

# 換気扇流体騒音の低減法：ガイドを使ってファンの回転数を下げると騒音は下がるか？

浜谷光吉

平成 18 年 8 月 22 日

## 1 はじめに

近年、PC 等冷却の必要から小型ファンを搭載する電子機器の普及、また H15 年に施行された改正建築基準法による換気設備設置の義務付け等により、ファンは我々にとってより身近な存在となった。このような生活に根ざしたファンに対し、ユーザーのニーズはより騒音の小さなものへと向かっている。そのような中、ツクバリカセイキでは、ファンの低騒音化技術の開発に着手することになった。

開発しようとしているファンの騒音レベル<sup>1</sup>は、30dB を下回る。このようなファンの騒音特性は、通常の部屋では暗騒音<sup>2</sup>が大きすぎるために測定することができない。そこで、まずはじめに無響室<sup>3</sup>を設置し、騒音レベルが 20dB 程度のファンについて音響性能を十分に評価できることを確認した。この無響室の性能はインターンシップに参加した筑波大の阪口、北畠、浜谷が検査し、別の報告書にまとめられている。

上記の無響室を利用し、本報告書ではファンの吸気口にさまざまなガイドを取り付けたときの、ファンの風量と騒音の関係を明らかにする。2006 年 5 月に行われた中山社長の実験では、ガイドをとりつけると流量を一定にしたままファンの回転数を抑えることができることがわかっている。しかし、ファンからの騒音については測定されていなかったため、本報告書で無響室を利用して騒音レベルを測定した結果を述べる。

---

<sup>1</sup>音圧レベルに A 特性のフィルターをかけたもの。音圧レベル  $L$  の定義は、音圧を  $p$  とすると、

$$L = 10 \log_{10} \left( \frac{p^2}{p_0^2} \right) = 20 \log_{10} \left( \frac{p}{p_0} \right) \quad (1)$$

である。ここで、 $p_0 = 2 \times 10^{-5} [\text{Pa}]$  である。 $p_0$  は人間の耳に聞こえる最も小さい音圧である。音圧レベルは対数で定義されているので、負にもなりうる。産総研の大無音室の中は -20dB である。

また、音のエネルギー  $E$  は音圧  $p$  の 2 乗に比例する。音のエネルギー  $E$  が変化したときの、音圧レベル  $L$  の変化は

$$L_2 = 10 \log_{10} \left( \frac{E_2}{E_1} \right) + L_1 \quad (2)$$

である。たとえば、音源からの距離が 2 倍になった時、単位面積あたりの音のエネルギーは  $\frac{1}{4}$  になるので、音圧レベル (騒音レベル) は  $10 \log_{10} \left( \frac{1}{4} \right) = -6 [\text{dB}]$  変化する。

<sup>2</sup>環境にもともとある騒音。静かなオフィスでも 40 から 50dB 程度ある。

<sup>3</sup>壁に吸音材 (グラスウール) を貼り付けた部屋のこと。外からの騒音を遮断するとともに、壁からの反射音を無くしているため、音源からの騒音だけを測定することができる。なお、グラスウールに発がん性は無いが、肌の弱い人が触ると発疹が起きたり、吸い込むとせきや鼻水がとまらなくなる。無響室で作業するときは、マスクとゴム手袋をしたほうがよいだろう。



図 1: 実験に使用した換気扇。左図がグリルをつけた状態。グリルの丸い穴は回転数を測定するために空けてあり、実際の製品は空いていない。右図はグリルをあけた状態。4面ある側面それぞれに吸気口が空いている。

## 2 準備

実験に使用した換気扇 (図 1) は、ケースが一辺 16cm の正方形で、直径が 8cm の軸流ファン<sup>4</sup>が設置されている。ファンの全面にグリルがあるので、4面ある側面それぞれに 2.5cm×13cm の吸気口が空けられている。ファンは時計回りに回転する。この換気扇について目標としている性能は以下の通りである。

- 最大風量：75CMH 程度
- 回転数：3000 回転以下
- 騒音性能：抵抗なしのときに 30dB

上記の換気扇について、吸気口からファンの間にガイドを取り付け、ファンの風量と騒音の関係を調べる。ファン吸入口のガイドについては、5種類用意した。

- ガイド 1：12 枚の羽根を等間隔に設置した。ファンがひねられている方向と同じ方向にガイドのひねりを加えた (図 2)。
- ガイド 2：真ん中に十字型のガイドを取り付けた (図 3)。
- ガイド 3：12 枚の羽根を等間隔に設置した。ファンがひねられている方向と逆方向にガイドのひねりを加えた (図 4)。
- ガイド 4：12 枚の羽根を等間隔に設置した。羽根は放射状に配置し、ファンがひねられている方向にガイドを寝かせた (図 5)。
- ガイド 5：12 枚の羽根を等間隔に設置した。羽根は放射状に配置し、垂直に立てた (図 6)。

