

TIC ツクバリカセイキ インターンシップ

マイクロファン
軸動力計測システムの開発

2011年8月1日～8月12日

法政大学大学院 御法川研究室 修士1年 山田雄介

筑波大学 工学システム学類3年 落合一真

筑波大学 数学類3年 春田智穂

監修 ツクバリカセイキ株式会社

目次

1. 目的
 1. 1 概要
 1. 2 エコファンについて
 2. 日程
 3. 原理
 3. 1 風量静圧の測定方法
 3. 2 軸動力計測
 3. 3 効率
 3. 4 精度
 4. システム構成
 4. 1 システム図
 4. 2 計測器
 5. 予備実験と考察
 5. 1 ファンの設定方法
 5. 2 電源ケーブルのトルク
 6. 本実験
 7. 結論
 8. 参考文献
- 謝辞

1. 目的

1. 1 概要

「SEFA プロジェクト」というプロジェクトがある。これは国内のファンメーカーとセットアップメーカー、および計測器メーカーが一体となって SEFA(Super Eco Fan)の開発を目指すもので、効率が良く、環境にやさしいファンを国産で開発し、日本をより活気づけようというものである。

現在、東日本震災により、このままでは日本の電力不足が懸念される。そこで、より効率のよい製品、省エネルギーの製品が必要になるであろう。

例えば、全世界のファンが平均3W/台、一日3時間/台で年間に300日使用したとすると、2009~2011年のファンの台数43,1億台を掛けることで、116.4億kWhの電力をファンだけで消費していると考えられる。これは、北朝鮮の年間消費電力の6倍に相当する。ところが、マイクロファンの総合効率はあまりよくなく2~3%程度(40mm角、10mm厚のファンにおいて)であり、残りの97~8%は損失してしまう。これは、工業用のファンの効率の70%以上と比べて非常に効率が悪いといえる。そこで、モーターの効率が悪いのか、ファンの羽根の効率が悪いのか、原因を切り分けて考えたいのだが、ファン自体が小さいのでトルクメータを用いずに軸動力を測定する必要がある。そのため、それぞれの効率の計測方法を考え実験することにした。

1. 2 エコファンについて

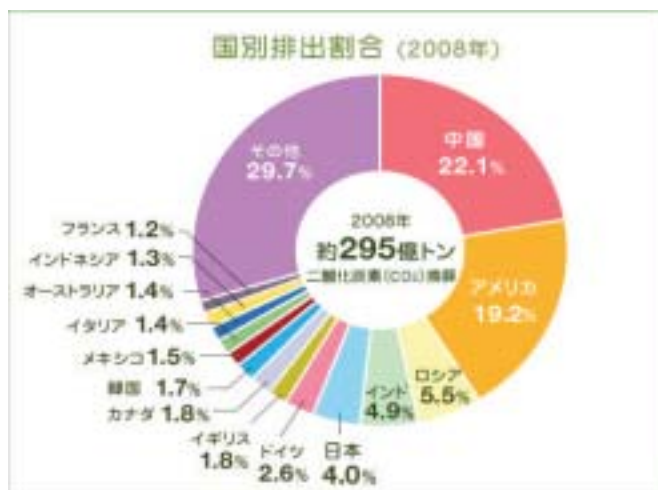


図1 二酸化炭素の国別排出割合

EDMC/エネルギー 経済統計要覧 2011 年版

* 排出量の単位は[百万トン=二酸化炭素(CO2)換算]

全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト(すぐ使える図表集)より

今回計測した 25mm 角の 0.45w の小型ファンが、消費電力 16 w のノートパソコン 1 台に 2 個入っていると仮定すると、パソコンの消費電力のうち 5% がファンに使われていることになる。

【平成 20 年度算定用】

エネルギーの種類	使用量		単位発熱量		排出係数		その他係数	CO ₂ 排出量 tCO ₂
	①	単位	②	単位	③	単位		
電気		kWh	—	—	0.000387	tCO ₂ /kWh	—	①×③ =

図 2 排出係数

また、排出係数(図 2)を使って計算すると、全世界のファンを使うことによって一年間に排出される二酸化炭素(約 450 万トン)は日本全体の年間排出量(図 3)の 4%弱になる。



図 3 二酸化炭素の日本国内での間接排出量割合

温室効果ガスインベントリオフィス「日本の 1990? 2009 年度の温室効果ガス排出量データ」

(2011.04.26 発表)

* 排出量の単位は[百万トン-二酸化炭素(CO₂)換算]

