

# ジェットファンから発生する騒音のシミュレーション

## プロジェクト責任者

富松 重行 株式会社電業社機械製作所 技術研究所 研究グループ

## 著者

富松 重行<sup>\*1</sup>、山出 吉伸<sup>\*2</sup>、廣川 雄一<sup>\*3</sup>、西川 憲明<sup>\*3</sup>

\*1 株式会社電業社機械製作所 技術研究所 研究グループ

\*2 みずほ情報総研株式会社 サイエンスソリューション部 デジタルエンジニアリング部

\*3 独立行政法人海洋研究開発機構

利用施設： 独立行政法人海洋研究開発機構 地球シミュレータ

利用期間： 平成 21 年 4 月 1 日～平成 22 年 3 月 31 日

## アブストラクト

自動車道路のトンネル換気装置として使用されるジェットファンの高効率化、低騒音化の要求は年々高まってきており、これらの要求に対応するためには継続的な製品開発が不可欠となっている。

従来の試験による開発では、騒音が発生するため実施できる試験回数が限られている。これに対してシミュレーションを利用した開発であれば試験回数を減らすことができ、試験で発生する騒音問題が極力抑えられる。さらに、試験回数が減らせるので試作の個数を減らすことができ、開発費の低減が図れる。

従来の RANS (Reynolds Averaged Navier-Stokes Simulation) によるシミュレーションでは、騒音に関わる問題の検討がほとんど不可能であったが、LES (Large Eddy Simulation) によるシミュレーションであれば、騒音に関わる問題の検討も可能となる。そこで、本プロジェクトでは LES を利用した大規模シミュレーションによって製品開発を進める環境、方法を確立することを目的とする。

キーワード： 大規模シミュレーション、ジェットファン、騒音、LES

## 1. はじめに

近年、環境への配慮から、トンネル換気に使用されるジェットファンの高効率化・低騒音化の要求が高まってきている。従来は試験結果から勘と経験に基づいて製品開発が行われてきたが、開発コストの問題からデザインレビューを行うための試作品の数が限られること、開発終了までに設計⇒製作⇒試験のルーチンを何度も繰り返す必要があるため開発期間が長くなることなどの問題があった。一方、シミュレーションに関しては、時間平均に基づいた RANS によるシミュレーションが利用されてきたが、RANS では騒音に関するデザインレビューがほとんど行えないという問題があった。

本プロジェクトにおいて、シミュレーションには文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発<sup>1)</sup>」プロジェクトで開発された FrontFlow/Blue を用いた。FrontFlow/Blue は地球シミュレータでの稼働実績が既にあるソフトウェ

アであり、かつ空力騒音予測シミュレーションに用いられた実績も多い<sup>2,3)</sup>。さらに、大規模シミュレーションが行える地球シミュレータを用いて、RANSに基づいたシミュレーションおよび試験により行ってきた従来の製品開発を、LESに基づいたシミュレーションに置き換えることにより、製品開発時のデザインレビューがより詳しく、より多く行える環境、方法を確立することを目的とする。