これらのガイドについてファン風量と騒音の変化を調べる。

風量の測定には、ツクバリカセイキが製造しているマルチノズル型ファン風量測定装置を使用した (図 7)。手前に換気扇を設置し、回転数測定用のアームを差しておく。ガラス

<sup>4</sup>ファンの回転軸と平行に空気を吸い込むファン。確認したい場合はは線香の煙を吸い込ませればよい。

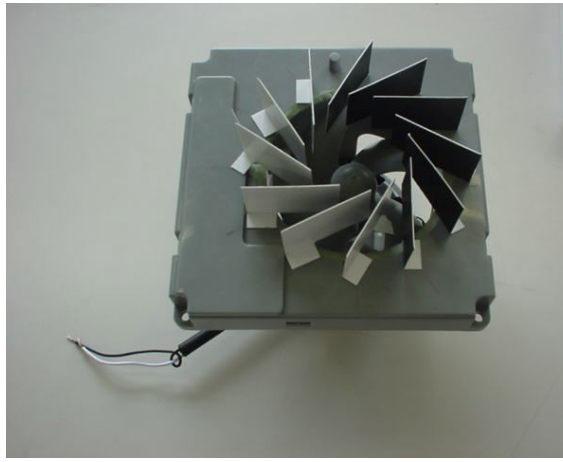


図 2: ガイド 1。ファンがひねられている方向にひねる。

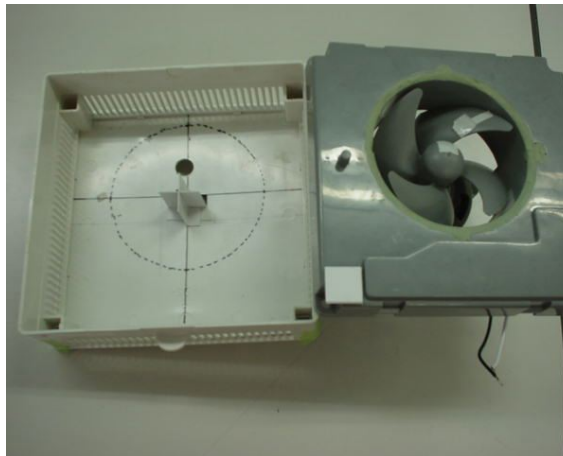


図 3: ガイド 2。中心に十字型のガイドをグリル側にとりつけた。

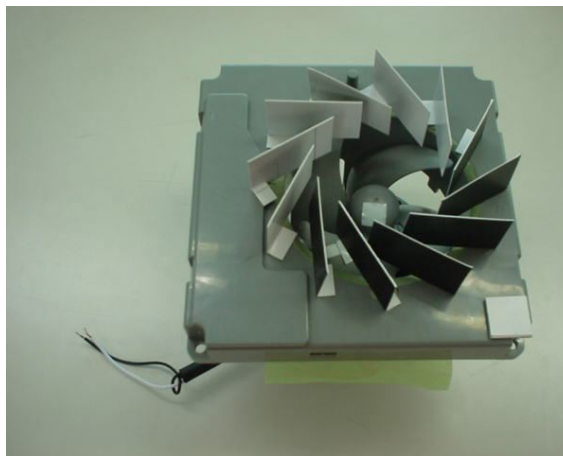


図 4: ガイド 3。ファンがひねられている方向と逆方向にひねる。

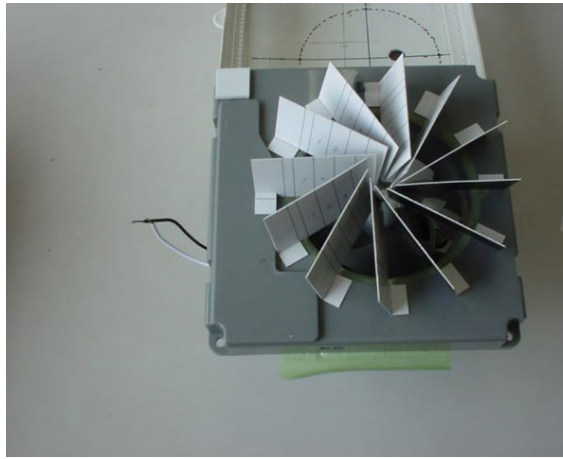


図 5: ガイド 4。放射状に配置し、ファンがひねられている方向に寝かせる。

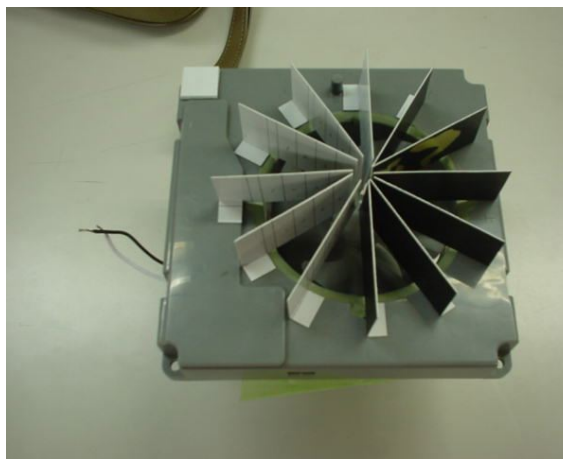


図 6: ガイド 5。放射状に配置し、垂直に立てた。



図 7: ファン風量測定装置。換気扇の P-Q 曲線を測定できる。

窓の中に複数のノズルがあるので、実験の途中で換気扇の性能に合わせてノズルを開ける。奥に自動制御のファンと可変シャッターがあり、風洞の抵抗を連続的に変化させることができる。この測定装置では、P-Q 曲線<sup>5</sup>をパソコンで自動測定することができる。各ガイドについて電源の周波数を 60Hz に設定し、電圧を 100、130、160、190V の 4 点<sup>6</sup>をとって、それぞれ P-Q 曲線を得た。

騒音の測定には、(株)RION 製の騒音測定器 NA-42 とツクバリカセイキで自作した無響室を使用した。無響室の内部空間の大きさは、高さ 180cm×縦 90cm×横 150cm である。ファンの中心とマイクの高さを 100cm にして、無響室の横方向<sup>7</sup>にファンのグリルとマイクを 100cm 離して騒音レベルを測定した。このとき、回転数測定のためにグリルに空けた穴はテープで塞いでおいた。無響室の暗騒音は 7dB 程度であるので、騒音レベルが 23dB より大きければ、測定結果を補正する必要は無い<sup>8</sup>。