全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト(すぐ使える図表集)より

これは、日本で廃棄物焼却によって排出される二酸化炭素の割合(2.5%)より大きく、エネルギー効率の良いファンを作ることは二酸化炭素削減に大いに役立つだろう。

2. 日程

8月1日（月）

午前：講義

午後：実験方法の考察

（講義）世界のファン事情と風量測定装置の必要性を学んだ。

（実験方法の考察）ファンの固定の仕方と荷重計測器の取り付け方についてアイデアを出し合った。以下のような方法が出された。

図4のようにファンを垂直方向に対し45度回転させ、地面から一番離れた角（点Pとする）を固定する。ファンが反時計回りに回る向きから見て、右端の角（点Qとする）に糸を取り付け、鉛直上方向に荷重計測器を設置し、糸をピンと張らせる。

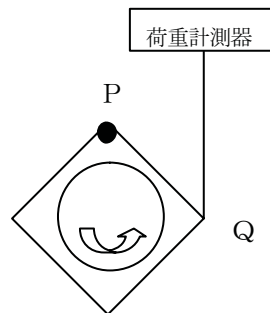


図4 測定方法の考案例

8月2日（火）

午前：講義

午後：予備実験1

（講義）トルク、総合効率、モーター効率、羽根効率について学んだ。

（予備実験1）ファンを微小風量測定装置に固定し、P-Q測定を行った。

8月3日（水）

午前：実験方法の考察

午後：買い出し、予備実験準備

（実験方法の考察）ファンを糸で水平に垂らして計測する方法に変更した。導線のトルクがファンに及ぼす影響が大きいため、導線の問題を改善した。

（買い出し）グランステージにて発泡スチロール箱、3mm金属筒を購入。

（予備実験準備）導線のトルクを減らすため、食塩水を媒介にして電流を流したり導線の被膜を剥いでつないだり様々な実験方法を試した。

8月4日（木）

午前：予備実験準備

午後：予備実験2

（予備実験2）25mm 角ファンを上から吊るし、荷重計と髪の毛でつなぎ、羽根効率、モーター効率を測定した。

8月5日（金）

午前：精度の計算、予備実験3

午後：本試験1、キャリアデザイン

（精度の計算）今回の測定方法の精度を計算した。各測定値の精度を掛け合わせて算出した精度は81.5%、二乗誤差から求めた精度は84.55%であった。

（予備実験3）ファンと荷重計をつなぐ部分をテグス、針金、ミシン糸に変えて測定した。

（本試験1）40mm 角ファンのP-Q測定を行った。

（キャリアデザイン）中山社長によるキャリアデザインの講義を行った。

8月8日（月）

午前：本試験2

午後：本試験3、本試験4

（本試験2）25mm 角ファンのP-Q測定を行った。

（本試験3）40mm 角ファンの荷重測定を行った。

（本試験4）25mm 角ファンの静圧を上げるため、実験方法を変更。ファンに一回り大きいクリアファイルを貼り付け、クリアファイルごと吊るした。またブロワから掃除機で風を送り込み、圧力をあげた。

8月9日（火）

午前：データ整理

午後：データ整理、御法川教授と会談

（御法川教授と会談）法政大学の御法川教授、武藤さんとの会談。

8月10日（水）

午前：本試験5、170mm 角ファンのP-Q測定。

午後：本試験6、データ整理

（本試験5）40mm 角ファンのP-Q測定を行った。

（170mm 角ファンのP-Q測定）御法川教授から預かったファンでP-Q測定を行った。

（本試験6）40mm 角ファンの荷重測定を行った。

8月11日(木)

午前：レポート作成

午後：レポート作成

8月12日(金)

午前：まとめ

午後：プレゼンテーション

3. 原理

3. 1 風量静圧の測定方法

風量計を用いてファンの流量、静圧を測定する。

25 mm角のファンについては、微少風量測定器を用いて JBMS-72-1 に従い、測定を行う。

40 mm角のファンについては、マルチノズル風量測定装置を用いて JISB8330 に従い、測定を行う。これは、40mm 角のファンが風量を 100 l/min を超えるため、微少風量測定装置では計測範囲外であるためである。

3. 2 軸動力計測

ファンが回転することにより発生するトルクから軸動力を計測する。ファンが回転すると回転方向にトルクが発生し、ファンのケースには反作用として逆向きのトルクが発生する。ケースを糸で荷重計とつなぎ、ケースにかかるトルクを測定し、軸動力を求める。

ファンは、ファンの角にある壁面に固定するための4つの穴に糸を通し、4本の糸をまとめ、そこから十分に1本の十分に長い糸で吊るす。測定にはゼロ変位法を用いているので、糸のねじりのトルクは無視する。

また、荷重計は荷重を電圧に変換して測定するため、荷重計に糸でおもり 1g を吊るし、その時の電圧を基に 1V あたりの荷重を求めた。今回の実験においては、1V あたりの荷重を 17.84mN とする。

