

短辺クロス巻線方式と段付ポキポキコアによる 圧縮機用DCモータの高効率化技術

飯田敏充* 仁吾昌弘**
岩邊剛仙* 北野修一***
熊谷一弥*

High Efficiency Technology of DC Motor for Compressor by Tanpen-cross-winding-method and Dantsuki-pokipoki-core
Toshimitsu Iida, Yoshinori Iwanabe, Kazuya Kumagai, Masahiro Nigo, Shuichi Kitano

要 旨

2019年度ルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”(2018年11月発売)(以下“FZシリーズ”という。)では、通年エネルギー消費効率(APF)でルームエアコンでの最高値を更新するため、圧縮機の高効率化技術の開発に取り組んだ。ルームエアコンでは、圧縮機を駆動させるための電力が大半を占めており、圧縮機に内蔵されている高効率なDCモータが省エネルギーを支えていると言っても過言ではない。FZシリーズには、モータ巻線技術を極限まで高めることで高効率化を実現した新工法圧縮機を搭載しており、全容量帯で2018年度機種のAPF最高値を更新した。

今回開発したDCモータは新巻線工法である“短辺クロス巻線方式”と新ステータコア構造である“段付ポキポキコア”の採用によって、コイルの抵抗及びモータ損失(銅損)

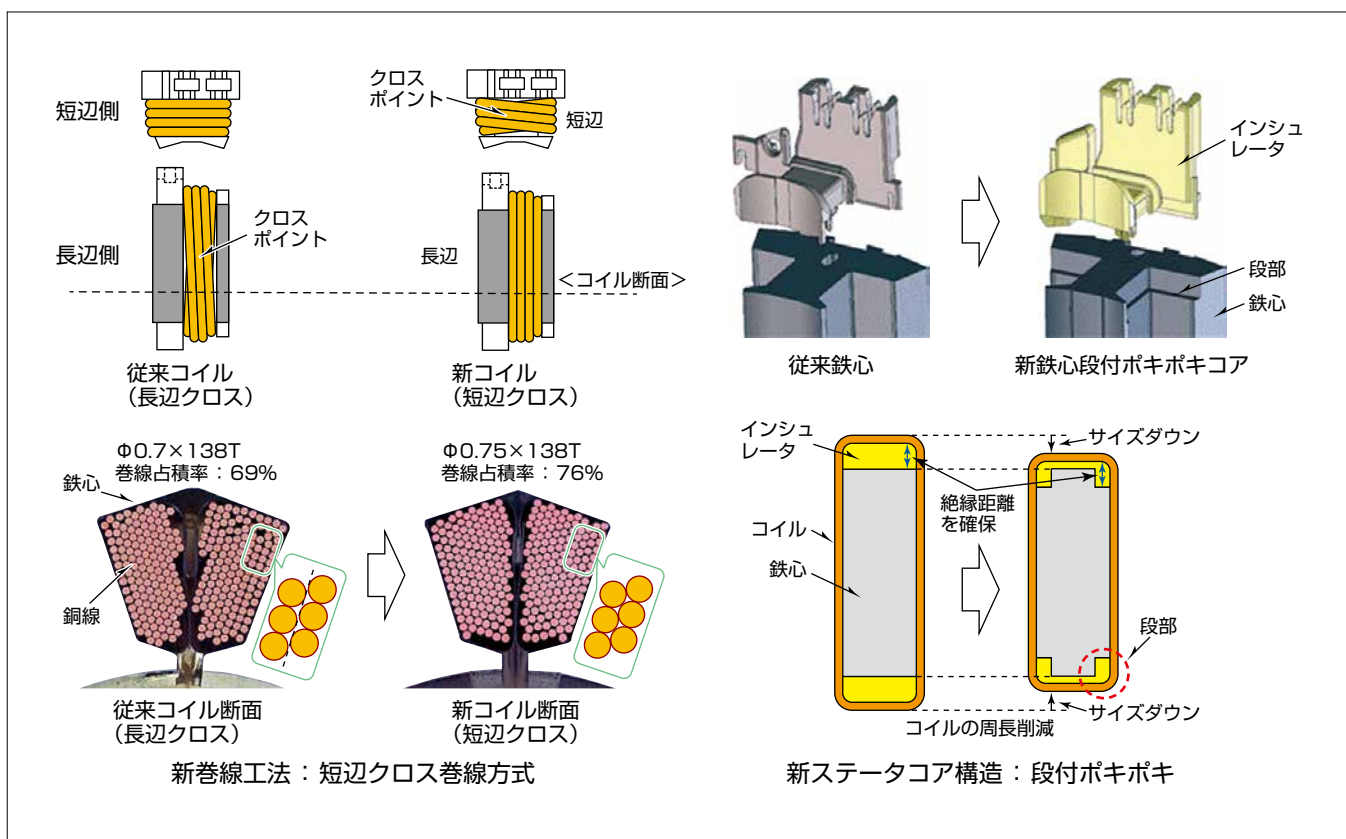
を大幅に低減させ、モータの高効率化を実現した。

(1) 短辺クロス巻線方式

巻線のクロスポイントをコイルの長辺側から短辺側に変更することでコイル間のデッドスペースを減少させ、巻線占積率を向上させた。その結果、銅損低減によってAPFの従来比+0.3%を実現した。

(2) 段付ポキポキコア

