

多翼ラジアルファンの流体力学的特性に関する研究 (ケーシング出口角および露出長さの影響)

児玉好雄* , 新原登**, 林秀千人*
林健生***, 田中清裕*

Aerodynamic Characteristics of Multiblade Radial Flow Fan (Effects of the Bare Length and the Divergent Angle at the Outlet of the Scroll Casing)

by

Yoshio KODAMA*, Noboru SHINBARA**, Hidechito HAYASHI*
Takeo HAYASHI*** and Kiyohiro TANAKA*

It was made to improve a fan efficiency by varying the bare length defined as the distance between the tongue tip and the impeller tip, and the divergent angle at the outlet of the scroll casing. It is concluded that (1) The larger the bare length is, the higher the flow rate is. (2) When the bare length is 15mm, the fan efficiency is highest. (3) The fan efficiency is highest at the divergent angle $\theta=0^\circ$. (4) The smaller the bare length is, the larger the total pressure drop is due to the skin friction.

1. 緒言

小型の多翼ラジアルファンは、直径や回転数が同程度のシロッコファンや翼付き多層円板ファンよりも騒音が低く、効率や圧力が高いという長所を有しており、今後、衛生機器、空調装置、掃除機、ヘヤードライヤー、コピー機などに用いられることが期待されている。

このファンに関して著者らは、翼枚数、羽根高さ、内径がファン騒音や流体力学的特性に及ぼす影響について研究した^{1)~3)}。その結果以下のような結論を得た。(1)多翼ラジアルファンは翼枚数を多くすることによって翼間の干渉による境界層の一様化を促進させることが出来るので、羽根車と舌部との干渉に基づく回転騒音のレベルを乱流騒音と同程度まで低減させることが出来る。(2)最大効率は翼枚数が100枚から120枚に存在し、比騒音レベルもこの枚数の範囲に最小値が存在する。したがって、最適翼枚数は100~120枚に存在する。(3)羽根高さ(スパン長さ)が高いほど、前面シ

ュラウド近傍ではく離や逆流が生じ、効率が低下し、乱流騒音が増加する。(4)翼弦長を長くすれば、翼面上の境界層が発達し、あまり短くすれば、翼が仕事をしなくなるので、効率は低下する。最適翼弦長は21mm近傍に存在する。

多翼ラジアルファンの流体力学的特性と騒音特性に及ぼす影響は多岐にわたっている。本研究ではスクロールケーシングの出口角、羽根車頂点と舌部頂点間の距離(本研究では露出長さとして名付ける)がファンの流体力学的特性に及ぼす影響について実験を行い、考察した。

2. おもな記号

D_o : 羽根車外径 m,mm
 d : 露出長さ m,mm
 L : 電動機の軸出力 W
 L_D : 測定断面間の距離 m,mm

平成8年10月28日受理

*機械システム工学科 (Department of Mechanical Systems Engineering)

**大学院博士課程海洋資源学専攻 (Graduate Student, Marine Resources)

***大学院修士課程機械システム学専攻 (Graduate Student, Department of Mechanical Systems Engineering)

- L_R : スパン長さ (羽根高さ) m,mm
 P_T : 全圧 Pa
 P_S : 静圧 Pa
 Q : 送風機流量 $m^3/s, m^3/min$
 U_o : 羽根車外縁の周速度 m/s
 V_{r2} : 羽根車出口絶対速度の半径方向成分 m/s
 V_Y : ケーシング出口における管軸方向の速度 m/s
 X, Y, Z : 座標
 α : スクロール広がり角°
 η : ファン効率
 θ : ケーシング出口角°
 λ : 動力係数
 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は実験装置の概要を示したものである。装置のスクロールケーシングの上板にはベアリングが取り付けられており、入口ノズルを含む上板の内側が円周方向に自由に回転できるように設計してある。これに流動様相測定用の装置を取り付ければ、周方向の任意の位置での計測が可能である。ファンはテーパ管で吐出管に接続されている。この吐出管には整流格子、流量測定用オリフィスおよび静圧孔がJIS規格に従って設置されており、管出口には流量調整用のダンパーが取り付けられている。

本実験で用いたスクロールケーシングの概要を図2に示す。このケーシングは平行な上下壁とスクロール広がり角 4.5° の対数らせん線からなっている。この広がり角の場合がファン効率が最も高かった¹⁾という理由でこの角度を選定している。なお、羽根車出口における流動様相は羽根車外縁より6mm大きい円周上の4断面(図2中のMP1~MP4)をスパン方向には2mm間隔の5点で計測した。また、この図はケーシング出口角 θ が 0° 、露出長さ d が0mm(図3参照)の場合である。

図3にはケーシング出口に角度 θ (ケーシング出口角)を付けた場合のスクロールケーシングの概要が示されている。ケーシング出口角は舌部頂点を原点としてそれからの広がり角を示している。また、図中の d に示される露出長さは羽根車頂点と舌部頂点とのなす長さであり、 L_x は測定断面MP5またはMP6における通路幅である。ケーシング出口における流動様相の測定はMP5とMP6の断面をケーシング壁面を基準にして X 方向(図4参照)に約5mm間隔で行った。

