

リチウムイオン二次電池 SCiB™モジュール用 ワイヤレス充電システム

Wireless Charging Systems for SCiB™ Lithium-Ion Rechargeable Battery Modules

生形 直軌 UBUKATA Naoki 大久保 崇史 OKUBO Takashi

製造現場では、材料や部品などを搬送する無人搬送車（AGV）が導入され、ロボットアームなどとも組み合わせて自動化が進められている。安全性や保守性を考慮し、AGV搭載電池へのワイヤレス充電装置が求められている。

今回、東芝インフラシステムズ（株）は、AGVに適用可能な東芝製 SCiB™電池モジュール Type3-23用及び SIP24-23用に、送電・受電ユニットと非接触で電力伝送する送電・受電パッドなどから成る急速充電が可能なワイヤレス充電装置を製品化した。ロボットアーム付きAGVなどに適した大容量の Type3-23には作業中の連続充電に対応した定電力制御方式を、搬送用の小型AGVなどに適した SIP24-23には急速充電に対応した定電流充電方式をそれぞれ採用するとともに、安全性に配慮した保護機能を持たせている。

The introduction of automatic guided vehicles (AGVs) to convey various loads, including materials and parts, in combination with robot arms and other such devices is being actively promoted at manufacturing sites in order to improve productivity. From the viewpoint of securing safety and maintainability, the need has arisen in recent years for wireless power charging systems to charge the battery modules mounted on these AGVs.

As a result of this trend, Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corporation has released wireless charging systems for the Type3-23 and SIP24-23 SCiB™ lithium-ion rechargeable battery modules, which are applicable to AGVs and offer high safety and high-speed charging. These systems consist of a power transmission unit, a power receiving unit, contactless power transmitting and receiving pads, and other equipment. The wireless charging system for the Type3-23 large-capacity battery module employs a constant power control method that makes it possible to continuously charge an AGV equipped with robot arms in operation, while that for the SIP24-23 small-capacity battery module employs a constant current control method allowing the charging time of compact AGVs to be shortened. Both systems also incorporate protection functions to ensure safety.

1. まえがき

製造現場では生産性の向上を目的として、材料や部品などを搬送するAGVが導入され、自動化が進んでいる。近年、材料や部品などの搬送だけではなく、移載と搬送を兼ね備えたロボットアーム付きAGVや、人や障害物を自動で回避して走行する人協調型自律移動ロボット（AMR：Autonomous Mobile Robot）の開発が行われ、更なる工場の自動化が図られている⁽¹⁾。ロボットアーム付きAGVは、消費電力が大きくかつ長時間の運転が必要となり、搭載電池の大容量化が望まれている。また、自動化の一環として、AGV搭載電池へのワイヤレス充電を採用する工場が増加している。ワイヤレス充電では、充電端子を接触させる必要がなく、端子の摩耗やスパークの発生による感電や火災のおそれなくなり、充電システムの安全性や保守性の向上にも寄与できる。

東芝は、産業機器向けに23 Ahセルを複数組み合わせた SCiB™電池モジュールを製品化している⁽²⁾。SCiB™は、従来の鉛蓄電池では難しかった急速充電が可能であり、充電

時間の短縮により、現場の生産性向上にも貢献できる。

今回、東芝インフラシステムズ（株）は、AGVに適用可能な電池モジュール Type3-23用及び SIP24-23用のワイヤレス充電装置を開発し、製品化した。開発したワイヤレス充電装置は、特に SCiB™の高い安全性や優れた急速充電性能を生かした専用設計としている。

ここでは、開発したワイヤレス充電装置の特長と、開発における課題と解決策について述べる。

2. ワイヤレス充電装置の概要と仕様

2.1 ワイヤレス充電装置の構成

ワイヤレス充電装置は、三相200 V系統電源を電力変換する送電ユニットや、非接触で電力伝送する送電・受電パッド、受電電力を電池へ供給する受電ユニットなどから成る。

開発したワイヤレス充電装置を搭載したAGVへの充電の様子を図1に、ワイヤレス充電装置の回路ブロック図を図2に示す。送電ユニットは整流器、インバーター、フィルター、及びコンデンサーから、また受電ユニットはコンデンサー、及び整流器から構成される。送電ユニットのインバー

ターで共振周波数付近の8 kHz帯でスイッチングを行い、送電パッドに電力を供給する。送電・受電パッドのコイルは各ユニット内のコンデンサーと8.5 kHz付近で共振し、力率を1に近づけることで大電力かつ高効率な非接触の電力伝送を実現する。

