

カーボンニュートラル達成に向け 暖房能力を飛躍させたルームエアコン 23S シリーズ

Overview of the Development of the SRK_23S Series of Residential Air Conditioners
with Improved Heating Capacity to Achieve Carbon Neutrality



高野 雅司*1
Masashi Takano

宇野 順道*2
Naomichi Uno

藤原 拓朗*2
Takuro Fujiwara

布目 好教*2
Yoshinori Nunome

久原 正和*2
Masakazu Kuhara

中西 道明*3
Michiaki Nakanishi

ヒートポンプ(以降, HP)技術を用いた暖房は, 化石燃料を用いた燃焼式暖房機器と比べて温室効果ガスの排出量が少ないため, カーボンニュートラル(以降, CN)達成の主要技術として注目されている。一方, HP暖房も消費電力由来のCO₂低減のため更なる高効率化や, その特性からHP暖房のウィークポイントでもある低外気温時における能力向上が求められている。

また, 近年の住宅事情から, リビングにダイニングを合わせた20畳以上の空間を1台のルームエアコンで冷暖房する施工例が増えており, エアコンの大能力化ニーズが高まっている。そのような背景から, 三菱重工サーマルシステムズ株式会社(以下, 当社)は従来機比, 13%の省エネルギー性の向上を実現し,リビング用途として6.3/7.1/8.0kWクラスをラインナップに加え,更に低外気温時の能力を大幅に向上させた寒冷地向けモデルを追加した2023年向けルームエアコンを開発した。

1. はじめに

HP技術を用いた暖房は, CN達成の主要技術として注目されている。しかしながら現状, 一般的に暖房能力は化石燃料を用いた燃焼式暖房機器の方が高いため, 燃焼式暖房機器からの代替促進のためにはHP暖房の高能力化が必須である。また世帯当たりの用途別エネルギー消費の推移によると, 冷暖房が家庭内のエネルギー消費量に占める割合が約30%である⁽¹⁾ことから, 国としても消費エネルギー由来のCO₂を削減し, CNを推進するために, 2022年に家庭用エアコンの省エネ法の達成基準を厳しく見直し, その達成年度を2027年と定めた。例えば14畳用の冷房能力4.0kWの機種では, 省エネ法の達成指標として用いられる通年エネルギー消費効率であるAPF(Annual Performance Factor)を現行の4.9から6.6に大幅に引き上げ, 2027年にこの基準を達成できていないエアコンは販売できなくなる厳しい改正である。また最近の国内の住宅では,リビングにダイニングを合わせた20畳以上の空間を1台のエアコンで冷暖房する施工例が増えており, 冷房能力が6.3kW(20畳用)以上の大能力機のニーズが高まっている。以上のような背景から, 当社は2027年新省エネ法を前倒しで達成し,リビング用途として求められる大能力機, 高暖房能力を備えた2023年向けルームエアコン23Sシリーズの開発を行ったので, その技術概要を報告する。

*1 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 空調機技術部 主席チーム統括

*2 三菱重工サーマルシステムズ株式会社 空調機技術部

*3 三菱重工工業株式会社 総合研究所 伝熱研究部

2. 省エネルギー性能の向上と高暖房能力, 大能力化

23S シリーズは, 4.0kW 機において APF 7.0 と従来機 (SRK4022S2:APF 6.2) 対比 13% 省エネルギー性を向上させている。年間の消費電力量としては 11% の削減 (SRK4022S2:1220kWh と SRK4023S2:1081kWh の比較) となり, エアコンの平均使用年数 13.7 年における温室効果ガス排出量の低減効果は, CO₂ 量に換算すると約 1.3 トン分に相当する大きな効果である。また外気温 2°C 時の暖房性能である暖房低温能力は 8.8kW と従来機 (SRK4022S2:6.7kW) 対比 31% 向上させている。さらに従来機にはラインナップのなかった 6.3/7.1/8.0kW の大能力機のラインナップを追加している。本章ではこれらの目標を達成させるために行った, 各コンポーネントの開発について述べる。

2.1 送風系の性能向上

ルームエアコンには室内機・室外機各々 1 個の送風用モータを具備している。送風用モータの消費電力合計は, ユニット全体の消費電力の 15% 前後を占めるため, 送風系の改善による消費電力低減も APF 向上に寄与する。

今回の開発では, 室内機・室外機ともに CFD (Computational Fluid Dynamics) 解析を行い, 送風ファン形状の最適化, 熱交換器配置や風路の最適化を実施。高効率モータの採用も含め従来機対比, 室内機は約 30%, 室外機は約 40% の送風ファン消費電力低減を実現した。図1に室内機 CFD 解析結果を示す。

