

マイクロ軸流ファンの性能評価に関する研究：吸込口障害物の影響

萩原, 和浩 / HAGIWARA, Kazuhiro

(出版者 / Publisher)

法政大学大学院理工学・工学研究科

(雑誌名 / Journal or Publication Title)

法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編 / 法政大学大学院紀要. 理工学・工学研究科編

(巻 / Volume)

57

(開始ページ / Start Page)

1

(終了ページ / End Page)

6

(発行年 / Year)

2016-03-24

(URL)

<https://doi.org/10.15002/00012990>

マイクロ軸流ファンの性能評価に関する研究 ー吸込口障害物の影響ー

RESEARCH ON PERFORMANCE EVALUATION OF MICRO AXIAL FAN -EFFECT OF INLET OBSTACLE-

萩原和浩

Kazuhiro HAGIWARA

指導教員 御法川 学

法政大学大学院理工学研究科機械工学専攻修士課程

For cooling of information technology devices, micro fan is installed at narrow and small space in the device. Restricted installation consists of not only high system impedance but also inlet or outlet obstacle that is extremely close to fan inlet or outlet. As a result, performance gets much lower and performance characteristics so called P-Q curve which is provided by fan manufacturer can't applied to actual cooling design. So it is required to make database of effect of such obstacles on performance. The present study is an attempt to clarify the effect of inlet obstacle to micro axial fan on the performance by experiment and flow simulation. The obstacle was round plate which diameter and clearance to the fan inlet were varied and tested.

Key Words : *Micro axial fan, Inlet obstacle, P-Q curve, Performance measurement, CFD*

1. 結論

近年、ノートパソコンやプロジェクターなど情報機器の小型化、薄型化、高性能化が急速に進んでいる。CPU や電源といった内部の熱源は高性能化によって発熱量を増やし、さらには高密度に実装された結果、ファンを用いた強制空冷によるシステム冷却が不可避な製品も多く、熱設計が情報機器の重要な技術課題の一つになっている。

情報機器に用いられる超小型の冷却ファンは、絶対性能や騒音レベルが小さいために従来の産業用等に利用されるファンの性能測定、騒音測定規格が適用困難で、これらに特化した測定規格が発行されている¹⁾。そこでは最大風量が $0.01\text{m}^3/\text{s}$ (600l/min)以下のファンをマイクロファンと呼んでいる。

マイクロファンは主に製造コストおよび信頼性の制約から、羽根形状やチップクリアランスなどを従来サイズのファンから相似的に小型化することができないため、ファン効率は数%程度と著しく小さい。また、小型、薄型の機器に組み込まれるため、必然的に狭小な吸込み、吐出し流路を持つことになり、ファンの動作点を最大効率点に合わせた設計を行っても、必ずしもカタログ通りの動作点が得られるわけではない。言い換えれば、ファンの吸込み、吐出しに設置された障害物や、近接した筐体の壁面によってファン周辺の流れが影響を受け、さらなる性能低下や騒音上昇を引き起こしている。これらファンに近接した障害物の影響については、明確なデータベースが構築されておら

ず、機器の熱設計におけるファン性能の適切な設定が出来ない現状である。

本研究では、情報機器に用いられるマイクロ軸流ファンを用いて、吸込み口障害物としてファン吸込み側に近接した壁面を設けた際のファン性能(P-Q特性)を実験により測定し、障害物がない場合と比較してその影響を評価した。また、障害物が流れに与える影響を詳細に調べるため、CFDによって性能予測を行い、障害物の有無による流れ場の変化を考察した。

2. 実験装置および方法

(1) 供試ファン

本研究では、小型の音響映像機器に使用されるマイクロ軸流ファン(株式会社日本計器製作所 LF40A-12F)を供試ファンとして使用した。図1に供試ファンの正面図と側面図を示す。

供試ファンは、いわゆる40mm角の軸流ファンであり、定格電圧12V、羽根外径37mm、内径23mm、羽根車厚さ6.2mm、羽根枚数5枚である。メーカーから示されたP-Q特性曲線上の最大体積流量は $0.167\text{m}^3/\text{min}$ 、最大静圧は38.9Paである。なお、設計点は体積流量 $0.125\text{m}^3/\text{min}$ 、静圧10Paである。

