

カーエアコン用冷却ファンの低騒音化技術

Noise Reduction Technique on Cooling Fans for Car Air-Conditioners

技術本部 近 藤 文 男*¹
 エアコン製作所 鈴 木 敦*²

車両の低燃費化のため空調システムの省動力化が要求されている。カーエアコンコンデンサ冷却系において、熱交換性能向上のため風量増大が必要で、冷却ファン的高效率化によるモータ入力低減と低騒音化が不可欠である。これに対して、大幅な前進翼形状とし、またボス部の流れを改善するための最適な翼形状を翼素試験により見だし、この翼型をボス部付近に配置する新ファンを開発した。このファンの翼面流れの改善により、従来対比4 dB(A)の騒音低減と5%の効率化を達成した。さらに、流れ解析により翼端渦の発生を抑制できるチップフィンを見だし、この低減を含めて、5~6 dB(A)の低騒音化ができる見込を得た。

Energy saving in Heater, Ventilator, Air Conditioner (HVAC) is increasingly critical to reducing automobile fuel consumption. To improve the thermal performance of condensers, the air flow must be increased for cooling system. Reducing motor power input by improving fan efficiency and fan noise are indispensable. A new fan having large forward-skewed blades and using a low-noise airfoil for the hub was developed, its noise level was 4 dB(A) lower than that of the current fan. Tip fins, which suppress tip vortex generation, were determined by air flow analysis, and the effect in reducing noise was 1-2 dB(A). The new blade shape and tip fins are expected to reduce noise 5 to 6 dB(A).

1. 緒 言

車両の低燃費化のため空調システムの省動力化が要求されている。カーエアコン（以下、CACと称す）コンデンサ冷却系において、熱交換性能向上のため風量増大が必要で、冷却ファン的高效率化によるモータ入力低減と低騒音化が不可欠である。CAC用冷却ファンについては、従来ファンに対して前進翼化して大幅な低騒音化を図り⁽¹⁾、また低騒音化しにくい薄型タイプファンでは後縁にセレーションを付加することによって騒音低減を得ている⁽²⁾。しかし、空調システム的高效率化を図るには不足であり、大風量化に対応して更に大幅な低騒音化・効率化を図る必要がある。

空調用など低圧プロペラファンの低騒音化は、これまで実験的に多く行われている⁽³⁾が、大幅な騒音低減を図るのが難しくなっており、ファン内部流れの予測及び騒音予測などを用いた的確な改善を図っていく必要がある⁽⁴⁾⁽⁵⁾⁽⁶⁾。近年、流れ解析によるファン内部流れ予測が多く行われているが、LES (Large Eddy Simulation) 等の流れ解析結果を用いた騒音予測は研究的にも緒に就いたばかり⁽⁷⁾で、実用的にはすぐには適用できない。このため低騒音化には、流れ解析結果等に基づき流れの状態から乱れや離れなど騒音的にみて感度の高い領域を改善していくことになる。

本報では、CAC用冷却ファン騒音低減のため、翼平面形状及びチップ部形状の変更により、翼面流れを改善することによるファンの高性能化について述べる。

2. プロペラファンの騒音

低圧プロペラファンの広帯域騒音は、上流乱れのほか翼面上のはく離・後流渦放出・境界層内の乱れ、翼端渦の発生及びその干渉等に分けることができる。最近では、翼面の大きなはく離はなくなり、各部流れを制御して低騒音化を図る研究がなされており、これらの例は以下のようにまとめられる。

(1) 翼面上のはく離

ボス部付近を翼形化し、はく離低減による騒音低減⁽³⁾

長弦化による翼負荷の低減による騒音低減⁽⁵⁾

(2) 後流渦放出

後縁セレーション付加による後流乱れ低減による騒音低減⁽²⁾

(3) 境界層内乱れ

翼面にリブレット付加による乱れ低減による騒音低減⁽⁸⁾

(4) 翼端渦

翼チップ部のはく離流れの速度の低下による騒音低減⁽⁹⁾

本研究で述べる内容は、翼面上のはく離低減と翼端渦発生の抑制による騒音低減手法と位置付けられる。

3. 従来ファンの内部流れ分析

基準となるベースファンを図1に示すが、当社CAC用で最も騒音が低い前進翼である⁽¹⁾。この羽根の翼面流れは、流れの分析よりチップ付近及びハブ付近で流れの改善が必要である⁽²⁾。

