

畜舎用送風機の高効率化

Development of high efficiency ventilation fan for cattle farm

1. はじめに

近年、乳牛の搾乳量の増加と肉牛の肥育および肉質向上を図るために、畜舎内の温度調整と換気、敷き草乾燥など環境改善を目的とした、大型送風機の設置が普及してきている。

当社は2003年に業界で初めて従来の誘導電動機よりも高効率なブラシレスDCモータを搭載して省エネ化を図った畜舎用送風機を開発し、販売を開始した。

本稿では、さらなる高効率化を目指し、ファン形状の流体シミュレーション解析を用いた送風性能の向上事例を解説する。

2. 畜舎用送風機の構成と仕様

2.1 構成

畜舎用送風機は、モータ、ファン、ベルマウス、アングルの4つの部品で構成される。送風性能は、ファンとベルマウスのそれぞれの形状と互いの位置関係により大きく影響される。畜舎用送風機の外観を図1に示す。

2.2 仕様

表1 畜舎用送風機の仕様

項目	仕様
ファン径	95 cm
電源	3φ 200 V 50 / 60 Hz
定格出力	400 W
風量	800 m ³ /min.
質量	19 kg

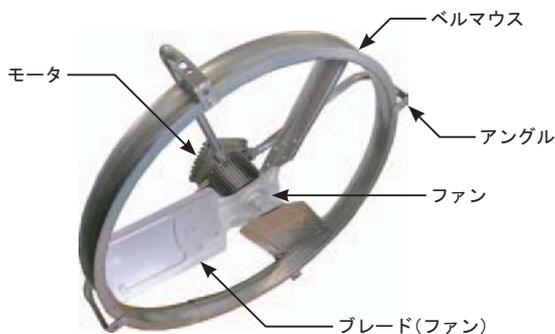


図1 畜舎用送風機の外観

3. 開発の概要

ファンは回転すると、ブレード前縁部において上面側と下面側の気流速度に差が生じ、圧力差が発生する。その圧力差によって下面側から上面側方向へ力(以下、揚力)が発生する。回転中のブレード部分の気流の速度と圧力分布のシミュレーション解析例を図2に示す。気流の速度を矢印、圧力の分布を色分けで表示した。赤色の部分の圧力が最も高く、黄色、緑色、青色の順で低くなっている。

ブレードは揚力と同時に空気との摩擦や空気の粘性などによる抵抗力(以下、抗力)も受ける。回転するためには、抗力に打ち勝つ回転エネルギー(以下、軸動力)が必要である。ブレードに働く力を図3に示す。空気を動かす力は、揚力と抗力との合成力の反作用で発生するが、風量に影響を及ぼすのは回転方向と垂直な揚力の反作用成分のみである。

したがってファンを高効率化するには、少ない軸動力で大きな風量を得られるように、抗力を小さく、揚力は大きくなるようにすればよい。抗力と揚力に影響を及ぼす下記の要素についてシミュレーション解析を行い、実機にて確認した。