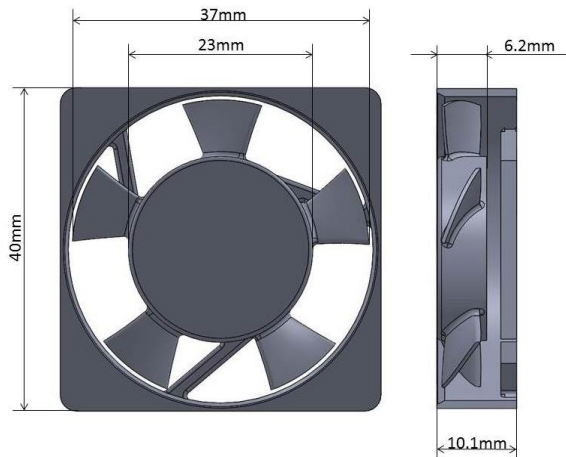


Fig.1 Tested fan

(2) 吸込み口障害物

吸込み口障害物として、厚さ 3mm のアクリル板を円板状に加工して、供試ファンの吸込み口に近接して取付けた。障害物は直径 $d_0=40\text{mm}$, 60mm , 80mm の 3 種類を作製し、ファンの吸込口側に近接して取付けた。障害物とファンケーシング面の隙間（クリアランス）は、 $t=3\text{mm}$, 4mm , 5mm の 3 種類を設定して P-Q 特性の測定を行った。図 2 に障害物の形状と取付け状態を示す。

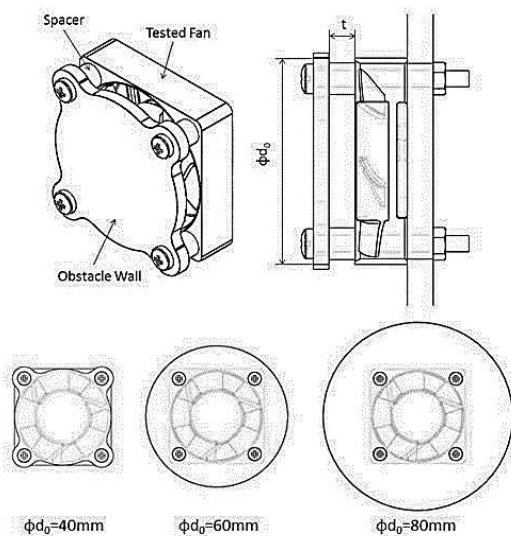


Fig.2 Arrangement of tested fan and inlet obstacle

(3) 性能測定

マイクロファンの性能（P-Q 特性）測定においては、AMCA STANDARD 210-85 に準じるダブルチャンバー法を用いたファン性能測定装置を自作し、性能測定を行った。実験装置を図 3 に示す。ここで、ダブルチャンバー法による性能測定の原理について述べる。2 つのチャンバーは流量測定用ノズルが付いたプレートで仕切られており、各チャンバーの端部には、それぞれ供試ファンと補助ブローが取り付けられている。まず、供試ファンを接続したチャンバー内の静圧が 0Pa となるように補助ブローによって空気

を誘引することで、P-Q 特性上の最大流量点（静圧 0Pa）を得る。そのときの流量は、チャンバー間すなわちノズル前後の差圧から、下式により求める。

$$Q = 60 \cdot C \cdot A \sqrt{\frac{2g}{\rho} \cdot 0.10197 \Delta P}$$

ただし、

C : 流量係数[-]

A : ノズル面積[m²]

$$= \frac{\pi}{4} \times D^2 \times (\text{ノズル解放個数})$$

D : ノズル径[m]

g : 重力加速度[m/s²]

ρ : 空気密度[kg/m³]

$$= 1.293 \times \frac{273}{273 + t} \times \frac{P}{1013.25}$$

ΔP : チャンバー間差圧[Pa]

$$= P_1 - P_2$$

P_1 : 前部チャンバー静圧[Pa]

