

空調機用モータ・インバータの最新技術

馬場和彦* 下川貴也*
 仁吾昌弘* 梅原成雄*
 矢部浩二*

Advanced Technologies of Air Conditioner Motor and Inverter

Kazuhiko Baba, Masahiro Nigo, Koji Yabe, Takaya Shimokawa, Shigeo Umehara

要旨

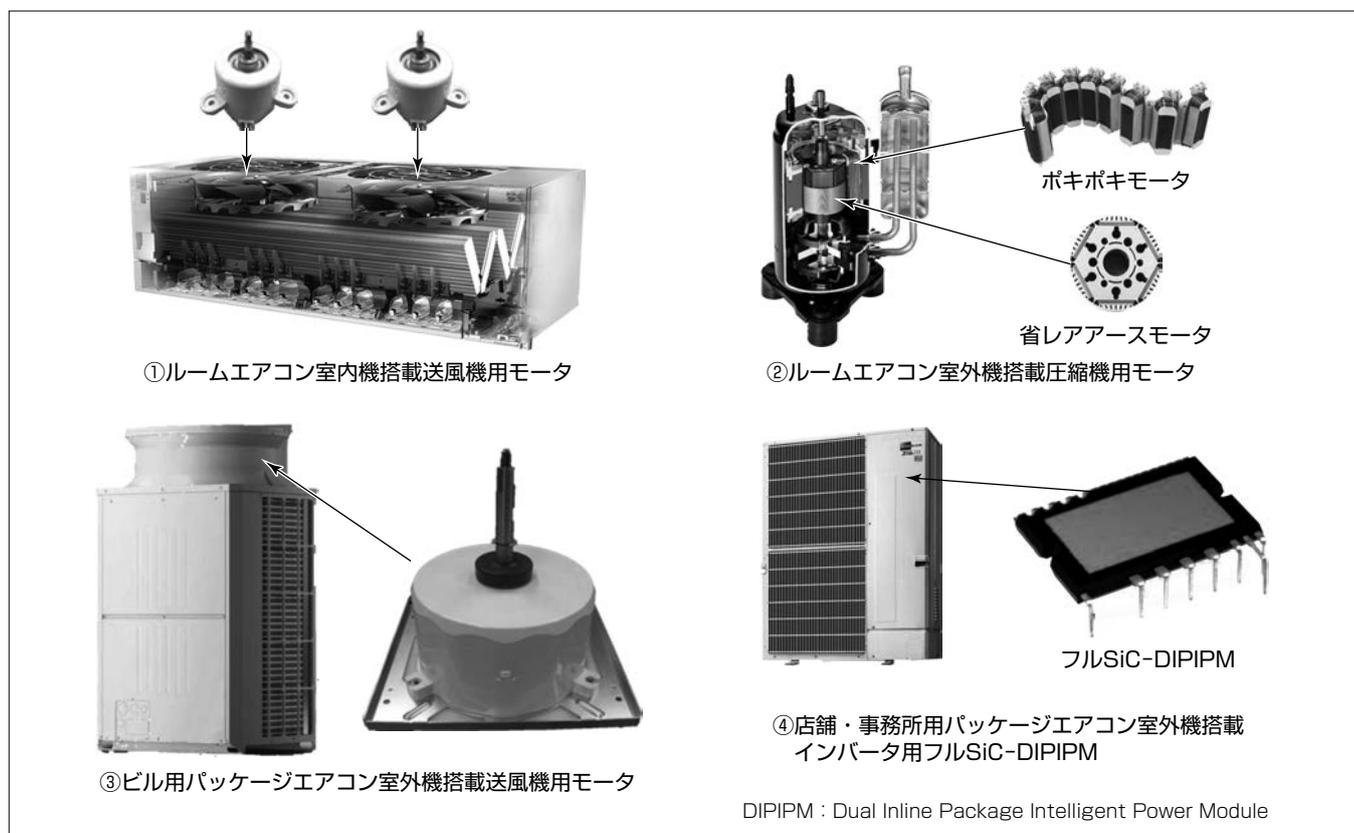
空調機は、家庭用から店舗・事務所・ビル用にいたるまで世界中で広く活用されており、環境負荷軽減のために省エネルギー・省資源化が求められている。空調機の電力は、圧縮機及び送風機を駆動するモータ・インバータによって大部分が消費されており、空調機の省エネルギー化を実現するための重要な開発要素となっている。

