

小型ファン性能測定装置の製作

防衛大学校 中村 元

1 ファン性能測定に関する規格

ファンの性能 (PQ 曲線*1) を測定する方法は, ISO 5801 (Industrial fans – Performance testing using standardized airways) や, JIS B 8330 (送風機の試験および検査方法) で規定されている. しかし, これらの規格は工業用や事務機器用の大型から中型のファン (風量の下限が $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 程度までのもの) を対象としており, ノート型 PC のような小型の電子機器に用いられるファン (風量が $10^{-4} \sim 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 程度のもの) には対応していない.

近年, JBMS-72-2003¹⁾ (音響-マイクロファンの空気伝播騒音測定方法) によってファンの騒音測定法が規格化されたが, その附属書 A (マイクロファンの P-Q 曲線測定方法) の中で, 微小風量ファンの性能測定法が記述されている.

図 1 に, JBMS-72-2003 の附属書 A (図 A.2) に記載されている微小風量測定装置の概略を示す. 装置は, 供試ファンを取り付けるチャンバー (風洞), 流量計, および可変給排気システムから成る. 基本的な構成は ISO 規格や JIS 規格と同様であるが, $10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 以下の微小風量にも対応可能となっている. 本装置に関して, 以下の規定がなされている.

- (1) 風量範囲 : $0.015 \text{ m}^3/\text{s}$ 以下
- (2) 流量計 : 試験体の最大風量を $\pm 3\%$ で計測できるもの
- (3) 風洞寸法 : 図 1 を参照
- (4) 本装置の流れ方向は, 風洞に対して押込み/吸出し何れも可とする.

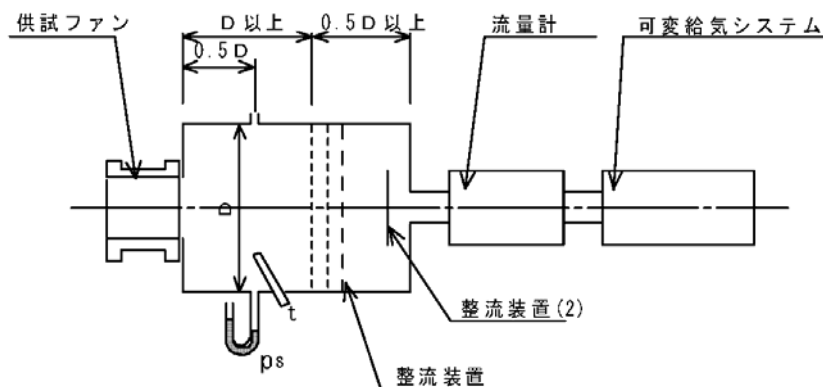


図 1 微小風量測定装置の概略 (JBMS-72-2003, 図 A.2)

*1

ファンの性能は, 一般にファン前後の圧力差と風量の関係によって表される. この関係を PQ 曲線あるいは PQ 特性と呼ぶ.

1)

JBMS-72, 音響-マイクロファンの空気伝播騒音測定方法, 社団法人ビジネス機械・情報システム産業協会, 2003.

- (5) 風洞形状は、断面寸法 D の角又は丸形状とする。
- (6) 断面寸法 D は 300 mm 以上とする。
ただし、吐出し/吸込み断面が風洞壁面と近接する場合は拡大すること。また、風量が小さい場合には、断面積を使用最大風量に比例させ、最小 200 mm まで縮小して良い。
- (7) 整流装置のファン側 2 枚は、JIS B 8330 に規定する金網とする。
反対側は開口比 20～30 % のパンチングメタルとする。
- (8) 風洞と流量計の接続部には、バッファリングプレート等の緩衝板を設置する*2。
- (9) 流量計と可変給排気システムは、組合せにより、給気・排気方向の変更、流量範囲の拡大等を行っても良い。
- (10) 風量範囲を広げて計測するため、複数の流量計を並列に接続しても良い。ただし、使用しない流量計からの漏れがあってはならない。

*2
チャンバー（風洞）内の流れを拡散させるために設置する。

なお、流量計に関しては、「校正が可能でかつ流量の国家標準にトレーサブルであることが望ましい」と記述されている。また、差圧計の精度に関しては、ISO 5801 の規定（誤差が有効圧力の±1 % を超えてはならない）に従うものとし、運用面において以下の注意に従わなければならないと記述されている。