P_2 : 後部チャンバー静圧[Pa]

P : 大気圧[hPa]

t : 温度[°C]

である。

また、最大静圧（締切点）は、チャンバー吐出し口を締め切り、途中の部分流量については、最大流量を n 等分した流量点（ノズル差圧）を設定することで、それぞれ供試ファン側のチャンバー静圧を測定することで得られる。なお、マイクロファンの圧力は極めて微小なため、圧力計は MEMS 圧力センサを用いた測定器（ツクバリカセイキ製 F-312）を用い、各測定点流量付近の静圧を PC により平均化した。本実験では、ファン入力電圧を一定としているために負荷によって変動するファン回転数も同時に測定した。入力電圧は定格 12V に加え、10.5V, 13.3V の 3 種類の電圧で各実験を行った。



Fig.3 Measurement set up

3. CFD 解析

入口障害物による性能低下の原因を探るため、CFD 解析によって内部流れの観察を試みた。解析ソフトはソフトウェアクレイドル社の SCRYU/Tetra V11 を用いた。

狭小な流路においては流れが複雑かつ不安定なため、乱流タイプ RANS, SST k- ω 乱流モデルによる定常解析を 200 サイクル行った後、その解を初期値として乱流タイプ LES による非定常解析を 1440 サイクル行った。非定常解析から得られた瞬時の解析結果を時間平均して PQ 特性および

流れ場を得る手法をとった。

解析領域は、入口側を直径 350mm の半円球とし、出口側は測定装置と同様の円筒状にした。境界条件は入口側に全圧規定 0Pa、出口側に実験結果に基づく体積流量を流量規定として与えた。同様に回転数も実験結果に基づいてそれぞれ設定した。供試ファンの計算領域は、入口領域、羽根車領域、回転領域、障害物領域、ケーシング領域、出口領域により構成されている。解析モデルは $d_0=40\text{mm}$ の障壁を空中に設置したものを作成し、要素数は全体で約 2800 万要素とした。以下に計算領域全体の図を示す。

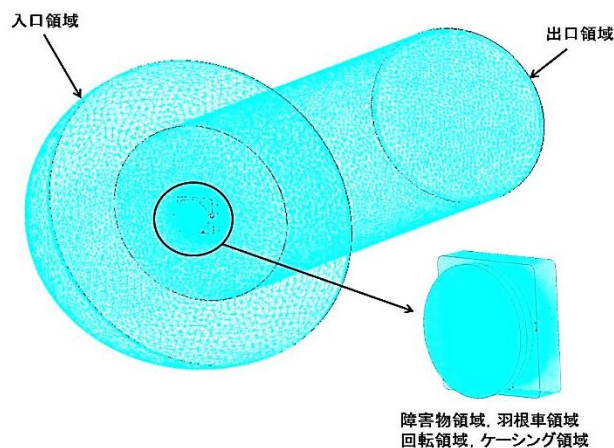


Fig.4 CFD simulation model

4. 結果および考察

(1) 実験結果

電圧が P-Q 特性に及ぼす影響を見るため、障害物直径 $d_0=40\text{mm}$ 、クリアランス $t=5\text{mm}$ における各入力電圧による P-Q 特性を比較したものを図 5 に示す。また、図 6 は図 5 の P-Q 特性を無次元化したものである。12V に対して P-Q 特性を比較すると、流量は 10~13%、最大流量の 80% 以下において静圧は 20~45% 程度増減しているが、P-Q 特性の傾向は同じである。

また、無次元化した ϕ - ϕ 特性を比較すると流量係数の差は僅かだが、流量の増加に従い静圧係数のズレが大きくなる。これは各電圧において大流量側では静圧にほぼ差がないのに対し、回転数が大きく違うため無次元化すると差が大きくなってしまっているからである。測定点により差があるが、 ϕ - ϕ 特性は電圧によらず同一の傾向を示していると言ってよい。これは他のクリアランス、および障害物においても同様の傾向を示す。