三菱電機ではこれまで、小型・高効率化に優れた当社独自の“ポキポキモータ”を核にブラシレスDCモータと高効率駆動技術の開発を推進し、環境負荷軽減に貢献してきた⁽¹⁾。

圧縮機用モータ・インバータの最新技術としては、ルームエアコンに適用したポキポキモータの銅損・鉄損の削減

技術、フェライト磁石、省レアアース磁石活用による省資源技術、業務用パッケージエアコンに適用したSiC(シリコンカーバイド)インバータによる高効率技術が挙げられる。また、送風機用モータでは、ルームエアコン室内機の“パーソナルツインフロー”を実現したモータの小型・高出力化技術、ビル用マルチエアコン室外機のモータ高効率化、省資源化技術が挙げられる。

なお、このモータ・インバータ技術は、当社のルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”の省エネ大賞経済産業大臣賞(最高賞)受賞に貢献した。



高効率・省資源に貢献する空調機用モータ・インバータ

モータ・インバータの小型・高効率・高出力技術によって、空調機の省エネルギー・省資源に貢献している。これらは、①ルームエアコン室内機搭載小型・高出力送風機用モータ、②ルームエアコン室外機搭載圧縮機用ポキポキモータと省レアアースモータ、③ビル用パッケージエアコン室外機搭載大口徑高効率送風機用モータ、④店舗・事務所用パッケージエアコン室外機搭載インバータ用フルSiC-DIPIPMなどによって実現している。

*住環境研究開発センター

1. ま え が き

空調機に用いられる圧縮機及び送風機用モータ・インバータの最新技術として、ブラシレスDCモータを用いて実現した省エネルギー・省資源技術がある。製品への適用事例としては、圧縮機用モータ・インバータの高効率・省資源技術、送風機用モータの小型・高出力技術などが挙げられる。

本稿では、省エネルギー・省資源に貢献する空調機用モータ・インバータの最新動向として、圧縮機と送風機用モータ・インバータの取組みについて述べる。

2. 圧縮機用モータ・インバータ

2.1 高効率・省資源モータ

2.1.1 高密度巻線技術

ルームエアコン“霧ヶ峰”搭載の圧縮機用モータは、当社オリジナル技術のポキポキモータを採用している。このポキポキモータは、**図1**に示すようにステータコアを分割構造として部分的に連結することで、巻線を巻きやすい形状にステータコアを展開でき、整列巻きが可能になる。このため、巻線の高スペース効率化が可能で、低抵抗の太い巻線を巻くことで、高効率化を実現している。**図2**に従来仕様と新仕様のポキポキモータの巻線部の断面を示す。ステータコアと巻線間の絶縁部を**図2(a)**の樹脂成型絶縁から**図2(b)**の薄肉のPET(ポリエチレンテレフタレート)フィルムに変更することによって、巻線の配置可能な面積を拡大し、巻線の更なる太線化を図った。これによって、従来モデルに比べ巻線抵抗を30%低減し、エアコンの更なる効率改善に貢献している⁽²⁾。

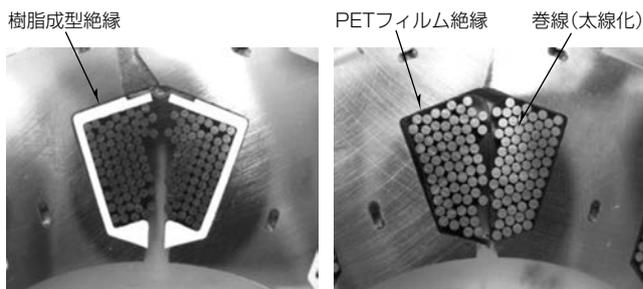
また、この技術を銅巻線に対して比抵抗の大きいアルミ巻線に展開し、効率低下分を太巻き線化とロータ高磁力化によって補完し、アルミ巻線モータで従来モデルの銅巻線と同等効率を実現している。

