

高効率・低コストを実現したエアコン用圧縮機モータ

Compressor Motor for Air Conditioners Realizing High Efficiency and Low Cost

稲葉 好昭
INABA Yoshiaki

川村 清隆
KAWAMURA Kiyotaka

今澤 和基
IMAZAWA Kazumoto

一般家庭内の電気製品の中で、ルームエアコンの消費電力はもっとも多いとされ、当社は省エネルギー(以下、省エネと略記)化の推進に積極的に取り組んできた。特に、エアコンの消費電力の中で大半を占める圧縮機用モータは、高効率のブラシレスDCモータへの切替えが進んできたが、今回、よりいっそうの省電力化と普及拡大を目的に新しい圧縮機用モータを開発した。

このモータは、ステータコアのティースに直接巻線する集中巻方式を業界で初めて採用することにより、高効率、小型、軽量、低コスト化を実現している。また、生産面においても新システムを構築することにより、生産性と品質の向上を図っており、省エネエアコンの普及拡大に貢献している。

The compressor motor accounts for most of the consumption of electric power in an air conditioner. To promote energy-saving, Toshiba has been progressively changing the compressor motors in its air conditioners to high-efficiency brushless DC motors.

We have now developed a new compressor motor in order to achieve even greater energy-saving. A concentrated winding system was adopted featuring direct winding on the teeth of the stator core, for the first time in the industry. As a result, it was possible to realize a high-efficiency, compact, lightweight, and low-cost motor. Moreover, by constructing a new system for production, we were able to improve productivity and quality.

The newly developed motor is expected to contribute to the further diffusion of energy-saving air conditioners.

1 まえがき

地球温暖化防止など環境保護の観点から、エネルギー消費機器に対して省エネを求める機運が高まっている。特に、家庭内でもっとも電気エネルギーを消費すると言われているルームエアコンについては、各メーカーが積極的に取り組んできた。このため、省エネタイプの機種は6年前の機種に比べて電気代が約40%削減されている。当社においても、その積極的な取り組みと成果が認められ、1998年度には、当社の“大清快™”エアコンが省エネ大賞・通産大臣賞を受賞することができた。更に、当社エアコンが省エネ法の定めるトップランナーの基準値となった。

ところで、省エネ技術の中でもっとも効果的な手法として、各メーカーは圧縮機用モータの直流(DC)化を推進してきた。現在では、当社が他社に先駆けて量産化した埋込み型磁石(IPM: Interior Permanent Magnet)モータが主流となっている。

更に、最近の業界ではより高効率化を求め、フェライト磁石に代わる高磁力の希土類磁石の採用や、電磁鋼板の薄板化が行われてきた。しかし、これらの手法は効率向上には効果があるものの、モータのコストも上昇してしまうという問題があり、省エネタイプのエアコン以外には広く普及していないのが現状である。

当社では、従来の分布巻方式ブラシレスDCモータに対

して、高効率で低コスト、しかも生産性と品質を向上させた集中巻方式ブラシレスDCモータと、その生産システムを開発した。ここではその概要について述べる。

2 圧縮機用モータの概要

エアコンの冷凍サイクルは図1に示すとおりであり、圧縮機、凝縮器、蒸発器、膨張弁の主要部品から構成されている。

このうち圧縮機は、冷媒を圧縮して循環させることで室

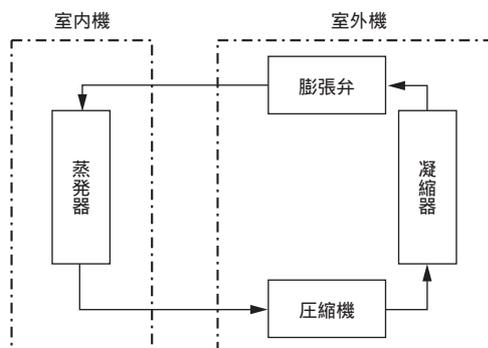


図1. 冷凍サイクルの概念 図は冷房時を表しており、矢印は冷媒の流れを示す。
Concept of refrigeration cycle

内機と室外機間で熱交換をしている最重要部品である。

当社のDC ツインロータリ圧縮機の構造を図2に示す。この圧縮機は、オゾン層を破壊しないHFC(Hydro Fluoro Carbon)系R410A冷媒用として開発された製品である。密閉容器内の下部には最適設計された圧縮機構部を、上部にはブラシレスDCモータを配置し、圧縮機構部を駆動している。