よって、これ以降の結果の比較では定格電圧 12V の実験結果について比較を行うものとする。

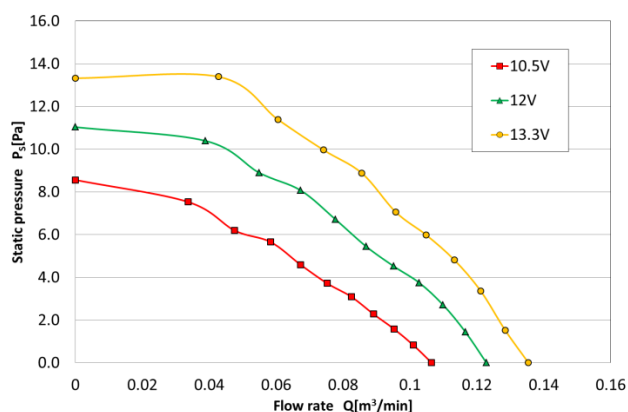


Fig.5 Performance curves of measurement
($d_0=40\text{mm}$, $t=5\text{mm}$)

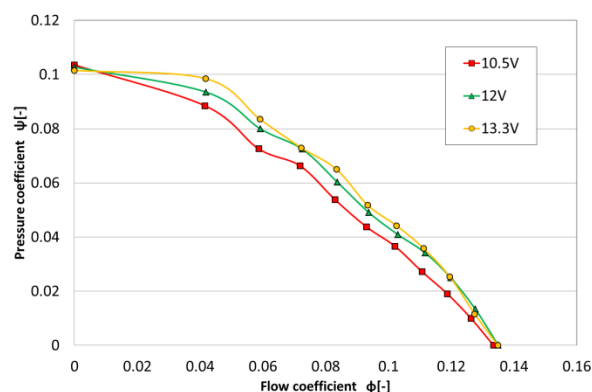


Fig.6 Dimensionless performance curves of measurement
($d_0=40\text{mm}$, $t=5\text{mm}$)

図 7、図 8、および図 9 は、各クリアランス t における障害物直径 d_0 による P-Q 特性を比較したものである。障害物を設置することで P-Q 特性は大きく低下し、最大流量が 30~70%、最大静圧が 15~30% 程度減少している。 $d_0=60$ 、 80mm のとき P-Q 特性はほぼ一致するが、 $d_0=40\text{mm}$ では $t=4$ 、 5mm において流量が大きくなるにつれてさらに低下した。一方、 $t=3\text{mm}$ においては逆に性能の向上が見られた。これらの傾向から、障害物の大きさがファンの羽根外径と同等な場合には、流れ場が他の場合と異なっていることが考えられる。また、障害物の大きさが羽根外径の 1.5 倍以上になると流れが安定していくと考えられる。

P-Q 特性は、障害物の有無によらず全体的な傾向はほぼ同一だが、最大静圧（締切点）のみ減少傾向が著しかった。これは、締切点付近では逆流が激しく、静圧が大きく変動していることに加え、入口障害物がある場合には締切点付近で最大静圧が得られないことを示唆しており、ファンを実際の情報機器に適用する場合に注意を要することがわかる。

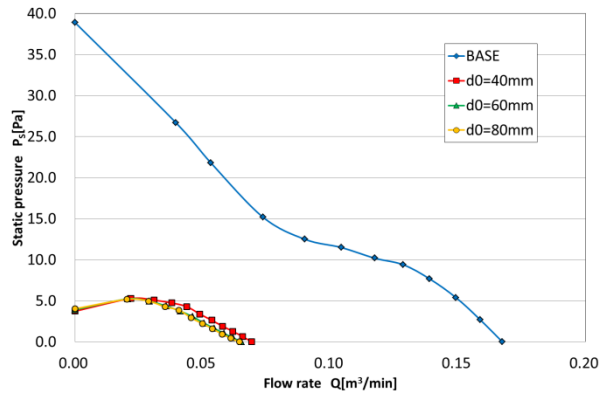


Fig.7 Performance curves of measurement ($t=3\text{mm}$)