トルク	$T = F \cdot L \text{ (Nm)}$	風量	$Q \text{ (m}^3\text{/min)}$	荷重	$F \text{ (N)}$
軸動力	$W_{ax} = 2\pi T \cdot N / 60 \text{ (W)}$	腕の長さ	$L \text{ (mm)}$		
空気動力	$W_{air} = Q \cdot P / 60 \text{ (W)}$	回転数	$N \text{ (r/min)}$	静圧	$P_s \text{ (Pa)}$

3. 3 効率

ファンの総合効率はファン全体の効率を表す。空気動力と電力の商、または、羽根効率とモーター効率の積により求められる。羽根効率はファンの羽根が持つ効率であり、空気動力と軸動力の商により求められる。モーター効率はファンのモーターが持つ効率であり軸動力と電力の商により求める。

総合効率	$\eta_T = W_{air} / W_p$	電力	$W_p \text{ (W)}$
	$= \eta_F \cdot \eta_M$		
羽根効率	$\eta_F = W_{air} / W_{ax}$		
モーター効率	$\eta_M = W_{ax} / W_p$		

3. 4 精度

精度について、各計測機器の精度は4. 2に記述する。荷重計測器においては、糸でおもりを吊るし、その電圧を用いて1Vあたりの荷重を求め、校正を行った。精度は±1%とする。腕の長さはノギスで測定し、その誤差を1mmとする。回転数はストロボで計測し、誤差は20r/minとする。

ここで、回転数10000r/min、腕の長さ20mmの場合を考える。

各々の精度を掛け合わせていく方法で精度を求めると、この時の総合効率、羽根効率、モーター効率の精度はそれぞれ97%、91%、94%となる。

また、誤差の二乗を足し合わせ、その二乗根で求めると、この時の総合効率、羽根効率、モーター効率の精度はそれぞれ2%、6%、5%となる。

これらのことを考慮すると、本実験により得られる効率の精度は±10%程度となると思われる。

4. システム構成

4. 1 システム図

図5と図6にシステムの構成図を示す。

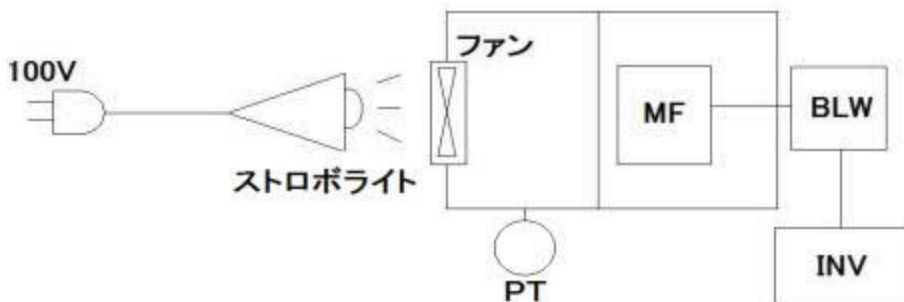


図5 システム図 A

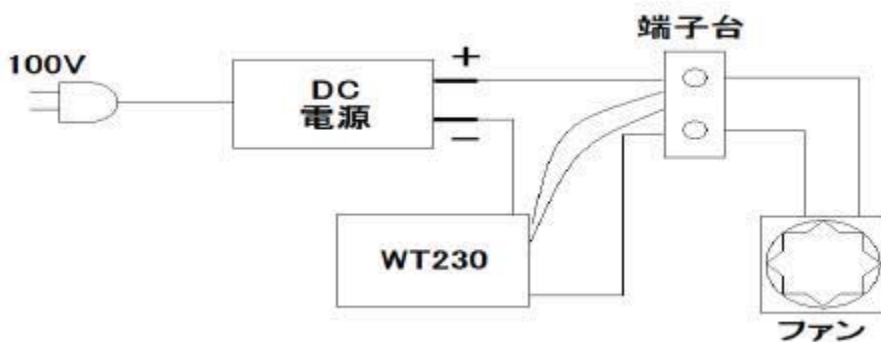


図6 システム図 B

(略称)

MF : マスフローメーター

BLW : ブロワ

INV : インバーター

WT230 : 電力計 WT230

PT : 圧力変換器

システム図 A はファンの回転数と風量、静圧を計る仕組みを表している。ストロボでファンの回転数を計る。マスフローメーターにより流量、圧力変換器により静圧を計ることができる。システム図 B ではファンの電子回路と、ファンにかかる電圧を計る仕組みを表している。端子台を通して電源とファンをつなぎ、ファンに電流が流れるようにしている。今回は端子台とファンをつなぐ線が細く、線の抵抗により電圧降下が考えられるため、4端子法を用いて電圧を測定した。

