

圧入組立型分割鉄心による 圧縮機モータ

山本一之* 吉野勇人***
増本浩二**
庄野一弘**

Compressor Motor Using Partial Fitting Assembly Cores

Kazuyuki Yamamoto, Koji Masumoto, Kazuhiro Shono, Hayato Yoshino

要 旨

近年、世界規模での環境規制が拡大される中、産業用、家電用、車載用などの多くの機器に搭載されるモータに対して、さらなる高効率化が要求されている。空調機器の分野では、各国の省エネルギー規制が強化されて目標値のレベルアップが求められており、エアコンの圧縮機やファンモータに高効率のブラシレスDC(Direct Current)モータを搭載するケースがますます増えている。三菱電機でも、家庭用ルームエアコン向けにポキポキモータと呼ぶ分割鉄心を採用したブラシレスDCモータを開発し、製品化している⁽¹⁾。

今回の開発は、業務用やビル用のパッケージエアコンに搭載される中大型の圧縮機モータを高効率化することを目的とする。年間の生産台数は家庭用に比べて少なく、かつ多品種の製品であるため、生産規模に応じて設備投資や工数を十分に最適化し、コスト競争力を強化する必要がある。

対象となる圧縮機モータの固定子には分布巻き方式が採用されてきた。そこで、巻線密度を高めて高効率化できる集中巻き方式のブラシレスDCモータの適用を目指し、“カチッとコア”と呼ぶ新しい圧入組立型の分割鉄心を提案した。この分割鉄心は、磁極単位の鉄心から簡単に中大型モータの固定子が組み立てられるため、鉄心金型やプレス装置などの設備投資を抑え、組立工数を低減することができる。

提案した鉄心構造を用いてモータを設計するとともに、整列巻きによる高密度巻線を実現する巻線機などを開発して、量産工法を確立した。新規に開発したブラシレスDCモータは、従来の分布巻き方式のモータに比べて、総合効率を1~4%向上し、質量比で約20%の小型化を実現した。当社の業務用パッケージエアコン“HNB、ENBシリーズ”の圧縮機に採用され、順次適用機種を拡大中である。



エアコン用圧縮機モータ

溶接された密封型の圧縮容器(シェル)に圧縮室とモータが一体に配置されている。モータの固定子はシェルに焼きばめて固定されており、回転子は圧縮機の回転部に接続され、モータは常に冷媒中に浸(した)された状態で作動する。近年、圧縮機の高効率化のために、従来の誘導モータからブラシレスDCモータが主流となっている。圧縮機モータは幅広い運転域で、高効率化以外に、静音化・低振動化などの性能を満たす必要がある。

*生産技術センター **冷熱システム製作所 ***住環境研究開発センター

1. ま え が き

空調機器の分野では、環境問題を背景に、省エネルギー規制の強化や省エネルギー優遇措置の施行が世界各国で実施されている。エアコンのインバータ化が進み、圧縮機に高効率なブラシレスDCモータを搭載するケースが増えている。当社でも家庭用ルームエアコン向けに、ポキポキモータと呼ぶ分割鉄心を採用した高効率モータを開発し、製品化している⁽¹⁾。

今回の開発は業務用パッケージエアコンに搭載される中大型の圧縮機モータを対象とする。年間の生産台数は家庭用に比べて少なく、かつ多品種の製品であるため、生産規模に応じて設備投資や工数を最適化し、コスト競争力を強化する必要がある。

本稿では、高効率化、小型化、静音化・低振動化などのモータ性能の向上とともに、金型やプレス装置などの投資や組立工数の低減も実現した新しい分割鉄心を用いたモータ開発について述べる。

2. 中大型モータへの分割鉄心の適用

2.1 圧縮機モータの巻線構造

図1に圧縮機モータに用いられるブラシレスDCモータの固定子構造を示す。(a)が分布巻き方式、(b)が集中巻き方式である。分布巻き方式は、治具に外巻きしたコイルをインサートツールによって固定子鉄心に挿入する巻線が行われる⁽²⁾。集中巻き方式は、コイル線を巻線ノズルによって磁極ごとに巻回する巻線が行われる⁽¹⁾。

