横浜市港南ひまわりトンネル向けジェットファン

山本　博志（やまもと　ひろし）　藤崎　正晃（ふじさき　まさみつ）　豊田　匡彦（とよだ　まさひこ）

1　まえがき

道路と人類は古来から密接な関係がある。われわれが快適な生活を維持するためには，道路は必要不可欠なものであり，わが国ではこれまでに約 7,000 km の高規格道路が整備され，今後も一層の道路整備事業が進められる予定である。しかし，今後拡張される高規格道路は山間部を通過することが多くなり，必然的にトンネルも増える傾向にある。こうしたことから，特にトンネル換気設備に対するより一層の経済性・性能面の向上が望まれている。

富士電機は，これまで道路用諸設備（電力設備，トンネル用換気設備，料金所用車両判別装置，遠方監視設備など）を製作・納入することにより，快適な社会環境作りに貢献してきた。今回は，その一例として，横浜市に納入したトンネル用換気設備のうちの換気機であるジェットファンについて紹介する（**図1**参照）。

2　トンネル換気

自動車道路のトンネル換気の目的は，ドライバの視環境を確保すること（自動車の走行速度に応じた視距離の確保），ドライバや歩行者・作業者などの人体の生理的環境を確保することである。具体的には，車両が走行することにより生ずるばい煙量を煙霧透過率計（VI 計）で，一酸化炭素量を一酸化炭素検出装置（CO 計）にて検知し，基準値を超えないように換気機器を運転し，トンネル内の換気を行うものである。また，トンネル内の火災時などの異常発生時には，発生事象に対応した換気を行うことも重要な役割である。

トンネルの換気方式は，機械換気設備を備えない自然換気方式から始まって，トンネルに平行に換気ダクトと送排風機を備えた横流換気方式，そして，トンネル自体を換気ダクトとして利用し送排風機を備えた縦流換気方式へと移ってきた。縦流換気方式は換気ダクトが不要なため，また，交通換気力（車のピストン効果）を利用するため経済性に優れている。

トンネル換気設備の主な構成としては，換気機，制御装置，計測設備などがある。トンネルの換気に関連する設備としてはそのほかに，受変電設備，照明設備，防災設備，排水設備などがある。

縦流換気方式に利用される主な換気機としては，ジェットファン（ブースタファンを含む），送排風機がある。また，車両などから発生するばいじんを直接除去する電気集じん機も利用されている。このうちジェットファンとは通常トンネルの上部空間に設置され，その噴流効果により換気を行うものであり，噴流の噴出方向を逆転できるものをジェットファン，噴出方向が一方向のものをブースタファンと呼んでいる。

3　ジェットファン

道路トンネル用ジェットファンとは，自動車からの排気ガスを希釈するため，高速噴流によりトンネル内の空気を昇圧し換気風を生じさせる正逆運転可能な送風機のことである。日本国内で使用される代表的なジェットファンは，**図2**に示すように吸音材入りの消音ダクトに電動機の両側に軸を持つ両軸電動機および羽根車を内蔵した形状であり，本図に示すようにターンバックルにてトンネル壁面につり

図1　港南ひまわりトンネル向けジェットファン全景

山本　博志

道路関連設備の技術企画に従事。現在，システム事業本部社会システム事業部技術第二部。

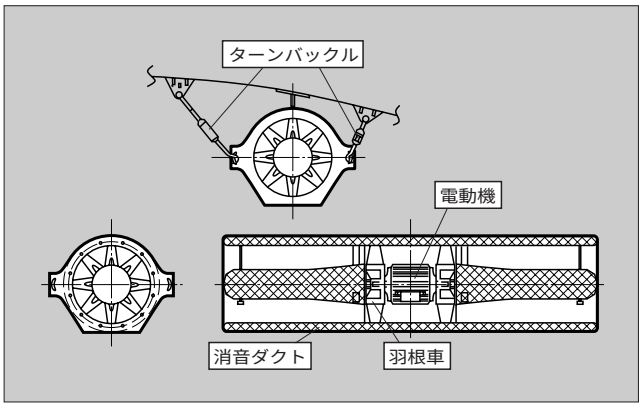
藤崎　正晃

道路トンネル用換気ファンの設計開発およびトンネル換気のエンジニアリングに従事。現在，エネルギー事業本部川崎工場特機部。

豊田　匡彦

社会システム分野の道路関連設備の技術企画業務に従事。現在，システム事業本部社会システム事業部企画設計部課長補佐。

図２　つり下げおよびジェットファン概略図



下げられる。

ジェットファンは，単体では送風機風量を変えることができない構造であるため，必要な換気量（トンネル内を走行する自動車台数などで変化する）の制御は，ジェットファンの運転台数を変えることにより行われる。また，トンネル火災時の煙の拡散防止あるいは，対面交通トンネルにおける換気方向の変更に対応できるよう，正逆運転が行える構造となっている。なお，正逆運転の切換は電動機の回転方向を反転させることにより行われる。

