

# メッシュ再分割機能を利用した ターボ機械大規模解析環境の構築

(株)電業社機械製作所	富松	重行
みずほ情報総研(株)	山出	吉伸
(独)海洋研究開発機構	廣川	雄一
(独)海洋研究開発機構	西川	憲明

# 背景

自動車トンネル用換気ファンであ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いる。



従来の製品開発方法の問題点：

1. CFD (RANS)

騒音予測に基づいたデザインレビューを行うことが困難。

2. 実験

製品開発期間を短縮することが困難。

# 目的

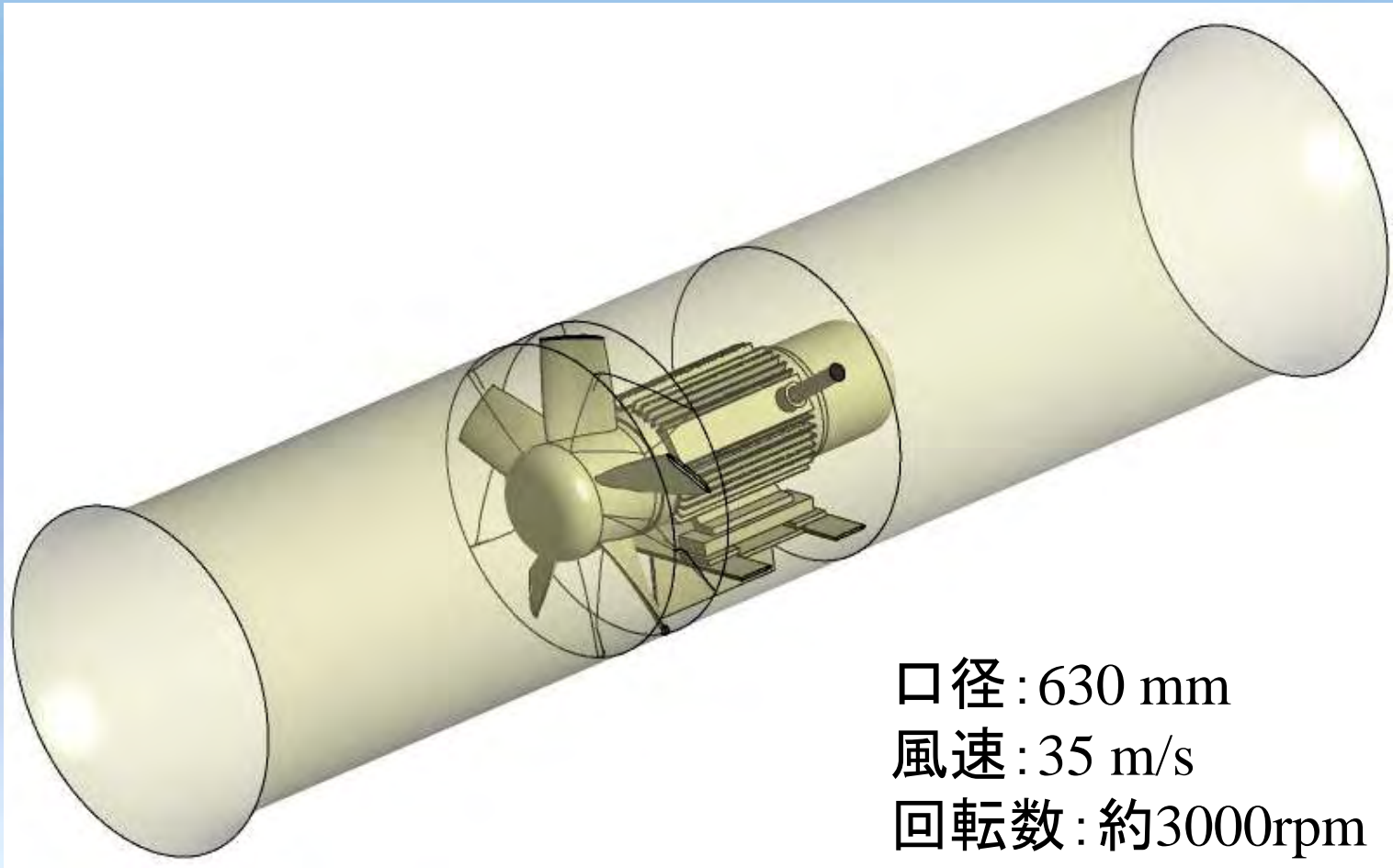
- ・従来の開発方法の問題を解決する方法の一つとして、LESによるシミュレーションがあげられる。
- ・LESによる解析であれば、騒音に関するデザインレビューを行うことも可能となる。



