

健康空調を実現するクリーンシステム搭載エアコンの開発

Development of an Air-Conditioner Equipped with a Clean System to Realize Healthy Space

植松 峻一 岡 浩二 大野 洋平 久保 次雄
Shun-ichi Uematsu Kouji Oka Youhei Ohno Tsugio Kubo

要 旨

昨今、省エネ性能とともに清潔性がエアコンに求められている。APF (Annual Performance Factor) を向上させる省エネ技術開発に加え、昨今の健康志向と清潔性の要求の高まりを受けて、部屋の空気とエアコンの内部を清潔に保ち続ける機能として、「アクティブクリーンフィルター」(当社独自)と「防汚(ホコリレス)熱交換器」(業界初)を新たに搭載。部屋の空気を素早く、きれいにするとともに、エアコン内部への埃(ほこり)の侵入を抑え、付着を低減することで購入時のきれいさを維持し続けることのできるエアコンを開発した。

Abstract

Nowadays, system cleanliness and energy efficiency are considered crucial requirements for air conditioners. In addition to enhancing the energy efficiency for the improvement of the annual performance factor (APF) and considering the trend towards increased awareness in health and cleanliness, we have implemented the Active Clean Filter and Dust-less Heat Exchanger to keep both the air in the room and the air conditioner's internal mechanism clean. We developed an air conditioner that maintains the air quality in the room efficiently while simultaneously preventing the entry and accumulation of dust to keep the air conditioner as clean as on the day of purchase.

1. はじめに

日本国内のルームエアコンの普及率は飽和状態にあり、メーカー間での競争は激化、室内の空気質向上に向けたさまざまな機能を搭載することで差別化を図ろうと各社しのぎを削っている。そのような状況のなか近年では、エアコンとして、室温の温度調節機能だけではなく、室内空気の清潔性を向上させる機能が求められている。

一般的に、人が1日に取り込む空気量は約18 kgと言われており、水や食料に比べてはるかに多い摂取量である。また、室内環境には、家具・什器(じゅうき)や燃焼器具や人などが発する物質の他、外気浸入などにより、ハウスダスト・アレルゲン・タバコ煙・ニオイ・浮遊粉塵(ふんじん)・菌などさまざまな空気汚染物質が存在している。このように、室内空気は人が健康的な生活をするうえで、大変重要な要素である。

そこで、筆者らは、人が健康に暮らせる空気質を実現する健康空調をエアコンの重要機能としてとらえ、室温調節機能を維持しながらも、部屋の空気をきれいにするとともに、エアコンから吹き出す風を清潔に保ち続けることのできるクリーンシステムを開発した。

本稿では、上記開発の概要を報告する。

2. エアコン清潔機能の進化

健康空調の実現には、①部屋の空気を清潔にする、②室内機内部を清潔にし、維持し続けることが必要である。これらに対して、これまでもさまざまな取り組みを行っ

てきている。空間中に浮遊する汚れや付着する汚れに対しては、活性効果の高いOHラジカルを発生させる当社独自の技術であるナノイーX^(注1)を搭載することで、浮遊粒子に付着する有害物質や付着するニオイなどを分解し、室内空気の清潔性を向上させていた。今回の開発では、従来実現していた脱臭や付着有害物質の分解に加え、空気調和の基本要素である集塵(しゅうじん)にこだわり、空気清浄機並みの集塵性能を有する独自のアクティブクリーンフィルター^(注2)を開発した。また、室内機内部の清潔性維持に対しては、室内機内部への埃(ほこり)の侵入抑制/付着した埃の自動除去/埃の付着抑制/カビの繁殖抑制などの視点から、これまでも吸い込みフィルターのメッシュをより細かくしたり、フィルターの自動お掃除機能の搭載、ファンへの防汚・防カビコーティングの実施、空調運転後の内部乾燥などの機能で対応してきた。エアコン室内機を構成する重要機能部品の熱交換器に関しても、親水コーティングを施し汚れ付着を抑制していたが、アルミフィンへの埃の付着に関しては、不十分な面があった。そこで、今回、業界初のホコリレス熱交換器を新規に開発した。