次に、ワイヤレス充電装置内の通信インターフェースを図3に示す。送電・受電ユニットの間は赤外線通信で、受電ユニット・BMU（バッテリーマネジメントユニット）・SCiB™電池モジュールの間はCAN（Controller Area Network）通信で、それぞれ情報の授受を行う。また、受電ユニットとAGVの間はRS232C通信及びデジタルI/O（Input/Output）通信によって接続されており、AGVから送電ユニットに対してはワイヤレスで充電開始や終了を制御できる。

開発したワイヤレス充電装置の特長は、24 Vタイプの他社製のAGV用ワイヤレス充電装置に比べて、約1.5倍の大電流の送電による急速充電が可能なことである。また、SCiB™の性能を最大限に活用するため、電池の電圧や電流などの情報を適切に収集し制御する充電システムを構築した。具

体的には、BMUと協調し、電池の電圧や、電流、温度を監視しながら、電池に適した充電制御を行うとともに、安全に充電するための保護機能を持たせた。

次に、2種類の電池モジュールType3-23及びSIP24-23用に開発したワイヤレス充電装置の概要について説明する。

2.2 Type3-23用ワイヤレス充電装置

Type3-23用ワイヤレス充電装置の構成を図4に、その基本仕様を表1に示す。Type3-23は45 Ahと大容量であるため、消費電力が大きいAGV搭載の電池モジュールとして適している。Type3-23を使用する際には、電池情報を収集し制御するBMUのほかに、異常時に充放電電流を遮断するコンタクターや、充放電電流を計測するための電流センサー、BMUに電源を供給するためのDC/DCコンバーター（直流直流変換器）などのコンポーネントを組み合わせ、システムを構築する必要がある。そこで、このシステム構築を容易にするために、BMU自立起動ユニットをオプションユニットとして製品化した。BMU自立起動ユニットは、前述の各種コンポーネントを内蔵し、システムを自立起動できる仕様となっており、受電ユニットや電池モジュールと接続することで、スイッチを押すだけでシステムの起動が可能とな

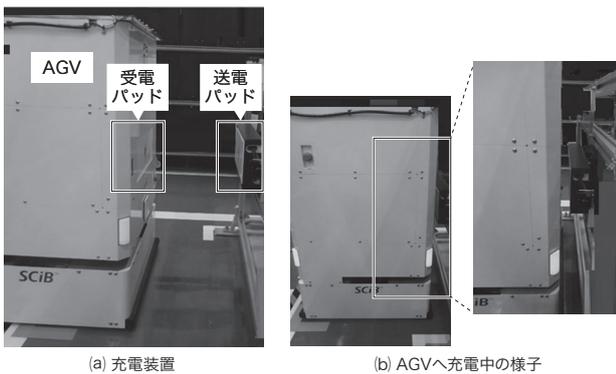
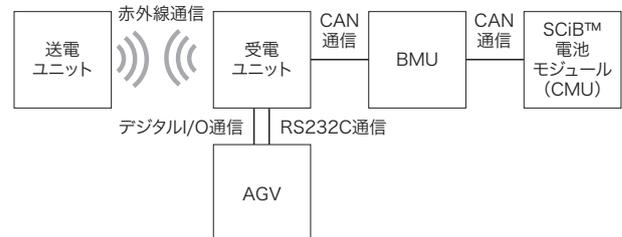