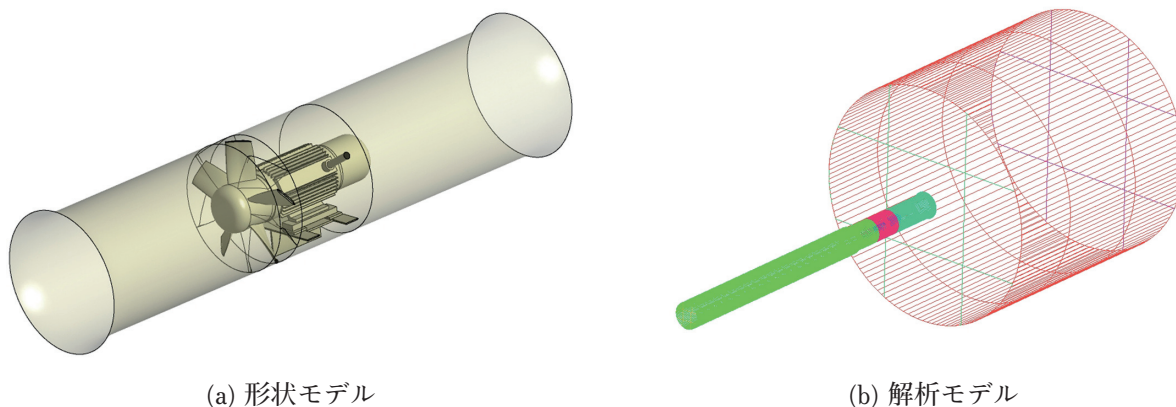


図1 ジェットファン

## 2. 解析対象および方法

図1 (a) に本プロジェクトで解析対象としたジェットファンの形状図を示す。図に示すように5枚の動翼を持つ単段のジェットファンで、口径630mm、風速35m/s、回転数2930rpmである。図1 (b) に解析モデルを示す。解析モデル入口からファン前縁までは、助走区間としてジェットファンの口径の約10倍の距離を設けてある。また、解析モデル出口での旋回速度を小さくすることを目的として、モデル最下流部にはバッファ領域として、ジェットファンの口径よりも大きな径をもつ円筒ドメインを設けた。なお、説明図は割愛させていただくが、本プロジェクトでは動翼周りの流れ場に注目しているため、ジェットファンのモーター、架台等は省略したモデルを使用して解析を行っている。

図2に入口部、動翼部、出口部のメッシュモデルを示す。ジェットファンの解析モデルを作成するにあたって、これらを3つのドメインに分け、入口部と出口部を静止系、動翼部を回転系として扱った。節点数はそれぞれ入口部で約216万、動翼部で約484万、出口部で約266万、総節点数は約966万で、全て六面体要素で構成されている。翼近傍で発達する乱流境界層を高精度に捉えるために、翼近傍の要素は翼から離れた部分よりも細かなものになっている。なお、ケーシング表面およびハブ表面にも乱流境界層が発達すると考えられるが、本プロジェクトではこれらの領域の乱流境界層は解像しない。また、入口部と動翼部間、ならびに動翼部と出口部間にはオーバーセット領域を設け、各ドメイン間で最低5要素程度重なるようにモデリングしてある。

解析では、サブグリッドスケールモデルとして標準 Smagorinsky モデルを使用した非圧縮 LES 解析を行った。運動方程式の解法にはクランク・ニコルソン法を、圧力方程式の解法には低マッハ数近似を施した Fractional-Step 法を用いた。

境界条件としては、入口境界に速度一定の流入条件を与えた。出口境界には圧力0および traction-free の境界条件を、壁面には no-slip の境界条件を与えた。これらの境界条件のもと、初期条件として速度および圧力を0として、10回転分の計算を実施した。