圧縮機は、エアコンの冷房あるいは暖房の大きな負荷変動に対して、幅広い能力範囲でしかも高効率で運転することが必要である。したがって、インバータとの組合せにおいて、圧縮機用モータも低速回転域から高速回転域まで、また、あらゆる負荷条件下において高効率で運転することが要求されている。

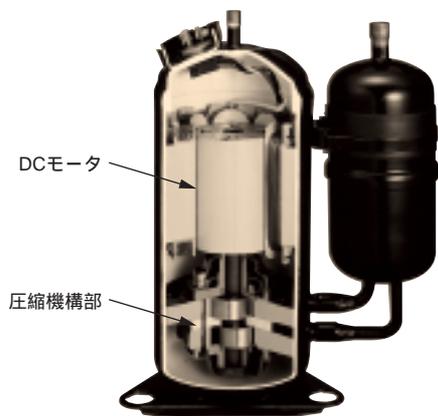


図2．DC ツインロータリ圧縮機の構造 密閉容器内の下部に圧縮機構部、上部にブラシレスDCモータが配置されている。
Structure of DC twin-rotary compressor

3 モータの構造

従来モータと新モータの構造を図3に示す。従来モータはステータが24スロットであり、ロータは4極のIPM構造で四つのフェライト磁石が逆円弧型に配置されている。ステータ巻線は、あらかじめ巻き取られたコイルをステータスロット内に入れる方式を採用している。この方式は分布巻方式と呼ばれ、一つのコイルが約1/4周区間のステータコア端面を渡っているため、コイル周長が長くなるという欠点がある。

これに対して、新モータはステータが6スロットであり、ロータは従来と同様のIPM構造であるが、6スロットステータに対して最適な形状としている。ステータ巻線は、ステータティースにポピンと呼ばれる絶縁物を介して直接コイルを巻き付ける、集中巻方式を採用している。この方式では、ステータコア端面を渡るコイルを非常に少なくでき

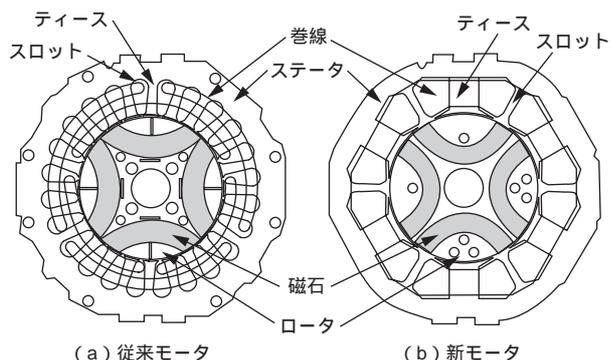


図3．モータ構造の比較 従来モータは24スロットステータで、新モータは6スロットステータである。ロータは両者ともIPM構造である。
Comparison of motor structures

るため、コイルの周長を大幅に短縮できる。このため、従来モータに対して巻線の使用量を約35%低減でき、省資源とコスト低減に寄与している。また、図4に示すとおり、ステータコイルエンドの高さを従来ステータの約半分にして、小型・軽量化を実現している。

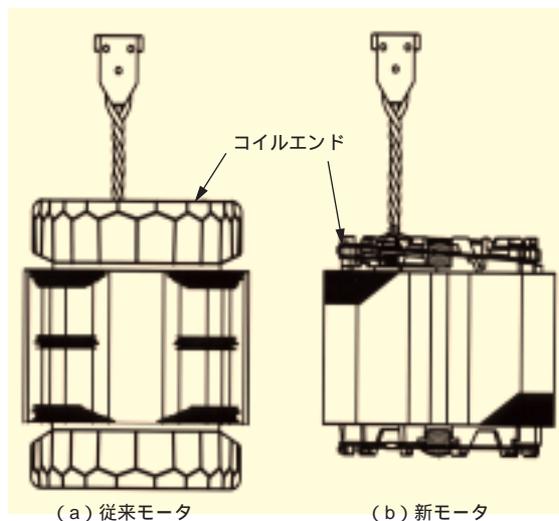


図4．コイルエンドの比較 新モータのコイルエンドは、従来モータに対して約半分になっている。
Comparison of coil ends

4 モータの特性

DCモータの損失を大きく分けると、鉄損と銅損になる。新モータは、このうち銅損の大幅低減をねらったものである。先に述べたようにコイルの周長を大幅に短縮でき、また、太い電線を高密度に巻き付けることにより、巻線抵抗を従来モータに対して約40%低減している。このため、銅損も同様に約40%低減している。

