

特集 低騒音ラジアルファン

Low Noise Radial Blower for Car Air-Conditioner

松永浩司 三石康志
Kouji MATSUNAGA Yasushi MITSUIISHI

Recently the blower for car air conditioner is demanded for low-noise, miniaturization and improvement of quality of sound. We had hit on the radial blower. Specially NZ-noise makes the quality of blower sound bad, so we made the relation of noise and flow in blower clear by using visualization and 3D-calculation method. Finally we improved the noise and the flow in the blower by developing the new fan which has new type blades - "Taper Blade" -. Now the fan is produced for some vehicles.

Key Words : Air Conditioning , Noise , Radial Blower , Taper Blade , NZ-Noise

1. まえがき

カーエアコンユニットは大きく送風機(ブロウ)とヒータユニットから構成される(Fig.1)。この内、送風機はエアコンユニットの基本性能(風量、音...)を決定づける重要な部分である。

従来よりエアコン用送風機として低騒音に着目して開発を行ってきた。その結果、1994年にシュラウドシロッコファンを開発し、当社の従来ファンに対し3dBの低騒音化を達成した。

しかし、近年、車両におけるフィルタの標準装着化、助手席足元スペースの拡大、省燃費という要求からエアコン送風機に対して薄型化、省電力化が要求されている(Fig.2)。そこで、これらの要求を満足する薄型省電力な送風機が必要となった。

送風機の開発において、従来は試作&評価の繰り返しによりファンの仕様を決定していたが、今回送風機内流れの解析手法として、新たに三次元流れ計算およびトレーサ法による流れの可視化を導入した。そして、送風機流れの改良を実施することで性能の向上を図り、従来とは異なる新しいテーパラジアルファンを開発、量産化したので報告する。

2. 開発構想

現在エアコン用送風機の要求項目として、薄型化 低騒音化 省電力化が挙げられる。そこで、我々は下記の構想にて開発を進めた。

薄型化...ファンを薄型化しても全圧を維持できる、また、フィルタがファン吸込口に装着される場合にはフィルタ通過風速を低減し吸込損失を低減させる

(社)自動車技術会の了解を得て、1999年春季大会学術講演会前刷集No.50より加筆転載

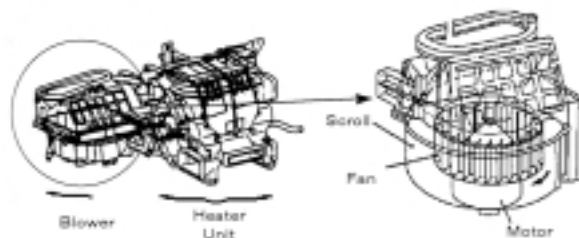


Fig.1 Outline of blower

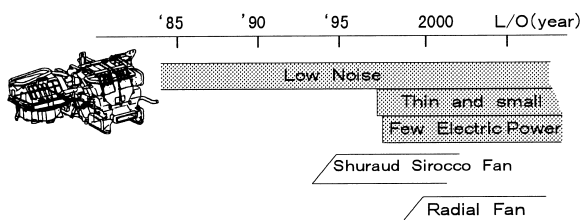


Fig.2 Trend of the blower for car air-conditioner

ことを狙いとしてファンを大径化する。低騒音化...送風機はファン、およびそれを駆動するモータ、スクロールから構成される。ファンからの吐出風はスクロールにて動圧 静圧へ変換される。しかし、車両搭載スペースによるスクロール異形化などが存在する場合、流れの渦、剥離など動圧成分に起因した損失が生じる。そこで、スクロール内での損失を低減するためにはファン自体を高静圧化し、スクロール内での動圧 静圧変換割合を少なくする。省電力化...送風機の消費電力は、ファン自体の効率とモータの作動効率とにより決定される。実際のところモータは最高効率点付近ではなく、より高ト

ルクであるが低効率な領域で作動している。そこで、モータの最高効率付近で作動させることを狙ってファンを低トルク化する。

3. 翼形状の選定

ファン全圧は、動圧と静圧との和で表される。各々の成分は速度三角形の理論より翼出口、入口での風速で表される。(Fig.3)

