遠心羽根車-ベーン付きディフューザ系に生じる旋回失速* (第2報, 実験と理論の比較)

吉田 義樹^{*1}, 鶴崎 展^{*2}
村上 芳則^{*3}, 辻本 良信^{*2}

Rotating Stalls in Centrifugal Impeller/Vaned Diffuser Systems (2nd Report, Comparison between Experiment and Theory)

Yoshiki YOSHIDA, Hiromu TSURUSAKI,
Yoshinori MURAKAMI and Yoshinobu TSUJIMOTO

Rotating stalls in a centrifugal impeller/vaned diffuser system were studied experimentally and analytically. In this report, the diffuser vane angle and the number of vanes are changed and it is shown that the impeller-diffuser interaction effects on rotating stalls are qualitatively unchanged by those parameters. Simple expressions of the results of 2D stability analysis are given for the cases of isolated impeller, impeller/vaned diffuser combination, vaned and vaneless diffusers. Comparison with the experimental results shows that the models can be used for the identification of principal origin of various rotating stalls observed.

Key Words: Rotating Stall, Centrifugal Impeller, Vaned Diffuser, Vaneless Diffuser Interaction, Unsteady Flow

1. 緒 言

遠心羽根車-ベーン付きディフューザ系に生じる旋回失速に関して、第1報⁽¹⁾では羽根車単独の場合と、ベーン付きディフューザを取付け、羽根車との間隔を変えた場合について述べた。その結果、羽根車とディフューザの間隔が小さい場合には、干渉効果がディフューザの旋回失速を抑制することがわかった。本報では、より失速しやすいと考えられるより大きな羽根角を持つディフューザや羽根枚数の少ないディフューザを第1報と同一の羽根車と組合せた場合について実験し、前述の羽根車のディフューザに対する旋回失速の抑制効果についてさらに検討を加えた。

また、羽根車出口とディフューザ入口の間のベーンレス部分が旋回失速に及ぼす影響を調べるために、ベーンレスディフューザについても実験を行った。さらに実験で得られた種々の旋回失速の主要原因について考察するため、羽根車単独、羽根車とベーン付きディフューザの間隔が極めて小さい場合、ベーン付きディフ

ューザ単独、およびベーンレスディフューザについて二次元線形解析⁽⁴⁾⁽⁵⁾の結果を整理して示し実験結果と比較・検討した。

2. 記 号

j : 虚数単位
 M : 羽根間通路の等価慣性長〔羽根数無限大の場合には、 $\int_1^2 r_2/r \sin \beta ds$ (β は羽根角, s は羽根に沿う座標)〕
 n : セル数
 p : 圧力
 Q : 流量
 r : 半径
 u : 羽根車周速
 v : 流体の速度
 ΔC_p : 圧力変動実効値/ ρu^2
 α : ディフューザ羽根角
 ζ_s : 衝突損失係数〔文献(7)〕
 ν : じょう乱の減衰率
 ρ : 流体の密度
 ϕ : 流量係数(羽根車出口における径方向速度/羽根車出口周速)

* 原稿受付 平成元年 10 月 13 日.

^{*1} 三菱重工業(株)高砂研究所 (〒676 高砂市荒井町新浜 2-1-1).

^{*2} 大阪大学基礎工学部 (〒560 豊中市待兼町 1-1).

^{*3} 筑波技術短期大学 (〒305 つくば市天王台 1-1-1).

