

人の揺動ハンドリングによる異常振動の 診断メカニズムに関する研究*¹

(揺動機構による小型ファンモータの振動計測)

木村 英人, 柳本 憲作, 渡部 誠二, 高橋 政行*²

Study of Diagnosis Mechanism of Vibration by Handling (Vibration measurement of micro fan motor with fluctuation mechanism)

Hideto KIMURA, Kensaku YANAGIMOTO, Seiji WATANABE, Masayuki TAKAHASHI,

(Received on Dec.2, 2014)

Abstract

This paper describes a product quality check of micro fan motor vibration by using the fluctuation mechanism. The micro fan motors are used by many electronics equipment for cooling. They are essential for present industry. But, micro fan motors have been checked by inspectors who have special skills which are based upon their auditory organs and tactual senses. It is not easy that inspectors will have mastered those skills. In addition, those skills are sometimes depend upon their mental and physical condition. Now, new evaluation and diagnosis method is needed. This study focused on the motion of inspector's handwork to develop a new diagnosis method of micro fan motors. In the experiments, the acceleration of micro fan motor's vibration has been measured, and the difference between the maximum and minimum of the acceleration level has been taken as the index to show the vibration amplitude. These results show the proposed method can be a new evaluation method for the diagnosis of micro fan motor's vibration.

Key Words :Micro Fan Motor, Vibration, Fluctuation Mechanism, Inclining Angle Change Mechanism

1. 緒言

現在、パーソナルコンピュータをはじめとする IT 機器等で、冷却を目的に小型ファンモータが使用されている。小型ファンモータ製造ラインの品質検査工程では、完成品検査の可否を検査員による官能検査によって判別している。この官能検査は、ファンの微妙な音の違いや振動の違いを正確に診断するために多くの経験を必要とし、検査員の体調や精神状態によってその判断に個人差が生じてしまうことが

ある。これらの検査工程における問題点を改善するためには、小型ファンモータの音響・振動レベルと品質を定量的に診断できる計測装置の開発が求められている。そこで本研究は、官能検査員が行う異常診断のメカニズムを機械や制御装置に応用し、検査工程における自動化に資することを目的としている。

検査員は、小型ファンモータの異常を聴覚と触覚の両方で判断していると考えられる。実際の現場における検査員が小型ファンモータを官能検査する様子を観察した結果、図 1 のようにファンを保持している手首を回しながら診断を行っていた。本研究ではこの検査員が行っているハンドリングの動作を、

*¹ 日本機械学会 Dynamics and Design Conference 2012 にて講演[2012.9.18-21. 慶応義塾大学]

*² (株) オリエンタルモーター

フリージナル機構を利用した回転揺動装置により実現することにした。フリージナル機構は、電車の天井に取付けられた扇風機の首振り機構などに利用されているほか、ロボット用三次元測域センサ装置として応用されている⁽¹⁾。

本報告は、このフリージナル機構を利用した回転揺動装置を設計、製作し、これによる小型ファンモータの振動加速度の計測を行った⁽²⁾。実験では振動加速度レベルの異なるサンプルファンを用意し、回転揺動装置による振動加速度の変化について明らかにした。さらに、実際の現場での計測を行う装置としての可能性を考察した。



Fig.1 State of the inspection

2. 小型ファンモータの振動要因

小型ファンモータは小型軽量であることを目的に、ファンの回転翼やケーシングは樹脂成形によるものが使用されている。回転軸と回転翼、ファンフレームと電子基盤を載せる板金パネルなど、樹脂と金属部品との組み立ては樹脂への圧入による方法で行われている。各々の部品としては精度があっても組み上がった状態での不具合により振動が生じやすくなっていると考えられる。

アンバランスによる振動の発生原因として、ファン回転翼の羽根それぞれの重さが多少異なることや、回転翼の重心が回転中心からずれることに起因する。このアンバランスが起こることで軸受の径方向の負荷が増加し、さらに軸受けの内輪、外輪、転動体に変動負荷が生じるとともに振動も増加する。これらアンバランスが要因の振動加速度信号は、径方向において回転周波数と同一の周波数でのみ振動加速度レベルが増加することが明らかにされている⁽³⁾。

また、ファンのケーシング部分の芯出し不良、軸受け固定部分の真円度不良、等のミスアライメントが原因の振動も大きな要因である。これは正常な回転中心線と2つの軸受が一直線になっていないために回転軸がぶれてしまうことに起因して、軸受に変動負荷がかかる。これらミスアライ

メントが原因の振動加速度信号は、軸方向において回転周波数の整数倍の周波数で振動レベルが大きく現れる。

さらに軸受け自体の異常振動は、組み立て時における局部的な衝撃による欠けや割れによるものがあげられるが、大半は軸受けの経年経過に伴う内輪部や外輪部の、剥離、磨耗、などによるものと考えられる。振動加速度信号は、特に径方向に振動レベルが大きく現れる。その周波数は異常原因によって様々であり、軸受けの大きさ、回転周波数、転動体数などに依存する。また、エンベロープ分析を行うと、ピークが等間隔に並ぶことが明らかにされている⁽³⁾。