### 3 実験結果

ガイド 1 から 5 までの P-Q 曲線を測定した。P-Q 曲線の結果は別紙に添付する。ガイド無しとガイド 1、4、5 について電圧を一定にして比較すると、低流量域での圧力が増加している。ただし、最大流量については、曲線の形状がほとんど変化しない。ガイド 3 については、電圧を一定にしてガイド無しと比較すると、低流量域での圧力が増加しているが最大流量については 14CMH 程度減少した。ガイド 2 は P-Q 曲線はほとんど変化せず、ただ騒音レベルが増加するだけであった。ガイド 1 とガイド 2 を同時に設置したもののや、ガイド 3 とガイド 2 を同時に設置したのも同様に、ガイド 1 だけのもの、ガイド 3 だけのものと P-Q 曲線は変わらずに騒音が増加した。したがって以下の結果では、ガイド 2 の結果は除くことにする。

測定の結果、ガイドを変えたとき最大流量付近でのグラフはほとんど同じでも、最大流量を出すために必要な回転数は変化することを確認した。各ガイドについての最大流量と回転数の関係をまとめて、図 8 に示す。最大流量 75CMH で比較すると、ガイド無しと比べてガイド 4 は 100 回転、ガイド 1 は 300 回転減少している。ガイド 5 はガイドなしと変わらない。ガイド 3 についてはガイドなしと比べて、電圧 100V では回転数が 300 回転増加するが、流量が 13CMH 減少する。190V にしても最大流量が 75CMH に届かないので、ガイド 3 は使えないことがわかった。

次に、各ガイドについて電圧を変えてゆき、騒音の変化を測定した。騒音の電圧依存性は別紙に添付した。各ガイドについての最大流量と騒音レベルの関係をまとめて、図 9 に示す。色付きのデータが実験結果で、黒い線は音源のエネルギーが最大流量の 6 乗、7 乗、8 乗に比例するときを理論式を示している<sup>9</sup>。どの実験結果も音源のエネルギーが最大流量の 7 乗程度に比例していることが分かる。