ϕ_{2t} : 羽根車圧力係数 $= (p_2 - p_{1t}) / \rho u^2$

ϕ_{4t} : 羽根車-ディフューザ圧力係数
 $= (p_4 - p_{1t}) / \rho u^2$

ϕ_{4d} : ディフューザ圧力係数 $= (p_{3t} - p_4) / \rho v_d^2$

Ω : 羽根車回転角速度

ω : 変動圧力の角振動数

添 字

1: 羽根車入口

2: 羽根車出口

3: ディフューザ入口

4: ディフューザ出口

d : ディフューザ

t : 全圧

*: 無衝突流入

θ : 周方向成分

3. 実験結果と検討

本実験で用いた実験装置・方法、データ処理法は第1報と同じものである。

3.1 羽根車出口の変動圧力

3.1.1 羽根角を大きくした場合 表1に示す羽根角 30° で相似な三種のディフューザ(D30G0.5, D30G12, D30G20)をおおの第1報と同一の羽根車と組合せて測定した。各流量係数 ϕ におけるパワースペクトルを図1(a)~(c)に示す。図1中には、第1報と同様、卓越成分の周波数とクロススペクトル法によって決定したセル数 n と巡回速度比 $\omega/n\Omega$ を記している。

まず図1(a)に示すD30G0.5の場合を見ると、D20G0.5の場合[第1報の図8(a)]と同じく、低周波数域に現れるディフューザに起因する旋回失速は見られない。

次にD30G12[図1(b)]では、40~50 Hzの低周波数域にディフューザの旋回失速に起因すると考えられる圧力変動が生じているものの、D20G12の場合[第1報の図8(c)]より広帯域、不安定で、初生流量

表1 羽根角 30° のベーン付きディフューザの主要諸元

	D30G0.5	D30G12	D30G20
Inlet, Exit angle ($^\circ$)	30	30	30
Inlet radius r_3 (mm)	50.5	62.0	70.0
Radius ratio r_3/r_4	0.748	0.748	0.748
Width (mm)	11	11	11
Number of vanes z	18	18	18

も $\phi=0.04$ と小さい。

さらに間隔を広げたD30G20[図1(c)]では、30~50 Hzの低周波数域にディフューザの旋回失速と考えられる狭帯域で振幅レベルの大きい成分が見ら

図1 羽根車出口の圧力変動のパワースペクトル

れ、さらにその高調波成分も現れている。また、旋回失速初生流量も大きく $\phi=0.10$ である。すなわち $\alpha=30^\circ$ の場合にでも、より間隔を広げると強い旋回失速が現れている。

3・1・2 羽根枚数を減少させた場合 次に、D 20 シリーズと同一の羽根曲線を持ち、羽根枚数を 9 枚に半減したディフューザ 3 種について実験を行った。そのディフューザの諸元を表 2 に示す。おのおののディフューザ (D 20 Z 9 G 0.5, D 20 Z 9 G 12, D 20 Z 9 G 17) で測定したパワースペクトルを図 2 (a)~(c) に示す。

D 20 Z 9 G 0.5 [図 2 (a)] の場合には羽根枚数 18 の D 20 G 0.5 の場合と同様、ディフューザに起因する低周波数域の旋回失速成分は見られず、羽根車とディフューザが一体化した $\omega/n\Omega=0.6\sim0.7$ の成分が現れている。D 20 Z 9 G 12 [図 2 (b)] の場合には、比較的広帯域のパワースペクトルを持つ $\omega/n\Omega=0.03\sim0.05$ のディフューザの旋回失速が生じ、D 20 G 4 [第 1 報の図

8 (b)] と似た傾向を持つ。次にさらに間隔を広げた D 20 Z 9 G 17 [図 2 (c)] では、そのスペクトルは狭帯域となり、振幅レベルの大きな $\omega/n\Omega=0.06\sim0.08$ のディフューザの旋回失速が生じ、これは D 20 G 12 [第 1 報の図 8 (c)] の場合と類似している。

3・1・3 ベーンレスディフューザを取付けた場合 ベーンレス部分の影響について調べるために、表 3 に示す 2 種類のベーンレスディフューザ (Vaneless G 12, G 20) を取付けて測定した。

図 3 (a), (b) にパワースペクトルを示す。これより明らかなように、ベーンレス部分の内外径比が 1 に

表 2 羽根数 9 枚のベーン付きディフューザの主要諸元

	D20Z9G0.5	D20Z9G12	D20Z9G17
Inlet, Exit angle ($^\circ$)	20	20	20
Inlet radius r_3 (mm)	50.5	62.0	67.0
Radius ratio r_3/r_4	0.711	0.711	0.711
Width (mm)	11	11	11
Number of vanes z	9	9	9