3. アクティブクリーンフィルターシステム

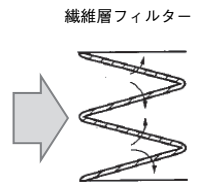
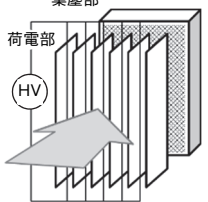
3.1 集塵方式

部屋の空気をきれいにするためには、浮遊している微

(注1) 当社の日本国内における登録商標。

(注2) 当社の日本国内における登録商標。

粒子・カビ孢子・埃などを集塵除去する必要がある。第1図は集塵方式の比較を示したものである。集塵方式は、濾過（ろか）集塵方式と電気集塵方式に大別される。濾過集塵方式の原理は、粒子が濾材を通過するときの衝突作用や分子間引力による付着作用によって除去するものである。一方、電気集塵方式の原理は、高電圧を印加し微粒子を帯電させ、クーロン力による作用で後方に配置した集塵部で除去するものである。ここで、電気集塵方式は低圧損というメリットがあるが、帯電作用のため熱交換器を含めたエアコン自体や周囲の壁なども帯電し、埃が付着し汚れるというデメリットがあり、濾過集塵方式を採用することにした。

	濾過集塵方式	電気集塵方式
集塵メカニズム	濾過作用により粒子を捕集 繊維層フィルター 	高電圧を印加したイオン荷電部で空気中の粒子を荷電させ、その後方にある集塵部で粒子を捕集 集塵部 荷電部 HV 
メリット	集塵効率が高い	通風抵抗が小さい
デメリット	通風抵抗が大きい	帯電により、室内機や熱交換器の汚れ増

第1図 集塵方式の比較
Fig. 1 Comparison of dust collection methods

濾過集塵方式において、集塵性能を上げるためには大型の集塵フィルターの搭載が必要である。しかし、この大型集塵フィルターを室内機の風路に搭載すると、通風抵抗が大きいために風量が低下し、冷暖房性能が大きく悪化する。そこで、冷暖房性能の悪化を排除するための解決策として、大型集塵フィルターを可動式にし、急速冷暖房時はフィルターを風路外に収納する方式を考案した。

さらにホコリセンサを搭載し、微粒子や埃が浮遊していることを検出し、必要に応じて集塵フィルターを自動的に風路中に移動させることで、室内の空気集塵を行うこととした。具体的には下記のような場合分けに従って集塵フィルターの収納・移動を判断している。

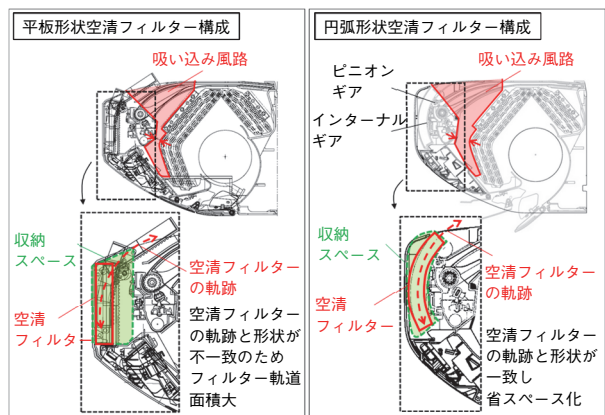
- 室温 < 設定温度 または 室温 > 設定温度のとき
集塵フィルター：収納
- 室温 = 設定温度 かつ 埃未検出のとき
集塵フィルター：収納
- 室温 = 設定温度 かつ 埃検出のとき
集塵フィルター：風路に移動

このように、部屋の空気の状態によって集塵フィルターを駆動させることで、室温を素早く設定温度へと調節する快適性と、空調運転時の消費電力を抑える省エネ性と、室内空気のきれいさを保つ清潔性を実現することを可能とした。