図1. 開発したワイヤレス充電装置を搭載したAGVへの充電の様子

AGVが充電エリアに到達すると送電パッドと受電パッドが対向し、自動的に充電を開始する。

Scene of wireless charging of AGV in operation



CMU : Cell Monitoring Unit

図3. ワイヤレス充電装置内の通信インターフェース

送電・受電ユニットの間は赤外線通信で、受電ユニット・BMU・SCiB™電池モジュールの間はCAN通信で、それぞれ情報の授受を行う。

Communication interfaces between each unit of wireless charging system

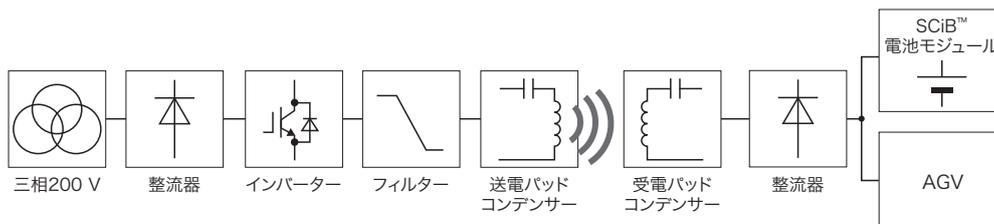


図2. ワイヤレス充電装置の回路ブロック図

三相200 V系統電力を整流器とインバーターで8 kHz帯に変換し、送電・受電パッドのインダクタンスとコンデンサーの共振により、非接触で電力伝送する。

Block diagram of wireless charging system

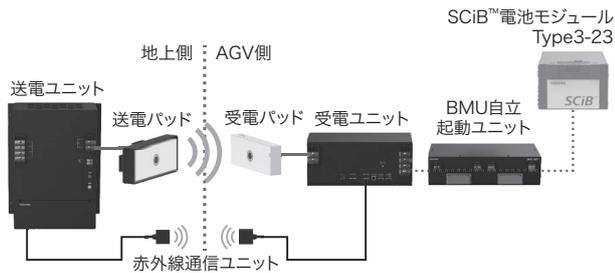


図4. Type3-23用ワイヤレス充電装置

定電力制御方式を採用しており、電池への充電電流はAGV負荷に依存するが、連続運転が可能である。

Wireless charging system for Type3-23 module

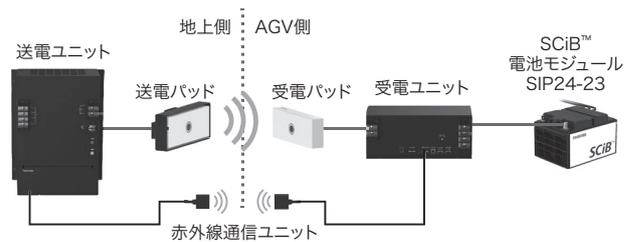


図5. SIP24-23用ワイヤレス充電装置

定電流充電方式を採用しており、電池への充電電流は一定となるが、急速充電時間に制限がある。

Wireless charging system for SIP24-23 module

表1. 電池モジュール Type3-23と同ワイヤレス充電装置の基本仕様

Basic specifications of Type3-23 module and its wireless charging system

(a) 電池モジュール仕様

項目	仕様
名称	2P12Sモジュール Type3-23
電池構成	23 Ahセル2並列12直列(計24セル)
公称容量	45 Ah (25 °C, 9 A放電時)
公称電圧	27.6 V
最大充放電電流	160 A (連続), 350 A (ラッシュ電流)
外形寸法	190 (幅) × 361 (奥行き) × 125 (高さ) mm
質量	約 15 kg

(b) Type3-23用ワイヤレス充電装置の仕様

項目	仕様	項目	寸法(幅×奥行き×高さ)
入力仕様	三相200~240 V	送電ユニット	300 × 200 × 450 mm
出力周波数	8 kHz帯	送電パッド	408 × 95 × 156 mm
最大送電電流	100 A (24 Vタイプ) 50 A (48 Vタイプ) 電池モジュールタイプ により、最大送電電流 が異なる	受電パッド	340 × 56 × 130 mm
		受電ユニット	350 × 160 × 140 mm
		赤外線通信 ユニット	50 × 50 × 20 mm
送電・受電 パッドの間の ギャップ	30 ± 10 mm	BMU自立起動 ユニット*	560 × 350 × 140 mm
送電・受電 パッドの間の 上下左右位置 ずれ	± 10 mm		

* オプションユニット

る。また、複数の電池モジュールの組み合わせにも対応し、最大でType3-23の2直列2並列構成まで対応できる。

2.3 SIP24-23用ワイヤレス充電装置

SIP24-23用ワイヤレス充電装置の構成を図5、その基本仕様を表2に示す。SIP24-23の容量は22 Ahであり前述のType3-23に比べて小さいが、BMU及びFETスイッチを内蔵した自己完結型電池モジュールであるため、Type3-23で必要であった各種コンポーネントを組み合わせたシステム構築が不要である。そのため、Type3-23に比べて設置スペースを小さくでき、小型のAGVなどへの搭載に適している。

表2. 電池モジュール SIP24-23と同ワイヤレス充電装置の基本仕様

Basic specifications of SIP24-23 module and its wireless charging system

(a) 電池モジュール仕様

項目	仕様
名称	SIP24-23 (24 V)
電池構成	23 Ahセル1並列11直列(計11セル)
定格容量	22 Ah (25 °C, 9 A放電時)
公称電圧	25.3 V
最大許容電流	125 A (200 s)
外形寸法	247 (幅) × 188 (奥行き) × 165 (高さ) mm
質量	約 8 kg

