

二重反転式軸流送風機の流体力学的特性と 騒音特性に関する実験的研究*

(第2報, 動翼枚数の組合せ, ソリディティおよび翼先端すきまの影響)

児玉好雄^{*1}, 林秀千人^{*1}

深野徹^{*2}, 田中清裕^{*1}

Experimental Study on the Characteristics of Fluid Dynamics and Noise of a Counter-Rotating Fan

(2nd Report, Effects of the Combination of the Number of Two Rotor Blades,
the Solidity and the Tip Clearance)

Yoshio KODAMA, Hidechito HAYASHI,
Tohru FUKANO and Kiyohiro TANAKA

The effects of three parameters, such as the combination of the number of blades of a front rotor and a rear rotor, the solidity and the blade tip clearance, on both the fluid dynamic and noise characteristics were experimentally investigated. As a result it was concluded that the noise due to the interaction between the front rotor and the rear rotor blades can be reduced if the combination of the number of two rotor blades is well selected. When the solidity of the two rotors was the same, the total pressure coefficient became high and the specific noise level low. The smaller the tip clearance was, the higher the fan efficiency and the total pressure coefficient were.

Key Words: Fluid Machine, Fluid Dynamic Characteristics, Counter-Rotating Fan Noise, Tip Clearance, Combination of Number of Two Rotor Blades

1. ま え が き

二重反転式軸流送風機は前段と後段の動翼を互いに逆方向に回転させる方式の送風機で, 通常の前・後段動翼が同方向に回転する二段式送風機よりも効率や圧力が高いという長所がある。その反面騒音が高い。著者らは二重反転式軸流送風機の騒音特性と流体力学的特性の改善を目的として, 第1報では2個の動翼の軸間距離, 電動機の支持形態の影響を調査した。さらにそれらの特性について通常の二段方式軸流送風機との比較検討も行った。この結果, 二重反転式軸流送風機では基本周波数の2, 4, 6, …と偶数倍の周波数に高い音圧レベルのピークが見られ, Fujiiら⁽¹⁾の基本周波数とその高調波にいずれも高い音圧レベルを有す離散周波数騒音が見られるという自由空間における結果と異なっていた。この差異は管内での音の減衰⁽²⁾⁽³⁾にあると考えられるが, 二重反転式軸流送風機については明確でない。

本研究はこのような背景に立脚して, 前・後段動翼

の翼枚数の組合せおよびソリディティが回転騒音(干渉騒音)および流体力学的特性に及ぼす影響について実験的に究明したものである。また流体力学的特性と騒音特性の改善策についても言及する。

2. おもな記号

a_0 : 音速 m/s

B_F : 前段動翼枚数

B_R : 後段動翼枚数

C : 翼弦長 mm, m

D_R : 動翼直径 m, mm

f : 周波数 kHz, Hz

H : 圧力ヘッド mmAq

h : スパン高さ mm

k : 整数

K_s : 比騒音レベル dB

L : 軸動力 kW または動翼間の距離 m, mm

m : ロブ数

M_m : ロブ数 m の先端マッハ数

M_m^* : 臨界先端マッハ数

n : 高調波の次数

N : 回転数 rpm

P_T : 送風機全圧 Pa

* 平成5年3月17日 日本機械学会九州支部第46期総合講演会において講演, 原稿受付 平成5年12月24日。

^{*1} 正員, 長崎大学工学部 (〒852 長崎市文教町1-14)。

^{*2} 正員, 九州大学工学部 (〒812 福岡市東区箱崎6-10-1)。

- Q: 送風機流量 $m^3/s, m^3/min$
- R: 半径方向の距離 m, mm
- R_0 : 動翼外半径 m, mm
- \bar{s} : 平均翼先端すきま mm
- U_0 : 動翼外縁の周速度 m/s
- V: 絶対速度 m/s
- V_a : 絶対速度の軸方向成分 m/s
- V_u : 絶対速度の円周方向成分 m/s
- W_1 : 入口相対速度 m/s
- Z: 軸方向距離, 音源と観測点との軸間距離 m, mm
- η : 電動機と送風機の総合効率
- λ : 動力係数
- ν : ハブ比
- ρ : 空気の密度 kg/m^3
- ϕ : 流量係数
- ψ : 圧力係数

3. 実験装置および方法

図1は二重反転式軸流送風機(CRファンと呼ぶ)の実験装置の概要を示したものである。装置の全長は約11mで、吸込口には長さ0.37mのベルマウスが、長さ約10mの吐出し管にはJIS規格に従って整流格子、流量測定用のオリフィスおよび静圧孔が、また出口には流量調整用のダンパが設置されている。

図2は供試羽根車を示したものである。この羽根車の翼はクラークY形に近く、アルミニウム合金で造られている。羽根先端とボスの直径はそれぞれ600mmと230mm、ハブ比は0.38である。また、任意に取付角を変えることが可能である。

