

小形誘導モータの低騒音化技術

宮本佳典* 米谷晴之***
 水谷敏彦* 出口 学†
 吉桑義雄**

Method of Reducing Noise for Small Induction Motors

Yoshinori Miyamoto, Toshihiko Mizutani, Yoshio Yoshikuwa, Haruyuki Kometani, Manabu Deguchi

要 旨

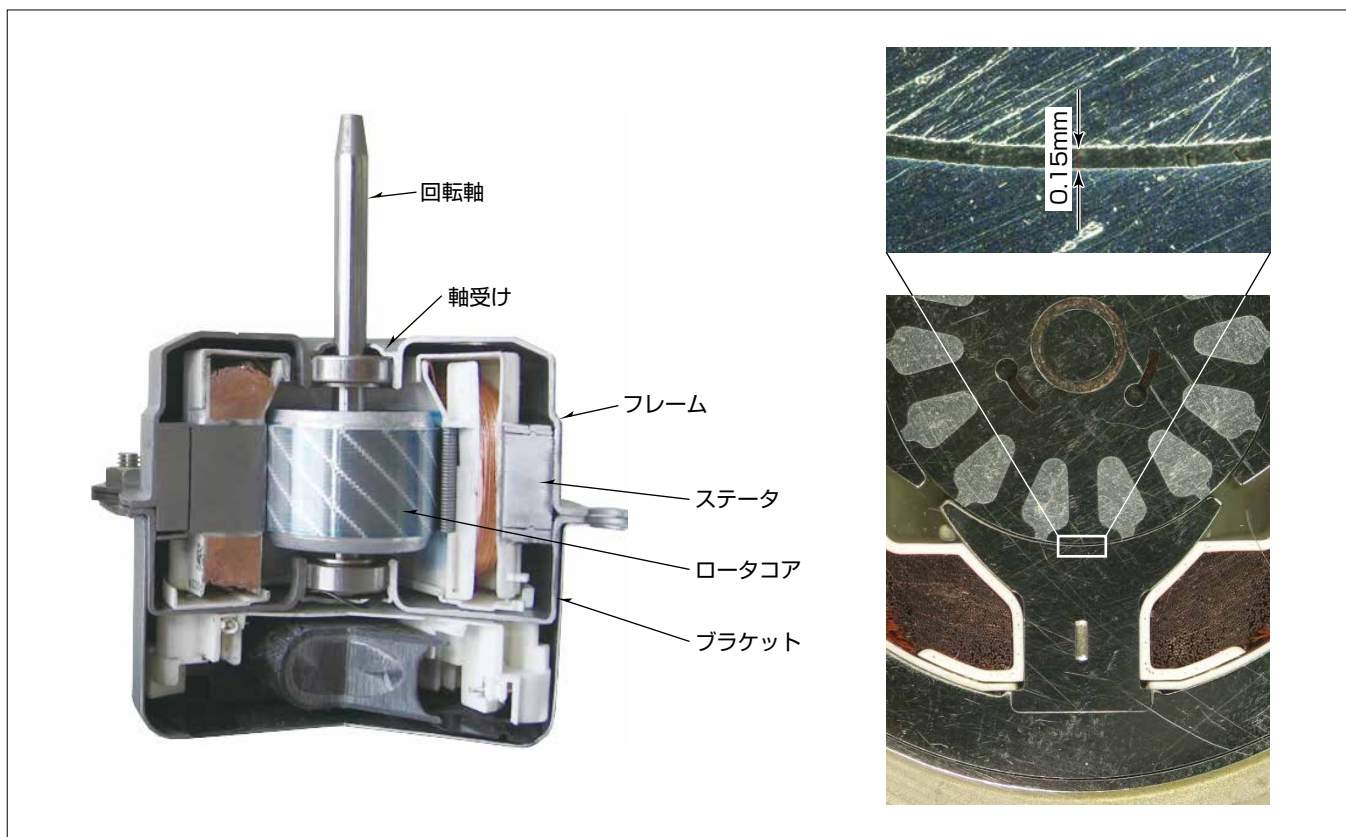
換気扇や送風機などに小形誘導モータが多く用いられている。1台当たりの消費電力が小さいが、国内での普及台数の多さと運転時間の長さから総消費電力が大きいため、消費電力低減に向けた取組みが継続されている。一般に、コイルを分布巻から集中巻に変えて電気抵抗を小さくする方法や、ステータとロータの間の空隙長を小さくして磁路抵抗を下げる方法を採用することが多い。どちらの方法もモータの電磁騒音が増加するという副作用があるため、住宅等で用いられて低騒音が要求されるモータに採用することが困難であった。

