

車載コイルにおける全自動トロイダル巻線機

The fully automatic toroidal winding machine in an in-vehicle coil

長野日本無線株式会社

斉藤 雄一 柴草 彰 宮崎 宣一

Yuichi Saito Akira Shibakusa Nobuich Miyazaki

要 旨

当社は、創業以来の永きにわたるコイル巻線技術と、メカトロニクス事業分野の保有技術を融合し、自動車業界の高度なQCDと大電流に対応した、業界初のトロイダルコイルの自動巻線機を2009年に開発した。当時のコイル業界では、トロイダル（円環状）磁性体への大電流に対応する太線の自動巻線は不可能とされ、労働集約型（手作業による巻線）を余儀なくされていたが、自動巻線機の開発・導入により、当コイルの生産手法に大きな変革をもたらした。車載電動コンプレッサー用コイルの量産から本機を導入し、現在までに累計1,000万個を生産、市場においてもゼロデフィクトを継続中で、顧客より高い評価を得ている。本全自動トロイダル巻線機は、投資効果の最大化を図り、巻線スピードの更なる高速化に向けた改良や、xEVの充電器用コイルなど、大型コイルの生産にも対応すべく進化させ、現在は、当社が第3世代と位置付ける最新機を導入している。

Abstract

NJRC has developed in 2009 an industry's first toroidal coil automatic winding machine which can cope with advanced QCD and large electric current in the automobile industry by integrating the coil winding technology, and the technology held over many years in the mechatronics business field since its foundation. In the coil industry at that time, it was considered impossible to perform automatic winding with a thick wire which can cope with a large electric current for a toroidal magnetic substance, and it was obliged to work on a labor-intensive type (winding by hand). However, the development and introduction of the automatic winding machine have brought about a major revolution to the production method of the toroidal coil. This machine was introduced, mass production of in-vehicle electric compressor coils was started, total 10 million products have been produced so far, zero defects are under continuation in the market, and the coil products produced by this machine are also highly evaluated by customers. This fully automatic toroidal winding machine has been developed to maximize the investment effect, to improve further the winding speed and to respond to the production of large coils such as xEV charger coils. Currently, the introduction of a newest machine which NJRC positions as the 3rd generation have been completed.

1. まえがき

トロイダルコイルは、自動車の電動化に伴い、各種電装機器にノイズ除去、電流の平滑、電圧の昇圧・降圧等の用途で幅広く使用されている。トロイダルコイルは鉄、ニッケル、ケイ素などを成分とした磁性体（以降コア）にマグネットワイヤーと呼ばれるエナメル被覆付き銅線（以降電線）を巻線した電子部品であり、用途により、求められるインダクタンス値や電流値が違う為、これにともないトロイダルコイルも、大小さまざまなサイズで実用化されている（図1及び図2参照）。

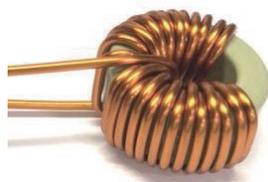


図1
Fig.1



図2 トロイダルコイルの製品例
Fig.2 Product examples of toroidal coil

トロイダルコアに電線を巻く場合、必ずコアの中心穴に電線を通す構造であるため、人件費の安い海外での労働集約型生産が業界において通例となっていた。この為、作業による巻線品質のばらつきや、生産量の増減に融通がきかず、顧客への安定供給においては、課題となっていた。そこで当社は、2009年より3世代に渡り、トロイダルコイルの自動巻線機開発を行った。

2. トロイダルコイル自動巻線機の導入経緯

〈第1世代半自動巻線機〉

コア及び電線供給、また、完成品取り出しを作業者が行い、巻線のみ自動で行う半自動巻線機（仕様及び外観は表1及び図3による）。電線切断の事前準備及び巻線方向の切り替え作業も人手が必要であり、巻線機4台当たり1名の作業者が必要であり作業効率が悪い。