通常、平均の翼先端すきま \bar{s} は約2.5mmであるが、ダクトを修正して1mmとしたものもある。二重反転式ファンの動翼組合せとしては、前段枚数9枚、後段枚数9枚の市販品のCR99ファン、前段枚数はそのままにして後段枚数を7枚にして配置したCR97ファン、逆に前・後段枚数をそれぞれ7枚、9枚に配置したCR79ファン、前・後段枚数を9枚と5枚および5枚と9枚にしたCR95、CR59ファン、前段枚数9

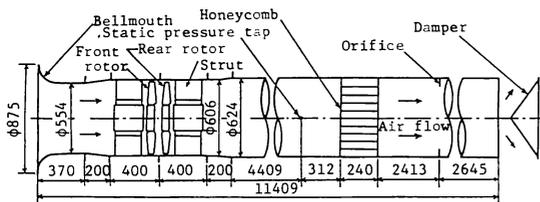


図1 実験装置の概要

枚、後段枚数を7枚にして後段動翼のソリディティを前段と同じにしたCRW97ファンの6種類がある。前段動翼後縁と後段動翼前縁の軸間距離 L は翼先端でいずれの場合も80mmである。表1は9枚動翼の主要諸元を示したものである。なお、各角度は軸方向から測定したものである。また、前段動翼と後段動翼とはねじれが逆のほか後段動翼の食違い角が4°だけ大きい。

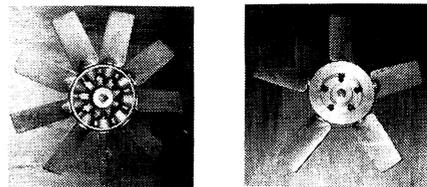
表2は各羽根車のピッチとソリディティを示したもので、7(W)枚翼羽根車は9枚翼羽根車とソリディティが同じになるように9枚翼羽根車よりも弦長を長く

表1 動翼諸元(9枚羽根)

| | Tip | Mean | Hub |
|--------------------|-------|-------|-------|
| Radius mm | 300 | 227 | 115 |
| Stagger angle | 60° | 53° | 42.5° |
| Blade inlet angle | 67.5° | 60.5° | 50° |
| Blade outlet angle | 56.5° | 49.5° | 39° |
| Chord length mm | 86 | 96.5 | 76.3 |
| Pitch mm | 209.4 | 158.6 | 80.3 |
| Solidity | 0.41 | 0.61 | 0.95 |

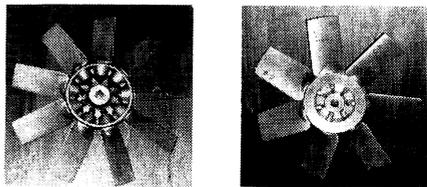
表2 各動翼のピッチとソリディティ

| Impeller | Pitch mm | | | Solidity | | |
|-------------|----------|-------|-------|----------|------|------|
| | Tip | Mean | Hub | Tip | Mean | Hub |
| 9 blades | 209.4 | 158.6 | 80.3 | 0.41 | 0.61 | 0.95 |
| 7(W) blades | 269.2 | 203.9 | 103.2 | 0.41 | 0.61 | 0.95 |
| 7 blades | 269.2 | 203.9 | 103.2 | 0.32 | 0.47 | 0.74 |
| 5 blades | 376.9 | 285.5 | 144.5 | 0.23 | 0.34 | 0.53 |



(a-1) 前段動翼 (a-2) 後段動翼

(a) CR95ファン



(b-1) 前段動翼 (b-2) 後段動翼

(b) CRW97ファン

図2 供試羽根車

している。

翼まわりの流れは五孔球形ピトー管を用いて、動翼の前縁と後縁よりそれぞれ 10 mm だけ前方と後方の断面を半径方向に 10 mm 間隔で計測した。騒音測定は通常は送風機の軸中心上のベルマウス端から 1.5 m 上流の点に設置した 1/2 マイクロホン付き精密騒音計で行い、その出力信号を FFT アナライザで周波数分析した。一方、音の軸方向減衰特性の測定は延長コードの先端にノーズコーン付きマイクロホンを取付け、これを管内に挿入して行った。

4. 実験結果および考察

4・1 空力特性 図3は二重反転式軸流送風機の特性曲線に及ぼす動翼枚数の影響を回転数 N が約 1500 rpm について示したものである。図3中の B_F と B_R はそれぞれ前段動翼枚数と後段動翼枚数を示している。また、 ψ , ϕ , λ および η_T はそれぞれ圧力係数、流量係数、電動機の動力係数および電動機と送風機の総合効率であり、次式で与えられる。

$$\left. \begin{aligned} \psi &= 2Pr/\rho U_0^2, \quad \phi = 4Q/\pi(1-\nu^2)D_k^2 U_0 \\ \lambda &= 8L/\rho\pi(1-\nu^2)D_k^2 U_0^3, \quad \eta_T = \phi\psi/\lambda \end{aligned} \right\} \dots\dots(1)$$

