

歪応答を利用した実稼働モード解析によるファンモータの騒音低減

高橋 政行^{*1}, 望月祐哉^{*2}, 荻原拓也^{*2}, 大石 久己^{*3}, 柳本憲作^{*4}, 疋田 光孝^{*5}

Noise Reduction of Fan Motor by Operational Deflection Modal Analysis with Strain Response

Masayuki TAKAHASHI^{*1}, Tatsuya MOTIDUKI^{*2}, Takuya OGIWARA^{*2}, Hisami OISHI^{*3},
Kensaku YANAGIMOTO^{*4} and Mitsutaka HIKITA^{*5}

^{*1,*3,*4} Kogakuin Univ. Dept. of Mechanical Engineering
1-24-2 Nishishinjyuku, Shinjyuku-ku, Tokyo, 163-8677, Japan
^{*2} Tsuruoka National College of Technology
104 Sawada, Ioka, Tsuruoka-city, Yamagata 997-8511, Japan

Received 16 August 2013

Abstract

Recently, cooling fans have been used with inverter to adjust the suitable operating point of air volume for energy savings. But that increase abrasive vibration radiated noise of impeller caused by PWM control, and that is same frequency of carrier frequency of inverter. The purpose of this study is to reduce vibration radiated noise of impeller by using vibrational characteristic that calculated by FEM and strain modal shape under operating.

Key words : Cooling fan, Inverter, Modal analysis, Strain gage response, Finite Element method (FEM)

1. 緒 言

ファンモータは省エネ・低騒音を目的にインバータと組み合わせ、熱負荷に応じて最適な回転速度で運転することが一般的となってきたが、このときインバータのPWM制御が加振減となって発生するキャリア周波数（以下、Carrier frequency (CF) と略記）を基本周波数とする羽根の放射音が問題となる。本研究では、数値解析と歪応答を利用した実稼働解析により、羽根の振動モードを求め、材料変更により羽根の振動を抑え低騒音化した結果を示す。

2. 騒音測定結果

図1にファンモータおよびインバータを示す。ファンモータは大きさが200mm角でモータ部はAC入力三相誘導電動機である。インバータは入力がAC三相200V、出力が200Wである。図3に騒音測定装置を示す。測定点はファンモータの吸い込み口から1mとし、FFTアナライザに取り込んだ。周波数範囲は20kHzとし、1/3オクターブバンドにまとめた。

表1に示すように、測定条件はファンモータ単独とインバータを組み合わせの場合とし、インバータのCFは2kHz、15kHzとした。また、羽根の回転速度は2800r/minとし、入力電圧もしくはインバータの運転周波数（以下、Driving frequency (DF) と略記）で調整した。

No.xx-xxxx [DOI: 10.1299/transjsme.2014xxx000x]

^{*1} 正員, 工学院大学 工学研究科 機械工学専攻 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2)

^{*2} 会員外, 工学院大学 工学部 機械工学科 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2)

^{*3} 会員, 工学院大学 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2)

^{*4} 正員, 鶴岡工専 (〒997-8511 山形県鶴岡市井岡字沢田 104)

^{*5} 会員外, 工学院大学 (〒163-8677 東京都新宿区西新宿 1-24-2)

E-mail of corresponding author: ad13001@ns.kogakuin.ac.jp



Fig.1 Fan motor



Fig.2 Inverter

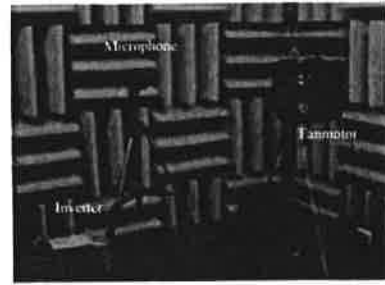


Fig.3 Experimental setup

Table 1 Experimental condition of setup and carrier frequency of inverter

	Setup	Carrier frequency of inverter
No.1	Fan motor	—
No.2	Fan motor + Inverter	2 kHz
No.3	Fan motor + Inverter	15 kHz

