

高気密高断熱住宅向け ルームエアコンの開発

三菱電機株式会社

代表執行役 執行役社長 杉山 武史

三菱電機(株)	静岡製作所	ルームエアコン製造部	早丸 靖英
三菱電機(株)	静岡製作所	ルームエアコン製造部	杉山 大輔
三菱電機(株)	静岡製作所	電子制御システム部	浦 慎一郎
三菱電機(株)	静岡製作所	圧縮機製造部	飯田 敏充

はじめに

2013年に改正された住宅の「改正省エネ基準」は、現在義務化はされていないものの、2020年には将来のZEH(Net-Zero Energy House)を見据えて、新築住宅の過半数でZEH対応を目標にしている。ルームエアコンの開発においては、今後増加してくる、高気密・高断熱住宅に合わせた機器の高効率化(期間消費電力量削減= APF^{※1}向上)と、熱環境の変化に合わせた快適性の実現が重要となってくる。

※¹ APF : 通年エネルギー消費効率= 1年間で必要な冷暖房能力の総和÷期間消費電力量

開発のねらい

今回、多くの電力量を消費する圧縮機を抜本的に見直し、従来はハイパワー寄りに設計していたDCモータの巻線を、低負荷と高負荷で結線方式を切換えて、それぞれの領域で効率の

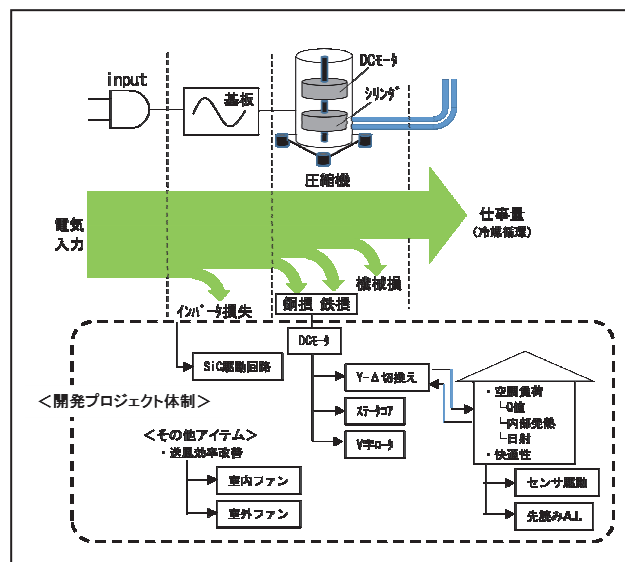


図1 圧縮機のロス分析と開発体制

ピークを持つ圧縮機を開発し、期間消費電力量削減と高気密高断熱住宅に適したルームエアコンを開発することを目的とする。

図1は圧縮機の駆動に関するロス分析を示した模式図である。電源プラグから基板に入力された電力は、周波数変換時にインバータで回路損失を生じ、その後DCモータのコイルにおいて銅損(電流が熱に変換)を生じ、コイルが巻かれている電磁鋼板で鉄損(渦電流が熱に変換)を

生じる。DC モータと同軸で繋がったシリンダは、冷媒を吐出する際に摺動摩擦等による機械損失を生じる。そこで、機器の効率を上げるために、これらの損失を低減するプロジェクトが発足した。基板のロス低減に関しては、フル SiC DIPIPM^{※2}を搭載したインバータを、DC モータの効率改善に関しては、Y 結線と Δ 結線の切換え方式を検討した。

Y- Δ 結線切換え方式に関しては、結線の違いによってモータ回転時に発生する電圧や電流が異なるため、どちらの結線に繋いでも電圧や電流を制御できる駆動回路や、永久磁石が減磁しないための保護回路が重要であると考えた。また、快適性評価のために、実際に断熱性能の高い住宅でエアコンを運転させてみると、立ち上がりは高負荷になる場合が多いが、その後刻々と変化する空調負荷の増減を正確に読むことができず、どのタイミングで Δ から Y(又は Y から Δ)に結線を切換えたら良いのか判断ができなかった。さらに、高気密・高断熱住宅の普及により冷やし過ぎ(暖め過ぎ)によって快適性が損なわれているケースがあり、新たなソフト省エネ技術の開発が必要であると判断した。

※² DIPIPM : Dual-In-Line Package Intelligent Power Modul (保護機能付き制御素子を内蔵した電力制御半導体モジュール)
DIPIPM は三菱電機株式会社の登録商標