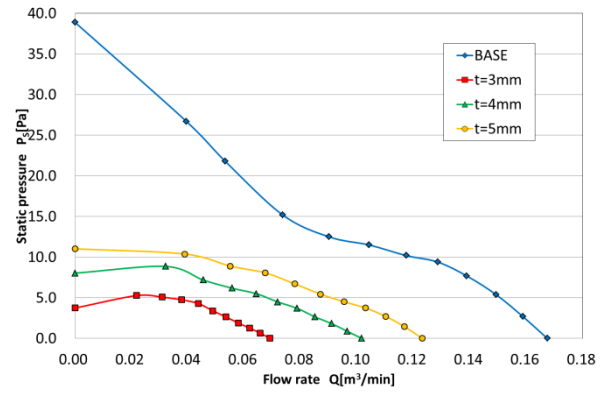


Fig.10 Performance curves of measurement ($d_0=40\text{mm}$)

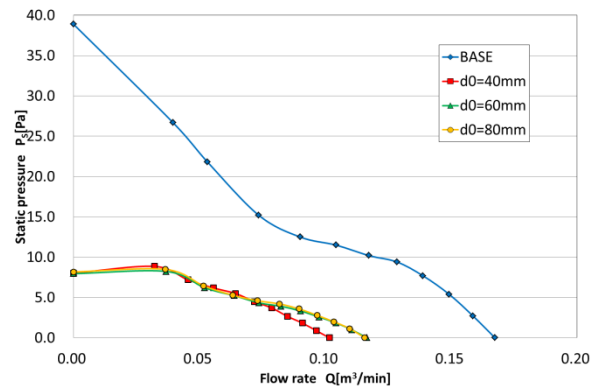


Fig.8 Performance curves of measurement ($t=4\text{mm}$)

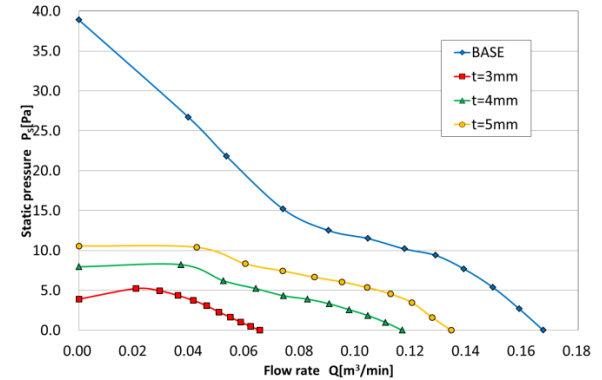


Fig.11 Performance curves of measurement ($d_0=60\text{mm}$)

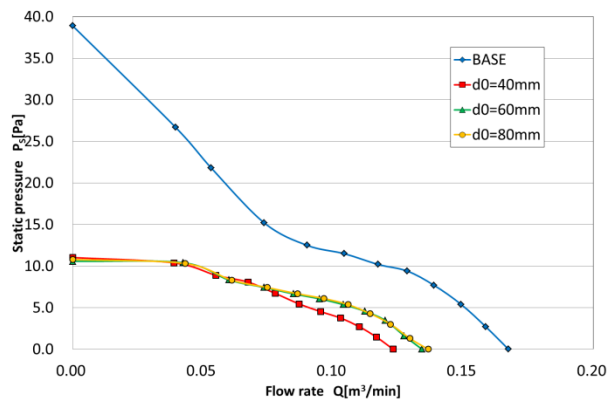


Fig.9 Performance curves of measurement ($t=5\text{mm}$)

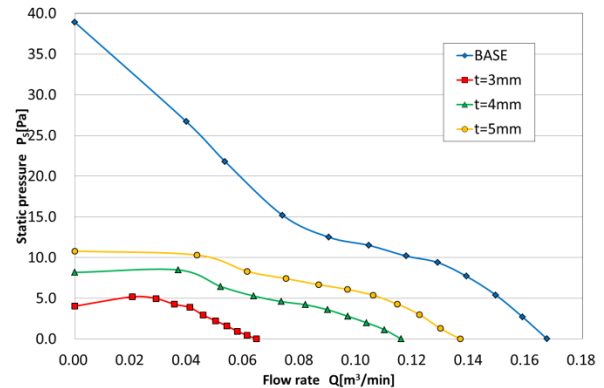


Fig.12 Performance curves of measurement ($d_0=80\text{mm}$)

