

気流制御によるエアコンの省エネ化

Energy Saving of Room Air Conditioner with Air Current Control

大塚 雅生*
Masaki Ohtsuka

要 旨

家庭用壁掛けエアコンの超省エネ化のため、エアコン内部の風の流れを空気力学を用いて再構築し、それに基づいてエアコンのデザインを0ベースで見直した。

その結果、2010年に達成を目標として定められた省エネ基準を2006年の時点で既に上回る省エネ性を得るとともに、これまでの業界の常識を大きく覆す外観形状を持つエアコンの創出に成功した。我々が「エコなフォルム」と呼んでいるその新しい形状は、現在、極めて高い話題を博している。本論文では、我々の技術思想について紹介する。

We reconsidered inner airflow of the air conditioner with the new idea based on the aerodynamics, and restructured the design of the room air conditioner to save energy.

As a result, we succeeded in attaining energy-conservation standards, which we must attain by 2010, and creating the air conditioner which had the form that was greatly different from the common sense. We call our new air conditioner's shape "eco na form". It has strong topicality. In this paper, we introduce our technological concepts.

まえがき

現在、地球環境の保全のため、全産業分野において省エネ化が急務となっている。また、家電業界においては、家庭で用いられる電力全体の約25%を占めるルームエアコンの省エネ化に総力をあげて取り組んでいる。

ルームエアコンの省エネ化に対するこれまでのアプローチとしては、熱交換器やコンプレッサーの改良が主流であったが、もはやこれらも限界に近いと考えられる。

そこで筆者は、当社の強みである気流制御技術を用いてエアコンの省エネ化に取り組み、エアコンの吹出口から吹出す気流の持つ運動エネルギーを活用する手法により、送風系の大幅な高効率化に成功、エアコンの省エネ化に大きく貢献した。

本論文では、我々の技術思想について紹介する。

1. 消費電力削減のターゲットおよびアプローチ方法

エアコンの室内機の働きは、室内の空気を快適温度

に調整するものである。わかりやすく説明すると、室内の空気を吸込み、冷房の場合には低温に冷却した熱交換器に流通させて空気を冷やし、暖房の場合には高温に加熱した熱交換器に流通させて空気を温める。熱交換器とそれを流通する空気の熱の交換効率を高めるために、薄い金属板を無数に平行に並べた熱交換器に空気を流通させる。このとき、空気の流れにとってみれば熱交換器は大きな抵抗物体となる。

一方、空気を送る役割を持つファンの仕事を考えた場合、ファンは、吸込口に設けられた熱交換器やその他の抵抗に打ち勝って室内の空気をエアコン内部に吸込み、温度調節した空気を、部屋の隅ずみにまで到達し得る勢いにて吹出口から室内に押し出す、という仕事を行う。

そこで筆者は、ファンの消費電力を削減するために、次の3つのアプローチ、①送風経路内を風が流通する際の抵抗や損失を減らす方法を考える、②空気を押し出す仕事を、何か別のものが肩代わりしてくれるような方法を考える、③さほど強く空気を押し出さなくても、部屋の隅ずみにまで空気が到達するような方法を考える、に着目して取り組んだ。

* 電化システム事業本部 電化商品開発センター 第1開発室

2. 空気力学的設計

上記1つ目のアプローチ、「送風経路内を風が流通する際の抵抗や損失を減らす方法を考える」であるが、その方法論として筆者は、エアコン室内機内部の送風経路の設計に空気力学を応用した。

さて、空気力学に基づいた設計の例としては、例えば航空機、スペースシャトル、F1マシン、等、高速移動物体のボディの設計が挙げられる。中でも、身近な例として最もわかりやすいのは新幹線の外観形状であり、ここ数年で数度のモデルチェンジを行っている。近年、計算機の計算能力が大幅に進歩し、これに伴い空気力学が大きく進歩した。新幹線の形状の変遷は、まさに空気力学の進歩の足跡を示している。