- a) 有効静圧の±1 % の精度を確保できない場合、使用したマノメータの精度を記録すること。
- b) 使用するマノメータは、試験ファン締切り静圧の±1 % の分解能を持つこと。
- c) 0 点（静圧 0 の点）の再現性（ヒステリシスを含む）も試験ファン締切り静圧の±1 %以内であること。

2 流量計について

微小風量ファンの性能測定装置を製作する上で一番問題となるのが、流量計の選定である。世の中には多種多様な流量計が存在するが、 10^{-4} ～ 10^{-3} m³/s 程度の微小風量を精度良く、しかも簡単に測定するのは意外に難しい。表 1 に、微小風量が測定できる流量計をいくつか挙げた（2006 年 8 月現在）。

表 1 10⁻⁴~10⁻³ m³/s 程度の微小風量が測定できる流量計の例

測定方式	製品例/規格	流量範囲 (×10 ⁻³ m ³ /s)	レンジア ビリティ	精度	圧力損失 (最大流量)	メンテ ナンス	備考
容積流量計	(株)オーバル ガスオーバル	0.05 – 5.5	10 程度	1 % RD	約 250 Pa	要	湿気により潤滑油が 劣化
熱式流量計	(株)山武 CMS シリーズ	0.0017 – 8.3	100 程度	3 % RD	約 400 Pa	不要	質量流量を測定
超音波流量計	(株)カイジョーソ ニック SGF-100	0.005 – 13	1000	2 % RD	なし	不要	
面積流量計	JIS B 7551	0.00008 – 2.8	10 程度	1 – 5 % FS	1000 Pa ～	不要	
差圧式流量計	JIS Z 8762 オリフィス	3 ～	3 – 10 程度	2 % FS 程度	絞り直径比と 流速による	不要	実流校正が不要 長い直管部が必要

この中で、測定精度に着目すれば容積流量計が最も良く、読み値 (RD) の 1 % の精度を有する。また、圧力損失も数 100 Pa 以下と低いため、可変給排気システム (図 1 参照) を低コストで簡単に構成することができる。ただし、流量計の中に精密な回転子が組み込まれているため、大気中にダストがあると故障の原因になる。また、大気中の湿気により回転子の潤滑油が劣化するため、フィルターを用いるなどしてダストや湿気を除去して使用するのが望ましい。

熱式流量計は、測定精度については容積流量計に比べてやや劣るものの、稼働部がなくメンテナンス不要であるため、比較的 low コストで測定することができる。熱式流量計には何種類かの異なった方式*3 があるが、圧損が小さい (数 100 Pa 以下) 方式の場合は可変給排気システムを低コストで構成することができる。なお、大気中のダストや湿気が測定誤差の増加や故障の原因になることがあるので、フィルターを用いるなどしてダストや湿気を除去して使用するのが望ましい。

超音波流量計は圧損がゼロでレンジアビリティが非常に広く (1:1000 程度)、精度も比較的高い。ただし、他の方式と比べて高価である。

面積流量計*4 は他の方式と比べて圧損が大きいため、可変給排気システムにはコンプレッサーやポンプなど差圧が大きく取れるものが必要になる。また精度がフルスケール (FS) の 1~5 % 程度と他の方式より劣る。

このほか、表 1 には差圧式流量計 (オリフィス) も含めておいた。これは JIS Z 8762 に従って簡単に自作することができ、また、差圧計さえあれば簡単に流量の測定ができる。ただし、JIS 規格では管径が 50 mm 以上、レイノルズ数が 5000 以上と定められているため、風量の下限が 3×10⁻³ m³/s 程度となる。しかし、後述 (5 節) のように実流校正を行えば、1×10⁻³ m³/s 以下の微小風量であっても十分な精度で測定することができる。

*3
バイパス分流式、熱線式、
フローセンサ式などが存在
する。

*4
浮子式流量計とも言う。

3 ファン性能測定装置の製作事例

筆者が実際に製作したファン性能測定装置を図 2 に示す。基本的には JBMS-72-2003 の微小風量測定装置の規格に準拠したものである。なお、本装置は $0.0002\sim 0.003\text{ m}^3/\text{s}$ 程度までの風量測定を想定しているため、それ以上の風量を測定する場合には、チャンバー断面積を大きく、オリフィス板の絞り孔径を大きく、バルブの呼び径を大きくする必要がある。また、これ以下の風量を測定する場合には、オリフィス板の絞り孔径を小さくする必要がある。以下に、装置の各構成要素について説明する。