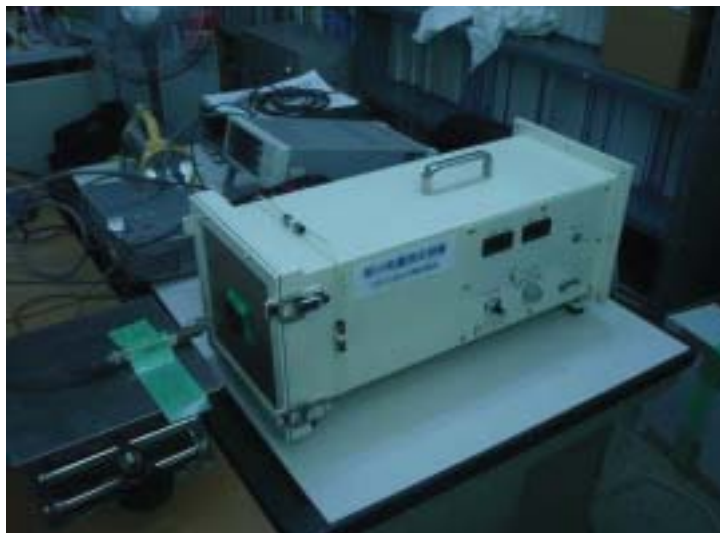
4. 2 計測器

使用した機器を以下に示す。

- ・ 電力計 WT-230 電力測定精度 $\pm(0.1\% \text{ of rdg} + 0.1\% \text{ of rng})$



- ・ 微小風量測定装置 TRS 製 F4113



風量範囲 100l/min 測定精度 $\pm 2\%$

静圧測定範囲 0~250Pa 測定精度 $\pm 1\%$

- ・ DC 電源
- ・ ストロボライト

- ・荷重表示用(デジタル・マルチメータ)IWATSU VOAC 7513



DC 電圧: $0.1 \mu\text{V}$ ~ 1000VAC 電圧: $1 \mu\text{V}$ ~ 750V (15Hz ~ 100kHz)

抵抗測定 ($2\text{W}\Omega$ 、 $4\text{W}\Omega$): $0.1\text{m}\Omega$ ~ $400\text{M}\Omega$

DC 電流: 10nA ~ 4A 、AC 電流: 10nA ~ 4A (15Hz ~ 1kHz)

温度測定: -200°C ~ $+1600^\circ\text{C}$ まで (熱電対使用)、周波数測定: 10Hz ~ 40kHz

- ・ロードセル LVS-56A レンジ 50mN



- ・ひずみゲージアンプ MS2906W
- ・ひずみゲージアンプ端子台 RS2900-1TB

- ・ マルチノズルファン風量測定装置 F-401



- ・ 流量演算システム F-411

※ツクバリカセイキ(株)<http://www.trs-jp.com/index.html>

5. 予備実験

5. 1 ファンの設定方法

ファンを通常のように縦方向に設置すると、ファンのトルク以外に重力の影響を考慮しなければならない。ファンを横向きに置くことにより重力とファンのトルクの向きは垂直になり、荷重を計測するうえで、ファンのトルクにのみ着目することができる。よって、ファンは水平横向きに置くこととする。ファンを負荷ボックスの板に接地させると摩擦により回転に影響が出てしまうため、水平にした状態で糸に吊るし、板のギリギリの高さで設置することにする。



図7 ファンの設置方法

5. 2 電源ケーブルのトルク

ファンを糸でつるしたとき、ファンについている電源ケーブルによって、ファンをつるしたときのファンの水平方向への自由度が制限された。このケーブルは、どの方向に向けておいても同様にファンの自由度を制限した。このままでは荷重を測る上で大きな障害になってしまうと考えたので、これを解決するために、電源ケーブルを短くし、柔らかく細い線を長めにとり、はんだ付けによりつなぐことで、ファンの自由度を増加させた。また、電線の接続は線が細いため、抵抗が大きく電圧降下が生じてしまうため、4端子法により電圧計測を行った。



図 8 4 端子法

結果と考察

荷重計測機の校正は糸でおもりを吊るし、電圧を測定して 1V あたりの荷重を求める。表 1 に計測結果を示す。電圧は 3 回測定し、その平均を用いて差を求めた。V1 と V0 の差は 0.5507(V) であり、この差を用いて 1V あたりの荷重を求めると、荷重は 1.82(g)、17.84(N) となる。この値を校正値とした。また、V2、V5 の結果と併せて精度は±1%とする。

表 1 荷重測定

	1 回目	2 回目	3 回目	平均
V0(V)	1.825	1.826	1.825	1.8253
V1(V)	2.276	2.377	2.375	2.3427
V2(V)	2.924	2.924	2.920	2.9227
V5(V)	4.559	4.557	4.552	4.556

