

小型軸流ファンの性能に関する研究

平野 利幸^{*1}, 大高 敏男^{*1}, 御法川 学^{*2}

Study on Performance of Small Axial Fan

Toshiyuki Hirano^{*1}, Toshio Otaka^{*1}, Gaku Minorikawa^{*2}

Key words: Axial Fan, Performance, CFD, Stereo Lithography

1. 緒 論

電子機器の冷却や排熱に利用される小型軸流ファンの設計には、これまで従来の産業用の大型軸流ファンの設計手法が用いられてきた。しかし、小型軸流ファンは、産業用軸流ファンと比較して流路面積が狭小なことから送風効率が十数%と低く、従来の設計法が小型ファンのスケールに適用できていない。このため、現在小型ファンの新たな設計法の確立が求められているが、現状ではこのようなファンの設計や性能予測に関する研究報告¹⁻⁷⁾は少ない。

本研究では羽根車外径36mmの小型軸流ファンを対象に、光造形機で製作する羽根車のCADデータの設定条件を変更し、製作した羽根車形状への影響を調査した。また、流体解析において解析条件によって性能特性にどのような影響を及ぼすか比較、検討した。

2. ファンの設計

図1に設計した供試ファンを、表1に翼形状の主な仕様を示す。ファンの設計点は、市販品の軸流ファン(40mm角)の回転数6,800rpm時の性能特性から、流量0.13m³/min、静圧10Paに決定した。羽根車は外径 $D_2=36$ mm、内径 $D_1=23$ mmの軸流ファンであり、翼枚数は5枚、翼断面形状は反りを与えた翼厚一定のCambered Plateとし、十分な揚力を得られるように反り率および反り位置を決定した。また、羽根車を製作するにあたっては以下の手順で行った(図2)。

- ①対象となる市販の羽根車を参考に、製作したい羽根車の目標値を決定する。
- ②Excelを使用して揚力係数を決定する。
- ③フリーソフトを使用して翼形状を作成し、翼の迎角を算出する。

- ④作成した翼の座標データを用い、3次元CAD (Solid Works) を用いてモデリングする。
- ⑤作成した3次元CADモデルを光造形機で製作し、その翼形状を比較する。

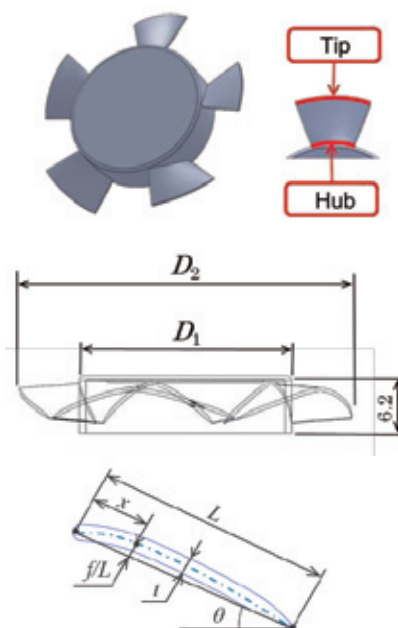


図1 供試羽根車

表1 羽根車の主な仕様

	Symbol	Unit	Specification	
			Hub	Tip
Airfoil section	-	-	Cambered Plate	
Camber	f/L	[%]	6	
Camber location	x	[%]	30	
Number of blade	Z	-	5	
Blade thickness	t	[mm]	0.5	
Chord length	L	[mm]	7.2	11.6
Setting angle	θ	[deg.]	-36.0	-14.5

