C107

火花追跡法によるシロッコファン吸い込み部の流動分析

石原 健[○] (宇都宮大院), 佐伯 尚文 (カルソニックカンセイ(株)),

大野 陽男, 二宮 尚 (宇都宮大学), 杉山 均

Flow Analysis at the Inlet of a Sirocco Fan by Spark Tracing Method

Ken ISHIHARA, Naofumi SAEKI, Haruo OHNO, Nao NINOMIYA and Hitoshi SUGIYAMA

ABSTRACT

In order to minimize the wind noise generated by a Sirocco fan, it is most important to understand the details of the flow field about a Sirocco fan. As the shape of a Sirocco fan is very complicated, the flow patterns about a Sirocco has not been examined in detail. Recently, the authors of this study have succeeded in reducing the wind noise of a Sirocco fan more than 1dB by placing a blocking plate at 90 degree from the tongue of the scroll. Despite of the reduction of the wind noise, its mechanism has not been made clear and thus the further reduction may not be expected without the understandings of the changes in the flow field with the presence of a blocking plate. Presently, the flow field of a Sirocco fan with a blocking plate at various locations have been examined in detail by the spark tracing method.

Keywords: Spark tracing method, Sirocco fan, Dynamic programming

1. 結論

車載用エアコンに用いられるシロッコファン(多翼ファン)の低騒音化には、シロッコファン内部気流の流れの把握が必要である。そのため著者らは、高速気流の可視化計測に適した火花追跡法を用いてシロッコファンユニット内部気流の可視化計測を行い、音源探索の手法による騒音源の確認及び低騒音化への改良点について検討している。

車載用ファンユニットの発生する騒音は、局所最大風速流れと翼列の衝突・干渉による翼通過騒音と、舌部を中心とした再循環流れの揺動により生じる揺動騒音とに大別され、これらは吸込み気流の揺動などとし

て流れの変化に現れる。こういった騒音の原因を低減するために、ファン吸込み部に、Fig.1で示すような扇型の突起板(遮蔽片)を設置することで、騒音が1.0dB強低下した、という結果を得た。そこで、遮蔽片の有無、または遮蔽片の設置位置による流れの変化を、可視化計測によって確認し、騒音低減のメカニズムを明らかにすることを本実験の目的とした。

2. 実験概要

実験装置の概略図をFig.2に示す。高電圧・高周波パルス発生装置(菅原研究所製 MM-305AA 印加電圧、放電周期、放電回数を任意に設定可能)を用いて、

Fig.1 Commercial fan-unit

Fig.2 Experimental apparatus

ファン吸込み部に設置したタングステン製電極（先端間隔 20mm）に、印加電圧 50kV、周期 111 μ sec のパルス電圧を 30 回印加し、放電させる。初回の放電によって電極先端間に発生したイオン経路は、電気を通しやすくなっており、ファン内部気流によって下流に流されながら周期的に通電され、タイムラインを形成する。この現象を CCD カメラ (MPM electronic 社製 MARSCAM MK-7482NB) を通してデジタルビデオ (ソニー社製 DCR-TRV10 フレームレート:30fps)、または高速度カメラ (フォトロン社製 FASTCAM-ultima フレームレート:9000fps) で撮影することで可視化画像を得る。また可視化画像を画像処理することで、ファン吸込気流の速度ベクトルを定量的に求めることが出来る。本実験で用いたシロッコファンユニットは、カルソニックカンセイ (株) 製の車載用空調ファンユニットをもとに、可視化計測のため上部ダッシュ部及びスクロール部を透明アクリル板で製作してある。シロッコファンは、羽根車外径 160mm、内径 138mm、翼幅 71mm で、翼角 30° の翼を 43 枚有する。また、遮蔽片は透明アクリル板で、厚さ 2.0mm、展開角 30°、4.0mm 間隔で直径 1.5mm の孔を設けてあり、ユニット吸込口と同じ高さに、

扇状に設置する。

3. 実験結果

ファン吸込み部において、45° 間隔で 8 箇所の可視化を行い、CCD カメラとデジタルビデオを用いて撮影を行った。パルス発生装置で設定した印可電圧、放電周期、放電回数及びファンの回転数を Table 1 に示す。各計測位置での 100 回の可視化画像のうち最も多い頻度で見られた形状の画像を、ファン吸込部画像に合成したものを Fig.3~Fig.6 に示す。遮蔽片を設置しない場合が Fig.3、遮蔽片を 45° に設置した場合が Fig.4、遮蔽片を 90° に設置した場合が Fig.5、遮蔽片を 135° に設置した場合が Fig.6 である。これらの図より、遮蔽片の有無、または遮蔽片の設置位置の変化による遮蔽片の両側における流入気流の変化が確認できるが、

Table 1 Settings of experiment

Rotation of fan	Number of pulses	Discharge Voltage	Discharge interval
2000rpm	30	50kV	111 μ sec

Fig.3 Flow pattern at inlet of fan (without plate)

Fig.4 Flow pattern at inlet of fan (plate at 45°)

Fig.5 Flow pattern at inlet of fan (plate at 90°)

Fig.6 Flow pattern at inlet of fan (plate at 135°)

Fig.7 Visualized image and flow vectors

これらの画像だけでは、騒音源であると考えられる舌部 (0°) 近傍の気流の大きな変化や揺動の確認および計測はできない。そこで舌部を挟んで $-90^\circ \sim +90^\circ$ にかけての位置において 5° 間隔で、各位置において 100 回ずつ吸込み気流の可視化を行い、ベクトルの傾き角とその変動の偏差（流れの揺動）を求めた。Fig.7 のように、画像上でのタイムライン間隔の画素数をカウントして流れベクトルを求め、半径方向に対する傾き角を算出する。火花追跡法で得られるタイムライン画像に対しては、更に高精度に流れベクトルを得る手法として、タイムライ

