

# 高風速型ジェットファン JF-1000

JF-1000 High-Velocity Jet Fan

林 憲一郎

■ HAYASHI Kenichiro

新関 良樹

■ NIIZEKI Yoshiki

伊藤 勝康

■ ITOH Shoko

トンネル換気用ジェットファンはトンネル天井部につり下げられ、車道空間を利用して換気風を流し、汚れた空気をトンネル坑口から外へ排出することにより、トンネル内を換気する強制換気装置である。ジェットファンの換気能力を評価する仕様として吹出平均風速があるが、従来は風速 30 m/s が主流であった。最近では経費削減の観点から設置台数を減らす目的で吹出平均風速がより高速な 35 m/s 仕様の需要が高まっている。これに伴い東芝は、顧客ニーズを十分満足した高性能で低騒音の高風速型ジェットファンを開発し、シリーズ化した。

ここでは、シリーズの中でも比較的ニーズが高い、口径 1,030 mm の高風速型ジェットファン JF-1000 について述べる。

A tunnel ventilation fan is a compulsory ventilating system suspended on a tunnel ceiling that exhausts polluted air in the tunnel and takes outside fresh air into the tunnel. The average wind velocity of jet fans, which is a measure of their specified ventilation capacity, has been 30 m/s for many years. Recently, however, demand has arisen in the market for jet fans with a higher wind velocity of 35 m/s, in order to reduce the number of jet fans installed for economic reasons.

To satisfy this customer requirement, Toshiba has developed a lineup of high-performance jet fans that produce higher wind velocity but low noise. This paper introduces the JF-1000 model in our jet fan lineup, which features a 1,030 mm bore and is in high demand in the market.

## 1 まえがき

ジェットファンは、トンネル内の視野の確保、排出ガスの希釈、火災時の避難路確保及び排煙などを目的として使用される強制換気装置である。構造がシンプルで据付け・調整も比較的容易なことから、現在、道路トンネル換気設備の主要機器として数多く採用されている。トンネル換気に必要な換気量や換気方向は、時間や季節による交通量の変動、自然風の影響、火災時の避難状況、排煙方向などによって異なる。このような運用に対応するため、電動機の回転方向によって吐出方向を逆転できる特徴を持っている。

最近では道路建設コストの削減や消費電力削減などの顧客ニーズから、トンネル換気用のジェットファンにおいても従来に比べ高性能で高効率な製品が求められている。このような背景から、吹出平均風速が従来の 30 m/s から高風速型の 35 m/s へと需要が移ってきている。高風速化することによりジェットファンの設置台数を削減できるため、経費が削減できる。また、吹出平均風速以外にも、高効率化や吐出風量の増大化が進んでいる。

東芝は、これらのニーズを十分に満足する高風速型ジェットファンを開発し、シリーズ化した。

ここでは、口径 1,030 mm の高風速型ジェットファン JF-1000 について述べる。

## 2 高風速型ジェットファンの仕様と特徴

ジェットファンの従来型と高風速型の仕様比較を表 1 に示す。従来型仕様からの変更点は、吹出平均風速、効率、全長、吐出風量、及び電動機仕様の出力、起動電流、起動力率、定格電流、効率となっている。吹出平均風速と吐出風量を増大し、全長を短くすることで、トンネル内の限られたスペース内に必要最小限のジェットファンが設置可能となる。また、ジェットファンの高効率化と電動機仕様の高性能・高効率化により、消費電力を削減できる。