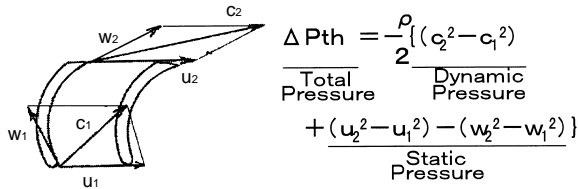


Fig.3 Triangle of velocity

一般的にファンは出口角により大きく3種類に分類される。出口角 $\beta_2 < 90$ となるシロッコファン、 $\beta_2 = 90$ となるラジアルファン、 $\beta_2 > 90$ となるターボファンである。

ファンの動圧、静圧分布は翼出口角により異なる。速度三角形より求めた出口角とファンの動圧、静圧分布を示す(Fig.4)。静圧成分は出口角90のとき最大値となるため、ファンブレードとして出口角90付近のラジアル翼を選定する。

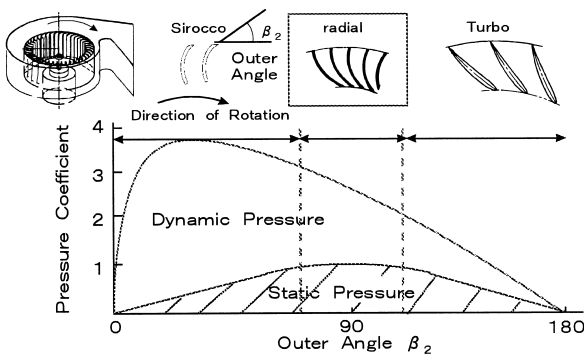


Fig.4 Selection of radial blade

また、出口角とファンのトルクおよび消費電力の関係をまとめると右下がりの直線で表される。出口角を大きくすることでファンのトルク、消費電力は低減する(Fig.5)。しかし、比騒音については出口角を大きくすることで悪化するため、いかにラジアルファンをシュラウドシロッコファンよりも低騒音化するかが最大の課題となる。

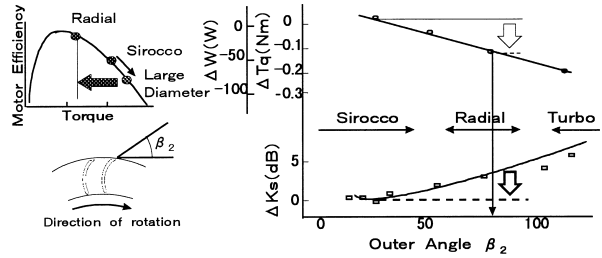


Fig.5 The problem of radial fan

4. 流れの均一化による低騒音化

4.1 三次元解析の導入と精度確認

送風機の低騒音化には送風機内の流れの改良が不可欠である。そこで、流れの解析手法として三次元定常解析を導入している。

計算モデルはファン、スクロール、エバポレータを含んだシステムとし、実際のエアコンユニットに近いモデルとした。計算ソルバとしてSTAR-CDを用い、実用性を考慮してメッシュ数を24万、計算時間は3h程度の定常解析としている(Fig.6)。

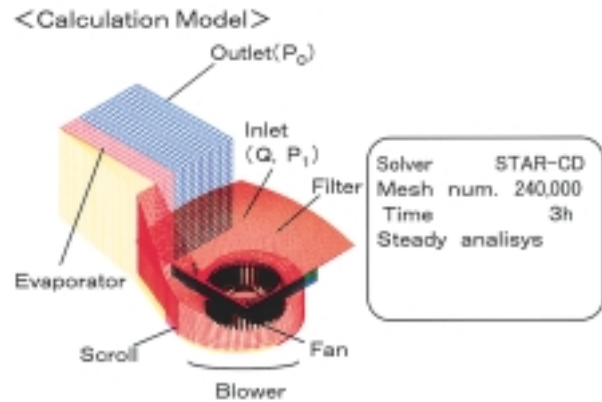


Fig.6 Calculation model

この解析の精度を確認するため、実験による送風特性と吸込み口風速分布との比較を行った(Fig.7)。

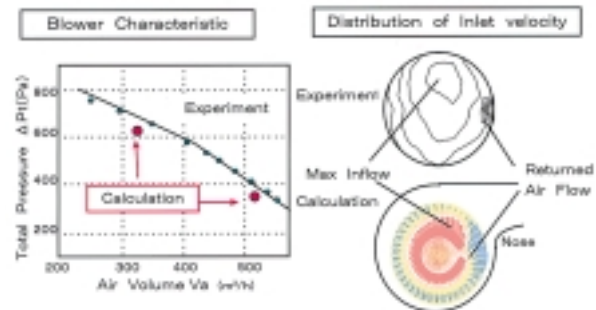


Fig.7 Precision of 3D-calculation

その結果、送風特性は計算と実験がほぼ一致する。また、吸込口での風速分布についても、ノーズ付近での吹き返し、巻き終わり付近での最大吸込ともに計算により十分再現されている。

