

三次元気流解析による 新天井埋込形パッケージエアコンの風路設計

Air-Flow Path Design in 3-Dimensional Air-Flow Analysis
for Recessed-Ceiling Type Packaged Air-Conditioning

エアコン製作所 竹内伸行*¹ 小林隆之*¹
技術本部 松田憲児*² 清水建*³

天井埋込形パッケージエアコンはユニット外形高さの低いことが商品性のポイントである。また、組立を容易にするために部品点数の削減を行った。本開発では天井埋込形二方向吹きパッケージエアコン（当社型式名：FDTW）に従来の構造とは全く異なるターボファンを採用した外形高さの低いコンパクト構造とした。このコンパクト構造を成立させるため、圧力損失が小さくなる三次元的な風路設計を行った。その結果、高さが従来機比26%減で業界一の薄型とすることができ、部品点数も約50%削減し商品化することができた。

Recessed-ceiling packaged air-conditioner marketability has been low due to unit dimensions. To make a matter easy construction, it is necessary to reduce the number of parts. We applied a turbo fan with a compact structure completely different from the current type to recessed-ceiling with 2 discharge directions. To make a compact structure, we designed a 3-dimensional air-flow path for reduction pressure loss. The results was the market's slimmest unit in the market--26% lower in height than the current unit and with parts reduced by about 50%. We commercialized the unit.

1. 緒言

近年のパッケージエアコンの開発は、コンパクト化、低騒音化を重要なポイントとして進められている。特に天井埋込形パッケージエアコンは天井裏にユニットを設置するため、ユニットの外形高さが低いことが商品性のポイントである。また、組立を容易にするために部品点数の削減を行った。

従来の天井埋込形二方向吹きパッケージエアコン（以下、当社型式名 FDTW と称す）はシロッコファンを用いた基本構造である。新型の FDTW は従来機と全く異なるターボファンを用いた基本構造を業界で初めて採用した。

本 FDTW の開発では開発期間を短縮するため、三次元気流解析を当所のパッケージエアコンの製品設計では初めて用いた。

三次元気流解析は様々な分野において利用され、成果を上げている CAE (Computer Aided Engineering) である。三次元気流解析はモデル形状の変更が容易にでき、気流の速度ベクトルや圧力分布を任意の断面にて知ることができる。FDTW は、天井面に二つの平行な線状の吹出し口を有している。FDTW にターボファンを用いた基本構造を採用するとファンからの遠心方向気流を二つの平行な吹出し口へ偏向させる必要がある。したがって、新型の FDTW は三次元の複雑な風路形状となる。新型 FDTW は、三次元気流解析を用いて事前に風路の検討を行い、実機試験による仕様固定を行った。

さらに、今後も風路の仕様検討に解析を利用していくために、解析と実機試験の比較による解析精度の検証を行った。

2. ユニット構造

従来の FDTW は図 1 に示すように二面の平面熱交換器とシロッコファンを組合せた構造である。

本構造はファン上部へ風を流すためのケーシングが必要となる。モータを直接天板に取付けることができないため、モータ固定用

の部品も必要となる。

先行開発された天井埋込形四方向吹きパッケージエアコン（以下、当社型式名 FDTC と称す）はターボファンと丸形熱交換器を組合せた構造を基本構造としている。新型 FDTW では部品の共用化を図るため、FDTC の基本構造を採用した。