このファンの改善の見通しを得るため、低騒音化が期待できる住宅用空調機（以下、RACと称す）用室外機ファンφ320をベ-

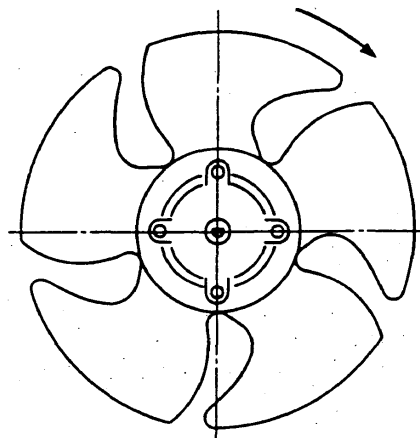


図1 従来ファン形状 従来ファンは前進翼形状である。
Current fan shape

*1 名古屋研究所機械物理研究室主査

*2 技術部カーエアコン設計課

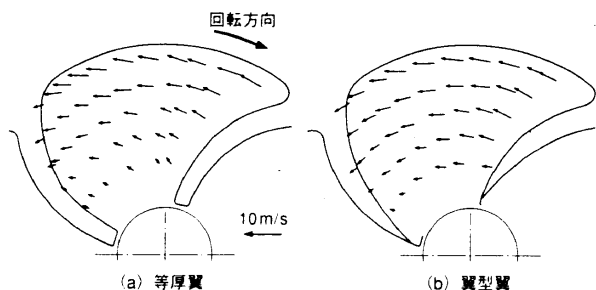


図2 翼面流れの比較 等厚翼はハブ付近ではく離があるが、翼形化により改善される。
Comparison of flow pattern on blades

スに検討を行った⁽³⁾。その翼表面流れを図2(a)に示すが、ハブ付近の流れがく離しており、この流れを改善するためハブ付近を翼形化して翼負荷を上げることで改善できることを確認している⁽³⁾。ファン作動点が変わった場合、どの翼型が流れの改善及び騒音低減に有効であるのか不明であるので、等厚翼に対し高負荷翼の翼素発生騒音を分析して適正化を図ることを検討した。

4. 翼素騒音の分析

低圧プロペラファンのボス付近では弦節比が小さいため、翼列ではなく単独翼による騒音評価が可能と考えられるので、文献(6)と同様な装置で、騒音の十分低い気流中に二次元翼素を設置し、発生騒音を無響室内で測定して評価した。

翼形状としては、ベースである等厚翼、高負荷翼としてはNACA 0012及びGoettingen 624翼型を対象とし、弦長はCACファン形状に基づき150 mmとした。その形状を図3に示す。気流速度は10~16 m/s、翼の迎え角は0~20°で行った。

ハブ付近の周速に近い気流速度10.0 m/sでの各翼型の発生騒音を図4に示す。この図より非対称翼であるGoettingen 624翼型が最も低く、迎え角全域で低減することが分かった。迎え角が0~10°で等厚翼及びNACA翼で騒音が大きくなっているのは、音響的フィードバックによる発生音のためである⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾。現象的には興味があるが、ファン実使用の迎え角は10~20°あるので、ここではこれ以上検討はしない。

翼素騒音で最も低騒音であるGoettingen 624翼型をハブ付近に重点に翼形化したファンとベースである等厚翼との性能比較より、翼形化により大幅な空力及び騒音性能の向上が図れることが確認

