

明 細 書

多翼ラジアルファンの設計方法および多翼ラジアルファン

〔技術分野〕

本発明は、多翼ラジアルファンの設計方法および多翼ラジアル
5 ファンに関する。

〔背景技術〕

ラジアルファン、すなわち翼が径方向に差し向けられ、ひいて
は翼間流路が径方向に差し向けられた遠心ファンは、前進翼を備
えるシロッコファンや後退翼を備えるターボファン等の他の形式
10 の遠心ファンに比べて構造が単純であり、家庭用機器のファンと
して、幅広い利用分野が期待される。

家庭用機器のファンとしてのラジアルファンには、静音性が要
求される。しかし、従来、ラジアルファンは、翼枚数が少ない場
合に翼間流路の補修、洗浄が容易であるという構造上の特徴に鑑
み、翼枚数を少なくして、腐食性の高いガスや、付着性の高い粉
15 体等を含むガスを取り扱う際に使用されてきたために、ラジアル
ファンの静音性を高めるための設計指針は、存在しないのが現状
である。

遠心ファンの静音性を高めるための設計指針として、例えば特
20 開昭 5 6 - 6 0 9 7 号公報、特開昭 5 6 - 9 2 3 9 7 号公報等は、
流路を細長くして、流路内での空気流の剝離や、逆流の発生等を
抑制することを提案している。また、特開昭 6 3 - 2 8 5 2 9 5
号公報、特開平 2 - 3 3 4 9 4 号公報、特開平 4 - 1 6 4 1 9 6
号公報等は、内外径比の大きなシロッコファンを対象として、翼
25 枚数の最適値を提案している。

特開昭 5 6 - 6 0 9 7 号公報、特開昭 5 6 - 9 2 3 9 7 号公報
等の提案は、単に流路を細長くするとの着想を提示するのみで、

最適設計を得るためにファンの諸元が満たすべき相関関係を与えるものではない。従って、ラジアルファンの静音設計に際して準拠すべき具体的な設計指針とはなりえない。

特開昭 6 3 - 2 8 5 2 9 5 号公報、特開平 2 - 3 3 4 9 4 号公報、特開平 4 - 1 6 4 1 9 6 号公報等の提案は、内外径比の大きなシロッコファンにのみ適用可能なものであり、汎用性を有しない。

〔発明の開示〕

本発明の発明者は、鋭意研究の結果、多翼ラジアルファンの羽根車の諸元とファンの静音性能との間には、一定の相関性が存在することを見い出した。本発明は、かかる所見に基づいてなされたものであり、与えられた条件の下で、最も優れた静音性能を与える羽根車の諸元を、前記一定の相関性に基づいてシステマティックに決定する、多翼ラジアルファンの設計方法を提供し、また前記設計方法に基づいて設計された羽根車を有する多翼ラジアルファンを提供することを目的とする。

上記目的を達成するために本発明においては、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決定することを特徴とする、多翼ラジアルファンの設計方法を提供する。

又本発明においては、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決定することを特徴とする、多翼ラジアルファンの設計方法を提供する。

又本発明においては、羽根車の諸元が、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$
(但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車
の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向
き翼の肉厚) の関係を満たすことを特徴とする、多翼ラジアルフ
5 ファンを提供する。

又本発明においては、羽根車の諸元が、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ 、
且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向
き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚) の関係を満たすことを特徴と
10 する、多翼ラジアルファンを提供する。

又本発明においては、 $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_2 = 0.857 \{t_0/[(2\pi r_1/n) - t] + 1\}$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚、 t_0 : 基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決
15 定することを特徴とする、多翼ラジアルファンの設計方法を提供する。

又本発明においては、 $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_2 = 0.857 \{t_0/[(2\pi r_1/n) - t] + 1\}$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼
20 の枚数、 t : 径向き翼の肉厚、 t_0 : 基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決定することを特徴とする、多翼ラジアルファンの設計方法を提供する。

又本発明においては、羽根車の諸元が、 $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_2 = 0.857 \{t_0/[(2\pi r_1/n) - t] + 1\}$ 、
25 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚、 t_0 : 基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすことを特徴とする、多翼ラジアルファンを提供する。

又本発明においては、羽根車の諸元が、 $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_2 = \{t_0/[(2\pi r_1/n) - t] + 1\}$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚、 t_0 : 基準厚さ=0.5mm)
5 の関係を満たすことを特徴とする、多翼ラジアルファンを提供する。

又本発明においては、多数の径向き翼が周方向に互いに間隔を隔てて配設され、翼間に狭幅の流路が形成された羽根車を備え、翼間流路内の層流境界層の剥離が抑制されていることを特徴とす
10 る、多翼ラジアルファンを提供する。

本発明の好ましい態様においては、径向き翼の径方向内端近傍部が、羽根車の回転方向に屈曲している。

〔図面の簡単な説明〕

第1図は広がり矩形流路内の層流境界層の状態を示す図、
15 第2図は多翼ラジアルファンの羽根車の翼間の広がり矩形流路を示す図、

第3図は風量・静圧測定用実験装置の機器配置図、

第4図は騒音測定用実験装置の機器配置図、

第5(a)図は供試羽根車の平面図、第5(b)図は第5(a)
20 のb-b矢視図、

第6図は供試ケーシングの平面図、

第7図は実験により得られた羽根車の最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 との関係を示す図、