<sup>5</sup>あるファンの圧力 P と流量 Q の関係を示したグラフのこと。一つのファンについてある電圧に設定し、風洞の抵抗を変化させてゆくと、P-Q 曲線の一つプロットすることができる。電圧を変えてゆくと、P-Q 曲線も変わる。

<sup>6</sup>ガイドによってはもう 1 点、103V 付近の P-Q 曲線も測定したのものもある。最大流量を 73.8CMH 程度に合わせようとしたため。

<sup>7</sup>壁からはできるだけ離しておく。この測定方向についてのみ、無響室の性能評価において、日本工業規格 JISZ8732 の定める自乗低減特性を誤差範囲内で満足していることを確認した。

<sup>8</sup>暗騒音の影響の補正については、その差が 6dB から 15dB の間である場合には補正を行う必要がある。詳しくは JISZ8732 の p.4 を参照のこと。

<sup>9</sup>黒い線の導出について。音源のエネルギー  $E$  が最大流量の  $n$  乗に比例するとき、最大流量を  $Q$ 、音圧レベルを  $L$  とすると

$$L_2 = 10 \log_{10} \frac{Q_2^n}{Q_1^n} + L_1 \quad (3)$$

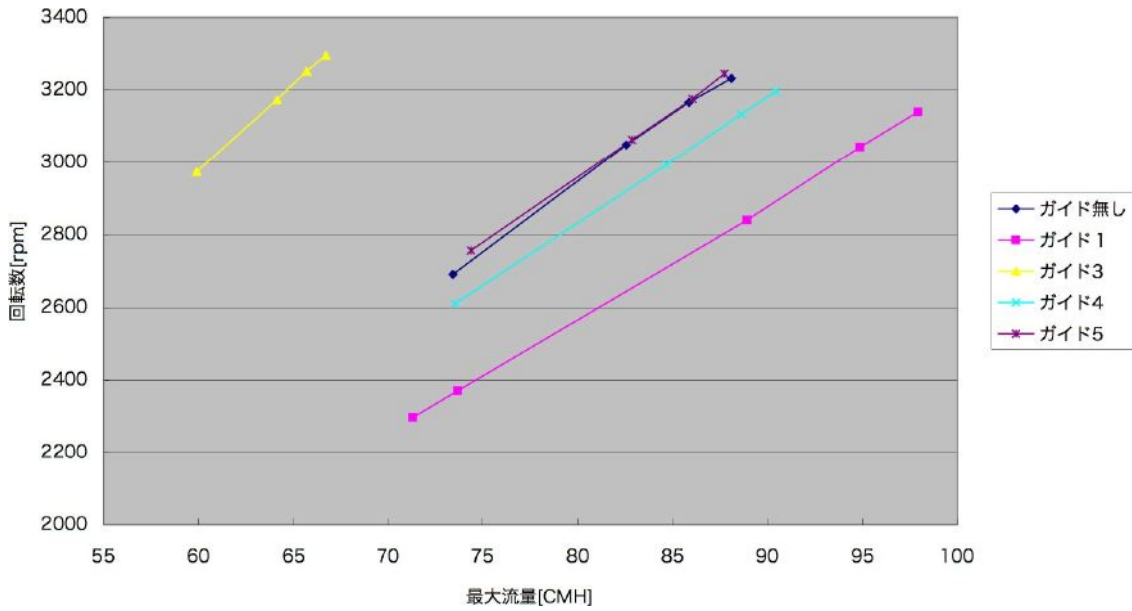


図 8: 最大流量と回転数。縦軸は回転数 (単位は rpm)、横軸は流量 (単位は CMH)。

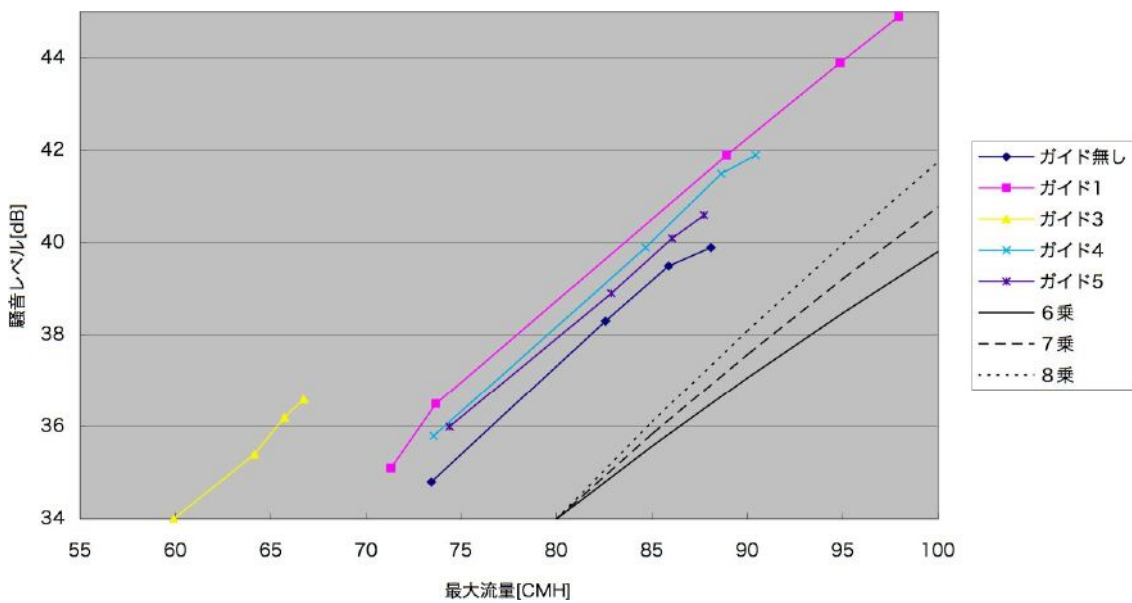


図 9: 最大流量と騒音レベル。縦軸は騒音レベル (単位は dB)、横軸は流量 (単位は CMH)。色付きのデータが実験結果。黒い線は、音源のエネルギーが最大流量の 6 乗、7 乗、8 乗に比例するときを示す。

また図9について、最大流量75CMHで騒音レベルを比較すると、ガイド無しと比べてガイド4とガイド5は0.8dB、ガイド1は1.6dB程度増加している。ガイド4、ガイド1については同じ最大流量を出すための回転数は下がるが、騒音はむしろ増加してしまうことが分かる。ガイド無しが最も低騒音で、ガイドをつけた換気扇は全て騒音が増えてしまった。