(b) D 20 Z 9 G 12

(a) D 20 Z 9 G 0.5

(c) D 20 Z 9 G 17

図 2 羽根車出口の圧力変動のパワースペクトル

近いにもかかわらず、ベーンレスディフューザを取付けると、広い流量域にわたってベーンレスディフューザに起因すると考えられる旋回失速が生じている。羽根車とディフューザ間隔の大きい D20 G12, D30 G20 に対する結果と比較すると、ベーン付きディフューザで見られる旋回失速の振幅レベルは、ベーンレスディフューザで見られるものよりかなり大きく、旋回速度もベーン付きでは $\omega/n\Omega=0.03\sim0.1$ であるのに対し、ベーンレスの場合は約 0.2 となり、両者には明らかな相違がある。

3・2 セルの旋回速度比 第1報で述べた羽根車単独の場合、羽根角 $\alpha=20^\circ$ の3種のディフューザを取付けた場合、本報で述べた各種ディフューザを取付けた場合の旋回失速の各成分について、流量係数 ϕ を横軸に、旋回速度比 $\omega/n\Omega$ を縦軸に取って図4にまとめて示す。図4中には各成分の rms 値が ρu_2^2 に対する百分率で示されている。

表3 ベーンレスディフューザの主要諸元

	G12	G20
Inlet radius r_3 (mm)	50.5	50.5
Exit radius r_4 (mm)	62.0	70.0

(a) Vaneless G12

(b) Vaneless G20

図3 羽根車出口の圧力変動のワースペクトル

3・2・1 ディフューザに起因する旋回失速 まず羽根車とディフューザの間隔が 12 mm の場合、すなわち図4(c-3), (d-2), (e-2)に示す D20 G12, D30 G12, D20 Z9 G12 の場合に注目すると、D20 G12 の場合には、 $\phi=0.08$ から $\omega/n\Omega$ が 0.04 前後のディフューザに起因する強い旋回失速が発生している。一方、羽根角を 30° に増大させた D30 G12 と羽根枚数を 9 枚に減少させた D20 Z9 G12 の場合にも、それぞれ $\phi=0.04$ と 0.05 から D20 G12 の場合と同程度の旋回速度を持つ、ディフューザに起因する旋回失速が発生するが、初生流量はいずれも D20 G12 の場合より小さく、さらに圧力変動レベルも全般的に低い。すなわち羽根角がより大きい D30 G12 や、羽根数がより少ない D20 Z9 G12 のほうが羽根負荷が大きいため、旋回失速が生じやすいと考えられるにもかかわらず、それとは逆の結果となっている。これはディフューザ単体としては失速しやすくても、羽根車との干渉により、ディフューザの旋回速度が強く抑制され、一見常識に反する結果が現れたものと考えられる。

これらの場合に対して、羽根車とディフューザの間隔をより広げた場合、すなわち図4(d-3), (e-3)に示す D30 G20, D20 Z9 G17 の場合には、広い流量範囲でディフューザに強い旋回失速が生じる。これより、前述の D30 G12 や D20 Z9 G12 の場合には、羽根車によりディフューザの旋回失速が抑制されていると考えられる。

文献(6)ではベーン付きディフューザの部分負荷時の流れを分類し、旋回失速が生じるディフューザの節弦比とスタック角の関係を与えているが、本実験では、羽根車との間隔が十分大の場合には、文献(6)で示された節弦比とスタック角の関係を持たないディフューザでも旋回失速が観察されている。本研究の結果からは、旋回失速発生に関してはディフューザの幾何形状自体よりも、むしろ羽根車との干渉効果が大きく影響すると思われる。したがって、羽根車とディフューザが接近して配置された場合、旋回失速の発生については両者の干渉を考慮すべきであり、ディフューザ単体の失速特性だけで判断するのは必ずしも正しくない。ただ現在は、羽根車とディフューザの干渉効果を定性的に明らかにすることができた段階であり、定量的な表現については今後の課題としたい。