第8図は羽根車の内外径比とカルマン-ミリカンの第1無次元
25 数 Z_1 の数居値との関係を示す図、

第9図は実験により得られた羽根車の最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 との関係を示す図、

第 1 0 図は無次元数 $(1.009-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1)$ とカルマン-ミ
リカンの第 2 無次元数 Z_2 の数値との関係を示す図、

第 1 1 図は径向き翼の変形例を示す翼断面図、

第 1 2 (a) 図は、本発明に係る設計方法の適用対象となる両
5 吸い込み型の多翼ラジアルファンの斜視図であり、第 1 2 (b)
図は第 1 2 (a) 図の線 b-b に沿った断面図である。

〔発明を実施するための最良の形態〕

本発明の好ましい実施例を以下に説明する。

《 1 》 第 1 発明

10 1. 理論的背景

回転する羽根車の径方向流路を空気が流れる際に、剥離し易い
層流境界層が翼の負圧面側で発達し、剥離し難い乱流境界層が翼
の正圧面側で発達する。

層流境界層の剥離により、羽根車の径方向流路内に 2 次流が発
15 生し、騒音や効率低下を招来する。

従って、多翼ラジアルファンの静音設計に際しては、翼の負圧
面側の層流境界層の剥離を防止することが肝要と考えられる。

静止した広がり矩形流路における層流境界層流れについてはカ
ルマン、ミリカン (Karman, Millikan) により、数式①、②が与
20 えられている (Von Karman, T., and Millikan, C.B., "On the The
ory of Laminar Boundary Layers Involving Separation", NACA
Rept. No. 504, 1934.)。

$$U/U_i = 1 \cdots \cdots \textcircled{1} (0 \leq X/X_e \leq 1)$$

$$U/U_i = 1 + F(X - X_e)/X_e \cdots \textcircled{2} (1 \leq X/X_e)$$

25 但し、第 1 図に示すように、

X : 平板 (仮想部分) 先端からの距離

X_e : 平板 (仮想部分) の長さ

U : X 地点における層流境界層外の流速

U_i : X 地点における最大流速

F : $F=(X_e/U_i)(dU/dX)$

である。

- 5 数式②の右辺の第2項が、広がり矩形流路内の層流境界層の状態を示す無次元項である。従って、数式②の右辺の第2項を、多翼ラジアルファンの静音設計に際して役立てることができると考えられる。

数式②の右辺の第2項を無次元数 Z とし、 $x=X-X_e$ と置くと、 Z は数式③で与えられる。

$$Z=(x/U_i)(dU/dx) \cdots \textcircled{3}$$

X 地点での層流境界層外の流速である U と、 X 地点での最大流速である U_i とを実際に求めるのは難しいことを勘案し、 U を X 地点での平均流速 U_m で置換し、 U_i を広がり矩形流路入口での平均流速 U_0 で置換して、無次元数 Z を数式④の如くに変形する。

$$Z=(x/U_0)(dU_m/dx) \cdots \textcircled{4}$$

数式④で定義される無次元数 Z は、静止した広がり矩形流路における層流境界層の状態を表すものであり、回転する多翼ラジアルファンの翼間の広がり矩形流路にそのまま適用できるものではない。

広がり矩形流路における、翼負圧面と翼正圧面との間の周方向の圧力勾配は、回転の影響によって発生する。しかし、翼弦長と節（翼間の周方向距離）との比が大きい多翼ラジアルファンにおいては、翼負圧面と翼正圧面との間の周方向の圧力勾配は小さい。すなわち翼弦長と節との比が大きい多翼ラジアルファンにおいては、翼間の広がり矩形流路内の空気流に対する回転の影響は小さい。従って、数式④で定義される無次元数 Z は、回転する多翼

ラジアルファンの翼間の広がり矩形流路における層流境界層の状態を表し得ると考えられ、ひいては、多翼ラジアルファンの静音設計に利用できると考えられる。

- 5 多翼ラジアルファンの翼間の広がり矩形流路の径方向外端、すなわち翼間の広がり矩形流路の出口での、数式④で表される Z の絶対値を Z_1 とすると、 Z_1 は数式⑤で与えられる。以後、 Z_1 をカルマンミリカンの第 1 無次元数と呼ぶ。

$$Z_1 = (r_1 - r_0) / [r_1 - nt / (2\pi)] \cdots \textcircled{5}$$

但し、第 2 図に示すように、

- 10 r_0 : 羽根車の内半径
 r_1 : 羽根車の外半径
 n : 径向き翼の枚数
 t : 径向き翼の肉厚
である。

15 2. ファン性能の計測実験

Z_1 の異なる種々の多翼ラジアルファン用の羽根車について、ファン性能の計測実験を行った。

(1) 実験条件

(1) 実験装置

20 ①風量・静圧測定用実験装置

- 実験装置を第 3 図に示す。羽根車 1 と羽根車 1 を格納するスクロール形ケーシング 2 とモータ 3 とを備えるファン本体の吸込側に吸込ノズルを設置し、ファン本体の吐出側にダブルチャンバ方式風量測定装置（理化精機製、型式 F-401）を設置した。風量測定
25 装置には、風量調整用ダンパと補助ファンとを設け、ファン出口の静圧を制御した。ファンからの吐出空気流を、整流格子により整流した。

