

二重管トロリー式の省施工型非接触給電搬送システム

Transport System with Noncontact Power Supply Using Easy-Connect Coaxial-Tube Trolley Line

二畠 康* · 前田 裕史* · 寺裏 浩一* · 原 信次** · 太田 智浩***
 Yasushi Futabatake Hiroshi Maeda Koichi Teraura Shinji Hara Tomohiro Ota

非接触給電方式の搬送システムにおいて、給電線を断面が二重管構造となるトロリー線にするとともに、ワンタッチ接続可能なジョイナと組み合わせることで、従来のリッツ線に比べて施工時間 1/2 を実現した。併せて、電源周波数を従来品の 2 倍となる 40 kHz まで高周波化することで、ピックアップ体積を従来品に比べて同容量で 30 % 小型化している。

電源の高周波化による弊害を抑制するため、トロリー線においては二重管構造により交流抵抗増加率を従来のリッツ線よりも 18 % 小さくして給電性能を向上させている。またピックアップにおいては、コイル間ギャップを巻線径よりも大きくすることにより負荷接続時の誘起電圧性能低下を抑えている。

Time required for the installation of transport system with noncontact power supply has been halved compared to a conventional litz wire by adopting coaxial-tube trolley line with easy-connect joint as power line. By doubling the power frequency to 40 kHz, the volume of the pickup has been reduced by 30% from the previous model.

To suppress negative effects of higher frequency, power supply performance has been enhanced by reducing the increasing rate of AC resistance by 18% from that of the conventional litz wire.

This has been achieved by adopting a coaxial-tube structure for trolley line. To avoid the deterioration of the inductive-voltage performance during electric load connection, the winding pitch has been set wider than the winding diameter in the pickup.

1. ま え が き

物流搬送システムにおける自走台車（以下、台車と記す）への電力供給は、ケーブルベア、トロリー線などを用いた接触式の給電が主流であった。しかし、ケーブルによる稼働範囲の制限、離線の際に発生するスパーク、集電子の摩擦粉の発生などの問題があるため、クリーンルーム内の搬送においてはこれらの問題が少ない非接触給電システムが近年採用されてきている。

非接触給電の方法には磁気共鳴、電場共鳴、マイクロ波、およびレーザー光などさまざまな方式があるが、物流搬送システムでは大電流給電が可能な電磁誘導給電方式が一般的である。このシステムは高周波電源、台車の走行軌道に沿って敷設される給電線、台車に搭載される受電部（ピックアップ、定電圧回路）から構成されている（図 1）。

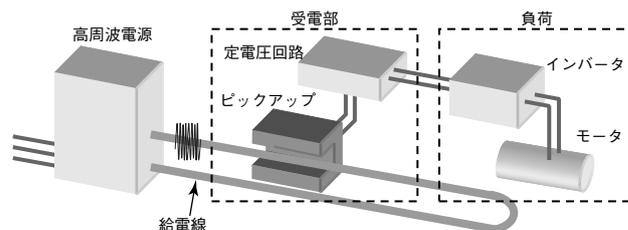


図 1 電磁誘導給電方式のシステム概要図

しかし、現在採用されている非接触給電システムの調査を行った結果、以下の課題が明らかになった。

(1) 施工性向上

システムの給電線には 5 ~ 20 kHz 程度の高周波電流を流しており、これにより生じるうず電流損失を低減するためにリッツ線を採用しているが、以下の施工性の問題があり、改善が必要である。

(a) リッツ線の長さ調整の際、はんだ槽を用いた電線皮

* 情報機器事業本部 情報機器R & Dセンター Research & Development Center, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

** 情報機器事業本部 配線・配管事業部 Wiring Devices & Electrical Conduits Division, Information Equipment & Wiring Products Manufacturing Business Unit

*** パナソニック電工解析センター（株） Panasonic Electric Works Analysis Center Co., Ltd.

膜除去などの事前の準備が必要である。

(b) 取付け後の試運転の際、通電による温度上昇でリッツ線にたるみが発生した場合には再調整が必要となる。

(2) ピックアップ小型化

非接触方式は接触式と比べ受電部が大きくなることから接触式の1.5倍程度までが望ましく、それには従来品比で約30%の小型化が必要となる。

そこで筆者らは、当社独自のトロリー方式を採用するとともに、電源の高周波化とピックアップコイルの工夫によりこれらの問題を解決した省施工二重管トロリー式非接触給電搬送システムを開発した。