(1) チャンバー

チャンバーは内部寸法 $210\text{ mm (H)} \times 210\text{ mm (W)} \times 350\text{ mm (L)}$ の矩形であり、内部の流れが可視化できるように透明なアクリル板を用いて作成した。チャンバーの前面に供試ファンを取付ける。通常は単体のファンを取り付けるが、図 2 のように電子機器の筐体を取付ければ筐体内の風量を測定することができる。チャンバーの前面は取外し可能であり、供試ファンの形状毎に作成した。チャンバーの下流側には、JBMS-72 にある整流装置（整流網 2 枚とパンチングプレート 1 枚）を設置した。ここでは、整流網には網戸の網を、パンチングプレートには開口比 0.3 のプラスチック板を用いた。チャンバーの上面には、前面から 105 mm （チャンバー断面長の $1/2$ ）の位置に静圧測定孔を設けた。なお、JBMS-72 で規定されている緩衝板は設けなかったが、風量が $0.003\text{ m}^3/\text{s}$ 以下の測定であれば特に問題にはならなかった。ただし、これ以上の風量を測定する場合には、チャンバーの断面を大きくすると共に、緩衝板を設けてチャンバー内の流れを拡散させる必要がある。

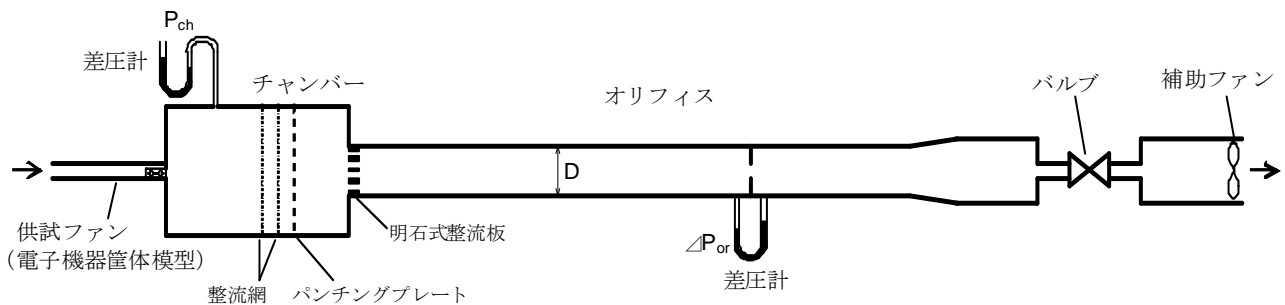


図 2 製作したファン性能測定装置

(2) オリフィス

流量計には、JIS Z 8762-1995 のコーナータップ・オリフィスに準拠したオリフィス流量計を用いた。オリフィス管の内径は $D = 84 \text{ mm}$ であり、オリフィス板上流側、下流側の長さはそれぞれ $10D$ 、 $4D$ である。また、オリフィス板の絞り孔径は $d = 24 \text{ mm}$ であり、絞り直径比は $\beta = d/D = 0.286$ である。このオリフィス板を用いて $0.0002 \sim 0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ の流量測定を行った（対応する差圧は $0.3 \sim 65 \text{ Pa}$ ）。これ以上の風量を測定する場合にはオリフィス板の絞り孔径 d を大きく、これ以下の風量を測定する場合には d を小さくすれば良い。また、オリフィスの上流端には明石式整流板*5（JIS Z 8762-1995, p.69, 71 参照）を設置して流れを整流した。オリフィス後方には流れの拡大部（内径 $84 \sim 110 \text{ mm}$ に拡大、長さ 60 mm ）および円筒状のバッファ（内径 110 mm 、長さ 150 mm ）を設けた。なお、JIS 規格で保証される風量の下限は $3 \times 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ 程度であるため、後述（5 節）のように実流校正を行って使用した。