そこで、モータの電磁騒音がロータの偏心によっても増加することを逆に利用し、偏心を従来のモータより小さく

することで、集中巻と空隙長の短縮による電磁騒音の増加を打ち消すことにした。

直列に接続された二つのコイルの電圧差がロータの偏心量に比例することを見い出し、その関係を利用して偏心量を高精度に測定する技術を開発した。2相のコイルに異なる周波数の交流電圧を印加することで2方向の偏心量を同時に測定できるようになった。また、ステータコアとブラケットの間に隙間を設けてロータ位置を調整し、レーザ溶接で固定する工法を開発し、偏心量を従来の1/8以下に低減できた。

その結果、低消費電力化と低騒音化を同時に実現できた。



低騒音化技術を適用して製造したモータ

コイルを分布巻から集中巻に変えたことでモータの軸方向長さが短くなったため、出力軸と反対側の空間に従来外付けしていた進相コンデンサを内蔵している。モータの断面を顕微鏡で観察した結果、ステータとロータの間に0.15mmの空隙が周方向に均一に形成されており、偏心量測定技術と調心組立技術の有効性が確認できた。

1. ま え が き

安価で取扱いが容易な小形誘導モータが換気扇や送風機に多く用いられている。消費電力が50W以下と小さいが、国内での普及台数が多く、24時間換気で常時運転する使用形態も多いため、消費電力を低減できれば大きな省エネルギー効果が得られる⁽¹⁾。誘導モータの主な損失である銅損を低減するためには、コイルを分布巻から集中巻に変えて電気抵抗を小さくしたり、ステータとロータの間の空隙長を短縮して励磁電流を小さくしたりする方法がとられる。どちらの方法もモータの電磁振動や電磁騒音が増加するという問題があり、技術的な限界があった。

本稿ではロータの中心軸の位置を1μmの精度で調整し、偏心量を低減することでモータの低騒音化を実現でき、高効率化の阻害要因を取り除くことができる技術について述べる。

2. 偏心がモータの振動に及ぼす影響

ステータの中心軸に対してロータの中心軸が偏心している場合、ステータとロータ間の空隙長が不均一になって不平衡磁気吸引力が生じることによって、モータの振動が大きくなることが知られている⁽²⁾⁽³⁾⁽⁴⁾。開発対象としたモータで不平衡磁気吸引力を計算した結果を図1に示す。縦軸に不平衡磁気吸引力を、横軸にロータの偏心率(偏心量の空隙長に対する比)をとり、集中巻と分布巻を比較した。偏心率40%までの範囲で不平衡磁気吸引力が偏心率に比例して増加していること、同じ偏心率で比較すると集中巻の方が分布巻に比べて不平衡磁気吸引力が約4倍大きいことが分かる。

従来の分布巻モータでは、空隙長0.3mmで偏心率30%以下、従って偏心量が90μm以下になるように設計していた。集中巻モータで分布巻モータと同等の不平衡磁気吸引力にするためには、図1から、偏心率を8%以下にする必要があることが分かる。効率向上を図り空隙長を0.15mmに短縮した場合、偏心量の許容範囲が12μm以下になる。