インシュレータの内部に設けた空洞にステータコアを埋め込むことによって、コイル1周当たりの長さを減少させた。その結果、銅損低減によってAPFの従来比+0.3%を実現した。段付き部の巾や長さはモータの絶縁距離、鉄損への影響、製造性を加味した上で、最もコイルの長さが短くなる最適な値に決定した。



新巻線工法“短辺クロス巻線方式”と新ステータコア構造“段付ポキポキコア”による圧縮機用モータ高効率化実現

FZシリーズに搭載された圧縮機用モータの高効率化技術として、新巻線工法である短辺クロス巻線方式と新ステータコア構造となる段付ポキポキコアによる銅損低減技術を確立した。FZシリーズの全能力帯でAPF改善を実現し、圧縮機とルームエアコンの省エネルギー化、及び、平成30年度省エネ大賞資源エネルギー庁長官賞受賞に貢献した。

1. ま え が き

FZシリーズでは、APFでルームエアコンでの最高値を更新するため、圧縮機の高効率化技術の開発に取り組んだ。ルームエアコンでは、圧縮機を駆動させるための電力が大半を占めており、圧縮機に内蔵されている高効率なDCモータが省エネルギーを支えていると言っても過言ではない。FZシリーズでは、モータ巻線技術を極限まで高め、高効率化を実現した新工法圧縮機を搭載し、APFでは全容量帯で2018年度機種での最高値を更新した。今回開発したDCモータは新巻線工法である短辺クロス巻線方式と新ステータコア構造である段付ボキボキコア採用によって、コイルの抵抗及びモータ損失(銅損)を大幅に低減させ、モータの高効率化を実現した。

本稿では、モータ損失と効率、短辺クロス巻線方式及び段付ボキボキコアについて述べる。

2. モータ損失と効率

圧縮機に搭載されるモータ(図1)の総合効率は図2に示すようにモータ効率と回路効率によって決まる。モータの高効率化を実現するためには、同一出力で、主に銅損、鉄損、機械損から構成されるモータ損失を低減させることが必要である。この開発では従来機種で損失割合が大きく、損失低減による効率改善効果の大きい銅損の低減を目的と