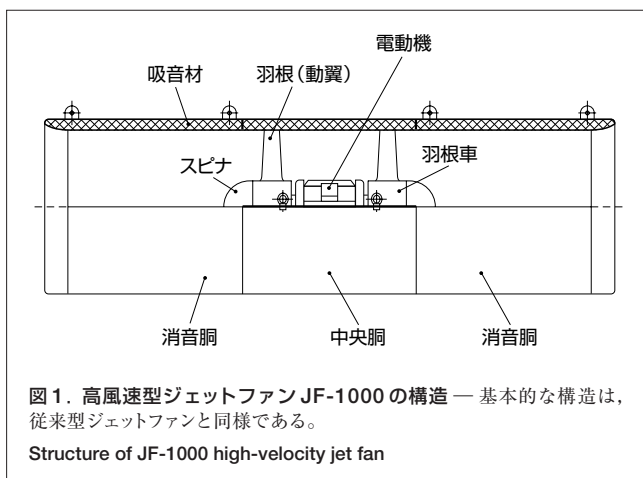
## 3 高風速型ジェットファンの構造

高風速型ジェットファンの構造を図 1 に、カット図を図 2 に示す。基本的な構成は従来型ジェットファンと同様の、2 段式の軸流ファンで、両軸モータの両端に取り付けた羽根車が同一方向に回転するようになっている。羽根車は、正逆どちらの回転でも同様の特性が得られるように対称翼型を採用した。ただし、図 3 に示すような、JF-600 で取り付けられていた消音コーンは廃止した。このため JF-1000 では、整流のためのスピナを両軸端に取り付けている。

なお、羽根は従来機と同様に、アルミニウム鋳造でエポキシ塗装仕上げであるが、ケーシング、消音胴、及び電動機支持構造については従来機と同様の鋼製だけでなく、より耐食性

表 1. 従来型ジェットファンと高風速型ジェットファンの仕様比較  
Comparison of specifications of conventional and improved jet fans

仕 様	型 式	JF-1000			
		従来型		高風速型	
周波数 (Hz)		50	60	50	60
ジェ ット ファン	形 式	軸流形電動機直結内装式			
	口 径 (mm)	1,030		1,030	
	吹出平均風速 (m/s以上)	30		35	
	効 率 (%以上)	60		75	
	騒 音 (dBA以下)	95		95	
	全 長 (mm)	4,900		4,250	
	外 径 (mm)	1,200		1,200	
	(吐出風量) (m <sup>3</sup> /s以上)	25		29	
	(有効吐出面積) (m <sup>2</sup> )	0.83		0.83	
	吐出方向	両方向		両方向	
電 動 機	形 式	全閉形三相誘導電動機			
	電 圧 (V)	400	440	400	440
	出 力 (kW以下)	30		33	
	定 格	連続		連続	
	絶縁種別 (以上)	F種		F種	
	起動電流 (A以下)	370	350	320	300
	起動力率 (%以上)	30	30	38	37
	定格電流 (A以下)	55	50	61	55
	定格力率 (%以上)	85	86	85	86
	効 率 (%以上)	90.5	90.5	91.7	92.4
	概算質量 (kg)	1,300		1,300	



に優れたステンレス鋼製も用意している。

## 4 翼設計

### 4.1 基本構成の検討

高風速化を図るためには、従来設計に対して高負荷の翼列を開発する必要がある。

2段式のジェットファンでは、正逆両方向で同じ特性を得るため、対称翼を採用したまったく同形状の羽根を持つ羽根車を2段配置することが一般的である。この形式のジェット

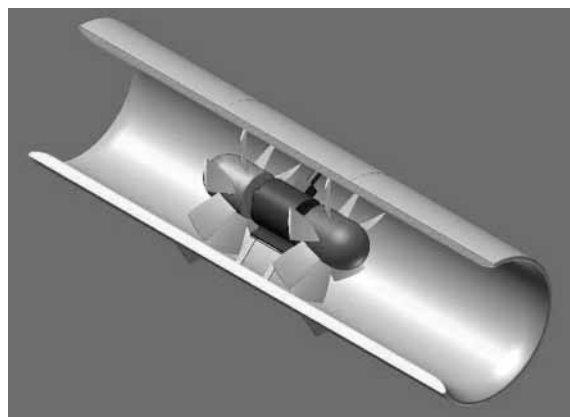


図 2. 高風速型ジェットファン JF-1000 のカット図 — 2段式の構造で、両軸モータの両端に取り付けた羽根車が同一方向に回転するようにしている。羽根車は、正逆どちらの回転でも同様の特性が得られるように対称翼型を採用した。