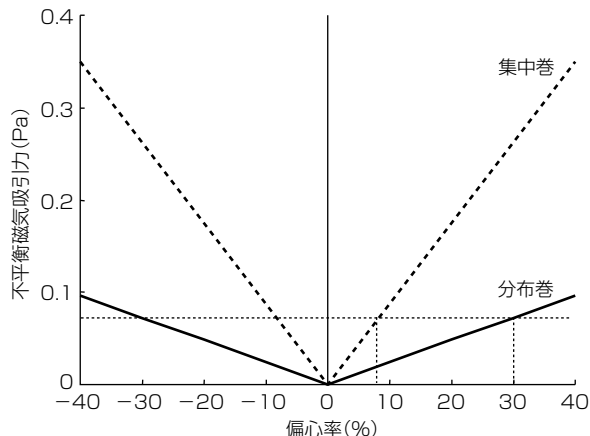


図1. 不平衡磁気吸引力の計算結果

ロータの偏心量を1μm以下の精度で測定できる既存の方法がなかったため、新たな測定技術の開発が必要になった。

3. 偏心量測定技術

3.1 基本原理

図2に2相2極4スロットの集中巻モータの模式図を示す。図の横方向と縦方向に配置されているそれぞれ2個のコイルが直列に接続されている。縦方向の2個のコイルに交流電圧を印加すると、図2(a)に示すようにロータが縦方向に偏心していない場合、上側のコイルの電圧V1と下側のコイルの電圧V2が等しくなる。図2(b)に示すようにロータが下側に偏心すると、上側の空隙長が大きくなり磁路抵抗が大きくなるため、上側のコイルに鎖交する磁束が減少し、上側のコイルの電圧V1が下側のコイルの電圧V2に対して小さくなる。この現象を利用すればモータのコイルを位置検出センサとして活用でき、ロータの偏心量を電氣的に測定できることが分かった⁽⁵⁾⁽⁶⁾。

図3に実際のモータで電圧の変化量を測定した結果を示す。縦軸に電圧偏差(2個のコイルの電圧の平均値と1個のコイルの電圧との差)、横軸に偏心率をとっている。偏心率50%以下の範囲で電圧偏差が偏心率に比例することが分かる。また、偏心率を8%以下にするためには、電圧偏差を1V以下にすれば良いことも分かった。