空気力学に基づいた高速移動物体のボディの形状の共通点は、「徐々に滑らかに前方に長い形」になっていることである。即ち、高速移動物体の先端部から胴体部にかけてその断面形状が緩やかに徐々に拡大しており、高速移動物体のボディの移動により押しのけられる空気が徐々に滑らかに押しのけられていく。この作用効果により、ボディと空気の摩擦抵抗を極限まで小さくし、速度の向上、燃費の向上、および低騒音化を実現している。

こういった高速の移動物体に用いられる空気力学に基づいた形状を、筆者はエアコンに応用した。但し、空気力学のエアコンへの応用の場合、エアコン室内機の外形が前に延長されるというのではなく、クロスフローファンのスタビライザ部(舌部近傍)から吹出ノズル上壁にかけての形状が空気力学に基づいて設計され、前方に大きく延長される。図1は当社従来エアコン室内機の側断面図、図2は当社最新エアコン室内機

の側断面図である。

クロスフローファンの流れを考える場合、スタビライザ部は、クロスフローファンの下流側直近に存在し、クロスフローファンから送出される流れを2つに分岐する。一方は主流として吹出口から室内に送出され、他方はクロスフローファンとスタビライザの隙間を流通して再度クロスフローファンの上流に戻る、クロスフローファン特有の渦流となる。つまり、スタビライザとその近傍の流れは、相対的に考えれば、クロスフローファンにより生ずる流れの中を、スタビライザが高速に移動していると思なすことができる。故に、スタビライザの設計に、高速移動物体のボディの設計思想を応用することで、損失を低減することができる。筆者はスタビライザの設計に空気力学を応用することにより、送風効率を約5%改善することに成功した。

3. 運動エネルギー回収技術の適用

上記2つ目のアプローチ、「空気を押し出す仕事を、何か別のものが肩代わりしてくれるような方法を考える」であるが、その方法論として筆者は、吹出口近傍送風経路内部を流通する気流の運動エネルギーを静圧に変換し、本来ファンが行うべき静圧上昇の仕事の一部を補助させることを考えた。筆者は吹出口近傍を流通する気流の運動エネルギーを静圧に変換して活用することにより、送風効率を約15%改善することに成功した。

さて、エアコン室内機におけるクロスフローファンの仕事は、室内熱交換器に所望の風量の空気を流通させることであるが、ここで、エアコン室内機におけるクロスフローファンの仕事を、静圧の観点に着目して考え、送風効率改善のメカニズムについて説明する。

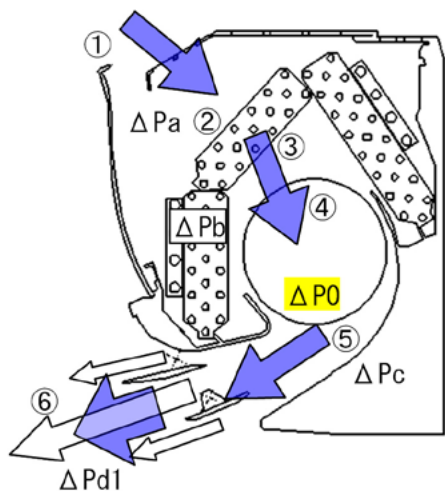


図1 従来吹出気流及び形状
Fig. 1 Old air outlet.

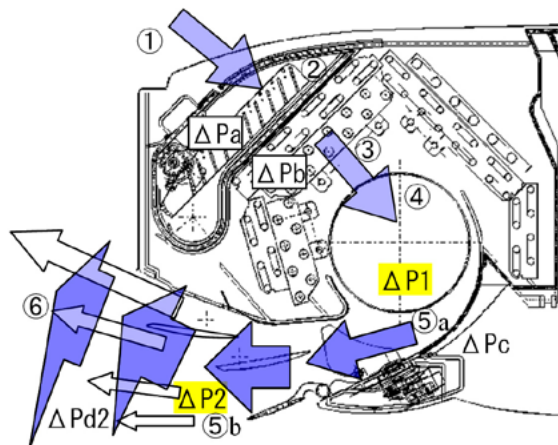


図2 新吹出気流及び形状
Fig. 2 New air outlet.