ファン吐出空気の風量を、AMCA規格に従って取り付けられたオリフィスで測定し、ファン出口の静圧をファン出口近傍に配設した静圧孔で測定した。

②騒音測定用実験装置

5 実験装置を第4図に示す。ファン本体の吸込側に吸込ノズルを設置し、ファン本体の吐出側に風量測定装置と同程度の寸法形状の静圧調整箱を設けた。静圧調整箱には、吸音材を内張りした。静圧調整箱には風量調整用のダンパを設け、ファン出口の静圧を制御した。

10 ファン出口の静圧をファン出口近傍に配設した静圧孔で測定し、所定のファン出口静圧時の騒音を測定した。

吸音材を内張りしてある防音箱の中にモータ3を格納し、モータ3の騒音を遮断した。

騒音測定は、無響室にてファンの軸中心線上でケーシング上面
15 から1m上流の点で行い、A特性の騒音レベルを計測した。

(2) 供試羽根車、供試ケーシング

①供試羽根車

外直径を100mmに、羽根車高さを24mmにそれぞれ固定し、円形基板及び円環板の板厚を2mmとした内外径比の異なる4種類の羽
20 根車について、周方向に等間隔で配設した径向き平板翼の枚数を種々に変化させて、21種類の羽根車1を作成し、実験に供した。各供試羽根車1の仕様とカルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 とを、表1、第5(a)図、第5(b)図に示す。

②供試ケーシング

25 ケーシング2の高さは27mmとし、ケーシング2の広がり形状は次式で与えられる対数らせん形状とし、広がり角 θ_0 は 4.50° とした。

$$r=r_2[\exp(\theta \tan \theta_0)]$$

r : 羽根車 1 の中心から計ったケーシング側壁の半径

r_2 : 羽根車 1 の外半径

θ : 基準線からの角度 $0 \leq \theta \leq 2\pi$

5 θ_0 : 広がり角

供試ケーシング 2 を第 6 図に示す。

③羽根車 1 の回転数

羽根車 1 の回転数は 6000rpm に設定したが、無響室内の暗騒音のレベル、実験装置の調子等の外的要因により或る程度変動させた。計測時の羽根車の回転数を表 1 に示す。

〔2〕実験、データ処理

（1）実験

表 1 に示す 21 種類の羽根車 1 に就き、表 1 に示す回転数の下で、風量調整用ダンパにより風量を種々に変化させて、ファン吐出空気

15 風の風量と、ファン出口の静圧と、騒音とを測定した。

（2）データ処理

ファン吐出空気

風の風量と、ファン出口の静圧と、騒音の各測定値から、次式に基づいて比騒音 K_s を算出した。

$$K_s = \text{SPL}(A) - 10 \log_{10} Q(P_t)^2$$

20 $\text{SPL}(A)$: A 特性の騒音レベル dB

Q : ファン吐出空気

P_t : ファン出口の全圧 mmAq

3. 実験結果

実験結果に基づいて、各供試羽根車 1 に就き、比騒音 K_s と風量との関係を求めた。

比騒音 K_s と風量 Q との関係は、風量・静圧測定により求められた風量、ファン出口の静圧が、それぞれ Q_1 、 p_1 であり、騒音

測定により求められた比騒音、ファン出口の静圧が、それぞれ

K_{s1} 、 p_1 である場合に、風量 Q と比騒音 K_s との間には、風量が Q_1 の時に比騒音が K_{s1} となる関係が成立するとして求めた。風量、静圧測定に用いた風量測定装置と、騒音測定に用いた静圧調整箱
5 の寸法形状はほぼ同一なので、上記の関係は成立するものと考えられる。

実験結果によれば、各供試羽根車 1 の比騒音 K_s は風量の変化に対応して変化する。この比騒音 K_s の変化は、ケーシング 2 の影響によって惹起されたものであり、比騒音 K_s の最低値、すな
10 わち最低比騒音 K_{smin} が、ケーシング 2 の影響が除去された供試羽根車 1 自体の騒音特性を示すものと考えられる。

各供試羽根車 1 の最低比騒音 K_{smin} を表 1 に示し、各供試羽根車 1 の最低比騒音 K_{smin} と カルマン-ミリカンの第 1 無次元数 Z_1 との関係を第 7 図に示す。第 7 図には、内外径比が同一の供試
15 羽根車 1 の群毎に、計測点を結んで得た、最低比騒音 K_{smin} と カルマン-ミリカンの第 1 無次元数 Z_1 との相関線をも表示している。