なお、 θ としては 0° 、 10° 、 20° および 30° の4種類、露出長さ d としては0mm、15mm、および30mmの3種類が採用された。

図4はケーシングにおける座標を示したものである。図3に示されるように、舌部頂点を含む断面が測定断面5(MP5)であり、この断面から約60mm(図中に L_D で表示)下流側に測定断面6(MP6)を取っている。ケーシング壁面に垂直方向に X 軸、流れ方向に Y 軸、スパン方向(羽根高さ方向)に Z 軸を取って表している。

図5は供試羽根車の概要を示したものである。羽根車は厚さ0.5mmの平板翼120枚を放射状に取り付けたものから構成されている。この羽根車の内径は58mm、外径は100mmで、翼弦長は21mm、スパン長さ(羽根高さ)は20mmである。これらを選定した理由はこの組み合わせがファン効率が最も高かったためである^{1), 2)}。回転数は5000rpmであり、羽根車出口における周速度 U_o は約26.2m/sである。また、入口相対速度と翼弦長で定義したレイノルズ数は約30000である。なお、羽根車の回転数はスライダックの電圧調整により制御した。

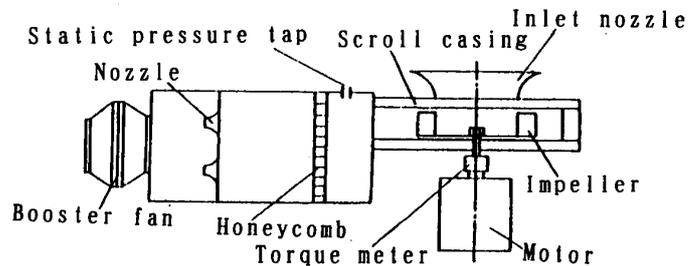


Fig. 1 Schematic diagram of experimental apparatus

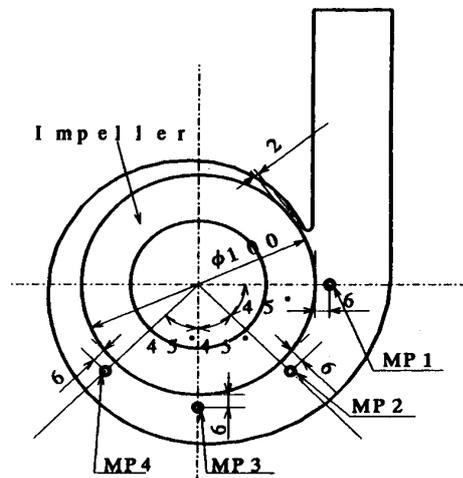


Fig. 2 Casing used in this experiment

4. 実験結果および考察

4.1 空力特性 図6と図7はファンの空力特性を例として示したものである。図中の ϕ は圧力係数, ϕ は流量係数, λ は動力係数, η は送風機と電動機の総合効率であり, それぞれ次式で定義される。

$$\begin{aligned} \phi &= 2P_T / \rho U_0^2, & \phi &= Q / \pi D_0 L_R U_0 \\ \lambda &= 2L / \pi \rho D_0 L_R U_0^3, & \eta &= \phi \phi / \lambda \end{aligned} \quad (1)$$

なお式(1)中のは P_T は全圧, ρ は空気の密度, U_0 は羽根車先端の周速度, Q は流量, D_0 は羽根車直径, L_R は羽根高さ(スパン長さ), L は電動機の軸出力である。

図6はケーシング出口角 θ が空力特性に及ぼす影響を示したものである。最大流量は $\theta=20^\circ$ が一番多く, $10^\circ, 30^\circ$ の順になっている。 30° の場合が圧力, 最大流量, ファン効率が三者の内でも最低理由として次

節で述べるようにケーシング出口の舌部下流ではく離や逆流が生じているためである。また 20° が 10° より多少性能がよい理由としては 20° の方がケーシング出口の通路が広いため, 10° の場合より速度が遅くなり, 摩擦損失が小さくなることが考えられる。

図7は露出長さ d と空力特性との関係調べたものである。この図に示されるように d が15mmの場合が最高効率は最も高く, 次いで30mmで, 一番効率が低いのが0mmとなっている。0mmの場合が効率が一番低いのは図に示すように圧力降下が一番高いことに因っている。これは0mmの場合がケーシング出口の通路面積が三者の内では一番狭く, 速度が一番早くなるので, 壁面摩擦損失が大きくなるためである。