3・1 従来技術の作用

図3は、図1に示した当社従来エアコン室内機の内部を流通する気流の静圧の状況の推移を模式的に示した説明図である。なお、図3の縦軸は気流の静圧を示し、横軸は気流の送風される送風方向を示している。また、図3中の①～⑥は、図1中の①～⑥の位置での静圧にそれぞれ対応している。

クロスフローファンが回転駆動すると、エアコン室内機の外部にある、静圧が大気圧と等しい空気が、クロスフローファンの仕事により、エアコン室内機の吸込口からエアコン室内機の内部に吸込まれるという、空気の流れが発生する。吸込口から吸込まれた、静圧が大気圧と等しい空気(静圧=大気圧)は、クロスフローファンの仕事により、気流となって、吸込口、室内熱交換器、および送風経路を流通する。室内熱交換器を流通する際に、空気は調和されて調和空気となる。

このとき、吸込口、室内熱交換器、送風経路のそれぞれの空気抵抗による圧力損失により、気流の静圧が低下する。吸込口を流通した後の気流の静圧は、大気圧に対して吸込口の空気抵抗による圧力損失分(ΔPa)だけ静圧が低い状態(静圧=大気圧- ΔPa)となる。また、室内熱交換器を流通した後の気流の静圧は、室内熱交換器の空気抵抗による圧力損失分(ΔPb)だけさらに静圧が低い状態(静圧=大気圧- ΔPa - ΔPb)となる。さらに、送風経路を流通した後の気流の静圧は、送風経路の空気抵抗による圧力損失分(ΔPc)だけさらに静圧が低い状態(静圧=大気圧- ΔPa - ΔPb - ΔPc)となる。

さらに、吹出口から送出された気流は、吹出口を出たところにおいて、気流の攪乱ともなう風損による圧力損失分($\Delta Pd1$)だけさらに静圧が低下して、大気圧と同一の静圧になる。何故なら、吹出口から送出され

た気流は、それまで存在した送風経路の上下左右の壁面が急になくなり、周囲の空気の中に噴出される。その際に、空気の粘性により、周囲の空気に影響を与える。つまり、周囲の空気に運動エネルギーを与えて周囲の空気をゆっくりと動かす。従って、吹出口から送出された気流は、周囲の空気に運動エネルギーを奪われ、やがて大気圧と同一の静圧になる。この現象が、吹出口から気流が送出されると直ちに一気に行われるため、吹出口近傍での気流が大きく攪乱し、それにとまらぬ風損が発生してしまう。

即ちクロスフローファンは、図3に示すように、これらの静圧低下分の合計($\Delta Pa + \Delta Pb + \Delta Pc + \Delta Pd1$)を一気に上昇させる必要がある。クロスフローファンの静圧上昇($\Delta P0$)は、上記静圧低下分の合計($\Delta Pa + \Delta Pb + \Delta Pc + \Delta Pd1$)と等価($\Delta P0 = \Delta Pa + \Delta Pb + \Delta Pc + \Delta Pd1$)でなければならない。この静圧上昇($\Delta P0$)と流通させる風量(Q)の積($\Delta P0 \times Q$)がクロスフローファンの仕事であり、クロスフローファンの仕事による静圧の上昇が、静圧低下分の合計よりも小さい場合($\Delta P0 < \Delta Pa + \Delta Pb + \Delta Pc + \Delta Pd1$)には、クロスフローファンは所望の風量を室内熱交換器に流通させることができず、従って、十分な空気調和をすることができない。

3・2 新開発技術(運動エネルギー回収機構)の作用

同様に、筆者らが今回新開発したエアコン室内機におけるクロスフローファンの仕事を、静圧の観点に着目して考えると、次のようになる。図4は、図2に示した当社新開発のエアコン室内機の内部を流通する気流の静圧の状況の推移を模式的に示した説明図である。なお、図3と同様、図4の縦軸は気流の静圧を示し、横