次に、各障害物直径 d_0 における P-Q 特性を比較した図を図 10、図 11 および図 12 に示す。各障害物について P-Q 特性を見ると、いずれもクリアランスが $t=3\text{mm}$ の P-Q 特性の性能低下が著しいことがわかる。これより吸込口における障害物とのクリアランスが 10%以下になるとファンの性能に大きな影響を及ぼすと考えられる。

また、前述した最大静圧の逆流による減少傾向は $t=3\text{mm}$, 4mm のときに見られ、 $t=5\text{mm}$ ではいずれもその傾向は見られない。すなわち、クリアランスが羽根外径の 10%前後を境に締切点付近での流れ場に大きな変化が見られるということがわかる。

(2) 解析結果

障害物の大きさが $d_0=40\text{mm}$ のときの CFD の結果を図 13 に示す。また、実験結果と CFD の結果を比較した P-Q 特性を図 14 に示す。両者の傾向は概ね一致し、CFD により流れを模擬できているものと判断し、各条件における内部流れを観察した。

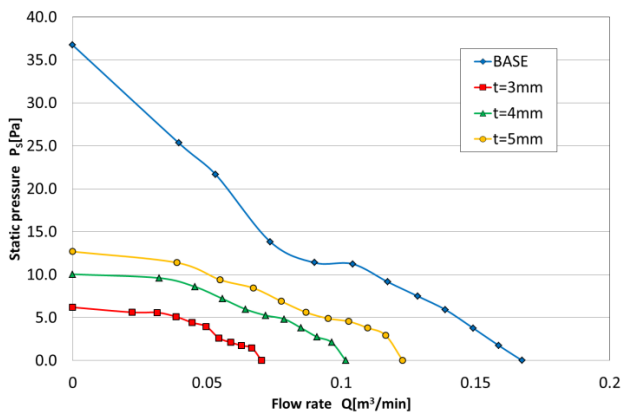


Fig.13 Performance curves of CFD ($d_0=40\text{mm}$)

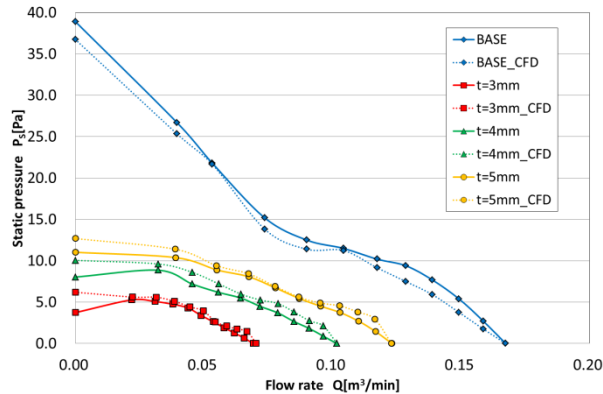


Fig.14 Comparison of Performance curves by experiment and CFD($d_0=40\text{mm}$)

(3) CFD による流れ場の観察

障害物 $d_0=40\text{mm}$ のクリアランスが $t=3\text{mm}$ および障害物なしにおける最大流量の約 30%と約 80%のときの流速分布を比較する。各条件における図を示す。これらの結果を比較すると入口障害物の有無がファンの吸込口から吐出側にかけて流れ場に与える影響が確認できる。また、吐出側の流れの指向性については逆流による影響が考えられ、その分流速も変動している。製品においては吐出側の流路についての検討にも注意を要することがわかる。

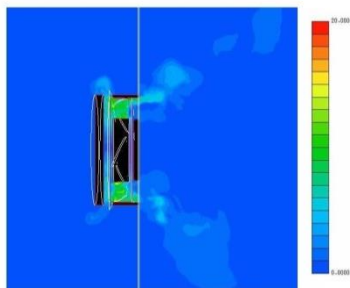


Fig.15 Contour of velocity of around fan ($Q/Q_{\max}=0.3$, $t=3\text{mm}$, $d_0=40\text{mm}$)