Inside view of JF-1000

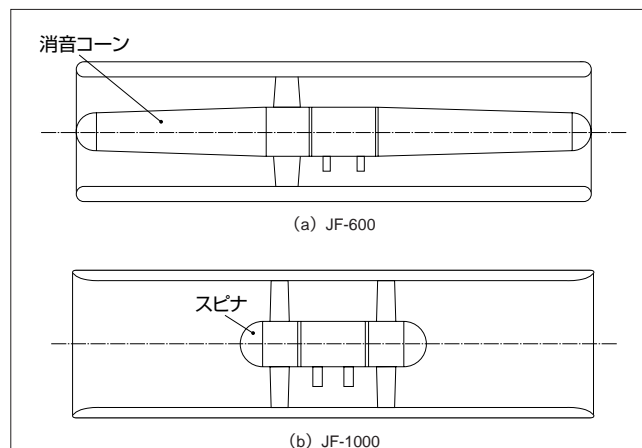


図 3. 従来型 JF-600 と高風速型 JF-1000 の比較 — 高風速型 JF-1000 では、消音コーンなしの2段式を採用した。

Structural comparison of conventional JF-600 jet fan and JF-1000 high-velocity jet fan

ファンでは、図 4 に示すように、前方に配置された前方段動翼で空気が流れる方向は、その流入出相対速度  $W_1$  から  $W_2$  に、流入出角度  $\theta_1$  と  $\theta_2$  の差である転向角  $(\theta_1 - \theta_2)$  分だけ変化(転向)する。しかし、後方に配置された後方段動翼での  $W_3$  は、既に前方段動翼で転向した  $W_2$  と同じ  $(\theta_2 \doteq \theta_3)$  であるため、流れが更に転向する余地はほとんどなくなる。

このため、前方段動翼に比べて後方段動翼の負荷が極端に小さくなり、有効に作用しなくなる。羽根設計が良好なほど前方段動翼で良好な転向が得られ、この傾向は強くなってしまう。

この問題を解決するためには、一般的な多段送風機と同様に、動翼の間に静翼を配置して転向角を変化させ、流れの方向を軸流方向に整えて後方段動翼の負荷を高める方法が

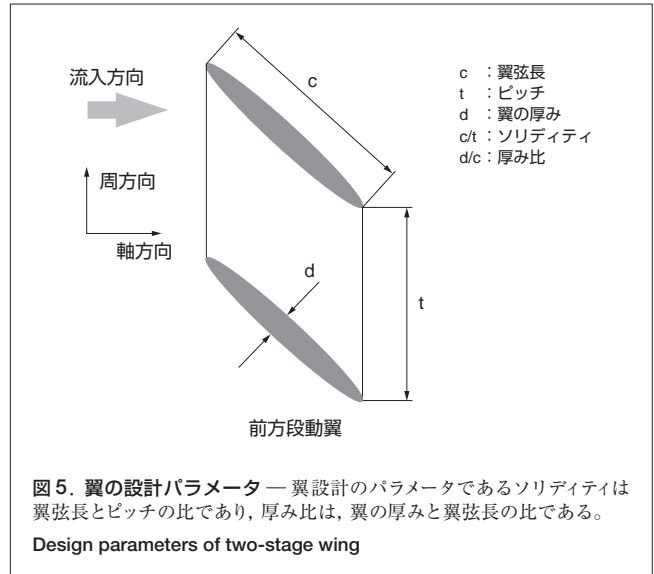
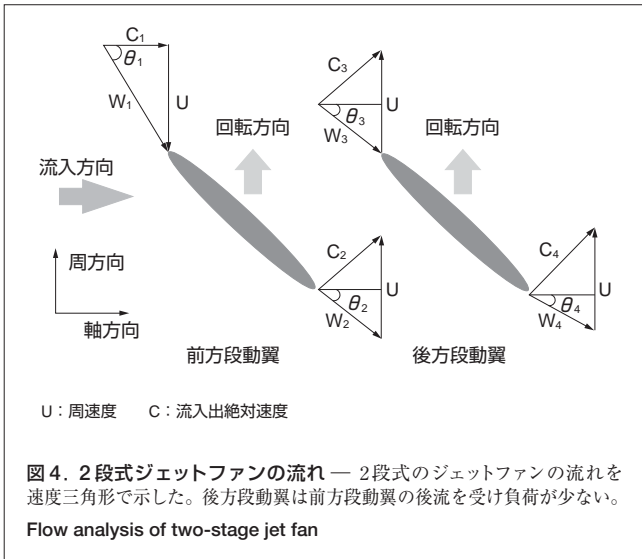