第 7 図から、羽根車 1 の内外径比が一定の場合、最低比騒音 K_{smin} は カルマン-ミリカンの第 1 無次元数 Z_1 の増加と共に減少することが分かる。また、内外径比が 0.75 の羽根車 1 と内外径
20 比が 0.58 の羽根車 1 と内外径比が 0.40 の羽根車 1 とについては、第 7 図の相関線に示すように、 Z_1 が所定の数値を超えると最低比騒音 K_{smin} は極小値に維持されることが分かる。 Z_1 が所定の数値を超えると最低比騒音 K_{smin} が極小値に維持される理由として、翼枚数が増大して翼間流路が細長くなることにより、層流境界層の剥離が抑制されることが考えられる。内外径比が 0.58 の羽
25 根車 1 について差分法による流れの解析を行った結果、第 7 図の相関線の水平部分にある Z_1 が 0.5192 の計測点では、翼間流路内の

層流境界層は剝離しておらず、第7図の相関線の傾斜部分にある Z_1 が0.4813の計測点では翼間流路内の層流境界層は剝離していることが確認された。

- 内外径比が0.90の羽根車1については、実験点が少ないために、
5 Z_1 の數居値は不明であるが、第7図には、他の実験点から類推した數居値を有する相関線を表示している。

- 内外径比が0.75の羽根車1における最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 との相関線と、内外径比が0.58の羽根車1における最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第1
10 無次元数 Z_1 との相関線と、内外径比が0.40の羽根車1における最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 との相関線とに基づいて求めた、羽根車1の内外径比 ν とカルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 の數居値との関係を第8図に示す。第8図
15 数 Z_1 の數居値との間の相関線 L_1 が得られる。相関線 L_1 は、数式⑥で与えられる。

$$\nu = -0.857Z_1 + 1.009 \quad \dots \textcircled{6}$$

但し、

$$\nu = r_0 / r_1$$

20
$$Z_1 = (r_1 - r_0) / [r_1 - nt / (2\pi)]$$

相関線 L_1 は内外径比 ν が0.40~0.75の羽根車1について成立するものであるが、第8図から分かるごとく、相関線 L_1 は直線であり、内外径比 ν が0.30~0.90程度の羽根車までは成立するとしても実用上問題ないと考えられる。

- 25 第8図において相関線 L_1 の右側の斜線を施した領域が、羽根車1の内外径比が与えられた場合に、最低比騒音 K_{smin} の極小値を与える領域、すなわち静音領域になると考えられる。従って、羽

根車の内外径比 ν が与えられた場合に、カルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 が第8図の斜線を施した領域内に存在するように、すなわち数式⑦を満たすように、羽根車の諸元を決定することにより、試行錯誤を繰り返すことなく、システマティックに多翼ラジアルファンの静音性を最適化できると考えられる。

$$\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009 \cdots \textcircled{7}$$

但し、

$$\nu = r_0 / r_1$$

$$Z_1 = (r_1 - r_0) / [r_1 - nt / (2\pi)]$$

- 10 r_0 : 羽根車の内半径
 r_1 : 羽根車の外半径
 n : 径向き翼の枚数
 t : 径向き翼の肉厚

なお第8図には、第7図の相関線に基づいて求めた、内外径比が0.90の羽根車1の内外径比 ν とカルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 の数居値との関係を追記している。第8図から分かるごとく、内外径比が0.90の羽根車1の内外径比 ν とカルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 の数居値との関係は、相関線 L_1 上にある。

上述のごとく、数式⑦を用いて、内外径比 ν が0.30～0.90程度の羽根車を有する多翼ラジアルファンの静音性を最適化できると考えられるが、第7図から分かるごとく、内外径比 ν が0.90の羽根車では最低比騒音 $K_{s.m.i.}$ の極小値が43dB程度となり、十分な静音性が得られないこと、内外径比 ν が0.30程度の羽根車では、内半径が小さいので、多数の径向き翼を配設するのが難しいこと等を勘案すると、数式⑦の適用範囲としては、内外径比 ν が0.40～0.80程度の羽根車が適当と考えられる。内外径比 ν が0.40～0.80程度の羽根車に数式⑦を適用することにより、与えられた条件の

下で最も優れた静音性能を有し、且つ十分な静音性と工作容易性とを有する多翼ラジアルファンを、試行錯誤を繰り返すことなく、システムティックに設計することができる。

カルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 は、数式⑤から分かるように、羽根車の諸元中の n (径向き翼の枚数)と t (径向き翼の肉厚)とを、積 nt の形で含んでいるので、多翼ラジアルファンの静音性の最適化に、 n の値と t の値とは、独立に反映されない。例えば、 $n=100$ 、 $t=0.5\text{mm}$ の場合と、 $n=250$ 、 $t=0.2\text{mm}$ の場合とでは、径向き翼間の矩形流路の形状がかなり異なるので、多翼ラジアルファンの静音性にかなりの相違があると考えられるが、両者の積 nt は同一値なので、カルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 も同一値となり、第1発明によれば、多翼ラジアルファンの静音性は同一となる。従って、第1発明に基づく多翼ラジアルファンの静音設計は、以下の手順によるのが望ましい。

(1) 数式⑦に基づいて、多翼ラジアルファンの静音性を最適化する、カルマン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 の設計値 Z_{1s} を決定する。

