

横流ファン内部流れの可視化 とLDV測定

建設・機械系 (機械システム工学科) 高橋敏則

1. はじめに

横流ファン(cross flow fan)は、1892年にMortierにより開発された。現在、家庭用空調機器として広く利用されている。この横流ファンの特長は、普通のターボファンに比べて、性能に及ぼす諸因子の影響が複雑で、効率も低く、羽根車内に大きい複合渦域がある関係で騒音が高くなり、羽根車周速を小さくしなければ実用に供し得ないことである。横流ファンは多翼ファンに似た前向き羽根をもつが、両側面が側板で覆われ軸方向からの気体の流入がない。

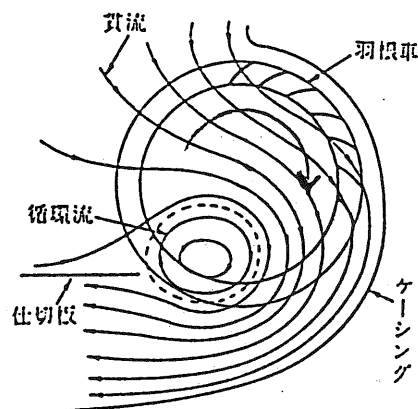


図1 横流ファンにおける流れ

横流ファン内の流れは、図1に示すように、羽根車内を循環する循環流と羽根車を通り抜ける貫流とから成る。循環流は、内部が強制渦域で、その外側に全圧がほぼ一定の自由渦域がある複合渦である。複合渦は非軸対称のケーシングを設けることにより渦中心の位置は偏心して安定する(偏心渦)。また貫流では、各流線ごとに羽根車が与えるヘッドは異なった値をもつ。貫流はほとんどの流線が吸込側と吐出側で羽根車を2回通過するが、流れが軸対称でなく圧力上昇に寄与する羽根車の領域が限られており、横流ファンの性能は高くない。すなわち、個々の羽根の入口と出口は回転に伴って吸込側と吐出側に交互に交替し、すべての流線に対して最適な流動条件を備えにくく、しかも循環流の発生により動力の損失が増加するため、効率向上は望めない。しかし圧力係数はかなり高くすることができる。

上述のように横流ファン内部流れは複雑でよく分っていない。また、実際の使用状況に近い熱交換器を付けた場合の横流ファンの流れ特性についてもよく分かっていない。本報告では熱交換器がそれぞれ2枚と3枚よりなる2種類の横流ファンモデル(図6参照)を使用して、レーザライトシートによる横流ファン内部の流れの可視化、2次元レーザドップラー流速計(LDV)による横流ファン内部の流速測定を行った結果について述べる。具体的には、流速測定結果から横流ファン内部の速度分布を作成し、さらに、流速、流れ方向の標準偏差、流線、渦度の計算を行い、横流ファン内部の流れを詳細に調べた。

2. 実験装置及び実験方法

図2は実験装置と測定装置の概略を示す。流れの可視化実験はドライアイスの白煙と4Wのアルゴンレーザー光を光源とするレーザーライトシートとビデオカメラを用い、流速の測定は2次元LDVを用いて行った。トレーサには水微粒子($1\sim 2\mu\text{m}$)を用いた。サンプリング数は一つの測定点につき400とした。この実験で使われたクロスフローファンモデルは、羽根車、ノーズ、ケーシング、側板そして熱交換器から成る。側板、羽根車、ケーシングは光学測定が可能なように透明アクリルで作られている。羽根車の詳細を図3に示す。外径と内径はそれぞれ95mm、75mmである。羽根は半径約9.5mmの円弧翼であり、回転方向に 26° 傾斜して等間隔に35枚配置されている。全長は217mmで、2枚のドーナツ状の円板の仕切板で3分割されている。予備実験によれば、流れの軸方向の一様性は側板と仕切板の極く近傍を除いて成り立つことが確認されているので、流れの可視化、流速の測定は側板と仕切板の中央の断面で行った。測定点の座標は図4に示すように、羽根車の中心を原点として、半径方向に r 、ノーズの上方の水平方向を 0° として、反時計回り方向に θ をとった。羽根車の回転方向は図4に示すとおり反時計回りである。

