

狭小空間に有効な高効率ファンの研究

日大生産工(院) ○山口 隼司 日大生産工 松島 均

1. 緒言

近年、電子機器は小型化していき、その狭い空間内部の熱除去が問題となっている¹⁾。従来、このような場合に対しては超小型の軸流ファンや薄型のサイドフローファンが用いられてきたが、狭小空間に適用する場合には冷却に必要な十分な風量が得られないことや、ファン上部にすきまが必要になるなど、必ずしも良好な冷却状態とはなっていなかった。そこで、本研究では、狭小空間においても高効率に熱除去のできるファンの研究を行った。そのため、ファンの羽根形状および流路構造を従来のものと大きく変化させる事で、狭小空間内部に配置するのに好適なファンを実現できないかを試みる事にした。狭小空間として、ノートブック PC を想定した、水平平行平板間流路の一部に加熱部を設け、定常状態における試作ファンと市販 PC 冷却用ファンとの冷却性能の比較を行った。

2. 試作ファン

2.1 薄板を羽根に用いた試作ファン(厚さ 6mm)

40mm 角で厚さ 6mm の軸流ファン (12V, 0.1A) を用い、このファンの羽根を取り除き、厚さ 0.5mm のアクリル板で作った羽根を垂直に取り付けた。また、ケーシングの位置を変え、ファン上部に蓋をすることにより、側面から外気を吸い込み、内部に送り込むという流路をつくった。これにより、流れの方向を軸流から、Fig.1 に示したように、軸に対して垂直方向へと変化させることができた。そのため、本試作ファンは、上部の隙間がない状態でも機能すると考えられ、狭小空間においても良好な冷却効果が期待できる。

2.2 三次元光造形による試作ファン(厚さ 5mm)
45mm 角、厚さ 5mm のサイドフローファン(5V, 0.13A) の羽根とケーシングを取り除き、三次元光造形 (Araris30) を用いて新たに Fig.1 と同様のケーシングを有する試作ファン (40mm 角、厚さ 5mm) をつくった。流路は薄板を羽根に用いた試作ファン (厚さ 6mm) と同様である。

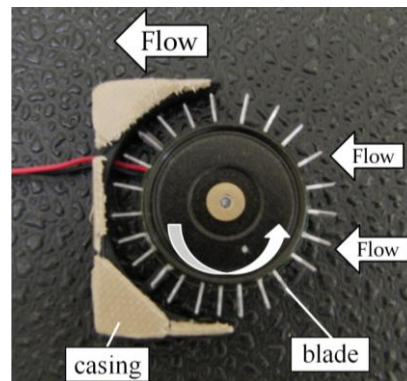


Fig.1 Test fan made by thin-plate

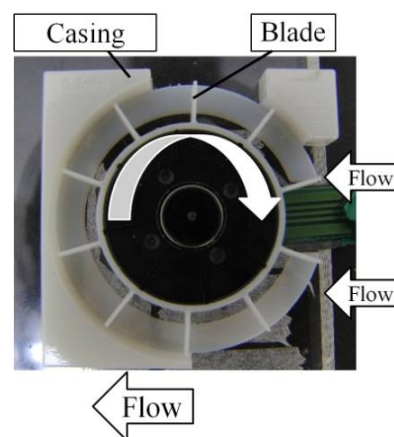


Fig.2 Test fan made by 3D Printing System

3 実験装置

Fig.3 は実験装置の平面図である。A4 版のノートブック PC を想定し、厚さ 10mm のアクリル板で上下及び側面を囲った。内部の寸法は幅 210mm、奥行き 297mm、高さ 6mm である。また、Dummy CPU として、セラミックヒータの上に銅板 (幅 50mm、奥行き 50mm、厚さ 2mm) を銀配合熱伝導接着剤 (熱伝導率 $14\text{W/m}\cdot\text{K}$) によって接着させたものを筐体の中央部に配置した。銅板中央とファン吸入口付近に熱電対をとりつけ、これをデータロガーに接続し、温度を測定した。