(2) 設計値 Z_{1s} を与える複数の n と t の組合せの中から、騒音計測に基づいて最適の n と t の組合せを決定する。

《2》第2発明

1. 理論的背景

上述のごとく、第1発明には、多翼ラジアルファンの静音設計に、羽根車の諸元中の n (径向き翼の枚数)と t (径向き翼の肉厚)とが独立に反映されないという問題がある。

第1発明が内包する上記問題を解決するためには、 n と t とを独立に含む無次元数に基づいて、羽根車の諸元を決定すれば良い。

数式⑦を以下の如くに変形する。

数式⑦中において、定数-0.857を a とし、定数1.009 を b とすると、数式⑦は数式⑧となる。

$$r_0/r_1 \geq a(r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)] + b \cdots \textcircled{8}$$

数式⑧から数式⑨が導かれる。

$$5 \quad 2\pi r_1 - nt \leq -a(2\pi r_1) [(1-r_0/r_1)/(b-r_0/r_1)] \cdots \textcircled{9}$$

数式⑨から数式⑩が導かれる。

$$(2\pi r_1/n) - t \leq -a(2\pi r_1) [(1-r_0/r_1)/(b-r_0/r_1)]/n \cdots \textcircled{10}$$

数式⑩の左辺 $(2\pi r_1/n) - t$ は、径向き翼間に形成される矩形流路の出口幅 $\Delta \ell$ を意味する。従って、第1発明は、径向き翼間に
10 形成される矩形流路の出口幅 $\Delta \ell$ が、数式⑩を満たす場合に、多翼ラジアルファンの静音性が最適化されることを明示したものであった。

数式⑩で等号が成立する場合の、径向き翼の枚数 n_e と、径向き翼間に形成される矩形流路の出口幅 $\Delta \ell_e$ とを求めると、

$$\begin{aligned} 15 \quad n_e &= (2\pi r_1/t) [1 + a(1-r_0/r_1)/(b-r_0/r_1)] \\ \Delta \ell_e &= (2\pi r_1/n_e) - t \\ &= -a[(1-r_0/r_1)/(b-r_0/r_1)]t / [1 + a(1-r_0/r_1)/(b-r_0/r_1)] \\ &= -at / [(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1) + a] \end{aligned}$$

表1から分かるように、第1発明を導く際に行った実験は、径
20 向き翼の板厚 t を0.5mm とした羽根車を主たる対象としている。従って径向き翼の板厚 t が t_0 (但し $t_0 = 0.5\text{mm}$) の場合には、矩形流路の出口幅 $\Delta \ell$ が次式を満足すれば、多翼ラジアルファンの静音性は確実に最適化される。

$$\Delta \ell = (2\pi r_1/n) - t_0 \leq \Delta \ell_e = -at_0 / [(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1) + a]$$

すなわち、

$$25 \quad (2\pi r_1/n) - t_0 \leq -at_0 / [(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1) + a] \cdots \textcircled{11}$$

但し $t_0 = 0.5\text{mm}$

ここで、径向き翼の板厚 t が t_0 (但し $t_0 = 0.5\text{mm}$) でない場合でも、矩形流路の出口幅 $\Delta \ell$ が、径向き翼の板厚 t が t_0 (但し $t_0 = 0.5\text{mm}$) の場合の矩形流路の出口幅 $\Delta \ell$ の数値 $\Delta \ell$ 。以下であれば、多翼ラジアルファンの静音性が最適化されると仮定する。

この場合、多翼ラジアルファンの静音性を最適化する条件は以下となる。

$$(2\pi r_1/n) - t \leq -at_0/[(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1)+a] \dots \textcircled{12}$$

但し $t_0 = 0.5\text{mm}$

10 数式⑫から数式⑬が得られる。

$$(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1) \leq -a \{t_0/[(2\pi r_1/n) - t] + 1\} \dots \textcircled{13}$$

数式⑬の右辺をカルマンミリカンの第2無次元数 Z_2 と呼ぶ。カルマンミリカンの第2無次元数 Z_2 は、径向き翼の枚数 n と径向き翼の肉厚 t とを、独立に含む無次元数であり、第1発明のカルマ

15 ン-ミリカンの第1無次元数 Z_1 が内包する問題を含まない。

数式⑬をカルマンミリカンの第2無次元数 Z_2 を用いて表すと、

$$(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1) \leq Z_2 \dots \textcircled{14}$$

但し、

$$Z_2 = -a \{t_0/[(2\pi r_1/n) - t] + 1\}$$

20 $a = -0.857$

$$b = 1.009$$

t_0 : 径向き翼の基準肉厚

$$= 0.5\text{mm}$$

r_0 : 羽根車の内半径

25 r_1 : 羽根車の外半径

n : 径向き翼の枚数

t : 径向き翼の肉厚

従って、カルマンミリカンの第2無次元数 Z_2 が数式⑭を満たす時に、実際に多翼ラジアルファンの静音性が最適化されることが実験によって証明されれば、数式⑦に基づいて多翼ラジアルファンの諸元を決定することを特徴とする第1発明よりも汎用性の高い、数式⑭に基づいて多翼ラジアルファンの諸元を決定することを特徴とする第2発明が得られることになる。

