

大口徑薄形巻上機のステータ製造合理化

山添一利* 朴 和彦**
橋本 昭* 大木克倫**
鵜飼義一*

Production Process Rationalization of Stator for Large Diameter and Thin Traction Machine

Kazutoshi Yamazoe, Akira Hashimoto, Yoshikazu Ugai, Kazuhiko Boku, Katsunori Ohki

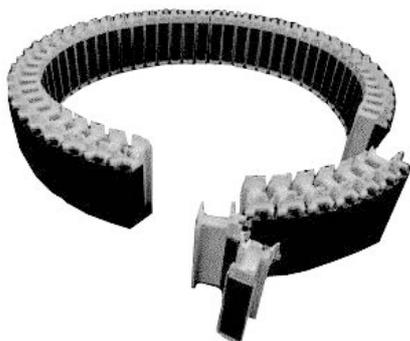
要 旨

ビル、マンションに設置される標準形エレベーターでは、建築スペースを有効活用できる機械室レスタイプ、小型機械室タイプの普及が進んでいる。三菱電機では2001年から薄形巻上機を昇降路内に設置した機械室レスエレベーターを販売し、小型化と低価格化のニーズに応えてきた。

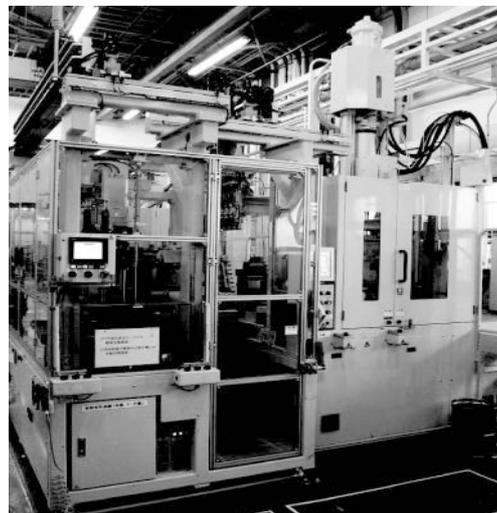
薄形巻上機の技術としては、モータの多スロット集中巻構造による大口徑設計、及び当社独自の回転連結鉄心を用いた高密度巻線技術を開発することによって、当社従来比1/5の薄形巻上機を実現している。機械室レスタイプ、小型機械室タイプのエレベーターは国内だけでなくグローバル市場でも選ばれる機会が増えている。これらエレベーターの構造を革新する鍵である薄形巻上機の生産規模が拡大しており、持続的な製造合理化が求められている。

本稿では、回転連結鉄心の特徴を生かしてステータの鉄心プレス工程と絶縁組立工程の合理化を実施した事例について述べる。鉄心プレス工程では、回転連結鉄心を直線千鳥状に2列対向させて打ち抜く直線2列抜き技術を開発し、鉄心の材料歩留りを約40%改善した。絶縁組立工程では、回転連結鉄心を逆反り姿勢で1ティースごとに樹脂一体成形し、絶縁構造を形成する工法と設備を開発した。

小さな単位で樹脂一体成形する工法によって設備を小型化し投資を抑制することで、大型製品の樹脂一体成形に自動化技術を適用することを可能にした。この自動化技術の適用によって生産条件を安定化させ、製品の高品位化を進めた。



薄形巻上機用ステータ



鉄心逆反り順送成形設備

回転連結鉄心の鉄心逆反り順送成形設備

工程ごとに適した姿勢を取れる回転連結鉄心の特徴を生かし、逆反りした姿勢で1つのティースずつ順次入れ替えながら樹脂一体成形する専用設備を開発した。加工する単位を小さくすることで成形金型と成形設備を小型化した。ティースの姿勢を変えて入れ替える鉄心姿勢変形装置は自社開発であり、成形プロセスに自動化技術を組み合わせることで自動生産を可能とした。

1. ま え が き

近年、グローバル規模でビルやマンションなどの建築着工数が増加しており、エレベーターに関しては、ビルの高層化に対応する高速大容量機種との拡張と、マンション向けなど標準機種の小型化と低価格化が求められている。当社では、永久磁石モータを搭載した大容量巻上機や薄形巻上機によって機械室を小型化できるエレベーターをラインアップし、顧客ニーズに応じてきた。