抗力と揚力に影響を及ぼす要素

- ・迎え角
- ・ブレードの反り半径
- ・ブレードのアスペクト比
- ・ブレードとベルマウスの隙間
- ・ベルマウスの高さ
- ・ブレードの前縁形状

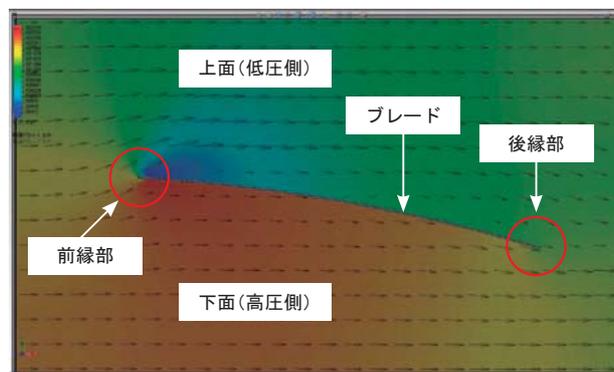


図2 回転中のブレード部分の解析結果

※ 機器事業部 技術部 設計1G

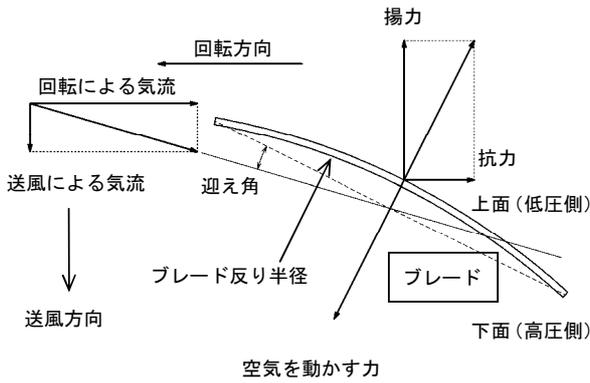


図3 ブレードに働く力

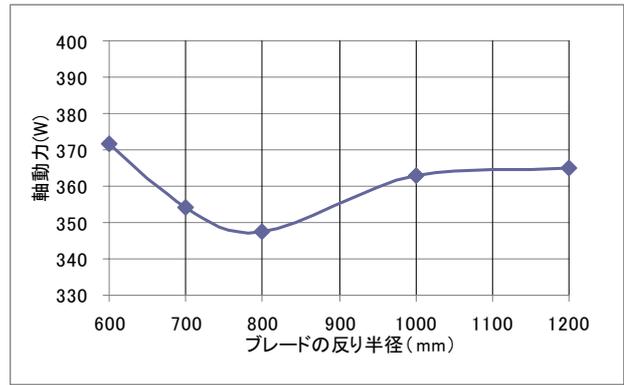


図5 ブレードの反り半径と軸動力

3.1 迎え角

迎え角とは、ブレードと気流が交差する角度のことである。ブレードが受ける揚力と抗力は、迎え角に左右され、迎え角が小さくなればともに小さくなり、大きくなれば大きくなる。但し、迎え角が大きくなり過ぎると、空気がブレード上面から剥離し、揚力は低下する。

風量を一定とし、迎え角を変化させてシミュレーション解析を行った結果、迎え角15°で軸動力は最も小さくなった。迎え角と軸動力を図4に示す。

3.2 ブレードの反り半径

ブレードを反り形状とすることにより、ブレード上下面の圧力差がさらに大きくなり、揚力も大きくなる。ただし反り半径が小さすぎると空気がブレード上面から剥離し、揚力は低下する。

風量を一定とし、反り半径を変化させてシミュレーション解析を行った結果、反り半径800mmで軸動力は最も小さくなった。ブレードの反り半径と軸動力を図5に示す。

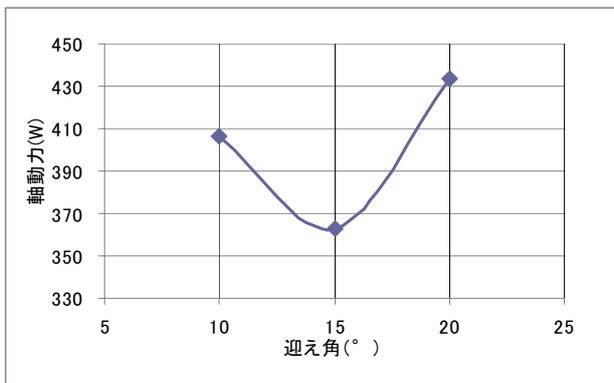


図4 迎え角と軸動力

3.3 ブレードのアスペクト比

翼端渦とは、ブレード側縁部において圧力の高い下面側から圧力の低い上面側へ回り込む渦のことである。この渦は抗力を発生するだけでなく、ブレード上面側の気流を乱し、速度を低下させるため、揚力を低下させる。この翼端渦は、側縁部のブレード幅を狭くして、発生する部分を少なくすれば低減される。ブレード長とブレード幅の比をアスペクト比という。翼端渦の発生メカニズムを図6に、ブレード各部の名称を図7に、翼端部分のシミュレーション解析結果を図8に示す。