ベーンレスディフューザを取付けた場合、すなわち図4(b-1), (b-2)に示す G12, G20 の場合には、 $\phi=0.1$ 付近で旋回失速が初生し、 $\omega/n\Omega$ は 0.2 程度である。しかし、ベーン付きディフューザを取付けた場合には、対応する流量域で同程度の振幅レベルと旋回

速度の圧力変動は認められなかった。これは、ペーン付きディフューザがペーンレス部分の旋回失速の発生を抑制しているためと考えられる。同様の現象はペーンレスディフューザの旋回失速防止法と関係して文献(9)でも報告されている。

3・2・2 その他の旋回失速 まず羽根車とディフューザの間隔が小さい場合、すなわち図4(c-1), (d-1), (e-1)に示すD20G0.5, D30G0.5, D20Z9G0.5の場合を考える。D20Z9G0.5を取付けた場合には、D20G0.5を取付けた場合と同様、羽根車とディフューザが一体化したと考えられる $\omega/n\Omega=0.6 \sim 0.7$ の旋回失速が生じるが、D30G0.5の場合には、上記のタイプの旋回失速は生じない。図は省略するがこの結果は、D30G0.5を取付けた場合、羽根車とディフューザの静圧上昇性能曲線は明確な右上がり特性を持たないことと対応している。

次に図4(a)で見られる $n=1, \omega/n\Omega=0.8 \sim 0.9$ の羽根車に起因する旋回失速と同程度の旋回速度比を持つ $n=1$ の成分について考える。これらは図4(d-2), (d-3)などに示すように、ペーン付きディフューザに

(a) 羽根車単独

(b-1) Vaneless G12

(b-2) Vaneless G20

(c-1) D20G0.5

(d-1) D30G0.5

(e-1) D20Z9G0.5

(c-2) D20G4

(d-2) D30G12

(e-2) D20Z9G12

(c-3) D20G12

(d-3) D30G20

(e-3) D20Z9G17

図4 流量係数 ϕ と旋回速度比 $\omega/n\Omega$ の関係

起因する旋回失速が生じるときや、図4(b-1), (b-2)に示すようにペーンレスディフューザに起因する旋回失速が生じるときにも現れている。これらの成分の振幅レベルはディフューザに起因する旋回失速成分より著しく低下し、その出現は不安定であるが、旋回速度から考えて羽根車に起因するものと思われる。

さらに図4に示すディフューザすべてについて、 $n=2, 3, 4$, $\omega/n\Omega$ が1前後の成分がほぼ同じ流量域で現れた。その発生原因については明らかでないが、ペーンレスディフューザの場合も含むすべての場合について現れていることから、羽根車に関係しているものと考えられる。

4. 理論との比較

これまでは、実験条件を変えることにより、観察された種々の旋回失速成分について、その主要原因を実験的に推定してきたが、ここでは軸流の場合⁽²⁾⁽³⁾に対して提案されているのと同様な二次元線形解析⁽⁴⁾⁽⁵⁾の結果を、各要因の影響が明確な形で示し、これと実験結果との比較により考察を加えることにする。

4.1 羽根車単独の場合⁽⁴⁾ 解析には以下の仮定を用いている。

- (1) じょう乱は微小
- (2) 羽根車上流は渦なし流れ
- (3) 羽根車出口圧力は一定
- (4) 羽根数は無限大で、羽根車内の損失は衝突損失と摩擦損失の和⁽⁷⁾として与えられる。

微小じょう乱を $\exp[j\{(\omega + j\nu)t - n\theta\}]$ の形に仮定すると、式(1), (2)を得る。

$$\frac{\omega}{n\Omega} = 1 - \frac{\zeta_s(1-\phi/\phi^*)}{1+nM/r_2} \quad \dots\dots\dots (1)$$

$$\frac{\nu}{n\Omega} = -\frac{1}{1+nM/r_2} \frac{\partial\psi_{2t}}{\partial\phi} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$\partial\psi_{2t}/\partial\phi \geq 0$ の場合、じょう乱は時間的に発散するか、定常振動が生じる。第1報の図10より、旋回失速が観察された流量域では $\partial\psi_{2t}/\partial\phi \geq 0$ となっている。 ζ_s は定常性能より $\zeta_s=0.727$, M は羽根数有限の影響を考慮して羽根数無限大の値の0.7倍と仮定して、 $\omega/n\Omega$ を式(1)より計算し、この値と実験値を比較し表4に示す。上記のように ζ_s と M を選べば、 $n=1$ の成分に対しては式(1)は妥当な値を与えている。

