

ファン高効率化に向けた流体シミュレーションの適用

Application of CFD for Fan Efficiency Improvement

勝見 佳正* 長田 篤*
Yoshimasa Katsumi Atsushi Nagata

送風機器に搭載されるファンの高効率化の技術確立において、流体シミュレーションは有効な開発ツールである。送風機器の形態に応じて最適なモデルを作成して解析することで、ファンの主要パラメータに対する静圧効率、送風特性の関係を把握し、高効率化に有効なファンの設計開発方向を特定することができる。

Computational Fluid Dynamics (CFD) is an effective tool used for creating new technologies to improve the efficiency of a centrifugal fan. A simulation with an appropriate CFD model of the fan structure can show relations between main design factors and fan efficiency, and provide guidelines for effective design of a high-efficiency fan.

1. ファン開発に求められるCFD

地球環境保護の観点から換気送風の分野においても省エネ性を向上することが要求されている。送風機器の主要要素であるファンの高効率化を図る上で、流体シミュレーション（以下、CFD: Computational Fluid Dynamicsと記す）は有効な開発ツールである。

CFDは、解析対象空間をメッシュ状に分割し、その微小領域ごとに運動方程式を解くことで羽根車周囲の流れ状態の可視化による乱流発生箇所の把握や、ファンの仕事量と静圧の計算結果を用いた効率予測を行うことができる。

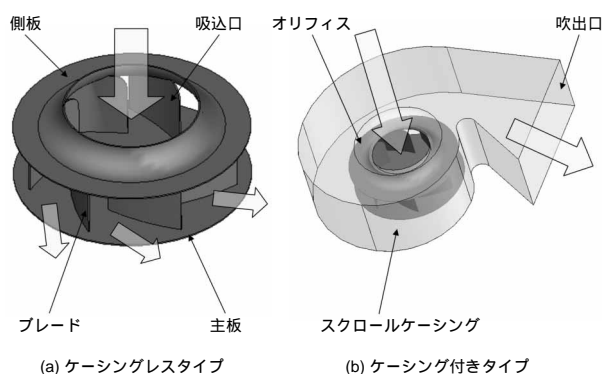
解析のモデル化においては、羽根車を取り囲むケーシングの送風性能への影響を考慮すると、解析範囲を羽根車の周囲に拡大する必要があるため、メッシュ数の増加に伴う計算負荷の増大により膨大な解析時間を要する。したがって、実用的な計算負荷の範囲内で、送風性能評価が可能な精度を確保できる解析モデルを作成することが重要となる。

2. 解析モデルのパターン

遠心ファンの形態としては、羽根車の外周にスクロール状のケーシングを設けた方式（以下、ケーシング付きタイプ）と、ケーシングを用いないケーシングレスタイプの2種類の方式がある。ケーシングレスタイプは、円板状の主板に複数枚のブレードを設け、ブレードの主板逆面側に吸込口を開口した側板を配置して羽根車を構成している（第1図(a)）。この羽根車を回転すると吸込口から吸引されてブレード外周全面から遠心方向に送風される。

ケーシング付きタイプは、第1図(a)に示した羽根車

の外周に渦巻状のスクロールケーシングを設けた構成である。ファンの吸込口と同心円状に開口したオリフィスの吸込口から吸引された空気がスクロールケーシング内で集められて吹出口から排出される（第1図(b)）。

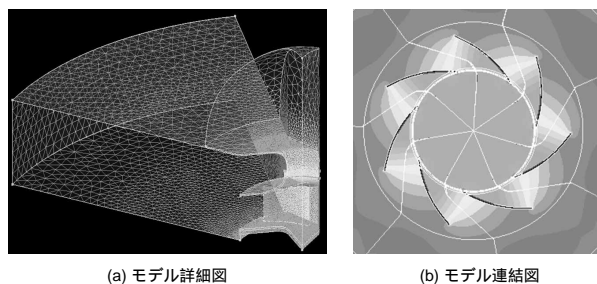


第1図 遠心ファンの構成

Fig. 1 Structure of centrifugal fan

2.1 ブレード間解析モデル

ケーシングレスタイプでは、軸対称の各ブレード間において流れ状態が同一で周期的に繰り返すものと仮定し、1ブレード間の流路を抽出した小さな領域内を微小なメッシュサイズで一様に分割して解析モデルを作成する（第2図(a)）。そのブレード間モデルの解析結果を、ブレード



(a) モデル詳細図

(b) モデル連結図

第2図 ブレード間解析モデル

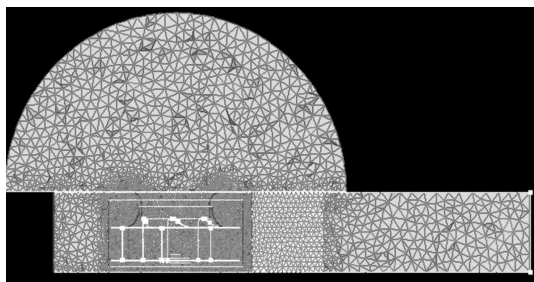
Fig. 2 Rotor passage calculation model

* パナソニック エコシステムズ (株)
Panasonic Ecology Systems Co., Ltd.

