ディストーション指数の組合せ^{*1}

The Superposition Distortion Index

阿 部 達 夫^{*2}

Tatsuo ABE

Key Words: Axial Flow Fan, Distortion, Distortion Index

Abstract

In this paper, a superposition distortion index K_{A2} is introduced to indicate the relationship between the distortion intensity and the fan speed. The data to calculate the K_{A2} was obtained by the distortion experiments using the two stages axial flow fan and distortion screens. A number of conventional distortion indices such as K_{ra2} , DI , D_{min} , K_θ , K_{D2} , $DC60$ are presented to evaluate the each radial and circumferential distortion intensity. In previous paper, both radial and circumferential distortion indices are expressed in one figure to evaluate the distortion intensity more accurately. This method, however, cannot tell the influence of the fan speed. The index K_{A2} includes the radial distortion index K_{ra2} and the circumferential distortion index K_θ , the influence of fan speed. The influence of fan speed was obtained from the stall margin decrease of the fan characteristics curves.

1. ま え が き

ターボファン・エンジンの構成要素であるファン・圧縮機・燃焼器・タービン等のうち、ファンがディストーションの影響を大きく受け¹⁾、ストール余裕が減少し、効率も低下する。ディストーション・レベルが大きい場合、ファンは旋回失速やサージまたは振動が発生し、このためエンジンが安定に作動できないことが起こる^{1,2)}。

ディストーション・レベルの大きさを表示する方法として、現在多くのディストーション指数が発表されているが、ディストーションの複雑な形態を単純化するためには、ディストーションは半径方向ディストーション、周方向ディストーション、半径/周方向合成ディストーションの形態に区分される。

現在、発表されているディストーション指数も半径方向ディストーション・レベルの大きさ、または周方向ディストーション・レベルの大きさを表し、それぞれ半径方向ディストーション指数、周方向ディストーション指数と呼ばれている。

エンジンがどれくらいの大きさのディストーション・レベルに耐えて安定した作動ができるかを評価するとき、1種類の半径方向ディストーション指数または周方向ディストーション指数を用いて評価を行うと、ディストーション指数が小さくてもファンに旋回失速が生じ、またディストーション指数が大きくてもファンに旋回失速が生じていないことが起こり、評価に不合理性が生ずる。この不合理性をさけるため、前報¹⁾では、図表上で周方向ディストーション指数を横軸に、半径方向ディストーション指数を縦軸にすることによってディストーション・レベルを表示し、耐ディストーション特性を評価した。

エンジンのディストーション実験では、ディストーション・スクリーンを用いてディストーションをファン入口流路に発生させた。その場合、ファンは低回転では安定に作動するが、高回転では旋回失速を生じた。これは、ディストーションによる影響が回転数によって異なることを示している。しかし、前報のディストーション・レベルの表示法では、回転数の要因を表すことはできなかった。

本稿では、回転数の要因をディストーション指数に加味するために、ファン単体のディストーション実験を行って、そのデータを引用し、半径方向ディストーション指数と周方向ディストーション指数を組み合わせ、組合せディストーション指数で表示することを試み、回転数とディストーション指数との関係を表示することが容易に行えることを述べるものである。

さらに、供試ファンと同一のファンを装着したターボファン・エンジンに本方法を適用したものと比較検討した結果をも述べるものである。

^{*1} 昭和60年2月15日、第25回航空原動機に関する講演会にて発表。昭和59年8月3日原稿受理

^{*2} 防衛庁技術研究本部第3研究所

2. 供試ファン

第1表はファンの主要諸元を示し、ファンは入口案内翼なしの軸流2段から構成され、各段の動翼と静翼は多重円弧翼を使用し、動翼には振動防止用のスナバを付けていない。また、各段動翼にはワイドコードの

