

風洞実験装置を用いた ファンの省エネ実習装置の開発

千葉職業能力開発短期大学校 五十嵐智彦・栗秋 亮太

1. はじめに

近年、持続可能な開発目標（いわゆるSDGs）が注目されるとともに、工場やビル設備等においても、省エネ技術についての関心が高まっている。一般に、工場やビル設備におけるファンやポンプ設備にインバータを適用すると大きな省エネ効果が得られることが知られており、広く普及しつつある。それに伴い、職業能力開発施設におけるインバータに関する教育・訓練に対する需要も増加してきている。

筆者らは、主に職業能力開発促進センター（ポリテクセンター）や職業能力開発大学校（ポリテクカレッジ）における汎用インバータの活用に関する教材を開発してきた⁽¹⁾。文献（1）では、省エネ効果を実験的に体感できるようにポンプ負荷実習装置を開発し、その実験結果について報告した。しかし、実際の省エネの現場においては、ポンプ設備のみではなく、ファン設備も多く省エネ対象とされる。

そこで本稿では、汎用インバータによる省エネのもう一つの適用対象であるファン設備について、その動作原理や風圧・風速等の諸量の測定法、ファンの軸動力の計算、およびその省エネ効果が実験的に学習できる実習装置を開発し、その特性を評価したので報告する。



図1 ファン実習装置

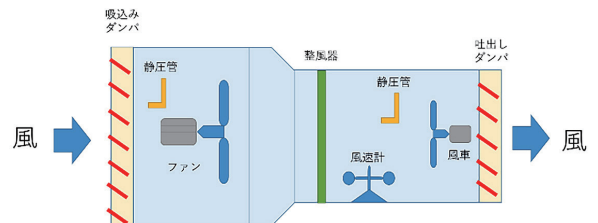


図2 ファン実習装置の概要図

2. 実習装置の概要

一般に、換気設備等で用いられるファン・ブロワにおいては、その風速を可変させる機構としてダンパを用いる。これは、流体の流路に流体の抵抗となるように短冊状の板を設け、この板の角度を 0° ～ 90° の間で可変させることで風速を調整している。ダンパを調節することで風速を調節してもファンの消費電力が大きく変わることがないので、消費電力を風速の3乗で低減させることができるインバータ制御

と比較して無駄が多いとされている。

そこで、本装置では、インバータによるファンの省エネ効果を実験的に習得できるようにした。また、現実の設備においてはインバータの導入前にどの程度のファンの省エネ効果が得られるのかの概算ができなければならない。したがって本教材では、ピトー管（静圧管）を設け、内部の静圧を測定できるようにすることによって、ファンの軸動力、および効率までを計算できるようにしている。

ファン実習装置で行う主たる実習は、風洞装置に備え付けのファン装置を50Hzで運転したときを基準とし、ここにダンパにより風速を制限した場合と、インバータにより周波数を可変させることにより風速を変更した場合の、それぞれの消費電力を比較し、インバータによる省エネ効果を検討するものとした。

本実習装置は、昭和電業社製の屋内風力発電実習装置（KENTAC 6901）をベースとした。この装置の風速の吐出口側と吸込口側にそれぞれ着脱可能な形で共板式風量調整ダンパ（フカガワ製VD-TSA 600-600および、同VD-TSA 800-800）を設置し、ダンパによる風速調整ができるようにした。また、吐出口、および吸込口付近にそれぞれ静圧管（アズワン製PTS-VT6-170）を設け、ダンパの開閉度の変化