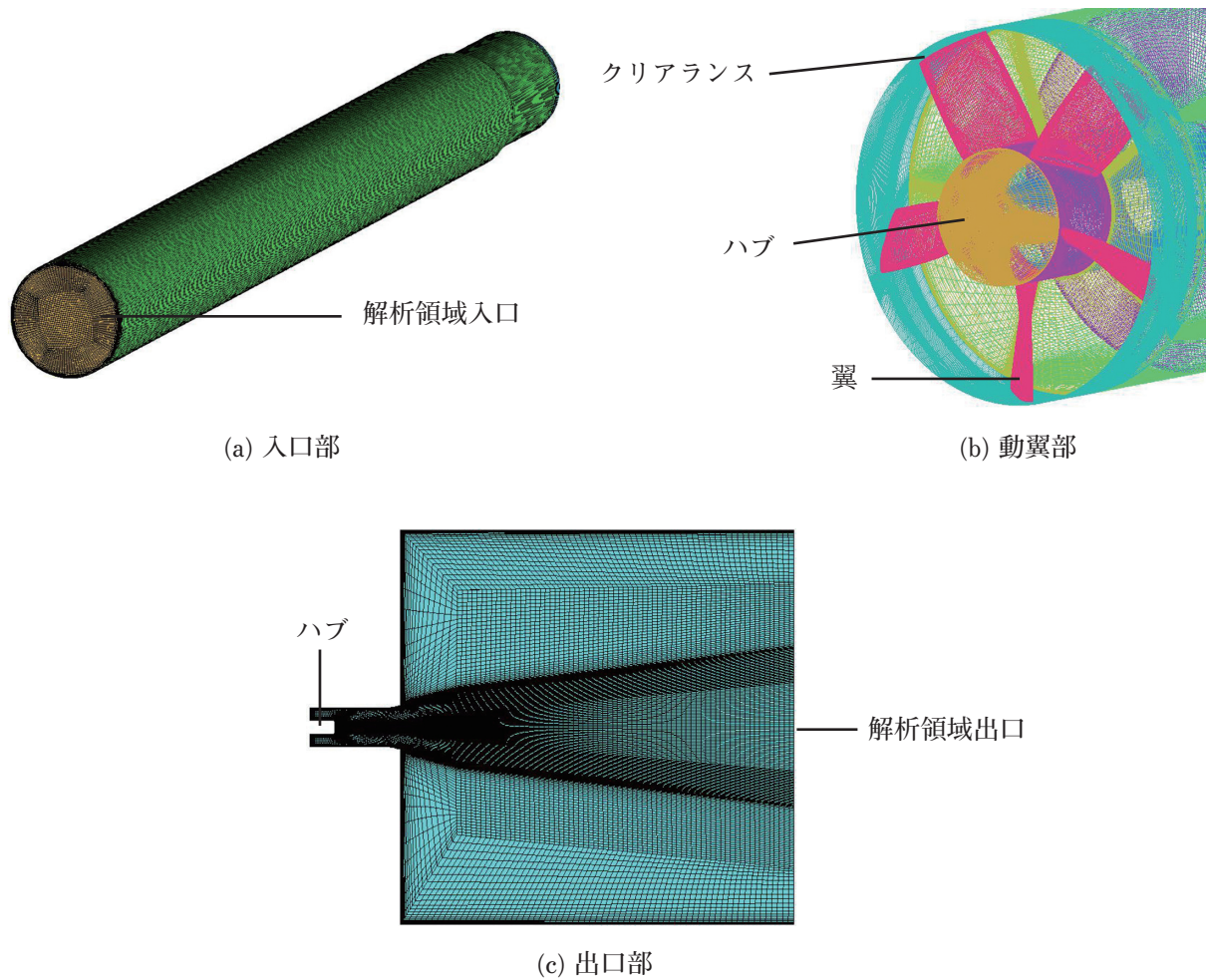


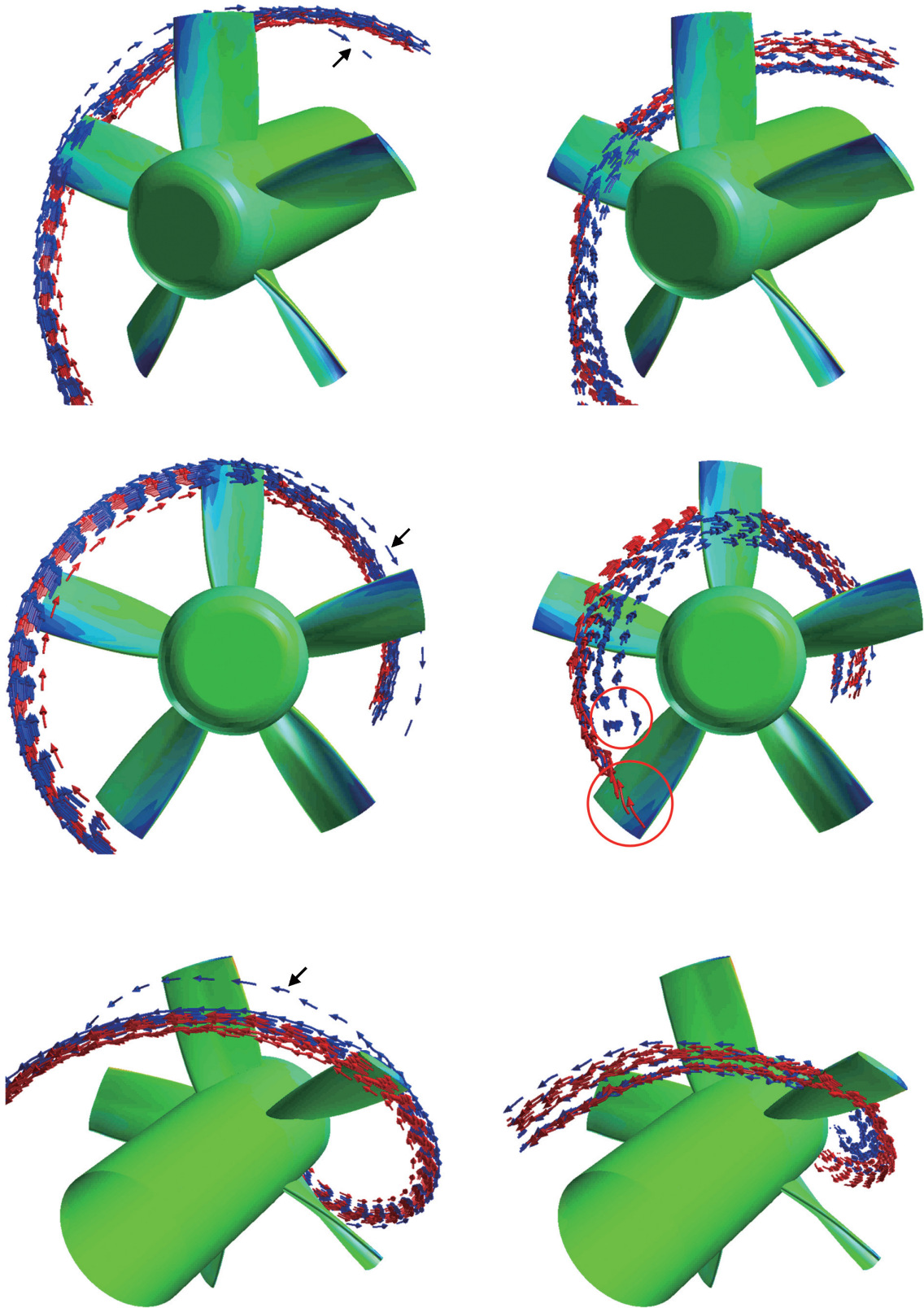
図2 メッシュモデル

### 3. 解析結果

図3に解析より得られた流線と動翼、ハブの表面圧力の可視化結果を示す。左列が前縁チップ近傍を通過する流線を、右列が前縁ミッドスパン近傍を通過する流線をそれぞれ表す。なお、これらの図において、青色の矢印は負圧面を通過した流れを、赤色の矢印は正圧面を通過した流れをそれぞれ表す。

前縁チップ近傍を通過する流線に着目してみると、黒矢印で指示した流線は、他の流線とは離れた位置にあり、翼を通過した流れがはく離による影響を受けていると考えられる。翼通過前は同じような経路をたどってきた流線が、翼通過後に異なった経路をたどることから、翼前縁チップ近傍の形状を修正して翼通過前、通過後の流線が全て同じような経路をたどるようにすること、すなわちはく離を抑えることで、更なる性能改善が可能であることを示唆している。

前縁ミッドスパン近傍を通過する流線に着目してみると、赤丸印の領域において、旋回流が発生していることがわかる。これらの旋回流が見られた場所は、三次元的には動翼とハブで構成されるジェットファン回転体の上流側に位置するため設計変更が可能な箇所はケーシング程度しかなく、改善の余地は少ないが仮に改善できるのであれば性能向上につながると考えられる。



前縁チップ近傍を通過する流線

前縁ミッドスパン近傍を通過する流線

図3 表面圧力と流線の可視化

また、前縁ミッドスパン近傍を通過する流線は、前縁チップ近傍を通過する流線とは違って、通過前と通過後とで同じような経路をたどっており、性能低下に著しい影響を与えるような形状ではないと考えられる。

なお、ジェットファン上流 1.0m における音圧レベル (Sound Pressure Level, SPL) をカールの式より算出して周波数と音圧レベルの関係について別途調べたが、精度の検証が十分でないため、ここでは割愛させていただく。