第1表 ファン主要諸元

項 目	単位				
空気流量	kg/s	34			
圧力比		2.6			
回転数	rpm	15280			
バイパス比		0.9			
1段動翼先端相対入速度	m/s	488.9 ($M=1.493$)			
入口軸流速度 (平均径)	m/s	208.4 ($M=0.636$)			
出口軸流速度 (平均径)	m/s	204.2 ($M=0.567$)			
入口ボス比		0.4			
		1 段		2 段	
		動翼	静翼	動翼	静翼
翼先端のアスペクト比		1.43	2.75	2.02	2.20
翼先端の翼弦長	mm	118.5	51.9	39.6	41.0
翼先端のソリディティ		1.33	1.55	1.27	1.66
翼枚数	枚	18	46	48	59

第1図 ファン全体図

翼を使用している。

3. 実験装置およびディストーション・スクリーン

3.1 実験装置 ファン入口の流路にディストーションを発生させるために、ディストーション・スクリーンをファンの1段動翼前縁から前方360 mmの位置に設置し、それを運転室から遠隔操作により回転できる構造とした。第1図は、ディストーション・スクリーンを装着したファンの全体図を示す。

第2図は、実験装置の全体図を示す。

2基のターボシャフト・エンジン (T-64) は増速装置 (増速比1.29) を介してファンを駆動する。空気流量は遠隔操作式の調整弁の開度調整によって制御され、吐出空気はコア側排気ダクトとバイパス側排気

第2表 ディストーション・スクリーンの諸元

形 態	名称	開口比	ブロック比	形 状
半径方向ディストーション・スクリーン A型	A-70	70(%)	40	
	A-61	61		
	A-50	50		
周方向ディストーション・スクリーン B型	B-76	76	22	
	B-70	70		
	B-50	50		
半径/周方向合成ディストーション・スクリーン C型	C-70	70	43	
	C-50-180	50	20	
	C-50-120	50	133	
	C-50-60	50	66

第2図 実験装置の全体図

ダクトに排出され、オリフィスを通して大気中に排出される。逃し弁は、ファンがサージを発生した瞬間に開かれ、ファン後流を開き、サージを回復させる。

3.2 ディストーション・スクリーン ディストーションを発生させるためのディストーション・スクリーン (以下にスクリーンという) には、半径方向スクリーン (A 型)、周方向スクリーン (B 型)、半径/周方向合成スクリーン (C 型) を使用した。本稿でのスクリーンは厚さ 1.5 mm のステンレス鋼板に径が $2\phi \sim 10.8\phi$ の範囲で小孔をあけ、小孔の合計面積とスクリーンの総面積の比 (開口比) を調整することによって発生するディストーションの指数を変化させた。

第 2 表に使用したスクリーンの諸元を示す。同表中のブロック比はスクリーンの面積と流路断面積の比を表す。

4. 実験方法

4.1 実験方法 前述のスクリーンを用い、回転数を一定として、種々の空気流量においてファン入口流路にディストーションを発生させ、さらに、他の回転数の下でも同様にディストーションを発生させた。

周方向ディストーションおよび半径/周方向合成ディストーションを発生させた場合には、スクリーンを 30° 間隔に 0° から 360° まで 1 回転させ、その都度計測を行い、また、半径方向ディストーションを発生させた場合には、スクリーンを回転させずに計測を行った。実験は、各回転数の場合とも、サージが発生するまで空気流量を減少させて行ったが、サージが発生した瞬間には駆動エンジンの回転数を下げるとともに逃

し弁を開いて、サージを回復させた。

4.2 計測方法 第 3 図に示すように、ファンの入口/出口の半径方向に、多点全圧管を周方向に 2 本ないし 3 本取り付け、貯気室には熱電対 (IC) を周方向に 4 個取り付けた。また、ファン出口の半径方向に、多点熱電対を周方向に 2 本取り付け付けた。ここでは、各計測点の軸方向の距離 l は、1 段動翼前縁から軸流方向を正として表す。

