

空調機用多翼送風機の低騒音化

Noise Reduction of Multiblade Fan for Air Conditioners

技術本部 松田 憲 児*¹ 青木 美 昭*²

近 藤 文 男*³

エアコン製作所 新 田 堯*⁴

送風機のなかでも多翼送風機は、家庭用から業務用まで用途が広い。低騒音化を行うには、送風機の内部流動状況を把握する手法の確立が必要である。多翼送風機の低騒音化にあたり、ポリスチレン粒子を用いた三次元流動可視化、レーザドップラー流速計 (LDV) による吸込み流れの分析、熱線流速計による翼後流幅計測からの音響エネルギー分布の推定、及び塩化ビニルシートを用いた音響透過膜による音源探索を行った。この結果、各仕様点での流動状況の把握とともに、騒音発生源の推定が可能となった。

Among different kinds of fans, the multiblade fan is widely used in air conditioners. In the development of air conditioner, reduction of a fan noise, which is a major noise sources, is a most important item. In the case of the fan noise reduction, the flow in a casing must be found clearly at each operation point. In this paper, the three-dimensions visualization by using polystyrene particles which was useful to observe the flow in the casing and the sound source search using a permeable sheet, which was a film of vinyl chloride, are described. We analyze the inflow to a casing using LDV and estimate the distribution of sound power energy from wake width, which are measured by the hot wire anemometer.

1. ま え が き

空調機の室外機には、主に軸流ファンのプロペラファンを用いている。家庭用室内機の壁掛タイプには横流 (または貫流) ファンのタンゼンシャルファンを、業務用では、四方向吹き天井機にターボファンを、それ以外には多翼送風機 (以後シロッコファ

ンと称す) を用いている。

送風機の使い分けは、空調機の気流の流入出方向、必要静圧や風量、寸法により適正なものを選定している。なかでも、図1に示すようにシロッコファンは用途が広く、図2に示すように一つのファン特性上に大流量領域から高静圧領域まで、各作動点をとることができる。

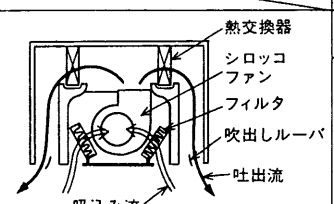
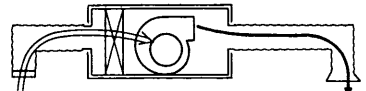
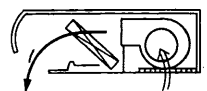
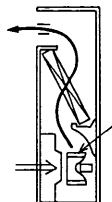
ユニット	年	82	83	84	85	86	87	88	89	90	91	92	93	12年間での 低減量 (dB(A))
天井埋込形 2方向吹き 				-3		-1			-3				-3	-10
高静圧ダクト形 											-7			-7
天吊形 			-2		-1				-4					-7
床置形 													-7	-7

図1 多翼送風機の使用状態と騒音トレンド 直吹き、ダクト吹きなど様々な使用状態で使われて、開発ごとに1~3 dB(A)低減しており、過去12年間で約7~10 dB(A)低減している。

Specifications of multiblade fans and noise reduction trends of package air conditioners