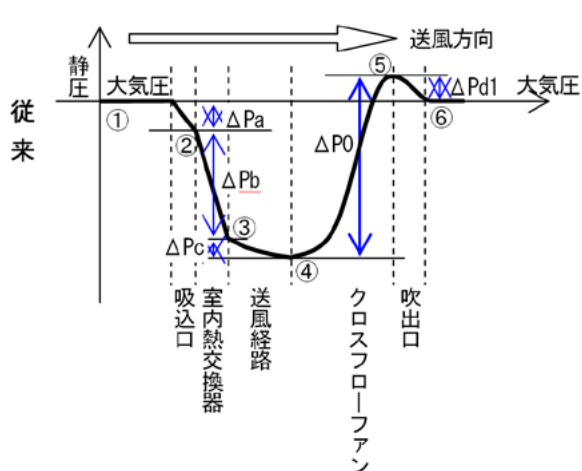


図3 エアコン内部の静圧の変遷
Fig. 3 Static pressure of old air conditioner.

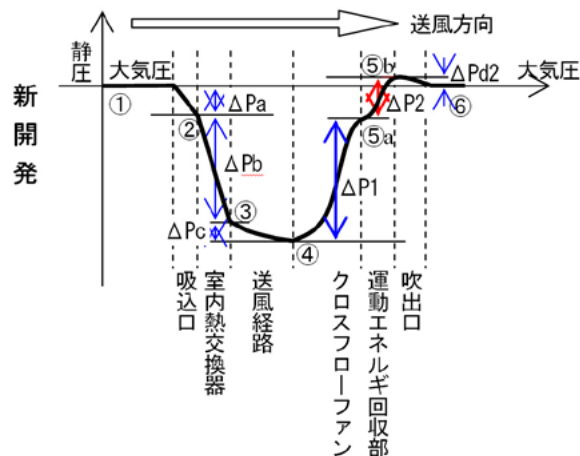


図4 エアコン内部の静圧の変遷
Fig. 4 Static pressure of new air conditioner.

軸は気流の送風される送風方向を示している。また、**図4**中の①～⑥は、**図2**中の①～⑥の位置での静圧にそれぞれ対応している。

クロスフローファンが回転駆動すると、吸込口、室内熱交換器、送風経路のそれぞれの空気抵抗による圧力損失により気流の静圧が低下し、クロスフローファンの直前において、気流の静圧は、上記**図1**、**図3**の従来のエアコンの場合とほぼ同一（静圧＝大気圧－ ΔPa － ΔPb － ΔPc ）となる。

新開発エアコン室内機においては、前述のように、空気力学を応用して設計しているため、気流の攪乱にとまなう風損による圧力損失分（ $\Delta Pd2$ ）は、上記の従来のエアコン室内機の場合の圧力損失分（ $\Delta Pd1$ ）に比べて、十分小さい（ $\Delta Pd2 < \Delta Pd1$ ）。何故なら、ファン下流の送風経路（**図2**中の⑤a）を流通した気流は吹出口近傍送風経路の上壁に滑らかに沿うので、従来のエアコン室内機のように吹出口から吹出された気流は周囲の空気に運動エネルギーを急激に奪われること無く、また、周囲の空気に奪われる運動エネルギーの量も少ない。また、ファン下流の送風経路を流通した気流全体がコアンダ効果により吹出口近傍送風経路の上壁に沿うので、送風経路の下壁に沿う流れもこれに影響され、一気に拡散することなく、気流の下側から徐々に周囲の空気に拡散されて大気圧と同一の静圧になるため、吹出口近傍での気流の攪乱は小さく、従ってそれにとまなう風損も小さい。

さらに、新開発エアコン室内機においては、**図2**のごとくに吹出口近傍の送風経路を構成しているので、気流は**図2**に示すように吹出口近傍送風経路の上壁に滑らかに沿いながら、徐々に流域面積を拡大しながら流通する。このとき、**図2**の吹出口部に配置された3枚の横ルーバにより、吹出口から送出された気流のうち、最も下側を流通する気流の流路が徐々に拡大され、次に、吹出口から送出された気流のうち、中央を流通する気流の流路が徐々に拡大され、最後に、吹出口から送出された気流のうち、最も上側を流通する気流の流路が徐々に拡大される。このようにすることで、気流は、下側から順次徐々に滑らかに風速が低下する。