第 4 図に計測系統図を示し、計測は自動計測で行った。

ファンの圧力比および断熱効率、ファンの入口と出口の全圧および全温等の実測値の平均値から求め、空気流量は排気ダクト後方に設けたオリフィスによって求めた。

第 3 図 圧力および温度の計測位置

第 4 図 計測系統図

5. ディストーション指数

5.1 半径方向ディストーション指数 半径方向ディストーション指数は、半径方向ディストーション・レベルの大きさを表す指数で、本稿では $D_{\min}$, DI , $K_{ra2}^{3-5)}$ を使用した。なお、それぞれ式(1)~(3)で定義される。

$$D_{\min} = (p_{tl, av} - p_{tl, \min}) / q_{l, av} \quad (1)$$

$$DI = (p_{tl, \max} - p_{tl, \min}) / p_{tl, av} \quad (2)$$

$K_{ra2} =$

$$\frac{\sum_{n=1}^L \{p_{tl, av} - p_{tl, n, av}\} / p_{tl, av} \{p_{tl, av} / q_{l, av}\} (1/D_n^x)}{\sum_{n=1}^L (1/D_n^x)} \quad (3)$$

ここで

$p_{tl, av}$: ファン入口の平均全圧

$p_{tl, \min}$: ファン入口の最小全圧

$q_{l, av}$: ファン入口の平均動圧

$p_{tl, \max}$: ファン入口の最大全圧

$p_{tl, n, av}$: ファン入口の半径方向各全圧計測点位置 (リング) の平均全圧

D_n : ファン入口の各リングの直径

x : 指数 (=2.8)

n : リングの番号

5.2 周方向ディストーション指数 周方向ディストーション指数は、周方向ディストーション・レベルの大きさを表す指数で、本稿では DC_{60} , K_{D2} , $K_{\theta}^{3,4)}$ を使用した。なお、それぞれ式(4)~(6)で定義される。

$$DC_{60} = (p_{tl, av} - p_{t, 60 \min}) / q_{l, av} \quad (4)$$

$$K_{D2} = \frac{\sum_{n=1}^L \theta_n^{-1} \{ (p_{tl, n, av} - p_{tl, n, \min}) / p_{tl, n, av} \} (OD/D_n)}{\sum_{n=1}^L (OD/D_n)} \quad (5)$$

$$K_{\theta} = \frac{\sum_{n=1}^L \{ (A_L / L^2)_{\max} \}_n (p_{tl, av} / q_{l, av}) (1/D_n^y) (D_n^2 / OD^2)}{\sum_{n=1}^L (1/D_n^y) (D_n^2 / OD^2)} \quad (6)$$

ここで

$p_{t, 60 \min}$: 周方向 60 度の領域内の平均全圧のうちの最小の全圧

θ_n^{-1} : 各リングでの全圧がそのリングでの平均全圧より低い部分のうち、いちばん大きい連続した周方向の角度

OD : ファン入口ダクトの直径

y : 指数 (=1.0)

なお、第5図に $p_{t, 60 \min}$ および θ_n^{-1} を示す。

周方向角度 θ の関数で表される圧力分布 $(p_{tl}(\theta) / p_{tl, av})_n$ は L 次フーリエ級数で表され、式(7)に示す。

$$(p_{tl}(\theta) / p_{tl, av})_n = \{ b_0 / 2 + \sum_{L=1}^{\infty} (b_L \cos L\theta + a_L \sin L\theta) \}_n \quad (7)$$

ここで

A_L : L 次フーリエ級数の調和係数 $(A_L)_n = \{ \sqrt{a_L^2 + b_L^2} \}_n$

L : フーリエ級数の次数

Dicus は、一般に発生するディストーションでは、 $(A_L)_n$ が最大値を示す L は 1 になることが述べられている⁴⁾。

本稿の場合も周方向ディストーションおよび半径/周方向合成ディストーションを発生させ、 L と A_L の関係を調べ、第6図に修正回転数が 89% の場合を例として示す。同図によると、 A_L が最大値を示す L は