*¹ 名古屋研究所機械物理研究室

*³ 名古屋研究所機械物理研究室主務

*² 名古屋研究所機械物理研究室主任

*⁴ 技術部開発技術グループ長

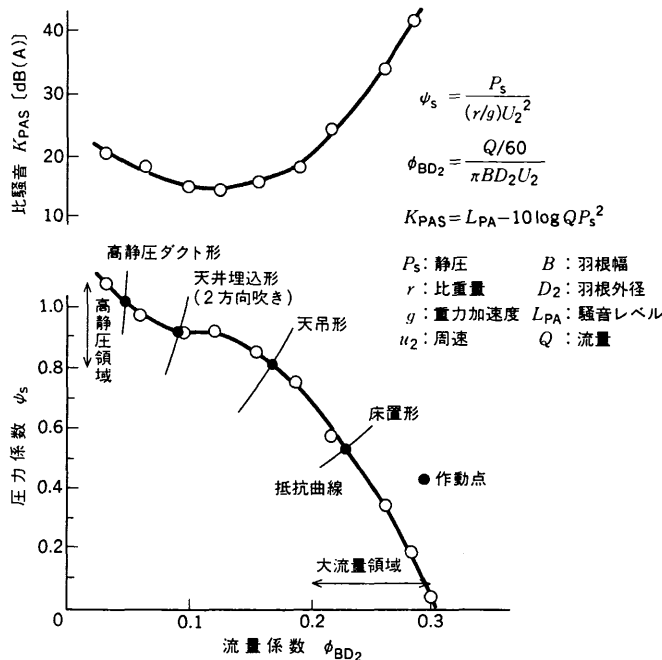


図2 多翼送風機の作動点比較 使用の違いにより作動点も様々の点で運転される。
Comparison of operation points on multiblade fan

送風機の低騒音化では、流動解析や内部流動可視化及び計測を実施しながら、流動特性を把握して改良を行っている。しかし、シロッコファンは三次元の複雑な流れを有し、羽根枚数の多い薄翼のため解析による流動分析は難しい。今後流動解析によるシロッコファンの低騒音化を行うために、作動点の違いによる内部流動の状態を把握し、騒音発生の原因を捕える可視化や、騒音発生源の探索手法の確立が重要となる。

本報では、シロッコファンを対象とし内部流動状態の分析手法として、ポリスチレン粒子を用いた三次元可視化や、LDVによる吸込み流れの流動計測、熱線流速計による翼後流幅計測による音響エネルギー分布の推定、及び塩化ビニルシートの音響透過膜を用いた音源探索手法について述べる。

2. 業務用空調機の騒音トレンド

業務用空調機の騒音トレンドを図1に示す。

過去12年で約7~10 dB(A)の低騒音化を図ってきた。

さらに、快適環境の観点から低騒音化の要求が強まっている。

3. 多翼送風機の内部流動の分析

3.1 可視化による全体のフローパターンの把握

送風機の流動は、タンゼンシャルファンの特別なものを除いてすべて三次元性が強く、三次元可視化手法の確立が重要である。図3に示す可視化は、比重約1.04の発泡ポリスチレン粒子をトレーサとして、供試体のシロッコファンを水中にて運転させた場合の例である。

ノーズ部から流入した流れ(A→)は、主板部から流出してケーシングに沿って流れ、吐出口壁面を通過して吐出される。このとき、主板からベルマウス側に大きく偏向して流れる。一方、ケーシングの巻き面の中から流入する流れ(B→)は、ノーズ部からの流入よりも若干ケーシングの内側を流れる。吐出口近傍から流入した流れ(C→)は、吐出口から出ていくものと、ノーズ部のすきまを通過して再びケーシング内に戻る流れが存在する。ノ

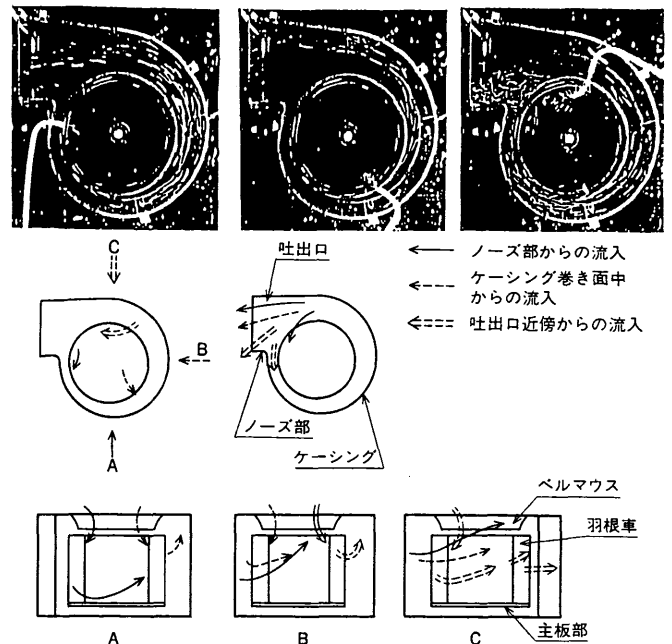


図3 トレーサ粒子法による可視化結果 流入箇所の違いによりケーシング内の流動経路が異なる。
Visualization of flow in casing with particle traser method