標準機種としては、当社従来比1/5の薄形巻上機⁽¹⁾を開発し、巻上機と制御盤を昇降路内に設置することで機械室を不要とする機械室レスエレベーターを2001年4月に製品化した。機械室がなくなることで建物レイアウトの自由度が向上し、設置スペースが限られる駅舎などにも普及が進んでいる。また、薄形巻上機を活用した小型機械室エレベーターを製品化し、多様な建物仕様に対応している。

その結果、グローバル市場で顧客ニーズに合致した機械室レスタイプ、小型機械室タイプが選ばれる機会が増えている。これらエレベーターの構造を革新する鍵である薄形巻上機の生産規模は大幅に拡大しており、持続的な技術進化による生産性改善が求められている。

本稿では、ステータの製造合理化に取り組んだ事例について述べる。

2. 薄形巻上機における従来の製造技術

2.1 大口径集中巻きステータ

薄形巻上機のステータには従来、大口径集中巻構造を採用している。大口径化によって必要トルクを維持しつつステータの軸長を短縮し、巻線構造としてコイルエンドの短い集中巻を採用することでステータを薄形化した。集中巻モータの課題であるトルクリプルに対しては、ステータのスロット数とティース形状を最適化することで対策し、業界最薄^(注1)の巻上機を実現している。

製造工程では、図1に示すように、大口径のステータを円弧形状の鉄心ブロックに分割した状態で鉄心プレス加工し、鉄心ブロックごとに絶縁組立、巻線加工を実施し、複数の鉄心ブロックを溶接することで一円のステータを製造している。大型製品の製造では一般的に大型の設備を必要とするが、分割して加工単位を小さくすることでプレス設備や組立て設備を小型化できた。また、部品を小型化する

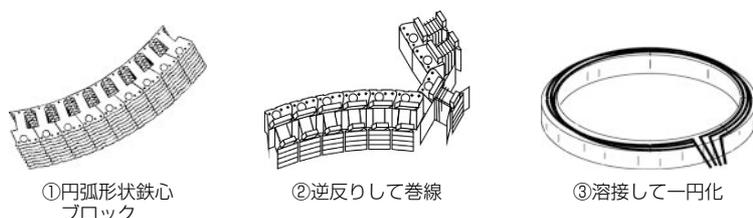


図1. ステータの製造工程

ことで工程間の搬送負荷が軽減し、効率よく大型ステータを製造している。

(注1) 2009年10月、当社調べ

2.2 回転連結鉄心

ステータを薄形化する技術として、“回転連結鉄心(図2)”を用いた高密度巻線技術が挙げられる。回転連結鉄心は、図3のように隣り合うティースの間で積層鋼板が重なり合い、その中央に形成された円柱状の突起が回転中心となることで自在に屈曲する特徴を持つ。

巻線工程では図4に示すように、鉄心ブロックを逆反り姿勢に展開して隣接するティースとの空間を広げることで真直性の良い電線を供給でき、フライヤノズルによる電線位置の制御によって整列化された高密度な巻線(図5)が実