^{*1} 国士舘大学 理工学部 機械工学系

^{*2} 法政大学 理工学部 機械工学科

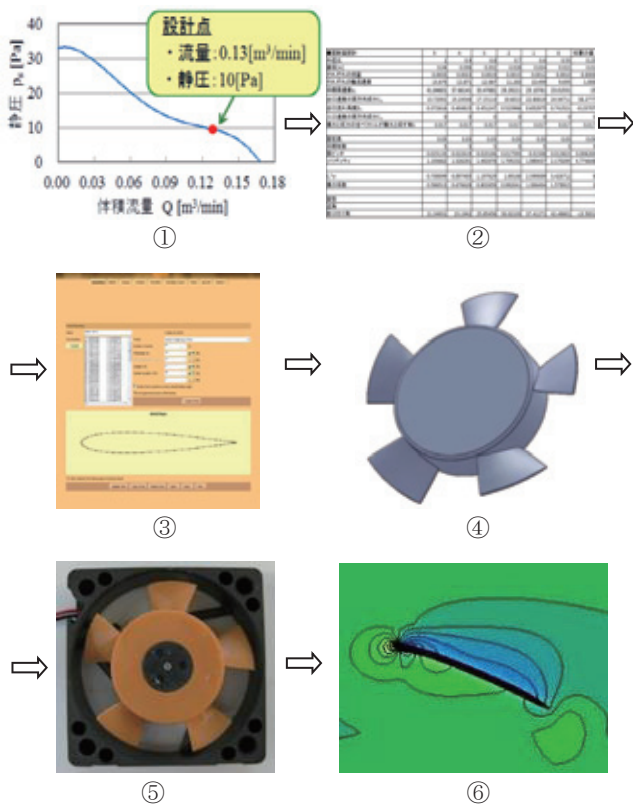


図2 主な設計手順

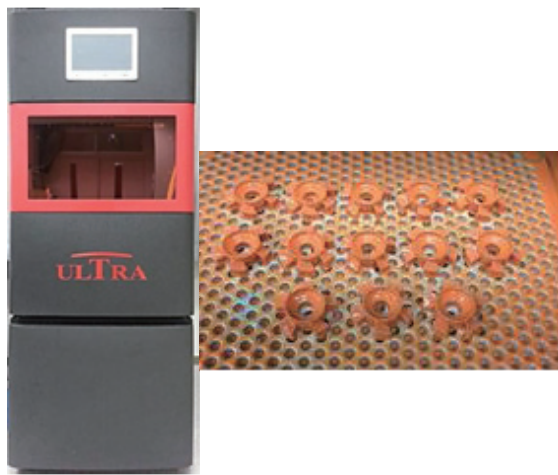


図3 光造形機と製作した一例

⑥流体解析ソフト（SCRYU/Tetra）を用いて、実験と同じ流れ場を再現し、実験結果と解析結果を比較する。

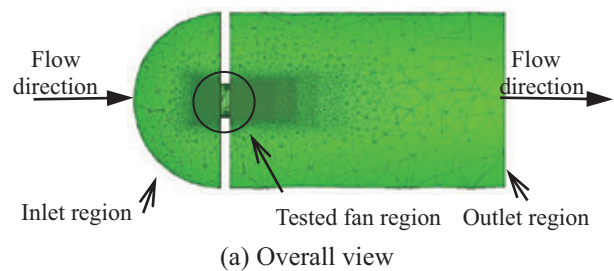
本研究では翼データの座標点数は通常100点で3次元CADモデルを作成している。座標点数の違いによって光造形機で製作した形状にどのような違いがあるか調査するために、座標点数を200, 400, 600, 800および1000点で3次元CADモデルを作成した。また、3次元CADデータをSTLファイルに変換して光造形機（Envision TEC製, ULTRA, 図3）で製作しているが、STLの設

定条件は全てのモデルで同じで、公差は0.005mmおよび0.5deg.とした。使用した光造形機の積層ピッチは25mmである。羽根車の製作に使用した光硬化樹脂はRC31である。

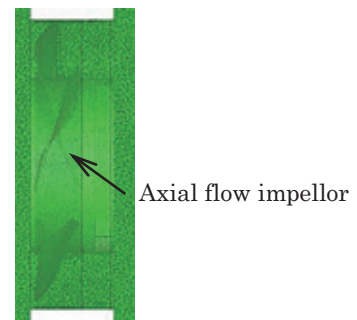
3. 数値解析

本研究ではソフトウェアクレイドル社のSCRYU/Tetraを使用し、実験と同様の流れ場を対象に解析を行った。計算格子は複雑形状に適した非構造格子のテトラメッシュを基本に、翼周りおよび流路壁面は解析精度が高い構造格子のヘキサメッシュとした。計算領域は、入口領域、供試ファン領域および出口領域で構成され、計算格子全体の格子数は約800万点である。出口領域の寸法は、実験装置のダブルチャンバー装置を模擬した。図4に解析で使用した計算格子の全体図および供試ファン領域の計算格子を示す。本研究では計算サイクル数が性能特性に及ぼす影響を調べるために、計算サイクルの上限を200サイクルにした場合と2000サイクルにした場合の解析結果を比較検討した。