CR 99, CR 97, CR 95 ファンと比較から、後段側の動翼枚数を単に少なくすると、枚数の減少に伴って圧力係数と動力係数はともに減少すること、圧力係数の極大点と極小点で示されるサージング開始点と終了点とともに動翼枚数が少ないほうが低流量側にくるが、その区間で表されるサージング領域の広さにはほとんど

差がないこと、最高効率も変わらないことなどがわかる。一方、前・後段動翼のソリディティを同じにした CRW 97 ファンでは流量係数が約 0.3 以上では CR 99 ファンと圧力係数はほぼ同じであるが、これより流量係数が小さい流量域では前者のほうが高い。また、効率は全流量域で高いことがわかる。これは CRW 97 ファンの場合、後段動翼の弦長を長くしたことにより翼面上の流れが多少改善されたためと思われる。図は省略しているが、CR 79 と CR 59 ファンの特性はそれぞれ CR 97 および CR 95 ファンとほとんど同じであり、前・後段の羽根枚数の組合せの順番には関係ないことが明らかとなった。

図4は翼先端すきま \bar{s} がファンの流体力学的特性に及ぼす影響を $\bar{s}=1\text{ mm}$ (○印) と 2.5 mm (△印) について示したものである。図4から明らかなように、先端すきまを狭くすれば(○印)、効率は高くなり、最高効率点では約8%の差が生じ、圧力係数は全流量域で高くなる。これは先端すきまが小となるにつれて、翼先端からの漏れ流量が減少するためである⁽⁶⁾。また、サージング領域も前者のほうが狭く、前者のほうが良好なファンといえる。

4・2 動翼まわりの流動様相 図5(a)~(c)は前・後段動翼の翼入口と出口で計測した絶対速度の軸方向と接線方向の速度成分 V_a と V_t を最高効率点について示したものである。図5中の○印, △印, □印, +印および▽印はそれぞれ CR 99, CR 97, CR 95, CRW 97 および CR 59 ファンの結果である。また、図

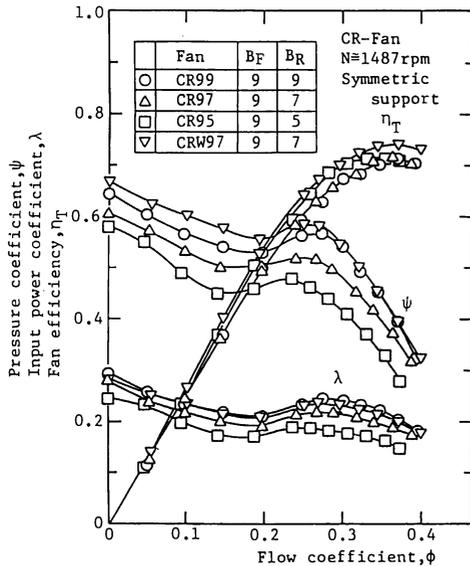


図3 動翼枚数が特性曲線に及ぼす影響

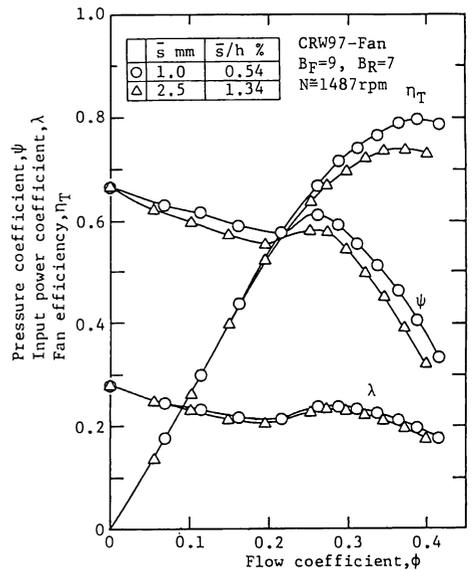


図4 翼先端すきまが特性曲線に及ぼす影響

5 (a)は前段動翼入口, 図5 (b)は前段動翼出口, 図5 (c)は後段動翼出口の各測定断面の結果を示している。図5 (a)はハブ近傍を除いて軸流速度は断面にわたってほぼ一定で, 接線方向分速度はほぼ零であり, ファンによる差異は小さいこと, 図5 (b)から軸流速度分布が入口ほど一様でなくなり, 羽根先端部では流れと壁面境界層のため, ハブ近傍では電動機のブロック効果と壁面の境界層のために, 速度の低下が見られること, 前段動翼枚数が9枚のCR95ファン(□印)と5枚のCR59ファン(▽印)とでは前者が羽根枚数が多く, 滑りが小さくなるため接線方向分速度 V_u の値はわずかに高くなること, などがわかる。

図5 (c)の後段動翼出口において, 軸流速度 V_a の $R=200$ mmからハブへ向かっての速度の低下の割合は, 前段動翼出口の場合より大きい。 V_u はハブ近傍では回転方向と逆向きの流れとなるが, $R=200$ mmより翼先端側では, CR99ファン(○印)およびCRW97ファン(+印)ではほとんど零であり, またソリディティ