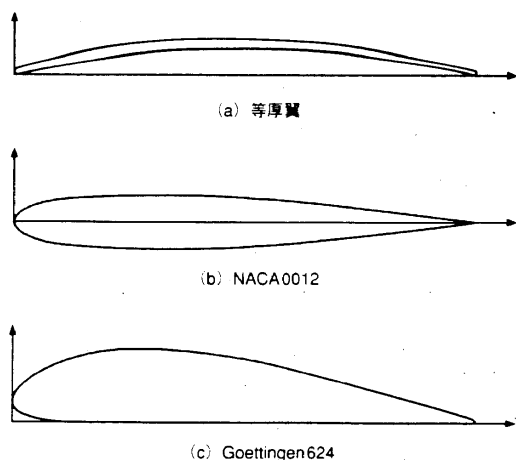


図3 翼型形状の比較 翼素試験に用いた翼形状を示す。
Comparison of two-dimensional blade shapes

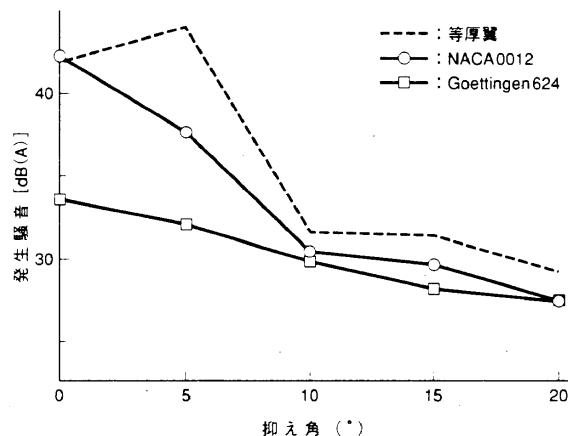


図4 翼素発生騒音比較 Goettingen翼型の騒音が最も低い。
Comparison of noise generation of two-dimensional airfoils

できた。

このファンの翼表面流れを図2(b)に併記するが、等厚翼と比べるとハブ付近に止まらず、この領域が改善されることによって羽根全域の流れの半径方向成分が抑えられることが見いだされた。これは、翼負荷の分散及び後縁での流出速度が低減されることを意味し、騒音における改善が図られたと考えられる。

5. ファンへの適用

ハブ付近を翼形化することにより、空力・騒音性能の向上が図れることが確認できた。ただし、このCAC用の羽根は、CAC用に比べて羽根奥行きが大きく、またハブ比が小さいため、そのまま比例設計することができないので、設計パラメータを振り、流れ解析等により形状の適正化を行った。

このとき、モータ入力とのマッチングを考え、低トルクで運転できるよう回転数を極力上げるようにした。また後縁厚みは薄い方が後縁発生騒音は低下するが、樹脂成形する場合最小厚みが存在し、後縁を薄くするには限界があり、後流幅増大による騒音の増加が避けられない。

このため、後縁にセレーション⁽²⁾を付加し、翼の負圧面と圧力面の合流をスムーズに行わせ後縁での乱れを低減させることによって、低騒音化を図った。その形状を図5に、従来のCAC現行ファンとの性能比較を図6に示す。