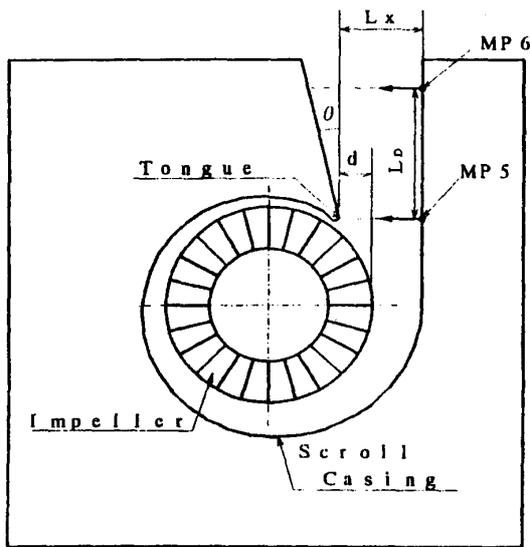


Fig. 3 Outlet angle, θ and bare length, d

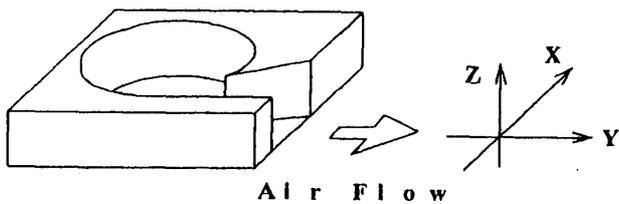


Fig. 4 Coordinates used in this experiment

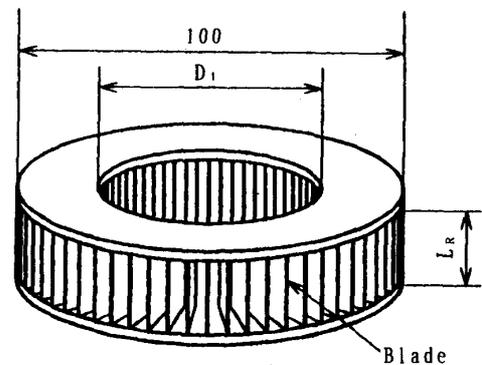


Fig. 5 Schematic view of impeller

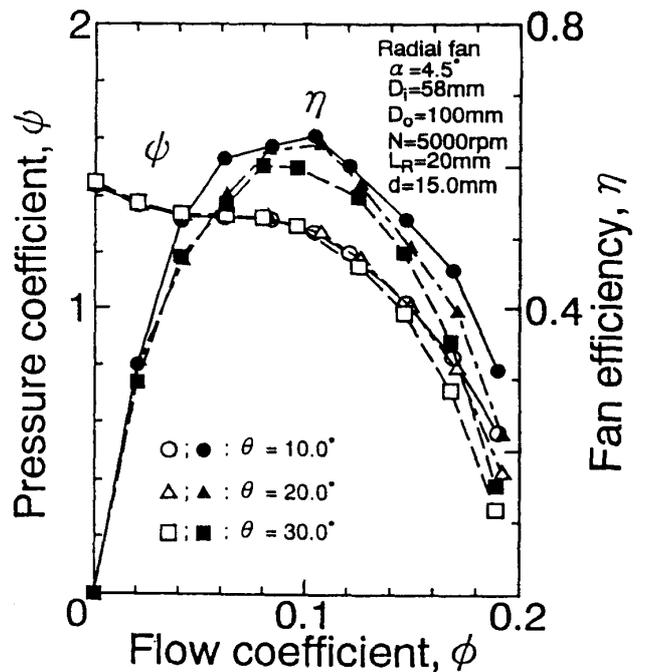


Fig. 6 Characteristic curves (Effects of the outlet angle, θ)

4.2 羽根車出口における圧力及び速度分布 図8に $\theta=0^\circ$, $d=0\text{mm}$ の場合の羽根車出口におけるMP1~MP4の4断面の全圧のスパン方向分布を示す。全圧はMP1断面でわずかに低い傾向が見られるもの、全体的にはそれほどばらつきはない。したがって、今後、羽根車出口における圧力のスパン方向分布の議論はMP1~MP4の4点の平均値をとって行う。

図9(a), (b)はそれぞれ羽根車出口全圧のスパン方向分布に及ぼすケーシング出口角 θ と露出長さ d の影響を示したものである。図9(a)に示すように露出長さ

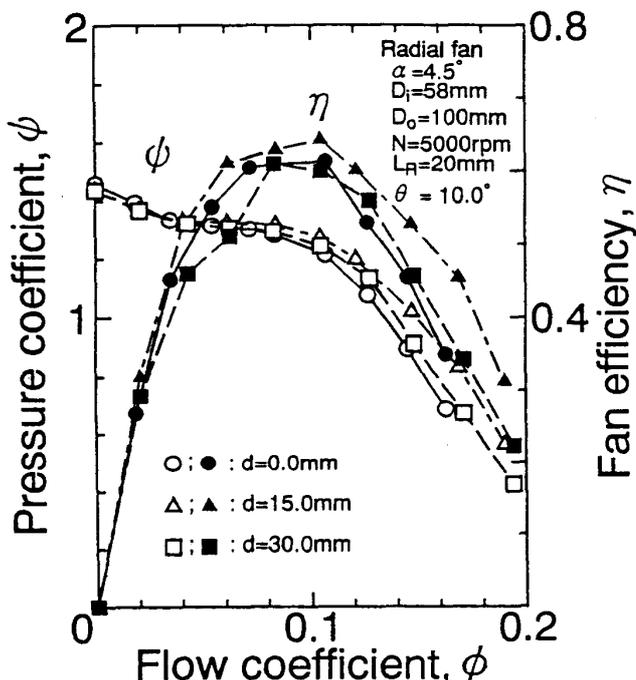


Fig. 7 Characteristic curves (Effects of the bare length, d)