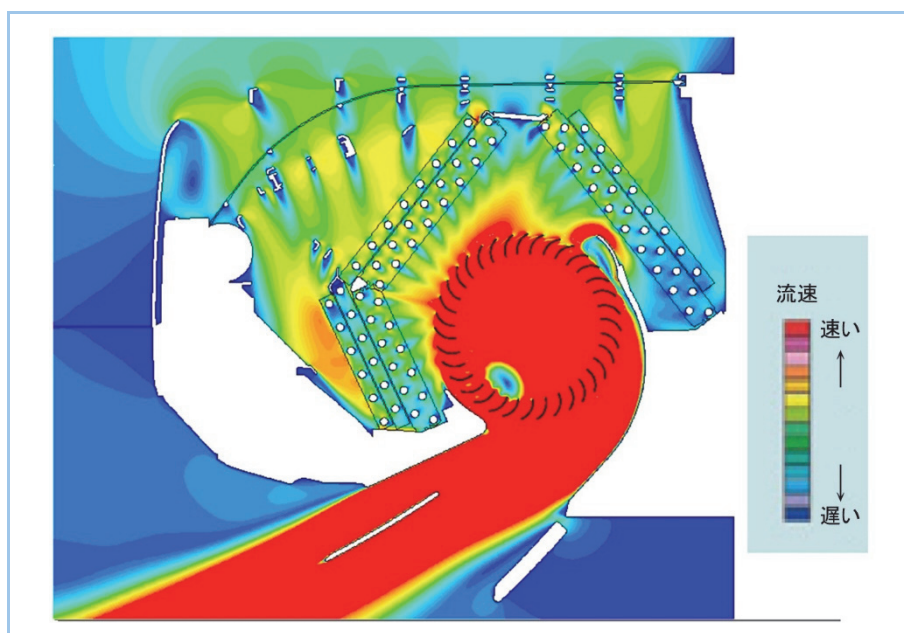


図1 CFD 解析による送風系の最適化設計

2.2 圧縮機の大容量化と高効率化

23S シリーズは APF 向上のほか, 大能力化を実現するために, 圧縮機の容量を従来の 13cc から 15cc に拡大した新型のツインロータリ圧縮機を開発した。高 APF 化のためにはエアコンの消費電力の多くを占める圧縮機の改善が必要であるが, 容量アップに伴い機械損失増大が課題となる。このため, 圧縮機構及び圧縮機モータにおいて, それぞれ損失改善を実施した。まず圧縮機構については, 容量アップによってストロークが増加するため, ブレードでの摺動摩擦損失が増加する(図2)。これに対して, DLC (Diamond Like Carbon) コーティングを施した。DLC コーティングとは部材表面に炭素を原料とした硬質薄膜を形成することであり, 低摩擦係数化により摩擦損失が低減し耐摩耗性も向上する。これによりブレード摺動による摩擦損失を低減するとともに信頼性を向上させている。

また圧縮機モータにおいて銅巻線数の増加(高ターン化)と高グレードのネオジウム磁石を採用

することで、従来機種よりも小さい電流で必要な動力を確保できるようにした。本圧縮機のモータステータはハウジングに焼嵌め固定しているが、焼嵌めによりモータステータが変形し、モータ損失が増加することが課題である。本圧縮機ではモータステータを焼嵌めによる変形が小さくなる形状とする工夫を行うことで損失の低減を図った。図3に焼嵌め時にモータステータに発生する変形の解析結果を示す。従来機種と比較して応力集中が発生している部分が小さくなっていることが確認できる。その他の改善も含め従来の13cc圧縮機対比、+5%の高効率化を達成した。