図 2 に新型 FDTW の基本構造を示す。

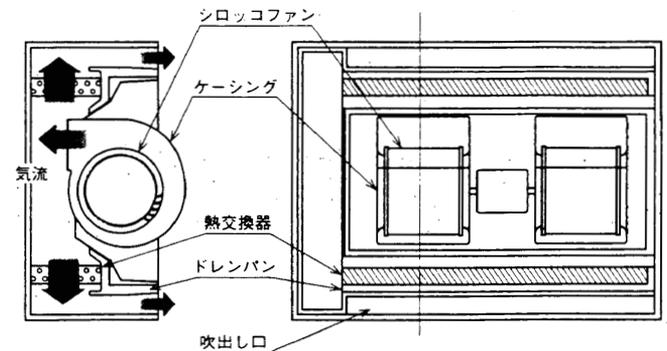


図 1 従来機 従来機のシロッコファン構造を示す。
Current type unit

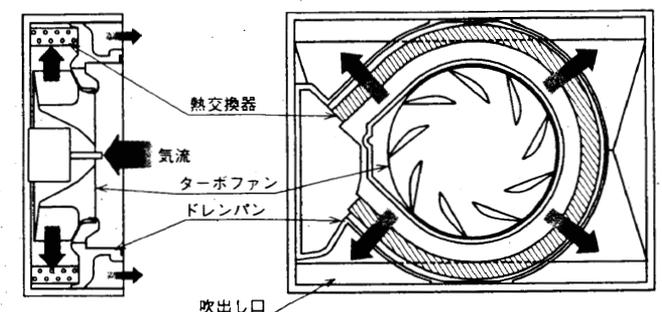


図 2 新型機 新型機のターボファン構造を示す。
New type unit

*1 技術部パッケージエアコン設計課
*2 名古屋研究所機械物理研究室主務
*3 名古屋研究所機械物理研究室

新型機の構造はケーシングやモータ固定用部品等が不要となる。このため、部品点数を削減することができ、かつ、ユニットを薄型にすることができる。しかし、FDTWヘターボファンを用いる構造を採用すると、熱交換器やドレンパンにより風路の一部をふさいでしまい吹出しスペースを十分にとれない。

従来機はファンからの吹出し気流が天板に当り、二分割されて、長手方向に対して一様に吹出す二次元的な流れである。

新型機は従来機とは異なり、ファンからの遠心気流を平行二面の吹出し気流へと偏向する必要がある。このため、新型機は三次元的な風路形状となる。三次元的な風路形状の場合、騒音の発生原因となる渦や気流の乱れを抑え、低騒音化を図ることができる風路形状とする必要がある。また、新型機では吹出し風路の一部が閉そくされることにより、気流が分割されて吹出し風速分布にばらつきを生じる。このばらつきを小さく抑えるような風路形状とする必要がある。したがって、風路の仕様固定が開発において最も重要なポイントとなる。

3. 風路解析

3.1 目標値設定

四方向吹きであるFDTCは正方形のキャビネットの中央にターボファンを設置し、熱交換を効率良く行うためファンを取囲むように円筒形の熱交換器を配置してある。また、熱交換器の外側には四方向に吹出すように、四面の線状の吹出し口を設けてある。

このため、ファンからの吹出し気流は一様に熱交換器を通り、四面の側板により下方向へ曲げられ、ほぼ均一に四方向へ吹出す。

しかし、二方向吹きであるFDTWは長方形のキャビネットであるため、FDTCと同一のターボファン・熱交換器を配置すると、短手方向の側板が熱交換器に近づきすぎて、ファンからの吹出し気流が一様に流れなくなる。したがって、側板がファンに近づくことによるファン特性への影響を考慮する必要がある。

そこで、ユニット内の圧力損失と発生騒音へのファン特性の影響を把握するために、ファンからの吹出し気流をFDTWの短手方向の側板と同じ幅で遮った場合と側板がない場合にてファン特性を測定し比較した。その結果、側板の有無によるファン特性への影響は小さく、考慮する必要のないレベルであることが確認できた。

したがって、新型FDTWにFDTCと同一のターボファンと熱交換器を採用した場合、ファン特性は同じと考えられる。新型FDTWの圧力損失をFDTC並みとすることにより従来型FDTWよりも低騒音であるFDTC並みの騒音値とすることができる。よって、解析における圧力損失の目標値を解析により求めたFDTCの圧力損失52 Paとした。

3.2 風路検討

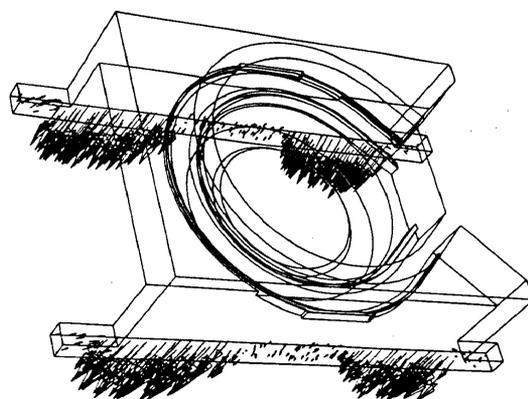
3.2.1 解析手法

風路検討に使用した解析モデルは、吹出し風路の検討を行うために吸込パネルとフィルタを考慮していない。

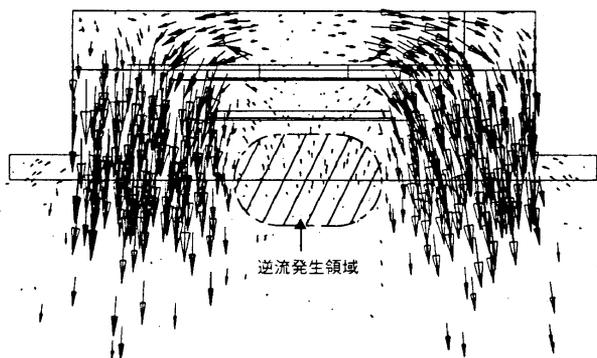
このため、ファン入口に流速を与え、ユニット吹出し口から十分離れた位置に圧力境界条件として大気圧を設定した。ファンには回転体の解析に一般的に用いられるリファレンスフレーム法により回転数を与えて、簡易的に遠心気流を吹出すように設定した。熱交換器には実際に使用しているフィンピッチやフィンパターンを考慮して抵抗を与えた。