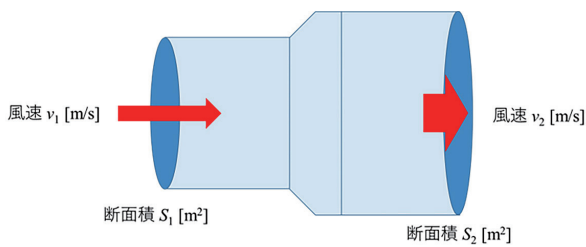


図3 流体の連続性

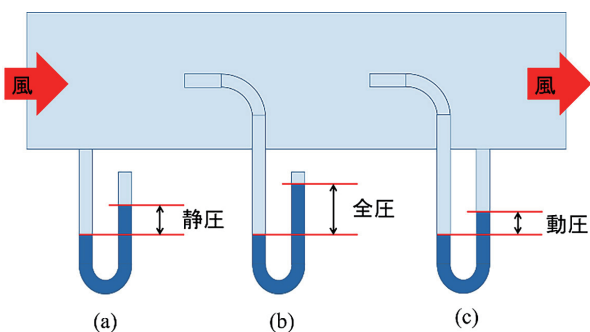


図4 ピトー管による圧力の測定

に伴う内部の静圧の変化を直接測定できるようにした。風速計は、屋内風力発電実習装置に既設であるので、それを用いた。筆者らの検証では本設備では風洞内部の位置による風速ムラが非常に大きいことを確認している。また、本実習装置の風速測定法はJISに規定された風速測定法とも異なる方式が用いられているため、その測定誤差は大きい可能性がある。しかし、相対的な風速の測定は可能であると考えられるため、本稿では本実習装置に既設の風速計をそのまま使用することとした。

3. ファンの軸動力の計算

はじめに、ファンの軸動力の算出についてみていく。ファンで移送する空気が非圧縮流体であると仮定すると、図3に示すような断面積が S_1 [m²]から S_2 [m²]に変化する管内における風速 v_1 [m/s]、 v_2 [m/s]は以下の連続の式が成り立つことが知られている。

$$Q = S_1 v_1 = S_2 v_2 \quad \dots \text{式(1)}$$

ここで、 Q [m³/s]は流量である。本実習装置では、図2に示すとおり、風速計が吐出口側のみにしか設置されていない。そこで、吸込口側と吐出口側の断面積から、吸込口側の風速を算出する必要がある。

管内の圧力は、図4に示すようにピトー管によって測定することが可能である。同図 (a) は、風洞の側面に対し平行に管の端部を設け、流体の圧力エネルギーによってピトー管内に圧力が生じるようにしたものである。これにより測定できる圧力を静圧 [Pa]と呼ぶ。また、同図 (c) のように、流体の移動方向と同じ方向に管の端部を設け、流体の運動エネルギーによってピトー管内に圧力が生じるようにしたもので、これにより測定できる圧力を動圧 [Pa]と呼ぶ。風速と動圧の関係は次式によることが知られている⁽²⁾。

$$P_s = \frac{1}{2} \rho v^2 \text{ [Pa]} \quad \dots \text{式(2)}$$

ただし、 ρ : 空気密度 [kg/m³]

(一般に、 $\rho = 1.225 \text{ kg/m}^3$)

v : 風速 [m/s]

なお、同図 (b) のようにすると、静圧と動圧の和の圧力が生じ、これを全圧 [Pa] という。

このとき、ファン動力 (ファンの機械出力) P [W] は次のように求められる⁽³⁾。

$$P = \frac{1}{60} Q_{min} H \text{ [W]} \dots \text{式(3)}$$

ただし、 Q_{min} : 毎分流量 [m³/min]

H : 有効静圧 [Pa]

ここで、有効静圧 H [Pa] は、次式により求められる⁽³⁾。

$$H = P_{out} - P_{in} - P_{vout} \text{ [Pa]} \dots \text{式(4)}$$

ただし、 P_{out} : 吐出口全圧 [Pa]

P_{in} : 吸込口全圧 [Pa]

P_{vout} : 吐出口動圧 [Pa]

また、ファンの軸動力 (ファンの機械入力) P_{in} [W] は次式により計算できる⁽³⁾。

$$P_{in} = \frac{P_e}{(1 + \alpha)} \dots \text{式(5)}$$

ただし、 P_e : 消費電力 [W]

α : ファンの裕度 (0.1~0.3)

