

畜舎用換気扇の改良

Improvement of ventilation fan for cattle farm

杉野 実[※]
Minoru Sugino
伊藤 嘉章[※]
Yoshiaki Ito
吉田 和弘[※]
Kazuhiro Yoshida

1. はじめに

畜舎用換気扇は、畜舎内の換気、乾燥、家畜の暑熱対策など、飼育環境の改善を目的として設置されている。

当社は2003年に業界で初めてブラシレスDCモータを搭載した高効率な畜舎用換気扇を開発し、販売を開始した。その後、小型化、軽量化、更なる高効率化と改良を重ねてきたが、騒音が大きいという問題があった。そのため、騒音対策部品を追加し、組立調整の上、製作していた。

本稿では、これまでの騒音対策を見直し、静音化を実現するため、磁場解析を用いてモータの振動を低減した事例を紹介する。

2. 製品概要

畜舎用換気扇は、モータ、ファン、ベルマウス、アングルを主要部品として構成される。畜舎用換気扇の仕様を表1、外観を図1に示す。

表1 畜舎用換気扇の仕様

項目	仕様	
型式	FKT3001	
羽根径	950 mm	
電源	3 φ 200 V 50 / 60 Hz	
消費電力	310 W	
風量	800 m ³ / min	
寸法	直径 (ベルマウス)	1032 mm
	奥行き	216 mm
質量	19 kg	

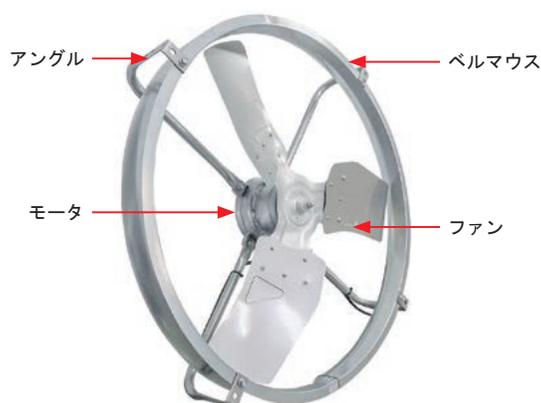


図1 畜舎用換気扇の外観

※ 機器事業部 研究開発部 研究開発G

3. 静音化

3.1 騒音の原因

換気扇の騒音は、ファンによる風切り音とモータやファンの振動音に分けることが出来る。現行品は振動音が大きく、騒音に繋がっていた。そこで今回の改良では、振動音を対象として改善することとした。

振動音の主な発生要因は、ファンのアンバランスに起因するもの、各部品の固有振動数とモータのトルクリップルの周波数が一致する共振に起因するものがある。現行品で発生している振動音の周波数は、トルクリップルの周波数と同期したものであるため、振動音の発生原因をトルクリップルとモータ軸、及びファンの共振と仮定した。

共振の対策は、各部品の固有振動数を計算して形状の変更等でトルクリップルの周波数から共振周波数をずらす、もしくはトルクリップルの低減により可能である。トルクリップルは主にコギングによるものである。現行品はコギングが大きいいため、それを低減することにより静音化を図る。

3.2 コギングトルクの低減策

コギングとは、永久磁石を持つモータを回転させた際に磁氣的吸引力が回転角度に依存して細かく脈動する現象である。これによって発生するトルクをコギングトルクと言う。コギングトルクは、モータが回転する際には外乱となり、モータの性能に影響する。脈動は振動となり、騒音の要因となるため、静音化にはコギングトルクの低減が重要となる。

コギングトルクの低減には以下の方法と課題がある。

- ・スキューの追加

電磁力がスラスト方向に発生することでトルク定数が低下し、モータ効率が低下する。

- ・分数スロットの採用

整数スロットの巻線パターンと異なるため、巻線の設計や製造工程が複雑になる。

- ・回転子コア形状の変更

磁氣的吸引力の変化が少ない形状に回転子を変更する。

今回は、製造工程が複雑化してコストアップにつながるため、スキュー及び分数スロットは採用しないこととした。回転子コア形状の設計変更は、磁場解析による設計の負荷軽減や、現状の生産設備をそのまま流用できるという利点があるため、これを採用した。

3.3 回転子コア形状の検討

当社の畜舎用換気扇は、固定子に巻線、回転子に永久磁石を取り付けたブラシレスDCモータを採用している。回転子は永久磁石を内部に埋め込んだIPM (Interior permanent magnet)型である。

