

2017 年 11 月 30 日

2016 年度 永守財団 研究助成 研究報告書

所 属 機 関 名 (大学、大学院、研究所 名)	東京工業大学
職位または役職	助教
氏 名	杉元 紘也

1. 研究題目

冷却ファン用 ベアリングレスモータの回転子重心位置と振動に関する研究

2. 研究目的

データセンタのブレードサーバや携帯電話の基地局などの情報機器を冷却するための冷却ファンには、機械的なベアリングが搭載されている。図 1 に市販されている現状の冷却ファンを示す。冷却ファンの寿命は、ベアリングの寿命に律速されているため、ベアリングの故障を防ぐために、十分なメンテナンスが必要であるが、結局、数年で交換する必要がある。近年、従来技術の延長により、冷却ファンが自らベアリングを冷却することで、ベアリングの温度上昇を低減し、寿命を延長した長寿命ファンが開発されているが、根本的な問題解決には至っていない。5 年後から 10 年後、さらにモータの高速化・小型化・高効率化が進むに連れて、ベアリングの寿命と損失が問題になることは明らかである。したがって、ファンモータのベアリングレス化が強く要求されている。

図 2 に申請者が独自に研究開発中のベアリングレスファンを示す。ファンブレードを取付けた回転子を磁気浮上させることで、回転軸を非接触支持しながらモータを回転させることに成功した。実機試験により、低速領域で安定な磁気浮上と回転を実現しているが、6000 r/min 付近で振動が発生し、回転速度の向上が妨げられている状況である。

本研究課題では、冷却ファン用 ベアリングレスモータの振動発生メカニズムを解明し、振動低減方法を検討する。



Fig. 1. Conventional cooling fans.



Fig. 2. Proposed bearingless cooling fan.

3. 研究内容及び成果

図 3 にファンブレード無の回転子単体時の回転速度に対する傾き方向の共振周波数を示す。静止時の共振周波数は 133 Hz となる。前回り歳差運動の共振周波数 f_f は、回転速度の増加と共に増加する。一方、後ろ回り歳差運動の共振周波数 f_b は、回転速度の増加と共に減少する。 f_b と回転周波数の交点は 102 Hz であるため、6120 r/min が危険速度となる。

図 4 にファンブレードを回転軸に取り付けた時の、回転速度に対する傾き方向の共振周波数を示す。慣性モーメントが 5.8 倍に増加したため、静止時の共振周波数は 54.8 Hz となる。 f_b と回転周波数の交点は 34 Hz であるため、2040 r/min が危険速度となる。一般的に問題となるのは前回り歳差運動との共振である。したがって、ファンブレードを取り付けることで、ジャイロ効果が寄与し、前回り歳差運動の共振を避けることが可能であることが明らかになった。

図 5(a)の回転子は、2 層の 8 極セグメント磁石を持ち、回転軸の上下両端には反発受動形磁気軸受用のリング磁石が組付けられている。本試作機に用いている永久磁石材料は、全て Nd-Fe-B 磁石の N40SH である。回転子の質量は 0.056 kg である。図 5(b)に示すファンブレードの質量は 0.040 kg である。したがって、ファンブレードを取り付けた回転子の質量は 0.096 kg である。

図 6 にファンブレード無しでモータを加速させた時の回転軸の振動波形を示す。回転速度が 6120 r/min の時、後ろ回り歳差運動と回転周波数は一致しているが、直ちに発散することはないが、軸振動は定常的に大きく、回転子はタッチダウンした。

図 7 にファンブレードを取り付けてモータを加速した時の回転軸の振動波形を示す。加速中、回転速度が 2040 r/min に近づくと、後ろ回り歳差運動と回転周波数が一致し、振動が発生する。しかし、加速して通過するため、振動は大きくなり、目標回転速度 7000 r/min に到達した。実験結果から、ファンブレードを取り付けた方が軸振動は小さく、高回転まで駆動可能であることが明らかになった。

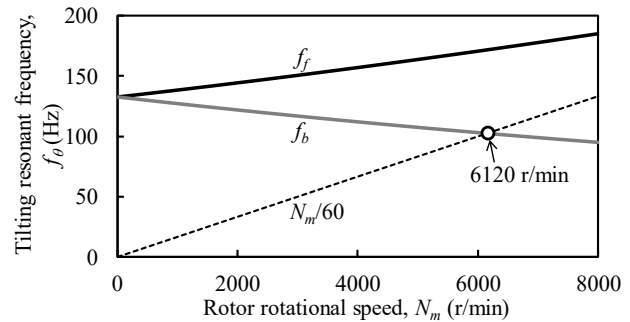


Fig. 3. Calculated resonance frequencies of frontward and backward whirls without fan blade.

