

エアコンの省エネ要素技術開発

Development of Energy-Saving Technology for Air Conditioners

山本 憲昭
Noriaki Yamamoto

森川 智貴
Tomotaka Morikawa

長谷川 博基
Hiroki Hasegawa

河野 裕介
Yusuke Kawano

藤田 直人
Naoto Fujita

弓場 大輔
Daisuke Yumiba

要 旨

地球環境の保護，温暖化防止の観点から，家電製品の省エネルギー性能の向上が求められている。そこで，高効率要素技術（熱交換器，圧縮機，圧縮機駆動制御）および，高性能室内・室外機を開発し，APF（Annual Performance Factor：通年エネルギー消費効率）で業界トップクラスの省エネを達成した。さらに，焦電型赤外線センサにより人位置・活動量を検出する「人感センサシステム」，超音波センサにより部屋の間取り・家具の配置を認識する「間取りセンサシステム」，居住空間の日射を検出する日射センサを開発・搭載することで，人位置・活動量・部屋の間取り・日射量まで考慮する「エコナビ」機能搭載エアコンを開発し，人や部屋の状態に合わせた空調で，「エコナビ」機能なしと比較して省エネ最大70%を実現した。

Abstract

Energy-efficient appliances are required for saving the global environment and preventing global warming. To respond to these expectations, we have developed high-efficiency elemental technologies (heat exchanger, compressor and its drive circuit) and a high-performance chassis (indoor and outdoor unit). Due to these technologies, the air conditioner which we developed achieved the industry-leading energy-savings performance. Furthermore, we developed a "Human Sensor System" that detects Humans' Location and their Amount of Activity using a pyroelectric infrared sensor, and "Arrangement Detection System" that senses Furniture Location using ultrasonic sensor. In addition, Amount of Insolation in a room is detected. By considering Humans' Location and their Amount of Activity, Furniture Location, and Amount of Insolation, our new air conditioners with the eco navigation system can consume 70 % less energy at maximum.

1. はじめに

近年，地球環境の保護，温暖化防止の観点から，家電製品の省エネルギー性能の向上が求められている。中でもエアコンは一般家庭でのCO₂排出量が最も多い製品に位置づけられるため，特に省エネルギー性能の向上が求められる商品である。

エアコンの省エネルギー性能向上のポイントは以下の2つである。

機器のエネルギー効率，すなわちAPF向上による消費電力量の削減

気流の吹き分けなどにより，部屋全体ではなく，人中心の空調を行うことで，無駄な冷暖房を抑制することによる消費電力量の削減

これらを実現するエアコンを目指し，筆者らは開発を推進した。まず，APF向上を目的として，高性能要素技術（熱交換器，圧縮機，圧縮機駆動制御）および，それらを搭載する高性能室内・室外機を開発した。また，人中心の空調で，無駄な冷暖房を抑制することを目的として，人位置・活動量・部屋の間取り・日射を考慮した制御を行

うことで，消費電力量を大幅に低減する「エコナビ」機能搭載エアコンを開発した。

本稿では，上記要素技術開発の概要を報告する。

2. エアコンの機器構成と高効率化開発

第1図に，エアコンの室内・室外機の構成図を示す。一般にエアコンの主要部品としては，室外機に搭載される圧縮機と，室内・室外機それぞれに搭載される熱交換器，送風ファンがある。そしてこれらを通じて，暖房時は室外から室内へ，冷房時は室内から室外へ熱搬送を行うことで冷暖房を行っている。そのため，APF向上のためには，