表1 第1世代トロイダルコイル半自動巻線機仕様

Table 1 1st generation toroidal coil semi-automatic winding machine specification

最大コイル外形	φ 25mm
最大電線径	φ 1.3mm
電線最大長	1,500mm
巻線速度	12s/turn ※供給, 排出動作を除く
装置サイズ	1,850(W) × 1,730(H) × 1,850(D) mm



図3 第1世代トロイダルコイル半自動巻線機

Fig.3 1st generation toroidal coil semi-automatic winding machine

〈第2世代トロイダルコイル全自動巻線機〉

第1世代トロイダルコイル半自動巻線機に対し、コア及び電線供給等全てを全自動化した全自動巻線機（仕様及び外観は表2及び図4による）。

また、各機構の見直しにより、巻線速度を向上した。本装置の導入により、常駐作業者が不要となった。

表2 第2世代トロイダルコイル全自動巻線機仕様

Table 2 2nd generation toroidal coil fully automatic winding machine specification

最大コイル外形	φ 25mm
最大電線径	φ 1.3mm
電線最大長	1,500mm
巻線速度	8s/turn ※供給, 排出動作を除く
装置サイズ	1,800(W) × 1,600(H) × 3,500(D) mm



図4 第2世代トロイダルコイル全自動巻線機

Fig.4 2nd generation toroidal coil fully automatic winding machine

第1, 第2世代トロイダルコイル自動巻線機の導入により、従来作業者が手作業で行っていた巻線作業が自動化され、コイル性能及び巻線寸法の安定化、また、3直フル生産での巻線により、安価なトロイダルコイルの大量生産が可能となった。第2世代トロイダルコイル全自動巻線機では小径、短尺電線のトロイダルコイルのみ自動巻線が可能であったが、今後の大型トロイダルコイルの需要増加を見据え、第3世代トロイダルコイル全自動巻線機の開発を行った。

本稿では、トロイダルコイル巻線方法及び、第3世代トロイダルコイル全自動巻線機について紹介する。

3. 第3世代トロイダルコイル全自動巻線機の特長

第3世代トロイダルコイル全自動巻線機の特長を紹介する。表3に第3世代トロイダルコイル全自動巻線機仕様を記載する。

表3 第3世代トロイダルコイル全自動巻線機仕様

Table 3 3rd generation toroidal coil fully automatic winding machine specification

最大コイル外形	φ 50mm
最大電線径	φ 1.6mm
電線最大長	4,000mm
巻線速度	10s/turn ※供給, 排出動作を除く
装置サイズ	1,550(W) × 2,100(H) × 4,000(D) mm

第2世代トロイダルコイル全自動巻線機では外径φ25mmまでのみ巻線が可能であったが、第3世代では外径φ50mmまでの巻線が可能となった。また、コイルサイズの大型化に伴い、電線最大長は約2.7倍となるが、新方式の余長電線処理機構の追加により、装置サイズは従来機と同等サイズでの巻線が可能となった。図5に第3世代トロイダルコイル全自動巻線機を示す。



図5 第3世代トロイダルコイル全自動巻線機
Fig.5 3rd generation toroidal coil fully automatic winding machine

巻線動作は、以下のフローでコア供給より完成品取り出しまでを自動で行っている（図6参照）。

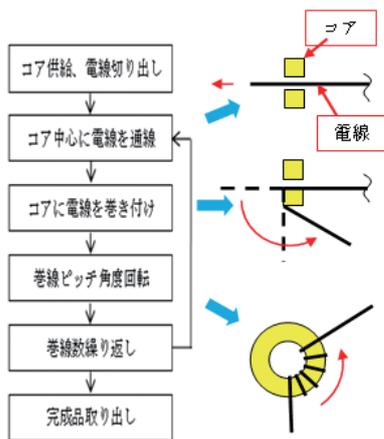


図6 第3世代トロイダルコイル全自動巻線フロー
Fig.6 3rd generation toroidal coil fully automatic winding flow