ィが前段側で大きいCR97(△印)とCR95ファン(□印)ではわずかに回転方向, 逆にソリディティが後段側で大きいCR59(▽印)では逆向きの流れとなる。

以上の結果から前・後段のソリディティが同じCR99ファンとCRW97ファンの場合はハブ近傍を除いてほしい設計どりの流れをしていることがわかる。他のファンでは図5 (c)で示されるように施回成分が多少あり, わずかに設計点からはずれる傾向が見られる。

図6には計測した絶対速度と角度に基づいて, 速度三角形より算出した入口相対速度を示した。図6中の実線は前段動翼入口を, 点線は後段入口を表している。前段入口では動翼枚数による差異はほとんどないが, 後段入口では動翼枚数による差異が見られる。すなわちCR95ファン(□印)とCR59ファン(▽印)の比較から明らかなように, 前・後段の動翼枚数の和が同じ場合には後段枚数を多くしたほうが後段入口における相対速度は小さくなる。このことはファンの音響出力が相対速度の六乗に比例することを考慮すれば, 後者のほうが有利に思われる。ただし, 騒音のエネルギーが動翼枚数や後流の幅にも比例すること⁽⁵⁾⁽⁶⁾も忘れてはならない。

4.3 ファン騒音

4.3.1 全帯域騒音

図7は全帯域音圧レベルの流量による変化を示したものである。図7中の白抜き記号は騒音計のL特性[SPL(L)で略記]で, 黒塗りの記号はA特性[SPL(A)で計測した結果である。CR97, CR95およびCR59ファンはいずれもCR99ファンより全流量域において音圧レベルが低く, 前・後段の動翼枚数を互いに素数にすれば, 全域騒音が低下することがわかる。これは図10(a), (b)の騒音のスペクトル密度分布と図10(c)のそれとの比較からわかるように, 動翼枚数が同じ場合には, 主として二次, 四次, 六次…の羽根通過周波数の高調波の音圧レ