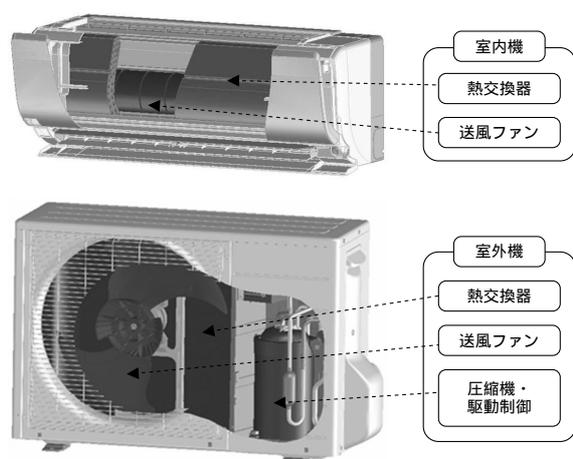
熱交換器の高効率化

圧縮機および圧縮機駆動回路の高効率化

送風ファンおよび送風路の高効率化

が主要なポイントとなる。

以下，これらの中から，従来比 約5%のAPF向上を実現した，当社の特徴的な要素技術開発について述べる。



第1図 エアコン構成図

Fig. 1 Main component of air conditioner

2.1 室内熱交換器の高効率化

室内熱交換器は、居住空間で熱交換を行う要素部品であり、室外熱交換器と比較し、省エネルギー性能への寄与率が高い。さらに、搭載される室内機の設置性・デザイン性向上の観点から、高効率化とコンパクト化の両立が極めて重要視される要素部品である。

当社では、単位体積あたりの熱交換器能力の最大化を狙い、弓形アルミフィンに異径伝熱管を最適に組み合わせ配列した、ハイブリッド熱交換器の開発・搭載を行っている。以下、その概要を述べる。

〔1〕弓形アルミフィン開発

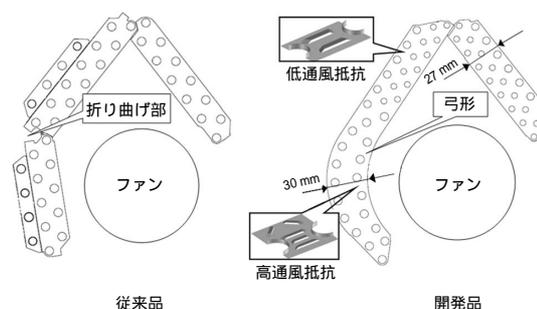
本開発のハイブリッド熱交換器では、熱交換器前面側を弓形形状とした。

一般的な熱交換器は、平板状の熱交換器を複数列組み合わせ、折り曲げる構成であるため、折り曲げ部に間隙が生じ、アルミフィンと空気の伝熱面積が減少する。これに加え、間隙部では十分に熱交換できない空気が熱交換器を通過するため、熱交換器能力が大きく低下することが課題であった。

弓形形状では、その折り曲げ部をなくし、熱交換器を配置するスペースすべてをアルミフィンで満たすことで、アルミフィンと空気の伝熱面積を最大化することが可能となり、間隙を通過する空気もなくなるため、熱交換器能力が大幅に向上する。

さらに、本開発品では、熱交換器を通過する空気の風速分布を均一化するため、クロスフローファンに近く、風速が比較的速い前面下部側の熱交換器では、熱交換器に流入する空気の流れ方向に対するアルミフィンの幅を平均30 mmとし、比較的風速の遅い前面上部および背面側においてはアルミフィンの厚さを平均27 mmとした。そ

して、伝熱管の間に設けたアルミフィンの切起こしを風速の速い箇所では通風抵抗の高い4列配置、遅い箇所では通風抵抗の低い2列もしくは3列配置とし、切起こし形状および高さを最適化することで、全体の風速分布の均一化を実現した(第2図)。



第2図 アルミフィン形状

Fig. 2 Shape of fin

〔2〕異径伝熱管の最適配置

本開発品では、熱交換器能力を向上させるため、冷媒の流動特性を考慮して、3種類の外径の伝熱管を採用し、最適配列した。これは、それぞれの外径ごとに、(1)式で表される管内熱伝達率¹⁾を向上させるとともに、(2)式で表される管内圧力損失¹⁾を最小限にとどめるように冷媒経路、本数を設定したものである。

$$h = u^{0.8} \cdot D_e^{-0.2} \quad (1)$$

$$P = u^2 \cdot D_e^{-1} \quad (2)$$

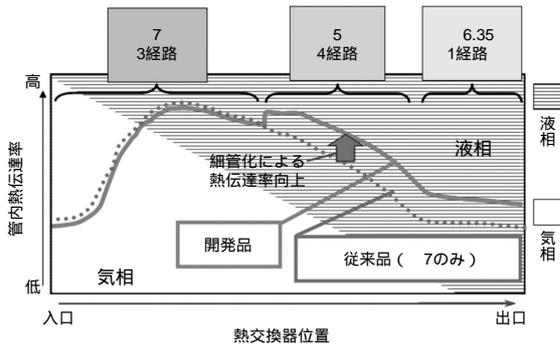
h : 管内熱伝達率 (W/(m²・K)), u : 管断面内の平均流速 (m/s), D_e : 管断面の相当直径 (m),