3. 実験装置および方法

3.1 回転揺動機構について

現場における検査員は小型ファンモータを官能検査する際、ファンフレームの側面の二カ所を保持し、手首を回しながら耳元近くで聴感と触感により診断を行っているのが観察された。そこで本研究ではこの検査員が行うハンドリングを模した揺動機構を設計、製作し、この機構を用いたファンモータの振動計測を行った。

図2および図3に試作した回転揺動装置を示す。この回転揺動装置では二次元のフリージナル機構に固定されたファンの回転軸中央の一点Oを中心に、モータからのアーム L_1 とボールジョイントで接続されたフリージナル機構の揺動軸 L_2 をモータ軸回りに回転することで、ファンが揺動される。揺動装置の駆動は、ステッピングモータを用いて行った。図3に示したように、揺動装置に固定されたファンの水平面からの傾斜角 θ （揺動角）は、モータからのアーム L_1 と揺動軸 L_2 の寸法を適宜設計することで決まる。本実験では、表1に示したように傾き角 θ を 30° と 45° の2条件で行った。図4に計測システムの概要図を示す。

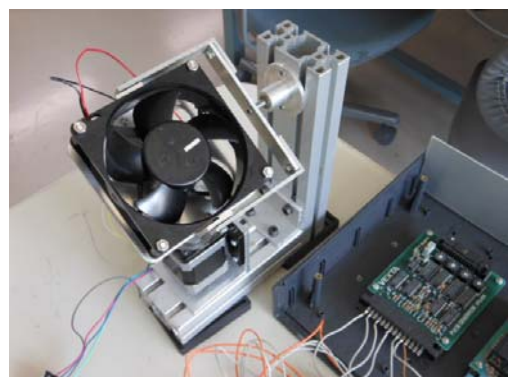


Fig.2 Over view of fluctuation mechanism

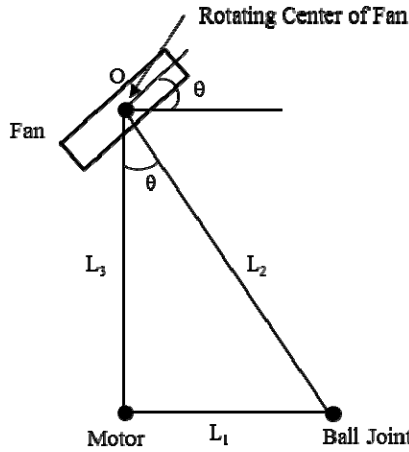


Fig.3 Schematic illustration of fluctuation mechanism

Table 1 Parameter of fluctuation mechanism

(L ₁ , L ₂ , L ₃ , θ)		
	θ = 30°	θ = 45°
L ₁ [mm]	50.00	70.71
L ₂ [mm]	100.00	100.00
L ₃ [mm]	86.60	70.71