が15mmの場合にはケーシングの出口角 θ にはほとんど無関係に全圧の分布形状はスパン方向の距離 Z/L_R が0.5近傍で最小値をとる。また、全圧のスパンにわたる平均値は θ が 10° と 20° とではほとんど変わらないが、 θ が 30° の場合には若干高くなる。これは最高効率点が θ が 30° の場合には前二者に比べて低流量側にあるためである。図9(b)において示されるように、 θ を 10° に保って、露出長さ d を変えれば、全圧のスパンにわたる平均値は d が長くなるにつれて増加するが、増加の割合は d が0mmから15mmの間が大きい。これは0mmの場合が最高効率点が流量の大きい側に存在しているためである(図省略)。

図10(a), (b)は図9と同様なことを静圧について示したものである。いずれの図においても前面シュラウド近傍で静圧の急激な減少が見られる。これは前面シュラウド近傍で流れが翼に沿って流れず、逆流が発生し(図11参照)、境界層が広がっていることを示唆す

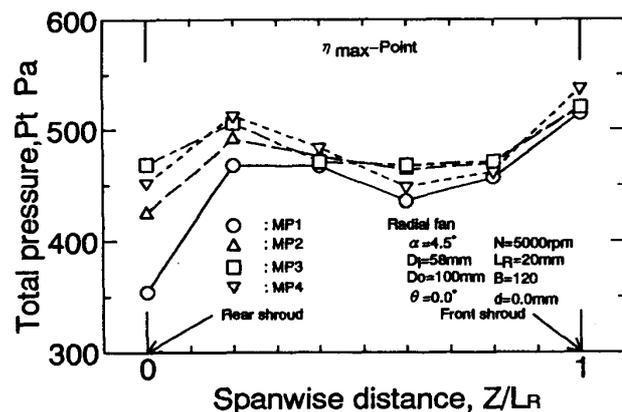
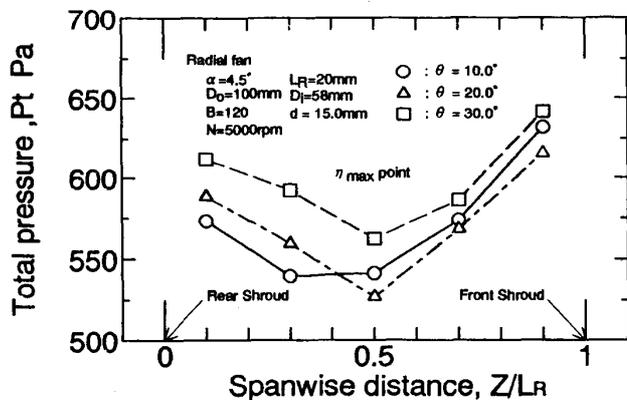
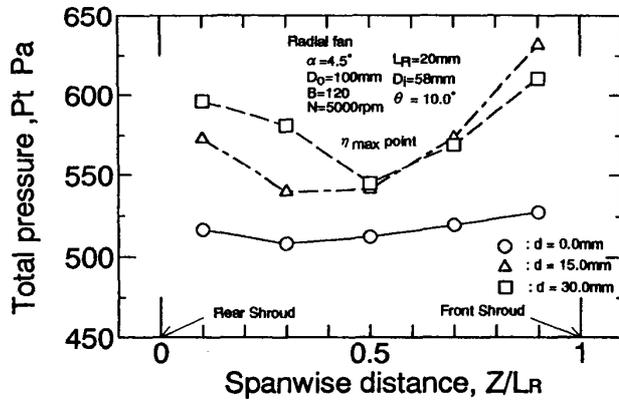


Fig. 8 Difference of the total pressure distributions of each measuring section



(a) Effects of outlet angle, θ



(b) Effects of the bare length, d

Fig. 9 Spanwise distributions of the total pressure

るものである。

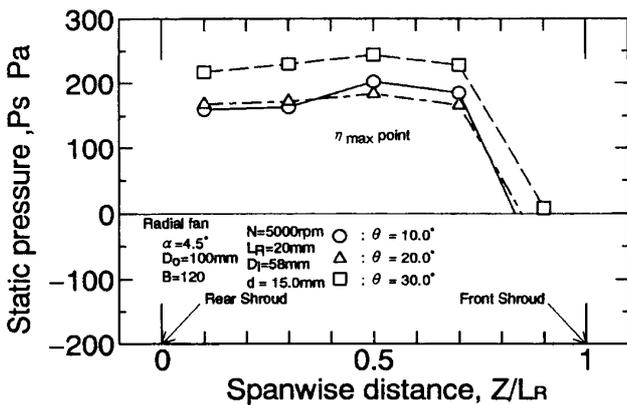
図11(a), (b)に速度の半径方向成分に及ぼすケーシング出口角 θ と露出長さ d の影響を示す。いずれの図においても半径方向速度は後面シュラウドから前面シュラウドへ向かってかなりのこう配で減少している。また、前面シュラウド近傍においては逆流が見られる。