4.2 高さ比の検討

ラジアルファンは、速度三角形理論によるとシロッコファンに比べ空気が翼から受ける力が小さいため、翼間流れが三次元的(軸方向成分が大きい)となる。そこで、新たなパラメータとして高さ比(翼出口高さ/翼入口高さ)を定義し、三次元的な流れの安定を図った。

高さ比について、風量、比騒音への影響を示す(Fig.8)。高さ比を小さくすることにより比騒音は低減しており、ラジアルファンの翼間流れが三次元的であると推定できる。この結果、ラジアルファンではシュラウドシロッコファンよりも小さな値を選定している。

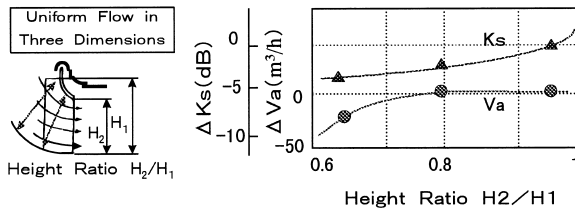


Fig.8 Optimization of height ratio

4.3 翼長の検討

ラジアルファンの特徴として、出口に向かい翼間距離が徐々に拡大するため、急激な圧力上昇が生じ流れが不安定になりやすい。そこで、翼長を大きくして翼間急拡大を抑制し急激な圧力上昇を防止する。

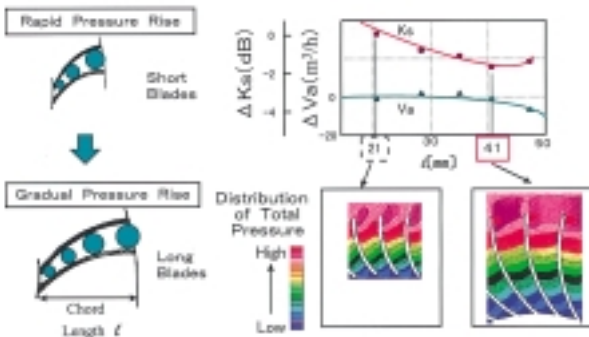


Fig.9 Optimization of chord length l

そこで、翼長をパラメータとして比騒音の関係を求めた(Fig.9)。その結果、シロッコファンに比べ最適な翼長が大きくなることが分かった。その検証として、翼間の全圧上昇を比較すると、翼長の大きいほうが緩やかな圧力上昇となっている。

以上の結果を受けて、プロト品を作製し評価を行った。その結果、騒音については目標達成したが、フィルタ装着状態でNZ音(異音周波数がNZ/60[Hz], N:ファン回転数[r/min], Z:翼枚数[枚]となる狭帯域音)が発生し改良が必要となった。

5. NZ音の低減

5.1 可視化の導入(トレーサ法)

NZ音は送風機にかかわる流れにより周期的な圧力変動が生じることで発生する。そのため、定常解析のみでは説明は困難であり、非定常解析としてトレーサ法による可視化を導入した(Fig.10)。

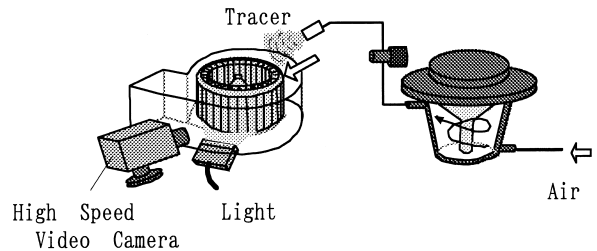


Fig.10 Method of visualization

この手法は、送風機内にトレーサ粒子を吸込ませ、その挙動をカメラに録画することで流れを可視化する。送風機内の可視化すべき位置にスリット光を照射することで、断面上的流れの挙動を捕らえることができる。トレーサ粒子としては粉末発泡樹脂を用いている。樹脂の粒径は40 μmである。

5.2 NZ音の発生メカニズム

まず、プロト品においてフィルタ装着状態でNZ音が増大する理由をさぐるため、吸込口および翼間流れを比較した(Fig.11)。

フィルタ無の場合には吸込み風は下向きの安定した流れとなっているが、フィルタを装着することで吸込み風は不安定になる。ベルマウス端部には吹き返しが存在し、吸込み風はファン中央部に向かって流入する。