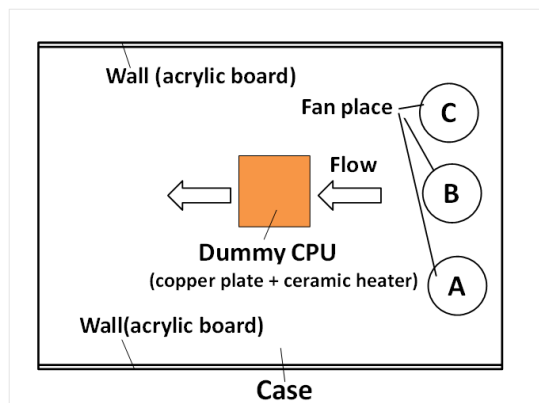


Fig.3 Experiment apparatus (top view)

試作ファンは、Fig.4 に示す通り、ケーシング形状の異なる 2 タイプを用意した。

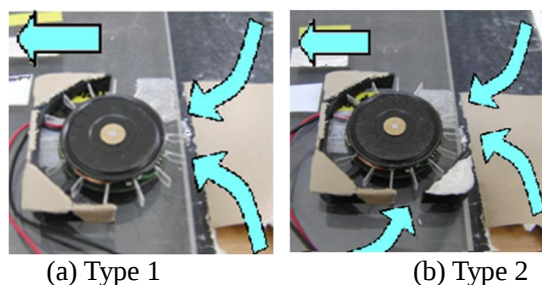


Fig. 4 Type of test fan

試作ファンとの比較対象用のファンには、Fig.5 に示すコパル社製 45mm 角、厚さ 5mm のサイドフローファンを使用した。これは、市販されているファンの中で、狭小空間に好適と考えられる物の 1 つである。実験装置の筐体内部高さ 6mm に設置すると、上部には 1mm の隙間ができ、その空間より吸入し、1 つの側面から内部へ空気を送り込むという流路がつくられる。なお、このファンは Fig.3 に示す通りファン上部から吸入する構造のため、上部の空間がなくなると、ファンとして有効に機能しなくなってしまうものと予想される。そのため、サイドフローファン上部に隙間が無くなる実験装置の高さ 5mm の条件での検討も行った。この条件では、Fig.2 の三次元光造形による試作ファンとの比較評価を行った。

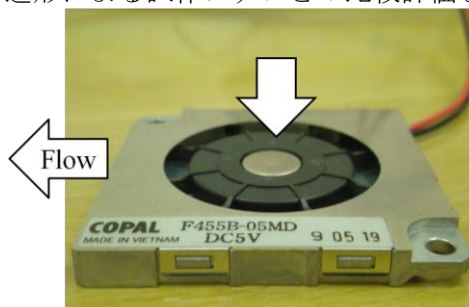


Fig.5 Side flow fan

4. 実験方法

冷却性能の目安として、ダミーCPU 温度上昇 ΔT (銅板と吸入空気の温度差)を用いた。即ち、ファンを駆動させた状態で DC 電源を用いてセラミックヒータを加熱し、その際のダミーCPU の温度上昇により、ファンによる冷却効果を調べた。ここで、ダミーCPU 温度上昇 ΔT が小さいほど冷却性能が良いことを意味している。

予備検討として、ファンを設置せず自然対流についての測定を行い、温度上昇 ΔT の最大値を調べ、アクリル樹脂の熱変形温度 (88~119℃)²⁾を考慮に入れ 3W の電力を流すことに決めた。

実験では、前述の電力を入力した際のダミーCPU の温度上昇 ΔT が定常状態に達するまでの間の温度変化を測定した。測定は、試作ファン及びサイドフローファンそれぞれに対して行った。薄板を羽根に用いた試作ファンでは Fig.1 に示す流れの方向を考慮し、ダミーCPU に直接風をあてることのできる Fig.3 の A の位置に設置して測定を行った。また、サイドフローファンにおいては直接風のあたる Fig.3 の B の位置にファンを設置して測定を行った。三次元光造形による試作ファンでは、Fig.2 に示す流れの方向を考慮し、Fig.3 の C の位置にファンを設置して測定を行った。