4.3 ケーシング出口における圧力及び速度分布

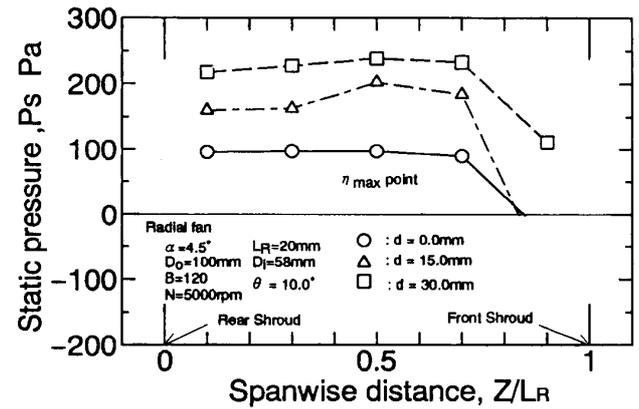
図12(a), (b)はそれぞれケーシング出口角 θ と露出長さ d がケーシング出口側のMP 5断面における全圧のケーシング壁面方向(X方向)の分布による影響を示したものである。図12(a)において θ が 10° と 20° の場合はケーシング壁面から舌部に向かって全圧が低下する傾向が見られるが、 30° の場合はほぼ平坦である。これは 10° と 20° の場合は遠心力の作用を強く受け、絶対速度がケーシング壁面側が速く、舌部へ向かうにつれて減少するためである。 30° の場合のMP 5断面は 10° と 20° の場合より広がった断面であるため速度が遅

くなり、ほぼ均一化されたことにより全圧がほぼ平坦になったものと考えられる。また、全圧のspan方向の平均値が異なるのは、それぞれによって最高効率点の作動点がことなるためである。図12(b)からは露出長さ d が30mmの場合には X/L_x が0.5近傍までほとんど平坦であるのに対し、他の二者はケーシング壁面から舌部へ向かって減少する傾向が見られものの d が15mmの場合が一部に平坦な部分が見られる。平坦の部分は d が大きいほど広い。これは d が大きいほど通路面積が広がるため、速度が遅くなり、摩擦抵抗が減少するためと思われる。

図13(a), (b)は図12と同様のことを断面6について示したものである。この場合はケーシング出口角 θ が大きくなるほど、露出長さ d が大きいほど通路面積が拡大し、通路を流れる流速が遅くなる。したがって、摩擦損失は θ と d が大きいほど小さくなり、平坦になっている。

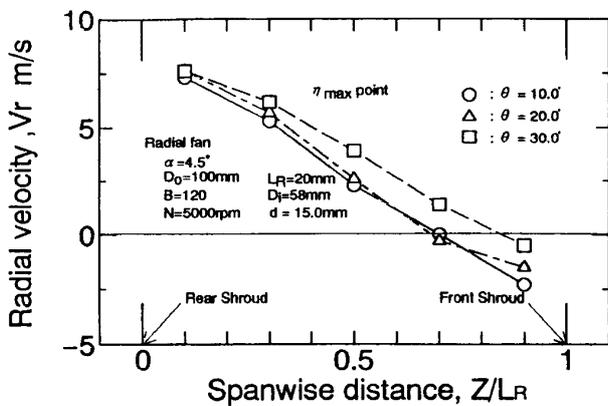


(a) Effects of outlet angle, θ

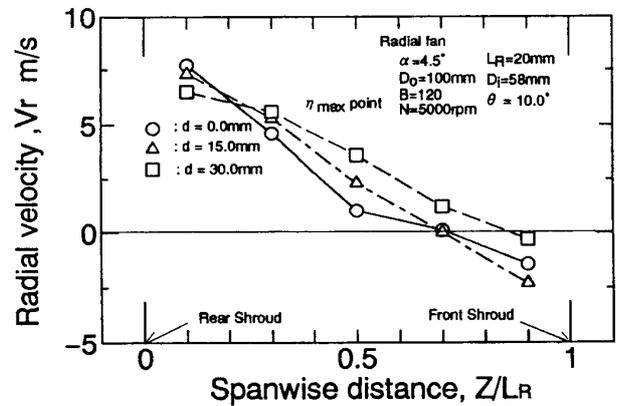


(b) Effects of the bare length, d

Fig.10 Spanwise distributions of the static pressure



(a) Effects of outlet angle, θ



(b) Effects of the bare length, d

Fig.11 Spanwise distributions of the radial velocity

図14(a), (b)と図15(a), (b)はそれぞれ測定断面5と測定断面6における静圧分布の露出長さ d の影響を調べたものである。静圧分布は測定断面やケーシング出口角、露出長さに関係なくほとんど平坦である。また、図14(a)において断面にわたる平均値が異なるのは主として計測点の流量が異なるためである。図14(b)からは d が小さいほど静圧は低くなっている。これはケーシングの出口面積が狭くなるにしたがって管路を流れる流速が増加し、摩擦損失が増加することにその一因がある。断面6では、 $d=0\text{mm}$ を除いていずれの場合にも静圧は上昇する。これは管路の面積が増加したため、速度エネルギーが圧力エネルギーに変換されたものと考えられる。

図16(a), (b)と図17(a), (b)には測定断面5と測定断面6における管軸方向（流れ方向）の速度の断面方向分布が示されている。図16(a)に見られるように、ケーシング出口角 θ が 30° と大きくなれば、舌部側へ向かっ

て速度が徐々に増加する傾向が生じるが、 θ がこれより小さい場合には舌部の極近傍を除いてほぼ平坦である。しかしながら、図16(a)に示されるように露出長さ d が零の場合（○印）には舌部側へ向かって減少する傾向が見られる。

図17(a)において、 θ が 30° の場合にはケーシング壁面から舌部側へ向かって速度は減少するが、 θ が 10° と 20° の場合には断面の中心近傍で極小値をとる傾向がある。また、この極小値の位置は露出長さ d によっても変わる〔図17(b)参照〕。