図２に示すジェットファンの各部は，次の特徴を有している。

(1)　正逆運転時の送風性能を等しくするため両軸電動機の両端に羽根車が直結されている。

(2)　消音ダクトは，外側のケーシング部と内面の多孔鋼板の間に吸音材が入っており，吸音材と多孔鋼板で消音効果を出している。

(3)　電動機は比較的環境の悪いトンネル内においても安定的に運転できる全閉形の三相誘導電動機を採用している。

(4)　排気ガスや多湿による腐食にも耐えられるように，羽根車の材質にはアルミニウム鋳造合金が採用されている。

上記形状のほかに，羽根車が電動機の片側にだけ取り付けられているタイプや，電動機の回転方向により動翼が自動で反転する機構を設けた自動反転式ジェットファンなどもある。

4　港南ひまわりトンネル向けジェットファン

4.1　仕　様

表１に，横浜市港南ひまわりトンネル向けのジェットファンと同形機の口径 630 mm の標準仕様を示す。

最近ではトンネル換気機器に対する省電力化や，トンネル周辺部の環境改善の要求が高まっており，より高効率・低騒音化を実現するためのジェットファンの開発が行われるようになってきた。

そこで，港南ひまわりトンネル向けジェットファンを対象に高効率・低騒音化をめざした開発を行った。その結果，送風機効率・騒音面で標準仕様から大幅に優れた性能を得，1998年３月に現地据付けを完了し，同月から供用を開始した。

表１　630形ジェットファンの標準仕様

送風機部	吹出し風速	30m/s以上
	吹出し風量	8m³/s以上
	送風機効率	60%以上
	騒　　音	吸込口より手前1.5mの位置で90dB以下
	全　　長	3,000mm
	外　　径	800mm
	口　　径	630mm
	吹出し方向	両方向
電動機部	電　　圧	400V/440V
	出　　力	11kW以下
	定　　格	連続
	絶縁種別	F種以上
概算質量		600kg（±10%程度）

港南ひまわりトンネル向けジェットファン性能

（実機による工場試験結果）

送風機効率：$\eta = 73.5$ %

最大騒音値：84 dB（A）（吸込口より手前 1.5 m）

次節以下では，港南ひまわりトンネル向けジェットファンの開発手法について紹介する。

4.2　動翼の開発

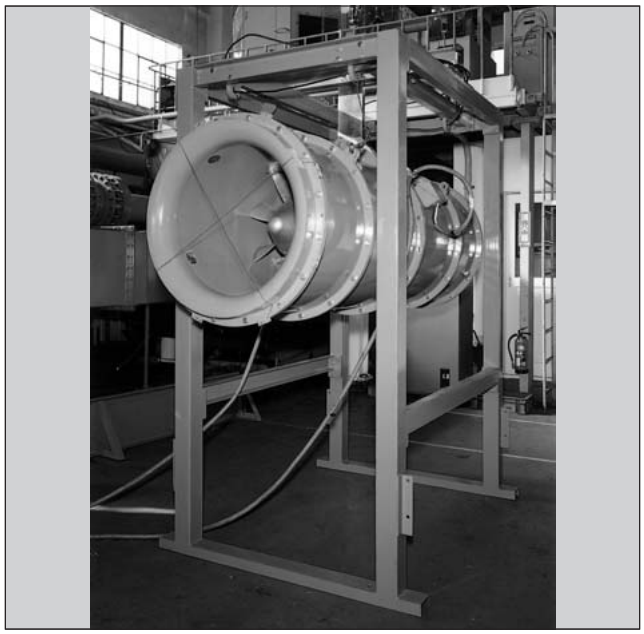
ジェットファンは正逆方向に吹出しが可能で，換気方向を制御できるという利便性を持つ反面，正逆方向の吹出し性能が等しくなる動翼および流路形状を採用していることから，１方向吹出しタイプのブースタファンに比べ性能（送風機効率，騒音）が悪くなる傾向にある。このため，ブースタファンに比べジェットファンの高効率化および低騒音化への期待は大きい。