第5図 $p_{t,60 \min}$ および θ_n^{-1} の説明図

第6図 周方向圧力分布の調和係数

各リングとも1である。なお、他の修正回転数の場合
も同様であった。\$L=1\$とすると、\$K_{\theta}\$は式(8)のよ
うになる。

$$K_{\theta} = \frac{\sum_{n=1}^L (1/D_n^2) \left[\left\{ \sum_{i=1}^K p_i(\theta_i) \cos \theta_i \Delta \theta_i \right\}_n^2 + \left\{ \sum_{i=1}^K p_i(\theta_i) \sin \theta_i \Delta \theta_i \right\}_n^2 \right]^{1/2}}{180 \cdot q_{1,av} \cdot \sum_{n=1}^L (1/D_n^2)} \quad (8)$$

ただし、\$(\Delta \theta_i)_n = (\theta_{i+1} - \theta_{i-1})_n / 2\$

ここで

\$I\$: リング \$n\$ 上の任意の測定点

\$K\$: リング \$n\$ 上の測定点の数

5.3 組合せディストーション指数 組合せディストーション指数 \$K_{A2}\$ は半径方向ディストーション指数と周方向ディストーション指数を組み合わせたもので、本稿では、半径方向ディストーション指数には \$K_{ra2}\$ を、周方向ディストーション指数には \$K_{\theta}\$ を選び式(9)で定義する。なお、\$K_{ra2}\$ および \$K_{\theta}\$ を選んだ理由については第6.2節で述べる。

$$K_{A2} = K_{ra2} + bK_{\theta} \quad (9)$$

ここで、\$b\$: 組合せ係数

第7図にディストーションの影響によって生ずるストール余裕の減少を、修正回転数 \$N_f/\sqrt{\theta_1}\$ における修正空気流量 \$W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1\$ と圧力比 \$\pi\$ の関係で示す。同図において、実線はディストーションが発生していない場合(undi)，点線はディストーションが発生している場合(dis)であり、ア点からイ点へのストール点の移動が \$N_f/\sqrt{\theta_1}\$ 一定の下でのストール余裕の減少を示す。ストール余裕減少の割合 \$\Delta S\$ を式(10)で定義する。

$$\Delta S = \left\{ \frac{(W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1)_{s,dis}}{(W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1)_{s,undi}} \times \frac{\pi_{s,undi}}{\pi_{s,dis}} - 1 \right\}_{(N_f/\sqrt{\theta_1}=\text{const})} \times 100 \quad (10)$$

ここで、添字 \$s\$ はストール点を示す。\$W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1\$ および \$N_f/\sqrt{\theta_1}\$ はファン入口の基準状態に換算する

第7図 ストール余裕の減少

ため、修正係数 \$\theta_1 = T_{t1}/288.2\$，\$\delta_1 = p_{t1,av}/101322\$ を定義し⁵⁾，空気流量 \$W_{a1}\$，回転数 \$N_f\$ から求める。ここで、\$T_{t1}\$ はファン入口の平均全温である。

Hercocock ら³⁾ は、半径/周方向合成ディストーションの影響によって生ずる圧力比 \$\pi\$ の低下は周方向ディストーションの影響によるものと半径方向ディストーションによるものとに分けている。本稿の場合も、それに従って、半径/周方向合成ディストーションの影響によって生ずるストール余裕の減少は、半径方向ディストーションの影響によるものと、周方向ディストーションの影響によるものに分け、\$(\Delta S)_{R+C} = (\Delta S)_R + (\Delta S)_C\$ とした。

さらに、ストール余裕減少の割合 \$\Delta S\$ とそのときのディストーション指数の比率を \$S\$ とし、半径方向ディストーションに対しては \$S_R\$，周方向ディストーションに対しては \$S_C\$，半径/周方向合成ディストーションに対しては \$S_{R+C}\$ を式(11)で定義する。

$$\begin{aligned} S_R &= (\Delta S)_R / K_{ra2} \\ S_C &= (\Delta S)_C / K_{\theta} \\ S_{R+C} &= ((\Delta S)_R + (\Delta S)_C) / K_{A2} \end{aligned} \quad (11)$$

ここで、添字 \$R\$ は半径方向ディストーション，\$C\$ は周方向ディストーション，\$R+C\$ は半径/周方向合成ディストーションを表す。

一方、第8図は供試ファンと同一ファンを装着したエンジンのディストーション実験において、ファン入口流路に半径方向ディストーションを発生させた場合の \$K_{\theta}\$ と \$K_{ra2}\$ の関係を示す。同図から、半径方向