装置の概要

図 2 に本技術を搭載したルームエアコンの室内機を、図 3 にルームエアコンの室外機に搭載されている (a)圧縮機、(b)圧縮機を駆動させるモータ、(c)モータを構成するコイルを示す。モータはインバータで駆動されるブラシレス



図2 ルームエアコン室内機

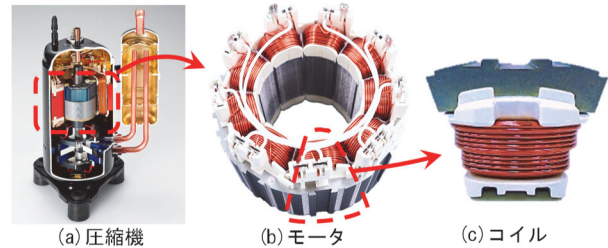


図3 当社圧縮機のDCモータ

DC モータであり、モータの効率を上げる(電流の変化で発生する鉄損を下げる)ため、コイルは細い銅線が数多く巻込まれて形成されている。

技術上の特徴

(1) Y- Δ 結線切換え圧縮機

図 4 はモータの回転数とモータ効率の関係を示したものである。一般的に、コイルの巻数を増やすとモータ効率は上昇するが、コイルに生じる電圧(モータ磁石の発電作用によるもの)が巻数に比例して上昇するため、コイルの電圧が供給電圧を超えた領域では、コイルに電流を流し

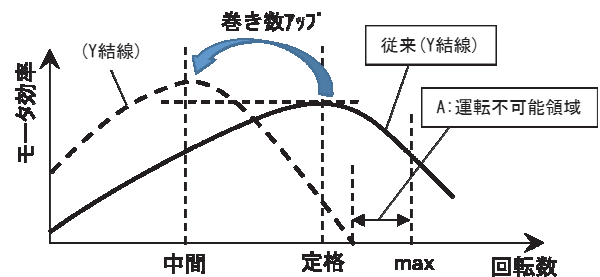


図4 回転数とモータ効率の関係

て電圧を抑制する必要がある。すると、モータ効率が下がるため駆動可能な上限回転数が低下してしまう（運転不可能領域を図4のAに示す）。これは、モータ効率とハイパワーがトレードオフの関係にあることを示している。

従来は、ハイパワーを出すために、負荷の高い定格条件で効率のピークを持たせていたため、負荷の低い中間条件でのモータ効率を高くできないという課題があった。

モータのコイルの結線方法には「Y結線」と「Δ結線」があり、図5(a)に三相インバータに接続された二つの結線方式におけるコイルの配置図を示す。Y結線は三相コイルの片側が共通接続されており、Δ結線は三相コイルが環状に接続されている。Y結線は、Δ結線に比べてインバータの相間電圧（コイルの電圧に相当）が $\sqrt{3}$ 倍となり、出力電流は $1/\sqrt{3}$ 倍の関係となる。電流が小さくなることで、インバータ損失やモータの鉄損を下げることができ、高効率な駆動が可能となる。逆に、Δ結線はY結線に比べてインバータの相間電圧が $1/\sqrt{3}$ 倍となり、出力電流は $\sqrt{3}$ 倍の関係となる。電圧が小さくなることで、供給電圧に対する余裕が生じ、ハイパワー（高回転）まで駆動が可能となる。従来は、負荷の低い中間条件の効率を改善したくても、ハイパワーを出す必要があったため、コイルの巻数を多くできない課題があった。そこで今回、図5(b)に示す結線切換え方式を開発した。駆動回路は、従来の構成に電磁リレーを設けた構成になっており、電磁リレーの励磁状態を制御することで、Y結線とΔ結線を切換えることができる。さらに、Y結線とΔ結線のそれぞれで効率がピークを持つように調整する新制御を追加することで、1つの回路でモータ結線を自由に選択駆動することが可能となった。これにより、図6

に示すとおり、コイルの巻数を従来比で60%増加させて鉄損を31%削減することができるので、図7に示すように、Y結線による中間領域での高効率化とΔ結線によるハイパワー化の両立を空調業界初で実現した。