これまでのジェットファンに採用されている動翼は，正逆方向に等しい性能を求められているため，平板翼が多く用いられていた。しかしながら，平板翼では定性的に流線形により近い反りを有する翼形（以後，単に翼形と呼ぶ）に比べ性能が悪い。そこで，今回，高効率・低騒音のニーズにこたえるため，より高性能な反りを有する翼形を採用した。

4.2.1　設計仕様点の選定

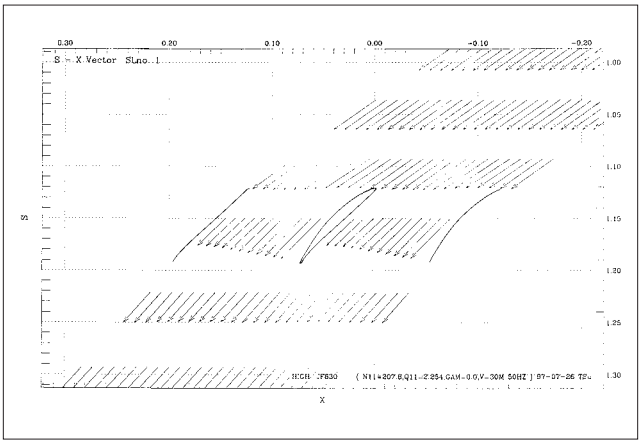
一般の送風機の出口全圧は，入口に比べて，静圧も動圧も高い。しかし，ジェットファンの場合は，静圧はほぼ同じで動圧だけが高い。したがって，送風機効率に与える動圧の影響は一般の送風機に比べてジェットファンのほうが大きい。また，要求される風量が仕様により規定されているため，旋回成分がある場合には，その分絶対流速は大きくなる。一方，回転速度は，翼出口の旋回速度に大きな影響を与える。回転速度を低く選定した場合，低騒音化に対しては大きなメリットがあるが，流れに大きな旋回速度を与え内部の絶対速度を上げることとなり，ケーシング各部の損失を増加させる。この場合は，全圧上昇の小さいジェッ

図３　実験用ジェットファン



N89-5957-1

図４　動翼流れ解析結果



トファンでは送風機効率を大きく低下させる要因となる。

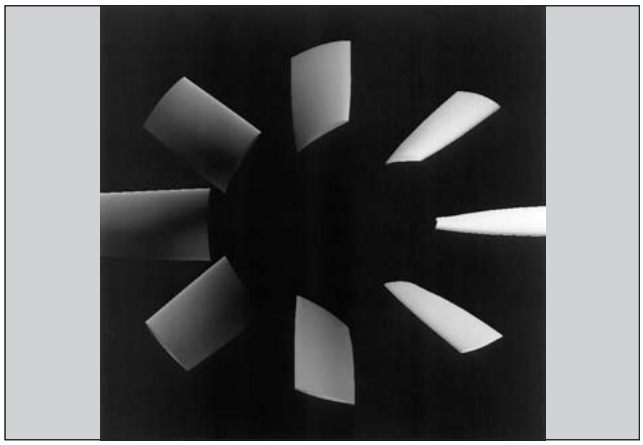
港南ひまわりトンネル向けジェットファンの送風機全圧は，**図３**に示す実験用に製作されたジェットファンの各部損失を５孔ピトー管で測定し決定した。また，回転速度の選定は同じく実験機の回転速度および動翼取付角度を変化させ，各部損失の測定および騒音測定を行い最適な回転速度の選定を行っている。

4.2.2　翼形の設計

ジェットファンの動翼に翼形を採用する場合，両軸電動機の両側に取り付けられた動翼は，一方が高効率で運転されているとき，他方は流れが翼後縁から流入するため損失となる可能性がある。このため，性能に大きな影響を与える動翼の翼形設計を行うには，高効率運転時の翼設計だけでなく，翼後縁から流入した場合の翼性能についても確認が必要となる。

港南ひまわりトンネル向けジェットファンの翼形設計は，実験機により高効率（正方向）運転および翼後縁から流入する（逆方向）運転時のそれぞれの動翼前後の流れを計測

図５　三次元表示による最終検討



し，流れ解析結果と比較・検討することにより行った。翼形設計には，実験機の測定データによる検証が行えることから，計算時間の速い準三次元流れ解析を採用した。**図４**は翼形設計に使用した準三次元流れ解析結果を示す。また，**図５**は流れ解析を用いて設計した三次元形状図である。