表2. JF-1000の検討対象  
Design options for JF-1000 (50 Hz/60 Hz)

周波数 (Hz)	回転数 (min <sup>-1</sup> )	1段	2段	
			静翼なし	静翼あり
50	1,500	○	◎	○
60	1,800	○	○	○
	1,200	—	◎	○

○ : 検討した組合せ ◎ : 最終的に選択した組合せ  
— : 検討対象外

考えられる。しかし、静翼を追加することによる損失の増加、動翼と静翼の干渉による騒音の増加などのデメリットも生じる。また、JF-600で採用した単段形式は、低騒音化については有利であるが、高風速化には限界がある。

更にジェットファンは、50 Hz機と60 Hz機で羽根の内径・外径寸法が同一でありながら回転数が異なるため、空力的には異なる設計となる。高風速型JF-1000の50 Hz機では4極モータを使用した1,500 min<sup>-1</sup>が適当であるが、60 Hz機では4極モータを使用する1,800 min<sup>-1</sup>の場合と、6極モータを使用する1,200 min<sup>-1</sup>の場合が考えられる。

この開発にあたっては、最初に前述の翼列構成と回転数の組合せについて比較検討した。比較対象と結果を表2に示す。性能及び騒音の優劣に加え、50 Hz機と60 Hz機で形式を共通化することを考慮した結果、従来の2段式で静翼なしを選定し、回転数は50 Hz機で1,500 min<sup>-1</sup>、60 Hz機で1,200 min<sup>-1</sup>を採用した。

#### 4.2 翼形状

翼形状のうち、翼弦長とピッチの比であるソリディティ(図5)はファン翼列の特性に大きな影響を与え、最適値が存在することが知られている。翼の高さ方向に対し一定の翼弦長分布を採用した場合、根元側ではソリディティが過大に、先

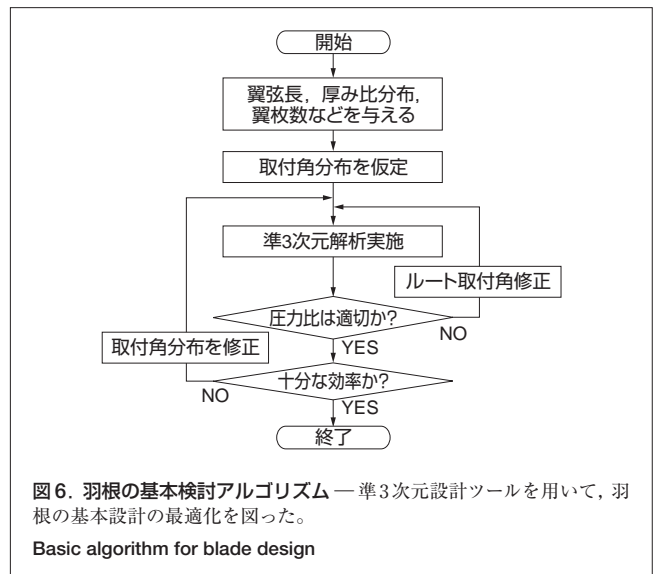
端側ではソリディティが過小となって性能が悪化する。このため、十分な強度と良好な振動特性を持っていることを確認したうえで、翼先端側が根元側に対して大きくなる翼弦長分布を採用した。

#### 4.3 翼の空力設計手法

翼設計は、次の三つのステップを基本として実施した。

- (1) 準3次元設計ツールを用いた基本検討
- (2) 3次元粘性解析<sup>(1)</sup>を用いたリファイン
- (3) 試験による検証・チューニング