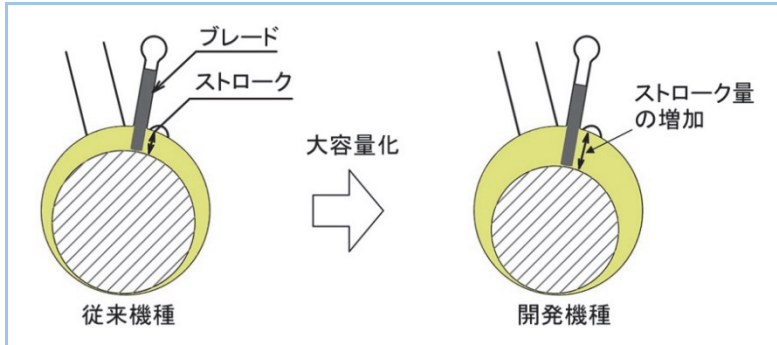


図2 ブレード摺動部損失増加箇所

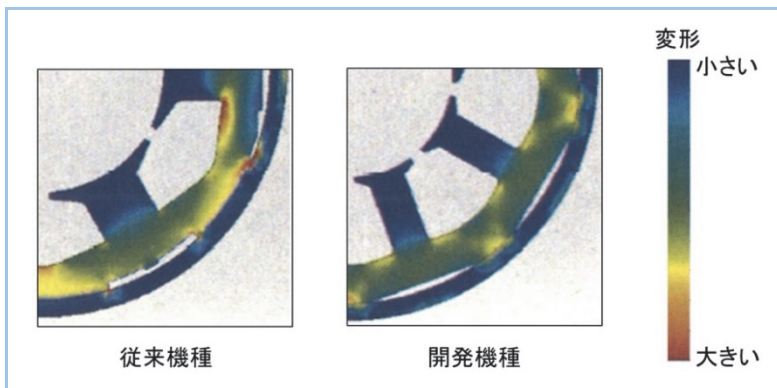


図3 モータステータに発生する圧縮応力

2.3 インバータ性能の向上

圧縮機を駆動するインバータについては、高効率化を目的に図4に示す回路構成とした。従来機種からの主な変更点として、ブリッジレスコンバータ PAM (Pulse Amplitude Modulation) 制御回路方式・高効率リアクトル・スーパージャンクション MOS-FET (Metal Oxide Semiconductor Field Effect Transistor) を採用した。

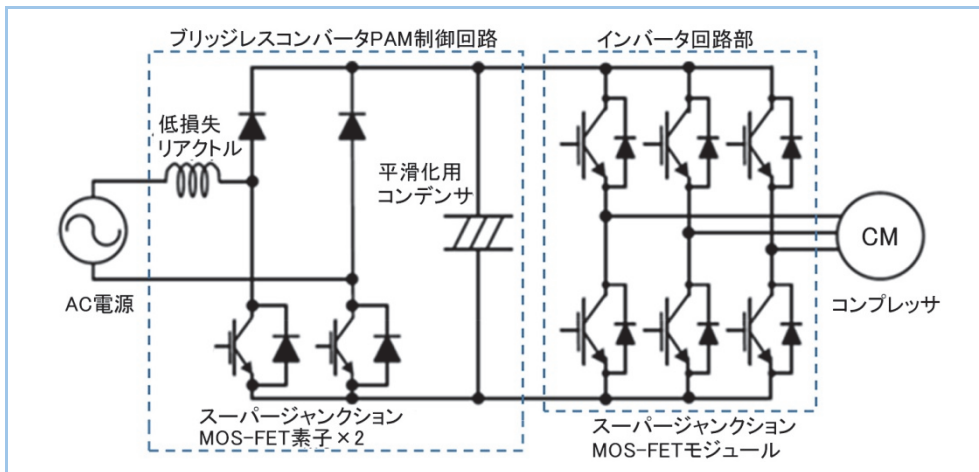


図4 室外機コントローラ回路構成

交流電源を直流に平滑化する AC-DC コンバータ回路部は、従来のダイオードブリッジ整流からダイオードブリッジレス整流に変更し、ブリッジレスコンバータ PAM 制御回路方式とすることで、

従来ダイオードの順方向電圧特性による損失を低減した。また使用するスイッチング素子にスーパージャンクション MOS-FET を採用することで、スイッチング損失を低減し、併せて、同期整流制御も同時に実施することでスーパージャンクション MOS-FET の寄生ダイオードによる電圧降下分の損失を低減した。リアクトルについても、コア材料を見直し鉄損の削減を図った低損失リアクタを採用した。

DC (Direct Current: 直流) 電圧高昇圧制御では、インバータ制御と合わせて、モータの運転状態に合わせて DC 電圧の昇圧レベルやインバータベクトル制御の出力電圧波形を調整し、コンバータ損失、インバータ損失、モータ損失の合算が最も小さくなるように制御するアルゴリズムを新たに考案し搭載した。