4.2.3　羽根車の強度検討

ジェットファンは刻々と変わるトンネル内の汚染状況に応じて頻繁に起動・停止が行われることから，特に羽根車部に繰返し荷重が加えられる。また，ジェットファンは車道の上部空間に設置されており，万一，破損部品が吹き出された場合，交通車両に直撃するなどの重大事故を引き起こしかねないので，羽根車の強度については十分な検討が必要となる。

ジェットファン動翼部で最も応力集中が発生する部位は，ボスに取り付けるためのねじの付根部である。**図６**は，ねじ付根部および比較的応力の高い翼付根部について疲労試験を実施した試験片の一例を示す。

港南ひまわりトンネル向けジェットファンは，新規に開発した翼形状を採用しているため，**図７**に示す応力解析を実施し，各部肉厚などを決定した。また，ボス部についても動翼と同様に応力解析を実施，疲労強度の検討を行った。

4.3　試験による確認と騒音

設計した動翼の性能を確認するため，羽根車の製作を行い，実験機に組み込み実験を行った。**図３**に示す実験機は，平板でつり下げられており，つり下げ板にかかる力を測定することによりスラスト（推力）の測定が可能である。風量の測定を，標準ピトー管および３孔ピトー管で行うことにより，つり下げ板を用いたスラスト測定との比較を行うことができる。また，前述した５孔ピトー管を用い，各部の流れを測定できるよう，ケーシング部に測定座が取り付けられている。

実験機に組み込んだ新規羽根車を用いて，ジェットファンの送風機効率および騒音測定を実施した。この結果，従来の羽根車に比べ大幅な送風機効率の上昇が図られることが確認できた。また騒音についても，動翼部の低騒音化とケーシング部に以下の改良を加えることで従来より大幅に

図６　動翼疲労試験片

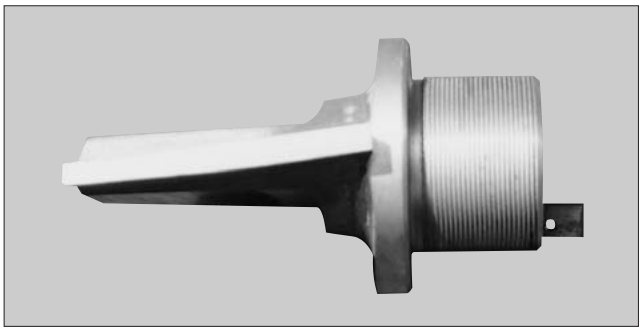
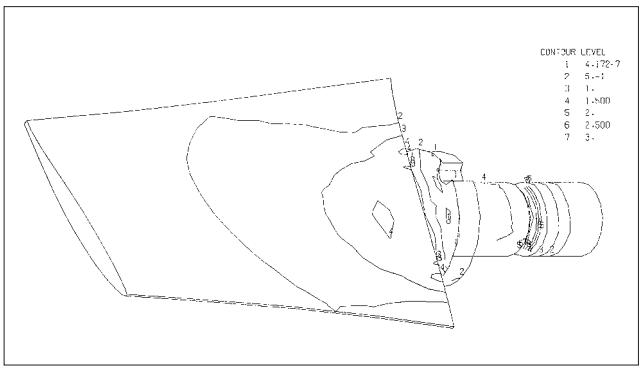


図７　動翼応力解析結果



騒音レベルを下げることに成功した。

○吸音材の選定および取付け方法の改善
○打抜き鋼板の開口率を含めた穴形状の変更
○電動機を支えるステー形状の変更
○消音ダクトケーシング部と電動機および羽根車ケーシング部との接続方法の変更

港南ひまわりトンネル向けジェットファンは，以上の改善点を主体に改良を加え製品化を行った。製品完成後，現地搬入前に，工場試験を行った結果，前述した標準仕様を大幅に上回る性能［送風機効率で約14%，騒音で約６dB（A）の改善］を得ることが確認できた。**図８**に港南ひまわりトンネル向けジェットファンの外観を示す。

図８　港南ひまわりトンネル向けジェットファンの外観

5　あとがき

本稿では，道路トンネル用ジェットファンについて，最新の技術とその特徴を紹介した。今後，トンネル用機器に対する省電力化や，トンネル周辺部の環境改善の要求が高まり，より高効率・低騒音化のジェットファンが要求されてくるであろう。

富士電機は，今回紹介した製品以外にも道路に対する新しいニーズに向けて，画像処理システムやノンストップ料金収受システム，NO_x 処理システムなどの技術開発を進めていく所存である。

e-Front runners

＊本誌に記載されている会社名および製品名は，それぞれの会社が所有する
商標または登録商標である場合があります。