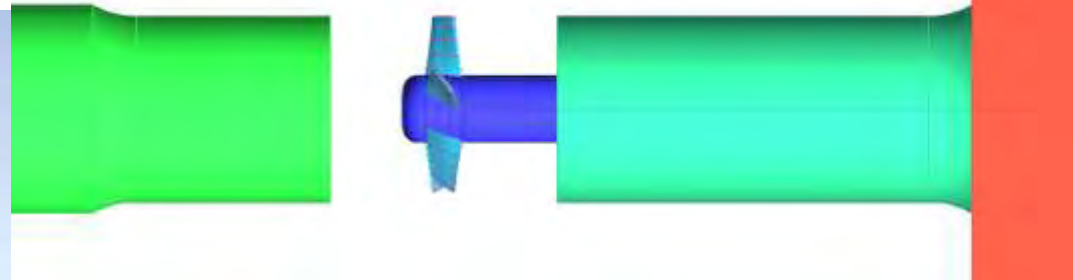
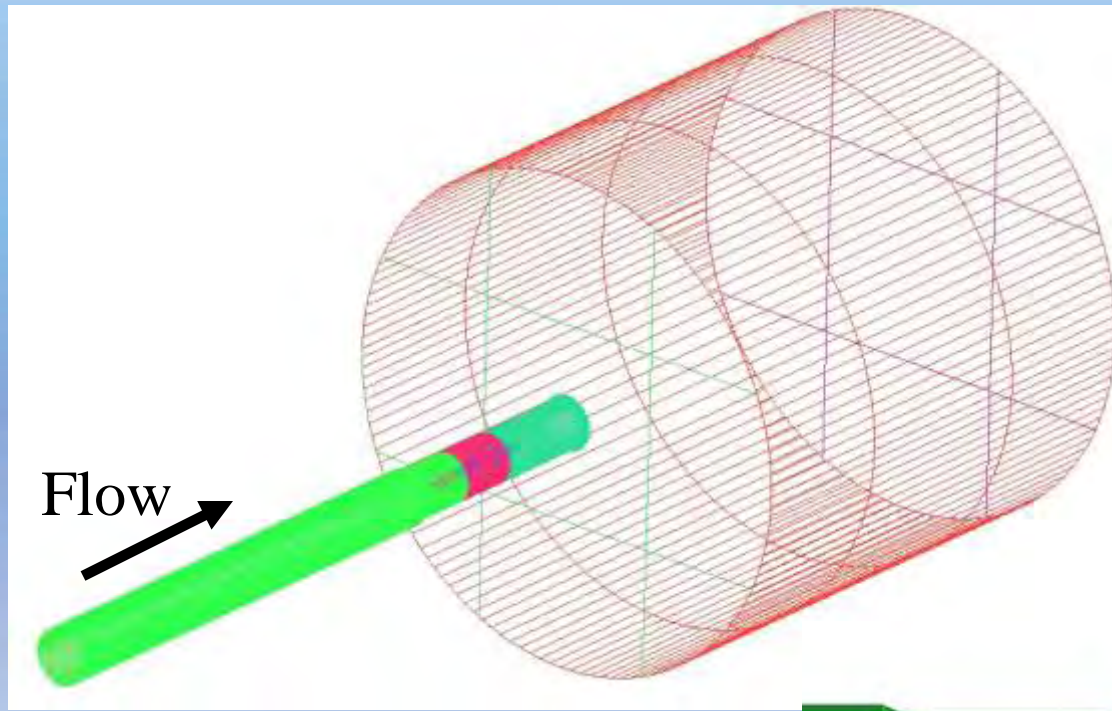
精度良く解析するには解析規模が大規模になるため、ハイパフォーマンスコンピューティングが必要となる。