インバータ回路についても従来機で採用していた IGBT (Insulated Gate Bipolar Transistor) モジュールからスーパージャンクション MOS-FET モジュールに変更した。これによりスイッチング損失と導通損失を大幅に削減することが可能となり、インバータ高効率化に大きく寄与している。またインバータベクトル制御の過変調領域を拡大し、高ターン化したモータのデメリットである高回転領域において、モータ電流歪を低減することで、圧縮機モータの鉄損を削減し、運転範囲の拡大、高暖房性能を実現した。

その他、高効率素子、スイッチング電源回路低損失化技術、低消費電力 CPU (Central Processing Unit)、低損失ノイズフィルタ回路等を積極的に採用し高効率化を実現、上記の新技术を搭載することで、従来機対比、コントローラ損失を約 60% 低減した。

2.4 エアコンとしての性能の向上

エアコンとしての性能を最適化するには、2.1~2.3 項の各要素を組み合わせ、圧縮機回転数、室内外送風量等を適切に調整し、システムとして最も高効率となるように構築する必要がある。室内熱交換器については、多列構成とすることで熱交容量を増強し、システム運転点の最適化を実現した。室外熱交換器についても、従来機対比、銅管を細径化、冷媒流路を多分岐構成とすることで、最大能力域での性能阻害となる冷媒圧力損失を抑制、大能力性能を確保した。

また、低温時の暖房性能向上にも取り組み、圧縮機容量アップ及びインバータの高性能化、除霜運転や除霜運転後の暖房立ち上がり制御の最適化により暖房低温能力向上を実現した。

2.5 寒冷地向けエアコンの開発

寒冷地域においては、やはり化石燃料を用いた燃焼式暖房機器がまだまだ多く使用されるが、HP 暖房への切替え・代替を促進するために、寒冷地向けのエアコンも同時に開発した。特徴としては、各能力帯の暖房低温能力の向上、例えば寒冷地向けモデルの 4.0kW クラスでは、暖房低温能力を 8.9kW に強化させつつ、霜取運転中でも室内温度の低下を抑制できるホットガスバイパス方式の霜取運転機能を搭載。また室外熱交換器の下部に除霜後の排水の凍結を防止するヒータと、エアコン停止時、降雪により室外機の送風路が雪に埋もれることを防止するために定期的に送風を行う防雪室外ファン制御を備え、外気温 -25°C でも運転可能な高暖房性能を実現している。これらの機能を備えた寒冷地モデルをラインナップに加えることで、燃焼式暖房機器から HP 暖房への代替が促進され、CN 達成の一助となることが期待される。

3. 環境配慮設計への取り組み

23S シリーズ開発では、省エネ性の向上に併せて、各種環境保全の取り組みとして省エネ機能の搭載や省資源化、再利用資源の活用を積極的に推進している。以下に主な環境配慮設計技術について述べる。

3.1 圧縮機の軽量化

2.3 節の通り、圧縮機のモータ効率向上を実現したが、併せてモータの鋼板部分の厚みの削減を実施。従来圧縮機対比、モータの重量を約 20% 低減させた。また圧縮機本体のケーシングについても、板厚及び圧縮機高さを低減させることで省資源化を図り、ケーシング重量を約 40%

低減した。加えて、圧縮機内部の潤滑構造を改良することで、冷凍機油も 20%削減。以上の改善により、圧縮機として約 20%の重量削減を行っている。

3.2 茶殻再生樹脂の使用

伊藤園は、今まで廃棄されていた茶殻を様々な素材に有効活用する目的で、伊藤園独自の茶殻リサイクルシステムを構築。その一環で“茶殻配合樹脂”を開発している。本機種についても、この環境にやさしい茶殻配合樹脂を、空清フィルタのホルダに採用することで、再資源の有効活用を実施している(図5)。

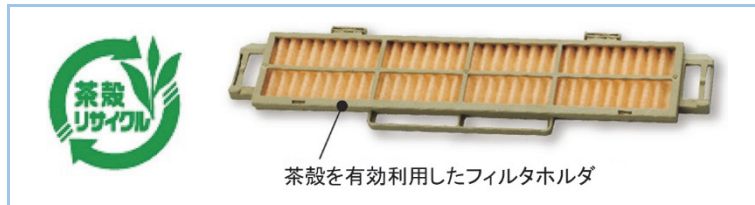


図5 茶殻を利用したフィルタホルダ

3.3 冷媒量の削減

室内外機の熱交換器に細径熱交を用いることで、冷媒量を従来対比 11%削減(SRK4022S2:1350g と SRK4023S2:1200g の比較)。本エアコンに使用している冷媒 R32 は、地球温暖化係数 GWP (Global Warming Potential) が 675 であり、1台当たりの温室効果ガス排出量の低減効果は、CO₂ 量に換算すると約 100kg 分に相当し、温室効果ガスの低減として、大きな効果が期待できる。