しかし、一方で新モータは漏れ磁束量が増加し、また、

磁界の回転が生じる割合も増加するため、従来モータに対して鉄損が増加している。

実使用運転条件付近の各回転数における損失状況を図5に示す。これによれば、新モータの銅損が大幅に低減され、逆に鉄損が増加している状況がわかる。銅損の低下量が鉄損の増加量を上回っているため、結果としてモータ効率が向上する。

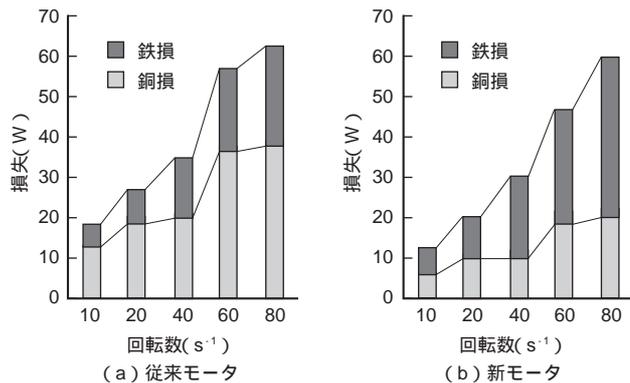


図5．モータ損失の比較 新モータでは、従来モータに対して銅損が低減し、鉄損が増加している。
Comparison of motor loss

また、実使用運転条件付近の各回転数における総合効率（モータ効率×インバータ効率）を図6に示す。これによれば、全領域で効率が上昇しているが、特に銅損比率が高い中低速回転域で、新モータの効率改善効果が顕著である。エアコンは室温が設定温度になった後、中低速回転領域で連続運転する比率が非常に高いため、新モータ採用の効果が大きくなる。

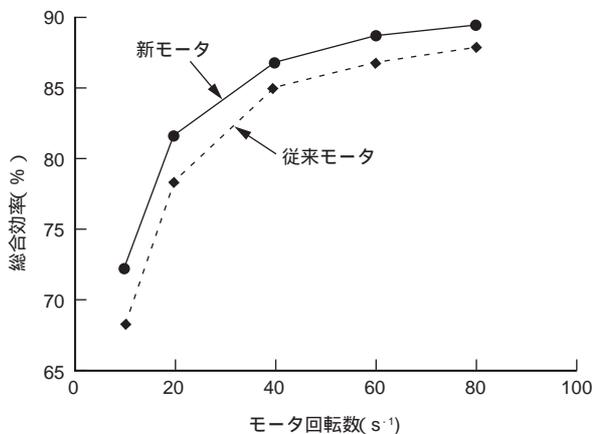


図6．モータの総合効率比較 新モータでは、従来モータに対して全体的に効率は向上するが、特に中低速回転領域で効率向上効果が大きい。
Comparison of overall motor efficiency

5 生産システム

従来モータと新モータのステータ組立製造ラインの比較を図7に示す。新モータラインは従来モータラインに比べて、以下のような優れた特長がある。

- (1) コイルの成形工程(第一コイル, 第二コイル, 仕上げ成形)とコイルエンドのレーシング工程をなくし, 製造工程を大幅に減らした。
- (2) 従来モータで製造上問題とされている中性点接続方式を大きく変更し, 完全自動処理するシステムとした。
- (3) 生産設備を大幅に軽量化し, 設置スペースも従来の約1/3に減少させた。
- (4) ラインの張付き人員を削減し, 生産性を大幅に向上させた。
- (5) 従来モータでは大きな負担であった治工具の維持管理・更新の費用を大幅に減らした。
- (6) 設計仕様変更などにも対応しやすいフレキシビリティの高い製造ラインとした。