図2. 回転連結鉄心

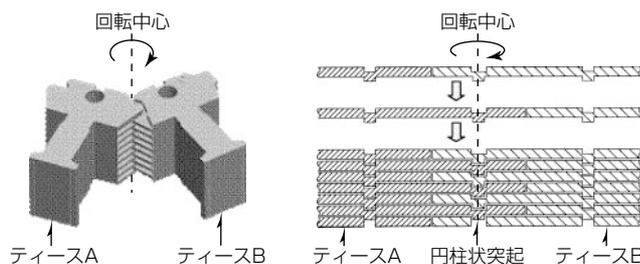


図3. 回転連結鉄心の挙動と断面

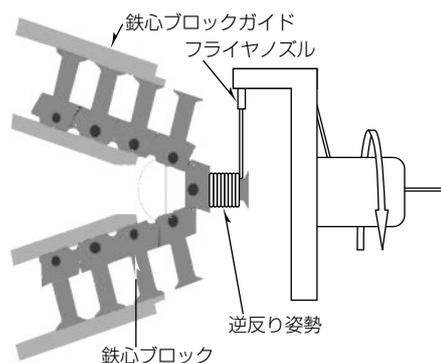


図4. 逆反り姿勢での集中巻

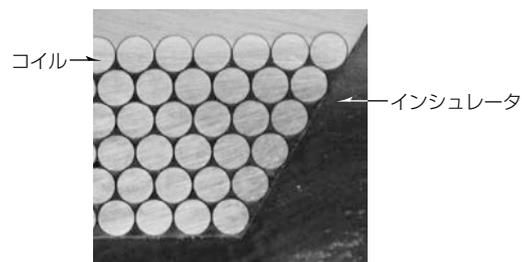


図5. 高密度整列巻線の断面

現できる⁽²⁾。限られたスペースに高密度に巻線を配置することで巻上機の薄形化を実現している。

また、回転連結鉄心は連結された構造のため隣接するティースのコイルを連続して巻線することができる。そのため後工程の接続作業が不要で、生産性が向上している。

このように、大口径集中巻きステータの構造設計と、回転連結鉄心による高密度巻線によって薄形巻上機を実現しているが、さらに、生産性向上の課題として、鉄心プレス工程、絶縁組立工程の合理化に取り組んだ。

3. 鉄心省材料化技術

外径がφ600mm以上の大口径のステータに用いる鉄心を一円で打ち抜くと、捨て材が多くなり材料歩留りが悪化する。そこで従来は、ステータを複数の鉄心ブロックに分割した構成とし、図6に示すようにプレス金型内で円弧形状に打ち抜くことで、高い材料歩留りを確保していた。今回、回転連結鉄心が持つ自在に屈曲できる特徴を生かし、図7に示すように直線形状に展開し、さらに、2列の鉄心ブロックのティース部を千鳥状に対向させて打ち抜くことで、従来の円弧形状では捨て材になっていたスロット内の材料を有効利用した。

プレス金型内で直線形状に打ち抜かれた鉄心ブロックが、ステータとして一円を形成するためには、図8のように円弧形状に屈曲する必要がある。同図(a)のように回転部で隣接するティース同士が密着した状態から同図(b)のように直

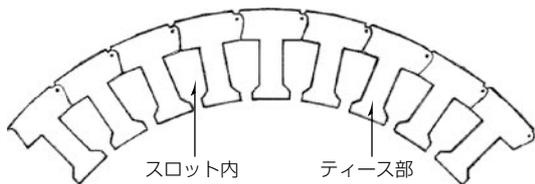


図6. 円弧形状

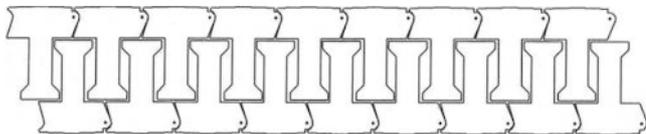


図7. 直線2列形状

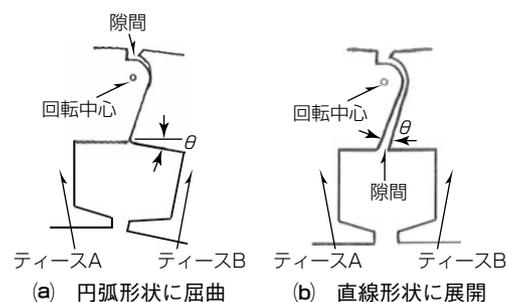


図8. 回転連結部の状態

線形状に展開したときに、隣接するティース間には θ 分の隙間が生じる。また、鉄心ブロックを自在に屈曲させるために、隣接するティース間が全て隙間で切り離されている。直線形状のプレス加工には、これら隙間を刃物で打ち抜く必要があり、量産に耐え得る刃物強度を確保した隙間形状とした。