3.2 収納性

濾過集塵方式で集塵性能を向上させるためには集塵フィルターの面積を大きくとる必要があるが、その集塵フィルターを収納し、エアコンの冷暖房機能への影響を最小限にとどめようとする集塵フィルターが占めるスペースには限界がある。そこで、集塵フィルターの収納スペースと駆動機構のサイズを最小限に抑えるため、構成する部品のレイアウトをゼロから見直し、吸い込み風路を妨げないように要素部品を配置した。しかしながら、一般的に広く用いられている平板形状の集塵フィルターを収納・駆動させると、可動軌跡が大きく、収納スペースが大きくなってしまふ。この課題を解決するために、大きく2つの工夫を行った。

1つ目は、可動軌跡を最小化するため、集塵フィルター形状を円弧形状とすることにした。今回開発した集塵フィルターは、収納時は風の流れを妨げないように流れに平行な方向、空清時は風を広い面積で受けられるように流れに垂直な方向に向けることが望ましい。そのため、収納時と空清時との移動の間にフィルターを回転する動きが必要となるが、フィルターを円弧形状とすると、その回転する動きの軌跡とフィルター形状を一致させることができ、フィルター軌道面積を小さくすることが可能となる。これにより、フィルターを平板形状とした場合に比べて、フィルターの収納スペースを約20%縮小することに成功した。フィルター構成の違いを第2図に示す。



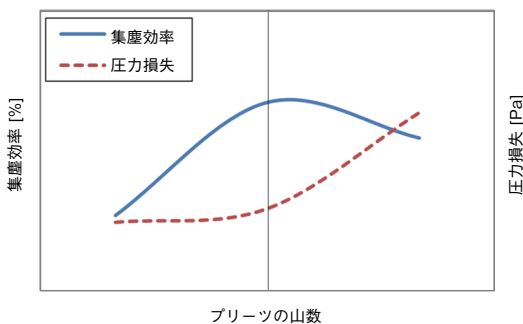
第2図 駆動機構の薄型化による収納スペースの縮小
Fig. 2 Reduction of storage space through a movable mechanism

2つ目は、インターナルギアとピニオンギアからなる内歯車機構を採用した。内歯車機構は、円弧形状の空清フィルターを納めるケース側面にインターナルギア形状を設けることでスペースを最大限有効活用し、空清機構の薄型化を実現している。また、このケース自身により生み出される減速比により、駆動トルクを約60%低減し、小型モータの採用にも一役を担っている。

3.3 集塵性能

一般的にエアコンに採用されているクロスフローファンは抵抗に弱く、圧力損失の大きなフィルターを採用すると、風量が低下し、集塵性能が悪化する。そのため、空気清浄機に多く用いられているHEPA (High Efficiency Particulate Air) フィルターのようなフィルターは圧力損失が大きく使用できない。そこで、エアコンでは、風量が多いというメリットを活かして、圧力損失が大きく一度の通過における集塵効率が高いフィルターを利用するのではなく、圧力損失が低いフィルターを使い、複数回部屋の空気を通過させることによって、集塵性能を向上させることを目論んだ。さらに、エアコン内に帯電させる構成を設けなくても、フィルター素材に繊維自体が帯電しているポリプロピレン帯電不織布を採用し、クーロン力による微粒子の捕捉を可能とすることにより、集塵性能を向上させた。また、少ないスペースで風の通過表面積を最大とするため、フィルターにはブリーツ加工を施した。ブリーツ加工により、山数が増えれば通過表面積が増加し、濾材を通過する風速を下げ、集塵効率を上げることができる。しかし、ブリーツ加工時に折り目部分には構造的圧損が生じるため、山数が多ければ多いほど集塵性能が向上するわけではない。そのため、第3図に示すように圧力損失が低く集塵効率の高い、最適となる山数を採用した。