今回は、ファンの裕度 α を 0.3 として計算した。

4. 省エネ効果の検討とファン効率の算出

本実習装置を用いて、ダンパ制御の場合とインバータ制御の場合の消費電力の比較、および、入出力特性とファン効率の比較を行った。

本実習装置の圧力測定の様式図を図5に示す。図5のように、吐出口静圧、および吸込口静圧は、ピトー管 (静圧管) に差圧計 (TESTO 510SET) を取り付けることにより測定する。吐出口動圧は、実習装置既設の風速計により得られた風速値から、式 (2) を用いて算出する。また、吸込口動圧は、式 (1) に示した連続の式から算出する。消費電力は、実習装置既設のインバータ (三菱製 FR-E720-2.2K) とパソコンを USB ケーブル (GT09-C30USB-5P) で接続し、専用ソフトウェア (三菱製 FR-Configurator2) のモニタ機能により測定する。

図6にダンパ制御 (吐出しダンパ) とインバータ

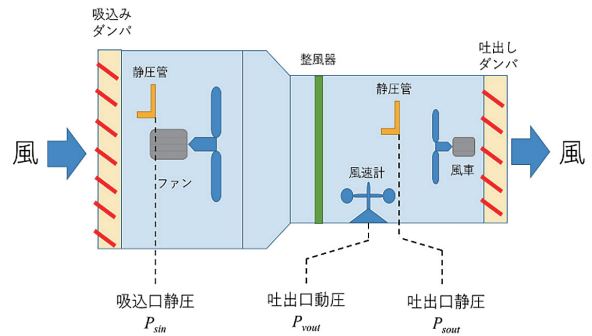


図5 ファン実習装置の圧力測定

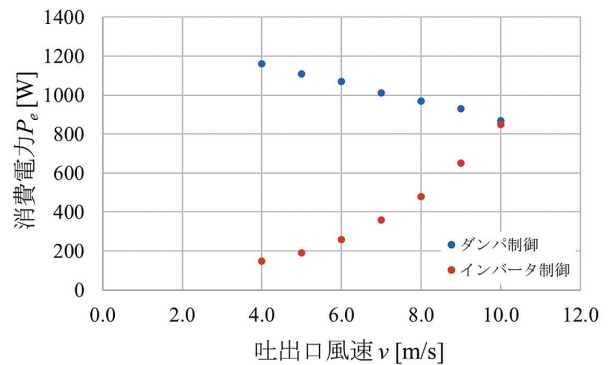


図6 各制御法による消費電力の比較

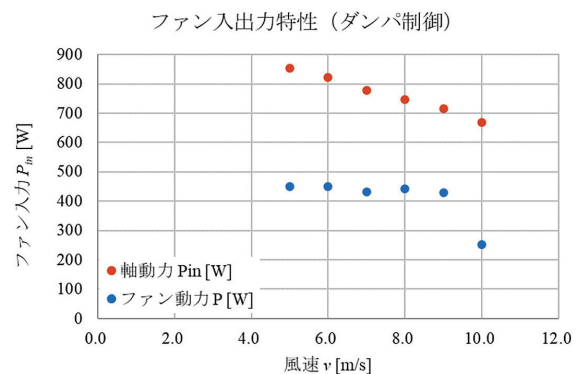


図7 ダンパ制御のファン入出力特性

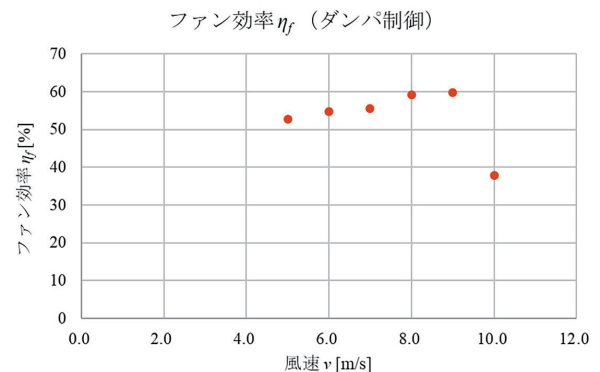


図8 ダンパ制御のファン効率

制御の消費電力を比較したものである。このグラフより、風速10m/sを基準としてその風速を下げていくとき、ダンパ制御の場合では消費電力はわずかに上昇していく一方、インバータ制御では、大幅に消費電力が減少していく様子が確認できる。一般には、消費電力は風速の3乗に比例することが知られているが、同図より本実習装置における消費電力は、風速の2乗程度までしか低減していないことが確認できる。これは、風速の減少によって風車効率も低減したためであると考えられる。図7には、ファンの機械入出力特性を示す。