5. 実験結果及び考察

5.1 薄板を羽根に用いた試作ファン

ファン上部空間の高さを変化させたときの温度上昇のグラフを Fig.6 に示した。サイドフローファンの上部空間が 0.5mm と隙間が少なくなると温度上昇が大きくなり、ファンとして有効に機能しなくなってしまう事がわかる。

羽根枚数を変化させたタイプ 1, 2 の薄板を羽根に用いた試作ファン (40mm 角、厚さ 6mm) 及びサイドフローファンにおける温度上昇 ΔT をそれぞれ 5 回測定し、その平均値を求めたものを Fig.7 に示す。Fig.7 より、15 枚以上の羽根枚数において、サイドフローファンより良好な冷却性能を出すことができることがわかる。サイドフローファン (厚さ 5mm) の ΔT は約 23.3℃であるのに対し、試作ファンの羽根枚数 20 枚の ΔT はタイプ 1 で約 20.8℃、タイプ 2 で約 21.9℃であり、24 枚タイプ 1 の ΔT は約 21.2℃、タイプ 2 は約 22.5℃である。なお、羽根枚数は 20 枚を超えると温度上昇 ΔT が上がっていくことから筐体の内部高さ 6mm という同じ条件内なら試作ファンの羽根枚数は 20 枚が最適であるといえる。

Fig.8 は羽根枚数別にダミーCPU 付近の風速を測定したものである。Fig.8 より、タイプ 2 の方が風速は若干大きくなっているが、Fig.7 に示す冷却性能はタイプ 1 の方が逆に良くなっている。可視化実験の結果を示す Fig.9 より、タイプ 1 のときは、ファンからの風がダミー CPU に満遍なく通過しているが、タイプ 2 のときには、風速が速いために渦が発生して剥離が起きていることが確認できた。これが、冷却性能に逆転が生じた要因と考えられる。

5.2 三次元光造形による試作ファン

三次元光造形による試作ファン(厚さ 5mm)の羽根枚数を 10, 15, 20 枚に変化させ、タイプ 2 の三次元光造形による試作ファン(40mm 角, 厚さ 6mm)における温度上昇 ΔT をそれぞれ 3 回測定し、その平均を求めたものを Fig.10 に示す。Fig.10 より、羽根枚数 10 枚の ΔT は約 31.6℃, 15 枚は約 30.9℃, 20 枚は約 30℃だった。このように光造形による試作ファンにおいては、羽根枚数が 20 枚前後で冷却性能が最も良い点は 5.1 節の場合と同様であるものの、前節で述べたような冷却性能への羽根枚数の顕著な影響はあまり見られなかった。なお、サイドフローファンの ΔT は約 67.6℃だった。これはファンの無い自然対流での ΔT である約 76℃にかなり近くなっており、空間高さ 5mm という、サイドフローファンでは上部に空間のなくなる条件においては良好な冷却機能を出せなくなっていることがわかる。