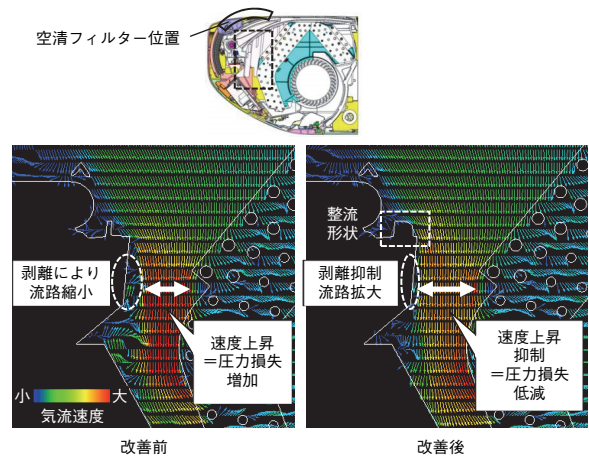
加えて、室内機の風路形状を工夫することにより、集塵性能の向上にも取り組んだ。集塵性能は集塵フィルタ



第3図 フィルター山数と集塵効率・圧力損失の関係
Fig. 3 Relation of the number of crease

ーを通過する風量を増加させることで向上するが、その風量は風路の形状に大きな影響を受ける。第4図は風路の改善前後の気流状態の数値解析結果である。風路の改善前には気流が剥離することにより実質的な流路が縮小されてしまっている。一方、改善後では整流形状を設けることによって気流の剥離を抑制し、実質的な流路を拡大、改善前に比べて風量を増加させることができています。これにより、集塵フィルターを通過する風量を増加させ、集塵性能を向上させることができた。

これらの取り組みの結果、エアコンの体積の増加や、濾過集塵方式を用いて省エネ性能を低下させることなく業界トップクラスの適用畳数20畳の集塵性能を達成した。



第4図 風路形状改善前後の気流解析結果
Fig. 4 Inner unit airflow simulation result

4. ホコリレス熱交換器

エアコン内部を清潔に保ち続ける機能として、熱交換器の清潔性改善の取り組みを行った。

熱交換器をきれいに保つ方法として、「塵埃付着の抑制」と「付着した汚れを自然洗浄する」両方からアプローチを行った。

まず、「塵埃付着抑制」の機能実現を検討した。塵埃付着のメカニズムに着目すると、塵埃が熱交換器へ付着する要因は、重力よりも大きい「付着力」である。その付着力は①静電引力 (F_{ES})、②van der Waals力 (F_V)、③液架橋力 (F_W) の3つの力に大別され、その和が付着力である ((1) 式)。また、平面/粒子間に働く各力は第5図で与えられる[1][2] (以下、塵埃を粒子と仮定する)。

$$(付着力) = F_{ES} + F_V + F_W \dots\dots\dots (1)$$

除電や帯電防止により①静電引力を低減するが、②van der Waals力や③液架橋力の影響で、大きさが1 mmより小

さい塵埃は基材に付着する[3]。この現象により、基材である熱交換器のアルミフィンに塵埃が付着する。ここで van der Waals力と液架橋力の両式に入っている力が作用する2物体の形状に依存する係数 R_s の項に注目した。平面/粒子間では R_s =粒子の半径であるが、2粒子間の場合、(2)式のように表すことができる。そこで、基材表面に微細な凹凸構造を設ければ、凸の曲率半径を R_2 とすると(2)式で表すことができると仮説を立てた(第5図)。 R_2 を小さくすると $R_2 \rightarrow 0$ のとき、 $R_s \rightarrow 0$ となる。つまり、 R_2 が小さい=微細凹凸の凸部の曲率半径を小さくすると②③の付着力を小さくできる可能性があると考えた。

$$R_s = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2} \dots\dots\dots (2)$$