4.2 羽根車とペーン付きディフューザの間隔が極めて小さい場合⁽⁵⁾ 羽根車およびディフューザに対して4.1節と同様の仮定を用い、さらに羽根車とディフューザの間隔は零とする。このとき式(3), (4)を得る。

$$\frac{\omega}{n\Omega} = 1 - \frac{nM_d/r_2 + \zeta_s(1-\phi/\phi^*)}{1+nM/r_2 + nM_d/r_2} \quad \dots\dots\dots (3)$$

$$\frac{\nu}{n\Omega} = -\frac{1}{1+nM/r_2 + nM_d/r_2} \frac{\partial\psi_{4t}}{\partial\phi} \quad \dots\dots\dots (4)$$

羽根車の ζ_s , M には4.1節と同じ値を用い、ディフューザに関する M_d の値としては、羽根数有限の影響を考慮しておのおの羽根数無限大の値の0.8倍(D20-G0.5), 0.6倍(D30-G0.5), 0.5倍(D20-Z9-G0.5)として式(3)より $\omega/n\Omega$ を計算して実験値と比較したものを表5に示す。羽根車単独の場合より値が小さいのは、ディフューザ内流体の慣性効果 nM_d/r_2 が加わったためである。本研究では、ここで仮定したように羽根車とディフューザの間隔が小さく、羽根車から流出した流体がその流出点で直ちにディフューザに流入すると考えられる場合に生じる旋回失速を、一体化した旋回失速と呼んでいる。第1報の図11より、 $\partial\psi_{4t}/\partial\phi \geq 0$ の領域とこの旋回失速の発生流量域がほぼ一致する。

4.3 ペーン付きディフューザ単独の場合⁽⁴⁾ 羽根車単独の場合と同様な仮定をディフューザに適用した解析により、式(5), (6)を得る。

$$\frac{\omega}{n\Omega} = \frac{\zeta_{sd} \left(\frac{r_2}{r_3} \right)^2 \frac{v_{02}}{u_2} \left(1 - \frac{v_{02}^*}{v_{02}} \right)}{1+nM_d/r_3} \quad \dots\dots\dots (5)$$

$$\frac{\nu}{n\Omega} = \frac{\left(\frac{r_2}{r_3} \right)^2 \left(\frac{v_{02}}{u_2} \right)^2 \frac{\partial\psi_{4d}}{\partial\phi}}{1+nM_d/r_3} \quad \dots\dots\dots (6)$$

ディフューザの衝突損失係数 ζ_{sd} には文献(7)による値を用い、 v_{02} は羽根車の理論ヘッド(非粘性有限ピッチ解析による)より求めた。 v_{02}^* はディフューザに無衝突流入するときの羽根車出口周方向分速度である。各ディフューザについて、式(5)より $\omega/n\Omega$ を計算して実験値と比較したものを表6に示す。理論値は実験値と定量的にはあまりよく一致しないが、流量やディフューザの相違による変化の傾向は一致している。式(6)の ψ_{4d} は羽根車の理論ヘッドおよびディフューザ出口と羽根車出口間の静圧差の実測値を用いて求めた。また参考値として、ディフューザ効率 η_d を(上記の静圧差)/(羽根車出口動圧)として定義した。 ψ_{4d} および η_d の ϕ に対する変化を図5に示す。ディフューザに旋回失速が初生する流量係数は、 $\phi=0.1$ (D30-G20), 0.07 (D20-Z9-G17), 0.08 (D20-G12)であるから、初生流量係数において $\partial\psi_{4d}/\partial\phi < 0$ であり、これは式(6)で $\nu < 0$ の場合に旋回失速が発生することに対応する。