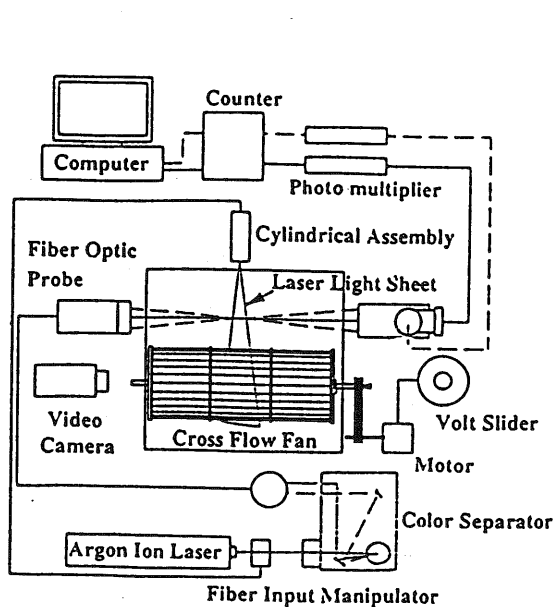


図2 実験装置概略

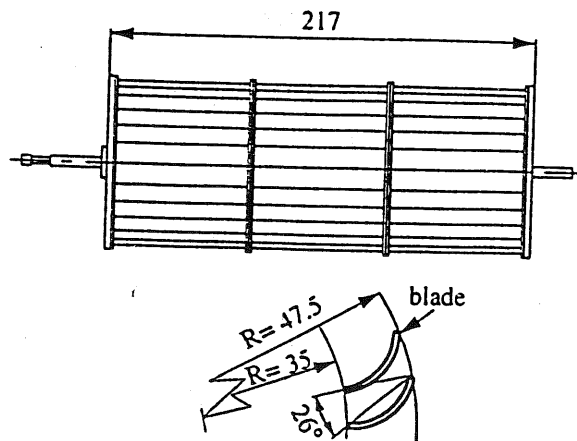


図3 供試羽根車詳細

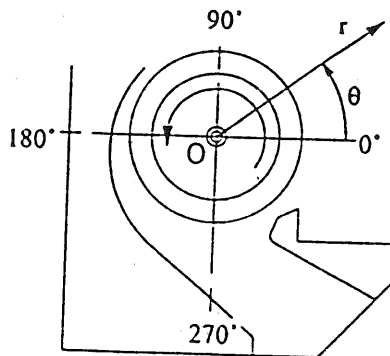


図4 座標系

3. 実験結果及び考察

3. 1 流れの可視化

図5に流れの可視化結果の一例を示す。回転数を変えても流れ場の様子はほとんど変化しなかったため、以後の実験では回転数は1400rpm一定とした。写真で白く写っている部分がトレーサ粒子を示しているためこの部分は貫流域に相当し、羽根車内の右斜め下のトレーサがほとんど進入しない領域が偏心渦に相当する。図5(a)のモデル1の場合、ケーシング左上部付近にトレーサ粒子が淀んでいるように見受けられる。

3. 2 流れの速度分布

図6はモデル1, 2の流れの速度分布を示す。この図から空気は熱交換器の外側から内側へ流れ、そして羽根車の内側へ流れることがわかる。その後、流れの方向が変わる間に空気の流れは羽根車の内側から吐出領域へと進む。図6(a), (b)はモデル1, 2の流れの速度分布を示す。これらの図から2つのモデルの流れは吸込領域での流れを除いてほとんど同じであることがわかる。