2. ファン性能の計測実験

第1発明に関連して行った実験に使用した多翼ラジアルファン用の羽根車と同様の、 Z_2 の異なる種々の多翼ラジアルファン用の羽根車について、第1発明に関連して行った実験と同様のファン性能の計測実験を行った。各供試羽根車の仕様と、カルマンーミリカンの第1無次元数 Z_1 と、カルマンーミリカンの第2無次元数 Z_2 と、最低比騒音 $K_{s_{min}}$ と、羽根車の回転数とを表2に示す。計測実験により得られた、各供試羽根車の最低比騒音 $K_{s_{min}}$ とカルマンーミリカンの第2無次元数 Z_2 との関係を第9図に示す。第9図には、内外径比が同一の供試羽根車の群毎に、計測点を結んで得た、最低比騒音 $K_{s_{min}}$ とカルマンーミリカンの第2無次元数 Z_2 との相関線をも表示している。

第9図から、羽根車の内外径比が一定の場合、最低比騒音 $K_{s_{min}}$ はカルマンーミリカンの第2無次元数 Z_2 の増加と共に減少することが分かる。また、内外径比が0.75の羽根車1と内外径比が0.58の羽根車1と内外径比が0.40の羽根車1とについては、第9図の相関線に示すように、 Z_2 が所定の敷居値を超えると最低比騒音 $K_{s_{min}}$ は極小値に維持されることが分かる。内外径比が0.90の羽根車1については、実験点が少ないために、 Z_2 の敷居値は不明であるが、第9図には、他の実験点から類推した敷居値を有する相関線を表示している。

第10図に、数式⑭を示す。第10図中の相関線 L_2 の右側の斜線を施した領域が、仮定した静音領域である。

第9図に示す、内外径比が0.75の羽根車における最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 との相関線と、内外径比が0.58の羽根車における最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 との相関線と、内外径比が0.40の羽根車における最低比騒音 K_{smin} とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 との相関線とに基づいて求めた、羽根車の諸元から定まる無次元数 $(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1)$ とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 の数居値との関係を第10図に示す。第10図から、ファン性能の計測実験から得られた、羽根車の諸元から定まる無次元数

$(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1)$ とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 の数居値との関係は、相関線 L_2 上にあることが分かる。第10図には、第9図の相関線に基づいて求めた、内外径比が0.90の羽根車1の無次元数 $(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1)$ とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 の数居値との関係を追記している。第10図から分かるように、内外径比が0.90の羽根車1の無次元数 $(b-r_0/r_1)/(1-r_0/r_1)$ とカルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 の数居値との関係は、相関線 L_2 上にある。

従って、カルマンミリカンの第2無次元数 Z_2 が数式⑭を満たす時に、実際に多翼ラジアルファンの静音性が最適化されることが実験によって証明された。

従って、羽根車の内外径比が与えられた場合に、カルマン-ミリカンの第2無次元数 Z_2 が第10図の斜線を施した領域内に存在するように、すなわち数式⑭を満たすように、羽根車の諸元を決定することにより、試行錯誤を繰り返すことなく、システマティックに多翼ラジアルファンの静音性を最適化できると考えられる。

数式⑭は内外径比が0.40~0.90の羽根車に適用可能であるが、第9図から分かるごとく、内外径比が0.90の羽根車では最低比騒音 K_{smin} の極小値が43dB程度となり、十分な静音性が得られない。従って、数式⑭の適用範囲としては、内外径比が0.40~0.80程度
5 の羽根車が適当と考えられる。

上記より、内外径比 ψ が0.40~0.80程度の羽根車に数式⑭を適用することにより、与えられた条件の下で最も優れた静音性能を有し、且つ十分な静音性を有する多翼ラジアルファンを、試行錯誤を繰り返すことなく、システムティックに設計することができる。
10 る。

なお上記の実施例では、径向き平板翼を用いたが、第11図に示すように、径向き平板翼の径方向内端近傍部を、羽根車の回転方向に屈曲させ、径向き平板翼に対する空気流の入射角を減少させることにより、径向き平板翼の径方向内端近傍部の負圧面側で
15 の空気流の乱れを抑制し、多翼ラジアルファンの静音性を更に向上させることができる。前記屈曲部は、全ての径向き平板翼に設けても良く、或いは、所定枚数おきに設けても良い。

第12(a)図、第12(b)図に示す、カップ状の円形基板11と、円形基板11の両側に配設された一対の円環板12a、
20 12bと、円形基板11と円環板12aとの間に配設された多数の径向き平板翼13aと、円形基板11と円環板12bとの間に配設された多数の径向き平板翼13bとを備える、両吸い込み型の多翼ラジアルファン10に、本発明に係る設計方法を適用しても良い。

25 本発明に係る多翼ラジアルファンは、従来、シロッコ、ターボ等の遠心ファンや、クロスフローファン等が用いられていた各種の機器、例えば、ヘアドライヤー、各種の温風乾燥機、空調機器、