集中巻き方式は、鉄心を分割化して巻線スペースを十分に確保し、コイル線を整列させて巻線密度を高められるため、高効率モータへの採用が増加している。この開発でも、集中巻き方式を中大型の圧縮機モータに採用してモータの高効率化を図ることを試みた。

2.2 分割鉄心を適用する場合の課題

多品種少量の中大型モータに対して、従来提案されてきた分割鉄心を適用する場合、次の課題がある。

図2の(a)に示すように、ポキポキ式分割鉄心は磁極を連

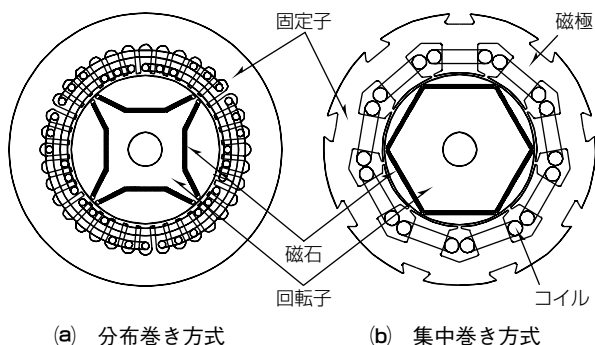


図1. 圧縮機モータの固定子構造

結してコイル線を切らずに連続巻線できる利点がある。しかし、中大型の固定子鉄心に採用した場合、連結した鉄心形状を製造する金型や大型のプレス装置への投資が大きく、また巻線やモータ組立に要する工数や設備費も増大する課題がある。

図2の(b)に示すように、磁極単位の鉄心を金型で抜き、溶接によって組み立てる方式は、小型の金型と、加圧能力の低い安価なプレス装置で鉄心を製造できる反面、組立時の溶接歪(ひず)みで十分な鉄心精度が得られない課題がある。

図2の(c)に示すように、分割面にアリ溝形状の凹凸部位を設けて圧入によって組み立てる方式も、積層厚が厚い中大型の鉄心に対しては圧入力が増大し、鉄心がかじりを生じて十分な鉄心精度を確保できない課題がある⁽²⁾。

3. 圧入組立型分割鉄心の提案

3.1 提案する分割鉄心構造

図3にこの開発で提案する圧入組立分割鉄心“カチッとコア”を示す。磁極ごとに分割された鉄心はその分割面に凹凸部位を設けてあり、この凹凸部位は勘合形状と挿入形状の2種類の鋼板を積層して構成されている。各々の分割面を合わせたとき、勘合形状の凸部位は挿入形状の凹部に挿入でき、また挿入形状の凸部位は勘合形状の凹部に挿入できるように設計されている。そして勘合形状の凸部位と凹部位は積層方向(モータ軸方向)からの押圧によって圧入組立できるアリ溝形状に設計されている。

3.2 “カチッとコア”の特徴

図4に提案した割鉄心の組立の様子を示す。積層方向に少しずつ圧入すれば分割面が合わせられるように勘合形状と挿入

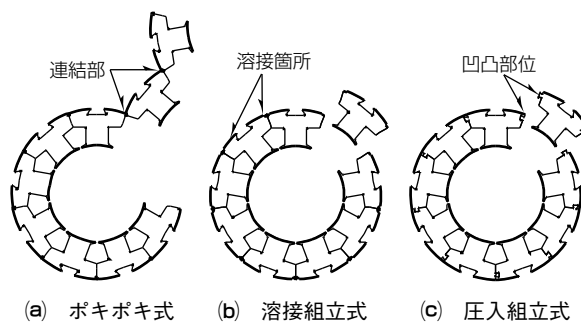


図2. 鉄心分割方式の比較

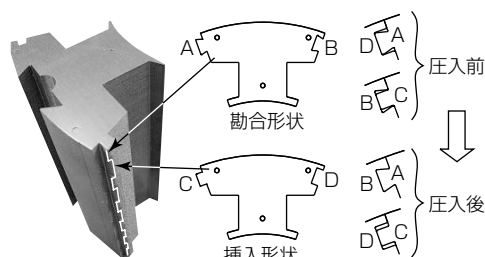


図3. 圧入組立分割鉄心“カチッとコア”