図18(a), (b)は全圧損失に及ぼす影響を示したもので、MP5とMP6の差がケーシング出口部における圧力損失である。二断面間の圧力こう配が大きいほど圧力損失が大きいことを意味している。図18(a)はケーシング出口角 θ が圧力損失に及ぼす影響を示したものである。 θ が 10° の場合（○印）は、 θ が 20° （△印）や 30° （□印）に比べて、こう配が急である。これはケーシ

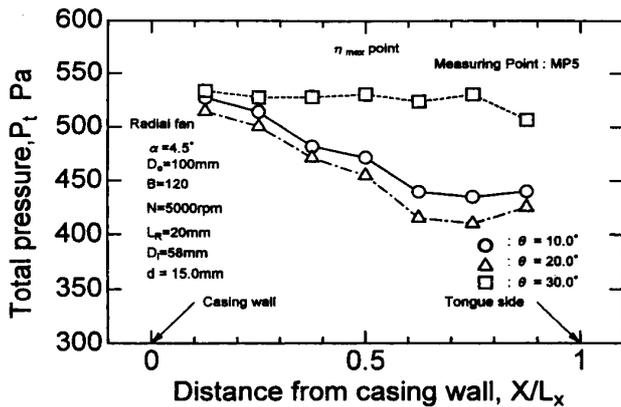
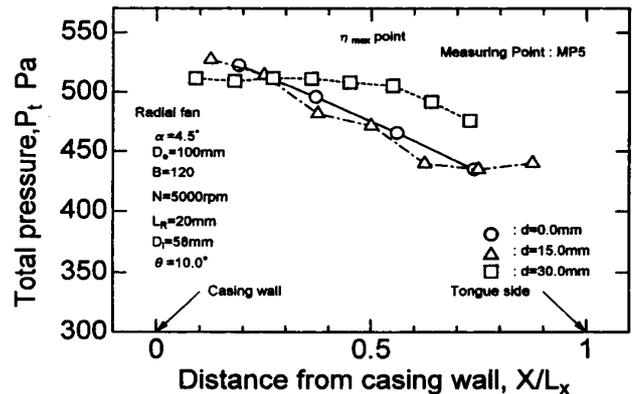
(a) Effects of outlet angle, θ (b) Effects of the bare length, d

Fig.12 Total pressure distributions at measuring section MP 5

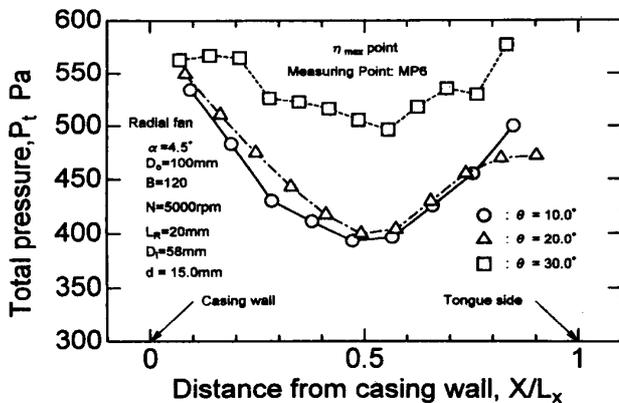
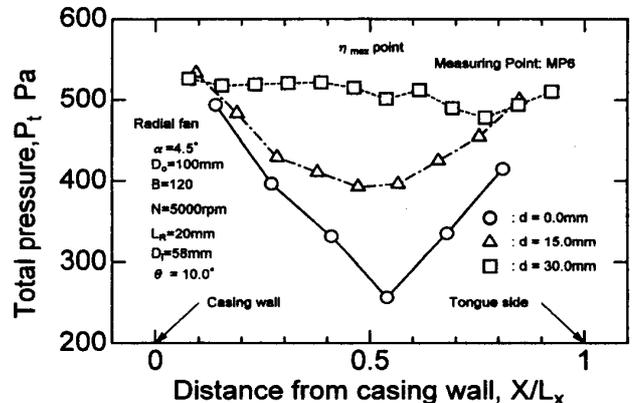
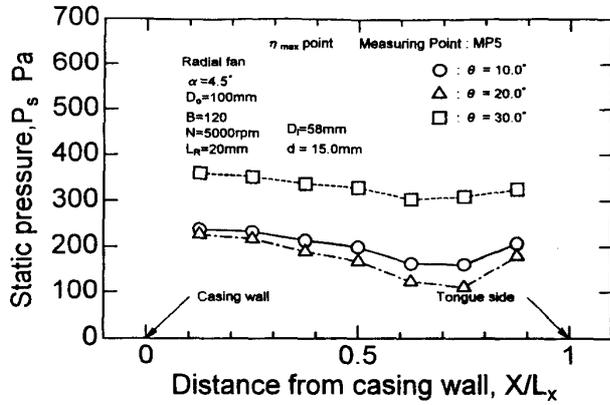
(a) Effects of outlet angle, θ (b) Effects of the bare length, d