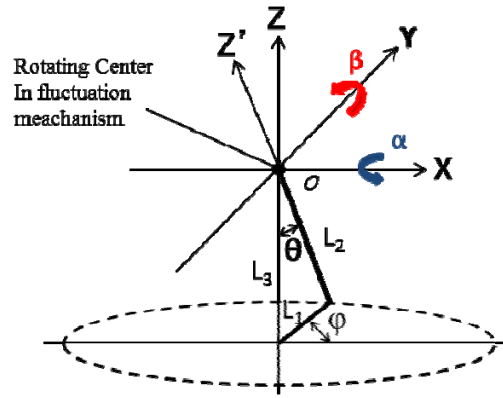


Fig.5 Coordinate system

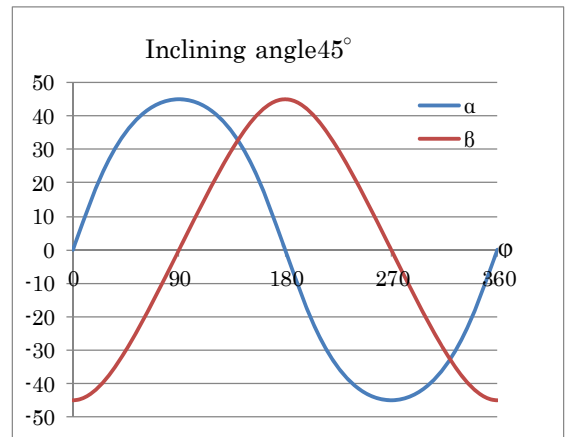


Fig.6 Fluctuation angle change of micro fan

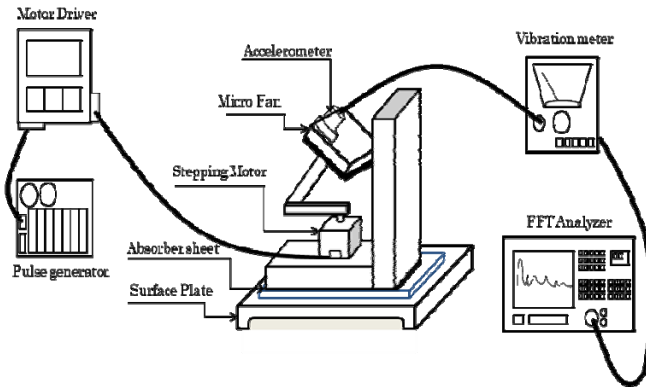


Fig.4 Schematic diagram of measurement systems

また、図5に今回製作した揺動機構の座標系を示す。揺動機構の回転中心Oは、図3に示したようにファンモータの回転軸の真ん中であり正面をX軸、垂直方向をZ軸とした。

この揺動機構は、回転ロッドの回転角度φを変化させることにより、ファンモータの回転軸 (Z'軸) をZ軸回りに揺動させる。また揺動機構のファン支持台はフリージナル機構によりX軸回り、Y軸回りに揺動回転する。その時のX軸、Y軸回りの回転角をそれぞれα、βとする。

ここで、回転角度φとX軸、Y軸回りの回転角α及びβの関係を求めると、

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{L_1 \sin \phi}{L_3} \right) \quad (1)$$

$$\beta = -\tan^{-1} \left(\frac{L_1 \cos \phi \cos \alpha}{L_3} \right) \quad (2)$$

と、表すことができる⁽¹⁾。ファンモータの傾斜角(揺動角)θ=45°の時の回転角度φとα及びβの関係をグラフに表すと、図6のようになる。

3.2 傾斜装置による振動計測

回転揺動装置では、ファンモータ回転翼の回転面の傾斜角θ(揺動する面の傾き:揺動角)が30°あるいは45°と固定されている。そこで回転面の傾きに対する振動加速度信号の変化を観察することを目的に図7に示した傾斜装置を用いた。傾斜装置はステッピングモータに接続された傾斜台が、モータの回転軸回りに回転する装置である。ステッピングモータの駆動角度に応じて、傾斜台上の小型ファンモータの回転面を逐次傾斜させて振動加速度レベルを計測した。

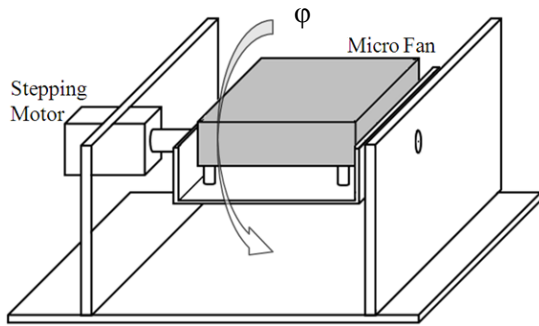


Fig.7 Inclining angle change mechanism of micro fan motor

3.3 実験方法

実験に使用した小型ファンモータはブラシレスDCモータ駆動の5枚羽根で、その詳細を表2に示す。実験では図8(a)に示したように加速度ピックアップをファンの吹き出し側のフレーム中心付近のA点およびファンフレーム側面中央のB点に取り付け、それぞれ軸方向と半径方向の振動加速度の計測を行った。計測対象のファンモータは、官能検査によって選別された振動の大きさが異なる5つの検査サンプル品を用意し、振動加速度レベルが大きくなる順に呼び番号を#9701, #9702, #9703, #9704, #9705としている。事前実験からサンプルファンの軸方向および半径方向の振動加速度レベルは、ともに呼び番号の順に大きくなっていることが明らかにされている。

回転揺動装置による振動計測ではステッピングモータの駆動角度を9°刻みに設定しφ=0°~360°まで、41点を各傾斜角(30°, 45°)で計測した。ファンフレーム側面中央のB点に取り付けられた加速度ピックアップの揺動位置が最上部になる駆動角をφ=0°としている。また、小型ファンモータの吹き出し側を上方にして揺動機構の支持台に取付けている。

傾斜装置による振動計測では、ステッピングモータの駆動角度を9°刻みに設定しφ=0°~180°の範囲で、21点を計測した。ファンの吹き出し側のフレーム中央のA点に取り付けられた加速度ピックアップの位置が最下部になる駆動角を0°としている。

計測にあたり、ファンの回転数はすべて3400 rpmになるよう入力電圧を調整し、また外部からの暗振動を避けるため、両装置は厚さ15 mmの振動吸収材を敷いた鋳鉄製の定盤の上に設置されている。計測はリオン社製の振動計により振動加速度レベルを、さらに小野測器社製のFFTアナライザにより振動加速度信号のスペクトル及びO.A.値(測定周波数範囲全体の振動加速度レベルの値)を求めた。振動加速