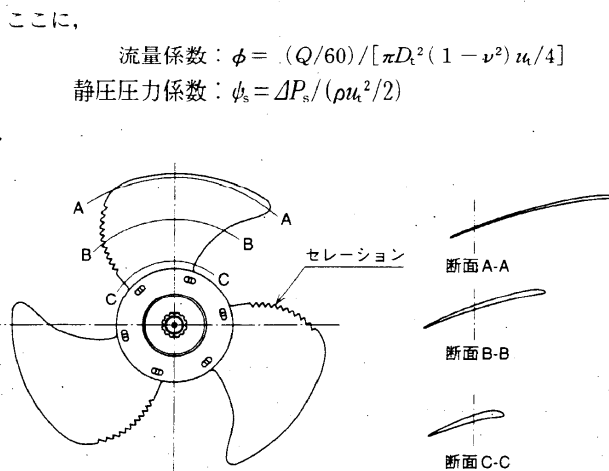


図5 新ファン形状 新ファンは大幅な前進翼化とハブ付近の翼形化を図っている。
New fan shape

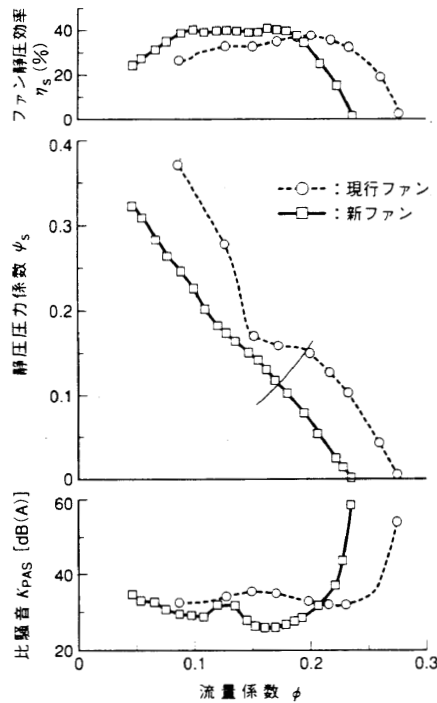


図6 ファン性能比較 新ファンは騒音・効率の点で優れる。
Comparison of fan performance curve

$$\text{ファン静圧効率: } \eta_s = [Q \cdot (\Delta P_s / g)] / 6.118 / W$$

$$\text{比騒音: } K_{PAS} = L_{PA} - 10 \log [Q \cdot (\Delta P_s / g)^2]$$

また、

- Q : 流量 (m^3/min)
- D_t : ファン外径 (m)
- ν : ハブ比
- u_t : チップ周速 (m/s)
- ΔP_s : ファン静圧 (Pa)
- γ : 空気密度 (kg/m^3)
- g : 重力加速度 (m/s^2)
- L_{PA} : 測定騒音 [dB(A)]
- W : 軸動力 (W)

風量-圧力特性は低い、最高効率・最低比騒音は従来ファンに比べて優れ、ファンの作動点上で高効率化5%、騒音は回転数補正しても約4 dB(A)低減できることが見いだされた。これは翼表面流れの計測結果は省略するが、図2の流れと同様ハブ付近まではく離のない流れが実現できたためである。

通常冷却ファンは2個使用しているが、今回の結果から騒音的にみると若干のファン径増によりファン1個化の見通しが得られ、レイアウトの簡素化・軽量化・コストダウン等が図れる可能性を持つと考えられる。

この際、ファンレイアウトや熱交換器上流側の影響による気流の偏りによる熱交換器性能の低下⁽¹²⁾を十分考慮して決める必要がある。

このファンの実用化に当っては、前記新ファンは厚肉のため従来の樹脂の成形法ではひけ等の問題で対応できないので、厚肉成形法の検討が必要となる。その成形法としては、発泡成形、膨張成形、ガスインジェクション成形など各種成形法があるが、回転強度・熱変形・回転バランス・軽量化・コスト等を考慮して成形法を決定した。

6. 翼端渦の制御による騒音低減

流れ分析によるファン翼表面流れ結果からチップ部で圧力面からの流れが存在する。この流れの模式図を図7に示す。翼端から離脱した渦は図8に示すような翼間で大きな二次流れと成長する⁽⁴⁾。騒音は、翼端での乱れやこの翼間二次流れとベルマウス、また次の羽根と干渉により発生する可能性を持つ。このため翼端渦の発生を抑制することにより、その発生騒音を低減させることを流れ解析により検討した。チップ付近の相対流れは、図9に示すように垂直に翼に流入する。そこで、チップ先端への迎え角を小さくするように小フィンを追加し、チップ部ではく離を抑制し、さらにこれによる二次流れの抑制が図れるのかを調べた。その解析結果を図10に示すが、チップにフィンを追加することによ