3.2.2 解析 I

吹出し風路形状の検討を行うために、まず、従来の平行二面吹



(a) 吹出し口風速



(b) 吹出し風路内の流れ

図3 解析結果① 吹出し口中央部において逆流を発生、圧力損失が大きい。
Result of analysis ①

出し風路形状を基にして、ターボファン・丸形熱交換器を用いたユニットモデルにて解析を行い、問題点を把握する必要がある。

なお、ターボファン・熱交換器をFDTCと共用化するため、風路形状の変更はドレンパン形状の変更により行った。

図3に解析結果①を示す。ドレンパン及び熱交換器により吹出し口の中央部が閉そくされる。このため、気流が分割されてはく離を生じ、閉そく部から吹出し口に至る広い範囲で逆流が発生している。この逆流の発生により吹出し気流に偏りを生じている。また、風路内に閉そく部があるため風路面積が減少し、逆流発生により風路を有効に利用できていない。このため、圧力損失が63 Paと目標値より11 Pa大きくなった。

したがって、圧力損失の低減及び吹出し気流の均一化を図るために、逆流の発生している範囲に気流が流れるような風路形状を検討する必要がある。

3.2.3 解析 II

閉そく部後流の逆流対策として、吹出し口中央部へ気流を誘導するためにドレンパンの風路部分を斜めにカットした、アングカットを解析 I のモデルに設けて解析を行った。この解析結果②を図4に示す。

閉そく部直後では逆流により気流が乱れているが、アングカットに沿って吹出し口中央部に向かって気流が流れている。このため、吹出し口での逆流は見られないが、吹出し口中央部の吹出し風速が最大吹出し風速の1/4程度と小さい。この差により、吹出し口での風速分布にばらつきを生じている。

しかし、天井面から下方向に300 mm離れた位置での風速分布のばらつきは小さくなり、室内の温度分布への影響はないものと

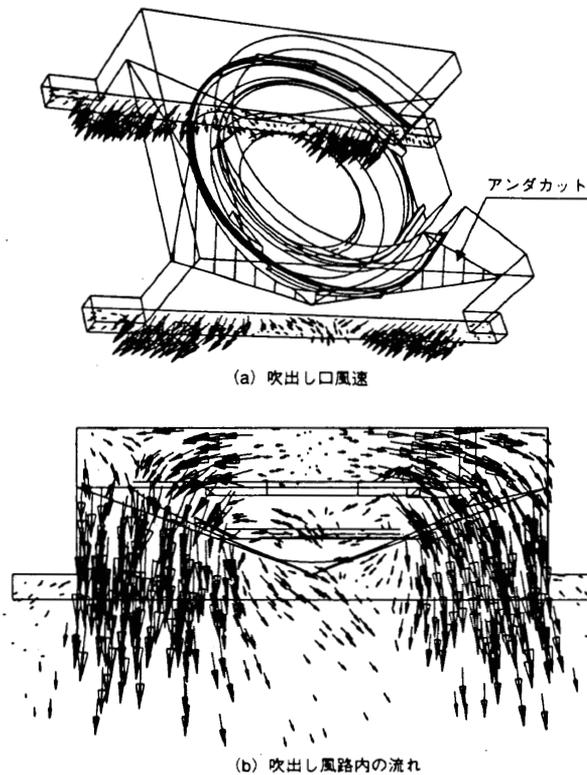


図4 解析結果② アングカットの効果により風が吹出し口中央部に流れている。
Result of analysis ②

考えられる。また、アングカットを設けたことにより風路が広くなり、逆流域が縮小したので圧力損失は48 Paと目標値を満足することができた。

3.2.4 解析 III

さらに、吹出し口での風速分布を解析するため、解析IIのアングカットの形状を変更して解析を行った。解析結果③を図5に示す。

アングカット形状の変更によって、解析IIよりもよりアングカットに沿った流れとなった。

逆流域への流れも更に改善され、吹出し口における風速分布は吹出し口中央部の風速において最大風速の1/2程度まで改善されている。

しかし、目標値より約5 Pa圧力損失が増加しているが、実機試験において克服できるレベルであると判断した。

以上の解析結果から、解析IIにおいて圧力損失の目標値を満足することができた。ただし実機試験には、より吹出し口風速分布のばらつきが小さい解析IIIの風路形状を用いて行い、試験結果によりアングカット形状の調整を行うこととした。