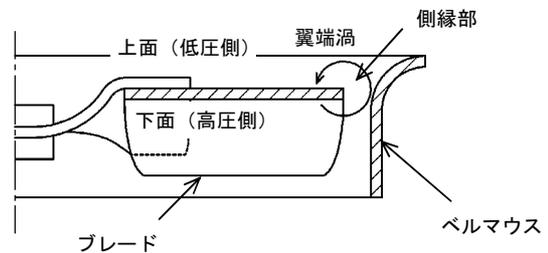


図6 翼端渦の発生メカニズム

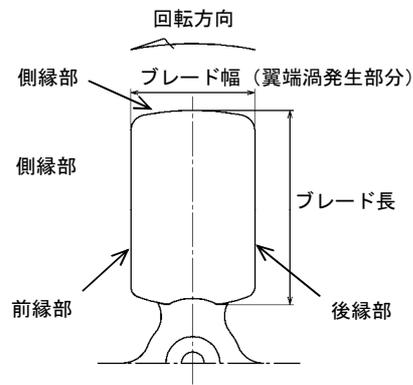


図7 ブレード各部の名称

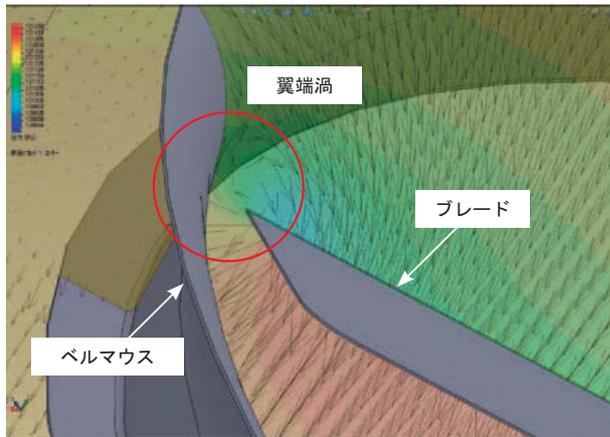


図8 翼端部分の解析結果

風量を一定とし、アスペクト比を変化させてシミュレーション解析を行った結果、アスペクト比1.7程度で軸動力は最も小さくなった。アスペクト比と軸動力を図9に示す。

3.4 ブレードとベルマウスの隙間

ブレードとベルマウスの隙間を狭くすれば、翼端渦を低減する効果がある。隙間による翼端渦の発生状況の違いを図10に示す。風量を一定とし、隙間を変化させてシミュレーション解析を行った結果、隙間が狭くなるほど軸動力は小さくなった。ただし、回転中におけるブレードとベルマウスの干渉を考慮して隙間は5mmとした。隙間と軸動力を図11に示す。