空気清浄機、複写機等のOA機器、除湿機、脱臭装置、加湿機、掃除機、噴霧器等に広く利用可能である。

〔産業上の利用可能性〕

- 本発明においては、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、
5 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決定するので、多翼ラジアルファンの最低比騒音は最小となる。従って、本発明によれば、与えられた条件の下で最も優れた静音性能を有する多翼ラジアルファン
10 を、試行錯誤を繰り返すことなく、システムティックに設計することができる。

- 又本発明においては、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径
15 向き翼の肉厚) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決定するので、多翼ラジアルファンの最低比騒音は最小となる。従って、本発明によれば、与えられた条件の下で最も優れた静音性能を有し、且つ十分な静音性と工作容易性とを有する多翼ラジアルファンを、試行錯誤を繰り返すことなく、システムティックに設計す
20 ることができる。

- 又本発明においては、 $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ 但し、
 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_2 = 0.857[t_0/(2\pi r_1/n - t) + 1]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、
 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚、
 t_0 : 基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決
25 定するので、多翼ラジアルファンの最低比騒音は最小となる。従って、本発明によれば、与えられた条件の下で最も優れた静音性能を有し、且つ十分な静音性と工作容易性とを有する多翼ラジアル

ルファンを、試行錯誤を繰り返すことなく、システムティックに設計することができる。

又本発明においては、 $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_2 = 0.857[t_0/(2\pi r_1/n - t) + 1]$ 、

- 5 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、
 t : 径向き翼の肉厚、 t_0 : 基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすよう
に、羽根車の諸元を決定するので、多翼ラジアルファンの最低比
騒音は最小となる。従って、本発明によれば、与えられた条件の
下で最も優れた静音性能を有し、且つ十分な静音性と工作容易性
10 とを有する多翼ラジアルファンを、試行錯誤を繰り返すことなく、
システムティックに設計することができる。

- 径向き翼の径方向内端近傍部を、羽根車の回転方向に屈曲させ
ることにより、径向き翼に対する空気流の入射角が減少し、径向
き翼の径方向内端近傍部の負圧面側での空気流の乱れが抑制され、
15 多翼ラジアルファンの静音性が向上する。

両吸い込み型の多翼ラジアルファンに本発明に係る設計方法を
適用しても良い。

- 本発明に係る多翼ラジアルファンは、従来、シロッコ、ターボ
等の遠心ファンや、クロスフローファン等が用いられていた各種
20 の機器、例えば、ヘアドライヤー、各種の温風乾燥機、空調機器、
空気清浄機、複写機等のOA機器、除湿機、脱臭装置、加湿機、
掃除機、噴霧器等に広く利用可能である。

表 1

羽根車 NO.	外直径 (mm)	内直径 (mm)	径向き翼 の肉厚 (mm)	径向き翼 の枚数	Z_1	$k_{\min}$ (dB)	回転数 (rpm)
内外径比0.90							
1	100.0	90.0	0.5	100	0.1189	46.0	6000.0
2	100.0	90.0	0.5	120	0.1236	47.3	5000.0
3	100.0	90.0	0.5	240	0.1618	43.0	5000.0
内外径比0.75							
4	100.0	75.0	0.5	40	0.2670	47.4	3000.0
5	100.0	75.0	0.5	60	0.2764	41.8	6000.0
6	100.0	75.0	0.5	80	0.2865	40.3	6000.0
7	100.0	75.0	0.5	100	0.2973	38.7	5000.0
8	100.0	75.0	0.5	120	0.3090	39.8	7200.0
9	100.0	75.0	0.5	144	0.3243	39.2	7200.0
10	100.0	75.0	0.3	300	0.3504	38.7	6000.0
内外径比0.58							
11	100.0	58.0	0.5	10	0.4268	45.0	5000.0
12	100.0	58.0	0.5	40	0.4486	42.1	6000.0
13	100.0	58.0	0.5	60	0.4643	40.1	5000.0
14	100.0	58.0	0.5	80	0.4813	38.7	6000.0
15	100.0	58.0	0.5	100	0.4995	36.2	6000.0
16	100.0	58.0	0.5	120	0.5192	33.4	8000.0
17	100.0	58.0	0.3	144	0.4870	33.4	7200.0
内外径比0.40							
18	100.0	40.0	0.5	40	0.6408	37.0	6000.0
19	100.0	40.0	0.5	100	0.7136	35.7	6000.0
20	100.0	40.0	0.3	120	0.6777	33.3	5000.0
21	100.0	40.0	0.5	120	0.7416	33.3	6000.0