4. 実機試験

4.1 騒音試験

解析結果を基に実機試験を行い、解析結果の評価を行った。目標値は、従来機よりも低騒音であり、解析において圧力損失の目標としたFDTCの騒音値41.0 dB(A)に設定し、実機試験を行った。

騒音試験の結果を表1に示す。解析により求めた仕様である解析IIIのモデル形状にて試験を行うと43.1 dB(A)となり、FDTCの実測値よりも約2 dB(A)大きくなった。これは、解析で省略した

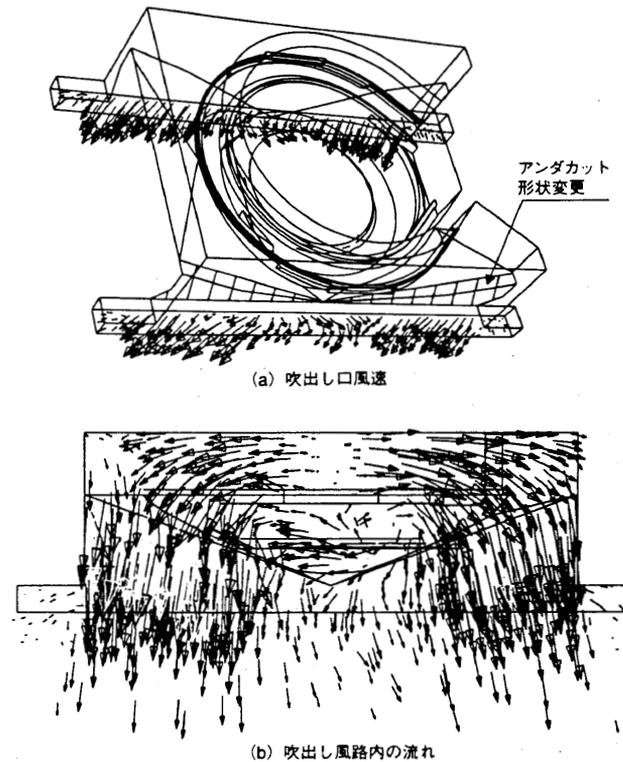


図5 解析結果③ アングカット形状変更により、流れは更に改善されている。
Result of analysis ③

表1 騒音試験結果

Result of noise test

試験	ドレンパン形状	パネル裏吸音材	ファン回転数 (rpm)	圧力損失 (Pa)	騒音値 [dB(A)]
FDTC	—	—	592	43.3	41.0
FDTW	(1) 解析III	なし	652	54.5	43.1
	(2) Rカット		596	43.9	41.0
	(3) 追加	あり	596	43.9	40.0

吸込パネルの抵抗によるものと考えられる。吸込パネルなしで試験を行った結果、41.1 dB(A)とFDTC並みとなることを確認できた。

なお、フィルタに関しては、FDTCの解析においても省略しており、フィルタを省略したことにより解析結果が実機試験へ影響を及ぼすことはないものと考えられる。

ユニット騒音が目標値に達成していないので、騒音値を低減するために解析IIIのアングカット形状の変更を行った。

アングカットの角部に丸み（以下、Rカットと称す）を付けることにより風路を拡大し、圧力損失の低減を図った。これにより、騒音値は41.0 dB(A)に低減し、FDTC並みの騒音値とすることができた。