気流の流速が上記のごとくに滑らかに低下すると、流体力学分野で良く知られているベルヌイの式により、気流の静圧が上昇する。即ち、気流の流速（運動エネルギー）が静圧（位置エネルギー）に変換される。前述の従来のエアコン室内機においては、吹出口から送出された気流の流速が減少しても、その分の運動エネルギーは周囲の空気に奪われたり、気流を攪乱したりして、損失として消費されるが、新開発エアコン室内機においては、吹出口近傍を流通する気流の運動エネルギーが周囲の空気に奪われたり気流を攪乱したりする前に、その

一部を静圧に変換することができる。そして、運動エネルギーから変換された静圧は、気流の静圧を上昇することができる。そして、この気流の静圧上昇分（ $\Delta P2$ ）は、本来、クロスフローファンが行うべき静圧上昇の一部を肩代わりすることができる。

即ちクロスフローファンは、**図4**に示すように、上記の静圧低下分の合計（ $\Delta Pa + \Delta Pb + \Delta Pc + \Delta Pd2$ ）と、気流の運動エネルギーを変換することにより生み出された静圧上昇分（ $\Delta P2$ ）の差（ $\Delta Pa + \Delta Pb + \Delta Pc + \Delta Pd2 - \Delta P2$ ）を上昇させるだけで良く、クロスフローファンの行わなければならない静圧上昇（ $\Delta P1$ ）は、（ $\Delta P1 = \Delta Pa + \Delta Pb + \Delta Pc + \Delta Pd2 - \Delta P2$ ）となる。つまり、新開発エアコン室内機の場合のクロスフローファンが行わなければならない静圧上昇（ $\Delta P1$ ）は、従来のエアコン室内機の場合のクロスフローファンが行わなければならない静圧上昇（ $\Delta P0$ ）に比べて、（ $\Delta P2 + \Delta Pd1 - \Delta Pd2$ ）だけ小さくなる。故に、新開発エアコン室内機のクロスフローファンの仕事は、上記従来のエアコン室内機のクロスフローファンの仕事に対し、（ $(\Delta P2 + \Delta Pd1 - \Delta Pd2) \times Q$ ）だけ小さくて済むため、この分だけ、ファン駆動モータ入力（消費電力）が低減する。

まとめると、吹出口から送出される調和空気の気流の運動エネルギーの一部を静圧に変換し、その静圧上昇分によりクロスフローファンをアシストする、つまり、クロスフローファンの仕事（静圧上昇）の一部を肩代わりすることにより、クロスフローファンのファン駆動モータ入力（消費電力）を大幅に低減することができる。言い換えれば、従来のエアコン室内機においては、周囲の空気に奪われるはずだった運動エネルギーの一部が静圧に変換され、送風のための仕事に用いられるため、その分だけ省エネ性が向上する。

なお、このとき、上記のように、気流の下側から順次徐々に滑らかに風速を低下して静圧に変換するため、気流の流速（運動エネルギー）を静圧（位置エネルギー）に変換する際の損失が小さく、流速を静圧に変換する変換効率が極めて良くなる。つまり、多くの運動エネルギーを静圧に変換することが可能となる。

本論文の構成による効果は、特に熱交換器の圧力損失が大きい場合に、より優位性を発揮する。なぜならば、クロスフローファンは一般的に圧力損失に弱い。圧力損失が高い場合には、サージングを引き起こし、所望風量が得られないか、または騒音が大幅に増大するといった不具合が生ずる。特に、例えば、室内熱交換器が、複数段かつ複数列の管を有して屈曲して構成されているような場合には、非常に高い圧力損失が生ずるので、クロスフローファンは、サージング対策のため回転数を相当大きく動作する必要があり、騒音も大きく、省エネ性も悪くなる。そこで、新開発の運動エネルギー

回収機構を用いることにより、このような圧力損失の極めて高い室内熱交換器が用いられる場合においても、気流の運動エネルギーの一部を静圧に変換し、その静圧上昇分によりクロスフローファンをアシストして、クロスフローファンの仕事(静圧上昇)の一部を肩代わりするので、クロスフローファンが受け持つ静圧上昇は小さくて済み、故にサージングを起こしにくく、騒音も比較的小さくなる。