25 mm角のファンについては、風量測定と荷重測定を行った。はじめ、ファンと荷重計を髪の毛でつないで荷重測定を行い、羽根効率、モーター効率を求めた。密閉が足りず、静圧を十分に得ることができなかった。そのため、広範囲のデータが取れなかった。

次に風量測定と釣り糸、細い針金、ミシン糸によりファンを吊るし、荷重を測定した。測定した結果、釣り糸ではうまく張力を得ることができず、荷重が測定できなかった。針金、ミシン糸については、荷重測定をうまく行うことができた。

また、40 mm角のファンについては、微少風量測定装置(風量測定範囲 100 l/min)ではすべての風量を計測できなかったため、測定できる風量までを測定し、ミシン糸によりファンを吊るし、荷重を測定した。荷重測定の際は、こちらも十分な静圧を得られなかった。ま

た、正確な風量測定が行えていないため、40 mmのファンについては信頼性が低いと思われる。

これらの結果から、P-Q 特性の風量が少なく静圧が高い状況を再現するため、シール性をあげることや、ファンの配置をきちんと行うことが重要だとわかった。本実験の際には、さらに装置の密閉性を高め、可能な限り隙間をなくしていく必要がある。また、荷重計とファンをつなぐものは、接続の容易さと材質の柔らかさから、本実験ではミシン糸を使用することとする。参考として、図 9、10 に今回の測定の一例を示す。

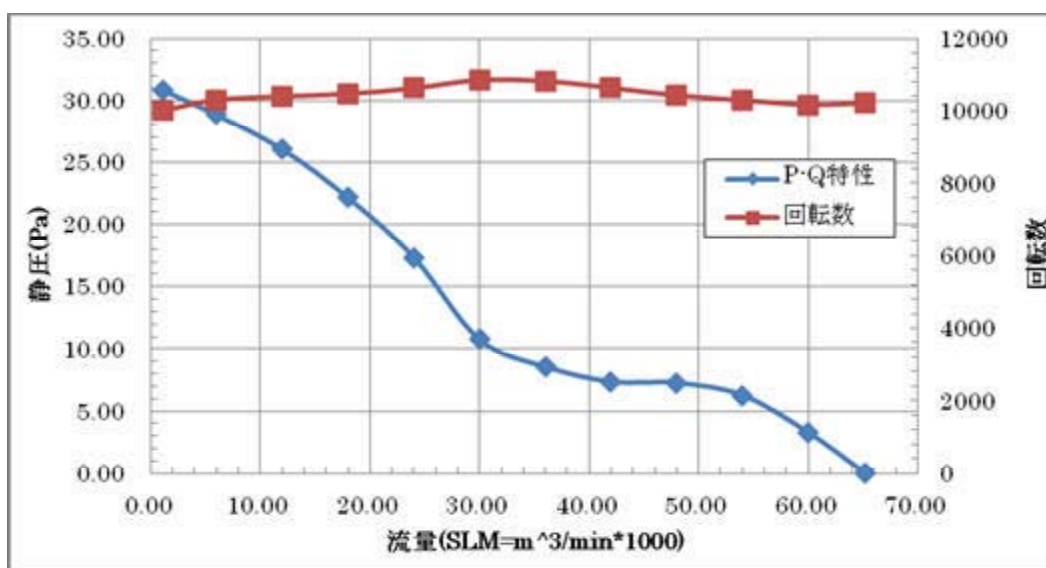


図 9 25 度角ファンの P-Q 特性および回転数

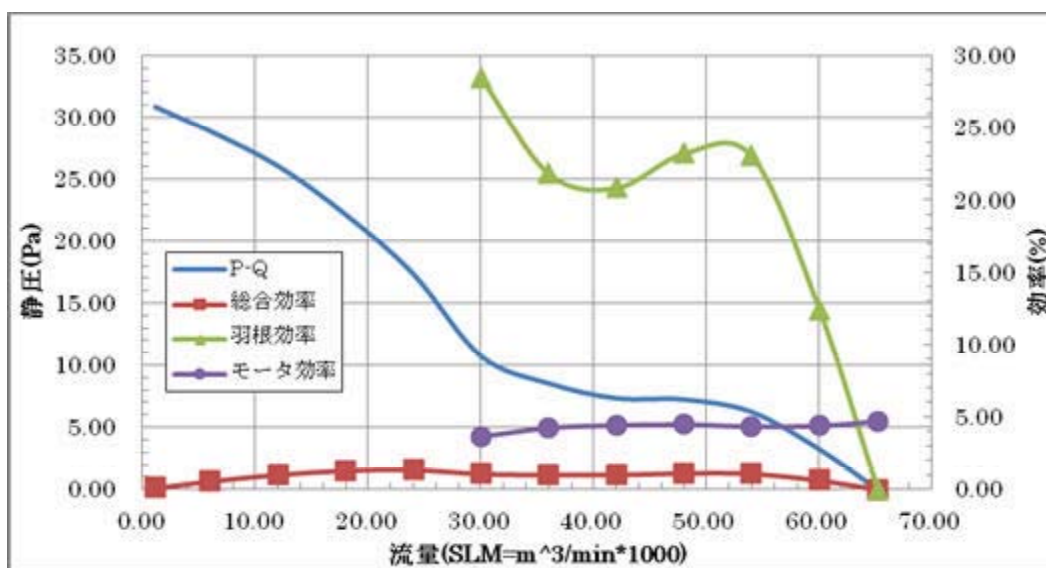


図 10 25 度角ファンの効率(ミシン糸)