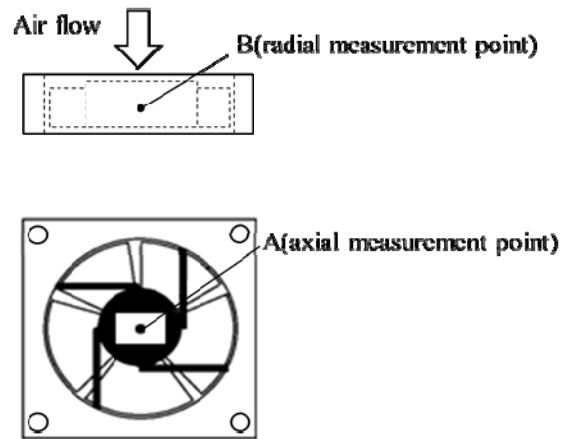
度信号のパワースペクトルは、ハニング窓を用い、64回平均としている。

回転翼の変位を、レーザー変位計により、図8(b)に示したA'(回転中心より7mm), B'(回転中心より15mm)の位置において、平行なテーブル上で回転翼を一回転させたときのボス部表面の変位量を測定した。これにより、回転翼の径方向のたわみ、ならびに回転翼の面振れを計測した。

また、事前実験としてサンプルファンの比較を行う際の、卓越周波数を得るために、ファンモータの四隅を糸で吊るした状態で計測を行った。

Table2 Specification of DC axial flow fan

寸法(縦×横×幅) [mm]	電圧 [V]	電流 [A]	回転数 [rpm]
92.5×92.5×25.4	12	0.24	3400



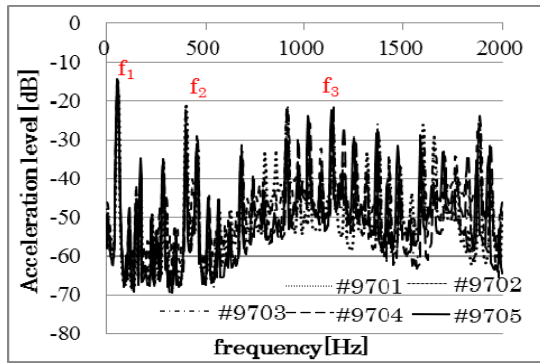
(a) Position of pick-up (Back view)

(b) Measurement point for displacement (Front view)

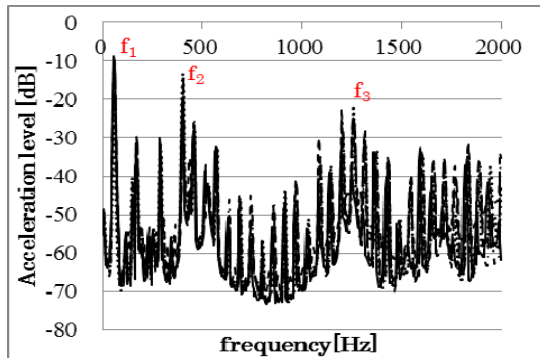
Fig.8 Measuring method of sample fan

4. 実験結果

図9(a), (b)に事前実験から得られたサンプルファンの振動加速度信号のパワースペクトルを示す。図からわかるように卓越したピーク周波数は、翼の回転数に起因した $f_1=57\text{Hz}$ 、回転数に軸受けのボール



(a) Axial direction (2kHz range)



(b) Radial direction (2kHz range)

Fig.9 Spectrogram of sample fan

数 $B=7$ をかけた $f_2=399\text{Hz}$, さらに回転数と回転翼の枚数 $Z=5$ および回転翼のモータの駆動極数 $P=4$ をかけた $f_3=1197\text{Hz}$ の周波数において顕著である。

各ピーク周波数は, 式(3), 式(4), 式(5)に示した通りである。

$$f_1 = \frac{N}{60} [\text{Hz}] \quad (3)$$

$$f_2 = \frac{N}{60} \times B [\text{Hz}] \quad (4)$$

$$f_3 = \frac{N}{60} \times Z \times P [\text{Hz}] \quad (5)$$

計測結果の比較は, 振動加速度信号の O.A. 値, ならびに卓越周波数 f_1, f_2, f_3 における加速度信号のピークレベルを用いた。ファンモータの傾斜角をそれぞれ $\theta=30^\circ, 45^\circ$ としたときの各モータ駆動角 ($0^\circ \sim 360^\circ$ step 9°) におけるファンの O.A. 値の偏差 (最大値と最小値の差), および各ピークレベルの偏差を求め, 各サンプルファンの比較を行った。

4.1 各サンプルファンの回転翼の変位と振動

図 10 は図 8 (b) に示した A', B' の各測定位置において, 回転時の変位量を示したものである。回転中心に近い測定点 A' ではファンモータの呼び番号順に変位が大きくなっている。しかしボス部外周に近い測定点 B' では Fan Number #9703 まで変位が大きくなり, Fan Number #9704, #9705 では減少している。