全自動巻線機は、次の5ユニットで構成している。

- ①コア供給電線切り出し、製品取り出し部
- ②通線部
- ③巻線部
- ④余長電線処理部
- ⑤全体制御部

3.1 コア供給電線切り出し、製品取り出し部

整列されたコアの先頭から可動アームにてコアの取り出しを行い、巻線部にコアの供給を行う。電線は指定長さの引出し後、切断刃において自動切断を行う。また、コア供給可動アームで完成品の取り出しも行った後の完成品の整列機能を追加した（図7参照）。



図7 コア供給電線切り出し部
Fig.7 Core supply wire cutout part

3.2 通線部

巻線部に保持されたコア中心に向けて、電線の先端をガイドに案内させ、コアに衝突することなく、電線の通線を行う。また、通線に失敗した場合の通線エラー検出により設備を停止させる機能を追加した。

電線の先端の反り返り、垂れ下がり等は、電線チャックのしごき動作により真っ直ぐの状態に矯正を行い、通線ミスを防止する機能を追加した（図8参照）。

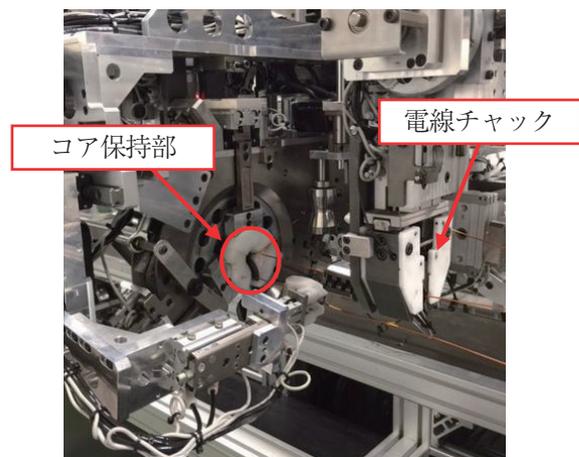


図8 通線部
Fig.8 Wiring part

3.3 巻線部

コアは巻線部中央に保持され、巻線数に応じてコアを所定角度回転させ、整列巻きを行っている。巻線動作中に、電線にテンションをかけながら巻線部全体を揺動動作させ、また外形押えを行い、コアに電線を押し付けながら巻線し、巻き太りを防止する機能を追加した（図9参照）。

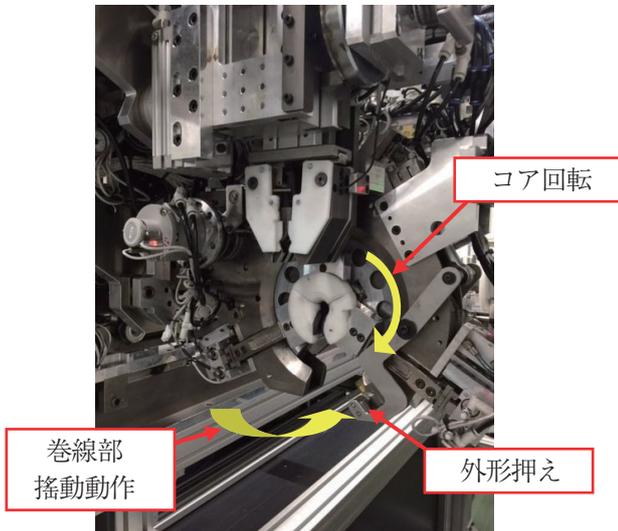


図9 巻線部
Fig.9 Winding part

3.4 余長電線処理部（新機構として追加）

電線は4mの長尺であり、巻線最中の絡み、キンク等を防止する必要がある。2本の可動軸で電線を折り返して、余長電線に常にテンションを加えながら、巻線を行うことにより、従来の装置サイズで2倍の電線長のコイルの巻線が可能となった。2軸は互いの補完動作、円弧動作による高速移動を可能とした（図10参照）。