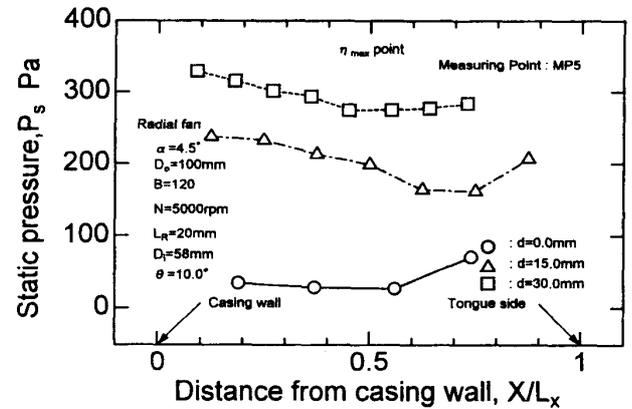
Fig.13 Total pressure distributions at measuring section MP 6

ング出口面積が、前者は後二者に比べて狭いために、管路を流れる流速が増え、摩擦損失が増加したためと思われる。 θ が 20° と 30° とを比較すれば、若干後者が

こう配が大きい。これはケーシング出口角が大きくなったために、出口近傍で流れのはく離が発生し、これに伴って圧力の損失が生じたものと考えられる。以上

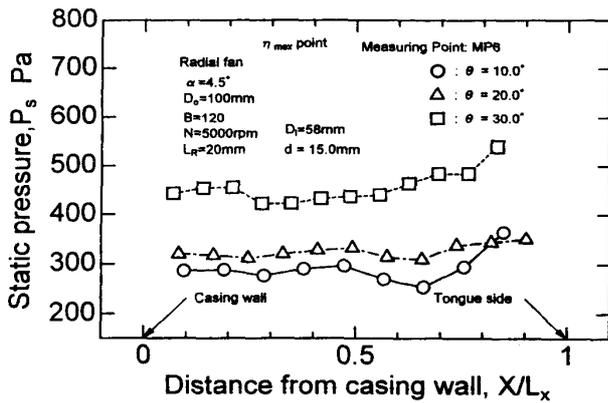


(a) Effects of outlet angle, θ

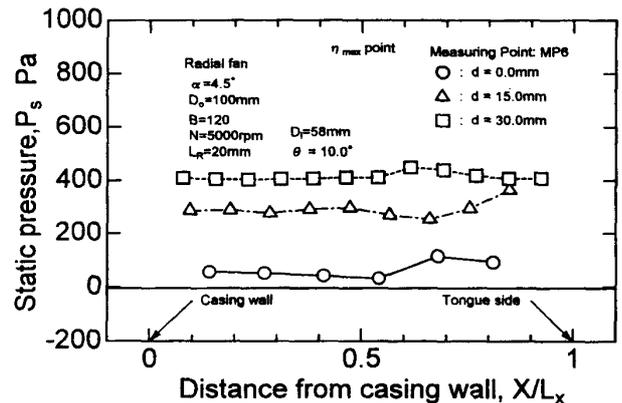


(b) Effects of the bare length, d

Fig.14 Static pressure distributions at measuring section MP 5

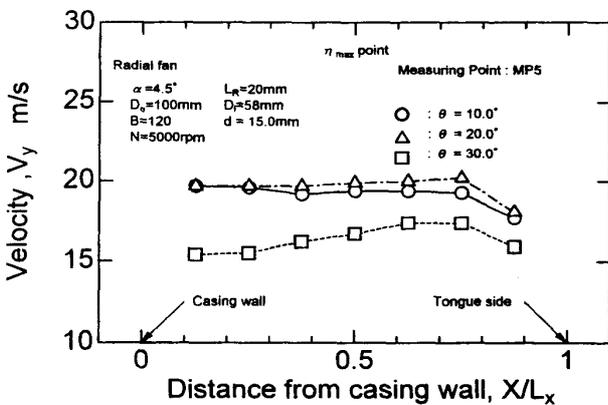


(a) Effects of outlet angle, θ

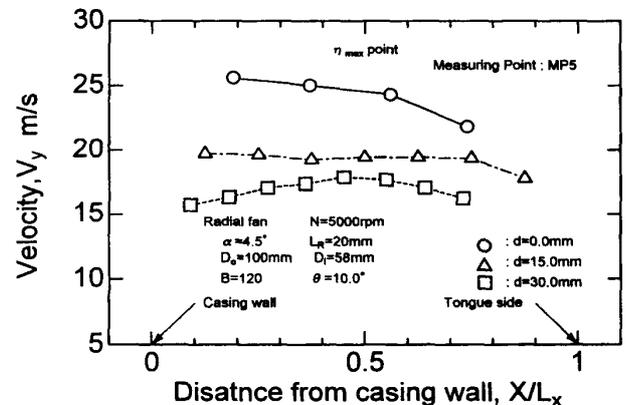


(b) Effects of the bare length, d

Fig.15 Static pressure distributions at measuring section MP 6



(a) Effects of outlet angle, θ



(b) Effects of the bare length, d

Fig.16 Velocity distributions at measuring section MP 5

の結果から、三者の内ではケーシングの出口角は 20° が最も全圧損失が小さい。

図18(b)には露出長さ d が全圧損失に与える影響を示している。この図から d が大きくなるほど、すなわち、 d が 0 mm (○印), 15 mm (△印), 30 mm (□印)の順に二断面間の全圧のこう配は小さくなり、全圧損失が小さいことが示される。これはケーシング出口面積は d が小さくなるほど狭くなり、管路を流れる流速が増加し、摩擦損失が増大するためである。この結果から d をあまり小さくするのは圧力やファン効率の面からは望ましくないと言える。図5を参照すれば本研究範囲では 15 mm 程度が最も良好である。