準3次元設計ツールは、翼型の基本特性データベースと損失モデルを参照しながら、与えられた翼列形状と流入条件に対して完全半径平衡式を解いて性能を求めるものである。このツールをコアとして、図6に示すアルゴリズムで基本検討を行い、半径方向負荷分布の最適化を図った。



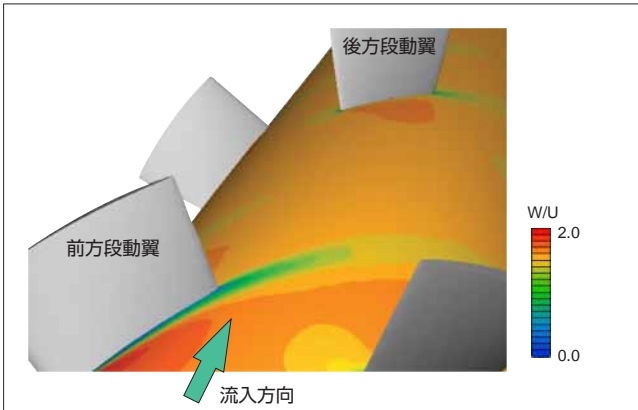


図7. 粘性3次元流れ解析結果(相対速度分布) — 3次元粘性解析による評価結果の一例で、翼中央部における相対速度分布を示す。前方翼列と後方翼列で相対速度分布の相違がわかる。

Distribution of relative velocity obtained by computational fluid dynamics (CFD)

図7は3次元粘性解析による評価結果の一例で、翼中央高さにおける相対速度分布  $W/U$  (相対速度  $W$  を平均半径における周速度  $U$  で無次元化) を示す。色の違いが相対速度の差であり、この図からも、2段式のジェットファンにおいては、前方段に比して後方段の負荷が少ないことがわかる。

## 5 試験結果

高風速型ジェットファンの工場試験風景を図8に示す。また、高風速型 JF-1000 の 50 Hz 機及び 60 Hz 機の工場試験結果を表3に示す。

いずれも要求仕様を十分な余裕をもって達成しているが、特に 50 Hz 機では 87 % と高いファン効率が得られている。一方、 $1,200 \text{ min}^{-1}$  の低い回転数を採用した 60 Hz 機では、効



図8. 高風速型ジェットファンの試験風景 — 試作機による性能試験のようすを示す。

Performance test of JF-1000

表3. JF-1000の試験結果

JF-1000 test results

項目	要求仕様	試験結果	
		50 Hz機	60 Hz機
吐出風速 (m/s)	35以上	37	37
ファン効率 (%)	75以上	87	85
騒音 (dBA)	95以下	93	89

率は 84 ~ 86 % と 50 Hz 機に比べてやや劣るものの、90 dB を下回る低騒音を実現した。

## 6 あとがき

口径 1,030 mm の高風速型ジェットファンを開発した。50 Hz 機、60 Hz 機ともに、十分な余裕をもって要求される仕様を上回ることを、工場試験で確認した。

また、同じ性能を持ちながら、耐腐食性に優れ、高い信頼性を持つステンレス鋼製の機種もラインアップしている。

今後も更に、環境に優しく、高性能で、高い信頼性を持つトンネル換気機器の開発を進めていく。

## 文献

- (1) Sano, T., et al. "Numerical Study or Rotating Stall in a Pump Vaned Diffuser". Proceedings of ASME FEDSM'01. FEDSM2001-18079, 2001.



林 憲一郎 HAYASHI Kenichiro

社会システム社 社会システム事業部 官公システム技術部主務。道路システムのエンジニアリング業務に従事。電気学会、電気設備学会会員。

Infrastructure Systems Div.



新関 良樹 NIIZEKI Yoshiki, D.Eng.

電力システム社 電力・社会システム技術開発センター 回転機器開発部タービン開発担当グループ長、工博。ターボ機械の開発に従事。日本機械学会会員。技術士(機械部門)。

Power and Industrial Systems Research and Development Center



伊藤 勝康 ITOH Shoko

電力システム社 京浜事業所 原動機部主務。ガスタービン機器の技術開発に従事。ガスタービン学会会員。

Keihin Product Operations