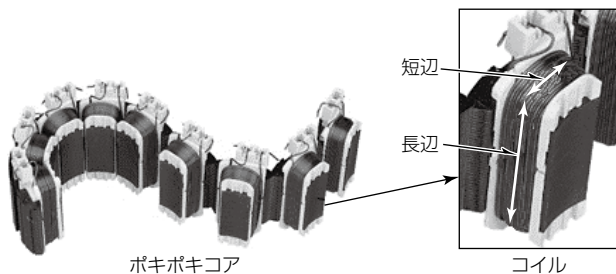


図1. 圧縮機用モータとコイル

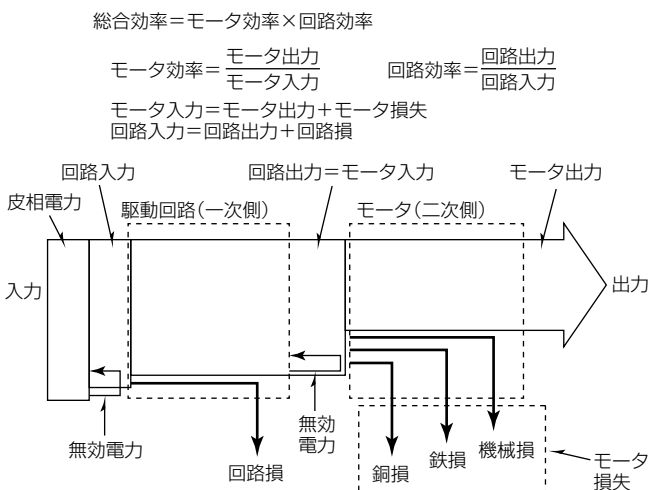


図2. モータ損失と効率

している。銅損はモータ入力電流 $I^2 \times$ コイル抵抗 R で表され、また、コイル抵抗は $R \propto \rho$ (抵抗率) $\times l$ (コイル周長) $/S$ (導体断面積) で表される。

3. 短辺クロス巻線方式

モータへの巻線方法として、円環状に一体で打ち抜かれ展開不可能なコア(一体コア)に対して、ノズルを直接巻線スロット内に挿入して巻線を施す方法が他社モータでは多く採用されている。しかし、巻線中のノズルとコアの距離が近すぎるため巻線を整列して配置することができない点や、ノズルが通過するスペースの確保が必要な点で、巻線占積率(巻線スペースに対して電線が占める割合)を高めることが困難であった。これに対して、三菱電機は円環状のステータコアを展開して巻線が巻きやすいように姿勢変形させることが可能な“ボキボキコア”と呼ばれる独自技術(図3)によって、巻線機フライヤで高密度に整列された巻線を施すことで高い巻線占積率を実現させていることを特長としている(図4)。今回、更に巻線占積率を向上させる“短辺クロス巻線方式”の技術によって、コイルの抵抗を小さくし、銅損を大幅に低減した。

3.1 長辺クロス巻線方式と短辺クロス巻線方式との比較

図1に示すように、コイルには短辺方向(モータの周方向)と長辺方向(モータの高さ方向)がある。また、巻線を高密度に整列させて巻いていくためには、1周ごとにどこかで巻線を1ピッチ送るポイント(クロスポイント)が必要になる。図5(a)に高密度な整列巻き(俵積み)の断面図、図5(b)にクロス巻線での積層状態の断面図を示す。クロス巻線時は整列巻線時に比べ、巻線間の隙間が大きくなる。

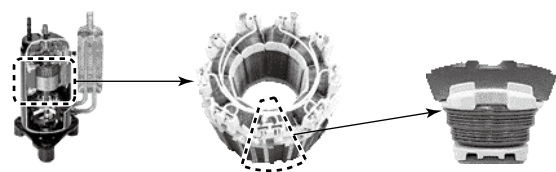


図3. 当社独自技術“ボキボキコア”

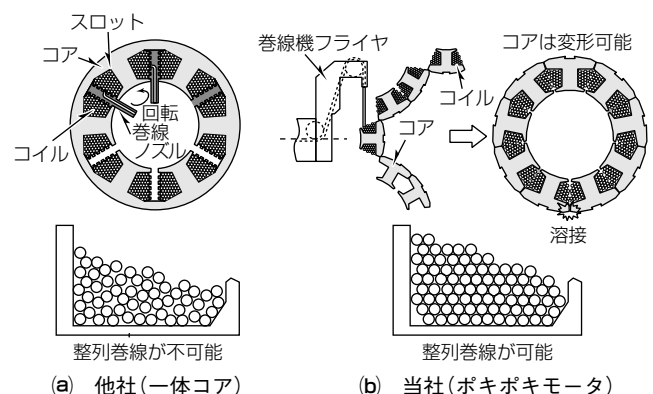


図4. 巻線方式比較

クロスポイントの配置位置は主に、長辺側に配置する長辺クロス巻線方式(図6, 図7)と短辺側に配置する短辺クロス巻線方式(図6, 図8)とに大別される。物理的制約を持つ巻線スロット内にクロスポイントを持たない短辺クロス巻線方式は、長辺クロス巻線方式に対して、巻線占積率を高める上で有利である。