(b) SIP24-23用ワイヤレス充電装置の仕様

項目	仕様	項目	寸法(幅×奥行き×高さ)
入力仕様	三相200~240 V	送電ユニット	300 × 200 × 450 mm
出力周波数	8 kHz帯	送電パッド	408 × 95 × 156 mm
電池への 充電最大電流	115 A (200 s)	受電パッド	340 × 56 × 130 mm
		受電ユニット	350 × 160 × 140 mm
送電・受電パッドの 間のギャップ	30 ± 10 mm	赤外線通信 ユニット	50 × 50 × 20 mm
送電・受電パッド の間の上下左右位置 ずれ	± 10 mm		

3. 充電制御方式

ワイヤレス充電装置の送電側インバーターは、スイッチングのタイミングを変化させることで、出力電圧を調整できる。今回開発したワイヤレス充電装置では、使用する電池モジュールの用途やその充電状態に合わせて、インバーターの出力電圧を調整することで、送電電力や充電電流を制御している。

3.1 定電力制御方式

Type3-23用ワイヤレス充電装置では、ロボットアーム付きAGVなどへの搭載電池をターゲットとして、作業中の連続充電を可能とした。このAGVでは、充電中もロボットアームを動作させることが可能であり、その場合は受電電力

が大きくなる。Type3-23用ワイヤレス充電装置は、24Vタイプの場合には最大100Aの送電電流を出力するため、電池モジュールへの充電を定電流とした場合には、AGV側の負荷によっては充電装置内の部品定格を超えるおそれがある。そこで、送電ユニット内の電圧及び電流を監視し、一定電力を伝送する定電力制御方式を採用することで、AGV負荷の大小に依存しない充電制御方式とした。更に、接続する電池モジュールは100A以上の連続充放電が可能である。そこで、充電装置も電池モジュールが1直列1並列の場合、100A以上の連続充電を可能とした。

3.2 定電流充電方式

3.1節で述べた定電力制御方式は、AGV負荷の大小にかかわらず送電ユニットは安定して一定の電力を伝送できる反面、電池への充電電流がAGV負荷や送電・受電パッドの位置関係に依存するという欠点があった。SIP24-23用ワイヤレス充電装置では、充電中のAGV負荷電力が小さい搬送用途のAGVなどへの搭載電池をターゲットとしている。そのため、電池モジュールへの充電は定電流充電方式とし、更に、最大5C^(注1)の急速充電とすることで充電時間の短縮を図った。

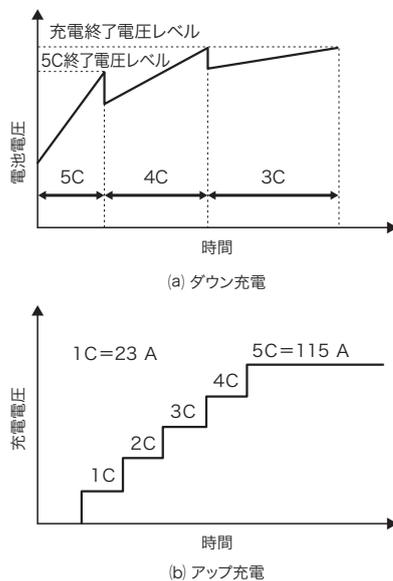


図6. 定電流充電方式における充電電流の制御

充電末期に高いSOCまで充電するとともに過電圧とならないように充電電流を徐々に絞るダウン充電、及び低温下で充電を開始するときに過電圧とならないように充電電流を段階的に大きくするアップ充電の機能を持たせている。

Control of battery charging current in case of constant-current charging method

(注1) 電池の充放電電流値の相対的な比率を表す単位。電流値(A)/容量(Ah)で算出される。例えば、公称容量が23Ahの電池では、1Cが23A、5Cが115Aの充放電電流値を表す。

定電流充電方式の充電電流の制御方法を、図6に示す。充電の際、電池の内部抵抗の影響で、充電電流が大きければ大きいほど電池電圧は高くなってしまふ。電池を高いSOC(State of Charge: 充電状態)まで充電するためには、充電末期に過電圧とならないように充電電流を小さくする必要がある。そこで、電池電圧を監視し、所定電圧に到達する度に電流を徐々に絞る制御方式を採用した(ダウン充電)。また、SCiBTMは低温下でも使用できるというメリットがあるが、低温下では電池の内部抵抗が大きくなる傾向があり、充電開始時に大電流を流すと過電圧となるおそれがある。そこで、充電開始時には、段階的に充電電流を大きくしていく制御方式も採用した(アップ充電)。