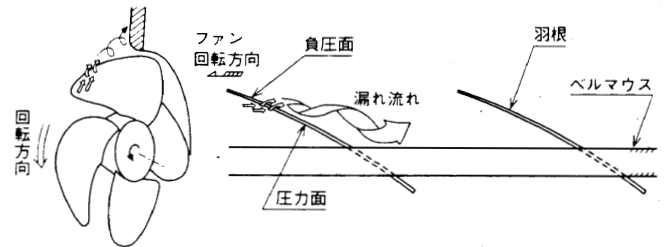


図7 翼端渦の模式図 翼端ではかかれた流れは翼間で大きな二次流れに発達する。
Schematic diagram of tip vortex

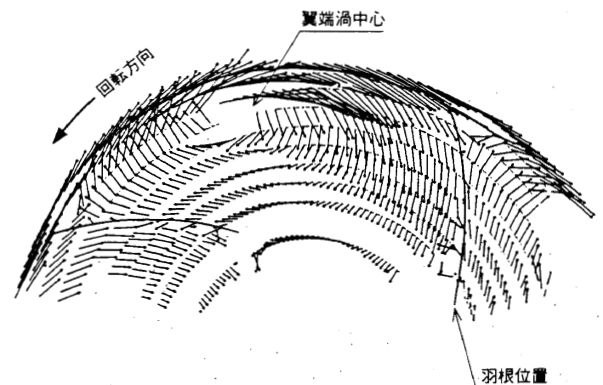


図8 翼間二次流れ LDVによる翼間二次流れを示す。
Secondary flow between blade to blade

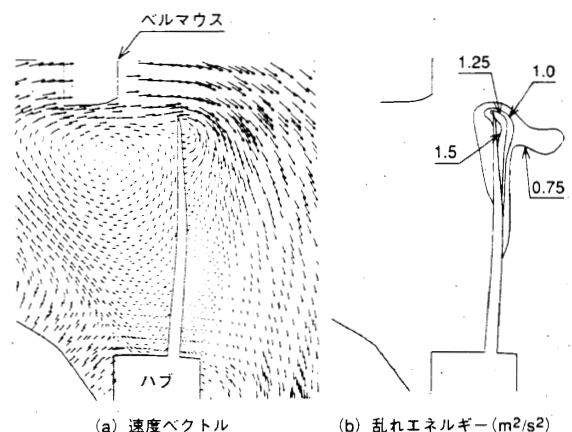


図9 チップ付近の流れパターン チップ部で流れがく離する。
Flow pattern around tip

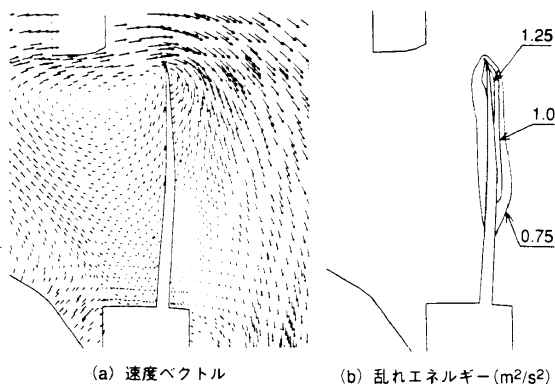


図10 チップフィンのはく離低減効果 チップ先端に付けたチップフィンにより乱れが低減する。
Effect of reduction of flow separation by tip-fin

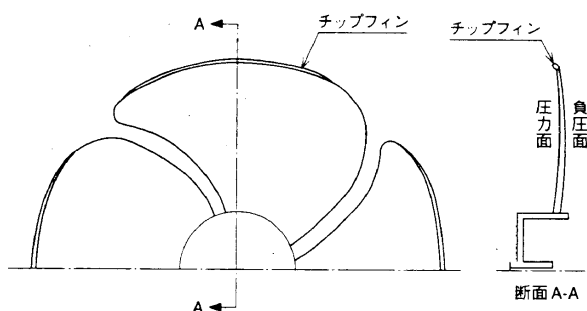


図11 チップフィン形状 チップフィンはチップ部はは全域に付けられる。
Shape of tip-fin

って、チップ部付近の乱れエネルギーが低減することが見いだされた。これを受けて、図11に示すように従来ファンのチップ部はは全域にわたってに弦長3 mm、傾斜角30°フィン（チップフィン）を付加した結果、図12に示すように設計作動点（ $\phi=0.27$ 付近）で騒音が1～2 dB(A)低減した。このとき、空力性能はほとんど変わらない。このためチップフィンは騒音低減としては有効な手段となり得るものと考えられる。この小フィンの迎え角・長さはファン作動点の関数で、騒音的にかなり敏感な挙動を示すため、ファン作動点に合せたチューニングが必要である。このように翼端渦を抑制することによって騒音低減を図ることができる。この