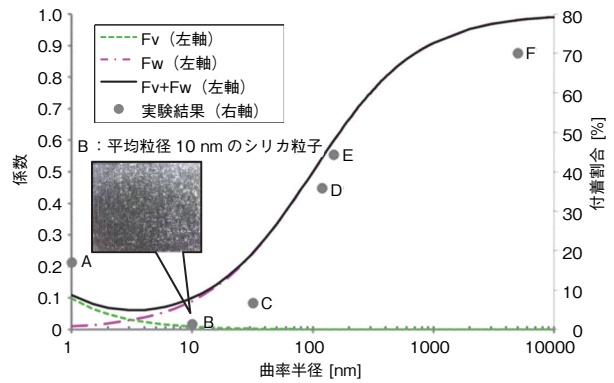
	① 静電引力	② van der waals力	③ 液架橋力
図			
式	$F_{ES} = \frac{\epsilon S V^2}{2d^2}$	$F_v = \frac{A R_s}{6d^2}$	$F_w = 2\pi R_s \gamma_L (\cos \theta_1 + \cos \theta_2)$

	平面vs.粒子	粒子vs.粒子	【仮説】凹凸面vs.粒子
図			
式	$R_s = \text{粒子の半径}$	$R_s = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_2}$	$R_s = \frac{R_1 R_2}{R_1 + R_s}$

第5図 付着力の式および R_s の定式
Fig. 5 Adhesion and R_s formula

この仮説から、②van der Waals力と③液架橋力を算出した結果を第6図に示す。付着力が極小となるポイントが3 nm~10 nm前後にあることがわかる。また、凹凸構造を施した表面に対し塵埃付着量を評価した結果を同じ第6図にプロットする。その結果、計算結果と同様の傾向があり、Bが極小となった。これにより、フィン表面に平均粒子径10 nmのシリカ粒子を添着させることにより形成されるフィン表面の凹凸構造により、埃の付着を抑制できることがわかった。

次に、「付着した汚れを自然洗浄する」について検討した。ルームエアコンの熱交換器は冷房運転中に結露するので、これを洗浄に利用することが可能である。油の水洗浄性を向上するためには表面を親水化させる手法が用いられ、特に水接触角が10°以下の表面を超親水性と呼び、高いセルフクリーン性(水による洗浄性)を発現する。セルフクリーン性とは、付着している油の下に水が



第6図 付着率と曲率半径との関係
Fig. 6 Relationship adhesion ratio curvature radius and plot of each sample

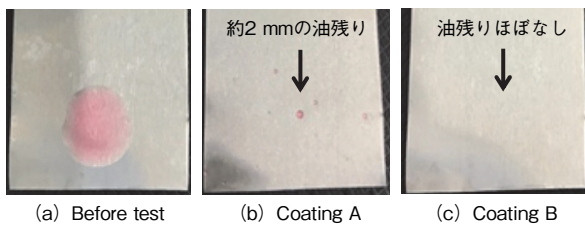
潜り込むことにより油を基材から除去する機能である。この作用の駆動力は①水の動的な動き、②油/水親和性の差分(油より水の親和性が高い場合、水は油と置き換わろうとする)の2つであると考えられる。一方、結露水の場合①が小さいため、超親水では十分に洗浄することが困難である。よってセルフクリーン性を向上するためには②の駆動力を高める必要がある。

②の駆動力を高めるためには親水性を維持し、撥油(はつゆ)性を高める(油接触角を高くする)必要がある。しかし、油の表面張力(25 mN/m~35 mN/m)は水の表面張力(72.88 mN/m)より小さいため、単一成分表面では水接触角>油接触角になる。一方、耐指紋コーティング用途などでは、いくつかの成分を「複合化」させることにより単一成分以上の高い特性を発現させている[4]。

筆者らはこの複合化の考え方を基に、親水部と疎水部をナノ分散させることによる「超親水撥油化」を目指した。親水部には表面が親水性で開発済みのシリカ粒子を、疎水部には数ある候補のなかからフッ素系分岐鎖型モノマーを採用することで超親水撥油特性が実現でき、セルフクリーン性が向上することがわかった。

