

## 空調冷熱システム Air-Conditioning &amp; Refrigeration Systems

## “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モータ高効率化

High Efficiency Technology of DC Motor for Compressor by "Tanpen-cross-winding-method" and "Dantsuki-pokipoki-core"

2019年度三菱ルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”（2018年11月発売）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。2019年度三菱ルームエアコン霧ヶ峰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年度発売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“段付ポキポキコア”の採用によって、コイルの抵抗すなわちモータ損失（銅損）を大幅に低減させ、モータの高効率化を実現した。

## (1) 新巻線工法：短辺クロス巻線方式

当社のモータの巻線方法の特長として、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“ポキポキコア”と呼ばれる独自技術によって、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たモータを搭載している。今回、巻線占積率を更に向上させる“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。コイルには短辺方向と長辺方向がある。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。特に巻線をクロスさせるときに隣接する電線の配置は、整列に配置させるときに比べ、巻線間の隙間が大きくなる。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（図1）。

しかし、従来の長辺クロス巻線方式に対して巻線フライヤの送り量を増やす必要があるが、設備の能力不足に伴う巻線整列性が不安定になるという課題、及びワークと巻線フライヤの干渉防止のための大幅な設備改造が必要となるという課題があった。そこで、今回の開発では新巻線工法である倣（なら）い巻技術を取り入れた短辺クロス

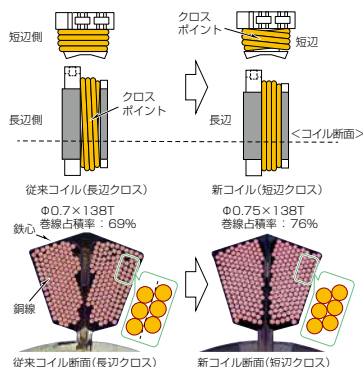


図1. 巻線占積率の比較

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させることで先に述べた課題を解決した。従来はクロスポイント位置を巻線する際、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、フライヤの必要移動量を長辺クロス同等まで低減させた（図2）。倣い巻を取り入れた短辺クロス巻線方式することで、“ポキポキコア”での巻線整列性を維持したまま、課題と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（図1）、4.0kWクラス搭載の圧縮機では、APF従来比+0.3%を実現した。

## (2) 新ステータコア構造：段付ポキポキコア

コイルは、インシュレータを覆うように巻線が巻かれている。そのインシュレータは、ステータコアとコイル間に必要な絶縁性を確保するため、容易に高さを下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となっていた。そこでインシュレータ凹部をステータコア凸部に埋め込んだ“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低減する技術と絶縁性確保を両立させた（図3）。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している“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。これによって4.0kWクラス搭載の圧縮機で巻線の周長を8%低減することができ、銅損の低減を可能にし、APF従来比+0.3%を実現した。

これらの技術によって、FZシリーズの全能力帯で、2018年度発売機種での最高値を更新した。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。

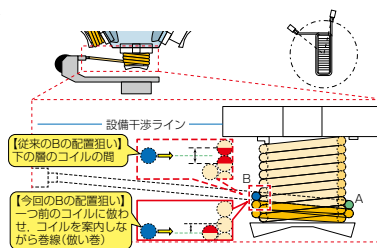


図2. クロスポイント巻線工法

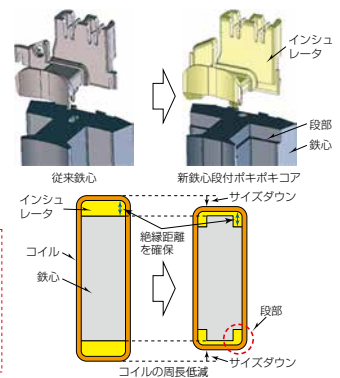


図3. 段付ポキポキコア

## 次世代センサを搭載したルームエアコン

### Room Air Conditioner with Next Generation Sensor

家庭用のエアコンは、空調を行う部屋の環境に大きく左右される。近年のリビングは、より多目的で使われる多機能空間へと変化している。複雑なリビングの形態では部屋の特定の場所で空調が効きづらいといった声が多いが、リモコンで気流を調整するのではなく、設定温度を変更して快適さを得ようとするユーザーも多く、無駄な空調が発生している。快適性と省エネルギー性を高めるアプローチは、①機器効率を高める、②人の状態に合わせて運転する、③気流をユーザーに正しく届けるといった3ステップが必要であるが、気流を正しく届けるといった技術は、近年の複雑な間取りや家具が配置されたリビングに対応できていない。これらを解消するためには、吹き出す気流を意図した所に正確に送る技術が必要になるが、現状のセンシング技術では気流を可視化できないため、どこに届いたかが分からない。そこで、今まで困難であった気流を可視化するために、気流の到達点を直接把握できるセンシング技術の開発に取り組むことにした。