3.2 測定回路

実際のロータには振れと呼ばれる動的偏心があるため、ロータを回転させながらその動的な中心を測定することにし

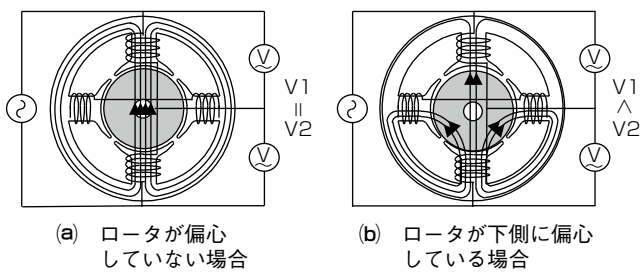


図2. ロータの偏心と電圧差の関係

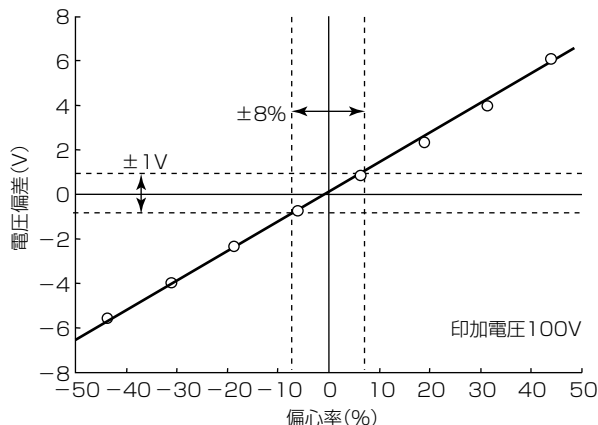


図3. 電圧偏差と偏心率との関係

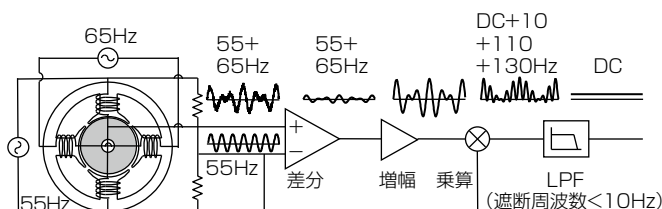


図4. 偏心量測定回路の構成と動作

た。測定時間を短縮するため、ロータの回転を止めず、縦方向、横方向の偏心量を同時に測定する必要があった。しかし、前記の方法では、縦方向、横方向の直列コイルが発生する磁束が互いに干渉するため、正確に測定できないという問題が生じた。そこで、2組の直列コイルに異なる周波数の交流電圧を印加し、測定回路で周波数分離する方法を考案した。

図4に回路の構成を示す。2組の直列コイルに55Hz, 65Hzの交流電圧を印加し、それぞれの直列コイルの中間点から電圧波形を取り出す。この波形には55Hzと65Hzの周波数成分が含まれている。また、印加電圧の1/2となるように抵抗分圧された基準点の電圧波形を取り出す。この波形には55Hz, 65Hzどちらかの周波数成分だけが含まれている。中間点の電圧と基準点の電圧の差を増幅し、得られた波形に基準点の電圧波形を乗算する。さらに、ローパスフィルタ(LPF)を通すと、基準点の電圧波形と同じ周波数の成分だけが直流電圧として得られる。この回路を用いることで、縦方向、横方向の偏心量を同時に測定できるようになった。また、インバータなどのノイズが多い製造ラインでも、十分なS/N比(Signal to Noise ratio)で偏心量を測定できるようになった⁽⁷⁾⁽⁸⁾。

4. 調心組立技術の実用化

3章で述べた偏心量測定技術を基に、年産100万台規模の量産ラインで、ロータの中心軸を1 μ m以下の精度で調心して組み立てる技術を実用化した。

4.1 モータの基本構造

図5にモータの断面図を示す。フレームと呼ぶ外郭に巻線されたステータが端部の一部を残して圧入されている。回転軸にロータコアとそれを挟むように2個の軸受けが圧入されている。軸受けの一方がフレームに設けられたハウジングに納められ、もう一方がブラケットと呼ぶ外郭に設けられたハウジングに納められている。ロータを調心するために、ステータコアの外周とブラケットの内周の間に、従来のモータにはなかった隙間を意図的に設けている。この隙間を利用してブラケットとロータの位置を移動して調整する⁽⁹⁾。