第8図 半径方向ディストーションによる \$K_{\theta}\$ と \$K_{ra2}\$

イストーションを発生させた場合は $K_0 \neq 0$ となることからわかる。 $K_0 = 0$ の場合は、 $(\Delta S)_c = 0$, $K_{A2} = K_{ra2}$ となり、式(11)より得る式(12)において $S_R/S_{R+c} = 1$ となる。

$$K_{A2} = (S_R/S_{R+c})K_{ra2} + (S_C/S_{R+c})K_0 \quad (12)$$

式(12)において、 $S_R/S_{R+c} = 1$ とすることによって $S_C/S_{R+c} = S_C/S_R$ となる。そこで、式(9)において、 K_{ra2} の重みを1とすると K_0 の重みを $b = S_C/S_R$ とすることができる。

b を求めることによって、組合せディストーション指数 K_{A2} は式(9)を用いて求めることができる。

6. 実験結果

6.1 ディストーションによるファンの特性の変化
ファンの特性は、修正回転数 $N_f/\sqrt{\theta_1}$ をパラメータとし、修正空気流量 $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ と圧力比 π_f および断熱効率 η_f の関係で示す。

第9図は、スクリーン A-70 が発生する半径方向ディストーションの影響によるファン特性の変化、第10図は、スクリーン B-70 が発生する周方向ディストーションの影響によるファン特性の変化および第11図は、スクリーン C-70 が発生する半径/周方向合成ディストーションの影響によるファン特性の変化を示す。

これらの図中、点線はディストーションがない場合のファンの特性を示し、2点鎖線は対象にしたエンジンにファンを装着した場合のファンの作動計画線を示す。また、フラグ印はストール近傍の作動点であり、

それらを結ぶ線がストール線を示す。白丸印は安定作動中の作動点を、黒丸印は旋回失速中の作動点を示す。

各回転数の場合とも、ストール点は修正空気流量 $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ が大きい側に移り、ディストーションの影響によってストール余裕が減少していることを示す。

とくに、これらの図では、スクリーン C-70 が発生する半径/周方向合成ディストーションの影響が大き

第10図 周方向ディストーションの影響によるファン特性の変化

第9図 半径方向ディストーションの影響によるファン特性の変化

第11図 半径/周方向合成ディストーションの影響によるファン特性の変化

第12図 半径方向ディストーション指数

第13図 周方向ディストーション指数

いことを示している。スクリーン B-70 が発生する周方向ディストーションの場合、修正回転数 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ が 100% を除く他の $N_t/\sqrt{\theta_1}$ の下では、ストール余裕の減少は小さいことを示している。さらに、スクリーン A-70 が発生する半径方向ディストーションによる影響は、回転数 80~90% の範囲でストール余裕の減少量が大きく、高回転および低回転の範囲では、ストール余裕の減少量が小さいことを示している。

断熱効率、ストール近傍点や旋回失速中では、安定動作中に比べ、急激に低下することを示す。

6.2 各種のディストーション指数についての計算
スクリーン A-70, B-70, C-70 を用い、ファン入口流路に半径方向、周方向および半径/周方向合成のディストーションを発生させたときの半径方向ディストーション指数 K_{ra2} , D_{min} , DI と周方向ディストーション指数 K_θ , DC 60, K_{D2} の計算結果を以下に示す。

第 12 図は、種々の修正回転数 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ における修正空気流量 $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ と K_{ra2} , D_{min} および DI の関係を示す。

同図によれば、半径方向ディストーション指数 K_{ra2} と D_{min} は修正空気流量 $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ の変化に対してほとんど一定であるが、半径方向ディストーション指数 DI は $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ が増加するにともなって大きくなっている。

D_{min} についてみると、スクリーン B-70 は半径方向ディストーション成分を有さないにもかかわらず大きな値を示している。

第 13 図は、種々の修正回転数 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ における修正空気流量 $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ と K_θ , DC 60 および K_{D2} の関係を示す。同図によれば、周方向ディストーション指数 K_θ と DC 60 は修正空気流量 $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ の変化