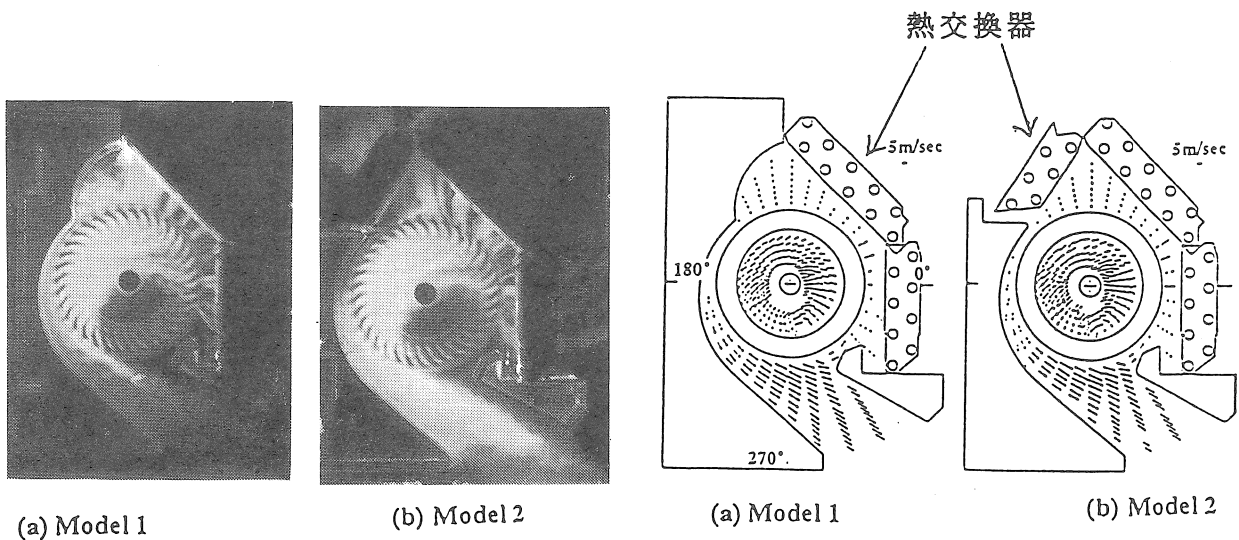


図5 流れの可視化

図6 速度ベクトル線図

3. 3 流線と渦度分布

二次元極座標(r, θ)において、任意の点における流れ関数値 ψ は次式で与えられる。ただし、原点の流れ関数の値をゼロとした。

$$\psi - \psi_0 = \int (-v_\theta dr + v_r r d\theta) \quad (1)$$

ここで、 v_θ, v_r はそれぞれ周方向速度、半径方向速度である。任意の格子点(i, j)における流れ関数値 $\psi(i, j)$ は式(1)の右辺を離散化して数値積分することにより、

$$\psi_r(i, j) = \psi_r(i-1, j) - \{v_\theta(i-1, j) + v_\theta(i, j)\} \Delta r / 2 \quad (2)$$

により求められる．ここで， Δr は格子点間の r 方向距離である．

渦度は定義式 $\omega = \frac{\partial v_\theta}{r \partial r} - \frac{\partial v_r}{r \partial \theta}$ の右辺を離散化して数値微分して，

$$\omega(i, j) = \frac{1}{(i-1)\Delta r} \left\{ \frac{i\Delta r v_\theta(i+1, j) - (i-2)\Delta r v_\theta(i-1, j)}{2\Delta r} \right\} - \frac{1}{(i-1)\Delta r} \left\{ \frac{v_r(i, j+1) - v_r(i, j-1)}{2\Delta \theta} \right\} \quad (3)$$

により求めた．

図7(a), (b)はそれぞれモデル1, 2の場合の流線を示している．図7(a)のモデル1の場合，偏心渦の中心は約290°の羽根車の内周付近にあり，その形はやや縦に長いことがわかる．また，吸込領域の左上の領域には閉じた流線が見られ，その領域からは流体の羽根車内への流入がないことがわかる．図7(b)のモデル2の場合，偏心渦の大きさはモデル1の場合よりもわずかに小さく，形状はより円に近いことがわかる．ただし，偏心渦の中心の位置はモデル1の場合とほとんど同じである．また，モデル2では第3の熱交換器があるために吸込領域の左上部の領域から流体が羽根車内に流入していることがわかる．