超親水性コート(Coating A)と開発した超親水撥油ナノシリカコート(Coating B)をそれぞれコーティングしたアルミフィンの表面に油分を滴下し、水中浸漬後の油分残りを評価した結果を第7図に示す。開発した超親水撥油ナノシリカコート(Coating B)は一般的にセルフクリーン性能が高いと言われている超親水性コート(Coating A)よりもさらに高いセルフクリーン性を有していることがわかり、結露水のような動的駆動力が微小な状況においても高い効果が期待される。

ナノサイズのシリカ粒子を利用した凹凸制御による「付着を抑制する」機能と特定撥油成分を利用した「付



第7図 セルフクリーン試験結果
Fig. 7 Self-cleaning characteristic test

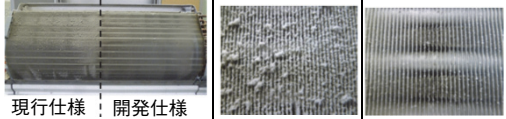
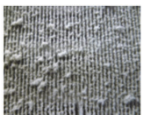

着した汚れを自然洗浄する」機能を実現した「超親水撥油ナノシリカコート」を実機の熱交換器に塗布し、埃耐久試験を行い、埃の付着割合を比較評価した。

試験は閉空間内にルームエアコンの室内機を設置し、運転させた状態で塵埃と油煙を発生させ、10年相当の汚れを付着させ、本技術の有効性を確認した。

当社独自の市場での埃の付着を想定したエアコンの実機を用いた評価の後の現行品と開発品の熱交換器の写真を第1表に示す。塵埃除去効果1/2を実現したプレフィルターとの組み合わせで、熱交換器への埃付着量が現行比1/6まで抑制できた。その要因は付着防止性とセルフクリーン性の両方の長が備わっているからであると考えられる。

第1表 ホコリ試験結果

Table 1 Comparison of dust adhesion

	外観	現行	開発品
評価結果			
付着割合	—	1	1/6以下

さらに、開発した超親水撥油ナノシリカは、フィンのプレス加工時のカット面にまでアフターコートを実施することで、埃の付着成長を抑えたことも、埃付着防止効果の特長の1つである。

従来の熱交換器の場合、埃で熱交換器が目詰まりし通風抵抗が大きくなるために、省エネ性が約5%低下している。これに比べて、ホコリレス熱交換器を搭載したものは、10年相当後でも省エネ性が悪化していない。これにより、10年相当使用後における実使用時の省エネ性を約4%改善し、さらに清潔を保つことにより、購入時の省エネ性およびきれいさを維持し続けるという効果を得ることができた。

5. まとめ

「アクティブクリーンフィルター」と「防汚（ホコリレス）熱交換器」を新たに開発した。これにより、室内機を大きくすることなく業界トップクラスの省エネ性能を維持したまま、適用畳数20畳の集塵性能と購入時の清潔さを維持する熱交換器を有した究極の省エネエアコンを実現した。

参考文献

- [1] 安藤泰久, マイクロトライボロジー入門, 米田出版, 東京, 2009.
- [2] 山本英夫, “サブミクロン粒子の付着と分散性の関係,” 粉体工学学会誌, vol.28, no.3, pp. 188-193, 1991.
- [3] 真田俊之 他, “流体物理洗浄(1) 基本概念と微粒子の付着力,” THE CHEMICAL TIMES, no.2, 通巻236号, Apr. 2015.
- [4] 石田康之, “タッチパネルを支える化学,” The Chemical society of Japan, vol. 62, no.11, pp. 536-539, 2014.

執筆者紹介



植松 峻一 Shun-ichi Uematsu
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div.,
Appliances Company



岡 浩二 Kouji Oka
アプライアンス社 技術本部
Engineering Div.,
Appliances Company



大野 洋平 Youhei Ohno
アプライアンス社 エアコンカンパニー
Air-Conditioner Business Div.,
Appliances Company



久保 次雄 Tsugio Kubo
アプライアンス社 エアコンカンパニー
Air-Conditioner Business Div.,
Appliances Company