に対してほとんど一定であるが、周方向ディストーション指数 K_{D2} は $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ が増加するにともなって大きくなっている。

組合せディストーション指数には、空気流量が変化することによってディストーション指数が変化するものより、空気流量の変化に対してほとんど一定となるディストーション指数を選択する。すなわち、 DI ならびに K_{D2} は除外する。

また、組合せディストーション指数には、周方向ディストーション・レベルの変化にともなって半径方向ディストーション指数が小さく、なおかつ変化しないものが望ましい。第 14 図は、スクリーン B-76, B-70, B-50 を用い、周方向ディストーション・レベルの増加にともなう半径方向ディストーション指数の変化を、 K_θ と K_{ra2} および D_{min} の関係で示す。

同図では、 K_θ が大きくなるにともなって、 D_{min} は大きくなるが K_{ra2} は低い値のままほとんど一定であることを示している。

したがって、本稿では、組合せディストーション指数には半径方向ディストーション指数として K_{ra2} を選択した。さらに、第 13 図(a)(b)に示すように修正空気流量 $W_{a1}\sqrt{\theta_1}/\delta_1$ の変化に対して、 K_θ は DC 60 より変化する量がわずかに少ないため、周方向ディストーション指数として K_θ を選択した。

7. ディストーション指数の組合せ

7.1 ディストーションの影響によるストール余裕減少の割合 前述のように、ファン入口流路のディストーションの影響によって、ファンのストール余裕

第 14 図 半径方向ディストーション指数の変化

第 15 図 半径方向ディストーションによるストール余裕減少の割合

は減少する。第15図は、スクリーンA-70、A-61、A-50を用い、ファン入口流路に種々の半径方向ディストーション・レベルを発生させた場合の、ストール余裕減少の割合を式(10)によって求め、種々の修正回転数 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ について半径方向ディストーション指数 K_{ra2} とストール余裕減少の割合 $(\Delta S)_R$ の関係を示す。同図では、同じ半径方向ディストーション・レベルの影響によって生ずる $(\Delta S)_R$ は $N_t/\sqrt{\theta_1}$ によって異なることを示している。たとえば、 $K_{ra2}=0.4$ 以上の半径方向ディストーション・レベルが存在した場合、 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ が90%では $(\Delta S)_R$ は大きい、 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ が50%、100%では $(\Delta S)_R$ は小さいことを示している。

第16図は、スクリーンB-76、B-70、B-50を用い、種々の周方向ディストーション・レベルを発生させた場合の、ストール余裕減少の割合を式(10)によ

第16図 周方向ディストーションによるストール余裕減少の割合

(a)

て求め、種々の修正回転数 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ について周方向ディストーション指数 K_{θ} とストール余裕減少の割合 $(\Delta S)_c$ の関係を示す。同図でも周方向ディストーション・レベルの影響によって生ずる $(\Delta S)_c$ は、 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ によって異なることを示している。周方向ディストーションの場合、 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ が50%では $(\Delta S)_c$ は0であるが、 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ が高くなるにしたがって $(\Delta S)_c$ は大きくなる。

7.2 組合せディストーション指数 前述のように、組合せディストーション指数 K_{A2} は、ディストーションの影響によって生ずるストール余裕減少の割合が考慮され、ディストーションの形態および修正回

(b)

(c)

第17図 組合せディストーション指数

回転数によってその値は変わる。そのため、スクリーンによってディストーションを発生させた場合、 K_{A2} は修正回転数の変化とともに変わり、 K_{A2} が大きいことはファンが旋回失速またはサージを発生しやすいことを表している。

第17図(a)は、スクリーンA-70, A-61, A-50を用い、ファン入口流路に半径方向ディストーションを発生させた場合の組合せディストーション指数 K_{A2} を修正回転数 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ との関係で示す。同図では、 K_{A2} は低回転から大きく、高回転になるにしたがって徐々に増加している。また、スクリーンの開口比が減少するにしたがって K_{A2} は大きくなる。