本プロジェクトでは、PCクラスタを用いて粗いメッシュモデルの解析を行い、その後、FrontFlow/blueのリファイナーを使用して細かいメッシュモデルを作成し、地球シミュレータを用いて解析を行っている。

# 解析対象(トンネル用ジェットファン)

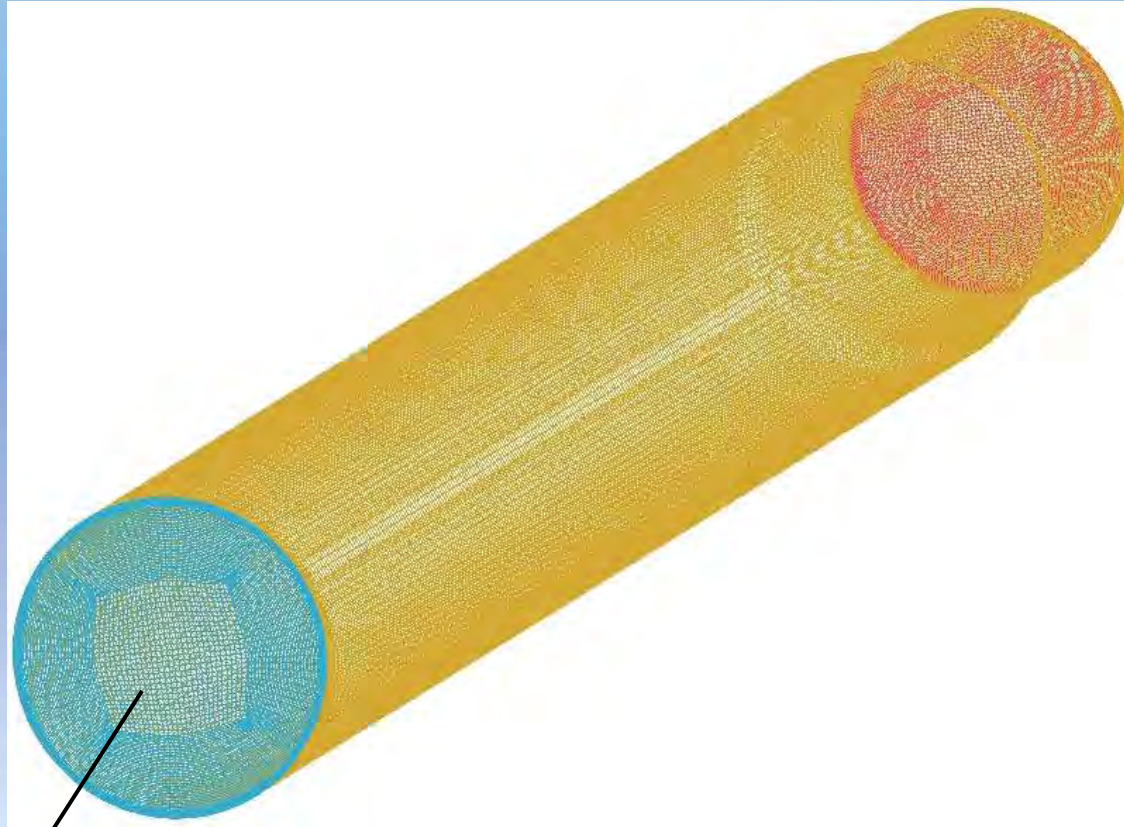