翼間の流れを比較すると、フィルタの無い場合、翼間の主流は安定し、翼間上部に存在する渦も小さい。吸込風も均一である。フィルタを装着することで、主

流は細くファン下部に偏った分布となる。また、翼間上部の渦も大きくなる。吸込み風についても速度勾配の大きく不安定な流れとなっている。

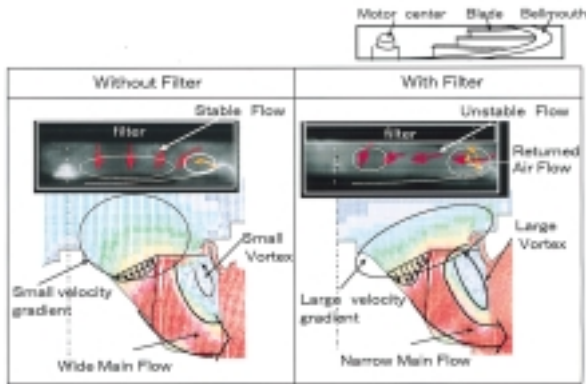


Fig.11 Difference between with or without filter

これは、フィルタの通過風速を均一化する働きと圧力損失(以下、圧損という)の増大に起因する。本来送風機は各作動状態において最適な吸込分布を有しており、その分布をフィルタが強制的に乱すため流れが不安定になる。フィルタにて均一化された空気はファン中心方向を目指して流入し、翼間で急激に向きを変える。そのため、慣性により翼間の主流は下に偏る。加えて、圧損が高くなると風量が低下するため、主流も細くなる。

その速い主流がスクロールのノーズ部に衝突することで周期的な圧力変動が生じ、NZ音が発生する。ラジアルファンでは翼間の三次元流れに加え、翼長が大きいことためフィルタ通過風の偏向が大きく、翼間流れの下への偏りが大きい。その結果、ますますNZ音が大きくなる。

5.3 改良方向と効果

以上よりNZ音の改良手法としては、翼吐出風の上下方向の均一化が必要となる。吐出風を均一化することで、ノーズに衝突する風速を抑え、圧力変動幅を低減する。その手法として、我々はテーパ翼を考案した(Fig.12)。翼上部をテーパ化することで、翼上部長さを低減し吸込み面積を増大し、吸込流れの偏向を防止する。

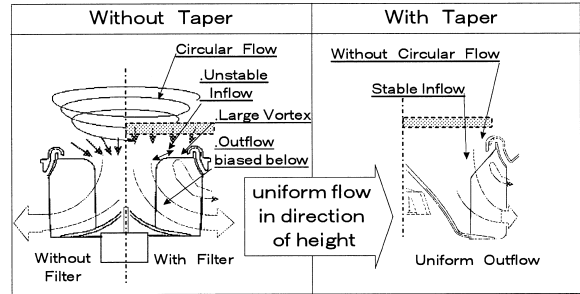


Fig.12 Improvement by taper blade

5.4 テーパ翼の効果 1(吸込および翼間流れ)

テーパ翼化の効果として、テーパ有無による吸込み、翼間流れを比較した(Fig.13)。テーパにより吸込口においては下向きに安定した流れが存在し、速度のファン中心方向成分が低減している。また、ベルマウス端部での吹き返しも小さく安定している。翼間の流れにおいても、主流は太く安定化している、翼間上部の渦も小さくなっている。特に吸込面積がテーパにより大幅に広がっている。テーパ無の場合では翼上面からの吸込は非常に少ないが、テーパ翼によりテーパ面からの安定した吸込が多くなっている。

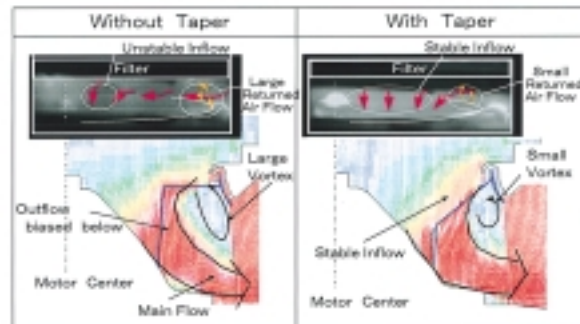


Fig.13 Flow pattern of inlet and blades

この理由として、以下のように推定する。翼内側より流入した空気は翼面からの力をうけて徐々に昇圧されながらファンから吐出していくが、テーパ無の場合ではベルマウスから翼がむき出しとなっているため、翼に流入した空気が圧力の低い翼上面から漏れ出そうとする。