この方法ではロータの中心軸がステータの中心軸と平行にならない場合がある。そこで、ロータの傾き角度とロータの軸方向中心の偏心率を変えてモータの振動加速度を測

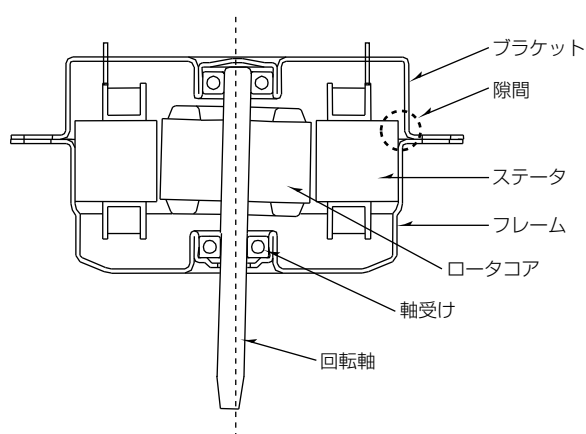


図5. 開発したモータの断面図

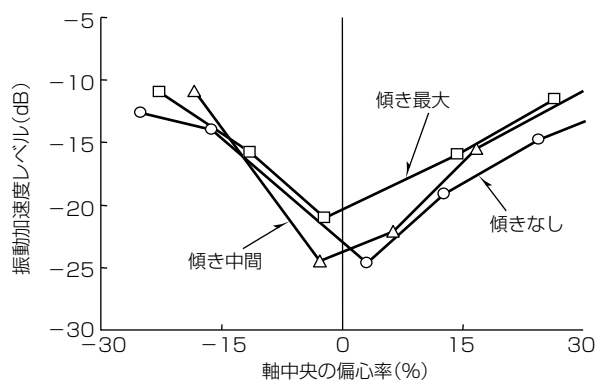


図6. ロータの傾きの影響

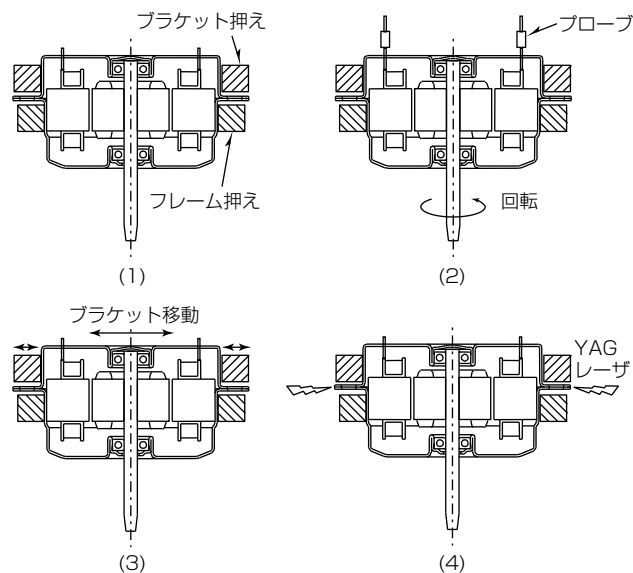


図7. 調心組立工程

定した。結果を図6に示す。傾き角が変わってもロータの軸方向中心の偏心率を最小にすれば、振動加速度が最小になることが分かった。

4.2 組立工程

調心組立工程は次のとおりである(図7)。

- (1) ステータが圧入されたフレームにロータを挿入し、上にブラケットを載せる。

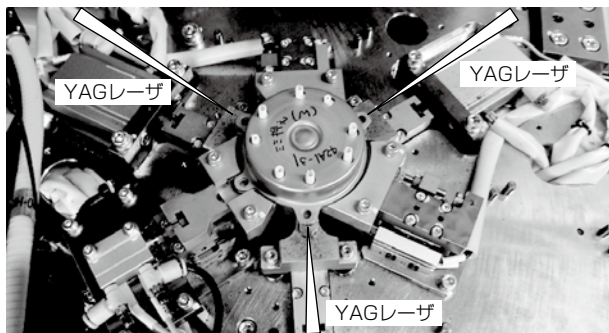
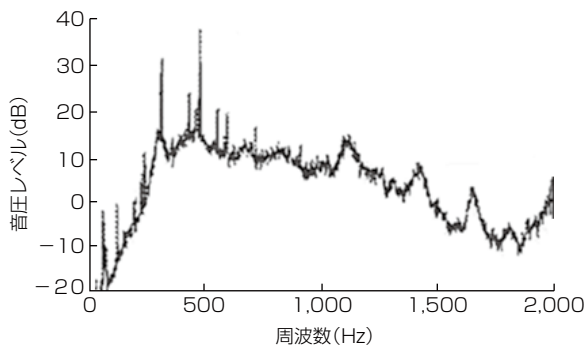
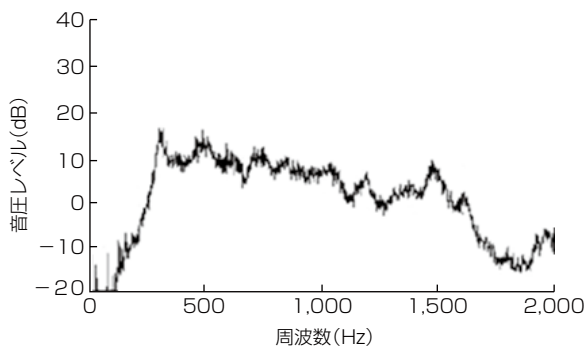