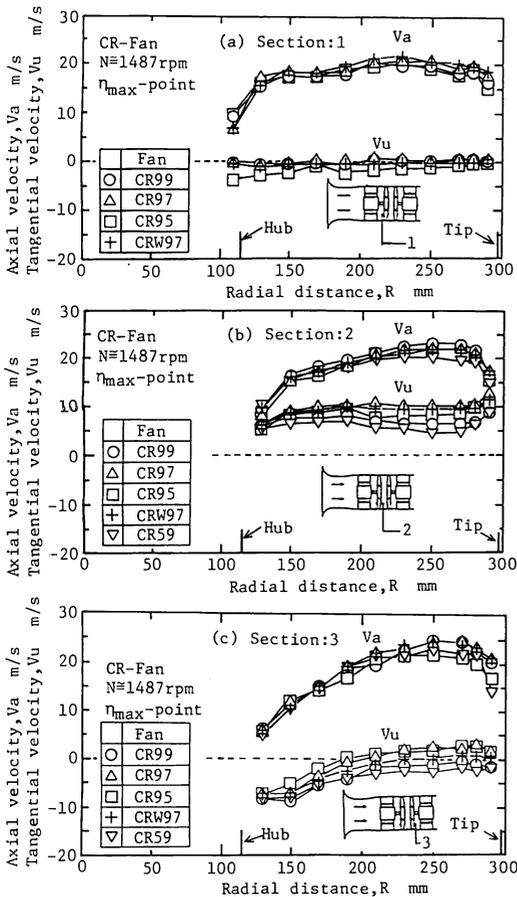


図5 動翼枚数が速度分布に及ぼす影響

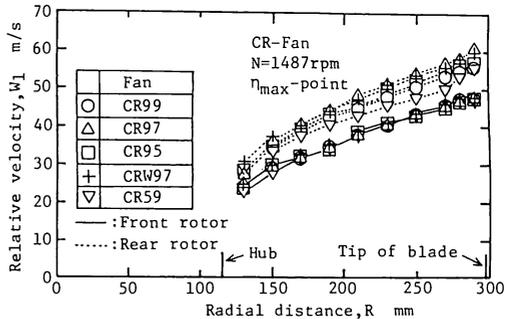


図6 各種ファンの入口相対速度

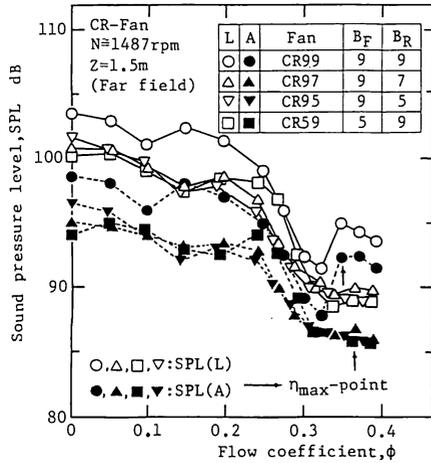


図7 各種ファンの全帯域騒音の流量変化

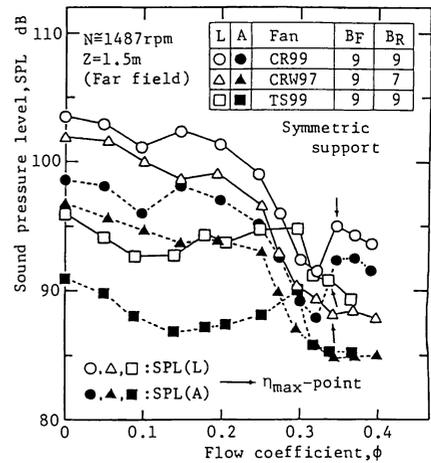


図8 全帯域騒音の流量特性(等ソリディティ動翼)

ベルが高くなるためである。前・後段の動翼数の和が同じとき、前・後段のどちらの枚数を多くしたほうが騒音の面から有利であるかは興味あるところである。図7のCR95ファンとCR59ファンの比較から、流量係数が0.23~0.26の限られた流量域では前者が後者より低いことを除けば、両者はほとんど同じ値を取ることがわかる。また、CR95ファンとCR97ファンとでは差はほとんど見られない。これは図10のスペクトル密度分布を参照すれば明らかなように、CR99ファンを除けば、離散周波数騒音が低く、ファン騒音の主たるものは広帯域騒音(乱流騒音)であり、この騒音は前述したように相対速度の六乗、動翼枚数および後流の幅に比例するがこれらの積が羽根車によって差がなかったためと考えられる。一般的に全帯域騒音は流量係数が減少するに従って増加しているが、これは流量を絞ることによって流れが翼に沿わなくなり、翼面上の境界層が発達し、乱流騒音が増加するためである⁽⁵⁾。

図8はソリディティを一定としたCR99ファンとCRW97ファンについて騒音の流量特性の差異を示したものである。図7の場合と同様に前・後段の動翼枚数の組合せを素数にしたCRW97ファンの全帯域騒音が低いことがわかる。このほか、後段動翼のソリディティが大きいCRW97ファンはCR97ファン(図7)よりも最高効率点近傍の騒音が低くなり、さらに低騒音の流量域が広がる傾向が見られる。図8中には参考までに□印と■印でTS99ファン(二段方式)の結果も併記している。この図8から、SPL(L)、SPL(A)ともに流量係数が0.27~0.4の設計点を含む流量域ではCRW97ファンがTS99ファンより騒音が低

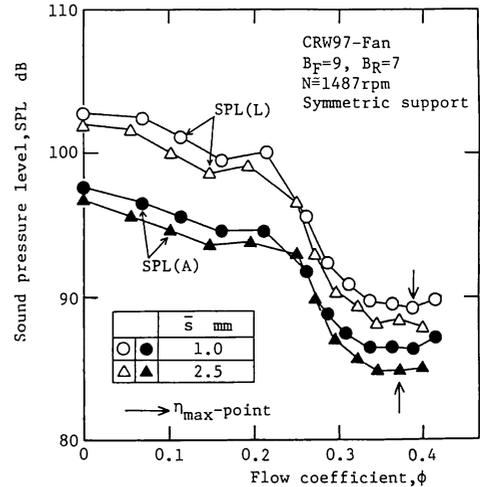


図9 全帯域騒音に及ぼす翼先端スキマの影響

いことがわかる。しかしながら、流量係数が0.27以下になると後者のほうが低くなる。また、CRW97ファンにおいて翼先端スキマ \bar{s} が騒音に及ぼす影響を調査した結果、 $\bar{s}=1$ mmと $\bar{s}=2.5$ mmとでは離散周波数騒音における差異はほとんどなかった(図省略)。また、全流量域における全帯域騒音についても図9に示すように差異は1 dB程度である。

図9は翼先端スキマが送風機的全帯域騒音に及ぼす影響を $\bar{s}=1.0$ mm(○, ●印)と $\bar{s}=2.5$ mm(△, ▲印)について示したものである。図9中の白抜き記号(○, △印)は騒音計のL特性での、黒塗りの記号(●, ▲印)はA特性での測定結果を表している。いずれの場合も $\bar{s}=1.0$ mmのファンが2.5 mmのファンよりも音圧レベルが全流量域において約1 dB高いことが

わかる。これはベルマウス入口端から前・後段動翼後縁までの距離が約0.93 m および1.1 m と比較的時間のため、先端すきまが狭いほど両動翼の翼先端部分が壁面上に発達する乱れた境界層内に入る割合が多くなり、翼に流入する乱れに起因する乱流騒音が増加したことおよび翼の先端近傍で $\bar{s}=1\text{ mm}$ のほうが相対速度が大きいこと(図省略)が主因と考えられる。