しかし、テーパ有の場合では翼間流路に沿って翼高さが大きくなるため、翼内側から流入した風は圧力の小さな翼上面から漏れ出そうとして翼上部に向かって、まだ翼から力を受ける。その結果、翼間の主流は

太くなり、吹き返しが低減する。加えて、テーパにより翼流入風が均一となり風速の偏向が小さくなるためである。

5.5 テーパ翼の効果 2(フィルタの影響)

送風機にフィルタを装着すると風量は低下する。これは、通常フィルタの圧損に起因する。しかし、同圧損のフィルタを吸込み口からの距離(フィルタ距離 d)を変えて装着し、送風性能を比較(20mm, 500mm)すると、フィルタ距離の小さいほうが送風性能は悪化する。つまり、フィルタ距離が小さい場合、フィルタ以外に圧損を上昇させる現象が生じている。その現象として、吸込部に空気の予旋回が存在しているのではないかと推定した。

プロト品では翼の飛び出し量が大いため、翼上面に予旋回が存在し、フィルタ距離が小さい場合、その流れとフィルタが干渉すると考えられる。加えて、予旋回はベルマウスからの翼の飛び出し量とともに大きくなると推察されるので、実験により翼飛び出し量と圧損との関係を求めた (Fig.14)

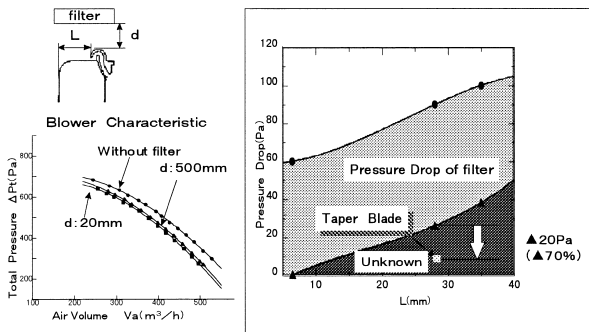


Fig.14 Effect of taper blade

その結果、飛び出し量 L が大きくなるほど、圧損が増加することが分かった。この圧損を低減する手法としてテーパ翼が有効である。同一翼飛び出し量の場合、テーパ翼化により 20Pa (約 70%)の低圧損化が可能となり、更なる性能向上が可能となる。

6.最終性能

テーパ翼の最終性能を Fig.15 に示す。テーパラジアルファン化により、プロト品(テーパ無)に対しNZ音は 5dB の低減が可能となる。また、比騒音についてもシュラウドシロッコファンに対し 2dB の低減を達成している。

薄型化に関しても、シュラウドシロッコファンに対し 35mm の低減となっている。

7.まとめ

送風性能、音質を大幅に向上したテーパラジアルファンを自動車用エアコンとして初めて開発、量産化した。

送風機の解析手法として三次元流れ解析およびトレース法を用いた流れの可視化が有効であることが分かったため、今後の送風機開発に積極的に活用する予定である。

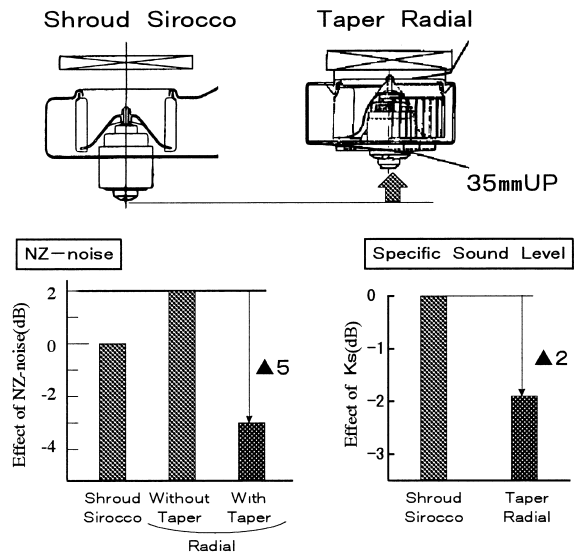


Fig.15 Blower performance

< 著 者 >



松永 浩司
(まつなが こうじ)

冷暖房開発 1 部
カーエアコン用送風機の開発業務に従事。



三石 康志
(みついし やすし)

(株)日本自動車部品総合研究所 第 2 グループ
騒音および流れ解析の研究に従事。