4. 開発課題と解決策

4.1 送電・受電パッドの発熱対策

開発したワイヤレス充電装置は、SCiBTMの特性を生かすために大電流での急速充電を特長としているが、大電流がゆえに送電・受電パッドの発熱の抑制という課題があった。送電・受電パッド内部のコイルには高い周波数の交流電流が流れるため、表皮効果によって巻き線抵抗が増加し、発熱が大きくなる。そのため、内部のコイルに線径が小さい素線をより合わせたリッツ線を採用することで、表皮効果による巻き線抵抗の増加を抑え、発熱の低減を図った⁽³⁾。

4.2 送電・受電パッドの間の位置ずれによる負荷急変への対策

ワイヤレス充電では、対向した送電・受電パッドの共振現象を利用して電力の送受電を行っているが、送電パッドと受電パッドの位置がずれると、インバーターから見たインピーダンスが変動することになる。充電動作中にAGVが急に移動するなどの影響で送電・受電パッドの間の位置が急激にずれた場合、コンデンサーと送電パッドの共振により、インバーターから見たインピーダンスがゼロに近づき、インバーターの電圧・電流が急変するので、過渡的に部品定

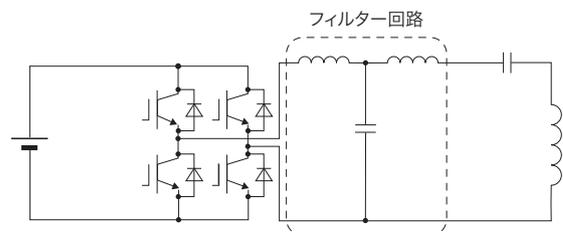


図7. フィルター回路

AGV接近時・充電時・離脱時の送電・受電パッドの間の位置ずれによるインピーダンス変動を抑制するために、フィルター回路を挿入した。

Filter circuit to suppress impedance fluctuations caused by positional displacements between transmitting and receiving pads

格を超えて部品が故障するおそれがある。その対策として、**図7**に示すようにインバーターと共振回路(コンデンサー、送電パッド)の間にフィルター回路を追加した⁽⁴⁾。フィルター回路を追加すると送電・受電パッドの位置関係によらず、インピーダンスの急変による過渡現象を抑制できる。そのため、充電動作中にAGVが急に移動してもフィルターの効果により、電圧・電流が急変することなく、インバーターは安定動作を続け、安全に充電動作を停止させることができる。

5. あとがき

東芝製SCiB™電池モジュール Type3-23用及びSIP24-23用のワイヤレス充電装置の特長、及び開発課題と解決策について述べた。

今回開発したワイヤレス充電装置をベースとして、引き続き顧客の要望や今後のワイヤレス充電業界の動向を見据えて更なる性能向上を図るとともに、工場の自動化やIoT (Internet of Things) 化に貢献できる製品を提供していく。

文 献

- (1) 寺田明人, ほか. 人とロボットの協働で製造ラインを省人化するロボットアーム搭載型AGV. 東芝レビュー. 2019, **74**, 4, p.33-36. <http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2019/04/74_04pdf/a09.pdf>, (参照2020-04-03).
- (2) 川端 望, ほか. 鉛蓄電池からの置き換えに最適な産業用24 V/48 V出力SCiB™電池モジュール. 東芝レビュー. 2018, **73**, 1, p.63-66. <http://www.toshiba.co.jp/tech/review/2018/01/73_01pdf/f07.pdf>, (参照2020-04-03).

- (3) 大高章二, 餅川 宏. kW級ワイヤレス電力伝送システム. 東芝レビュー. 2013, **68**, 7, p.6-10.
- (4) 鈴木正俊, ほか. 並列逆相送電無線充電システムの制御変数削除を可能とする低域通過フィルタの設計方法. 電気学会論文誌D (産業応用部門誌). 2018, **138**, 5, p.384-391.



生形 直軌 UBUKATA Naoki
東芝インフラシステムズ(株)
産業システム事業部 産業システム技術・品質管理部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.



大久保 崇史 OKUBO Takashi
東芝インフラシステムズ(株)
産業システム事業部 産業システム技術・品質管理部
Toshiba Infrastructure Systems & Solutions Corp.