# 解析モデル



モーター、架台を省略したモデルを作成

# メッシュモデル(入口)

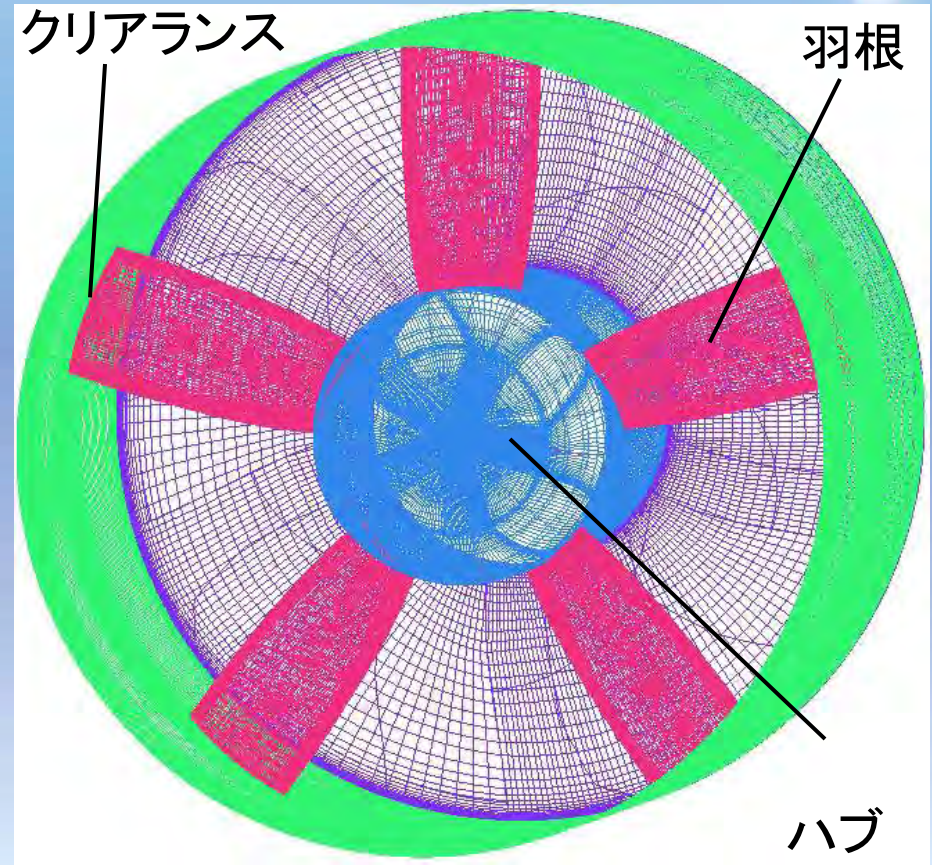
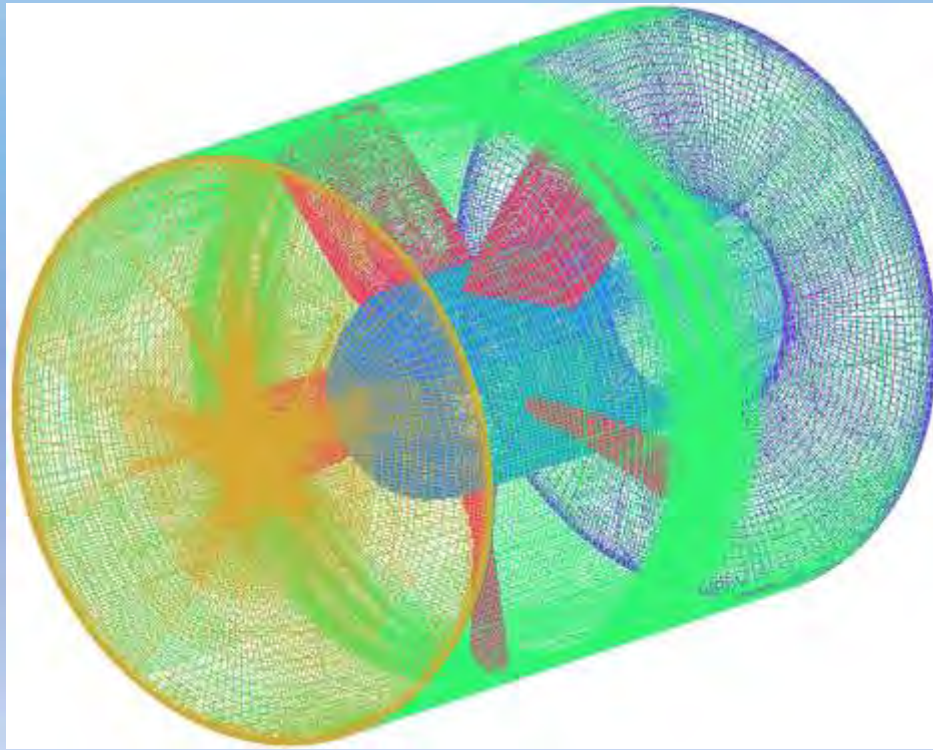