4・3・2 騒音のスペクトル密度分布 図10(a)～(c)はそれぞれCR 97, CR 97 およびCR 99 ファンの最高効率点における騒音のスペクトル密度分布を示したものである。CR 79 ファンでは171 Hz 近傍に、CR 97 ファンでは223 Hz 近傍に音圧レベルのピークが見られる。動翼の回転数は約1490 rpm であるのでこれらのピークの周波数はいずれも前段動翼の羽根通過周波数である。この音の発生原因としてダクトのひずみと動翼との干渉あるいは動翼に流入する偏流と動翼との干渉が考えられる。また、図10(c)の前・後段の動翼枚数が等しい場合には羽根通過周波数のほか、その二次、四次、八次…にも音圧レベルのピークが見られるが、図10(a)と図10(b)ではそれらの高調波

のピークはほとんど見られない。このことより、前・後段動翼枚数の組合せを素数にすることによって動翼間の干渉騒音を低減させることができることがわかる。

4・3・3 干渉騒音の軸方向減衰特性 Hanson によれば前・後段の動翼間の干渉騒音のモード m は前・後段の動翼枚数と回転数がいずれも等しい場合には式(2)で、回転数が等しく、動翼枚数が異なる場合には式(3)で与えられる⁽⁴⁾。

また動翼がダクトのひずみあるいは動翼に流入する流れの偏流と干渉する場合には干渉騒音のモードは式(4)で与えられる⁽⁶⁾。

$$m=(n-2k)B \dots\dots\dots(2)$$

$$m=nB_R-kB_F \dots\dots\dots(3)$$

$$m=nB+kV \dots\dots\dots(4)$$

ここで n は前段動翼における高調波の次数(1, 2, …), k は整数(…-1, 0, 1…), B は動翼枚数で、添字 F は前段, R は後段動翼を意味する。 V はひずみあるいは偏流のモード数である。一方、モード m の騒音の減衰は式(5)で与えられる⁽⁵⁾。

$$\Delta\text{dB}/\Delta X=8.68|m|[(M_m^*)^2-(M_m)^2]^{1/2}R_0 \dots\dots\dots(5)$$

$$M_m=nB2\pi R_0 N/(|m|a_0) \dots\dots\dots(6)$$

ここで ΔdB は音圧レベルの減衰量, Δx は軸方向の距離, M_m^* は臨界先端マッハ数, M_m は音圧モード m のマッハ数, R_0 は動翼の外半径。 n は高調波の次数, N は回転数, a_0 は音速である。なお、 M_m^* を求める式は原典⁽⁵⁾に記述されており、その値はボス比や m の値によって異なるが本実験範囲では1.15～1.55の範囲にある。(5)から明らかのように $|m|$ が小さいほど管内での減衰量は小さくなるので、吸込管が短ければ問題になる。

表3はCR 99 ファンに対して式(2)およびその他のファンに対して式(3)から算定した各ファンの干渉騒音の最小モード m を示したものである。表3に示すように B_F と B_R が等しいとき(CR 99 ファン)は二次、四次の高調波において $m=0$ となるが、 B_F と B_R の組合せが素数のときは $m=0$ のモードの音は発生しない。表3中の m の正と負の符号はそれぞれ圧力モードが後段動翼および前段動翼と同方向に回転することを

表3 式(2)と式(3)による干渉騒音モードの最小値

| n | CR99-Fan | | CR97-Fan | | CR79-Fan | | CR95-Fan | | CR59-Fan | |
|---|----------|---|----------|----|----------|----|----------|----|----------|----|
| | k | m | k | m | k | m | k | m | k | m |
| 1 | 0 | 9 | 1 | -2 | 1 | 2 | 1 | -4 | 1 | 4 |
| 2 | 2 | 0 | 2 | -4 | 2 | 4 | 1 | 1 | 1 | -1 |
| 3 | 1 | 1 | 2 | 3 | 2 | -5 | 2 | -3 | 6 | -3 |
| 4 | 2 | 0 | 3 | 1 | 5 | 1 | 2 | 2 | 7 | 1 |

