

104 CFD を用いた高性能ファンの開発

Development of High Efficiency Fan by Using Computational Fluid Dynamics

○正 序 昌之 (三洋電機)

益田 哲也 (三洋電機)

樂間 毅 (三洋電機)

正 高岡 大造 (三洋電機)

正 滝沢貴久男 (三洋電機)

Masayuki CHO, SANYO Electric Co.,Ltd., 1-1-1, Sakata, Oizumi-machi, Ora-gun, Gunma

Tetsuya MASUDA, SANYO Electric Co.,Ltd.

Tsuyoshi RAKUMA, SANYO Electric Co.,Ltd.

Daizo TAKAOKA, SANYO Electric Co.,Ltd.

Kikuo TAKIZAWA, SANYO Electric Co.,Ltd.

Key words : Axial Flow Fan, Numerical Analysis, Three-Dimensional Flow

1. 緒言

地球環境問題やエネルギー問題に配慮した製品開発が望まれ、冷熱分野においても、冷蔵庫や空調機器等の一層の省エネルギー化が求められている。これを実現するためには、主要コンポーネントであるファンの高性能化が不可欠であり、加速する開発スピードに対応するためには、CAE を採り入れた総合的な開発手法の構築が必要となる。

そこで、著者らはファンの3次元形状データを共有することで、図1のように設計、流体解析、応力解析、試作、3次元計測の各要素技術をリンクし、実験手法と相互補完することでより効率的なファン開発を可能とした。

本報では、汎用流体解析コードをベースにファン性能を予測・評価するための3次元流体シミュレーション手法を構築し、高性能軸流ファンを開発したので報告する。

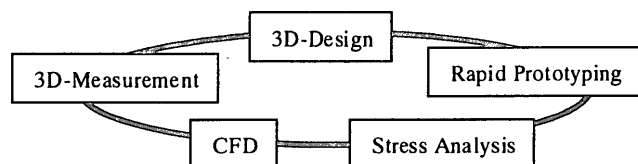


Fig.1 Key 3D-Technology of Fan Development

2. シミュレーション手法

2-1. シミュレーションモデル

構築したシミュレーションモデルは図2に示すように、ファンと流路、流路の一部を構成するベルマウス、流路抵抗層から成る。

解析対象ファン形式として、冷凍・空調機器に多く用いられている軸流ファンを想定している。軸流ファンは古くから研究や改良が行われ、もはや回転するファン周りの複雑な物理現象を詳細かつ正確に捉えることができれば、さらなる高性能化は困難な状況になっている。そこで、羽根の自由曲面形状を忠実に考慮したファンの旋回現象を解析可能なシミュレーションモデルを構築した。なお、計算負荷を軽減するために、周期性を利用してファンの羽根1枚分を解析対象としている。

モデルの吸い込み側流路面積は解析対象とする風路と等価となるように設定し、吸い込み側流路に設けられた抵抗層の内部は多孔質媒体を通過する流れとして扱う。そして、抵抗層には予め実験等により求めた送風路固有の抵抗曲線、