P : 管内圧力損失 (Pa)

たとえば、室内熱交換器が凝縮器として作用する暖房運転時には、伝熱管内を気液2相状態で流動する冷媒の液相の割合が多い箇所では管内熱伝達率が大きく低下する。そのため、液相の割合が多くなる凝縮器出口箇所に、細径の5 mm管、および6.35 mm管を配置し、管断面の相当直径を低減し、平均流速を増加させることで管内熱伝達率を向上させた(第3図)。

一方、室内熱交換器が蒸発器として作用する冷房運転時には、管内圧力損失が熱交換器能力低下の主要因となる。そこで、冷媒の気相の割合が多く、冷媒流速が大きい蒸発器出口箇所に7 mm管を従来の2経路から3経路として配置することで管内圧力損失を低減した。

さらに、伝熱管ピッチを最適配列とすることで、熱交換器能力5.0%向上(本開発でのAPF向上の25%相当)を達成した。



第3図 凝縮時管内熱伝達率
Fig. 3 Heat-transfer coefficient in tubes during condensation

2.2 高効率スクロール圧縮機の開発

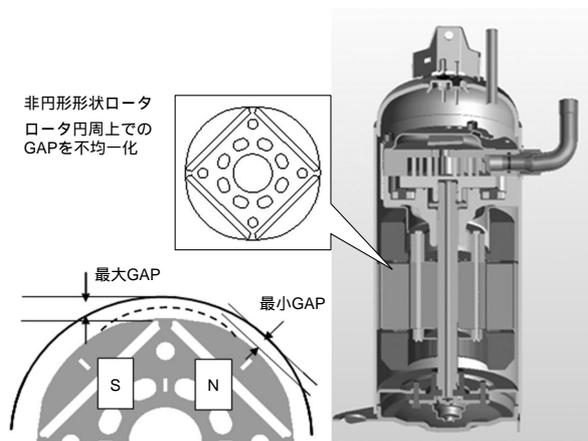
圧縮機はエアコンの心臓部であり、APF向上に大きく寄与する要素部品である。そこで、スクロール圧縮機の高効率化に取り組んだ。

〔1〕集中巻き高性能モータの開発

第4図に、今回開発した圧縮機の概観を示す。本開発品では、モーターロータを非円形形状とすることで、円周上のGAPを不均一とし、ロータとステータ間の磁束密度分布が正弦波状となる構成とした。本構成により、誘起電圧を従来よりも正弦波に近づけることでロスを低減し、さらに高密度巻線化によるモーター巻線径と積厚アップにより、モーター入力低減を実現した。

〔2〕高効率駆動制御の開発

圧縮機駆動における主な電力損失であるインバータ損失の低減方法として、モーター電流の低減がある。しかし、モーター電流低減のためにモーターコアの積厚を上げると、高速回転時の運転が困難となり、圧縮機の運転可能最大回転数が低下してしまう。これは、モーターの高速回転時、回



第4図 圧縮機とモータ
Fig. 4 Compressor and its motor

転を妨げるように発生する誘起電圧が増加するためである。

通常、この誘起電圧によるモータの最大回転数低下を防ぐため、モータにかける電圧の位相をずらすことが行われる。しかし、従来の制御方法では最適な電圧位相の推定時に生じる誤差が大きく、必要な最高回転数、すなわち最大能力を確保するには、従来のモーターコアの積厚が限界であった。

そこで、2相直流実電圧を演算に利用することで、最適電圧位相の推定時の誤差を減少させる圧縮機駆動制御を開発し、モーターコアの積厚を従来の50 mmから55 mmへとアップすることが可能となった。