表 2

羽根車 NO.	外直径 (mm)	内直径 (mm)	径向き翼 の肉厚 (mm)	径向き翼 の枚数	Z ₁	Z ₂	K _{smin} (dB)	回転数 (rpm)
内外径比0.90								
1	100.0	90.0	0.5	100	0.119	1.019	46.0	6000.0
2	100.0	90.0	0.5	120	0.124	1.059	47.3	5000.0
3	100.0	90.0	0.5	240	0.162	1.387	43.0	5000.0
内外径比0.75								
4	100.0	75.0	0.5	40	0.267	0.915	47.4	3000.0
5	100.0	75.0	0.5	60	0.276	0.947	41.8	6000.0
6	100.0	75.0	0.5	80	0.286	0.982	40.3	6000.0
7	100.0	75.0	0.5	100	0.297	1.019	38.7	5000.0
8	100.0	75.0	0.5	120	0.309	1.059	39.8	7200.0
9	100.0	75.0	0.5	144	0.324	1.112	37.6	7200.0
10	100.0	75.0	0.3	300	0.350	1.430	38.7	6000.0
内外径比0.58								
11	100.0	58.0	0.5	10	0.427	0.871	45.0	5000.0
12	100.0	58.0	2.0	30	0.519	0.908	41.0	11200.0
13	100.0	58.0	0.5	40	0.449	0.915	42.1	6000.0
14	100.0	58.0	0.3	60	0.446	0.944	37.6	7000.0
15	100.0	58.0	0.5	60	0.464	0.947	35.0	5000.0
16	100.0	58.0	1.0	60	0.519	0.958	36.1	6000.0
17	100.0	58.0	0.3	80	0.455	0.975	36.9	7000.0
18	100.0	58.0	0.5	80	0.481	0.982	34.5	6000.0
19	100.0	58.0	0.3	200	0.519	1.194	32.6	6000.0
20	100.0	58.0	0.5	120	0.519	1.059	32.3	8000.0
21	100.0	58.0	0.3	240	0.545	1.282	30.7	7000.0
22	100.0	58.0	0.3	180	0.507	1.153	32.0	6000.0
23	100.0	58.0	0.5	144	0.545	1.112	32.0	6000.0
内外径比0.40								
24	100.0	40.0	0.5	40	0.641	0.915	37.0	6000.0
25	100.0	40.0	0.5	100	0.714	1.019	35.7	6000.0
26	100.0	40.0	0.3	120	0.678	1.042	33.3	5000.0
27	100.0	40.0	0.5	120	0.742	1.059	33.3	6000.0



請 求 の 範 囲

- (1) $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚) の関係を満たす
5 ように、羽根車の諸元を決定することを特徴とする多翼ラジアルファンの設計方法。
- (2) $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、
 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半
径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き
10 翼の肉厚) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決定する
ことを特徴とする多翼ラジアルファンの設計方法。
- (3) 羽根車の諸元が、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、
 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽
根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の肉厚)
15 の関係を満たすことを特徴とする多翼ラジアルファン。
- (4) 羽根車の諸元が、 $\nu \geq -0.857Z_1 + 1.009$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq$
 0.4 (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、 $Z_1 = (r_1 - r_0)/[r_1 - nt/(2\pi)]$ 、
 r_0 : 羽根車の内半径、 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の
枚数、 t : 径向き翼の肉厚) の関係を満たすことを特徴とす
20 る多翼ラジアルファン。
- (5) $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ (但し、 $\nu = r_0/r_1$ 、
 $Z_2 = 0.857 \{t_0/[(2\pi r_1/n) - t] + 1\}$ 、 r_0 : 羽根車の内半径、
 r_1 : 羽根車の外半径、 n : 径向き翼の枚数、 t : 径向き翼の
肉厚、 t_0 : 基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすように、羽根車
25 の諸元を決定することを特徴とする多翼ラジアルファンの設
計方法。
- (6) $(1.009 - \nu)/(1 - \nu) \leq Z_2$ 、且つ $0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、



$\nu = r_0 / r_1$ 、 $Z_2 = 0.857 \{t_0 / [(2\pi r_1 / n) - t] + 1\}$ 、 r_0 ：羽根車の内半径、 r_1 ：羽根車の外半径、 n ：径向き翼の枚数、

t ：径向き翼の肉厚、 t_0 ：基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすように、羽根車の諸元を決定することを特徴とする多翼ラジアルファンの設計方法。

5

(7) 羽根車の諸元が、 $(1.009 - \nu) / (1 - \nu) \leq Z_2$ (但し、

$\nu = r_0 / r_1$ 、 $Z_2 = 0.857 \{t_0 / [(2\pi r_1 / n) - t] + 1\}$ 、 r_0 ：羽根車の内半径、 r_1 ：羽根車の外半径、 n ：径向き翼の枚数、 t ：径向き翼の肉厚、 t_0 ：基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすことを特徴とする多翼ラジアルファン。

10

(8) 羽根車の諸元が、 $(1.009 - \nu) / (1 - \nu) \leq Z_2$ 、且つ

$0.8 \geq \nu \geq 0.4$ (但し、 $\nu = r_0 / r_1$ 、

$Z_2 = \{t_0 / [(2\pi r_1 / n) - t] + 1\}$ 、 r_0 ：羽根車の内半径、 r_1 ：羽根車の外半径、 n ：径向き翼の枚数、 t ：径向き翼の肉厚、 t_0 ：基準厚さ=0.5mm) の関係を満たすことを特徴とする多翼ラジアルファン。

15

(9) 多数の径向き翼が周方向に互いに間隔を隔てて配設され、翼間に狭幅の流路が形成された羽根車を備え、翼間流路内の層流境界層の剝離が抑制されていることを特徴する多翼ラジアルファン。

20

(10) 径向き翼の径方向内端近傍部が、羽根車の回転方向に屈曲していることを特徴とする請求項3、4、7、8、9の何れか1項に記載の多翼ラジアルファン。