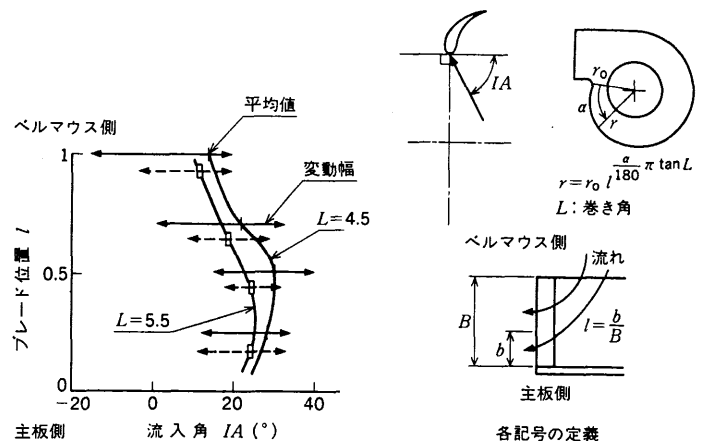


図4 LDVによる翼への流入角計測結果 ファン軸方向に流入角が異なり、変動幅はベルマウス側の方が大きい。
Results of inlet flow angle to blades with LDV

ーズ部では、流れが大きく乱れており騒音発生源の一つとなっていることが分かる。

3.2 レーザドップラ流速計 (LDV) による吸込み流れの分析

LDVは流れ場を乱さない非接触の計測法であり、現在アルゴンイオンレーザで最大出力4 Wの三次元LDVを活用している。

図4はLDVによる吸込み流れの相対流速と周速との成す角IAを、主板からベルマウス側の4箇所の、ノーズ部から吐出口にかけての5箇所の平均で示したものである。また、図4ではケーシングの大小(ケーシングの巻き角L=5.5とL=4.5で巻き角L=5.5の方がケーシングは大きい)による影響を比較している。ケーシングの大きいものは、空力特性も良く騒音も小さいことが分かる。この主要因として、流入角IAの主板側からベルマウス側にかけての変化及び、変動幅が小さいため、翼の前縁はく離による渦放音音が小さくなると考えられる。このようにケーシングの大きさが羽根車の上流の吸込み流れの流入角IAにも影響

していることが分かる。流入角 IA は主板からベルマウス側にかけて小さくなるが、翼の断面形状はどの断面でも同一形状である。同一翼断面では流入角 IA の変化に対応ができず、前縁はく離を起こし渦放出による騒音増大の原因となる。これらの計測結果から翼への迎え角を $0 \sim 10^\circ$ に抑え前縁はく離の低減による低騒音対策を行うために、図5に示すように主板側からベルマウス側にかけて 15° 翼をねじったものと、主板とベルマウスの中間部分からベルマウス側にかけて 15° ねじった翼形状を考案した。従来のひねらない翼形状とのファン特性の比較結果を図5に示す。