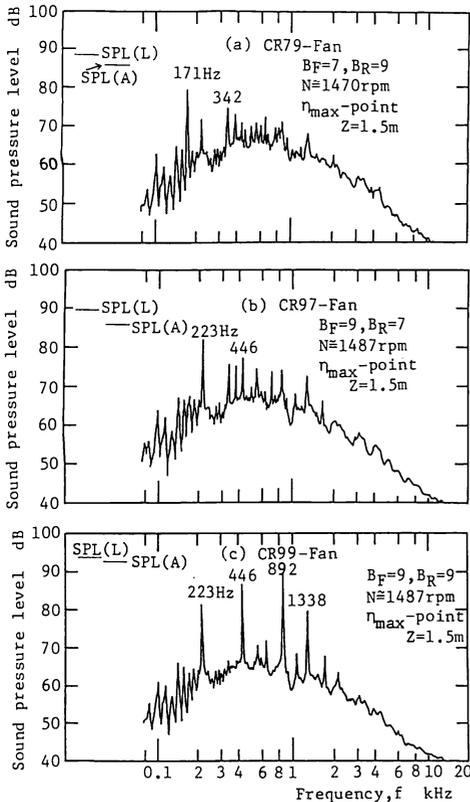


図10 騒音のスペクトル密度分布のファンによる差異

意味する。

図11はCR99ファンとCR99ファンについて羽根通過周波数音の基本周波数(○, ●印)とその倍音(△, ▲印)の軸方向減衰特性を示したものである。基本周波数騒音は動翼のすぐ近傍ではCR99ファンは $m=7$, CR99ファンは $m=9$ の理論減衰線に乗って減衰するが、 $Z=0.1$ 以上離れると $m=1$ の線に乗って減衰している。これはダクトが卵形にひずんでいる(実測で確認済み)ためである。卵形にひずんでいる場合 $V=2$ とみなせるから、式(4)に $V=2, n=1$ を代入すれば $k=-1$ のとき $m=-1$ となる。CR99ファンの $n=2$ の倍音(△印)について見てみると、動翼間の干渉騒音のモード m は表3で示したよう $k=2$ のときに $m=0$ となるため音の減衰は少ない。一方CR99ファンの m の最小モードは表3より $k=2$ のとき $m=4$ となり、▲印で示されるように動翼近傍では音は $m=4$ の理論減衰線に乗って減衰するが、前縁近傍から約0.3mより上流では音は減衰率が非常に小さい。この原因として、この場合は動翼間の干渉のほかに、式(4)で $n=2, B=7, k=-7, V=2$ を代入すれば明らかなように7枚の動翼とダクトのひずみとの干渉によって $m=0$ となる干渉騒音が発生していることがあげられる。

4.4 比騒音レベル 送風機の良否を判定する材料の一つに送風機騒音に全圧 P_t [Pa]と流量 Q [m³/min]を加味した式(5)で表される比騒音レベルがある。このレベルが低いほどすなわち流体力学的な性能と騒音性能の両者を加味した値が低いほど良好な送風機とされている。

$$K_s = \text{SPL} - 10 \log_{10}(QP_t^2) + 20 \dots\dots\dots (7)$$

図12(a), (b)はCR99, CR97, CR95, CRW97の4種類のファンの音圧レベルのLとAの両特性に基づ

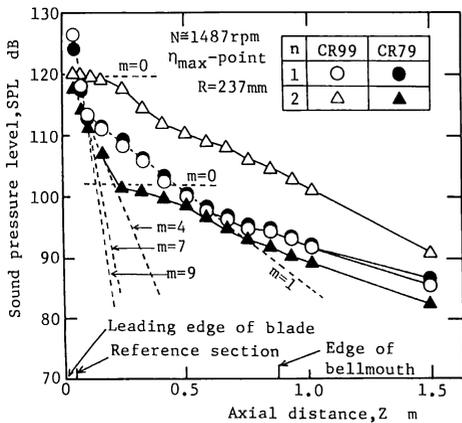


図11 回転騒音(干渉騒音)の軸方向減衰特性

づく比騒音レベル $K_s(L)$ と $K_s(A)$ を比較したものである。なお、参考までに通常の二段方式のファン(TS99)の結果(●印)も併記している。CR99ファンの場合は、前述したように動翼間の干渉騒音で $m=0$ のモードの音が発生するため、これが主たる原因となって全流量域にわたって $K_s(L), K_s(A)$ ともにすべてのファンの中でいちばん高い。前・後段動翼枚数の組合せを素数にした場合には、流量係数が約0.2~0.4の流量域でCR95, CR97, CRW97の順に両比騒音レベルは低い傾向があり、後段動翼のソリディティを前段動翼に近づけるほうがファンの特性改善の面から望ましいことが明らかとなった。また、流量係数が0.25以上の設計点を含む流量範囲ではCRW97ファン(▽印)がTS99ファン(●印)ファンよりも比騒音レベルは大幅に低下している。これらのことから一般的に前・後段動翼枚数の組合せを素数にして、両動翼

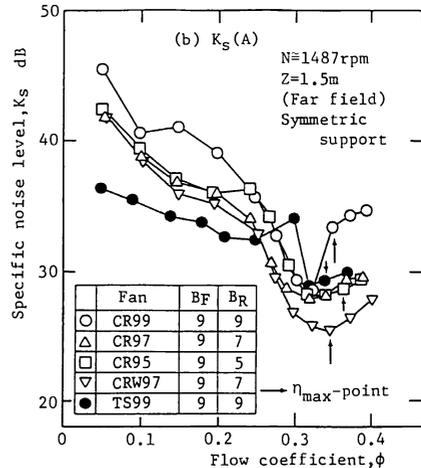
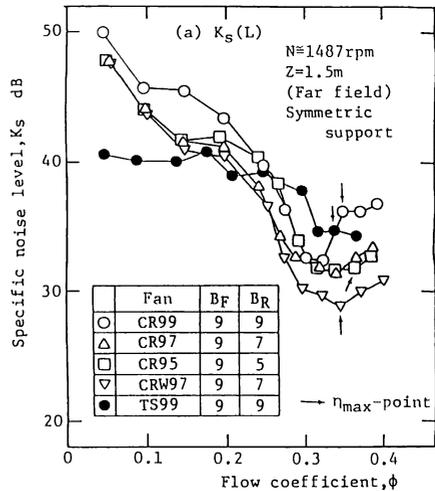