本稿では、本システムの開発における施工性の向上とピックアップの小型化について報告する。

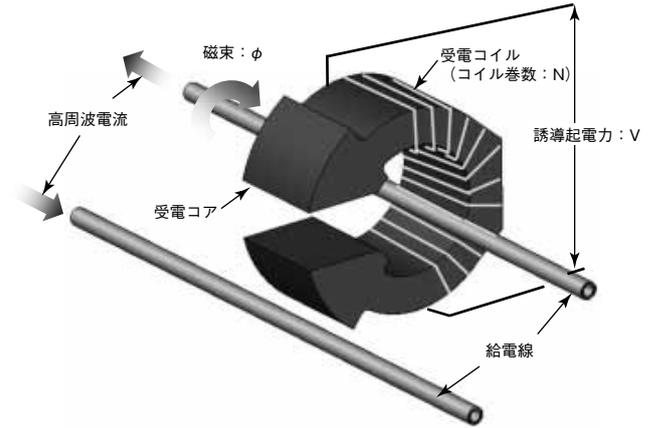


図2 非接触給電の原理

2. 電磁誘導式非接触給電システム

2.1 システムの概要

高周波電源は、外部電源を数十kHzに周波数変換して給電線に出力する。給電線は台車の走行軌道に沿って設置され、ターンして戻る。従来から、給電線にはリッツ線が用いられている。

受電部の定電圧回路は、ピックアップからの電流を全波整流して直流電力を負荷に供給する。ピックアップは受電コイル、フェライトコア、および共振回路で構成され、給電線からのエネルギーを非接触で効率的に取り出すことも重要なパーツである。

2.2 原理

電磁誘導方式の非接触給電では、ファラデーの法則に基づくコイルの鎖交磁束の時間的な変化によって生じる誘導起電力を利用する。

誘導起電力Vは式(1)で表される。

$$V = -N \frac{d\phi}{dt} \quad (1)$$

ここで、Nはコイルの巻数、φは磁束である。

図2に示すように、台車の走行経路に沿った給電線に電流を流すと、アンペールの法則により交流磁界が発生する。時間的に変化する磁界中に台車に搭載された受電部のピックアップを配置すると、受電コイルの両端に式(1)に基づく誘導起電力が生じる。これらの原理により、台車に磁場を介して非接触で給電できる。

3. 開発課題

3.1 開発のねらい

本開発のねらいは、リッツ線を用いた従来品と同等以下のうず電流損失としながら、給電線の施工時間は半分程度に短縮、ピックアップは30%程度の小型化を実現することである。

3.2 施工性向上の課題

従来品で施工性を悪くしている要因は給電線にリッツ線を用いていることであるが、このリッツ線は給電時のエネルギーロスの原因の一つであるうず電流の発生を抑制する効果に優れている。つまり、リッツ線と同等以上のうず電流抑制効果をもつ他の方式に置き換えることで施工性の問題を解決できるといえる。当社はリッツ線よりも施工性に優れる中実導体のトロリー線を用いたシステムを開発しているが、トロリー線ではピックアップの小型化のために電源の周波数を高くするとリッツ線と同等のうず電流の抑制効果を得ることが難しい。

したがって、トロリー線の高周波領域におけるうず電流の発生を低減することが課題となる。また、施工性向上の観点からは、トロリー線の接続作業に要する時間を大幅に短縮するための工夫が必要となる。

3.3 ピックアップ小型化の課題

ピックアップの小型化は、一般にコイルの巻数を少なくすることで実現できる。そのうえで所望の出力電圧を得るためには、式(1)からわかるように、コイルの巻数を少なくした分だけ磁束の時間変化量を増加させればよい。したがって給電線に流れる電流を高周波化すれば小型化は可能であるが、一方ではピックアップ内のうず電流損が増加して負荷接続時の誘導起電力が低下する。

また、高周波電源自体もさらに高周波化する必要があり、使用部品もそれに対応しなければならない。しかし周波数

を高くすると、変換効率の低下や部品のコストアップにつながる。

筆者らの知見では 40 kHz 程度が上限と考えられるが、高周波化だけで 30 % の小型化を達成できない場合は他の工夫も必要となる。

4. 施工性の向上

4.1 うず電流を低減するトロリー線形状

施工性の向上のためトロリー線を採用しながら、うず電流の低減を図る。一般的にうず電流を少なくするためには、リッツ線のように導体断面を細かく分割する必要がある。また、分割したそれぞれの導体は近接効果による交流抵抗の増加を防ぐため適当な間隔を保つことが望ましい。これらの観点からトロリー線の断面形状として図 3 に示す特徴ある三つの形状について検討し、交流抵抗がリッツ線と同等以下となる導体形状を選定する。