3.4 AI 自動快適運転

23S シリーズでは、消費電力の低減を目的として、当社製エアコンで初めて“AI 機能”を搭載。エアコンが据え付けられた居室に対して、AI が冷えやすさ/暖まりやすさを検知し、冷暖房開始時の運転能力を自動で調整することで、無駄な消費電力を抑えている。当社環境試験室での結果では、AI 制御の有効/無効の差で、約8%の消費電力量の低減効果を確認している(実使用時の消費電力量は、部屋の断熱性能や各条件により異なる)。

3.5 フィルタ自動清掃機能

従来機同様に、室内機フィルタの掃除の手間を軽減するフィルタ自動清掃機能を搭載。エアコンの運転状態から適切なタイミングでフィルタを自動的に清掃し、ほこりによるフィルタの目詰まりを低減することで、エアコンの送風エネルギーロスを低下させて省エネ性を高めている。

3.6 設定温度 0.5°C刻み

従来機では1°C刻みであったリモコンの設定温度を、0.5°Cに変更。きめ細かい設定ができることで、無駄な消費電力を使用することなく快適な環境を作り出すことが可能となった。

4. 快適性向上の機能

エアコン購入時の選択ポイントとして価格や基本性能以外に、快適機能や清潔機能などの“付加機能の充実”が挙げられる。23S シリーズで新たに追加した付加機能は以下の通りである。

4.1 デュアルセンサ機能(焦電センサ+サーモパイルセンサ)

23S シリーズには、従来から搭載している赤外線の変化量から人の活動量を検知できる焦電センサに加え、赤外線量を直接測定することで、熱源の位置を検知できるサーモパイルセンサを搭載。それらを用いて、人位置の検知技術によりエアコンの風を当てたり、よけたりできる機能を新たに搭載している。また活動量に合わせた空調や、不在時に自動的に運転能力を抑えるひかえめ運転、不在が続いた場合に運転を自動的に停止するオートオフ機能も備えており、無駄な消費電力が生じないような機能を備えている。

4.2 デュアルイオン機能(さわやかイオン+アクアオゾン)

イオナイザを居室空間用とエアコン室内機内部用の2つ搭載。居室内にマイナスイオンを放出

し、ウイルス・細菌・カビ菌を抑制する“さわやかイオン運転”，及び室内機内部にイオンとオゾンを充填させニオイや汚れの原因菌の増殖を抑制する“アクアオゾンクリーン運転”，さらに暖房運転により熱交換器を加熱乾燥させることでカビ菌の増殖を抑制する“アクアオゾン加熱運転”を搭載している。

4.3 無線 LAN 機能

無線 LAN インターフェイスを標準搭載し、スマートフォンからの操作が可能なおえ、更にスマートスピーカーと連携することで音声によるエアコンの操作や運転状況の確認が可能となり、一層操作性を向上させている (Google アシスタント, Amazon Alexa に対応)。

5. まとめ

室内外機の送風動力の低減と、高効率な圧縮機とインバータを新規開発、採用することで、2023 年度向け高級機として、4.0kW 機において APF 7.0 を達成している。1 台当たりの温室効果ガス排出量の低減効果を CO₂ 量に換算すると、冷媒量削減による効果が約 100kg、エアコンの使用による消費電力量低減による効果が約 1.3 トンで、合わせて約 1.4 トン分に相当し、温室効果ガス排出低減に大きな効果が期待できる。加えて、AI やデュアルセンサ、自動フィルタ清掃機能による通常使用時の省エネ性の向上、環境配慮設計による省資源化・再資源化、暖房低温能力の改善による燃焼式暖房機器からの代替促進効果もあり、CN 達成に対して大きく貢献が期待できる製品を開発した。

CN 達成に向けて開発を行った 2023 年向け 23S シリーズ 2.2~8.0kW 機9機種を、23 年3月より随時量産開始していく予定である。併せて、23S シリーズをベースとし、ホットガスバイパスデフロスト機能を追加した寒冷地向けモデル 23SK シリーズ 2.5~5.6kW 機4機種もラインナップし、燃焼式暖房機器からの早期転換を促す。

次年度以降も引き続き、CN 早期達成への一助となる低環境負荷製品の開発に取り組んでいく。

参考文献

- (1) 経済産業省 資源エネルギー庁 省エネ性能カタログ 2022 年度版