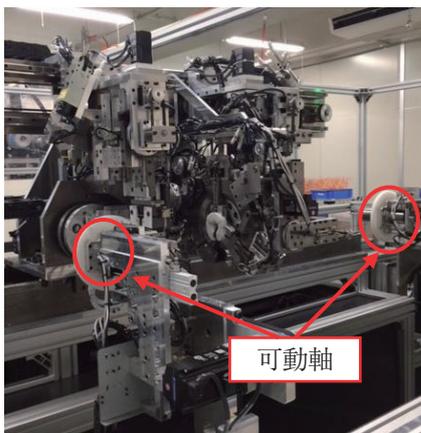


図10 余長電線処理部
Fig.10 Excess length wire processing part

3.5 全体制御

全体制御機構を表4に示す。シーケンサ、センサ、アクチュエータ間は、メカトロリンクでの高速通信に変更し、また、省配線ケーブルの活用により、高速かつメカ動作範囲の拡大を図った。また、配線時間、修理時間の短縮にも寄与している。

表4 全体制御一覧
Table 4 Overall control list

CPU	KV-7500 (メカトロリンク通信)
I/Oユニット	汎用I/Oユニット ・I/O点数：64点 (メカトロリンク通信)
ACサーボモータ	18軸 (メカトロリンク通信)
センサ	86点
表示部	15インチタッチパネル

4. トロイダルコイル全自動巻線機の導入効果

第3世代トロイダル全自動巻線機の導入により、従来自動巻線が不可能であった大型トロイダルコイルの全自動巻線が可能となった。本全自動巻線機にて、2017年より新型PHV車の平滑コイルの生産を開始した。

4.1 長尺電線の巻線

第2世代全自動巻線機では、余長電線の処理（たるみ、キンク防止）ができなかったため、電線線長が1.5mを超えるトロイダルコイルの自動巻線が不可能であった。しかしながら、本トロイダルコイル全自動巻線機の導入により、長尺電線コイルの内作が可能となり、低コスト化を実現した。

4.2 高密度巻線

第2世代全自動巻線機に比べ、コイル位相変換精度の向上、電線しごき機構の追加により、高密度自動巻線が可能となった。また、余長電線処理部の2本の可動軸により常時、電線にテンションを加えることが可能となり、コイル外形が安定した巻線が可能となった。

5. あとがき

第3世代までのトロイダルコイル全自動巻線機の開発により、小型トロイダルコイルに加え、大型トロイダルコイルの高速全自動巻線が可能となった。更なる高速巻線技術の追求、装置の小型化を図る（図11）。

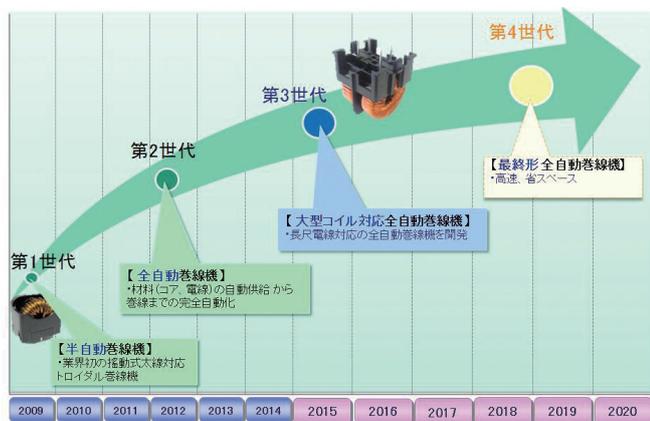


図11 全自動トロイダル巻線機の開発経緯

Fig.11 Development process of toroidal coil fully automatic winding machine

用語一覧

xEV: 電動化車両
メカトロリンク通信: 自動化高速通信のためのオープンプロトコル
PHV: プラグインハイブリッド車
キンク: 電線がねじれて、元にもどらない状態
QCD: 「Quality (品質)」「Cost (費用)」「Delivery (納期)」の頭文字を繋いだ略語