また、流れの可視化実験を行ったところ、三次元光造形による試作ファンにおいても 5.1 節で述べた場合 (Fig.9) と同様な流れパターンになることを確認した。

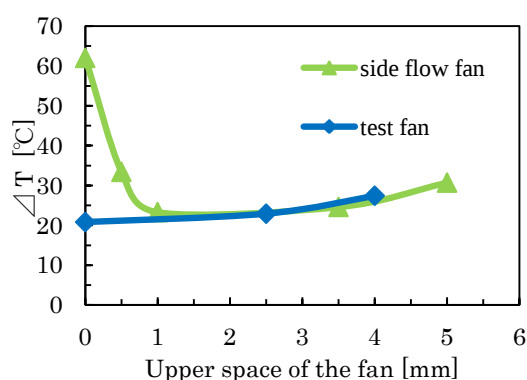


Fig.6 Effect of upper space of the fan

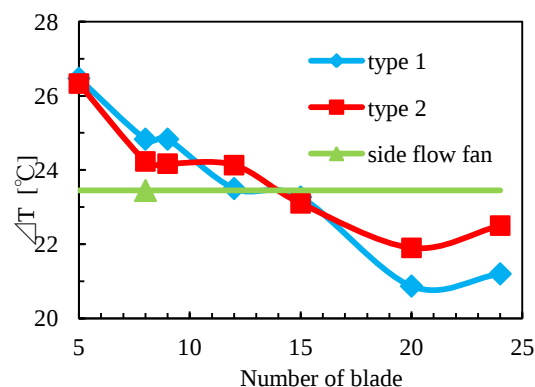


Fig.7 Temperature increase of dummy CPU

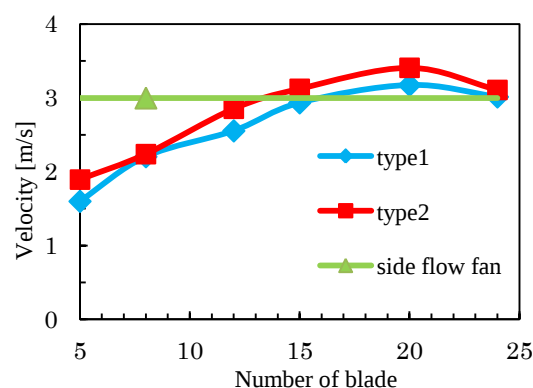
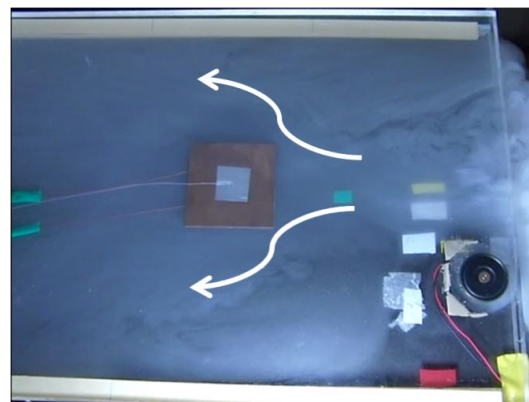
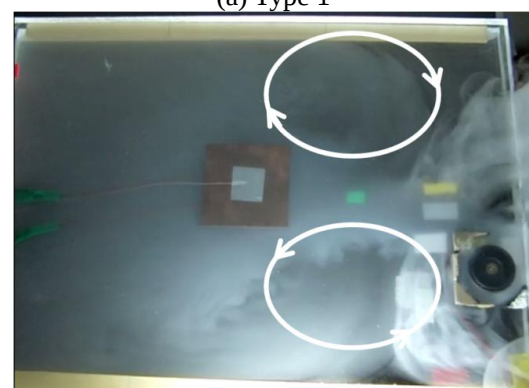