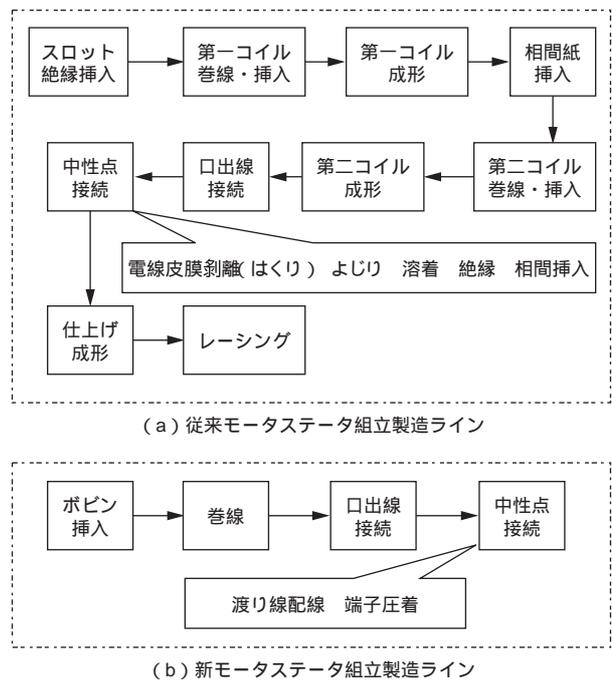


図7．ステータ組立製造ラインの比較 新モータの製造ラインは、従来モータに比べて大幅に工程数が削減されている。
Comparison of stator assembly production lines

6 製造品質

先に述べたように、従来モータはあらかじめ巻き取られたコイルをステータスロット内に入れる。その後、更にコイルを押し広げる成形工程を繰り返すため、コイルに傷が

つきやすいという問題があった。

しかし、新モータの集中巻方式では以上のような工程をなくし、ノズルにてコイルをステータティースに巻き付けるだけの単純で簡単な工程とした。このため、コイルに傷をつける製造要因がほとんどなく、工程内不良率を大幅に削減でき、製造品質の高いモータを実現できた。

7 その他の特長

以上に新モータの主な特長について述べたが、その他にも下記のとおり、エアコン圧縮機用モータとして優れた特長を持っている。

7.1 漏れ電流の低減

インバータを用いて圧縮機を駆動すると、PMW(Pulse Width Modulation)に同期して圧縮内部の巻線と密閉容器間に、冷媒と潤滑油の静電容量により高調波の漏れ電流を生じる。この漏れ電流値は電気用品取締法で1mA以下に規制されている⁽¹⁾。

最近主流になりつつある、オゾン層を破壊しないHFC冷媒とポリオールエステル油の組合せは、従来のHCFX(Hydro Chloro Fluoro Carbon)系冷媒と鉱油の組合せに比べ誘電率が高くなる。このため、エアコンの漏れ電流が増加する傾向にある。この問題を解決するために、DCモータを駆動するインバータ側に漏れ電流補償回路を設けるなどコストアップの要因となっていた。

ところが、集中巻方式では使用する電線量を大幅に削減できたことにより電線の表面積も減少させ、ここから漏れる電流をも大幅に低減することができた。

7.2 吐油量の低減

圧縮機構部の潤滑のために、圧縮機内部には冷媒とともに潤滑油が封入されている。しかし、この潤滑油が冷媒とともにある一定量以上が冷凍サイクルに流出してしまうと、圧縮機構部が焼き付いて圧縮不能になる。集中巻方式では巻線間の隙間を従来モータに対して十分大きくできるため、この隙間を冷媒ガスの通路として有効活用できる。このため、圧縮機より吐出される油の量を大幅に低減でき、圧縮

機の信頼性をよりいっそう向上できた。

8 あとがき

今回開発した集中巻方式モータは、ステータティースに直接巻線し、また、ステータとロータ形状を最適化することにより、広範囲にわたる性能向上とともに低コスト化を実現できた。また、新設計に見合った新生産システムを構築することにより、生産性と品質をも向上させることができた。

このモータを搭載したツインロータリA1シリーズ、及びシングルロータリX1シリーズは、当社ルームエアコン“大清快™”シリーズ(RAS-285YDR など)をはじめ、多くの製品に搭載され、省エネエアコンの普及拡大に貢献している。

今後も、省エネと省資源化の要求は高まる一方であり、これらの要求にこたえるべく技術開発に取り組む所存である。

文 献

- (1) 金沢秀俊・“低損失・低ノイズ・低コストを実現した エアコン用高効率インバータの開発”・'99モータ技術シンポジウム・千葉、1999-04、(社)日本能率協会・1999、p.B2-1-1 - B2-1-11。



稲葉 好昭 INABA Yoshiaki

東芝キャリア(株)富士事業所 第一コンプレッサー部 参事。圧縮機用モータの開発・設計に従事。
Toshiba Carrier Corp.



川村 清隆 KAWAMURA Kiyotaka

東芝キャリア(株)富士事業所 第一コンプレッサー部。圧縮機用モータの開発・設計に従事。
Toshiba Carrier Corp.



今澤 和基 IMAZAWA Kazumoto

東芝キャリア(株)富士事業所 第一コンプレッサー部。圧縮機用モータの生産技術開発に従事。
Toshiba Carrier Corp.