図8. YAGレーザーによる3か所同時溶接



(a) 調心していないモータ



(b) 調心したモータ

図9. 負荷時の騒音測定結果

- (2) ロータを1周させて動的偏心量を測定する。
- (3) (2)で測定した動的偏心量が最小になるようにブラケットを移動させる。
- (4) ブラケットとフレームのフランジをYAG(Yttrium Aluminum Garnet)レーザーで溶接して固定する。
従来のモータではフレームの外縁部に設けた爪を折り曲げ、ブラケットの外縁部を挟んで固定していた。この方法では調心したブラケットが応力によってずれてしまうため、新しいモータでは溶接歪(ひず)みの小さいYAGレーザーで固定する方法を採用した。さらに、レーザーを分岐して外縁部3か所を同時に溶接することで、1か所ずつ溶接した場合に溶接された方向にずれる現象を抑制するとともに、溶接工程の時間短縮も実現した(図8)。

4.3 騒音低減効果

調心組立技術の適用による騒音低減効果の測定例を図9

に示す。負荷運転時にモータが発生する騒音の周波数分析結果を表している。調心していないモータでは480Hzに顕著なピークが見られるが、調心したモータではその音を20dB低減できていることが分かる⁽¹⁰⁾。

5. むすび

小形誘導モータを対象にロータの中心軸を1 μ m精度で調心して偏心率を最小化することで低騒音化を実現する技術について述べた。2010年にこの技術を適用した最初のモータを量産化した後、適用機種を順次拡大し、2019年に容量の大きいモータの量産を開始した。その間に周辺技術が進歩し、測定回路を専用設計のアナログ回路から当社製C言語コントローラによるデジタル処理に代替した。この技術の適用範囲が小形モータに限られないので、今後も適用の拡大を図り、モータの低騒音化に貢献していく。

参考文献

- (1) 三菱総合研究所：機械器具等の省エネルギー対策の検討に係る調査報告書，平成23年度エネルギー使用合理化促進基盤整備事業（2012）
- (2) Ellison, A.J., et al.: Effects of rotor eccentricity on acoustic noise from induction machines, Proceedings of the Institution of Electrical Engineers, **118**, No.1, 174~184 (1971)
- (3) Yang, S.J.: Low-Noise Electrical Motors, Oxford University Press, 15~77 (1981)
- (4) 吉桑義雄, ほか：小形誘導電動機の電磁加振力発生要因および低減方法の検討, 日本AEM学会誌, **14**, No.1, 102~107 (2006)
- (5) 吉桑義雄, ほか：モータの振動騒音低減方法, 一般社団法人 日本機械学会, 2009年度年次大会講演論文集, No.09-1, 75~76 (2009)
- (6) 米谷晴之, ほか：対向コイルの電圧差による回転子の偏心検出, 電気学会回転機研究会資料, RM-10-141, 43~47 (2010)
- (7) 吉桑義雄, ほか：特許第5592688号「回転電機の偏心推定方法, 偏心修正方法, および回転電機の偏心推定システム」(2014)
- (8) 宮本佳典, ほか：特許第5511281号「回転電機の回転子軸心位置測定方法及び回転電機の回転子軸心位置測定装置」(2014)
- (9) 宮本佳典, ほか：特許第5283566号「回転電機及びその製造方法」(2013)
- (10) 吉桑義雄, ほか：巻線を偏心推定センサとして活用した超低騒音モータの開発(偏心量1 μ m以下の実現によるモータ低騒音化), 一般社団法人 日本機械学会論文集, **84**, No.861 (2018)