数に応じて連結し、ファン全体の性能算出を行うことにより、モデル化工数、解析時間を大幅に短縮しつつ解析精度を高めることができる（第2図（b））。

2.2 ファン全体解析モデル

ケーシング付きタイプでは、非軸対象となるスクロール形状や、時間によって変化するブレードとケーシングの位置関係が送風性能に大きく影響するため、羽根車全周を解析範囲として時間変化を考慮した非定常解析が必要となる。このケーシング付きタイプにブレード間解析モデルと同様に様にメッシュを作成すると、膨大なメッシュ分割数となり解析負荷が増大する。そこでブレード端部やケーシングとの接近部など送風性能に大きく影響する領域を微細な極小サイズのメッシュに分割し、そのほかの影響が少ない領域のメッシュを大きなサイズに分割することによって解析工数の短縮と精度確保を両立させている（第3図）。



第3図 ファン全体モデル
Fig. 3 Full calculation model

3. 解析事例

ケーシングレスタイプを対象に主要設計パラメータの静圧効率、送風特性への影響を評価するため、SCRUTU/tetra[®](注)を用い、約200万メッシュの解析規模のk-ε乱流モデルによる1ブレード間の定常解析を行った。解析モデルとしては、ブレードの外径を固定し、ブレード内径、ブレード高さ、オリフィス高さを変更した3種類の遠心ファン（A, B, C）を選定した（第1表）。解析結果から得られた風量 Q [m³/s]、静圧 P_s [Pa]、羽根車のトルク T [Nm]、回転数 N [s⁻¹]から（1）式に基づき静圧効率 η_s を算出した。この静圧効率 η_s と風量 Q との特性曲線を求め、実測値の特性と比較した（第4図）。

$$\eta_s = (P_s \times Q) / (T \times N) \dots \dots \dots (1)$$

(注) (株)ソフトウェアクレイドルの登録商標

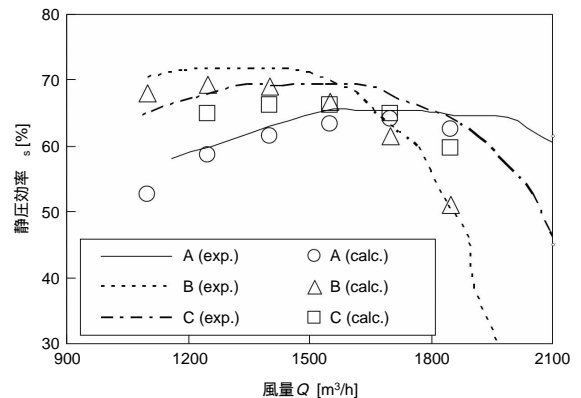
実測値と解析結果は絶対値に差異はあるものの、各モデルの最高静圧効率の順序は(B) > (C) > (A)、その最高効率点における風量の順序は(A) > (C) > (B)となり、実測値と解析結果の傾向は合致した。このことから、第1表に示した各パラメータと送風性能（静圧効率、風量特性）との関係が明らかとなり、送風機器の目標仕様および動作点に対して、ファンの設計開発方向を特定することができる。

なお、ケーシング付きタイプでは、領域別にメッシュサイズを変化させることにより、300万メッシュ程度の解析規模に抑えた中で非定常解析を行い、ケーシングレスタイプと同様に実測値と解析結果の傾向の合致を確認している。

第1表 遠心ファンの仕様

Table 1 Specifications of centrifugal fan

	Model (A)	Model (B)	Model (C)
ファン外径	229 mm	229 mm	229 mm
ブレード内径	142 mm	156 mm	156 mm
ブレード高さ	62 mm	62 mm	82 mm
オリフィス高さ	29.5 mm	39.5 mm	39.5 mm



第4図 解析結果と実験結果の比較

Fig. 4 Comparison of static pressure efficiency

4. 今後の展開

今回、送風機器の形態に応じた最適な解析モデルをCFDに適用することにより、効率向上に有効な設計パラメータを導出した事例を示した。地球環境との共存に向けて送風機器の消費電力削減は重要なテーマであり、解析マシンの高速化が進む中で、より複雑かつ高度な解析対象へのCFDの活用による高効率化技術開発が期待される。

また、今後のファン開発においては、流体解析のみならず騒音解析、音響解析などに幅広くシミュレーション技術を活用し、高効率化と低騒音化の両立を図ることも重要と考える。