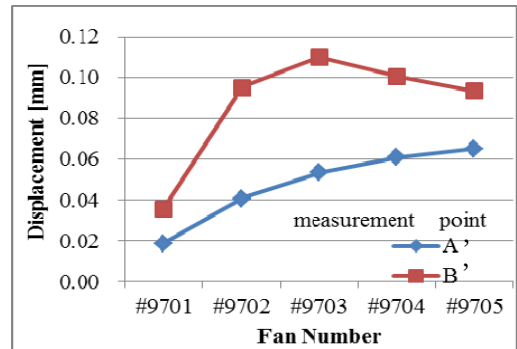


Fig.10 Displacement of sample fan

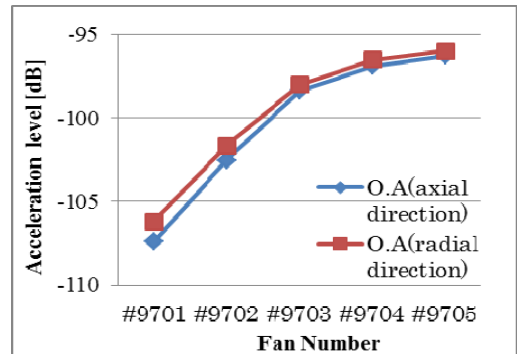


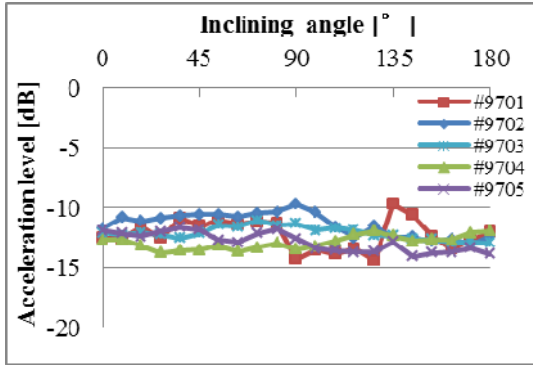
Fig.11 Acceleration level of each sample fan

これは, ファンボス部が樹脂成型により製作されているため, 表面が熱変形し, 面ぶれをおこしていると考えられる。

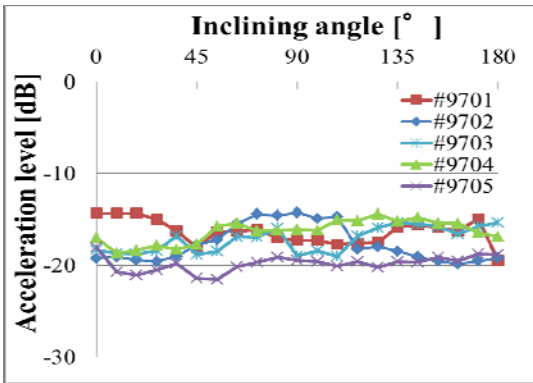
また図 11 に, 軸方向および半径方向の振動加速度信号のレベルの O.A. 値を示している。

4.2 傾斜角が振動加速度に及ぼす影響

傾斜装置による各ファンモータの軸方向ならびに半径方向の振動加速度信号の計測結果を図 12, 図 13, 図 14, 図 15 に示した。各図は軸方向ならびに半径方向の振動加速度信号のレベル値を傾斜角 $\varphi=0^\circ \sim 180^\circ$ (step 9°) について示している。傾斜角 0° では, 回転翼はターンテーブルのようにフレームに支持されて回転することになる。これに対し傾斜角 180° では回転翼が 2 個の軸受と支持バネ, 軸の割止めによりフレームに吊り下がった状態で揺動機構支持台に固定されている。このため図 12(a) の軸方向の振動加速度信号の O.A. 値ならびに図 13(a) の f_1 ピークレベルは, 呼び番号 #9701 以外では傾斜角が 90° を越えて 180° へ行くほど小さくなる傾向を示している。図 13(a), (b) の f_1 ピークレベルは, 傾斜角に関係なくほぼサンプルファンの振動の大小に対応したレベル分布になっている。図 14(a), (b) の f_2 ピークレベルは, 傾斜角が大きくなるにつれて減少し, 90° 付近でレベルは最小値になっている。図 15(a), (b) は f_3 ピークレベルの傾斜角に対する変化を示している。このピークについては定性的な傾向が, 軸方向ならびに半径方向ともに見られなかった。