#### 4. まとめ

自動車用道路のトンネルの換気装置として用いられるジェットファンについて、地球シミュレータを用いて LES による乱流解析を実施し、動翼周りの流れ構造を調べた。翼およびハブ表面上の圧力分布ならびに前縁チップ近傍および前縁ミッドスパン近傍における流線の可視化を行い、それぞれの流れの特徴について明らかにした。

今後は、FrontFlow/Blue に実装予定であるリファイナー (メッシュ再分割) 機能を用いた大規模解析を行って騒音発生メカニズムを明らかにする研究を進めていくとともに、より高効率、低騒音なジェットファンの開発へとつなげていく予定である。

#### 謝 辞

本プロジェクトは、平成 21 年度地球シミュレータ産業戦略利用プログラム「ジェットファンから発生する騒音のシミュレーション」の一環として行った。

FrontFlow/Blue は文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」プロジェクトの一環として、東京大学 生産技術研究所で開発されたものである。

ここに記して謝意を表します。

#### 参考文献

- 1) 文部科学省次世代 IT 基盤構築のための研究開発「イノベーション基盤シミュレーションソフトウェアの研究開発」ホームページ、<http://www.ciss.iis.u-tokyo.ac.jp/riss/>
- 2) 水島文夫、栗田健、山出吉伸、加藤千幸、上原均、廣川雄一、“新幹線車両の空力騒音シミュレーション”、平成 18 年度 地球シミュレータ産業利用成果報告書、pp.27-31、(2005)
- 3) Yoshinobu Yamade, Chisachi Kato, Hayato Shimizu, Takahiro Nishioka, “LARGE EDDY SIMULATION AND ACOUSTICAL ANALYSIS FOR PREDICTION OF AEROACOUSTICS NOISE RADIATED FROM AN AXIAL-FLOW FAN” , Proc. FEDSM2006, paper #FEDSM2006-98303, Miami, July 2006.