解析領域入口

節点数: 約 $2.1 \times 10^6$



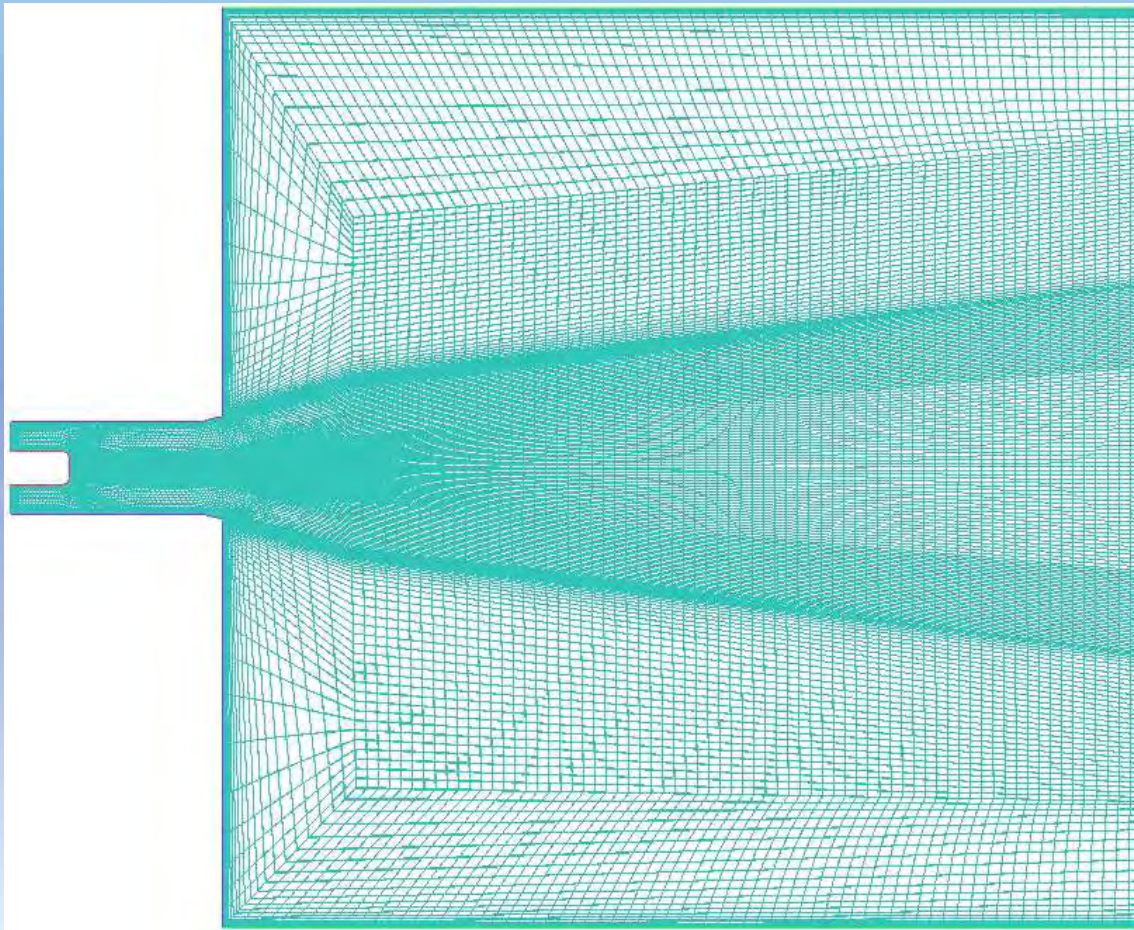
# メッシュモデル(羽根)