4.4 ペーンレスディフューザの場合⁽⁴⁾ 以下の仮定を用いた解析により式(7), (8)を得る。

- (1) ディフューザ内部の流れは渦なし流れ
- (2) ディフューザ出口で圧力は一定
- (3) ディフューザ入口でじょう乱速度は羽根車の羽根に沿う (β : 羽根出口角).

$$\frac{\omega}{nQ} = \left(\frac{r_2}{r_1} \right)^2 \psi \times \left(1 - \frac{\phi}{\psi} \frac{2\sin 2\beta}{(r_4/r_2)^{2n} + (r_4/r_2)^{-2n} + 2\cos 2\beta} \right) \dots\dots\dots (7)$$

$$\nu = \frac{nQ}{2\pi r_1^2} \frac{(r_4/r_2)^{2n} - (r_4/r_2)^{-2n}}{(r_4/r_2)^{2n} + (r_4/r_2)^{-2n} + 2\cos 2\beta} \dots\dots\dots (8)$$

Jansen⁽¹⁰⁾は仮定(3)の代わりに、ディフューザ出口で半径方向圧力こう配零の条件を用いて解析している。式(8)によると、 $Q>0$ のときに常にじょう乱は減衰する。これは Jansen の得た結果と同じである。これに対して Jansen は、ディフューザ壁面に部分的に逆流が生じると、 $Q>0$ でもじょう乱の発達が可能であるとしている。非粘性解析より求めた羽根車の理論ヘッドを ψ として、式(7)より ω/nQ を計算して実験値と比較したものを表7に示す。理論値は今回の実験値より大きい。セル数や流量に対する変化の傾向は一致する。一方 G 12, G 20 の旋回失速初生流量係数は約 0.1 であり、著者の一人による実験式⁽⁸⁾から求めた値 0.135 より小さいが、ほぼ納得できる値となっている。また旋回速度比は実験式⁽⁸⁾によると G 20 の場合、 $\phi=0.03, 0.05, 0.1$ についてそれぞれ、0.382, 0.369, 0.308 であり、これは理論値とよく一致している。すな

表 4 旋回速度比の理論値と実験値の比較(羽根車単独の場合, $n=1$)

ϕ	0.02	0.03	0.04
Theory	0.891	0.906	0.921
Expt.	0.867	0.879	0.890

表 5 旋回速度比の理論値と実験値の比較(羽根車とベーン付きディフューザの間隔が極めて小さい場合, $n=1$)

ϕ		0.02	0.03	0.04
D20G0.5	Theory Expt.	0.612 0.679	0.622 0.586	0.633 0.656
D30G0.5	Theory Expt.	0.783 —	0.797 —	0.811 —
D20Z9G0.5	Theory Expt.	0.693 0.680	0.705 0.592	0.718 —

わち本理論によっても、旋回失速の旋回速度比が精度よく予測できる例もあることがわかる。

以上の各場合について、線形解析により旋回失速の主原因が推定できる程度の旋回速度比の一致が見られている。すなわち実験結果から推測した各旋回失速成分の主原因が、以上の各場合について、二次元解析からも裏付けられる。

一方、ディフューザを用いた場合の計測には、図4中に見られるように、セル数が2~4、旋回速度比が1前後の成分が常に観察されている。この中には旋回速度比が1を超えるものも含まれるが、二次元線形解析からは、そのような旋回失速は現れない。旋回速度比が1を超える場合として、キャビテーションを伴うポンプ^{(11)~(13)}、高比速度の遠心ファン⁽¹⁴⁾の例がある。後者の場合には、前面シュラウド側での羽根圧力面の

表 6 旋回速度比の理論値と実験値の比較(ベーン付きディフューザ単独の場合, $n=3$)

ϕ		0.03	0.05	0.07
D20G12	Theory Expt.	0.023 0.049	0.020 0.041	0.015 0.035
D30G20	Theory Expt.	0.055 0.098	0.046 0.080	0.037 0.070
D20Z9G17	Theory Expt.	0.030 0.078	0.025 0.066	0.020 0.055