図12 比騒音レベルのファンによる差異

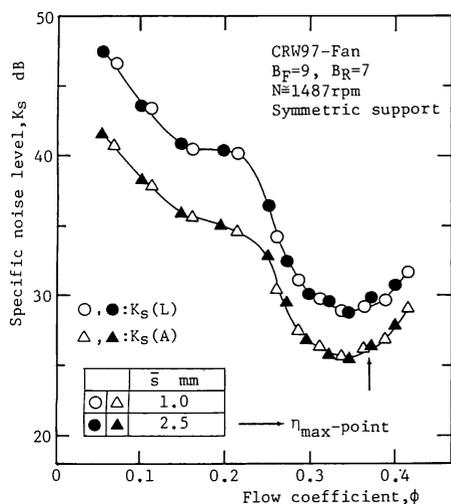


図 13 比騒音レベルに及ぼす翼先端すきまの影響

のソリディティを一致させれば、通常の二段方式よりも二重反転式のほうが比騒音レベルの面で勝るといえるであろう。

図 13 は平均翼先端すきま \bar{s} が比騒音レベルの流量特性に及ぼす影響を CRW 97 ファンについて示したものである。図 13 中の○印と●印は $K_s(L)$ を、また△印と▲印は $K_s(A)$ を表している。なお、白抜き記号は先端すきまが 1 mm の場合、黒塗りの記号は 2.5 mm の場合である。図 13 から、先端すきまが 1 mm と 2.5 mm のファンとでは比騒音レベルにおいて差はないことがわかる。これはファンの圧力(図 4)、騒音(図 9)ともに $\bar{s}=1$ mm のファンが $\bar{s}=2.5$ mm のものより高いためである。

5. 結 論

本研究では二重反転軸流送風機の前・後段動翼の翼枚数の組合せ、ソリディティおよび翼先端すきまが流体力学的特性と騒音特性に及ぼす影響を実験的に調べた。その結果以下の結論を得た。

- (1) 前・後段動翼の翼枚数を互いに素数にするこ

とによって、動翼間の干渉騒音を大幅に低減することができる。本実験では前・後段の動翼枚数が同じ CR 99 ファンに比べ、全流量域で全帯域騒音は約 3~7 dB 低下する。一方、翼弦長を変えずに、単に前段か後段の動翼枚数を少なくした場合には、枚数が少なくなるほど圧力係数が低下する。本実験範囲では、翼枚数はファン効率にほとんど影響しない。

(2) 後段動翼の翼枚数を 7 枚にしてソリディティを 9 枚羽根の前段動翼と同じにした CRW 97 ファンでは、前後段とも翼枚数が 9 枚の CR 99 ファンに比べファン効率が最大 2~3% 上昇する。圧力係数は高流量域では CR 99 ファンと同じであるが、低流量域では高くなる。全帯域騒音の全流量域における値は動翼枚数の組合せを素数にしたファンとほぼ同じである。また、このファンは最大流量から約 2/5 以内の高流量域では通常の二段式送風機よりも騒音が低い。

(3) 本実験範囲内では、前・後段動翼のソリディティを等しくした CRW 97 ファンがほぼ全流量域で比騒音レベルはもっとも低い。また、通常の二段式送風機と比べても高流量側 1/2 の流量範囲で比騒音レベルが最大で 5 dB 低い。

(4) 先端すきまを 2.5 mm から 1.0 mm にすることでファン効率は最大 7%、圧力係数は約 0.06 増加し、サージング領域は狭くなったが、比騒音には明確な差はほとんど見られなかった。

おわりに本研究に協力していただいた当時長崎大学院生の山口明広、学部学生の岩崎浩史、装置製作に協力していただいた松下精工(株)の三村雄三郎の諸氏に謝意を表す。

文 献

- (1) Fujii, S., ほか 2 名, *J. Aircraft*, 23 (1986), 719.
- (2) 妹尾・児玉, 機論, 39-320(1973), 1246.
- (3) Tyler, J.M. and Sofrin, T.G., *SAE Trans.*, 70 (1962), 309.
- (4) Hanson, D.B., *J. Aircraft*, 22 (1985), 609.
- (5) 児玉・深野, 機論, 53-492, B(1987), 2514.
- (6) 深野・ほか 2 名, 機論, 51-463, B(1985), 820.