これらの取り組みにより、最大能力を確保しつつ、運転効率4.0%の性能向上（本開発でのAPF向上の75%相当）を実現した。

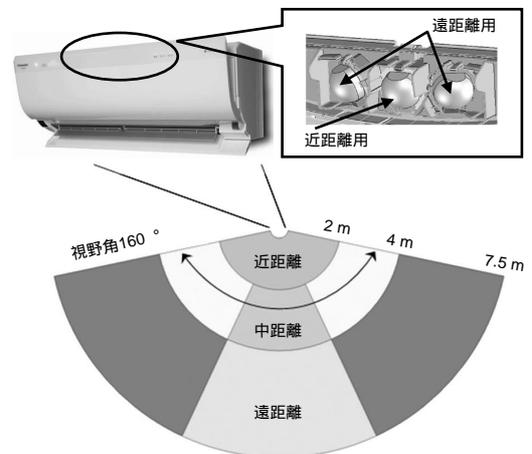
3. 「エコナビ」機能 センサ・制御を用いた省エネ技術の開発

3.1 人感センサシステムの開発

従来のエアコンは部屋全体をむらなく快適に空調することに主眼を置いてきた。「人感センサシステム」は、焦電型赤外線センサにより、人の位置や活動量を検出し、人の居る場所を対象に、新標準有効温度（SET^{*}：Standard new Effective Temperature）²⁾ がリモコン設定温度となるように気流の吹き分けを行うことで、面倒なりモコンの設定変更なしで、無駄な冷暖房を抑制し、快適性の維持と、省エネ性向上を実現することを狙いとする。

〔1〕センサユニットの構成

第5図は、本開発の人感センサユニットであり、3個のセンサと配光特性の異なる2種類のフレネルレンズ（近距離



第5図 人感センサユニットと検知エリア
Fig. 5 System configuration and its sensing area

離用1個，遠距離用2個）から構成される。このレンズの感帯と不感帯を利用した赤外線量の変化により，人位置と活動量の検出を行うことで，検出エリアを7エリア（近距離1エリア，中距離3エリア，遠距離3エリア）に分類している。

〔2〕人位置と活動量検出に基づく風向制御アルゴリズム

家庭での居場所実態調査の分析から，家族それぞれに定位置や動線パターンがあり，「食事の位置」と「くつろぐ時（大半がテレビ観賞）の位置」で数分以上同じ場所に留まっているケースが多いことが明らかとなった。一方，エアコンによる空調は，風向偏向してから対象とするエリアが快適となるまで時間がかかる。

そのため，各エリアの特性に応じて風向を制御することで，人が居る場所のみをすばやく快適に空調するアルゴリズムを構築した。

具体的には，各エリアにおける活動量検出回数の累積加算（反応頻度）を記憶し，これに応じてエリアを以下の3つの特性に区分している。

- エリア：頻度（高） 居場所エリア『よく居る場所』
- エリア：頻度（中） 通過エリア『滞在時間の比較的短い通路など』
- エリア：頻度（低） 非生活エリア『人がほとんど行かない壁・窓など』

上記エリア区分に応じて，人を検出してから，人が居ると判定し，風向偏向するまでの時間を変化させる。たとえば，エリアで人を検出した場合，エリアと比較し，人が居ると判定するまでの時間を短く，人が居なくなると判定するまでの時間を長く設定する。逆にエリアでは人が居ると判定するまでの時間を長く，人が居なくなると判定するまでの時間を短く設定する。以上の考え方に基づき風向を制御することで，人の滞在空間のみをすばやく快適温度に近づけることが可能となった。

さらに，快適温度に大きな影響を与える活動量に応じて設定温度をシフトさせる制御アルゴリズムを構築した。具体的には，座位作業などの活動量小を基準に，検出した活動量に応じて，設定温度を最大 -2（暖房運転時，活動量大）シフトさせることで，快適性の維持と省エネ性向上を両立させている。

〔3〕省エネ効果

今回開発した「人感センサシステム」を用いた人位置検出に基づく空調制御によるエリア空調により，従来比最大36%^(注1)の省エネを実現し，さらに活動量を検出することによる設定温度シフトで最大20%の省エネ^(注1)を実現した。