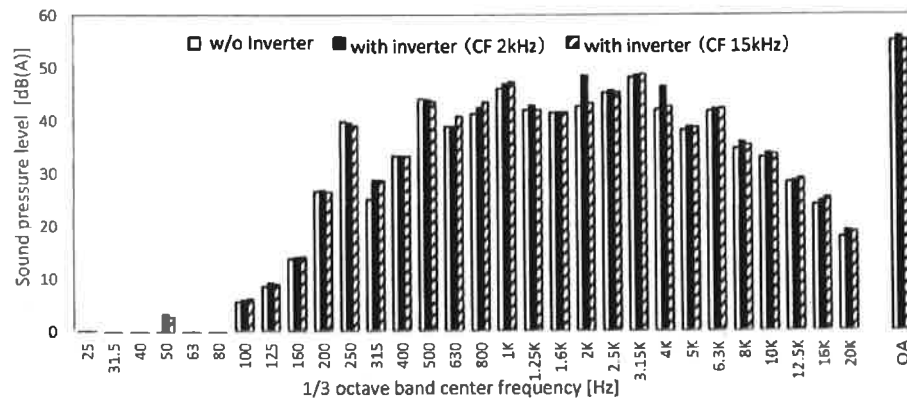


Fig.4 Sound pressure level of fan motor

図4に騒音の測定結果を示す。横軸は1/3オクターブバンドの中心周波数（以下、中心周波数と略記）とオーバーオール（以下、O.A.と略記）で、縦軸は音圧レベル（聴感補正A特性）である。サンプルNo.2, No.3はNo.1に対して、それぞれのCFである2kHzと15kHzが含まれる中心周波数2kHzと16kHzで音圧レベルが大きく、特にサンプルNo.2ではCF2kHzだけでなく、2次の高調波である4kHzの音圧レベルも3 (dB (A)) 以上大きくなり、O.A.を押し上げている。また、この周波数帯域は人間が聞き取りやすいことから、官能的にも耳障りに感じる。サンプルNo.3は中心周波数16kHzの音圧レベルが大きいが、サンプルNo.1, No.2との差は1dB (A) 以下であり、また、他の中心周波数よりも音圧レベルが低く、かつ、人間の可聴領域の限界である20kHzに近い周波数のため、官能的には耳障りに感じることはない。以上のことからCF2kHzが原因で発生する騒音に対しての低減を図った。

3. 羽根の応答形状

3.1 数値解析

数値解析より周波数応答関数と加振周波数2kHzの応答形状に対する各固有モードの寄与率を求め、CF2kHz時の羽根の応答形状と、応答形状に対する各固有モードの影響を検証した。数値計算にはMSC/NASTRANを用い、3次元非線形有限要素法の過渡応答解析（モーダル法）により周波数応答関数と寄与率を求めた（2012 MSC Software）。図5に解析モデル、図6にメッシュモデルを示す。解析モデルの材質はガラス繊維強化ポリカーボネート（以下、PCと略記）で、図5に示すように羽根前面中心部を拘束し、その背面を加振した場合の点Aにおける周波数応答関数を求めた。また、周波数範囲は3kHzまでとし10Hz毎の周波数応答関数を求めた。

図7に周波数応答関数の解析結果を示す。2kHzに固有モードはないため、2kHzの応答形状に対する各固有モードの寄与率を求めた(表8)。413Hzが53%、1.65kHzが36%であり、この二つのモードが支配である。図8(a)に2kHzの応答形状、(b)に413Hzのモード形状、(c)に1.65kHzのモード形状を示す。図中に矢印で示したように、全てカップ天面が矢印方向に振動するモードになっている。

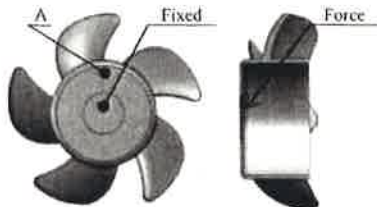


Fig.5 Sound pressure level of fan motor



Fig.6 Mesh model

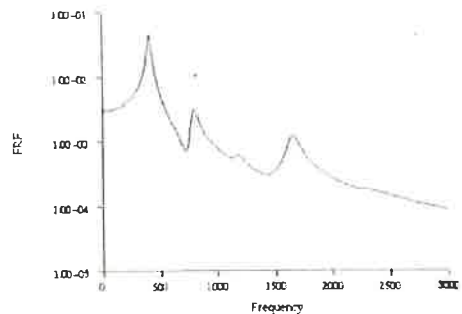


Fig.7 Frequency response function of fan motor

Table 2 Modal fraction of impeller

Mode ID.	Natural frequency [Hz]	Real. phase	Modal fraction
3	4.13×10^2	-2.34	0.53
6	7.93×10^2	-1.47	0.12
18	1.65×10^3	5.83	0.36