新しく考案した二つの翼形状は、いずれも大流量領域では騒音低減効果がないが、高静圧領域では、騒音レベルの低減及び最高効率も若干向上することが分かる。

3.3 音響透過膜を利用した音源探査

ランダムな圧力変動による広帯域騒音の発生機構⁽¹⁾は下記の三つである。

- (1) 放出渦によるもの
- (2) 主流の乱れによるもの
- (3) 境界層の圧力変動によるもの

特に、空調機の送風機の騒音発生は、放出渦に起因するものが主であり、低騒音化にはこの放出渦の低減が重要である。

深野らは簡易な物理モデルで音響エネルギー e を表現するため、羽根枚数 B 、後流幅 D を用いて次式を提案している⁽²⁾。

$$e = \frac{\pi B \rho_0}{2400 a_0^3} \int_{\text{span}} DW^6 dx \quad (1)$$

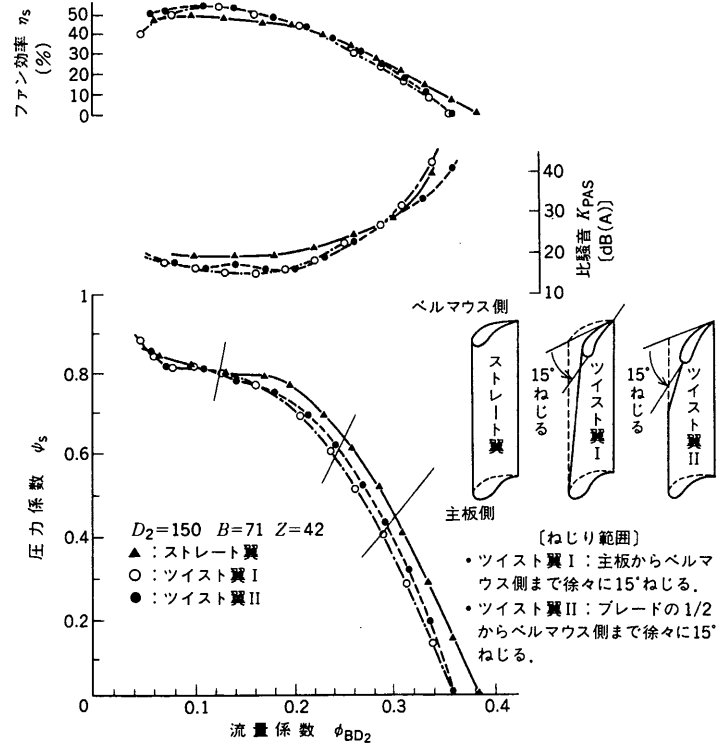


図5 迎え角の適正化による低騒音化 ファン軸方向の迎え角変化に対応した翼形状で、低騒音効果が確認できた。
Noise reduction of fan by suitting blade shape to inlet flow directions

ここで

ρ_0 : 空気平均密度

a_0 : 空気中の音速

W : 相対速度

本報ではさらに式(1)を簡略化して、騒音エネルギーが後流幅 D の1乗と相対速度 W の6乗に比例することに着目する。ここで見かけの音響エネルギー e_t を次のように定義し、簡易に騒音発生源の予測を行う。

$$e_t \propto \frac{D}{T} \left(\frac{W}{u} \right)^6 \quad (2)$$

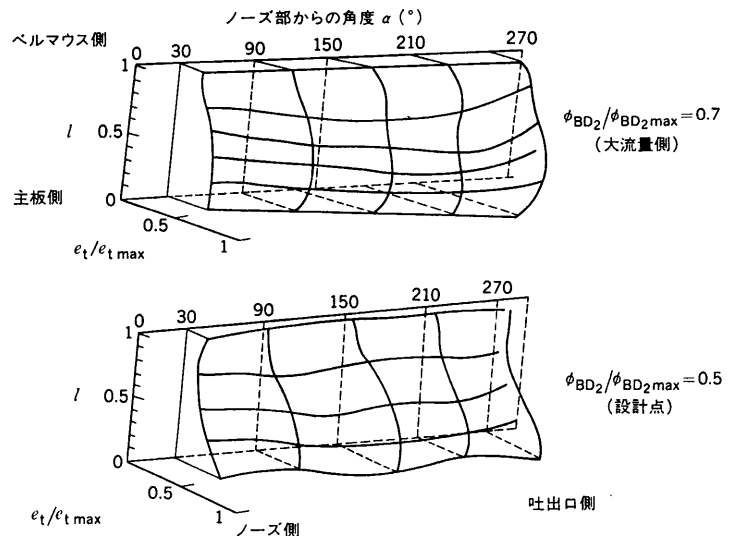
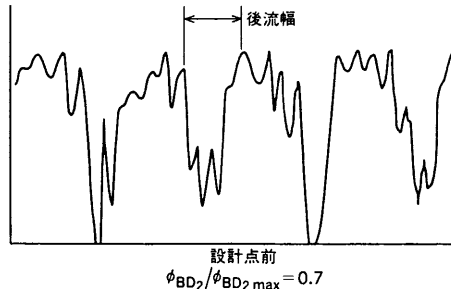
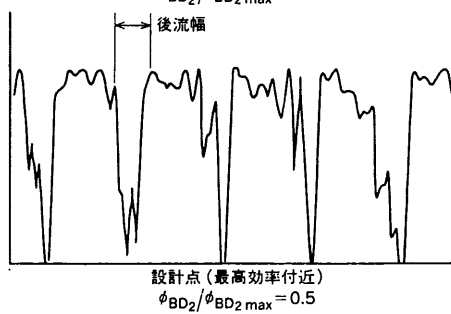
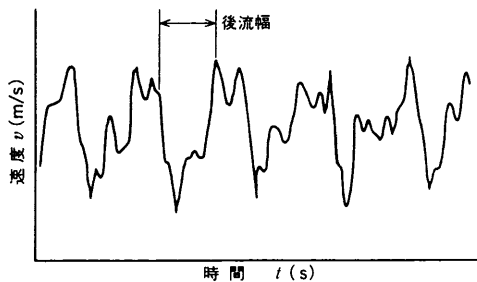