計算格子の境界条件は入口領域に大気圧一定を与え、供試ファン領域においては翼を回転壁、スポークおよび流路壁面を静止壁とした。出口領域には質量流量を与え、設定した各流量ポイントを解析した。また、最大流量時の解析では出口表面の静圧を0Paとした。解析方法は、基本方程式として時間平均Navier-Stokes方程式（RANS：Reynolds Averaged Navier-Stokes）を用いて、有限体積法で離散化した。乱流モデルは標準k-εモデルを採用し、非圧縮定常流れで解析した。



(a) Overall view



(b) Enlarged view of tested fan region

図4 計算格子

4. 数値解析結果および考察

図5に座標点数が100点から1000点で作成した光造形モデルの写真を示す。翼断面を比較するとどちらのモ

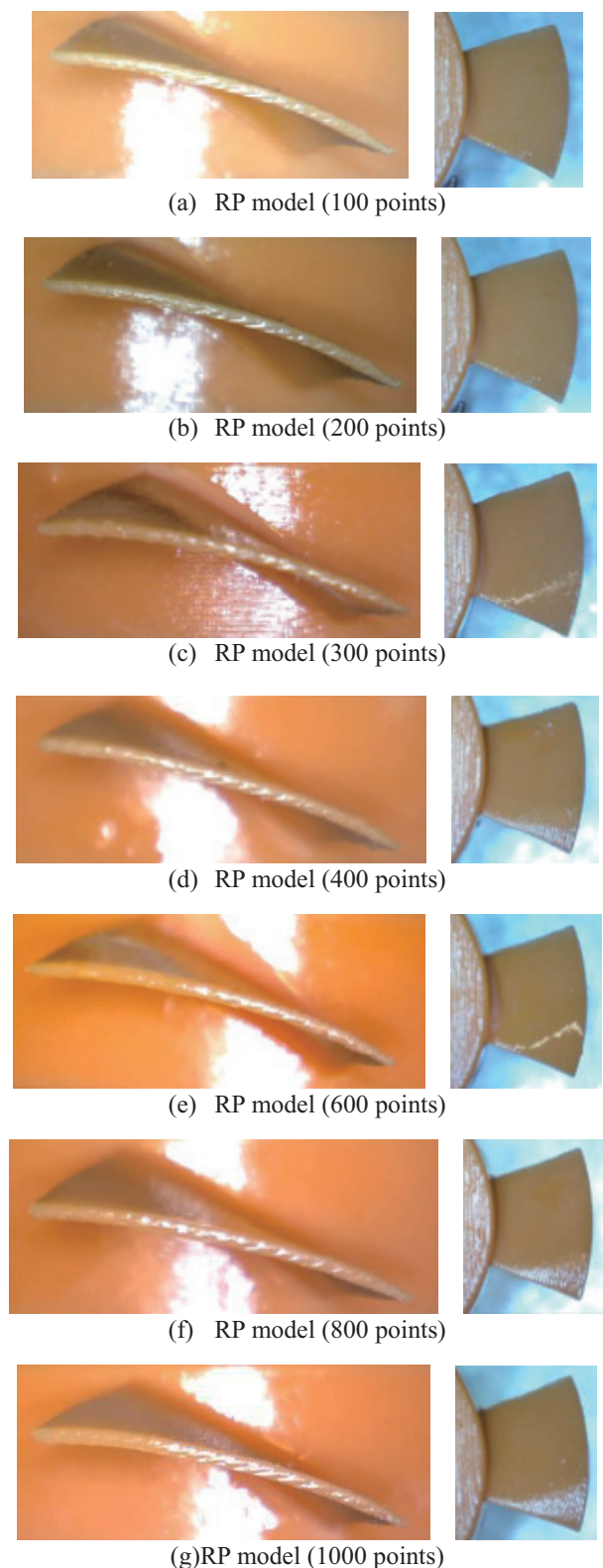


図5 座標点数の違いによる翼断面形状の比較

デルもほぼ同様の翼断面形状であることがわかった。しかし、翼前縁と翼後縁の形状についてはどちらも3次元CADモデルと比較するとスムーズな形状を保てていないことがわかった。翼表面の写真で比較すると、座標点数による違いは見受けられなかったが、翼後縁の半径方向は少し歪んでいるのがわかる。これは光造形機の精度による影響であり、翼厚が薄くなるにつれて造形が困難になることを意味している。他の座標点数で作成したモデルでも同様の結果となった。以上のことから座標点数による影響はほとんどないと言えるが造形においては翼厚と積層ピッチとのマッチングが重要であることがわかった。