節点数: 約 $2.5 \times 10^6$



# メッシュモデル(出口)



解析領域出口

節点数: 約 $2.7 \times 10^6$

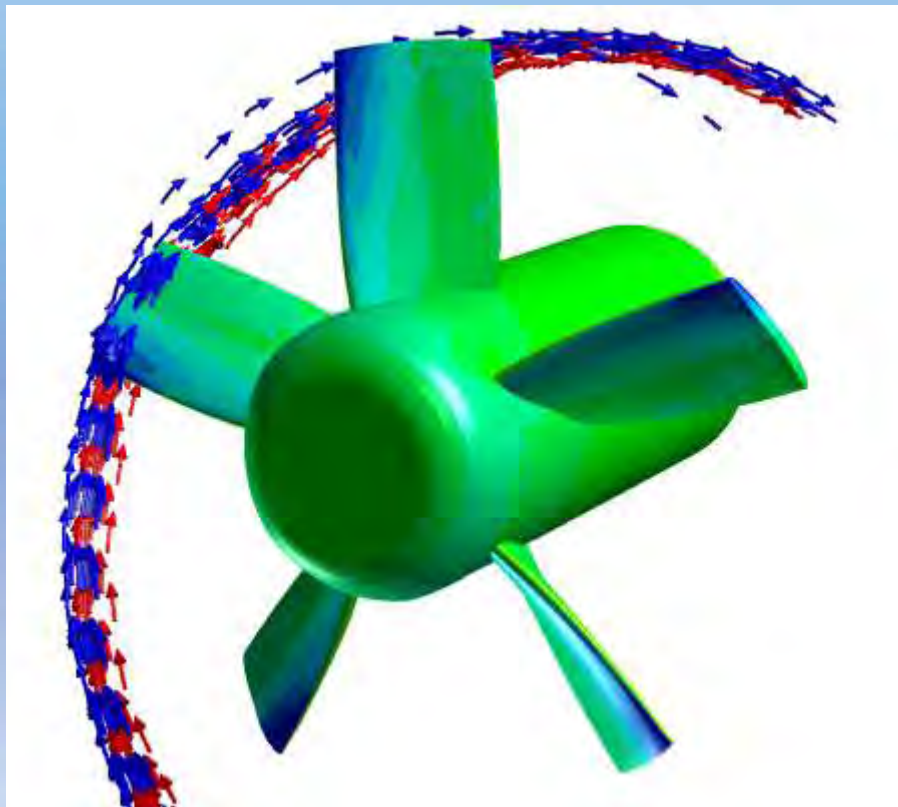
全体で節点数 $7.3 \times 10^6$ のメッシュモデルを作成



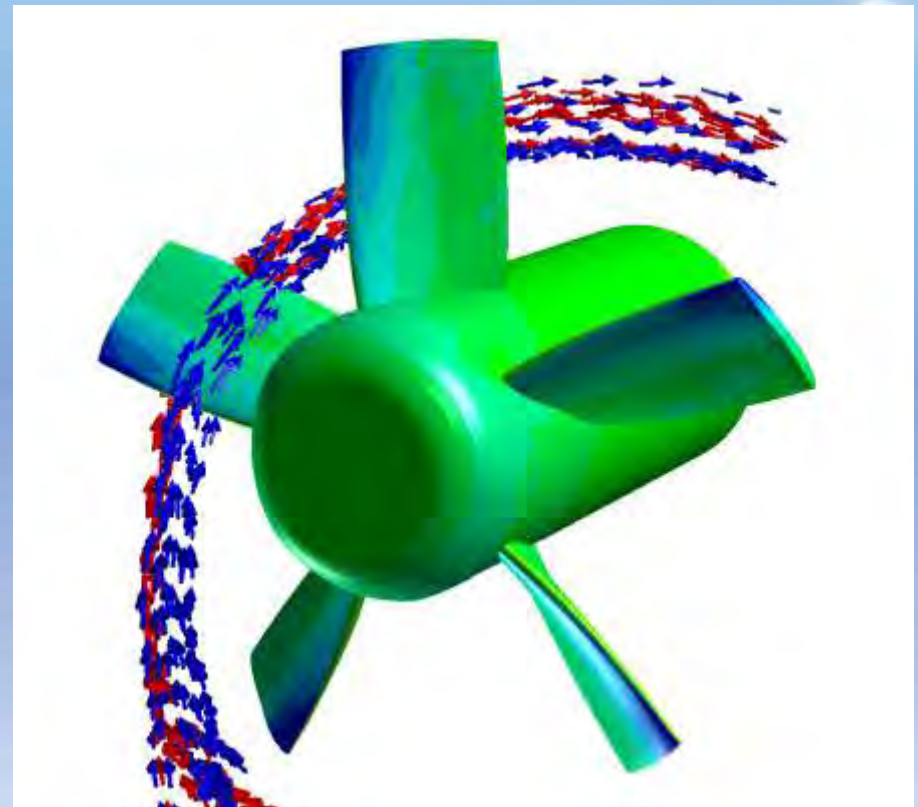
# 解析条件

- ・使用ソフト: FrontFlow/blue
- ・サブグリッドスケールモデル:  
標準スマゴリンスキーモデル、ダイナミックスマゴリンスキーモデル