## 4 考察

ガイドを取り付けることによって、同じ最大流量を出すのに必要な回転数を減らすことができる。ガイド1やガイド4はファンの回転方向と逆方向に吸気するために、ファンを減速させ、回転数が減る。逆にガイド3は、ファンの回転方向と同じ方向に吸気するために、ファンを加速し、回転数が増える。ガイド5は、ファンと垂直に吸気するため、回転数を変化させないと考えられる。

ガイドによって最大流量を発生させるための回転数を変化させることができるが、回転数を増やしても減らしても、ガイドをとりつけると騒音は増加してしまう。つまり、ファンの騒音はファンの回転数に依存するよりも、ガイドやケースといった周りの境界条件に依存する効果が大きいと考えられる。

したがって今後の課題としては、ファンの騒音はどのような原理で発生しているのか、調べなければならない。ファンの騒音は回転騒音と乱流騒音がある。回転騒音は羽枚数×回転数の周波数を持つ騒音であり、乱流騒音はランダムな周波数の騒音である。ガイドをとりつけたとき、このどちらの騒音の効果が効いてくるのか、騒音の周波数特性を調べてみる必要があるだろう。

## 5 謝辞

本報告書はインターンシップの最終報告書として作られました。ツクバリカセイキにインターンシップという機会を設けて頂いたことで、実際の物作りの現場をじかに体験することができました。ツクバリカセイキがこれから換気扇を量産しようということで、何も無いところから新しいことをするところに立ち会えて、とてもよい経験ができました。そして、まず初めに規格をおさえなければならない、という事実は自分にとってもよい教訓になりました。

実験について細かい指針を考えてくださった中山社長と、一緒に実験を行った林さん、昼御飯に連れて行ってくださった安藤さん、ちょくちょく差し入れしてくれた押切さん、またお世話になったみなさんに感謝します。どうもありがとうございました。

---

$$= 10n \log_{10} \frac{Q_2}{Q_1} + L_1 \quad (4)$$

となる。黒い線は直線ではなく、わずかに曲がっていることに注意。