このように、回転連結部の形状を工夫することで直線2列抜きを可能にし、鉄心の材料歩留りを約40%向上させた。

4. 絶縁組立工程の樹脂一体成形自動化技術

4.1 樹脂一体成形によるステータ絶縁構造

従来の絶縁部品組立構造を図9に示す。複数の絶縁部品を組み立てることで、鉄心ブロックとコイルの絶縁構造を形成する。鉄心ブロックとコイルを絶縁し巻枠の役割を果たすインシュレータ、インシュレータ間の隙間に貼り付けて絶縁を確保する絶縁シート、絶縁シートの外側を覆う絶縁フィルムの計6点を組み付ける構造である。

この開発では、成形金型内に鉄心ブロックを固定し成形樹脂を充填する樹脂一体成形構造(図10)を導入した。従来の絶縁機能を一体成形した成形樹脂で代替することで絶縁部品と組立作業を削減できた。

インシュレータの薄肉化は巻線するスペースの拡大につ

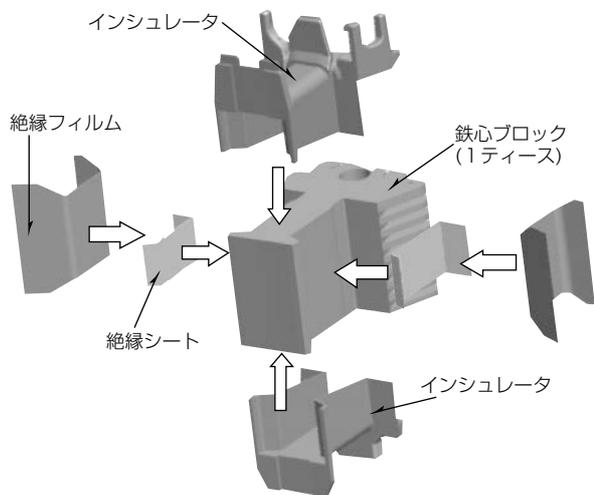


図9. 絶縁部品組立構造

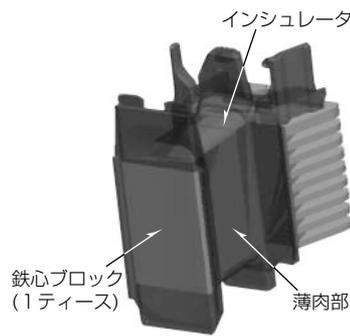


図10. 樹脂一体成形構造



図11. 成形樹脂の到達時間の差異

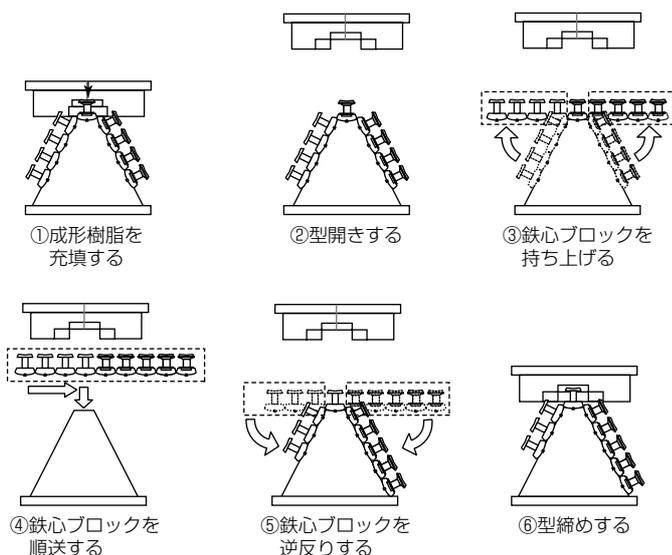


図12. 鉄心逆反り順送成形のフロー

ながるが、薄肉部への成形樹脂の充填性を確保する必要がある。そこで、流動経路をホットランナーにすることで成形樹脂の充填性を向上させ、さらに、樹脂流動解析(図11)を行いゲート配置と製品形状を最適化した。これによって成形樹脂の到達時間が遅い薄肉部への充填性を確保し、必要な成形品質を得ることができた。