4. 到達距離延長技術

上記3つ目のアプローチ、「さほど強く空気を押し出さなくても、部屋の隅ずみにまで空気が到達するような方法を考える」であるが、その方法論として筆者は、吹出し気流(噴流)のポテンシャルコアを延長するために、コアンダ効果を用いた。

さて、前述の通り、筆者は吹出口近傍を流通する気流の運動エネルギーを静圧に変換して活用することにより、送風効率を約15%改善することに成功した。つまり、その分だけ吹出口近傍を流通する気流の運動エネルギー即ち風速は低下している。一般に、風速の初速が低下すると、気流の到達距離も低下することが知られているが、筆者は、エアコンの気流の到達距離を、逆に約10%延長することに成功した。そのメカニズムについて説明する。

例えば、ノズルから様な初速にて周囲流体中に噴出された噴流の場合、ノズルから噴出した直後の噴流中央部の速度分布は一樣である。一樣速度の部分は、両側から発達する自由混合層によって侵食されて減少し、ある距離のところで消滅する。この部分はクサビ形状を呈しており、ポテンシャルコアと呼ばれる。図5は、典型的な噴流の発達過程を模式的に示したものであり、図中の太線に囲まれた領域がポテンシャルコアと呼ばれる領域である。噴流の到達距離を延長するには、初速を保存する領域の距離を延長、つまりはポテンシャルコアを延長すればよい。ポテンシャルコアの侵食を防止する方法として、筆者は、以下の2つの方法を用いた。1つは、噴流を周囲流体中に噴出するのを遅らせること、もう1つは、噴流を収束させることである。

まず、前者と、後者のうちの一部を実現するために、既に上述した吹出口近傍送風経路の上壁を従来に比べて大幅に延長した。エアコンの吹出し気流の場合、気流はエアコンの左右方向に幅が広く、上下方向に幅が狭い噴流を吹出口から噴出する。つまり、噴流の上下にある周囲流体に噴流の運動エネルギーを奪われやすい。従来のエアコンの場合、例えば図5のように、吹出口から吹出された気流は、吹出された瞬間から上下

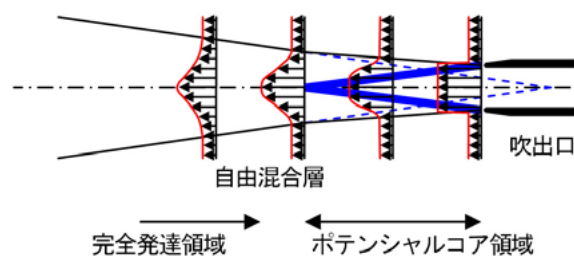


図5 自由噴流とポテンシャルコアの関係

Fig. 5 Relations between free jet and potential core.

の周囲流体に運動エネルギーを奪われ、ポテンシャルコアの侵食が始まり、ポテンシャルコアは直ちに侵食されて消滅してしまう。ところが、新開発のエアコンの場合、図2に示すように、吹出口近傍送風経路の上壁を従来に比べて大幅に延長しているの、図6に示すように上方向へのポテンシャルコアの侵食が防止されるとともに、コアンダ効果により、噴流全体に吹出口近傍送風経路の上壁に沿うような上向きの力が働くため、下方向へさほど広がらずに収束され、そのためポテンシャルコア領域が延長され、気流の到達距離が大幅に延長される。

さらに、後者の残りを実現するため、クロスフローファンの特性および流体の性質を積極的に利用し、クロスフローファンへの負荷(圧力損失の増加)を最小限に抑えつつ、気流を積極的に収束させて送出する構成とした。

さて、エアコン室内機に用いられるクロスフローファンの吹出ノズル部における風速分布は、上方を流通する気流の風速が大きく、下方の風速が小さいことが知られている。また、コアンダ効果により、流れは壁面に沿う性質があり、さらに、遅い流れは、速い流れに沿う性質がある。そこで、当社従来エアコンに対してルーバの枚数を増加し、吹出口近傍の気流を風速別に細分化(3枚のルーバで送風経路を4分割に)した。そして、上述の吹出口近傍送風経路の上壁を、気流を最も