図8(a), (b)はモデル1, 2の渦度分布を示している．モデル1, 2のいずれの場合においても，偏心渦の中心付近において渦度は最も高くなっている．

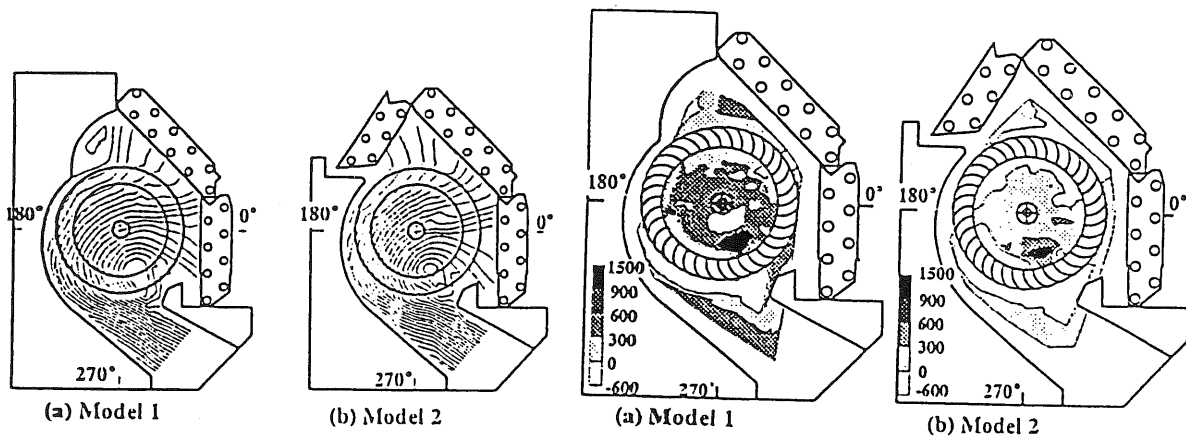


図7 流線

図8 渦度分布

3. 4 乱れの大きさ

図9は各測定点の流速の測定値の標準偏差であり，円が大きい程その点の流速の変動が大きいことを示している．モデル1, 2のいずれの場合も，翼列を通過する直前の流速の標準偏差は小さいが，翼列を通過した直後のそれは大きいことがわかる．モデル1の図9(a)の場合，吸込領域の左上部の領域も流速の変動は大きく，この領域からはスムーズに流体が羽根車内に流入していないことを示している．

いる。

図10は流れの方向の測定値の標準偏差を扇形を用いて示した。扇形の半径はその点における平均流速を示し、扇形の角度が流れの方向の測定値の標準偏差を示している。モデル1、2のいずれの場合も、流速の変動が大きい領域は流れの方向の変動も大きいことがわかる。すなわち、翼列通過直後で流速の変動ならびに流れの方向の変動が大きいことから、円弧翼の背面で流れがはく離している可能性がある。

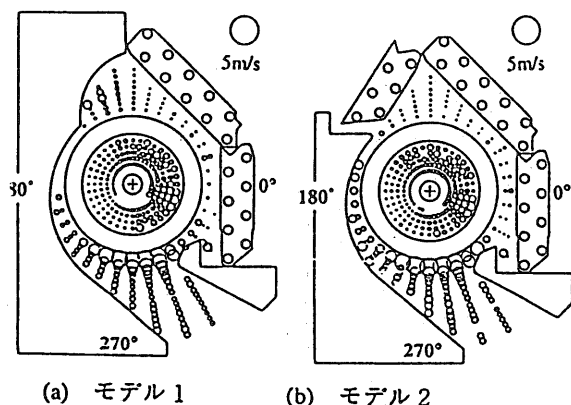


図9 流れの測定値の標準偏差

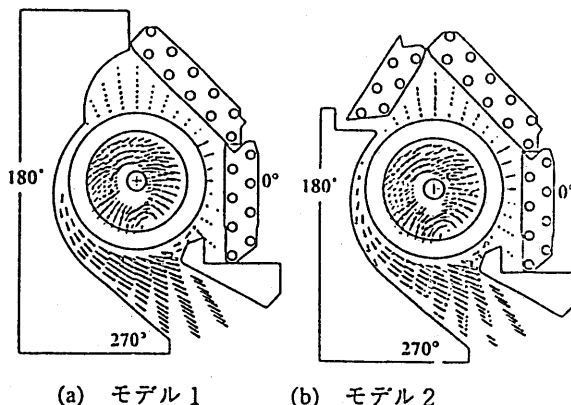


図10 流れの方向の測定値の標準偏差

4. おわりに

熱交換器の形の異なる二つの横流ファンモデルの内部流れ場の特性を調べるために、レーザライトシートを用いた流れの可視化と2次元LDVによる流速測定を行った。また、LDVの測定結果より、流線、渦度、流れの速度と方向の標準偏差などの流れの諸量を求めた。

本報告の結果をまとめると、以下のようなになる。

(1) 流れの可視化結果、速度ベクトル図、流線の図より、偏心渦の位置や貫流域が詳細に捉えられた。

(2) 流れが翼列を通過する直前では、流速の変動ならびに流れの方向の変動は小さいが、翼列を通過した直後では、それらは大きい。

(3) モデル1とモデル2との比較から、吸込領域におけるケーシングの形状や熱交換器の位置は、偏心渦の位置やその周囲の流れに大きな影響を及ぼさなかった。