4.2 回転連結鉄心の逆反り順送成形

モータ鉄心の樹脂一体成形工程では、1回の成形で全てのティースに成形樹脂を充填するのが一般的であるが、大型鉄心の場合、成形設備が大型化するという問題がある。そこで今回は、回転連結鉄心を逆反りさせて1ティースずつ樹脂一体成形し、順送を繰り返す“鉄心逆反り順送成形工法”を開発した。図12に鉄心逆反り順送成形のフローを示す。

次の①から⑥を繰り返すことで、樹脂一体成形によって絶縁構造を形成する。

- ① 1つのティースに成形樹脂を充填する。
- ② 成形金型を型開きする。
- ③ 鉄心ブロックを水平に姿勢変形させ、鉄心ブロックを持ち上げる。
- ④ 鉄心ブロックを水平方向に順送し次のティースを成形金型に固定する。
- ⑤ 鉄心ブロックを逆反り姿勢に屈曲する。
- ⑥ 成形金型を型締めする。

工程⑤では、鉄心ブロックを逆反り姿勢にすることで、図13に示すように樹脂一体成形するティースの側面に空間ができ、ティースの側面から金型スライドパーツで囲む構造にした。ティース間の狭い隙間に金型スライドパーツを挿入する必要がなくシンプルな構造になるため、金型の強度を確保できる。また、成形金型の開閉時間を短縮できた。

成形設備は、ロータリーテーブル式の縦(たて)型射出成形機、成形金型、及び鉄心ブロックの姿勢を変形し成形金

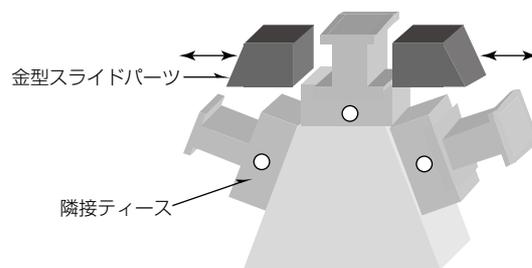


図13. 成形金型の構造

型に供給する鉄心姿勢変形装置で構成している。鉄心姿勢変形装置は鉄心ブロックの関節を屈曲させる姿勢変形ユニットと、鉄心ブロックを成形金型から持ち上げて順送する搬送ユニットで構成し、縦型射出成形機と一体化して連動することで、①から⑥の一連の工程を自動化した。これらの設備を自社開発することで、各工程の条件の最適化とサイクルタイムの最小化を図った。

この工法によって、鉄心ブロックを屈曲させて逆反り姿勢で1ティースずつ成形することで成形金型と縦型射出成形機を小型化することができ、投資を抑制する効果が得られた。また、小さい単位で成形することで、成形樹脂の充填状態を均一化しティースごとの成形品質を安定させることができた。

5. む す び

自在に姿勢を変えられる回転連結鉄心の特徴を活用し、“小さな単位で、適した形で加工する”というコンセプトの下、鉄心プレス工程、絶縁組立工程の合理化を進めた。鉄心プレス工程では鉄心ブロックを直線形状で2列に対向させる“形”で加工することで材料歩留りを約40%向上させた。絶縁組立工程では巻線工程と同様に逆反りの“形”として、1ティースずつという“小さな単位”の樹脂一体成形で絶縁構造を形成することで、部品点数を削減し組立作業を合理化した。

さらに、製品形状を適した形に変化させる自動化技術を成形技術に組み合わせることで、小さな単位で連続的に成形する工法を実現した。大型製品では、設備が大型化し設備投資が負担となるため自動化生産が進みにくいですが、設備を小型化し投資を抑制することによって大型製品の樹脂一体成形に自動化技術を適用することができた。この絶縁組立工程の自動化によって、コスト低減と生産条件の安定化による製品の高品位化を更に進めた。

参 考 文 献

- (1) 井上健二, ほか: 三菱新機械室レスエベーター用薄形巻上機, 三菱電機技報, 75, No.12, 772~776 (2001)
- (2) 秋田裕之, ほか: エアコン用圧縮機モータの省エネルギー・高効率化, 三菱電機技報, 75, No.10, 655~658 (2001)