電子機器冷却設計のための空冷ファンモデル

Cooling fan model for the cooling design of electronic equipment

○学 後藤真司 (北大院) 正 池川昌弘 (北大院)

Shinji GOTO, and Masahiro Ikegawa

Hokkaido University, North13, West8, Kita-ku, Sapporo, Hokkaido

It is vital to calculate the flow rate when a cooling fan is applied to a cooling design of an electronic equipment. Usually, the flow rate is calculated by comparing a P-Q curve with a static pressure difference between front and back side of the fan. However, it is difficult to determine which location should be selected as the pressure evaluation point in a densely packed condition since the pressure field is not uniform. Thus, the accurate flow rate can not be determined through the conventional method. The objective of this study is to develop a cooling fan model that can be effectively employed for cooling design of electronic equipment.

Key Words: Fan Flow Rate, Axial Fan, Densely Packed Condition, Cooling Fan Model, P-Qcurve

1. 緒言

空冷ファンによる放熱設計を行う際にはファン風量を知る必要がある。現在の推定方法はファン入口圧力と出口圧力である大気圧との静圧差を求め、ファンメーカーによって供給されるP-Q性能曲線との比較により行われる。しかしこの性能曲線は、吸い込み側の入口圧力が均一なチャンバーを用いて求められているため、ファンへの空気流入は一様であるという条件下で測定されている。ノート型PCに代表される高密度実装PCの内部では、装置や基板が密集しているため筐体内部の圧力分布に大きな差が生じ、ファンへの空気流入が不均一になっている⁽¹⁾。このような場合、ファン入口部の参照圧力をどこで評価するかが問題となる上に、ファンに近接して装置や基板が設置される状況下ではP-Q性能曲線そのものが変化し、ファン風量を正確に評価することができない。

この問題の解決策の一つとして、当研究室では空冷ファンモデルの構築を行っている。このモデルは、ファンの送風作用を空気に対する体積力として取り扱い、解析モデルに組み込むというものである。今回、ファンモデルの構築とモデルの検証とを目的として、ファン前方に障害物を設置した場合の実験を行い、ファンモデルの評価を行ったのでその結果を報告する。

2. 実験装置及び実験方法

図1に実験装置図を示す。装置はアクリル製で、チャンバーの片側にファンを設置した。高密度実装状態を模擬するために、ファンの前面に距離 d を介して障害物を設置する。

Fig.1 Experimental setup

距離 d は5mm, 10mm, 20mm, 30mmの4パターンとした。障害物には30mm角, 25mm角, 厚さ5mmのアクリル製の正方形板のものをを用いた。このときファンとファン前方が35mm角のダクトで囲まれている場合とオープンな状況においての実験を行った。

実験装置のオリフィスの下流に補助ファンを取り付け、ファン吹出部のチャンバー内の静圧を制御できるようになっている。チャンバーの圧力を大気圧に維持し、上記に述べた障害物の大きさとファンとの距離 d のそれぞれの状況について風量を測定した。オリフィス前後の差圧測定は金属製のタップを差し込み、微差圧計(PZ-77, 精度は $\pm 0.02\text{Pa}$)を用いて測定した。

ファンモデルの評価を行うために、実験にはP-Q性能曲線の大きく異なる2つのタイプのファンを用いた。締切圧力は小さいが開放風量の大きい軸方向に吹き出すタイプのファンAと、締切圧力は大きい開放風量の小さい横方向に吹き出すタイプのファンBである。⁽²⁾

3. ファンモデル

図2に示すようなファンを通過する流れを想定し、ファン仕事による静圧上昇を体積力 f で置換することを考える。

Fig.2 Fan Model

ファンを通過する流れに対する支配方程式は、粘性を無視しうる場合には次のように与えられる。

$$\rho u \frac{du}{ds} = -\frac{\partial p^*}{\partial s} + f \quad (1)$$

ここで s は流線に沿う座標であり、 p^* はファン仕事による圧力場を除いた圧力場である。

ファン部分での圧力損失を考慮しファン領域で空気流速の2乗に比例する抵抗を式 (1) に付与すると

$$\rho u \frac{du}{ds} = -\frac{\partial p^*}{\partial s} + f - cu^2 \quad (2)$$

が得られる。式 (2) を $s=0$ からファン出口である $s=L$ まで積分し、 $s=L$ における圧力を基準圧力 0 とすると

$$\frac{P}{\Delta l} + f = cu^2 + \rho \frac{u^2}{2\Delta l} \quad (3)$$

となる。ここに P は $s=0$ における圧力であり、通常負の値である。また Δl はファンの厚さであり、式 (3) 中の未知係数は f と c である。式 (3) に P - Q 曲線上の2点 (P_1, u_1)、(P_2, u_2) を代入することによって f と c の値を求めると

$$f = \frac{1}{2\Delta l} \left\{ \frac{(u_1^2 + u_2^2)}{(u_1^2 - u_2^2)} (P_2 - P_1) + P_1 + P_2 \right\}$$

$$c = \frac{1}{\Delta l} \frac{(P_2 - P_1)}{(u_1^2 - u_2^2)} - \frac{\rho}{2\Delta l} \quad (4)$$

が得られる。

4. 実験結果、解析結果および考察

ファンとファン前方がダクトに囲まれていないオープンな状況についての実験値と解析値を図3に、ダクトを設置した場合の軸方向吹き出しファンA、横方向吹き出しファンBの実験値と解析値の結果をそれぞれ図4、図5に示す。実験はいずれもファンの開放状態での実験であるが、軸方向吹き出しファンは障害物の位置や大きさに風量が大きく影響を受けているのがわかる。一方で、横方向吹き出しファンの場合は風量はあまり変化していない。これは横方向吹き出しファンでは流入した空気の進行方向が90度変化させられることによる圧力損失が大きいため、障害物の介在による圧力損失の割合が小さくなり、障害物の大きさや位置に関してあまり影響を受けないためである。

これらを検証データとして電子機器冷却設計シミュレーションのための空冷ファンモデルの検討を行った。

Fig.3 result of axial fan A set up in an open space

Fig.4 result of axial fan A set up in a duct

Fig.5 result of axial fan B set up in a duct

解析結果は横方向吹き出しファンにおいては障害物の大きさに関わらず、全体的に実験結果を再現できている。軸方向吹き出しファンでも全体的に実験結果を再現できていることがわかる。しかし実験値との誤差が大きくなっている部分も見受けられ、ファンモデルは改良を要する部分があると言える。

今後、ファンモデル検証用のデータを増やし、さまざまな状況下での追加実験による評価とモデルの改良を行う予定である。

4. 結言

今回行った研究の範囲で以下の結論を得た。

- (1) 提唱したファンモデルは障害物とファンが近接した場合に誤差が大きくなることがあるためモデルの改良を要する部分もあるが、コンピュータによる冷却設計を行う際のファンモデルとして組み込み得る可能性がある。
- (2) 検証用のデータを増やし、追加実験との比較検討によるモデルの検証と改良が必要である。

5. 参考文献

- (1) 2004年日本機械学会「RC202電子デバイス/電子実装における信頼性に関する研究分科会 研究報告書」資料
- (2) 池川昌弘、高橋大我他、コンパクトPC用冷却ファンの性能評価、熱工学コンファレンス講演論文集、p113-114 (2003年)