*5
旋回除去および速度分布修正に効果があり、圧力損失が小さいのが特徴である。

(3) バルブ

本装置では、バルブおよび補助ファンを用いて JBMS-72 の可変給排気システムを構成した。バルブには、軽量で安価なボールバルブ（エスロン社 PVC/EPDM 10K 25A）を用いた。このバルブの呼び径は 25 mm と小さいため、 $0.003 \text{ m}^3/\text{s}$ 以上の風量を測定する場合には呼び径の大きなものを使用する必要がある。

(4) 補助ファン

可変給排気システムには、流量計を含めた装置全体の圧力損失に対抗して送風できる補助ファンが必要である。 $0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ 程度までの低風量測定であれば最大静圧 80 Pa 程度の軸流ファンでも大丈夫であったが、それ以上の風量を測定する場合には、静圧差の大きく取れる二重回転ファン（山洋電機社 サンエース 40、最大静圧差 450 Pa ）を使用した。

(5) 差圧計

チャンバー静圧およびオリフィス差圧は非常に小さいため（ $0.3 \sim 100 \text{ Pa}$ 程度）、微差圧を精度良く測定できる差圧計が必要になる。JBMS-72 に従えば、供試ファンの締切圧力を $\pm 1 \%$ の分解能で測定する必要があるため、締切圧力が 10 Pa 程度のファンの場合は 0.1 Pa の分解能が必要になる。また、JBMS-72 では供試ファンの最大風量を $\pm 3\%$ の精度で測定する必要があるため、オリフィス差圧の測定にはそれに見合ったもの*6 が必要になる。ここでは、差圧が 20 Pa 以下の場合には Druck 社の LPX9481（フルスケール 20 Pa 、精度 0.02 Pa ）を、 20 Pa を超える場合には Druck 社の LPX9481（フルスケール 100 Pa 、精度 0.1 Pa ）を

*6
オリフィスの差圧は流量の 2 乗に比例するため、流量を 3% の精度で測定するには、差圧を 6% 程度の精度で測定する必要がある。

使用した。

4 PQ 曲線の測定手順

(1) 事前準備

バルブを全開にした状態で供試ファン及び補助ファンを 30 分程度作動する。こうすることでファンの回転数が安定すると共に、装置の温度が均一化される。

(2) 開放流量の測定

チャンバー内の圧力が大気圧と等しくなる ($\Delta P_{ch} = 0$) ように、補助ファンの回転数 (供給電圧) を調節する。この時のオリフィス差圧 ΔP_{or} から求めた流量 Q (5 節参照) がファンの開放流量である。なお、電子機器筐体内の風量を測定する場合には、(1) および (2) の手順のみ実施すればよい。

(3) 締切圧力の測定

バルブ全閉時のチャンバー圧力 ΔP_{ch} がファンの締切圧力である。

(4) PQ 曲線の測定

バルブの開度および補助ファンの回転数 (供給電圧) を調節しながら、チャンバー圧力 ΔP_{ch} および供試ファンの風量 Q を少しずつ変化させる。 ΔP_{ch} と Q の関係をプロットしたものが PQ 曲線となる。

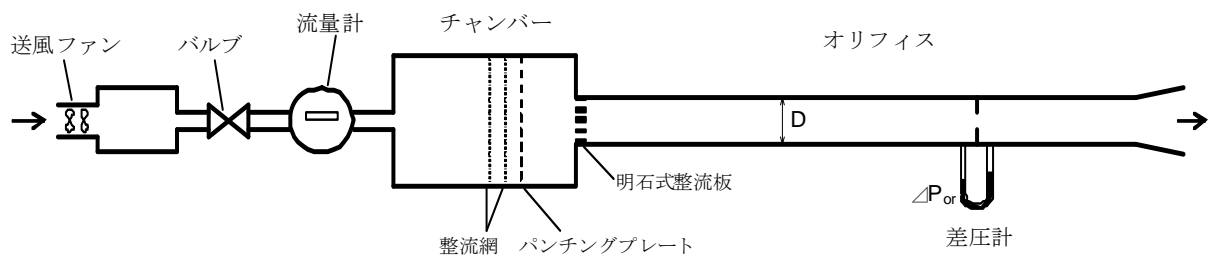


図 3 オリフィス流量の校正装置

5 オリフィス流量の校正

オリフィス板を通過した空気の体積流量 Q は、オリフィス差圧 ΔP_{or} を用いて次式で表される 2)。

$$Q = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta P_{or}/\rho} \quad (1)$$