6. 本試験

本試験では、25 mm角のファンを微小風量測定装置を用いて手動で測定し、40 mm角のファンはマルチノズル風量測定装置を用いて自動で測定した。図 11 にそれぞれの P-Q 特性と回転数を示す。

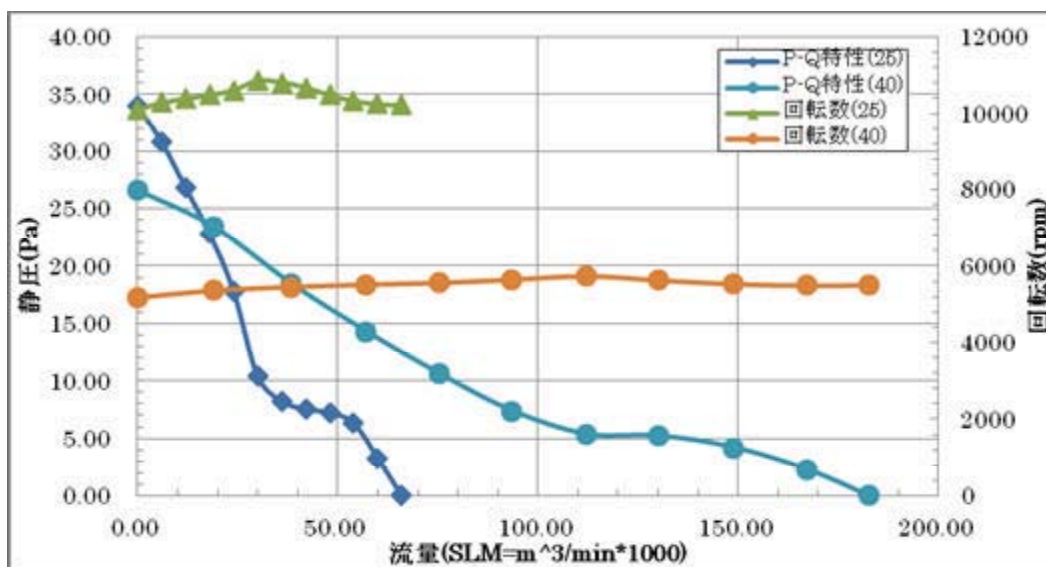


図 11 P-Q 特性および回転数

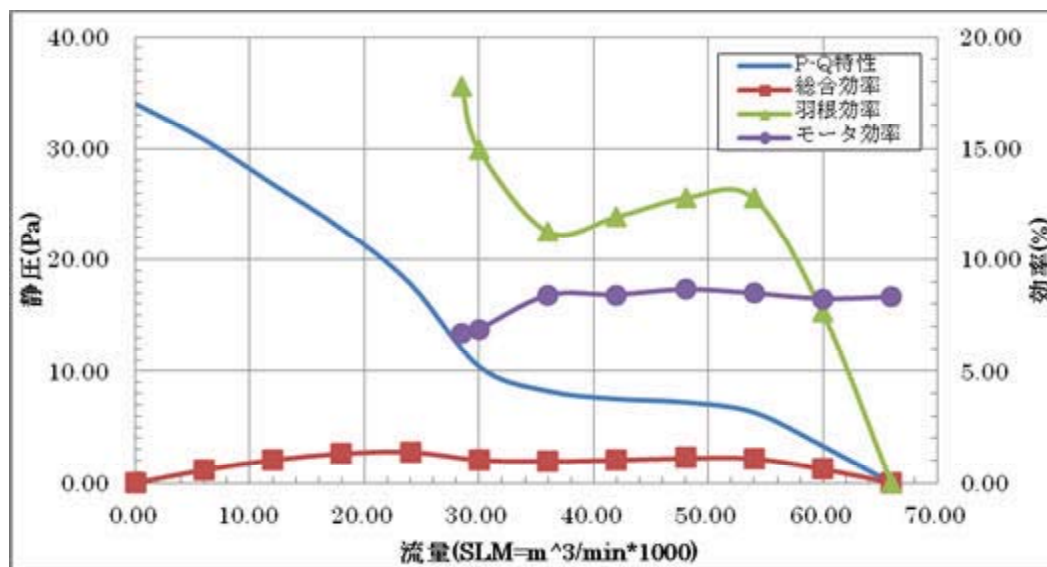


図 12 25 mm角のファンの効率

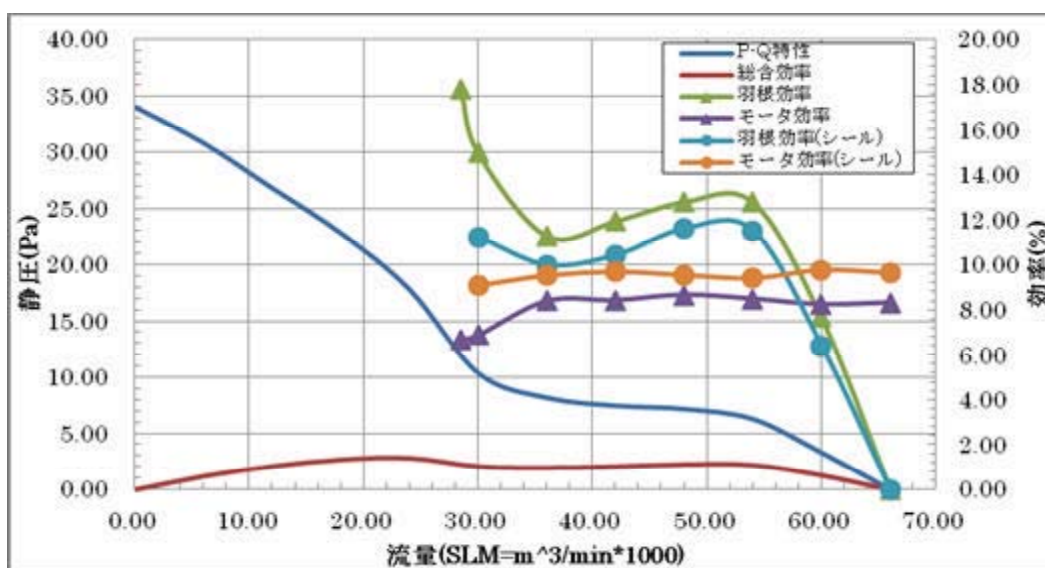


図 13 シールしたファンとの効率比較