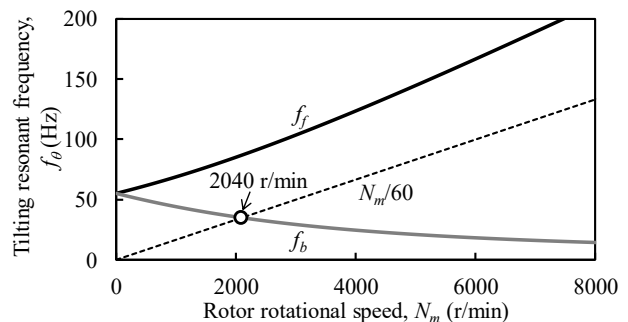
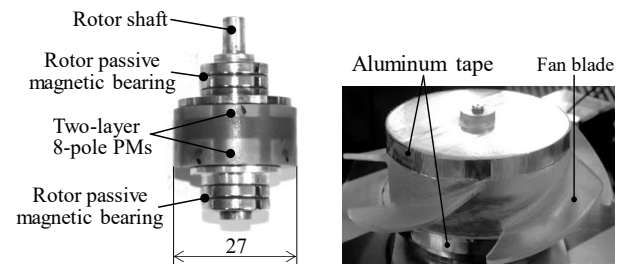


Fig. 4. Calculated resonance frequencies of frontward and backward whirls with fan blade.



(a) Rotor shaft (b) Test machine with fan blade
Fig. 5. Fabricated test machine.

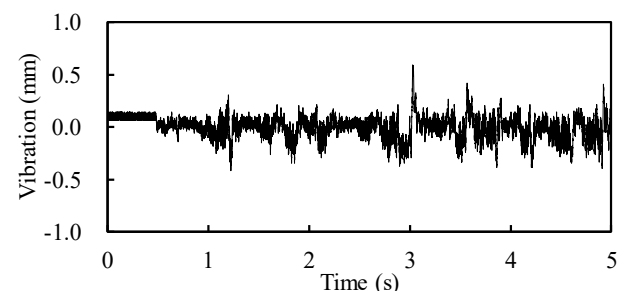


Fig. 6. Shaft vibration without fan blade.

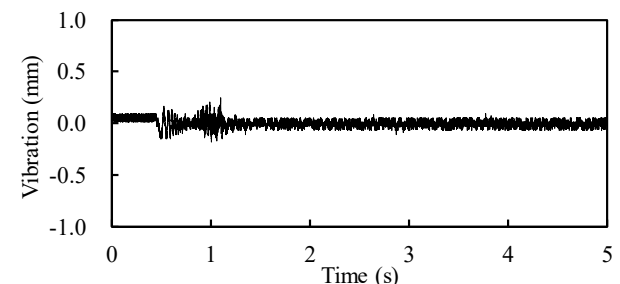


Fig. 7. Shaft vibration with fan blade.

4. 今後の研究の見通し

本研究では、冷却ファン用ベアリングレスモータの重心位置を考慮した回転子設計を行い、ジャイロ効果を考慮した傾き方向の運動方程式から、ファンブレード有り無しでの試作機の危険速度を算出した。また、実際に回転子を試作し、実機検証を行い、ファンブレード有り無しでの回転軸の振動を比較し、ファンブレード有の方が軸振動は小さいことが明らかになった。さらに、ファンブレード有でのモータ加速時の傾き方向の振動波形を測定し、タッチダウンせずに危険速度を通過可能であることを明らかにした。

今後、危険速度を通過可能な最低限必要な半径方向及び傾き方向の剛性、慣性モーメント、ジャイロ効果の関係を明らかにする予定である。また、危険速度を通過するために必要なモータの加速度とアンバランス量の関係についても研究を行う予定である。

5. 助成研究による主な発表論文、著書名

12月7日に電気学会 MAG/MD/LD 合同研究会にて発表予定

杉元 紘也，千葉 明：「冷却ファン用 1 軸制御ベアリングレスモータのジャイロ効果と傾き方向の安定性」，電気学会研究会資料，MAG-17-168/MD-17-110/LD-17-089, 2017