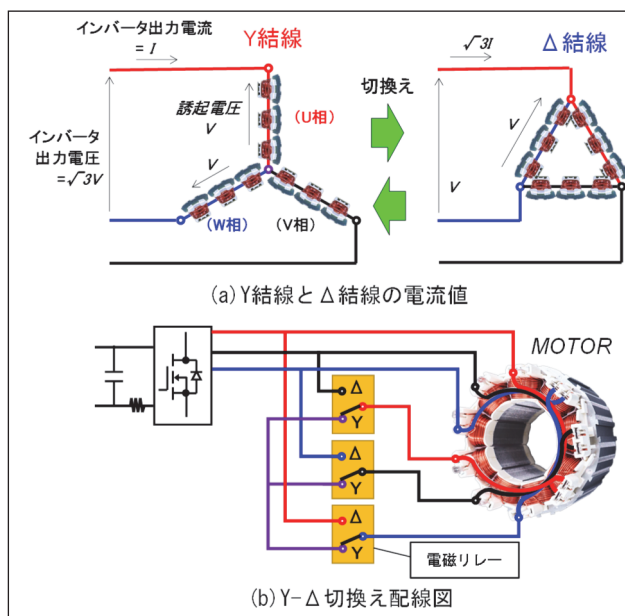


図5 Y-Δ結線切換え方式

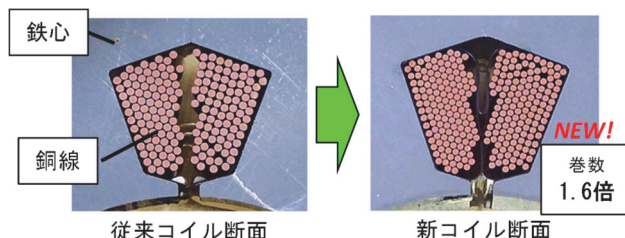


図6 コイルの高巻き数化

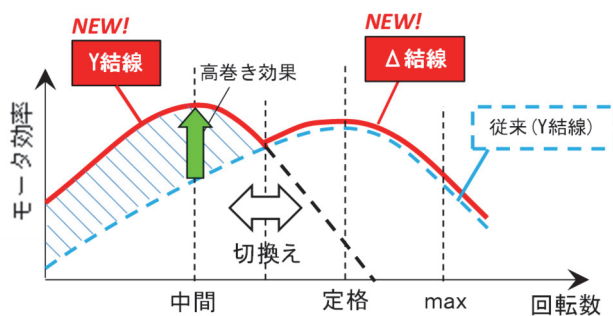


図7 Y-Δ結線切換えによる効率改善



図8 当社実証試験住宅

(2) Y-Δ結線切換えタイミングおよび快適性向上制御技術

DC モーターは制御が複雑で回転中の結線切換えが困難なため、停止して低負荷と高負荷の結線を切換える必要があるが、次に説明する空調負荷先読み制御を合わせて導入することにより、快適性を損なうことなく、結線の切換えを実現した。

エアコンの空調負荷から住宅の熱損失係数と内部発熱量を当社独自の AI 技術を使って学習し、冷やし過ぎや暖め過ぎを抑制するとともに、外気温や日射の変動から少し未来の人が感じる温冷感を先読みし、快適性を高めつつ省エネ性を向上する技術を開発した。住宅の熱損失係数の学習は、図8の実証試験住宅や社員の実際の住宅を使って実証した。

この空調負荷先読み技術により、予測した空調負荷の大小からタイミング良く Y 結線とΔ結線を切換えることができるようになった。

実用上の効果

当社独自の AI を駆使した空調負荷学習による温冷感先読み技術は、新・旧／戸建て・マンションなど様々な住宅構造に合わせた快適な空

調を可能にする。また、Y-Δ結線切換え技術により、先読みした空調負荷に合わせて常にモーター効率の高い結線を選択できるので、電気代も削減できる。

モーターは家電（ルームエアコン、扇風機、掃除機、レンジフードなど）だけでなく、自動車や FA など多くの分野の機器で使用されているので、効率カーブを複数持てる Y-Δ結線切換え技術を波及させることができれば、様々な業界の省エネ化促進に貢献できると考える。

知的財産権の状況

① 日本国特許第 4619826 号

名称：電動機駆動装置、電動機駆動方法及び圧縮機

概要：電動機の巻線の結線方式を指令に従って Y 結線とΔ結線に切換える手段と運転状態により結線を選択し指令を発行する手段を備えたことを特徴とする電動機駆動装置。

むすび

今回は住宅負荷に合わせたソフト（空調負荷先読み技術）とハード（Y-Δ結線切換え技術）の双方を開発することで、快適性向上と省エネ性向上の両立を実現した。

今後もユーザーの様々なニーズに応えつつ、ルームエアコンの快適性向上と省エネ向上の両立を推進し、生活環境と地球環境の改善に貢献していきたい。