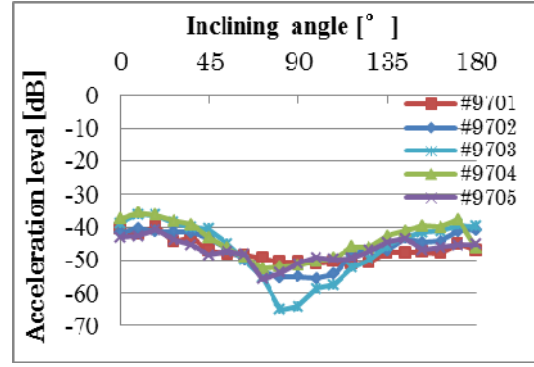


(a) axial direction

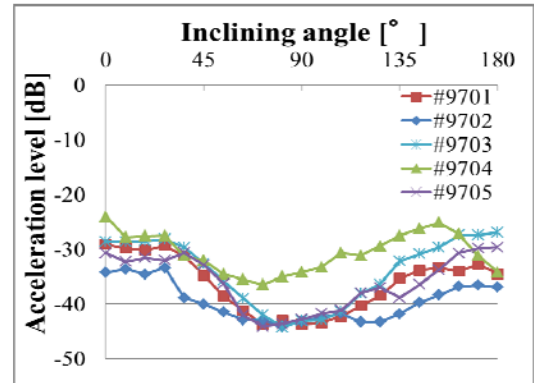


(b) radial direction

Fig.12 Acceleration level of O.A with inclining angle change

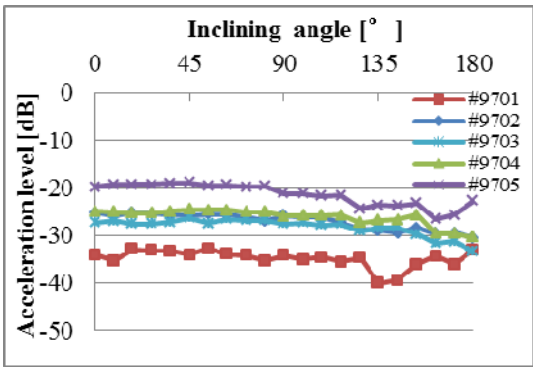


(a) axial direction

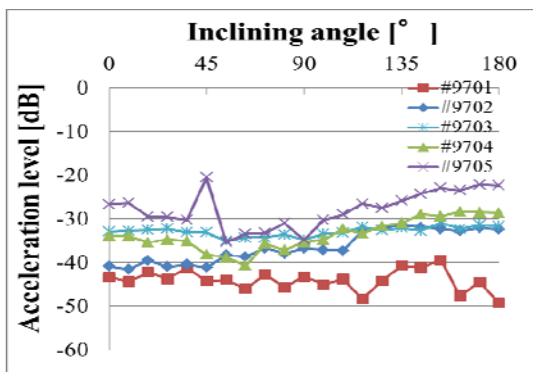


(b) radial direction

Fig.14 Acceleration level of Secondary peak f_2 with inclining angle change

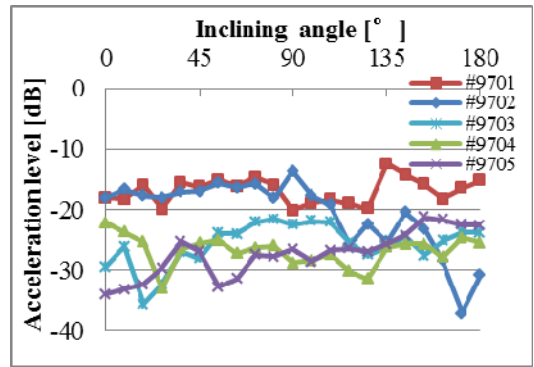


(a) axial direction

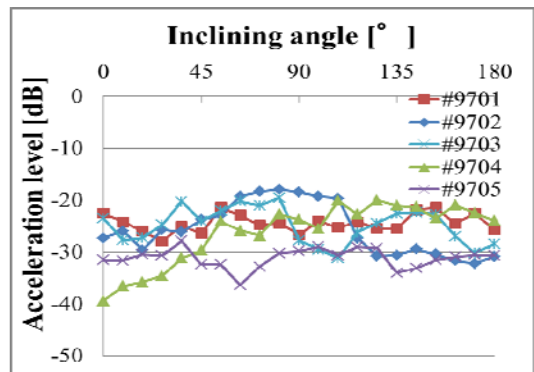


(b) radial direction

Fig.13 Acceleration level of Primary peak f_1 with inclining angle change



(a) axial direction



(b) radial direction

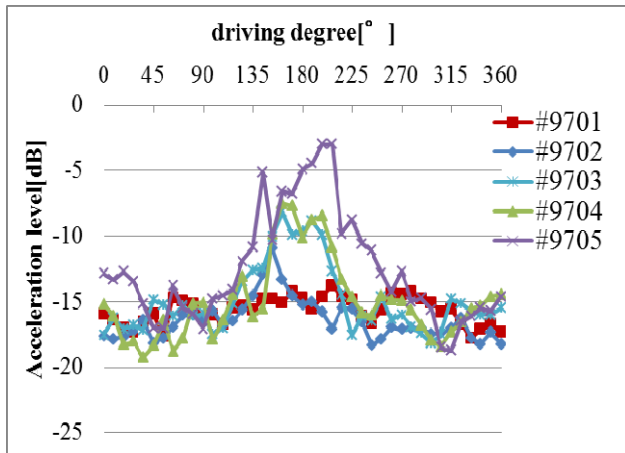
Fig.15 Acceleration level of Tertiary peak f_3 with inclining angle change