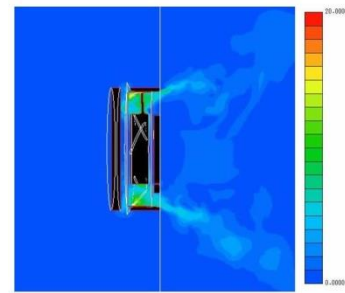


Fig.16 Contour of velocity of around fan ($Q/Q_{\max}=0.8$, $t=3\text{mm}$, $d_0=40\text{mm}$)

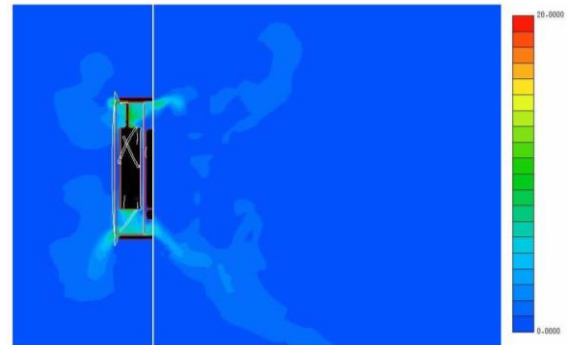


Fig.17 Contour of velocity of around fan ($Q/Q_{\max}=0.3$, BASE)

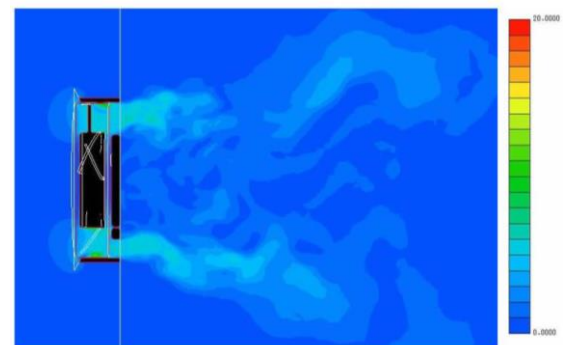


Fig.18 Contour of velocity of around fan ($Q/Q_{\max}=0.8$, BASE)

5. 結論

マイクロ軸流ファンの吸込口障害物が性能に及ぼす影響について実験と解析を行った。壁面の大きさ、ケーシングとの距離を変えて、得られた結果から壁面の大きさ、ケーシングとの距離による相関性の検討、CFD による流れの観察を行った。その結果以下の知見を得た。

- (1) ファンの吸込口に障害壁を設置したとき、壁面直径が羽根外径の約 1.5 倍以上になると流れが安定し、ファン性能に変化が見られないことがわかる。
- (2) 壁面距離を小さくすると、全閉時の静圧の落ち込みが大きくなるのは、ファン付近において吸込む流量に対して逆流する流量が大きくなるのが原因だと考えられる。
- (3) 壁面との距離が 4mm 前後で最大静圧の低下が見られることから、クリアランスが羽根外径の約 10%を境にその傾向が見られる。

- (4) 壁面との距離が羽根外径の 10%以下になるとファンの性能が著しく低下し、傾向が変わる.
- (5) クリアランスにより、流れ場や流れの指向性に与える影響を可視化することができた.

謝辞

本研究を行うにあたり、実験、CFD 用の供試ファンを株式会社日本計器製作所様から提供していただきました。この場をお借りして厚く御礼申し上げます。

参考文献

- 1) 社団法人 ビジネス機械・情報システム産業協会：音響-スモールファンの空気伝搬騒音及び個体伝搬振動の測定- 第 1 部：空気伝搬騒音の測定，2010
- 2) 鈴木昭次：電子機器設計のためのファンモータと騒音・熱対策，工業調査会，2001
- 3) 竹田光一：小型軸流ファンの設計法に関する研究-性能向上に寄与する入口流速の検討-，2013