OGISHIMA Takuya  
東芝テック (株)  
技術戦略部 グローバル技術戦略室  
Toshiba Tec Corp.