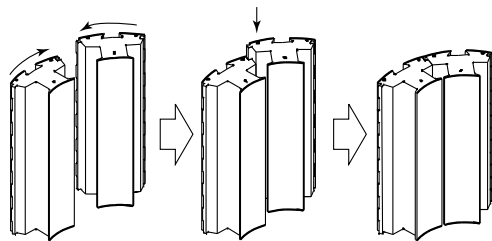


図4. 分割鉄心の組立

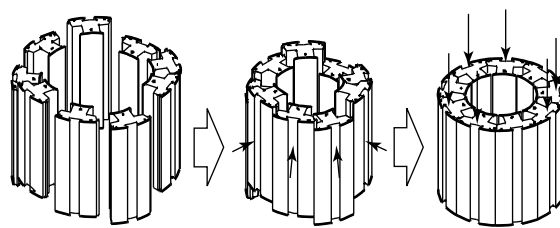


図7. 鉄心一括組立工法(コイルは未表示)

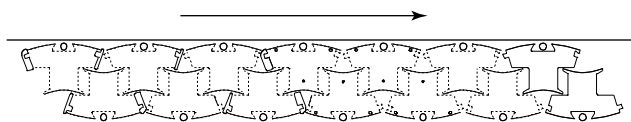


図5. 鉄心金型のレイアウト

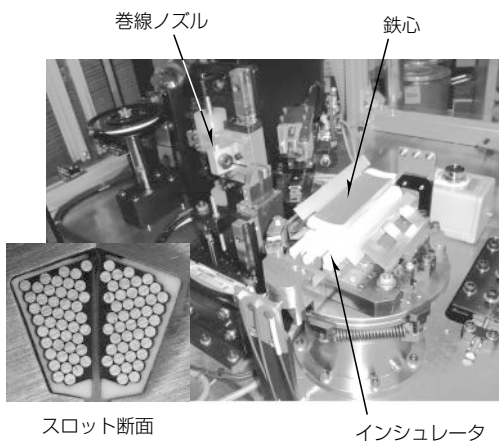


図6. スピンドル式巻線機

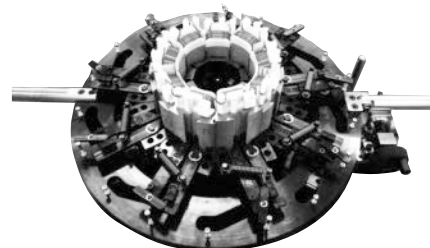


図8. 鉄心一括組立治具

形状が交互に配置してあり、分割面を一旦(いったん)合わせた状態に組み立てた後、短い距離を積層方向に押圧するだけで勘合形状の凹凸部位を圧入組立できる。構成する勘合形状と挿入形状の比率を変えて圧入力を低減できるため、圧入部がなじることがなく優れた鉄心精度が得られる。

図5にこの分割鉄心の金型レイアウトを示す。パンチコントローラによってトリムパンチを切り替えて分割面の凹凸部位を形成する。磁極単位の抜きであるため、小型の金型が採用でき、また加圧能力の低いプレス装置の採用が可能となり投資を抑えられる。また分割化によってネステイングを工夫できるため、一体化鉄心よりも高い鉄心歩留まりを得ることができる。図のように2つの磁極を対向させて千鳥配置とした場合、鉄心歩留まりは約80%である。

4. 圧縮機モータへの適用

4.1 スピンドル式巻線機の開発

開発した圧縮機モータは集中巻き方式の固定子とネオジム磁石を内部に配置した回転子からなる9スロット6極の

構造である。部材コストを低減するためにモータ回路はコイル末端を結線して構成した。

図6に開発した巻線機を示す。インシュレータを装着した鉄心を回転させ、巻線ノズルの1方向の動作でコイル線を配置させるスピンドル巻線方式を採用した。整列巻線を行う上でコイル積層時に制御する必要がある巻層間の重なり位置(クロスポイント)は、すべてコイルエンドに集中させてスロット内部を完全な俵積み状態に配置し、設計したスロット面積に対して最大限の占積率を達成した。