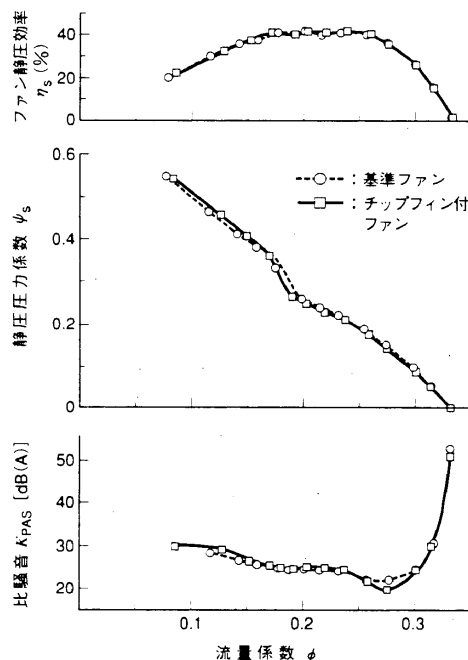


図12 ファン性能比較 チップフィンにより低騒音化できる。
Comparison of fan performance curve

流れの制御については、今後とも詰めていく必要があると考えられる。今回、図12とファン作動点が異なるので、これを考慮したチップフィンを付加することにより、翼形状の改善と合せ5～6 dB(A)の騒音低減の見込を得た。

7. 結 論

CAC用冷却ファンの騒音低減・高効率化に対して、大幅な前進翼化とボス部の流れを改善するために最適な翼形状を翼素試験により絞り込み、この翼型をボス部付近に配置することにより、従来対比4 dB(A)の騒音低減と5%の高効率化を達成した。さらに翼端渦の発生を抑制するチップフィンを付加することにより、5～6 dB(A)の騒音低減する見込を得た。

今後、この新ファンをCAC用冷却ファンとして適用していく予定である。

参 考 文 献

- (1) Aoki, Y. et al., Noise Reduction of Condenser Cooling Fans for Automobile Air Conditioners, SAE Paper No. 880046 (1988)
- (2) 近藤ほか、カーエアコン用薄形コンデンサファンの開発、三菱重工技報 Vol.33 No.2 (1996) p.98
- (3) 近藤ほか、空調用プロペラファンの騒音低減、ターボ機械 Vol.19 No.6 (1991) p.19
- (4) 近藤ほか、プロペラファン内の流動特性とその予測、機械学会講演論文集 No.933-1 (1993) p.166
- (5) 近藤ほか、内部流動解析による空調用プロペラファンの低騒音化、三菱重工技報 Vol.31 No.5 (1994) p.345
- (6) 近藤ほか、プロペラファンの騒音予測法に関する研究、機械学会講演論文集 No.910-62 (1991) p.376
- (7) Kato, C. et al., Numerical Simulation of Aerodynamic Sound Radiation from Low Mach Number Turbulent Wakes, ASME FED, 219 (1995) p.53
- (8) 小島ほか、省エネ形ルームエアコンの開発、三菱重工技報 Vol.33 No.2 (1996) p.78
- (9) 袴家、エアコンの低騒音化技術、騒音制御 Vol.23 No.1 (1999) p.34
- (10) Longhouse, R. E., Vortex Shedding Noise of Low Tip Speed Axial Flow Fans, J. Sound and Vib. Vol.53-1 (1977) p.25
- (11) Tam, C. K. W., Discrete Tones of Isolated Airfoils, J. Acoust. Soc. Am. Vol.55-6 (1974) p.1173
- (12) Kondo, F. et al., Prediction Method on Effect of Thermal Performance of the Heat Exchanger due to Non-uniform Air Flow Distribution, SAE Paper No.850041 (1985)