4.3 回転揺動機構による測定結果

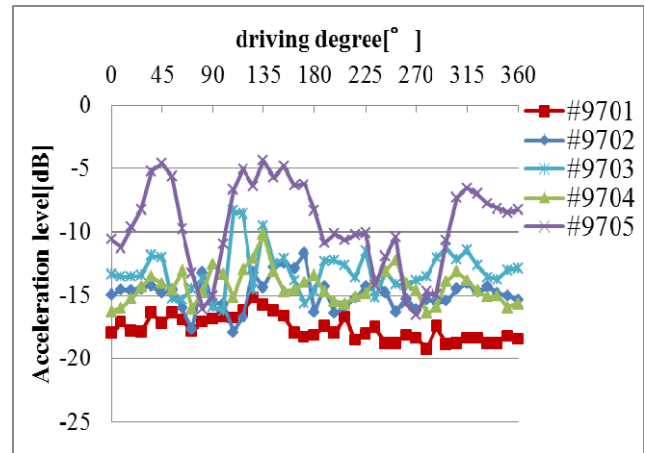
図16(a),(b), 図17(a),(b)は, それぞれファンモータの傾斜角(揺動角)が $\theta=30^\circ$ ならびに $\theta=45^\circ$ における回転揺動機構のモータ駆動角に対する振動加速度信号レベル(O.A.値)の変化を示している. 図16(a),(b)に示したように傾斜角 $\theta=30^\circ$ では, 振動の大きなファンモータほど, 駆動角 $\varphi=180^\circ$ 付近で振動加速度信号のレベルが大きくなっている. この傾向は, 軸方向および半径方向の振動加速度レベルの変化において同様な変化を示している. また傾斜角 $\theta=45^\circ$ では, 傾斜角 $\theta=30^\circ$ の場合と同様, 振動の大きなファンモータほど, 駆動角 $\varphi=180^\circ$ 付近で振動加速度信号のレベルが大きくなる. さらにモータ駆動角 $\varphi=45^\circ$ と, これに対称な $\varphi=135^\circ$ でも振動加速度信号のレベルが大きくなっている.

図18(a), (b), (c), (d)は, それぞれO.A.値, 卓越周波数 f_1, f_2, f_3 のピークレベル値の偏差(モータ軸が一回転したときの最大値と最小値の差)を示している.

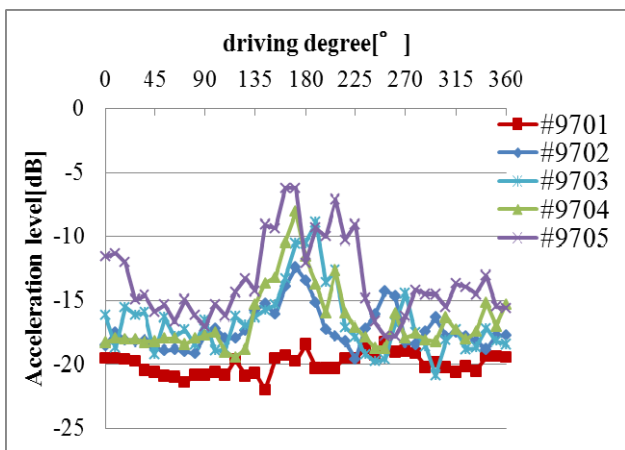
図18(a), 図18(c)に示したように振動が大きいファンモータでは, 揺動機構のモータ駆動角に対する振動加速度信号のO.A.値および f_2 ピークレベル値の偏差が, 軸方向および半径方向ともに大きくなる傾向を示している. また図18(b)に示した, ファンモータの回転周波数に起因する f_1 ピークレベル値の偏差では, 全てのサンプルファンで大きく, 特に半径方向で回転翼ボス部の面振れ(図10参照)の大きさと傾向が一致している. これらの変化は, ファンモータの傾斜角 $\theta=30^\circ$ および $\theta=45^\circ$ で同様な傾向を示している.