第17図(b)は、スクリーンB-76, B-70, B-50を用い、ファン入口流路に周方向ディストーションを発生させた場合の組合せディストーション指数を $N_t/\sqrt{\theta_1}$ と K_{A2} の関係で示す。同図では、 K_{A2} は低回転では小さいが、回転数80%以上から急激に増大し、回転数90%以上では大きな値となる。また、開口比が減少するにしたがって K_{A2} は大きくなる。

第17図(c)は、スクリーンC-70, C-50-180, C-50-120, C-50-60を用い、ファン入口流路に半径/周方向合成ディストーションを発生させた場合の組合せディストーション指数を $N_t/\sqrt{\theta_1}$ と K_{A2} の関係で示す。同図において、点線は供試ファンと同一のファンを装着したターボファン・エンジン（以下に「エンジン」という）のファン入口流路にレベルの大きい半径/周方向合成ディストーション ($K_{\theta} \approx 0.47$, $K_{r\theta 2} \approx 0.7$) を発生させた場合の K_{A2} を示す。スクリーンC-70は半径方向ディストーション成分を多く含み、 K_{A2} は低回転の領域においてもかなり大きく、回転数の増加にともなわずに大きくなっている。スクリーンC-50-180, C-50-120, C-50-60は周方向ディストーション成分を多く含み、 K_{A2} は低回転の領域では低く、 $N_t/\sqrt{\theta_1}$ が85%以上になると急激に大きくなる傾向を示す。これらのスクリーンでは、半径方向ディストーション成分は同じであるが、ブロック比の大きい順に K_{A2} も大きくなる。

さらに、同図において、点線で示すレベルの大きい半径/周方向合成ディストーションをエンジンのファン入口流路に発生させた場合、ファンは $N_t/\sqrt{\theta_1} \approx 80\%$ で旋回失速を発生したが、そのときの K_{A2} は約

0.73であった。また、低回転領域では、ファンが旋回失速を発生しないが K_{A2} の値は大きい。 $K_{A2} = 0.73$ 以下のディストーション・レベルでは、ファンは安定に作動するので、供試ファンでは $K_{A2} \approx 0.73$ を安定作動の概略的目標とすることができる。

8. ま と め

ファン単体の入口流路に、半径方向・周方向・半径/周方向合成の3形態のディストーションを与え、半径方向ディストーション指数と周方向ディストーション指数を組み合わせ、ディストーション・レベルの大きさを組合せディストーション指数によって表す方法を試み、スクリーンが発生するディストーション・レベルを回転数の要因を入れ、1個の指数で表示することができた。

また、供試ファンがディストーションの影響によって旋回失速またはサージを発生するのは、半径方向ディストーション成分および周方向ディストーション成分の大小に関係なく、高回転側であることが推定される。

さらにエンジンに供試ファンと同一ファンを装着した場合、ファンは組合せディストーション指数が約0.73以下では安定に作動することも推察される。

最後に、本研究を実施するにあたり、ご協力をいただいた関係者の方々、石川島播磨重工業株式会社横井信哉氏に心より感謝いたします。

参考文献

- 1) 阿部達夫：ディストーションがターボファン・エンジンにおよぼす影響の実験的研究，日本航空宇宙学会誌33 (1985)，pp.173-181.
- 2) Yokoi, S., Nagano, S. and Abe, T.: Vibration of Rotor Blade due to Interaction of Inlet and Outlet Distortion, 第6回 ISABE 講演会資料集 (1983).
- 3) Hercock, R. G. and Williams, D. D.: Distortion Induced Engine Instability, AGARD No. 72 (1971), pp. 3-1~3-A 1-2.
- 4) Dicus, John H.: FORTRAN Program to Generate Engine Inlet Flow Contour Map and Distortion Parameter, NASA TM-X-2967 (1974).
- 5) 浜島 操：ガスタービン設計，機械設計全書，第5巻，近代工学出版社，東京 (1965)，pp. 53-58.