またこの巻線機には、各末端の長さを指定長に調整して切断できる機能や、CO₂レーザー光を巻線途中で照射して末端先端の表面皮膜を剥離(はくり)する機能などを付加して、後のコイル末端処理の組立工数を低減させた。

4.2 鉄心一括組立工法の開発

分割鉄心の組立工数を低減するために、カチッとコアの構造を活用して、図7に示す一括組立工法を考案した。組立は、次の3工程で行う。

- ①巻線されたすべての磁極を同心円上に、かつ隣り合う凹凸部位が挿入できる高さに配置する。
- ②各鉄心を同時に中心に向かって移動させ、各凹凸部位を挿入して分割面を合わせる。
- ③積層方向に押圧し、勘合凹凸部位を圧入組立する。

図8に開発した半自動式の組立治具を示す。カムやギヤなどを用いて一連の動作を実現でき、作業者は負担なく短い時間で作業を遂行できる。

この組立工法は、すべての磁極の分割面を密着させた状態で圧入組立ができるため、組立後の真円度は約30μmと、一体型鉄心と同等の鉄心精度が得られた。その結果、所望の静音・低振動のモータ性能を実現することができた。



図9. 開発した圧縮機モータ固定子

4.3 開発した圧縮機モータの性能

図9に開発した圧縮機モータの固定子を示す。同出力の分布巻き方式の固定子に比べ、質量比で約20%を削減することができた。また、固定子のコイルエンドの高さが低減でき、30%以上の軸方向の小型化が実現できた。

図10と図11に、同出力の分布巻き方式のモータと開発した集中巻き方式のモータを比較した場合の、総合効率と各損失の測定例を示す⁽³⁾。総合効率とは、モータ効率とインバータ効率の積である。特に低回転域で効果が大きいものの、すべての回転数で分布巻き方式に比べて効率が優れていることがわかった。そして、コイル抵抗の低減によって銅損が半減できていることが確認でき、集中巻き方式の優位性を検証できた。

開発した圧縮機モータは当社の業務用パッケージエアコンのHNB(18HP)、ENB(10HP)シリーズに採用されており、順次、適用機種を拡大中である。

5. むすび

“カチッとコア”は、簡易な組立で十分な鉄心精度が得られるため、試作も容易であり、モータ開発を加速することにも貢献している。またポキポキモータとも組み合わせ、生産規模に応じたモータラインを構築することによって、空調機器だけでなく、産業用、車載用など、多くの製品に高効率モータを提供できると考えている。

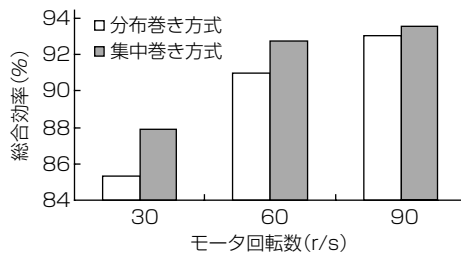


図10. 総合効率の比較

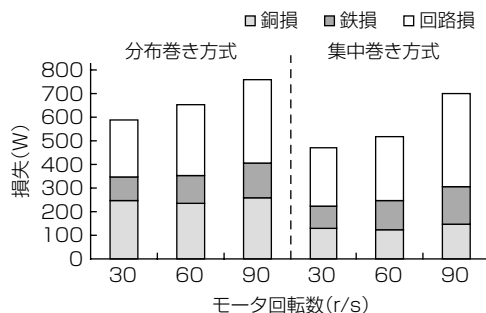


図11. 各損失の比較

当社では、モータがキーパーツとなっている製品が多数ある。モータの生産技術開発を通じて、多くの製品の競争力を強化するとともに、高性能化、高効率化を更に追求して、省エネルギー化に貢献していきたい。

参考文献

- (1) 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)
- (2) 木下治雄, ほか: 換気扇用小型モータの量産ライン構築, 三菱電機技報, 81, No.12, 791~794 (2007)
- (3) 吉野勇人, ほか: 集中巻ブラシレスDCモータの高効率化検討, 電気学会 回転機研究会資料, RM-09-51 (2009)