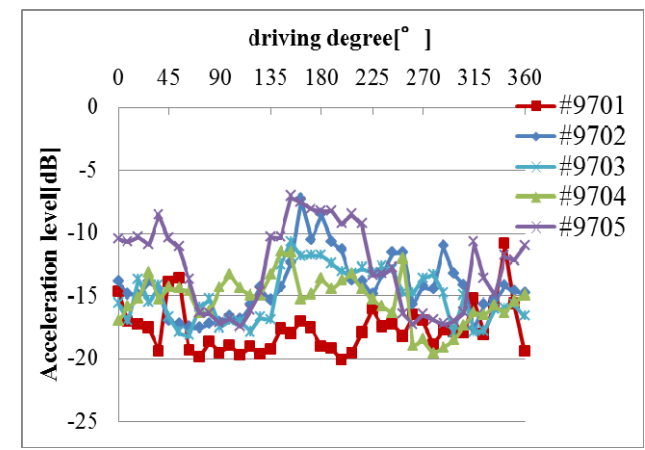
(a) Axial direction



(a) Axial direction



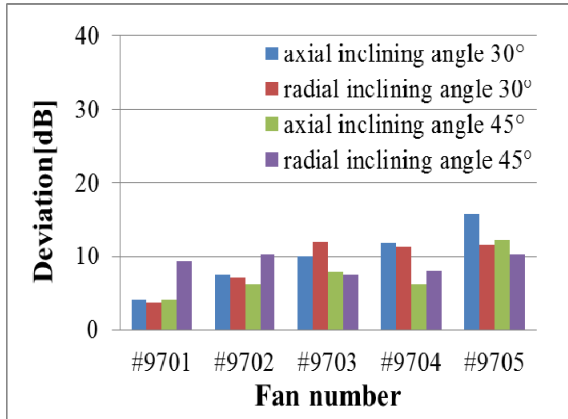
(b) Radial direction



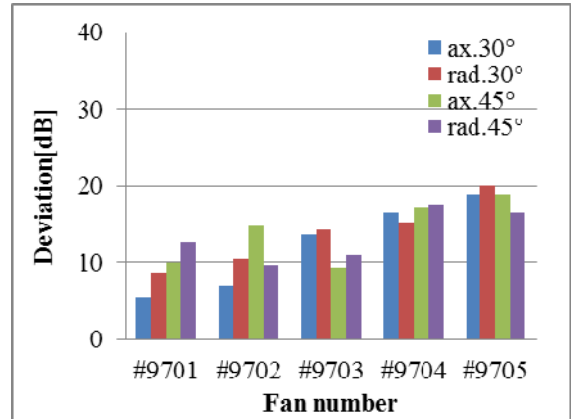
(b) Radial direction

Fig.16 Acceleration level(O.A.) of inclining angle 30° with motor rotational angle

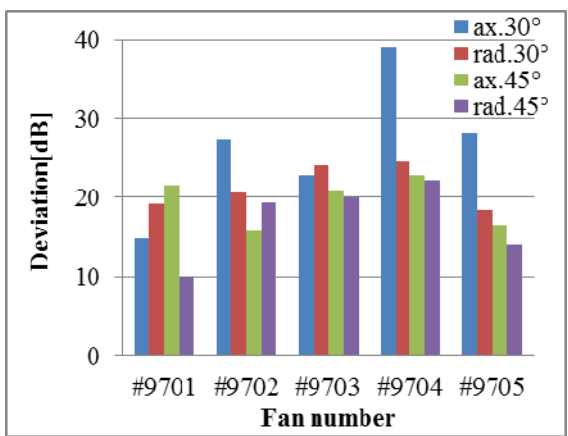
Fig.17 Acceleration level(O.A.) of inclining angle 45° with motor rotational angle



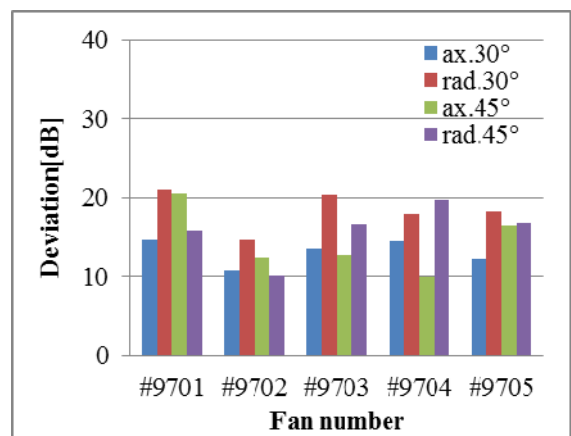
(a) Deviation of O.A.



(c) Secondary peak f₂



(b) Primary peak f₁



(d) Tertiary peak f₃

Fig.18 Deviation of acceleration level by using fluctuation mechanism. Deviation is calculated by difference between the maximum and the minimum level of acceleration level .

5. 結 言

本研究では、官能検査員が行っているハンドリングの動作を、フリージナル機構を利用した回転式の揺動機構により実現し、これによる小型ファンモータの振動加速度信号の計測を行い以下の結論を得た。

1. 傾斜装置を用いた実験では、振動加速度信号の回転周波数に起因する第1次ピークレベルの変化がファンの振動の大きさと相関を示す。
2. 回転揺動装置を用いた実験では、駆動角に対する振動加速度信号のO.A.値および軸受の玉の数に起因する回転周波数の第2次ピークレベルの偏差が、ファン振動の大きさと相関を示す。
3. 偏差と振動の大きさと相関は、小型ファンモータの傾斜角 $\theta = 45^\circ$ よりも $\theta = 30^\circ$ とわずかに小さい方が明確である。

文 献

- (1) 松本光広, 吉田智章, 小柳栄次, 川田浩彦, 嶋地直弘, 大矢晃久, 油田信一, “回転式揺動機構による測域センサの三次元化” Proceedings of the 2008 JSME conference on Robotics and Mechatronics, June 5-7, No.08-4. 2008
- (2) 木村英人, 柳本憲作, 渡部誠二, 高橋政行, 五十嵐正晃, “揺動機構を用いた小型ファンの振動計測” 日本機械学会, Dynamics and Design Conference アブストラクト集, pp81, 2012
- (3) リオン計測器販売株式会社, ‘振動分析計 VA-12’, <http://www.rion.co.jp/abcon/pdf/VA-12.pdf>, 2012