3.2 短辺クロス巻線方式の課題と解決策

しかし、短い短辺側で巻線をクロスさせる短辺クロス巻線方式の場合、長辺クロス巻線方式に比べ、巻線を1ピッチ送る際の巻線機フライヤの必要移動量(巻線送り量)が増大するため、図9のように、巻線時の加速度が増加し、設備能力を超過するため、巻線整列性が不安定になる課題があった。対策として巻線速度を落とすことが挙げられるが、従来比40%まで落とす必要があり、巻線工程にかかる時間が2.44倍となり生産性が犠牲になる。また、コアバック側(外径側)を巻線する際に、巻線送り量の増大によって巻線機フライヤとコアが干渉してしまうという課題があった。対策としては巻線機の大幅な設備改造の必要が生じる。

先に述べた主たる二つの課題から、当社従来モータでは、コイルの長い長辺側で巻線をクロスさせる長辺クロス巻線方式を採用していた。しかし、長辺側でクロスさせる場合、隙間の大きいクロスポイントが物理的制約を持つ巻線スロット内に生じるため、巻線占積率を高める上での障壁となっていた(参考：理論最大巻線占積率90.6%に対して69%)。

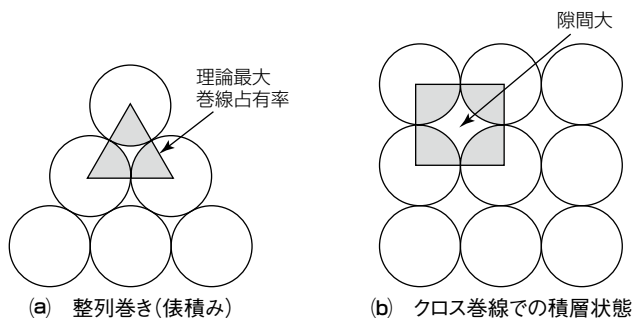


図5. 巻線の積層状態

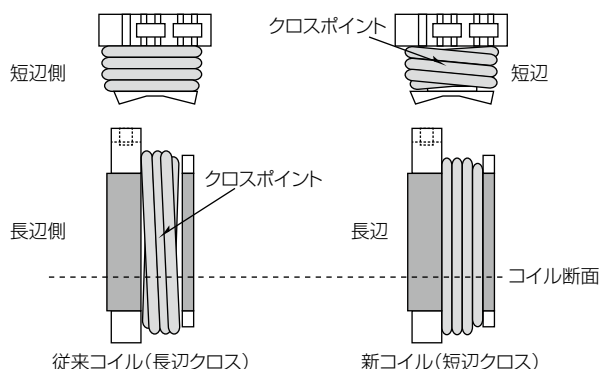


図6. クロスポイント

そこで、この開発では新巻線工法である倣い巻技術を取り入れた短辺クロス巻線方式を確立し、巻線送り量を長辺クロス巻線方式同等まで低減することで先に述べた課題を解決した。従来クロスポイント位置を巻線する際、図10のように下の層のコイルの間を狙って巻線を配置していた。それに対して、倣い巻では図11のように一つ前のコイルに倣わせ、コイルを案内しながら巻線することで、フライ