表 7 旋回速度比の理論値と実験値の比較(ベーンレスディフューザ G 20 の場合)

ϕ		0.03	0.05	0.10
n = 3	Theory Expt.	0.378 0.184	0.348 0.172	0.275 0.156
n = 4	Theory Expt.	0.380 0.182	0.352 0.176	0.282 0.167

図 5 ベーン付きディフューザ性能曲線

はく離として説明されているが, 本研究の場合ではこれが原因ではないと考えている。また, 旋回速度比が0.9~1.0の成分も測定されているが, 前述の二次元解析から説明される羽根車の旋回失速成分よりも旋回速度比が明らかに大きく, 通常考えられる羽根車の旋回失速とは別種のものであるように考えられ, これらの成分が何に由来するものかの詳細は今後の課題とした。

5. 結 論

本研究で以下のことが明らかとなった。

(1) ディフューザの羽根角, 羽根数によらず, 羽根車とディフューザの間隔が大きく, 羽根車の干渉が弱いと, ディフューザに起因する旋回失速が発生し, 一方羽根車とディフューザの間隔が極めて小さい場合には両者が一体化したと考えられる旋回失速が生じた。

(2) 羽根車とディフューザの干渉効果により, 羽根角が大きく, 羽根数が少ないディフューザのほうが旋回失速が生じ難いという一見常識とは逆の結果が得られた。

(3) 文献(6)では, 旋回失速を生じるディフューザの節弦比とスタック角の関係を与えているが, 本実験結果によるとそのような関係は必ずしも成立しなかった。羽根車とディフューザの間隔が小さい場合には, 両者の干渉効果を考慮すべきである。

(4) ベーンレスディフューザの旋回失速は, その下流にベーン付きディフューザを設けることにより完全に抑制された。

(5) 羽根車単独の場合, 羽根車とベーン付きディフューザの間隔が極めて小さい場合, ベーン付きおよびベーンレスディフューザ単独の場合に対する二次元線形解析の結果を整理して示した。これらの成分に関しては, 実験結果との妥当な一致が見られたが, 実験では旋回速度比が1前後の, 二次元解析からは説明できない成分も観察された。

本研究に用いた実験装置の製作にあたり, 松下電産電化研究所の福本正美技師から多大のご協力を賜った。また実験に際しては, 当時大阪大学の卒研究生であった石井岳氏, 伊藤武彦氏から労を惜しまぬ協力をいただいた。ここにこれらの方々に深く謝意を表す。

文 献

- (1) 本論文集 2991 ページ。
- (2) 高田, 東京大学航空研究所集報, 2-6(1961), 305.
- (3) Stenning, A. H., *Trans. ASME, J. Fluid Eng.*, **102**-1(1980), 14.
- (4) 辻本・Acosta, A. J.・Brennen, C. E., 機論, **52**-483, B(1986), 3747.
- (5) 辻本・Acosta, A. J.・吉田, 機論, **54**-505, B(1988), 2266.
- (6) Hergt, P. and Benner, R., *Chvez, Banztg.*, **86**-40(1968), 716.
- (7) 生井, 遠心・軸流送風機と圧縮機, (1969), 172, 朝倉書店。
- (8) 露崎・市原, 機論, **54**-503, B(1988), 1661.
- (9) Abdelhamid, A. N., *Trans. ASME, J. Turbomach.*, **109**-1(1987), 36.
- (10) Jansen, W., *Trans. ASME, Ser. D*, **86**-4(1964), 750.
- (11) Kamijo, K., ほか2名, NAL, TR-598 T(1980-5).
- (12) Rosenmann, W., *Proc. Symp. Cavitat. Fluid Mach.*, ASME Winter Annual Meeting, (1965-11), 172.
- (13) 山本, エハラ時報, No. 122(1982-10), 9.
- (14) Madhavan, S. and Wright, T., *Trans. ASME, J. Eng. Power*, **107**-3(1985), 775.