2.1.2 低鉄損技術

従来、圧縮機用ステータはシエルの内径と焼きばめによって固定されていたが、焼きばめによってステータコアに発生する圧縮応力が磁束の流れを障害し、モータ損失(鉄損)となっていた。これを解決するため、磁界解析と構造解析との連成解析手法を用いてステータ構造の適正化を図った。**図3**に鉄損低減を実現した新仕様の応力緩和コアを示す。旧仕様に対し新仕様では、ステータコアとシエルとの接触幅の縮小と接触位置の最適化を図ることで、ステータコアに作用する圧縮応力を低減した⁽³⁾。これに加え、ステータコアの電磁鋼板の薄肉化とティース部の積層間カシメ廃止によってインバータのPWM(Pulse Width Modulation)スイッチングで発生する高調波鉄損を抑制し、モータの鉄損を30%低減した。



図1. コア展開時のポキポキモータの外観



(a) 従来仕様

(b) 新仕様

図2. ポキポキモータの巻線部の断面

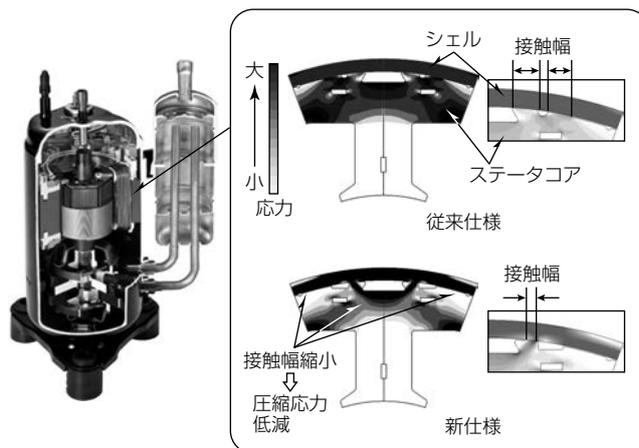


図3. 低鉄損を実現した応力緩和コア

2.1.3 省・脱レアアースモータ

圧縮機用モータは、小型・高効率化を実現するため、高性能な希土類磁石を使用している。従来、圧縮機のような高温雰囲気中で使用される希土類磁石には、高温中での減磁を抑制するために、高価なDy(ディスプロシウム)を使用していた⁽⁴⁾が、ルームエアコンの中・大容量機種向けにDyを用いない(Dyレス)小型・高効率モータを開発した。Dyレスを実現するためには、ロータの減磁耐力の改善が課題であった。**図4**に示すように、磁石ストップ廃止による磁石端部の部分減磁の回避及び磁石厚みや埋め込み深さの適正化による新ロータを開発することで、圧縮機高温時の減磁耐力を15%改善し、Dyレス希土類磁石の適用を可能にした。

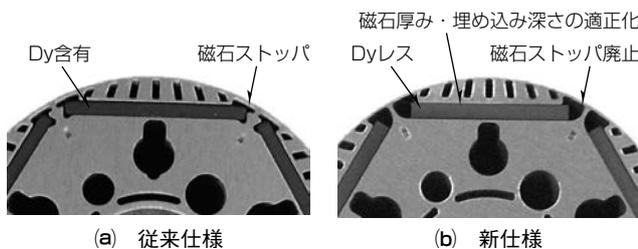


図4. 省レアアースモータ(希土類磁石)

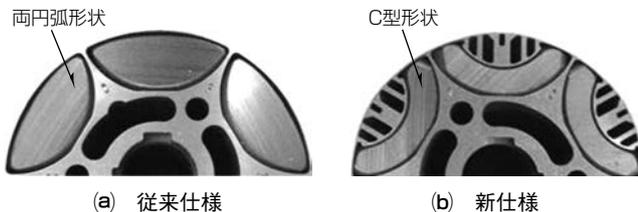


図5. 脱レアアースモータ(フェライト磁石)