コギングトルクは、回転子が回転することで回転子と固定子間の磁束が変化して生じる。当社のモータは、回転子の磁石12極、固定子のスロットが36スロットであるため、磁石1つあたり3本のティースそれぞれに磁束が流れることになる。この状態を図2に示す。

3本のティースそれぞれに流れる磁束は、回転方向成分と直交方向成分に分解することができる。直交方向成分はティースに平行に、回転方向成分はそれぞれティースに垂直に発生している。直交方向成分には回転方向の力が発生していないため、コギングトルクに影響は無い。回転方向成分は、それぞれ回転方向と逆回転方向に力が発生しており、この力の合成が0に近づけばコギングトルクが0に近づくことになる。しかし、現行品は、回転方向成分の合成が大きいため、コギングトルクが大きく発生している。この状態を解消するには、回転子の形状を、回転方向成分の合成が0に近づくような形状にすれば良い。この形状については、回転子の外径を花卉形状にすると効果があることが知られており、これを採用した⁽³⁾。花卉形状を図3に示す。磁石密度の高い磁石の境界部分を窪ませることでティースと回転子の間に距離ができ、回転方向成分が減少することで合成が0に近づくことが期待できる。

また、現行品の生産設備を流用するため、回転子の最大外径を現行品と同様とした。

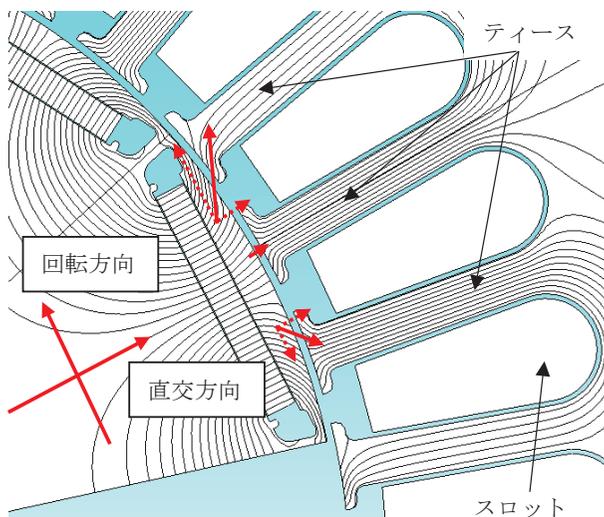


図2 コギングトルクが最大の状態

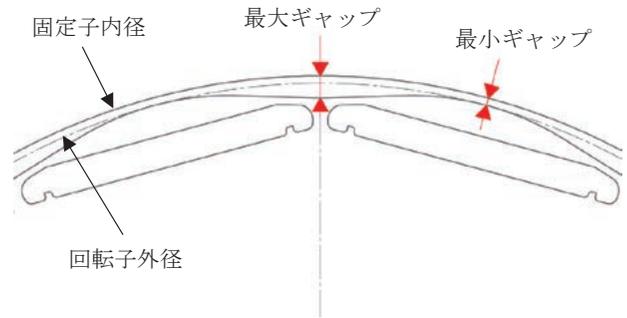


図3 回転子コアの花弁形状

3.4 解析結果

(1) コギングトルクの解析

回転子の形状に花卉形状を採用するにあたり重要になるのは、回転子外径と固定子内径のギャップである。ギャップが狭ければコギングトルクは低減せず、ギャップが広ければ効率が悪くなる。そのため、磁場解析を用いて最適なギャップを検討した。

現行品は円形状であるため、外周すべてのギャップが均一で0.5 mmである。それに対し花卉形状は、ギャップが広いところと狭いところ出来ることになる。回転子の最大外径は現行品と同様とするため、最小ギャップは0.5 mm固定とした。そのうえで最大ギャップを広げていき、それぞれ磁場解析を実施した。

磁場解析の条件を表2に、磁束の解析結果を図4に、最大ギャップごとのコギングトルクの解析結果を図5に示す。

解析の結果から、最大ギャップを、コギングトルクが最も小さくなっている1.5 mmとした。また、磁束の解析結果から、回転方向成分の合成が0に近い状態になっていることが分かる。