図 3 (a) の角管タイプはもっとも製造が容易でコストを低く抑えるねらいがある。図 3 (b) の複数円管タイプは導体断面を細かく分割し、かつ製造コストも低く抑えるねらいがある。図 3 (c) の二重管タイプは、製造コストは高くなるが近接効果を小さくするねらいがある。図 3 (d) は、これらと比較するためのリッツ線である。

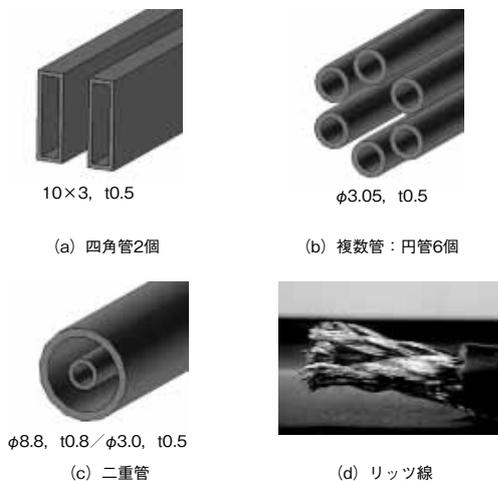


図 3 導体断面形状

それぞれの形状について周波数に対する交流抵抗の変化を磁場解析シミュレーション^{1)~3)}した結果を図 4 に示す。なお、ここで示す交流抵抗増加率は、直流抵抗値を基準としている。

図 3 (a) の角管タイプと図 3 (b) の複数管タイプは、40 kHz 程度までは図 3 (d) のリッツ線よりも増加率が大きいですが、40 kHz を超えるとリッツ線よりも増加率は小さくなる。図 3 (c) の二重管タイプは 20 kHz 程度まではリッツ線に比べてわずかに増加率が大きいですが、20 kHz を超えるとリッツ線よりも小さくなり、40 kHz においては 18 % の低減となっている。

以上のことから、想定する最大周波数 40 kHz においては図 3 (c) の二重管タイプがもっとも優れていることがわかる。

これは、うず電流損のシミュレーション結果からも確認できる(図 5)。この図は、うず電流損が大きいほど黒く表示されており、二重管タイプがもっとも色が薄いことから、うず電流損の発生がもっとも少ないことを示している。

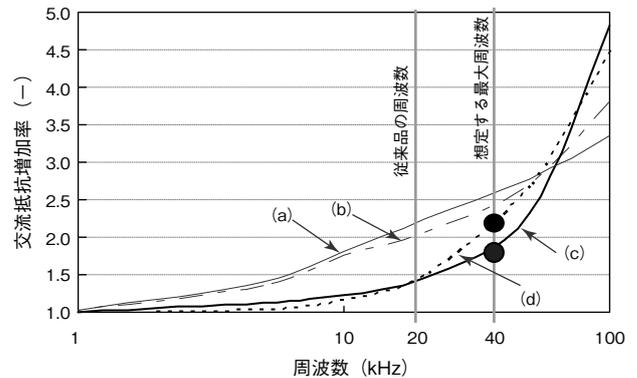


図 4 周波数に対する交流抵抗増加率(解析)

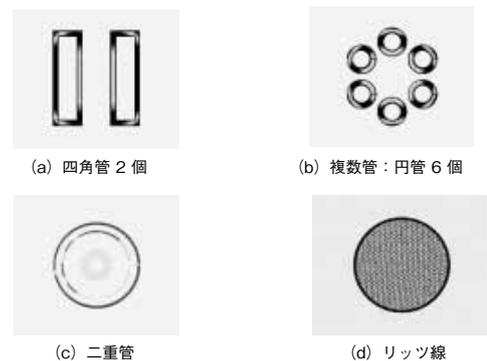


図 5 うず電流損の分布状況(40kHz解析)

4.2 効果

開発品で採用したトロリー線は、その構造上リッツ線のように多数の導線の絶縁皮膜を除去する必要がない。また、トロリー線自体に適度の剛性をもたせているため、接続後のたわみの発生もほとんどなくなり、作業を大幅に削減できる。さらに、接続時の作業時間を短縮するため、絶縁皮膜除去作業そのものが不要なワンタッチ式ジョイナを開発して作業性の向上を図っている。