また、ルームエアコン小容量機種には、図5で示すように高磁力C型フェライト磁石の採用によって、従来仕様のフェライトロータに対して磁束量を19%増加させ、小容量機種の希土類磁石モータと同等効率を実現し、希土類磁石からフェライト磁石への代替を可能にした。C型磁石では、ステータの電機子反作用によってロータ外周鉄心部の電磁加振力による振動・騒音の増加が課題であったが、ロータ外周部に設けた径方向スリットを設け、スリットの配置・形状を工夫することで電磁加振力の抑制を図った。

これらによって、ルームエアコン霧ヶ峰搭載圧縮機用モータの省・脱レアアース化を実現し、高効率化と省資源化を両立させている。

2.2 フルSiC-DIPIPM搭載インバータ

ルームエアコンや店舗・事務所などの業務用パッケージエアコンに搭載されるパワー半導体はSi(シリコン)が主流である。高効率化の要求に対応するため、パワー半導体のスイッチング損失を大幅に低減することができるSiCパワー半導体の採用が広がっている。特に、エアコンの省エネルギー性の評価手法であるAPF(Annual Performance Factor)での、寄与率の大きい中間負荷条件で、SiC-MOSFET(Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor)は、Si-IGBT(Insulated Gate Bipolar Transistor)に比べて、圧縮機モータ運転時の電力損失を大幅に低減することができる。これまで、当社ルームエアコンの圧縮機モータ駆動用インバータにSiC-ダイオードや、家庭用マルチエアコンのPFC(Power Factor Correction)と呼ばれる交流電圧を直流電圧に変換する回路にSiC-ダイオード及びSiC-MOSFETを適用して、エアコンの電力損失を低減してきた。今回、業界で初めて(注1)店舗・事務所向けの業務用パッケージエアコンの圧縮機モータ駆動用インバータにSiC-MOSFETを搭載したフルSiC-DIPIPMを採用した(図6)。SiC-MOSFETの高



図6. フルSiC-DIPIPM搭載パッケージエアコン

速スイッチングによるノイズの対策、保護回路の見直しも行った。これによって、圧縮機モータ駆動用インバータのモジュールでの電力損失を従来比約35%低減(注2)し、業務用パッケージエアコン10馬力クラスで業界トップ(注3)の省エネルギー性能APF5.5の達成に貢献している。

(注1) 2016年2月5日現在、当社調べ
 (注2) 中間冷房中温条件での当社Si-DIPIPMとの比較
 (注3) 2016年2月5日現在、当社調べ(P280形クラス)

3. 送風機用モータ

3.1 ルームエアコン小型・高出力モータ

ルームエアコンの室内機では、従来、クロスフローファンを用いて気流制御を行っていたが、この風路形態では、省エネルギー化に限界があった。そこで、ルームエアコン“霧ヶ峰FZシリーズ”の室外機(図7)では、世界で初めて(注4)左右独立駆動の2つのプロペラファンを搭載して送風効率を大幅に改善するとともに、“パーソナルツインフロー”による快適性の向上を図った。室内機の構造変更を実現するに当たり、モータをプロペラファンのボス部内へ搭載して風路確保を可能とするモータの小型化と、新構造W型大容量熱交換器でロング気流を実現するモータ高出力化を両立させた小型・高出力モータを開発した。図8に従来仕様と新仕様のモータを示す。また、図9に新仕様モータのロータを示す。新仕様ロータは、外周に希土類磁石、内周にフェライト磁石を二色成形し、希土類磁石の周方向の厚みを偏肉形状にするとともに、磁力を磁極中心に集中させた極配向を施すことによって、高磁力化を図った。さらに、ロータの磁極数とステータのスロット数の組合せを小型化に適した10極9スロット構造にすることでステータへの有効磁力を増加させて小型・高出力化を図ることによって、従来比1.3倍の高出力密度を実現した(5)。また、駆動方式を正弦波駆動とすることで高効率と低騒音を両立させ、送風時の消費電力を31%削減した。