ルームエアコンには離れた場所の状況を把握するため、以前から赤外線センサが活用されている。気流の可視化を実現するためには、床面等に到達した気流の微細な温度変化まで検出する必要があるために従来のセンサから大幅に性能を向上させる必要がある。そのため今回新たにサーマルダイオード方式での赤外線センサ導入に向けた開発を行った。サーマルダイオード方式のセンサは温度センサとして単結晶シリコンダイオードを用い、温度変化による電流電圧の特性変化を計測する。シリコンLSIの製造プロセスを活用することによって低雑音の読み出し回路との一括形成が可能のため、比較的安価にできる。また、単結晶のシリコンダイオードを用いるため均一性にも優れ、感度のばらつきにも強いセンサを実現できる。その結果、従来機種で使用している赤外線センサと同等のサイズのまま、素子数を80倍、感度を約2.5倍まで向上させた赤外線センサを搭載した。

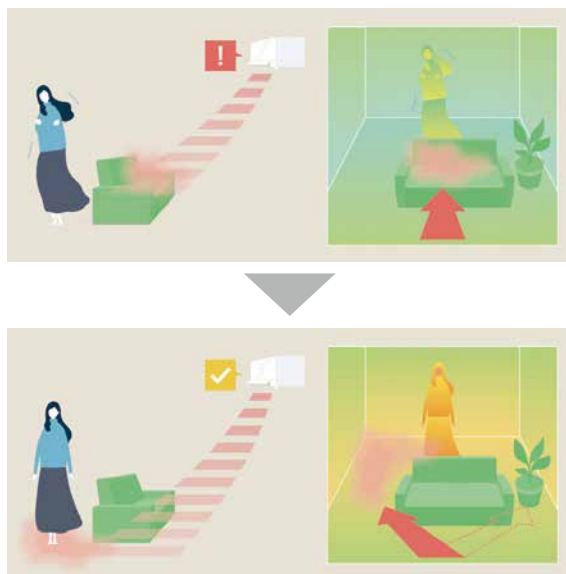
三菱ルームエアコン“霧ヶ峰FZ・Zシリーズ”では、赤外線センサの性能向上によって、気流の到達位置を把握することが可能になった。センシングした熱画像から、床に到達した暖気の微小な温度変化を基に等温円を画像処理によって得ることができる。室温や人の温冷感に合わせて、素早く暖めたいときには、人体の足元座標と気流の到達点を把握し、人体の足元座標と気流到達の中心点が合うように風向板を調整していく。また同様に設定温度到達後の安定時など、気流にはあまり当たりたくないときは、人体の

足元座標と気流の到達の等温円の緑を合わせることで気流感を抑えた暖房を行うことができる。これらによって空調機から吹き出した温風を正確に、無駄なくユーザーに届けることが可能になる。

また、複雑なリビングの間取りや家具など、障害物の影響で気流を調整しても、直接風が届かないシーンも存在する。霧ヶ峰FZ・Zシリーズでは、風向調整制御でいつまでも人の位置に気流が届かないシーンでも、最適な気流到達が可能な新たな気流制御を搭載している。人体の位置と気流の到達点がいつまでも合致しない場合は、気流の到達点を上下左右に一定量変化させながら、最適な気流位置を探索する。探索した気流の中で、足元及び人体表面温度が最も上昇する風向がユーザーにとって最適な風向となる。これによって実際に気流が直接届かないシーンでも最適な風向を選択することが可能になった。また、一度調整した気流は、その調整内容を学習させることで、次の運転からは、少ない調整手順で最適な風向を得られるようにしている。

他にも、取得した熱画像はスマートフォンでも見ることができ、部屋の温熱環境を確認するみまもり機能としても活用できる。

赤外線センサの進化で、今まではセンシングできていない新たな状況把握をすることで更なる快適性と省エネルギー性を実現した。今後も霧ヶ峰では、ハードウェアによる要素技術の進化と、ソフトウェアでの制御技術の進化を融合させることで快適性と省エネルギー性の向上を目指していく。



サーマルダイオード赤外線センサを活用した気流制御