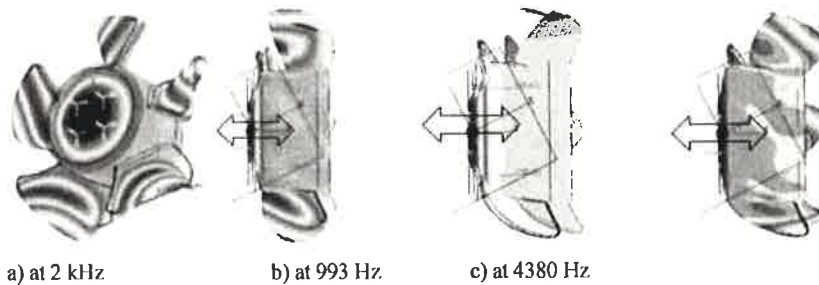


Fig.8 Vibration response

3・2 実験検証

実稼働(回転)状態の歪モードを測定し(岩原他, 2007), 実機における加振周波数2kHzの振動モードが図8(a)に合致するか確認した。図9に数値解析により求めた加振周波数2kHz時の歪分布を示す。図中に示すA, B, C, 3点の歪は振幅とその位相がほぼ同じである。そのため、この3点における2kHzの歪を測定し、実機と数値計算結果を比較した。図10に歪ゲージを貼り付けた羽根を、図11に実験装置を示す。回転している羽根に貼り付けた歪ゲージの出力信号はヒサワ技研製4chロータリコネクタを介して動歪アンプに取り込み、FFTアナライザで2kHzの振幅と位相を算出した(2015 ヒサワ技研)。ロータリコネクタのチャンネル数の制限から、1回の測定で2箇所を測定し、1箇所を基準信号とすることで、各データの位相を比較した。

図12に周波数2kHzにおけるA点の歪の測定結果を示す。CF2kHzを加振とする大きな歪が発生していることが確認できる。また、測定点3か所全て同相でほぼ同じ歪が発生している。

4. ファンモータの低騒音化

3章の結果から、低騒音化するには羽根カップ天面の軸方向振動を抑える必要がある。ただし、ファンモータの構造上の制約によりリブを追加するなどの形状変更ができないため、材質変更による低騒音化を試みた。材料はPBT系の制振樹脂を使用した。図13に周波数2kHzにおけるPC(インバータ有無)との騒音の比較を示す。PBTを使用することでインバータCF2kHzの騒音が4dB(A)ほどの低減することができた。

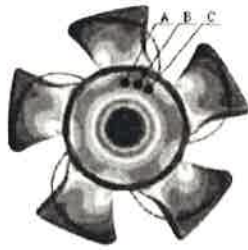


Fig.9 Strain distribution of impeller



Fig.10 Strain gauge on impeller



Fig.11 Experimental setup

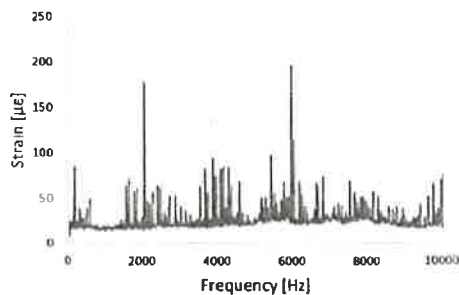


Fig.12 Strain of impeller

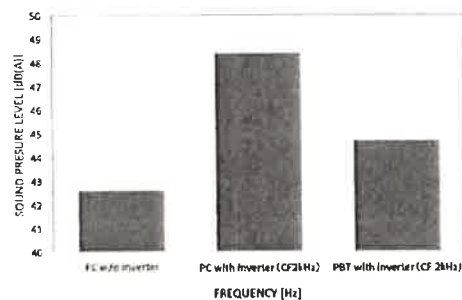


Fig.13 Comparison of SPL

5. 結 言

数値解析と歪応答を利用した実稼働解析により、羽根の振動モードを定量化し低騒音を試みた結果、以下の知見を得た。

- (1) ファンモータにインバータを組み合わせた場合、CF2kHzで羽根のカップ天面が同位相で軸方向に振動し、その結果、大きな放射音を発生する。
- (2) 歪ゲージとロータリコネクタを用いた実稼働解析により求めた歪モードから、羽根カップ部の振動モードを推測することができた。
- (3) 構造上の制約で形状変更ができない場合でも、制振樹脂を使用することCF2kHzの騒音を4dB(A)低減することができた。

文 献

岩原光男, 桑原広樹, 伊藤貴彦, 近藤敦美, 長町昭男, 高橋政行, 歪ゲージ応答による実験・実稼働モード解析, Dynamic and design conference 2007
 MSC ソフトウェア株式会社, MSC Nastran 動解析トレーニング NAS102 コースノート(2012), pp.E1-E16
 株式会社ヒサワ技研, ホームページ <http://www.hisawagiken.co.jp>

References

Iwahara M, Kuwahara H, kondo A, Nagamatsu A, Takahashi M, Modal analysis by strain gage response, Dynamic and design conference 20007 (in Japanese).
 MSC Software Company, Training text of dynamic analysis NAS102 (2012), pp.E1-E16. (in Japanese).
 Hisawa Giken Company, Homepage <http://www.hisawagiken.co.jp> (in Japanese)