(注4) 2015年8月25日現在、当社調べ

3.2 パッケージエアコン用高効率・アルミ巻線モータ

ビル用パッケージエアコンの室外機用に、業界トップ性能を狙った高効率な送風機用モータを開発した。図10に室外機の外観を、図11に送風機用モータの外観を示す。モータ外径を風路に影響しない範囲まで拡大し、巻線収容面積を拡

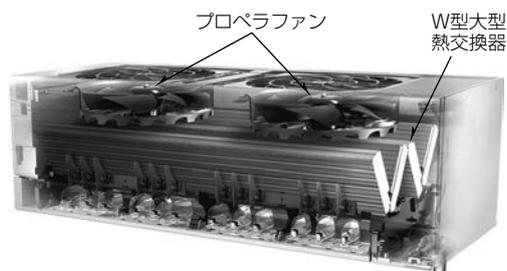


図7. 霧ヶ峰FZシリーズのルームエアコン室内機

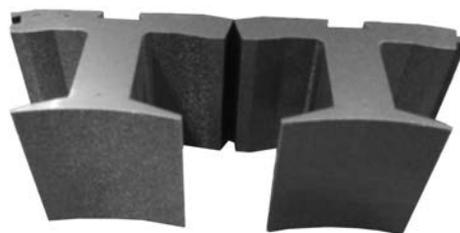
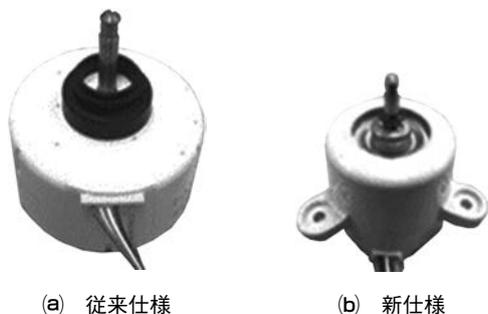


図12. 薄肉連結分割コア

大するとともに、高密度巻線を可能にするポキポキモータ技術を応用することで、銅よりも比抵抗の大きいアルミ巻線を使用しながらも高効率化を実現した。また、10極12スロット構造を採用することで、永久磁石の磁力を有効に利用し、永久磁石の使用量を削減しつつ低トルクリプル化を実現した。

ステータのティース構造に、2つのティースを薄肉で連結した薄肉連結分割コア(図12)を開発し、金型や製造設備の小型化、高密度な巻線、巻線時間の短縮を可能にした。また、分割コアの課題であった真円度や組立て性を改善するため、分割したコア同士を嵌合(かんごう)させて一体の円形状にする組立て技術を開発し、形状精度を改善してロータとステータ間の空隙を縮小しつつ組立て性の改善を図ることができた。

これらの改善によって、モータ効率を従来比4.2%向上させた⁽⁶⁾。



(a) 従来仕様

(b) 新仕様

図8. ルームエアコン室内機搭載送風機用モータ



図9. 新仕様モータのロータ

4. む す び

空調機用のモータ・インバータの最新技術について述べた。今後もモータ・インバータの省エネルギー化の要求は続くと思われるが、理論的に大幅な性能向上を見込むことは難しい状況になっている。機器単体の効率改善だけでなく、システム全体での最適化という視点に立って開発を進めることが重要と考えられる。

参 考 文 献

- (1) 黒崎正巳, ほか: 空調機用モータ・インバータの高効率化技術, 三菱電機技報, **88**, No.10, 47~50 (2014)
- (2) “霧ヶ峰ZWシリーズ”搭載 高効率圧縮機モータ, 三菱電機技報, **85**, No.1, 76 (2011)
- (3) 高効率・空調用ツインロータリ圧縮機“SVB140F”, 三菱電機技報, **90**, No.1, 72 (2016)
- (4) 圧縮機用省レアアースモータ, 三菱電機技報, **87**, No.1, 70 (2013)
- (5) ルームエアコン用小型高出力直流ファンモータ, 三菱電機技報, **90**, No.1, 71 (2016)
- (6) パッケージエアコン用高効率アルミ巻線DCファンモータ, 三菱電機技報, **90**, No.1, 49 (2016)



図10. ビル用パッケージエアコン室外機



図11. ビル用パッケージエアコン室外機搭載送風機モータ