5. 結 論

小型の多翼ラジアルファンのにおいてケーシング出口角および露出長さが流体力学的特性に及ぼす影響を実験的に調べた。この結果、以下の結論を得た。

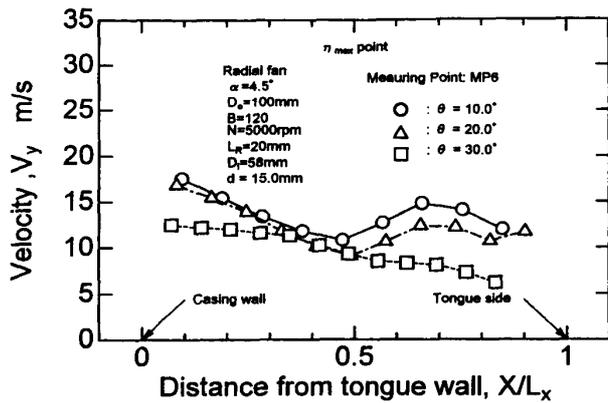
- (1) ケーシング出口角 θ を広げ過ぎれば流れのはく離

が生じる。また、出口角を零にすれば、壁面摩擦損失が増大する。このため圧力降下が生じ、効率は低下する。

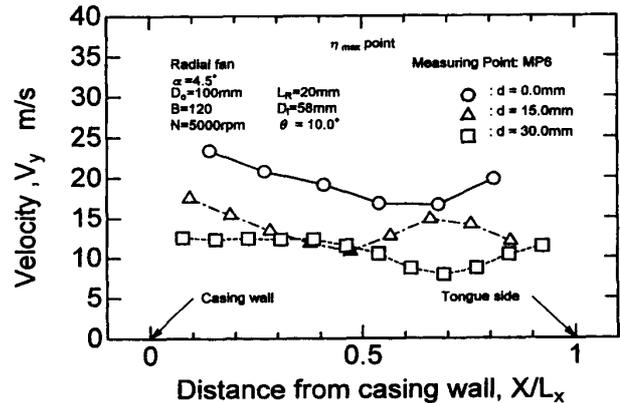
- (2) 露出長さ d が長くなれば、舌部からのもれ流が増加するため、効率は若干低下する。本実験範囲では、 $\theta=20^\circ$, $d=15\text{ mm}$ のときに効率が最も高く、この近傍に最適値が存在する。

参 考 文 献

- (1) 新原・ほか3名, 多翼ラジアルファンの流体力学的特性と騒音特性に関する研究 (羽根車内径, 羽根枚数の影響), 機論, 62巻602号, 3642-3648.
- (2) 児玉・ほか2名, 多翼ラジアルファンの乱流騒音の予測, ターボ機械, 24巻8号, 477-483.
- (3) 児玉・ほか2名, 多翼ラジアルファンの乱流騒音の流量特性とその音圧レベル予測, ターボ機械, 25巻2号, 65-72.

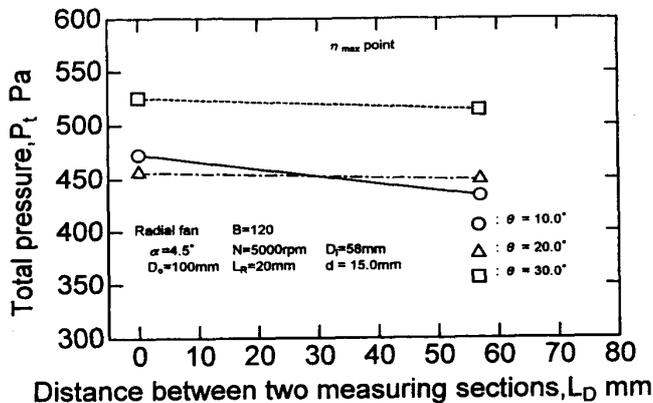


(a) Effects of outlet angle, θ

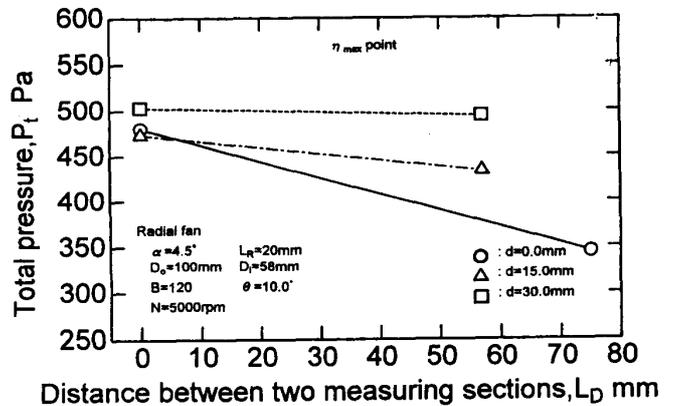


(b) Effects of the bare length, d

Fig.17 Velocity distributions at measuring section MP 6



(a) Effects of outlet angle, θ



(b) Effects of the bare length, d

Fig.18 Variation of the averaged total pressure from MP 5 to MP 6