図6 熱線流速計による翼出口の流速波形と音響エネルギー分布一分布が異なる。

Velocity wave trend of outlet blade flow by thermo velocity meter and distributions of acoustic energy

設計点をずれると翼後流幅が増大し作動点によって音響エネルギー

ここで、

T : ブレードとブレードのピッチ

u : 周速

図6は翼後流の流速波形計測結果の一部である。設計点の $\phi_{BD2}/\phi_{BD2max}=0.5$ は規則正しい波形がサイクリックに現れているが、高静圧側の $\phi_{BD2}/\phi_{BD2max}=0.3$ では波形が崩れており、後流幅が増大しているのが分かる。図6は速度波形から得られる後流幅計測結果を式(2)に代入して見かけの音響エネルギー e_l を算出した結果である。

設計点 ($\phi_{BD2}/\phi_{BD2max}=0.5$) では、ノーズ部から吐出口にかけて徐々に e_l が大きくなっており、しかも主板側が大きいことが分かる。一方、設計点より大流量側 ($\phi_{BD2}/\phi_{BD2max}=0.7$) も主板側が大きい、全体的に吐出口にかけて音響エネルギー分布が大きくなり、吐出口からの騒音発生があることが分かる。

騒音発生源を探る手法として上記のように、後流幅を計測して音響エネルギーを間接的に推定する手法と、音圧レベルを直接マイクロフォンで計測する手法が考えられる。なお後者の場合、空力特性に影響を与えず、音圧レベルのみをケーシングの外表面から計測する必要がある。このためには、送風機騒音レベルを決めている 500 Hz 以上の周波数で、音の透過性の良い膜を用いなければならない。図7に示す音の透過率を有する 10 μm の厚みの塩化ビニルシートは、500 Hz 以上の周波数で音の透過率が 0.9 以上あり、音響透過膜として十分であることが分かる。音圧計測用の穴の空いた、ケーシングの内側にこの膜を均一に張り、実運転状態でのケーシング内の音圧レベルの直接計測法を試みた。

図7は騒音レベルの over-all 値を示す。設計点での音圧分布は、主板側で音圧レベルが大きく、熱線流速計による後流幅計測結果の音響エネルギーの大きい場所との対応が見られる。また、作動点が変わると音圧レベルの大きい箇所も変化しているのが分かる。特に設計点より大流量側では吐出口近くでの音圧レベルが大きく、後流幅計測による音響エネルギー分布と同様の傾向を示す。高静圧側では、際立った騒音発生領域（騒音レベルの大きい領域）は表われておらず、羽根車全体が騒音発生源となっており、失速により後流幅の増大が全体に及んでいることが推測できる。

後流幅計測は流れ場に直接熱線プローブを挿入するため、流れと騒音との相関を正確には把握できない。また、音圧の直接計測は流れ場への影響はないが、ケーシングの外から計測するため、音源からの距離が必要で音源探査の分解能には限界がある。以上のデメリットはあるが、両者の騒音発生源推定に良い対応があり、精度向上と使用限界を明確にしていくことで、流れ場と騒音発生の相関分析を行う有効的な手法となる。