また、吸込パネルの裏側に吸音材を追加することにより、更に-1 dB(A)の効果が得られることを確認した。

以上の結果から、アングカット形状にRカットを追加した形状を風路の最終形状とし、吹出し口における風速分布の確認を行った。

4.2 吹出し口風速

最終風路形状において、吹出し口における風速分布のばらつきによる室内の温度分布への影響を検討する。

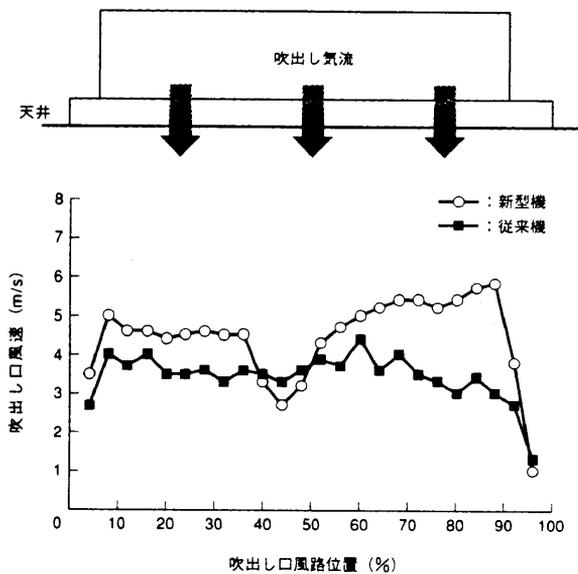


図6 吹出し口風速分布 従来機と新型機の吹出し口における風速分布を比較して示す。
Air-flow velocity distribution at outlet

図6に従来機と新型機の吹出し口風速分布を比較して示す。図中において、横軸は吹出し口の長手方向の長さを片側の端部からの割合で示している。

従来機の風速分布は、吹出し口端部を除いて一様になっている。新型機は風路内の閉そく部により吹出し口中央部の40～50%付近において風速が遅くなり、ばらつきを生じている。

しかし、新型機は従来機並みの風速が得られ、吹出し口中央部において巻込みが生じていないことを確認したので問題ないと判断した。

従来機・新型機共に吹出し口端部において風速が落込んでいる。これはユニット本体の吹出し風路よりパネル側の吹出し口が長く、パネル吹出し口の端部に十分な気流が流れないので、風速の低下を引起しているためである。この最低風速となる端部においても新型機は従来機並みの風速を得られている。以上の結果から、風路の仕様を最終風路形状に固定した。

5. 解析精度の検証

パッケージエアコンの製品設計に初めて三次元気流解析を用いたので、解析の精度は定量的に把握されていない。今後の机上検討の精度を向上させるために解析の精度について検証する必要がある。

そこで、最終固定した風路形状にてこれまで解析では省略して

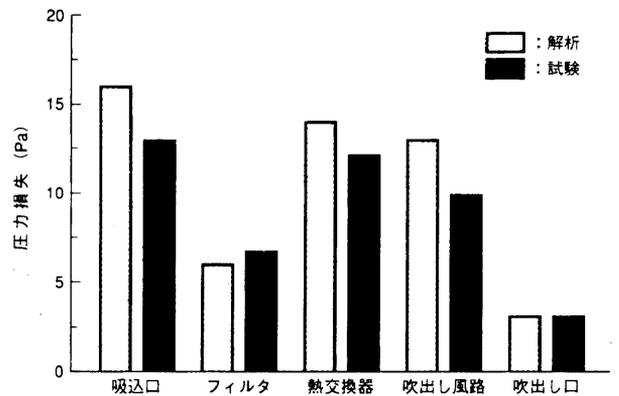


図7 各部圧力損失 解析と実機における各部の圧力損失を比較して示す。
Pressure loss at each part

いた吸込パネル・フィルタのモデル化を行い、解析と実機試験の結果を比較し検証する。なお、フィルタについては実機試験で測定した抵抗値を解析にも使用している。

図7に解析と実機試験の各部における圧力損失を比較して示す。ユニット全体での圧力損失は解析値41 Paに対して実機試験値は45 Paとなり、両者の差は10%程度となっている。また、各部における圧力損失の差は最大で4 Pa程度であり、実機の圧力損失を予測することができる。

この両者の差は、解析において与えている設定条件及び実機試験における測定誤差によるものと推測する。解析により求められたユニットの圧力損失と設定流量の関係からファンの作動状況における圧力損失と流量が求められ、ファン作動点を知ることができる。したがって、圧力損失を解析にて求めることにより、ファンの作動点及び騒音値を予測することができる。

6. ま と め

FDTWにターボファン構造を採用することでユニット外形高さが従来機対比約26%低くなり、天井埋込形二方向吹きパッケージエアコンとしては業界一の薄型ユニットとすることができた。

また、FDTCとターボファン・熱交換器を共用化することができ、ユニットに使用している部品点数も従来機対比約50%にまで削減できた。さらに、三次元気流解析を事前検討に用いたことにより短期間にて商品化することができた。

三次元気流解析の精度検証により、机上検討において本解析を利用してユニット内の圧力損失を求め、ファン作動点予測及び騒音値予測をできるめどがついた。

今後は他機種にも本解析を利用することにより開発期間の短縮を図る。