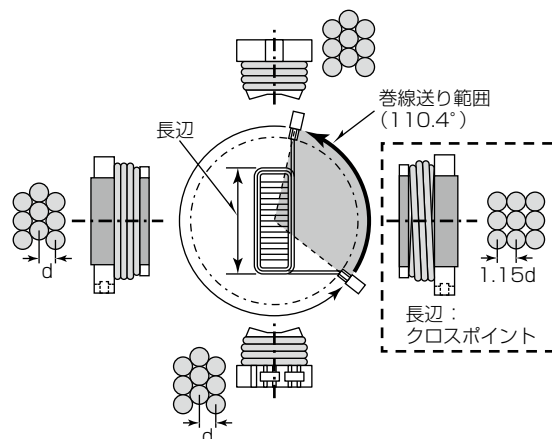


図7. 長辺クロス巻線での巻線断面図

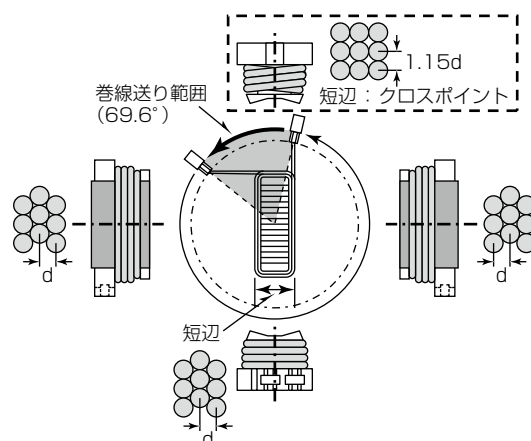
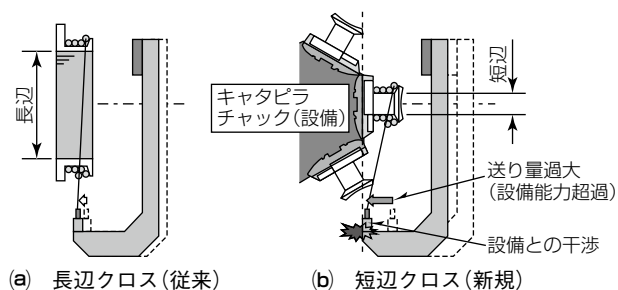


図8. 短辺クロス巻線での巻線断面図



(a) 長辺クロス(従来) (b) 短辺クロス(新規)

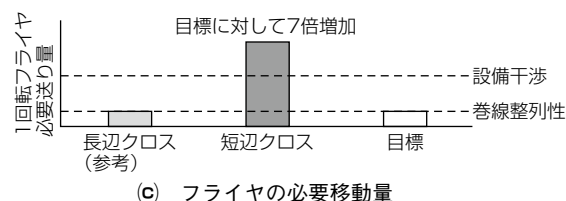


図9. 短辺クロス巻線方式の課題

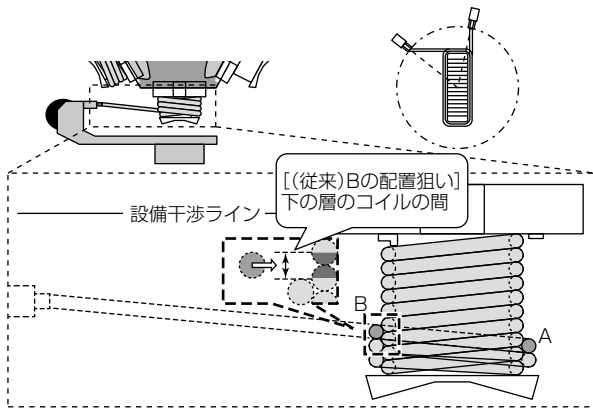


図10. 従来のクロスポイント巻線工法(A→B)

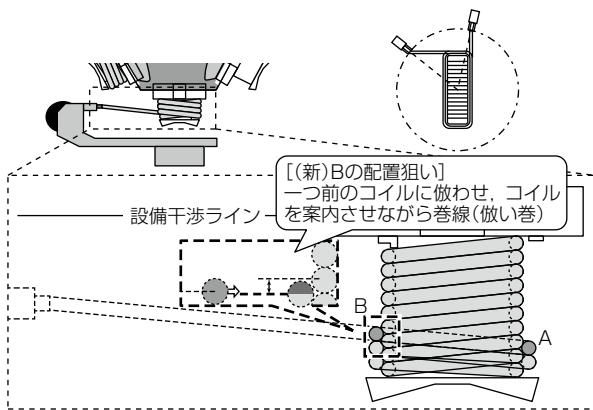


図11. 做い巻でのクロスポイント巻線工法(A→B)