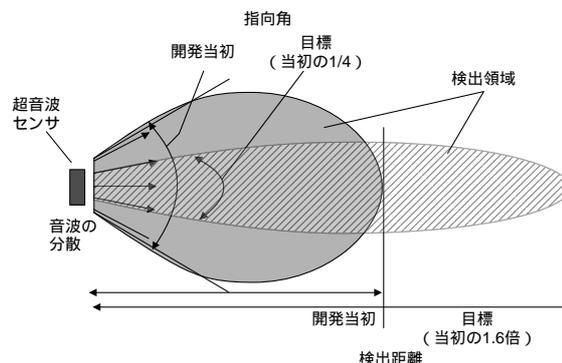
3.2 間取りセンサシステムの開発

「間取りセンサシステム」は，部屋の間取りを認識した上で，その部屋内に存在する家具などの障害物の有無とその位置を検出するもので，それら障害物を回避することによって，気流を確実に人に届けることを狙いとする。

〔1〕間取りセンサの開発

障害物位置検出に用いる距離測定手段には，一般的なものとして，レーザ，赤外線，超音波の3種類が挙げられる。これらの中で，レーザはコストが高く，かつ安全面に課題があり，赤外線においては検出距離が短いことが欠点となる。そのため，本開発ではコストと機能両立の観点から，超音波を用いて部屋の間取りや障害物を検出することとした。

本システムではセンサを駆動させ，障害物位置検出を行うが，超音波センサでは音波の分散があるため，センサの設計によっては指向角が大きくなり，正面以外の障害物を検出してしまいう上，直進性が低下し，検出距離が短くなるのが課題であった（第6図）。



第6図 超音波センサの特性

Fig. 6 Characteristics of ultrasonic wave sensor

そのため，超音波センサを搭載するためには，(3)式で表される³⁾指向角（半減角）の低減によって検出距離を確保する必要があった。

$$\frac{1}{d} \quad (3)$$

: 指向角 (°), : 波長 (m),
d: 振動子直径 (m)

(注1) 当社環境試験室（14畳）において，外気温 2℃，リモコン設定体感温度 25℃とした暖房運転時，エアコン近くにテーブルなどが配置され，エアコン設置位置から対面上の壁近くに活動量大（約2 MET⁴⁾：アイロンがけや料理など）の人が存在し，日射が入っている場合。エコナビ機能なしとの比較。

(3)式より、指向角を抑えるためには大口径の振動子、もしくは高い駆動周波数が好ましいことがわかる。本開発では、エアコン本体搭載スペースの制約から、センサ径を外径 10 mmとし、同センサに許容できる最大サイズの振動子を採用した。

駆動周波数に関しては、周波数が高いほど指向角が小さくなるが、逆に距離減衰は大きくなる。そのため、駆動周波数の異なる超音波センサを用いて、それらの検出距離を測定し、検出距離が最大となる50 kHzを駆動周波数とした。

さらに、超音波を収束発散し、指向角を狭めて直進性を向上させる高性能ホーンの開発により、目標とする開発当初の1.6倍の検出距離を実現した。

〔2〕省エネ制御およびその効果

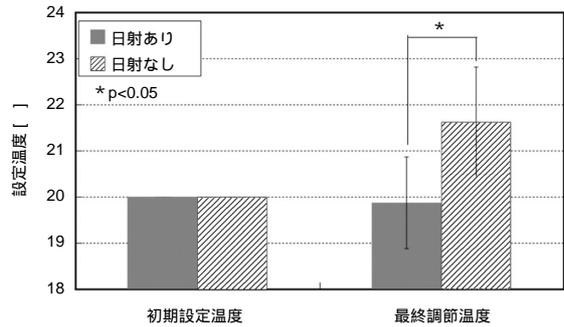
今回開発した「間取りセンサシステム」は、気流を阻害する障害物の位置や高さを検出できる。そのため、たとえば人の前に障害物（テーブルなど）を検出した場合、通常よりも上向きの羽根角度とすることにより、家具の上から気流を届けることで、人の居る場所が同じ新標準有効温度で従来比最大30%の省エネ^(注1)を実現した。

また、本開発においては、上記障害物回避制御と合わせて、人と壁との位置関係に基づく省エネ・快適制御も開発した。具体的には、壁の近傍では、暖気もしくは冷気が滞留しやすいことから、壁の近傍に人が存在する場合、暖房中であれば、圧縮機の回転数を低減し、吹き出し温度を低くすることで、人の居る場所が同じ新標準有効温度で最大10%の省エネ^(注1)を実現した。