4. ま と め

本報では騒音低減を行うために必要な、内部流動分析のため三次元可視化及び音源探査等を行い次のことが分かった。

- (1) 翼への流れの流入角変化に対応するように、主板からベルマウス側にかけて徐々に翼入口角度を小さくすることが、前縁はく離を低減し、騒音発生エネルギーの大きい渦放出音低減に効

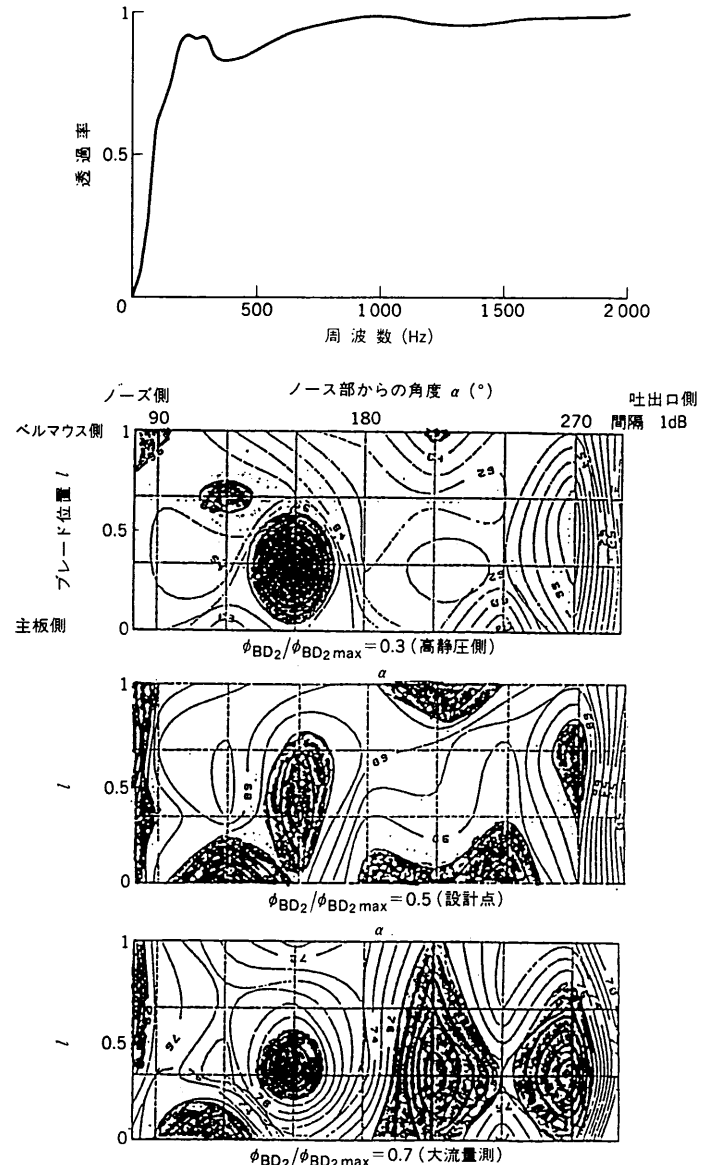


図7 ポリ塩化ビニルの透過率 500 Hz 以上の周波数での透過率は 0.95 以上で、音響透過膜として使用可能。また、作動点により音圧分布が異なり、騒音発生源に変化が見られる。
Permeability of poly-vinyl chloride and comparison of distribution of acoustic intensity at three operating points

果がある。

- (2) 音響透過膜を用いた音圧分布計測法及び翼の後流幅と相対速度から求める渦放出音響エネルギー算出法は、騒音発生源探査結果に対応が見られ、それぞれ有効であることが分かった。

今後上記手法の展開と精度向上を図り、両者の組合せによる音源探査も行いながら、流れ場と騒音発生源の関係を明らかにして低騒音化を行っていきたい。

参考文献

- (1) Sharland, Sound & Vibr., 1-3 (1964) p.302
- (2) 深野, 低圧の軸流及び斜流送風機騒音の音圧レベルの予測, 日本機械学会論文集 B 51 巻 466 号 (昭 60.6)