最大ギャップを1.5 mmとすることでコギングトルクは、現行品最大1.32 N・mに対して0.14 N・mへ大幅に低減できることが分かり、静音化の目処が立った。

表2 磁場解析の条件と結果

項目	ギャップ[mm]	コギングトルク[N・m]
現行品	0.5均一	1.32
改良品	最小0.5、最大1.0	0.36
	最小0.5、最大1.5	0.14
	最小0.5、最大2.0	0.15

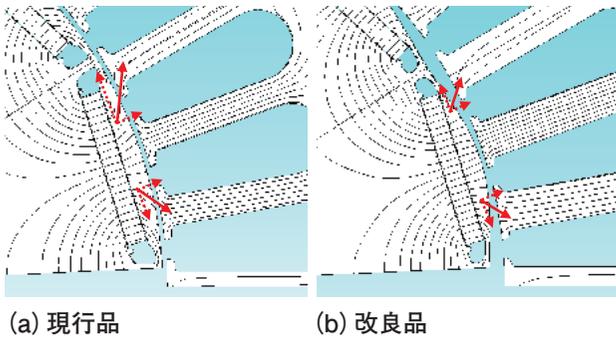


図4 磁束の解析結果

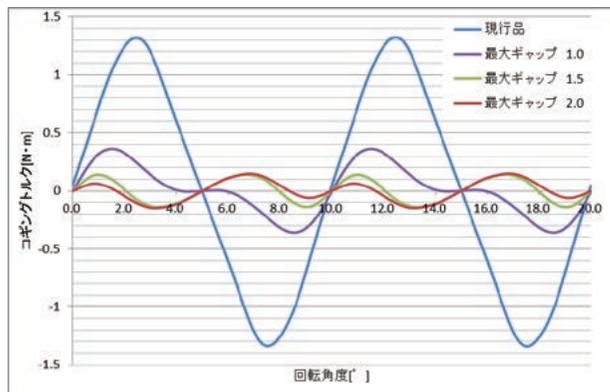


図5 コギングトルクの解析結果

(2) モータ特性の解析

現行品モデルと改良品モデルを作成し、定格出力時のモータ特性を解析した。磁場解析の条件を表3、モータの電気特性結果を表4に示す。

解析結果から、モータの特性は現行品と同等となる目処が立った。

表3 磁場解析の条件

項目	現行品	改良品	
巻線仕様(線径は同一)	116巻	106巻	
ステータコア	ティース幅	3 mm	4 mm
	スロット外径	125 mm	129 mm
ロータコア外径形状	円形状	花卉形状	

表4 モータの電気特性結果

項目	現行品	改良品
消費電力[W]	306	307
モータ効率[%]	87.0	86.9

※インバータ効率は95%とする。

4. 試作機

前述の解析の妥当性を確認するため、改良品を搭載した換気扇を試作し、現行品と比較した。なお、現行品には騒音対策部品が取り付けられており、改良品は騒音対策部品を外してある。

現行品と改良品の騒音比較を表5、コギングトルク比較を表6に示す。

表5の結果から、改良品の騒音値は現行品に比べて低減しており、静音化の目標を達成したと言える。

表6の結果から、コギングトルクは、現行品の約1/4に低減しており、騒音に対する低減効果があったと言える。なお、コギングトルクの磁場解析と試作結果との差異は、回転子の寸法誤差によるものである。

表5 騒音比較(ピーク値)

風量	現行品	改良品
100%	59.1 dB	56.0 dB
50%	39.0 dB	36.6 dB
15%	26.0 dB	11.9 dB

表6 コギングトルク比較

項目	現行品	改良品
コギングトルク[N·m]	1.03	0.27

5. あとがき

磁場解析によりコギングトルクを低減させたモータを設計した結果、騒音対策部品を廃止しても現行品と比べて騒音を低減できた。また、騒音対策部品が不要となり、原価低減にも繋がった。

今後は回転子の最適形状を解析すること、また解析精度を向上させることで製品の改良を図っていく。

参考文献

- (1) 武田洋次、松井信行、森本茂雄、本田幸夫：「埋め込み磁石同期モータの設計と制御」オーム社(2001)
- (2) 川村清美、横内保行：「業務用空調向け回路一体型IPMモータの開発」Panasonic Technical Journal Vol.55 No.3(2009)
- (3) 上田正嗣、池田祐司、遠藤佳宏：「永久磁石埋込型同期モータ(IPMSM)のロータ形状がトルクリップルに及ぼす影響」電気学会研究会資料.RM(2014)