ファンの機械入力（軸動力）は、図7でもみたとおり風速が下がるにつれてわずかな上昇がみられるが、ファンの機械出力（ファン動力）は、ダンパが全開である風速10m/sを除けば、ほぼ一定であるとみなすことができる。また、図8には、ダンパ制御の場合のファン効率を示す。ファン効率は、風速9m/s程度が最も高く、山型になっている様子が確認できる。インバータ制御の場合のファンの入出力特性を図9に示す。同図より、ファ

ン動力、ファン軸動力ともに、風速が小さくなるとともに、急激に減少している様子が確認できる。ただし、ファン動力（機械出力）はおおむね風速の3乗に比例している一方、ファンの軸動力（機械入力）は風速の3乗よりも大きくなっているようである。これは、風速が小さくなるにつれてファン効率が低減すること、および、インバータのV/f制御におけるトルクブーストの影響が目立つようになったためであると考えられる。図10には、インバータ制御の場合のファン効率を示す。同図より、インバータ制御の場合、低速域では効率が大幅に減少することが確認できる。

5. まとめ

本稿では、インバータ制御の訓練に供するポンプ実習装置について報告した文献(1)の続報として、ファン実習装置について検討した。

本実習装置は、既存の風力発電実習装置をベースに実現できることから簡易に実現でき、かつ、風速制御をダンパ制御とインバータ制御の2通りの特性をおおむね理論通りに再現することが確認できた。今後は、風速測定の精度向上など、測定値の精度向上について検討する。

〈参考文献〉

- [1] 五十嵐智彦, 子川昌浩:「負荷特性に応じた汎用インバータの取扱いに関する実習教材」, 技能と技術 2019年1号, 2019
- [2] 梶島岳夫:「流体工学の基礎」, 森北出版, 2022
- [3] 省エネルギーセンター:「省エネルギー手帳2021工場技術者必携」省エネルギーセンター, 2021

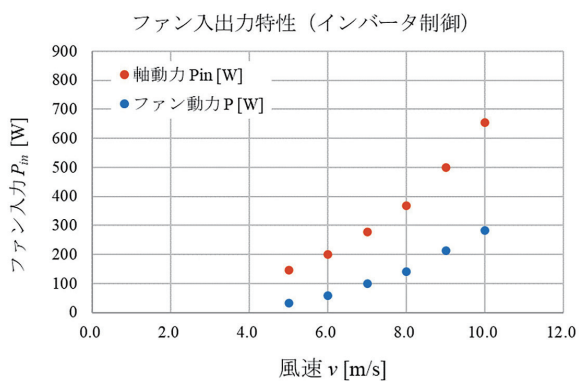


図9 インバータ制御のファン入出力特性

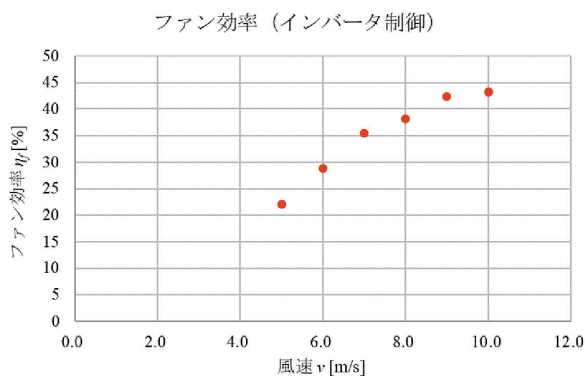


図10 インバータ制御のファン効率