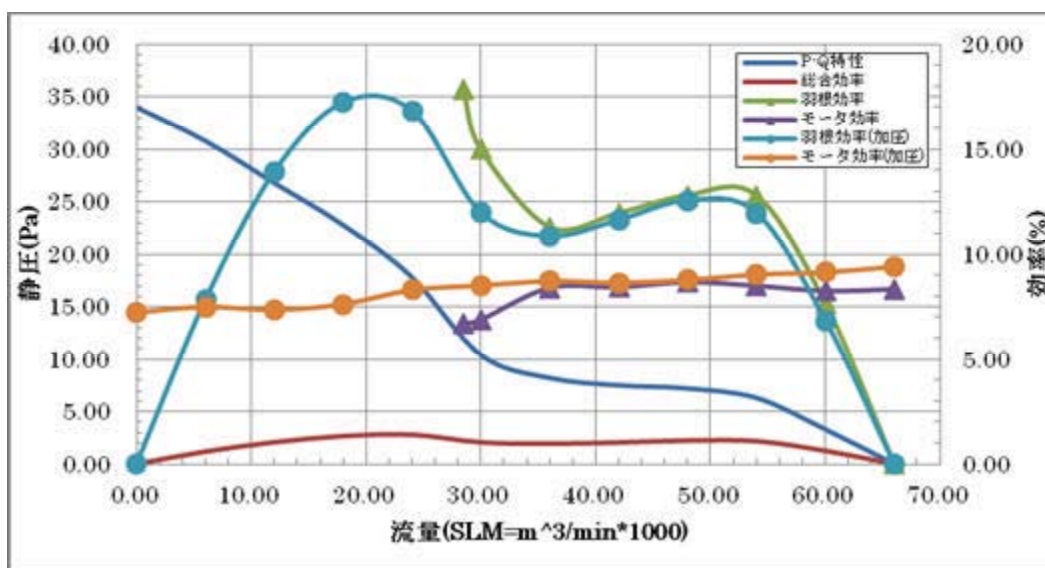


図 14 シールしたファンでの効率比較 2

図 12 は、荷重測定の結果から効率を計算したものである。25 mmのファンについては、漏れのため、風量が少ない時に静圧を十分に得ることができず、すべての静圧について測定することができなかった。そのため測定できた範囲で羽根効率とモーター効率を求めた。静圧が出なかった原因は、装置の密閉がうまくできておらず、隙間があったためであると思われる。また、ファンと装置の隙間間隔も大きくなっていてのではないかとと思われる。また、ファンと装置の入口の位置がずれていて、そこから圧力が漏れているのではないかとと思われる。