ここで ρ は空気の密度である。また d はオリフィス板の絞り孔径であり、 $\beta = d/D$ は絞り直径比 (D : オリフィス管の内径) である。なお、 C は流出係数であり、管内が十分に発達した乱流 ($Re_D \geq 5000$) であれば JIS Z 8762 に記載されている。しかし、小型ファンのように低風量の場合には $Re_D < 5000$ となるため、実流校正によってオリフィス流量と差圧の関係を求める必要がある。

校正装置の例を図 3 に示す。ここでは、ファン性能測定装置 (3 節) の構成要素を可能な限り流用した。

(1) 送風ファン

流量計を含めた装置全体の圧力損失に対抗して送風できるファンが必要である。ここでは、 $\square 40$ mm の二重回転ファン (山洋電機社 サンエース 40, 最大静圧差 450 Pa) を使用した。送風ファンの下流側には断面積の大きな円筒状のバッファ (内径 110 mm, 長さ 150 mm) を設けた。なお、上記のファンでは測定風量の上限が 0.002 m³/s 程度であったため、これ以上の風量を得るには、例えばバルブや流量計の呼び径を大きくするなどして圧力損失を低減するか、あるいは、さらに大きな静圧差の取れる送風機を使用する必要がある。

(2) バルブ

流量を調節するためにバルブを設けた。使用したバルブは 3 節と同一である。

(3) 流量計

基準流量計であり、高精度に流量が測定できる容積流量計 (オーバル社 ガスオーバル GAL55, 流量範囲 1500~10000 liter/h での精度 $\pm 1\%$ RD 以下, 流量範囲 650~1500 liter/h での精度 $\pm 1\%$ FS 以下) を用いた。なお、精密な回転子が組み込まれているため、ダストや湿気の少ない清浄な環境で稼働させるのが望ましい。

(4) チャンバー

3 節と同一である。

2) JIS Z 8762, 絞り機構による流量測定方法, 日本規格協会, (1995).

(5) オリフィス

3節と同一である。

(6) 差圧計

3節と同一である。

校正結果を図4に示す。グラフの横軸はオリフィス差圧を空気の密度で除した値 $\Delta P_{or}/\rho$ であり、縦軸は基準流量計の流量 Q である。流量が $0.0006 \sim 0.002 \text{ m}^3/\text{s}$ の範囲であれば、オリフィス差圧と流量の関係は $\pm 1\%$ で次式で表される。

$$Q = 4.03 \times 10^{-4} \sqrt{\Delta P_{or} / \rho} \quad (\text{m}^3/\text{s}) \quad (2)$$

また、低風量の場合 ($0.0002 \sim 0.0006 \text{ m}^3/\text{s}$) であっても、 $\pm 3\%$ で上式で表される。

比較のため、JIS Z 8762 の値 ($Re_D = 5000$ の流出係数を使用) を点線で示した。JIS規格の規定を大幅に下回るレイノルズ数範囲 ($Re_D = 200 \sim 2000$) であるにもかかわらず、流量の差は 4% 程度と小さかった。

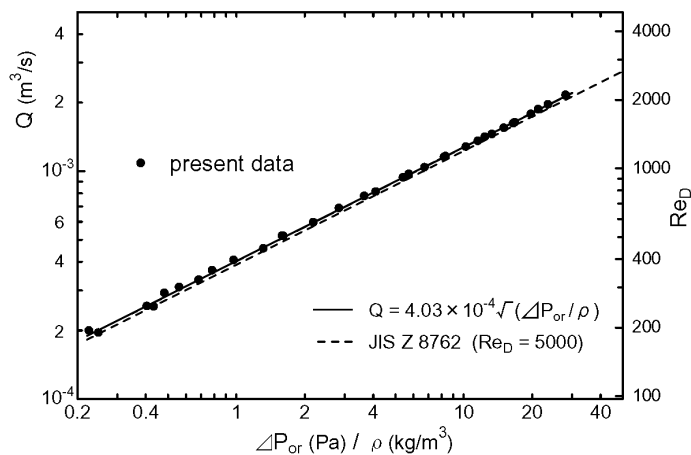


図4 オリフィス流量の校正結果