3.5 ブレードの前縁部形状

揚力は、ブレード前縁部に対して垂直な気流に大きく影響される。しかしブレード前縁部と平行な気流は、ブレードと迎え角を持たないため、揚力には影響しない。

したがって、ブレード前縁部と気流の交差する角度(前進角)は、揚力に影響がある。前進角の揚力への影響を図

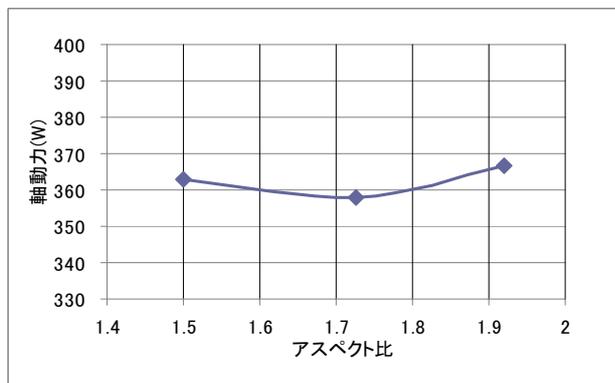


図9 アスペクト比と軸動力

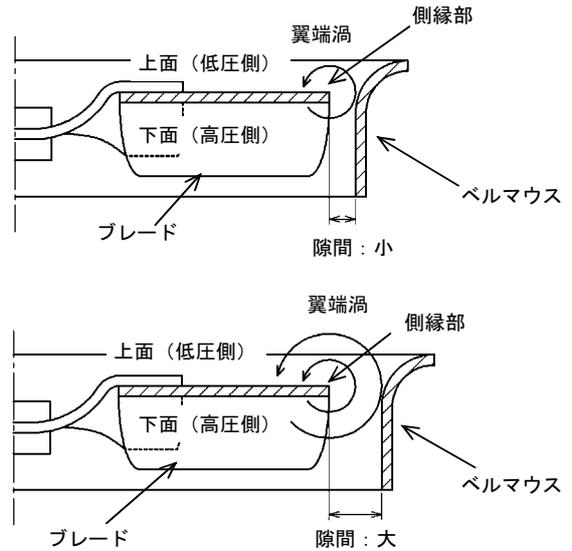


図10 隙間による翼端渦の発生状況の違い

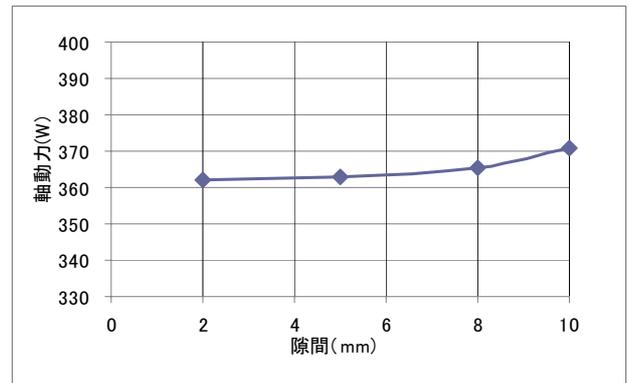


図11 隙間と軸動力

12に示す。

風量を一定とし、前進角を変化させてシミュレーション解析を行った結果、前進角20°で軸動力は最も小さくなった。

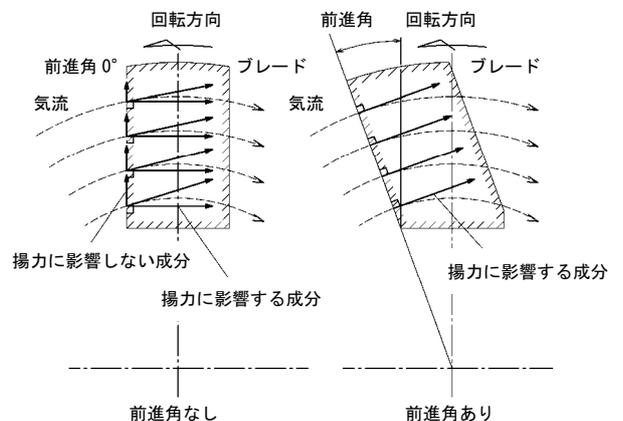


図12 前進角の揚力への影響

前進角が20°の場合は、前縁部が回転中心を通る直線上に位置し、回転による気流と垂直に交わるため、揚力が効率よく発生したものと考えられる。前進角と軸動力を図13に示す。

3.6 高効率ファンモデルの作成

前記のシミュレーション解析結果から、各要素が風量と軸動力に及ぼす影響について確認することができた。

シミュレーション解析結果を基に、ブレード形状を最適化した高効率ファンモデルを作成した。今回の開発では、現行品と極力部品を共通化するため、ブレード形状のみの変更とした。

高効率ファンモデルを風量を一定としたシミュレーション解析した結果、現行品に対して軸動力が約21%低減できることがわかった。高効率ファンモデルと現行品を図14に示す。

4. 試作評価

シミュレーション解析を用いて設計した高効率ファンモデルを実際に製作して、風量一定条件で現行品と軸動力を比較した。その結果、軸動力は20.4%低減でき、解析結果とほぼ一致し、解析の妥当性を確認した。試作評価結果を表2に示す。

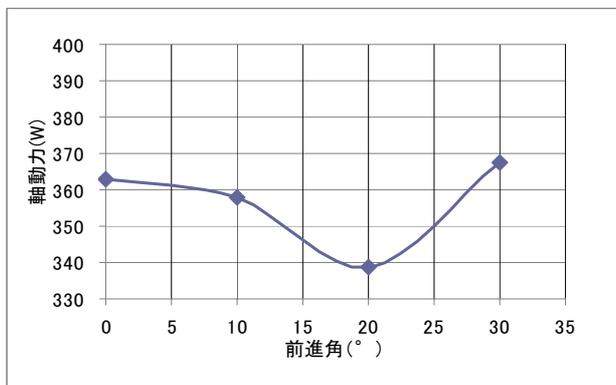
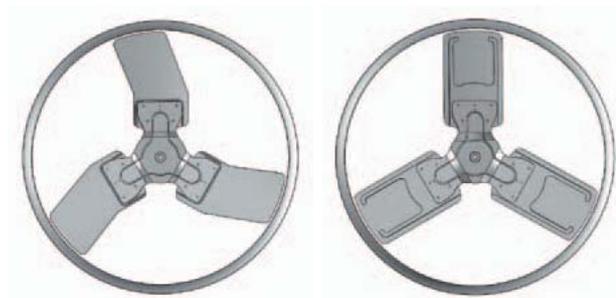


図13 前進角と軸動力



高効率ファンモデル

現行品

図14 ファンモデルと現行品

表2 試作評価結果

	解析結果		試作評価結果	
	現行品	高効率ファン	現行品	高効率ファン
トルク (N・m)	4.56	3.32	4.43	3.25
回転数 (min-1)	760	825	760	825
軸動力 (W)	363	287	353	281
低減率 (%)	20.9		20.4	

5. あとがき

シミュレーション解析により高効率ファンを設計し、試作評価を行った結果、解析結果と同等の結果が得られた。これよりシミュレーション解析の妥当性が確認できた。

今回、ファンのブレード形状の変更のみで試作評価を行った。今後はベルマウスについても同様に解析を行い、さらなる高効率化を図っていく。

参考文献

- (1) 白鳥敬著：「航空力学」日本実業出版社
- (2) 三澤慶洋著：「飛行機のすべて」日本実業出版社
- (3) 水木新平著：「飛行機のしくみ」ナツメ社
- (4) 白鳥敬著：「乱流と渦」技術評論社