図 6 に開発したワンタッチ式ジョイナを示す。ジョイナは、刃受け 2 枚、刃受けを接続するリード線、これらを取るカバー、ボディーから構成されている。両端の刃受けにトロリー線を挿入するだけで、接続が完了する。このワンタッチ式接続方式との組合せにより現場での事前配線や試運転後の電線たるみを取る作業が不要となり、試算では 50 % の施工時間短縮が見込まれる。

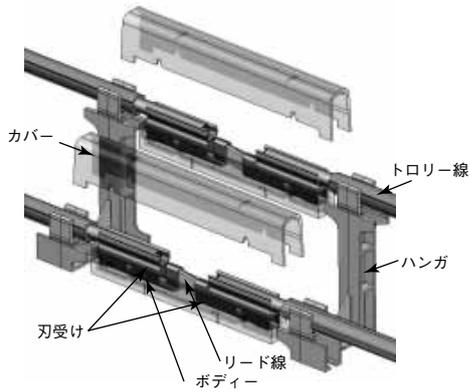


図6 ワナタッチ式ジョイナ

5. ピックアップの小型化

5.1 高周波化の課題

本開発では、同じ出力を維持しながらピックアップを小型化するため、電流の周波数を高くし、かつ受電コイルの巻数を減らす方法を採用する。電流の周波数を従来の2倍の40 kHzにすることで従来品と比べて38%程度の小型化が見込まれるものの、稼働時にピックアップの誘起電圧が負荷に応じて大きく変化する。これは高周波化により交流抵抗が増加するためであり、稼働時に安定した誘起電圧を確保するには、交流抵抗を従来品と同程度まで下げる必要がある。

5.2 交流抵抗低減

まず図7に示すように、交流抵抗増加の要因を抽出し、各要因について低減方策を検討する。

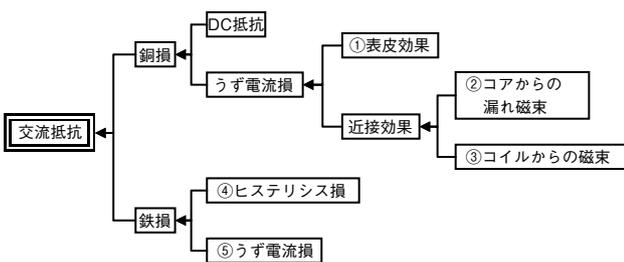


図7 交流抵抗増加の要因

それぞれの要因に対する対策を以下に挙げる。

①表皮効果

- 1) 線径が表皮深さ以下の巻線を使用

②コアからの漏れ磁束

- 1) コアからの漏れ磁束を解析し、それが影響しない部分にコイルを配置

③コイルからの磁束

- 1) 層数の低減
- 2) 巻線間ギャップの増大

④ヒステリシス損

- 1) ヒステリシス損の低い材料選定

⑤うず電流損

- 1) フェライトの採用

本開発のピックアップでは、すでにコアの材料としてフェライトを採用しており、受電コイルの線径は表皮深さ(40 kHzで0.3 mm)以下の ϕ 0.1 mmのリッド線を利用していることから、①と⑤に関しては対策済みである。また、②に関しては受電コアの開口部付近に巻線を配置することで対応可能であり、④に関しては材料特性で決まる。さらに、③-1)に関しては一層とすることで対応する。