3.3 日射検出による省エネ快適制御の開発

〔1〕日射と体感温度の関係の検証

一般に、人間は日射を受けると輻射熱により同じ気温でも暖かく感じる。そこで、日射の有無によって体感温度にどの程度の違いが生じるかを検証した。冬期の代表的な環境として、東京の冬至（12/23）の平均気温である10 / 50% RHを室外環境とした。さらに、日射量相当となる熱量を模擬的に白熱電球（色温度5900 K / 600 W）を使用して室内に60分間付与した場合と付与しない場合で、被験者にエアコンの設定温度を10分ごとに1℃ずつ変更して快適となる温度に調整してもらった。その結果、日射がある場合には、ない場合に対して、1.75℃低い設定温度となり（被験者数：N=8，有意確率：P<0.05）暖房時、日射により1.75℃の体感温度差があることが明らかになった（第7図）。



第7図 暖房時のリモコン設定温度変化（被害者平均、N=8）

Fig. 7 Remote controller preset temperature change at heating (Subjects' average, N=8)

〔2〕省エネ制御およびその効果

照明など日射以外の要因を排除するため、照度センサ（フォトランジスタ）により十分な光量を検出した場合に日射があると判断し、日射の有無による体感温度の変化を考慮したエアコンの能力調整を行う。これにより、暖房運転時に最大10%の省エネ^(注1)を実現した。

4. まとめ

今回、下記の要素技術開発に取り組み、機器のエネルギー効率であるAPF約5%向上を実現した。

高効率ハイブリッド熱交換器（熱交換器能力5.0%向上）

高効率スクロール圧縮機（運転効率4.0%向上）

さらに、センサ・制御を用いた省エネ技術の開発により、暖房運転時最大約70%の省エネ^(注2)を実現した。また、本稿では、暖房運転時の効果について述べたが、冷房運転時においても、人感センサシステムによるエリア空調効果、活動量検出による設定温度シフト効果、間取りセンサシステムによる気流制御効果、日射検出による能力調整効果により、最大約50%^(注3)の省エネを実現したことを付記する。

(注2) 注1の条件下にて、人感センサシステムによるエリア空調効果、活動量検出による設定温度シフト効果、間取りセンサシステムによる気流制御効果、日射検出による能力調整効果の積として算出。

(注3) 当社環境試験室（14畳）において、外気温35℃、リモコン設定体感温度25℃とした冷房運転時、エアコン設置位置から、対面の壁に近いエリアに人が存在し、活動量が安静（約0.8 MET⁴⁾：休息など）、日射が弱くなった場合。各効果の積として算出。エコナビ機能なしとの比較。

今後も、本稿にて報告した高効率要素技術、センサ・制御を用いた省エネ技術のさらなる進化により、地球環境の保護、温暖化防止に貢献する所存である。

参考文献

- 1) 瀬下裕 他：コンパクト熱交換器（日刊工業新聞社）(1992).
- 2) A. P. Gagge, et al. : An effective temperature scale based on a simple model of human physiological regulatory response. ASHRAE Transactions 77, pp.247-262 (1971).
- 3) 谷村康行：超音波技術 基礎のきそ（日刊工業新聞社）pp.31-35 (2007).
- 4) A. P. Gagge, et al. : Heat exchange between human skin surface and thermal environment. Handbook of Physiology Reactions to Environmental Agents, Am. Physiol. Soc., pp.69-72 (1977).

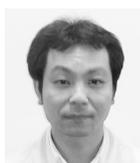
著者紹介



山本憲昭 Noriaki Yamamoto
ホームアプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Home Appliances Company



森川智貴 Tomotaka Morikawa
ホームアプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Home Appliances Company



長谷川博基 Hiroki Hasegawa
ホームアプライアンス社 技術本部
Corporate Engineering Div.,
Home Appliances Company



河野裕介 Yusuke Kawano
ホームアプライアンス社
エアコンビジネスユニット
Air-Conditioner Business Unit,
Home Appliances Company



藤田直人 Naoto Fujita
ホームアプライアンス社
エアコンビジネスユニット
Air-Conditioner Business Unit,
Home Appliances Company



弓場大輔 Daisuke Yumiba
ホームアプライアンス社
エアコンビジネスユニット
Air-Conditioner Business Unit,
Home Appliances Company