そこで、ファンを透明なフィルムに取り付け、ファンと装置の入口の位置のずれを無視

できる形にして再度荷重を測定した。図 13 は、何もない場合とフィルムでシールした場合との羽根効率とモーター効率の比較を示している。曲線はどちらも似たような形状になっている。羽根効率については、シールしているファンのほうが低い、モーター効率はシールしているほうが高くなっている。

また、図 14 はブロワから掃除機で風を装置に送り込み、加圧して静圧を調節できるようにした場合での、シールしたファンとしていないファンとの効率の比較である。シールなしの場合ではすべての静圧での測定ができていないが、ある程度同じような結果がとなった。このため静圧が出なかった場合に、加圧して静圧を調節しても荷重の測定には影響が少ないのではないかとと思われる。

以上のような改造で、P-Q 特性の全範囲において軸動力計測を可能とした。図 15 は 40 mm角のファンの効率を示している。25 mmのファンと比較すると、総合効率、羽根効率、モーター効率のどの項目を見ても 40 mmのファンの効率のほうが高いことがわかる。このことから、ファンが大きいほうが効率も良いということがわかる。

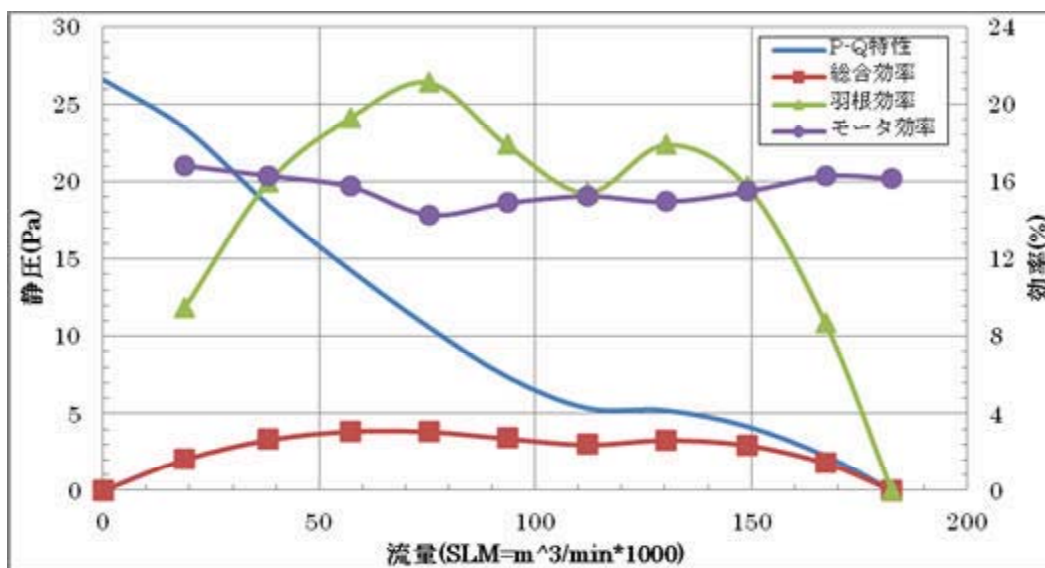


図 15 40 mm角のファンの効率

7. 結論

これらの結果から、今まではトルクメータを用いてファンのモーターのトルク測定を行っていたが、今回、トルクメータを用いずに、ファンを水平につるし荷重計で軸動力を測定可能である事が新たに分かった。また、ファンを水平に設置することでバランス等を考慮する必要が無くなり、計測が容易になった。しかし、今回の測定方法では、精度を高くすることが難しかった。よって、精度を向上するためには、ファンを水平に吊下げ、ファンとチャンバーの間隙無くすことや、ファンの電源ケーブルを細く柔らかいものにし、4端子法で計測することが必要であった。そして、測定した結果、マイクロファンでは、モーターの効率も羽根の効率も低いので、総合効率が低くなることが判明した。

高効率ファンの実現には、羽根の効率化とモーターの効率化の両方が同じ割合が必要である。

8. 参考文献

- ・全国地球温暖化防止活動推進センターウェブサイト（すぐ使える図表集）
- ・ツクバリカセイキ株式会社 <http://www.trs-jp.com/index.html>

謝辞

今回のツクバリカセイキ株式会社でのインターンシップにおいて、中山社長をはじめとする社員の皆様方には大変お世話になりました。何度もいただいた差し入れは、毎回おいしく食べさせていただきました。スイカはとてもおいしかったです。

このインターンシップで得られた経験を今後に活かせるように頑張りたいと思います。中山社長、そして社員の皆様方、ありがとうございました。奥様と末永くお幸せに。