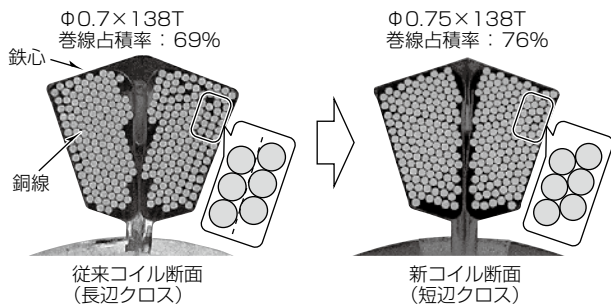


図12. 巻線占積率比較

ヤの必要移動量を長辺クロス同等まで低減させた。做い巻を取り入れた短辺クロス巻線方式とすることで、図12のように、“ポキポキコア”での巻線整列性を維持したまま、課題になっていた巻線隙間を解消し、巻線可能な空間での巻線占積率を69%から76%まで高め、4.0kWクラスのルームエアコン搭載の圧縮機では巻線断面積を約10%増加させ(図12)、APFの従来比+0.3%を実現した。

4. 段付ポキポキコア

コイルは、ステータコアとステータコア端部に配置されたインシュレータと呼ばれる部品を覆うように巻線が巻かれている。インシュレータは、ステータコアとコイル間に絶縁性を確保することが必要であるため、容易に高さを下

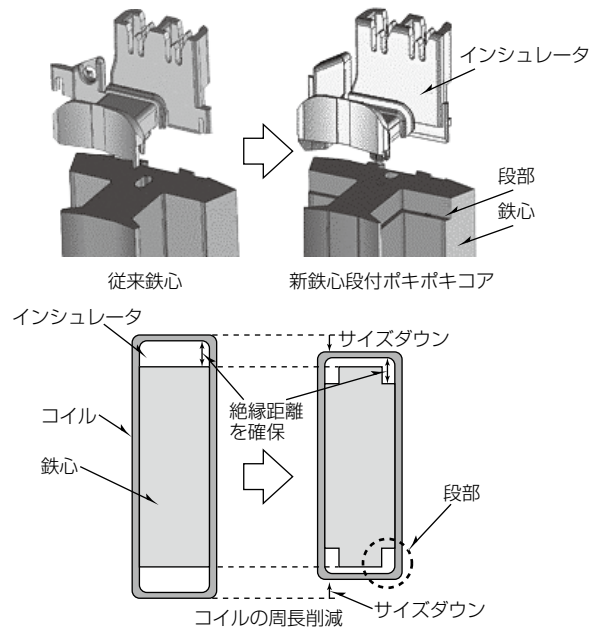


図13. 段付ポキポキコア

げることができないという制約があり、軸方向での巻線周長低減を実現する上での課題になっていた。

そこで、ステータコアに段部を設けた“段付ポキポキコア”構造を採用し、従来よりも軸方向の巻線周長を短くする技術を確認した。今回、インシュレータの内部に設けた空洞にステータコアを埋め込む構成にすることで、従来と同等の絶縁性能を確保したまま、“ステータコア+インシュレータ”の高さを低くすることが可能になった(図13)。

図13のように、インシュレータを埋め込むためにステータコアに段部を設けると、鉄心断面積の低減によって磁束の経路が狭くなるため、最大磁束密度が増加し、鉄損が増加する課題がある。この課題に対しては、2018年度モデルから搭載されている“Y-Δ結線切替え”の技術によって、既に鉄損を大幅に低減しており、さらに段差寸法を樹脂成型や製造工程を考慮した上で鉄損が最小になるように最適化することで、鉄損増加の影響を小さく構成した。さらに製造工程でインシュレータに必要な強度や機能を満足させることを両立させた。これによって4.0kWクラスのルームエアコン搭載の圧縮機で巻線の周長を8%削減でき、銅損の低減を可能にし、APFの従来比+0.3%を実現し、圧縮機、及び、ルームエアコンの省エネルギー化に貢献した。

5. むすび

2019年度ルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”に搭載された、新工法圧縮機のモータ効率改善手法について述べた。この技術によって、FZシリーズの全能力帯で、2018年度機種種のAPF最高値を更新した。また、平成30年度省エネ大賞資源エネルギー庁長官賞受賞に貢献した。