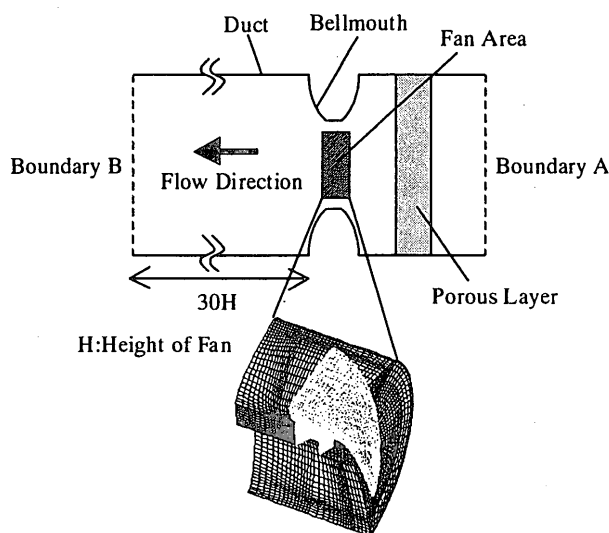


Fig.2 Schematic Model for Simulation

つまり圧力損失を通過する気流速度の関数で与えることができる。

さらに、ファンの吐出側にはファン高さの30倍となる解析領域を設けている。これにより、大気開放されている境界AとBをともに圧力境界条件として解くことが可能となり、完全に新規なファンのように送風量が未知の場合でもシミュレーションによる性能評価が可能となった。このように、本シミュレーション手法は定量的な性能評価として、任意のファン回転数における予測送風量の算出が可能となったことを最大の特長としている。一方、風量が既知の場合には、境界Aを流速で規定し、所定の風量が境界面から流入するように与え、境界Bは流出境界として解く。

計算メッシュ構成については、計算コストが少ないハイブリッドメッシュを積極的に採り入れた。ファンやベルマウス表面はヘキサまたはプリズムセルで面との直交性を維持したレイヤーメッシュを構成することで乱流境界層の解析精度を高め、その他の大部分をテトラセルで構成した。これにより、メッシュ作成から解析結果の評価に至る解析時間の短縮による実用レベルでの運用と解析精度の確保を実現した。

2-2. 回転問題の解法

本シミュレーションは定常解析とし、非圧縮性流体を仮定している。ファンの回転問題の解法としては、演算の安定性と高速性の観点からマルチローテティングリファレンスフレーム (MRF) の陰解法を用いた。つまり、全解析領域のうち、ファンとベルマウス周りのみ回転座標系に基づいた運動方程式、すなわちソース項にコリオリ力と遠心力を付加した Navier-Stokes 方程式を解いている⁽¹⁾。同法は流れ場の計算において、解析領域全体を一つの領域として取り扱うため、静止領域と回転領域のインターフェース面に境界条件を与える必要がない。したがって、ファンの回転数を設定するだけでよいので取り扱いが容易という利点がある。また、乱流モデルについては高レイノルズ数型の標準 $k-\varepsilon$ モデルを用いた。

2-3. 評価項目

シミュレーションが可能とするファン性能評価項目は、前述した任意のファン回転数における送風量、重要な性能評価指標である静圧 P_s と風量 Q の関係、すなわち P-Q 特性、トルク (モーメント)、軸動力、ファン効率である。トルクについては、解析で得られる翼面に作用する力から算出する。ただし、得られるトルクは羽根1枚あたりの数値であるため、羽根枚数分を足し合わせる必要がある。ファンの主軸への入力である軸動力 L はトルク T とファンの角速度 ω の積で求められる。また、ファン全圧効率 η_t は風量 Q とファン全圧 P_t 、軸動力 L を用いて(1)式のように表される。同様に、ファン静圧効率 η_s は(2)式で表される⁽²⁾。

$$\eta_t = QP_t / L \quad \text{---(1)}$$

$$\eta_s = QP_s / L = \eta_t P_s / P_t \quad \text{---(2)}$$

また、3次元の流れ場を解いているため、実験による正確な計測が難しい羽根周りやチップクリアランス (羽根外周端とベルマウスとの隙間) の気流分布や気流の乱れについても把握することができる。羽根周りの渦の挙動や翼面圧力分布はファン性能に大きく影響するので、シミュレーションによる予測効果は大きい。

3. シミュレーションによるファン性能評価

冷蔵庫の庫内ファン用に羽根形状を設計した軸流ファンの性能評価結果について述べる。まず、冷蔵庫は食品収納スペースの拡張により、冷気を循環させる送風ダクトの流路断面積がますます小さくなる傾向にある。庫内ファンはこのような狭い送風ダクト内に配置されて使用されるため、高静圧を得ることができるファンでなければならない。また、省エネルギーの観点から高効率であることが望ましい。