Fig.8 Measured velocity near the dummy CPU



(a) Type 1



(b) Type 2

Fig.9 Flow pattern near the test fan and dummy CPU

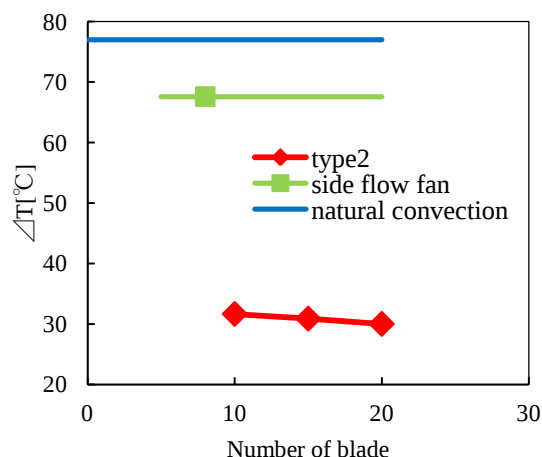


Fig.10 Temperature increase of dummy CPU

6. 数値解析による検討

試作したファンの流れのメカニズムを数値解析により検討を行った。解析ソフトには、CDAJ 社の STAR-CCM+を使用した。ポリヘドラルメッシュ約 7 万メッシュ(Fig.11), 回転座標系を用いて羽根を仮想的に回転させる定常解析を行った。可視化実験と解析結果(Fig.12)を比較すると、数値解析では、流れの可視化で見られた側面から外気を吸い込み内部に送り込むという流れが発生していない。すなわち、試作ファンにおいては、当初解析で想定したような定常的な流れではなく、羽根と羽根の空間において時々刻々変化している間欠的な流れが発生している可能性が考えられる。そのため、メカニズムの検討には羽根自体を回転させた非定常解析をする必要があると考えられる。

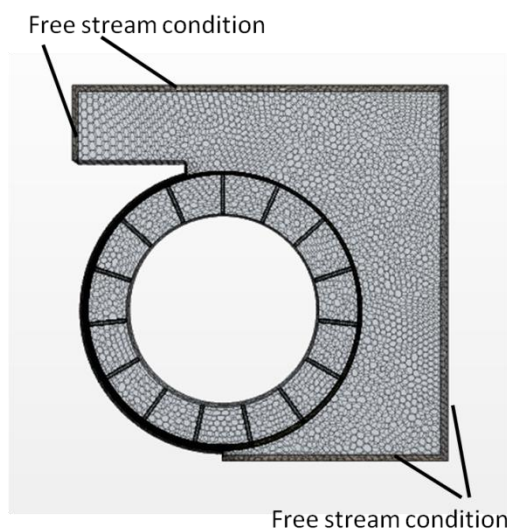


Fig.11 Mesh for flow simulation of test fan

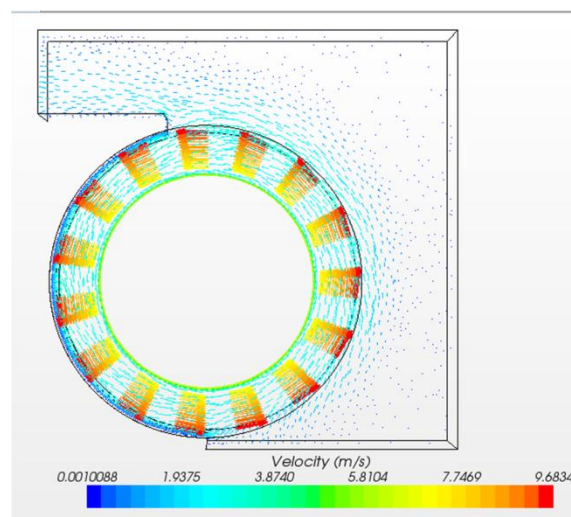


Fig.12 Result of flow simulation

7. 結言

狭小空間に有効な薄型冷却ファンの試作を行った。試作ファンは、吸気と排気を同一方向にすることにより、上部に吸気する空間を作る必要がなく、薄くすることができた。狭小空間としてノートブック PC を想定した伝熱実験の結果、試作ファンは、現在市販されているファンと同等以上の冷却性能があることを確認した。薄板を用いた試作ファンでは、羽根枚数 20 でダミーCPU を最も良く冷却することができた。同様に、三次元光造形による試作ファンの今回の実験では、羽根枚数 20 で最も良く冷却することができた。

参考文献

- 1) 大橋繁男 「液晶テレビの薄型化を支える放熱設計技術」 日本機械学会誌 Vol.112 No.1087 (2009-6-5) 450 頁
- 2) 金子純一 他 2 名「基礎機械材料学」(株)朝倉書店 (2004-3-25) 208 頁