図6に座標点数100点で作成した軸流ファンの解析により得られた性能特性を示す。図の横軸は流量 Q [m^3/min], 縦軸は羽根車出口静圧 p_s [Pa]である。座標点数の違いではサイクル数200サイクルおよび2000サイクルではどちらもほぼ同様の性能を示した。一方、サイクル数の違いで比較すると、どちらの座標点数においても、最大流量では200サイクル以下で収束したため、サイクル数による違いはなかった。また、最大流量から $0.08\text{m}^3/\text{min}$ の高流量側では200サイクルを超えて収束したが、得られた静圧に大きな違いはほとんど見られなかった。そして、これよりさらに低流量側では2000サイクルでも収束しなかったが、 $0.02\text{m}^3/\text{min}$ まではサイクル数による静圧の違いは見られなかった。しかし、全閉時付近の静圧が2000サイクルの方が高くなった。全閉時付近ではファン付近の流れが非常に複雑で定常解析では十分にとらえることが困難なためだと考えられる。今後は乱流モデルの検討も含め、非定常計算による解析が必要であると考えられる。また、本研究で設計した羽根車は設計点の性能に達することができなかった。このことについてはまた別途改善していく必要がある。

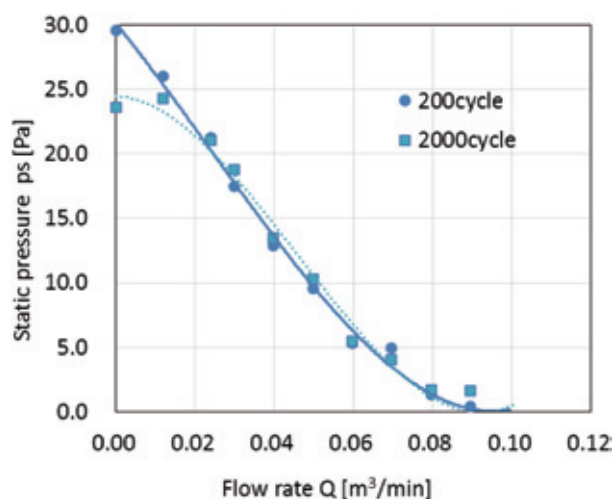


図6 性能特性 (100 points)

5. 結 論

本研究で製作した小型軸流ファンでは座標点数による造形への影響はほとんどないことがわかった。しかし、翼厚と光造形機の精度とのマッチングを考慮する必要がある。また、数値解析では座標点数による影響は本研究で使用した軸流ファンモデルではほとんどなかったが、計算サイクル数による影響が低流量側で見られた。

参考文献

- 1) 重光亨, ほか2名:高出力空冷ファンの性能と内部流れについて, ターボ機械第39巻第12号, (2011)
- 2) 鈴木昭次:「軸流送風機の騒音低減に関する実験的研究(第1報, 動翼要素パラメータの影響)」, 日本機械学会論文集第44巻380号, (1988)
- 3) 岩瀬拓, 日沖哲也, 加藤義彦, 且野太郎, 関口治, 古川雅人:「小型軸流ファンにおける前進翼と箱形ケーシングの干渉が翼通過周波数騒音に与える影響」, 日本機械学会論文集第77巻780号, (2011)
- 4) 株式会社 日本計器製作所: Eco Fanシリーズ, LF40A-12
- 5) 澤田祐希, 平野利幸, 御法川学:「小型高速軸流ファンの要素試作および実験」, 第31回数理学講演会講演論文集, (2012)
- 6) 伊藤孝宏, 御法川学, 長松昭男, 鈴木昭次:「小型軸流ファンの性能と騒音に関する実験的研究(翼形状パラメータの影響)」, 日本機械学会論文集第72巻715号, (2006)
- 7) 新関良樹, 軸流圧縮機空力設計の最適化, ターボ機械, 第30巻, 第5号, pp7-12, (2002)