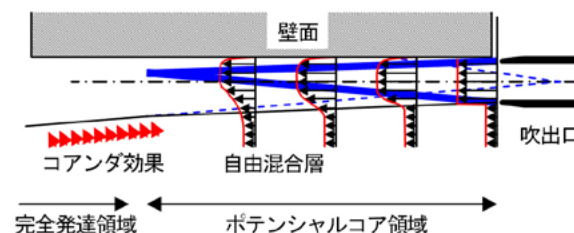


図6 コアンダ効果によるポテンシャルコアの延長

Fig. 6 Extension of potential core by use of Coanda effect.

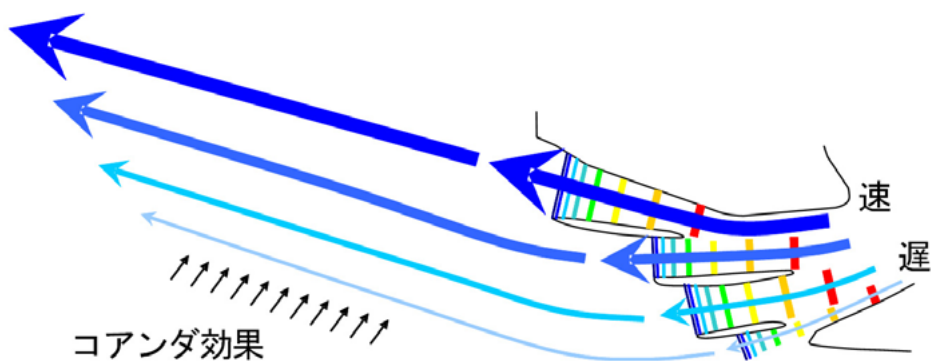


図7 吹出口近傍の流れ
Fig. 7 Air flow at nozzle exit.

遠くまで到達させ得る角度に設定した。このような送風経路に気流を流通させると、最も速い上側の気流は、吹出口近傍送風経路の上壁に沿って、あらかじめ設定された、気流を最も遠くまで到達させ得る角度に送出される。上から2段目のやや速い気流は、コアンダ効果により、最上段の最速の気流に沿って、最上段の気流とほぼ同方向の、気流を最も遠くまで到達させ得る角度に送出される。さらに、上から3段目のやや遅い気流は、これもコアンダ効果により、2段目のやや速い気流に沿って、これもやはり2段目の気流とほぼ同方向の、気流を最も遠くまで到達させ得る角度に送出される。さらに、最下段のさらに遅い気流も同様に、3段目のやや遅い気流に沿って、気流を最も遠くまで到達させ得る角度に送出される。即ち異なる速度の噴流間に生ずるコアンダ効果により、滑らかに気流を上方に曲げ、収束させることで、クロスフローファンへの負荷を最小限に抑えつつ、気流を積極的に収束させて送出する。図7は、新開発エアコン室内機の吹出口近傍の気流の様子を模式的に示したものである。

上記の2つの方法により、新開発のエアコン室内機の気流の到達距離を、当社従来のものに比べて約10%延長することに成功した。

むすび

家庭用壁掛けエアコン送風系を対象とした新概念の消費電力削減手法の構築を試みたところ、以下の知見を得た。

- (1) エアコン設計に空気力学を応用することにより、送風系の消費電力を約5%削減することに成功した。
- (2) 吹出口から送出される気流の運動エネルギーを回収することにより、送風系の消費電力を約15%削減することに成功した。
- (3) エアコンの気流の到達距離を約10%延長することに成功した。
- (4) 上記3つの要素技術の開発により、2006年度エアコン4.0kWhクラスにおいて省エネ業界No.1(2006.1.23現在)を達成した。

謝辞

本研究を行うにあたり有益なご助言、ご協力を賜りました、デザインセンター、空調システム事業部の関係各位に深く感謝致します。

(2006年7月4日受理)