ンの形状と輝度をパラメータとしてパターンマッチングを施すことで流れベクトルを得る DP マッチング法があるが、非常に多量の画像を処理しなければならない場合は、今回のように画素数をカウントしたベクトル計測法を用いる方が、容易に結果を得ることが出来る。DP マッチング法の詳細については後述する。

$-90 \sim +90^\circ$ におけるベクトルの傾き角と揺動の計測結果を Fig.8～Fig.11 に示す。遮蔽片を設置しない場合が Fig.8、遮蔽片を 45° に設置した場合が Fig.9、遮蔽片を 90° に設置した場合が Fig.10、遮蔽片を 135° に設置した場合が Fig.11 である。横軸に舌部 (0°) からの測定位置、縦軸にベクトルの傾き角をプロットし、また各計測位置における揺動の標準偏差をエラーバーで示している。ベクトルの傾き角は、ファンの回転方向を正、回転逆方向を負とし、また傾き角の偏差が大きければ、それだけその位置における流れの揺動が大きいのを示している。Fig.8（遮蔽片なし）では、 0° 付近に傾き角の極小値をもっており、 $0^\circ \sim 50^\circ$ にかけては、やや不規則ではあるが少しずつ回転方向へと流れが推移して行く。 50° 以降は、傾き角が急に負に転じ、また揺動も大きくなっている。 -90° (270°) $\sim 0^\circ$ では流れは全体的に不規則であり、それだけ

Fig.8 Flow angle and its fluctuation (without plate)

Fig.9 Flow angle and its fluctuation (plate at 45°)

Fig.10 Flow angle and its fluctuation (plate at 90°)

Fig.11 Flow angle and its fluctuation (plate at 135°)

流れの揺動が大きいと言える。それに対して Fig.10(遮蔽片位置 90°)では、30°～80°にかけて流れが徐々に負に移行していく。これは遮蔽片を 90°に設置しているため、流れがブロックされた影響であると考えられる。特徴的なのは、-90～0°にかけての流れの揺動が非常に小さくなっていることである。これは、その領域における流れが安定していることを示しており、遮蔽片を設置した影響であると思われる。また、Fig.9(遮蔽片位置 45°)、Fig.11(遮蔽片位置 135°)においては、-90(270°)～0°にかけての流れの揺動は、あまり低減されてはいない。このことから、遮蔽片を 90°に設置したときに、最も低騒音効果が得られた原因として、-90～0°付近の流れの安定性が大きく影響していると考えられる。ファン吸込み部の、半径方向への吸込み気流は、90°付近と 315°付近において集中しており、最も速くなる。そこで、90°に遮蔽片を設置すると、90°への吸込み気流がその他の位置へ流入し、とりわけ 315°への集中が大きくなり、流れの揺動が低減され、安定する。これにより、吸込み気流の揺動による騒音が低減されるのだと推測できる。

4. DP マッチング法

前述の計測方法は簡便ではあるが、大量の流速情報を定量的に評価するのには適していない。そこで本研究では定量的な評価も行った。連続する火花線の対応付けを行うには、火花線の形状や輝度分布を参考に局所的な特徴の対応付けを行う必要がある。しかし、PIV 等で用いられている離散的な粒子画像と違い、火花線の画像は一本に繋がっており、その伸び縮みを無視することはできない。そこで、我々は音声認識の分野で用いられている DP マッチング法を用いて対応付けを行った。この際、火花線の特徴差を評価するための「距離」を導くための評価関数を指定する必要があるが、この選択がマッチング精度に大きく関わるものであり、火花線が保存している情報を余すところなく反映する評価関数が望ましい。本研究では特徴データとして火花の輝度分布に着目し、マスク内のみの平均を用いた評価関数 d

$$d = \sqrt{\sum \left(\frac{I_{xy}}{I_{mask}} - \frac{J_{xy}}{J_{mask}} \right)^2} \quad (1)$$

を導入した。

本研究により撮影された火花列に対して、評価関数 d を用いた DP マッチング結果を示す。Fig.12 は位相角 315°における、ファン上部からの測定結果を示したものであり、この火花列に対して DP マッチングを施した結果の一例を Fig.13 に示す。これによ

り、可視化画像より定量的に流速分布を得ることに成功した。今後、これらの計測結果を統計的に処理することによって、より詳細な解析が可能となると考えられる。

5. 結論

今回の可視化計測によって、吸込み流れの揺動を確認でき、また吸込み部に遮蔽片を設置することによって揺動が低減されること、遮蔽片の設置位置の変化によって流れの揺動に変化が生じることが確認できた。また、DP マッチング法を用いることにより、シロッコファン吸込気流の流れベクトルを定量的に求めることが出来た。

参考文献

- 1) Sakoe & Chiba, IEEE Trans. ASSP, 26-1 (1978) 43-49
- 2) 二宮・他 3 名 第 35 回伝シ講論 2 (1998) 599-600
- 3) 佐々木・他 4 名 第 38 回伝シ講論 3 (2001) 723-724
- 4) 渡邊・他 4 名 第 30 回可視化情報シンポ講論 1 (2002) 137-140

Fig.12 Image of timelines

Fig.13 Flow vectors