そこで、現行ファンよりも高静圧を生み出せる羽根形状を新規に3次元設計した。羽根はコストダウンを狙って薄肉設計し、羽根の体積を現行比で50%以下に抑えた。また、翼弦長を延伸し、反りを増すことで送風仕事量の増加を図った。図3に新ファンの外観を示し、表1に新ファンと現行ファンの主な諸元を比較する。表中の翼弦長、ソリディ

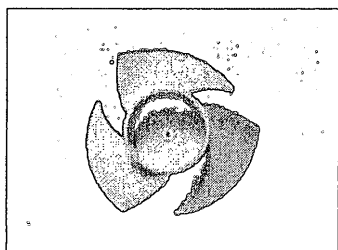


Fig.3 Picture of New Fan

Table 1 Specifications of New Fan ($r=35\text{mm}$)

	Old Fan	New Fan
Diameter mm	108	108
Boss Tip Ratio	0.46	0.46
Chord Length mm	52.61	58.26
Solidity	0.72	0.80
Stagger Angle °	60.27	61.14

ティ (弦節比)、食い違い角については半径 $r=35\text{mm}$ の位置における数値である。この新設計ファンの静圧特性を把握するために本シミュレーションを用いて予測した。

まず、設計したファンの3次元 CAD データを基にファン周りの計算メッシュを作成し、それを図2のシミュレーションモデルのファン部分に組み込み、ファンの回転数を1400rpmとして解析を行った。

図4に新設計ファンと現行ファンの P-Q 特性と送風ダクトの抵抗曲線を示す。送風ダクトに取り付けられたファンは P-Q 特性曲線と抵抗曲線との交点に相当する風量、圧力で作動する。設計風量 $0.288\text{m}^3/\text{min}$ における新ファンの静圧は計算値が 1.18mmAq 、流量計による実測値が 1.24mmAq となり、やや計算値が少なく算出されているが十分予測可能なレベルにあると考える。なお、実測には3次元 CAD データを基に光造形で作製した試作品を使用した。このように、本シミュレーションにより新ファンは現行ファンよりもおよそ30%高静圧となることがわかった。すなわち、同一回転数でより多くの風量を得ることができる送風性能が高いファンを開発することができた。

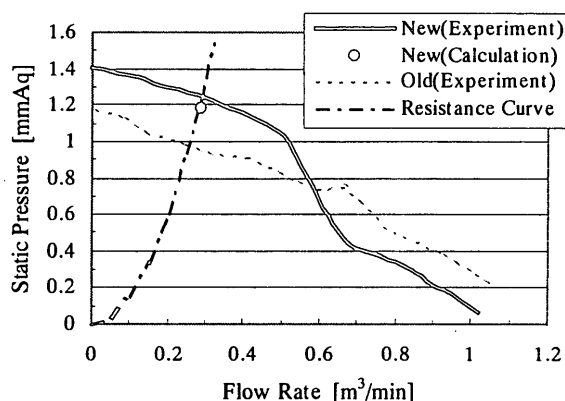


Fig.4 Performance Curve (1400rpm)

4. 結言

- (1) 軸流ファンの送風量や P-Q 特性、羽根周りの流れ現象等を予測・評価するための3次元流体シミュレーション手法を構築した。
- (2) 本シミュレーションを用いて、新規設計した冷蔵庫向け庫内ファンの送風性能を予測し、現行よりも高静圧なファンであるとの結果を得た。
- (3) 試作品による評価実験によっても、新開発ファンが送風性能に優れていることを確認し、本シミュレーションがファンの設計・開発に有効であることを示した。

参考文献

- (1) 近藤・加藤, プロペラファン内の流動特性とその予測, 日本機械学会講演論文集, No.933-1(1993), 166.
- (2) 送風機技術者連盟編, 送風機ハンドブック, 日本工業出版, 1990.