したがって、ここでは要因③-2)の巻線間ギャップの増大によるうず電流損の低減を検討する。

5.3 巻線間ギャップの検討

受電コイルの巻線間ギャップを大きくすることによる、うず電流損低減の効果を磁場解析で検討する。

図8に巻線間ギャップと交流抵抗増加率の関係を示す。ここで示す交流抵抗増加率は、直流抵抗値を基準としている。

従来品(20 kHz)に比べて40 kHzでは増加率が約2倍高い値を示している。また、ギャップを大きくすることで交流抵抗の増加を抑制できることがわかる。

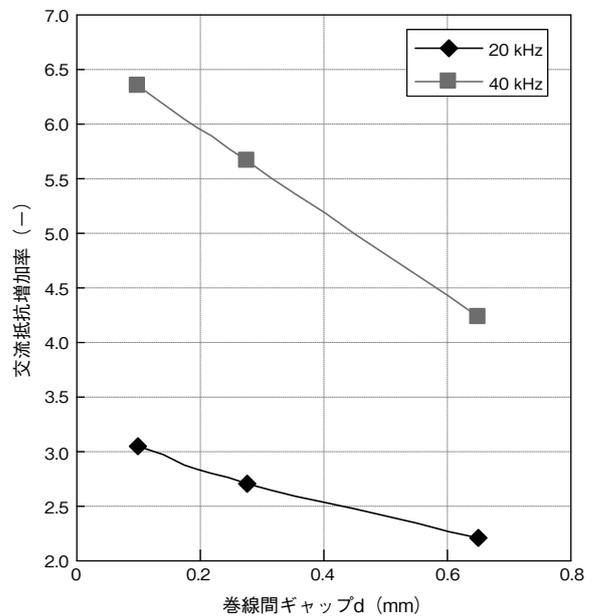


図8 巻線間ギャップと交流抵抗増加率

また、交流抵抗の増加の要因であるうず電流の発生状況についても磁場解析シミュレーションを行った結果、巻線間ギャップを大きくすることによりうず電流の発生が少なくなることを確認している(図9)。

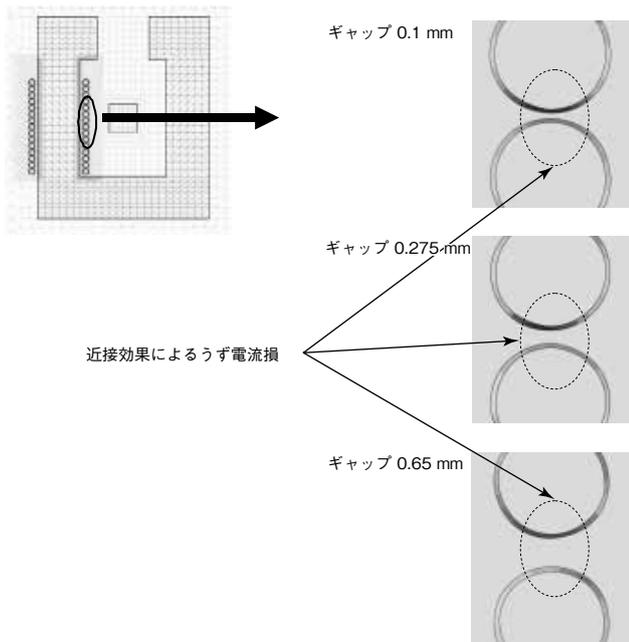


図9 コイル部のうず電流損分布 (50 kHz)

以上の工夫により、ピックアップは従来品と同等以上の特性を確保しながら単位容量当りの体積比で約30%の小型化を実現した。従来品との比較を表1に示す。

表1 開発品と従来品とのサイズ比較

項目	開発品	従来品
出力容量 (W)	1000	900
サイズ (L×W×H) (mm)	180×134×92	164×117×155
単位容量当りの体積 (mm ³ /W)	2219	3305
単位容量当りの体積比	67	100

6. あとがき

非接触給電方式の搬送システムにおいて、給電線を断面が二重管構造となるトロリー線にするとともに、ワンタッチ接続可能なジョイナと組み合わせることで、従来のリッツ線に比べて施工時間1/2を実現した。併せて、電源周波数を従来品の2倍となる40 kHzまで高周波化することで、ピックアップ体積を従来品に比べて同容量で30%小型化した。

電源の高周波化による弊害を抑制するため、トロリー線においては二重管構造により交流抵抗増加率を従来のリッツ線よりも18%小さくして給電性能を向上させた。またピックアップにおいては、コイル間ギャップを巻線径よりも大きくすることにより負荷接続時の誘起電圧性能低下を抑制した。

今後は、システムの実電容量の多品種展開を行いさらなる新規市場開拓を図る。

*参考文献

- 1) 河瀬 順洋, 伊藤 昭吉: 最新三次元有限要素法による電気・電子機器の実用解析, 森北出版 (1997)
- 2) T. Ota, T. Kida and K. Hirata: Heat Transfer Analysis Method Taking Into Account Eddy Current and Hysteresis Loss for Non-Contact Charging System, Proceedings of the 13th Conference on Electromagnetic Fields Computation, PB1-12 (2008)
- 3) 片桐 弘雄, 河瀬 順洋, 山口 忠, 平田 勝弘, 太田 智弘, 鈴木 智士: 三角柱辺要素有限要素法による非接触充電コイルの電磁界解析, 電学静止器・回転機合同研資, SA-11-017/RM-11-017 (2011)

◆執筆者紹介



二島 康

情報機器 R & D センター



前田 裕史

情報機器 R & D センター



寺裏 浩一

情報機器 R & D センター



原 信次

配線・配管事業部



太田 智浩

パナソニック電工解析センター(株)
博士(工学)