- ・運動方程式の解法: クランク・ニコルソン法
- ・圧力方程式の解法: 低マッハ数近似を施したFractional-Step法
- ・  $\Delta t = 6.136 \times 10^{-4}$  (計20回転分)
- ・入口境界: 流速一定 (35 m/s)
- ・出口境界: 圧力0およびtraction-freeの境界条件
- ・壁面: no-slip
- ・初期条件: 速度および圧力0

# 流線および表面圧力(1/3)



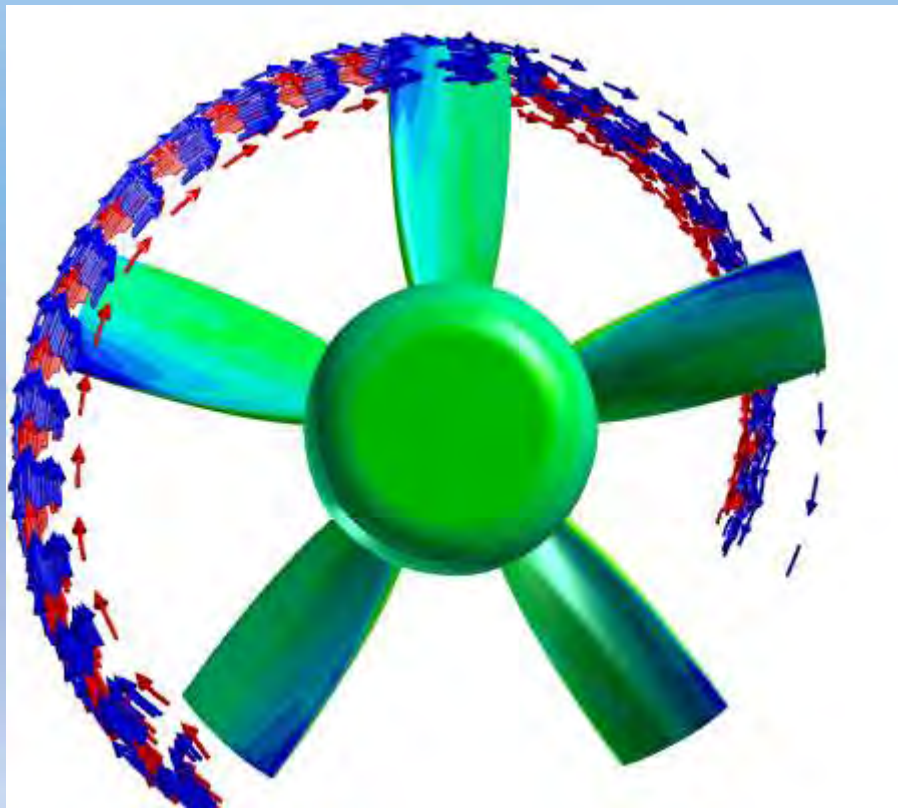
前縁チップ近傍を通過する流線



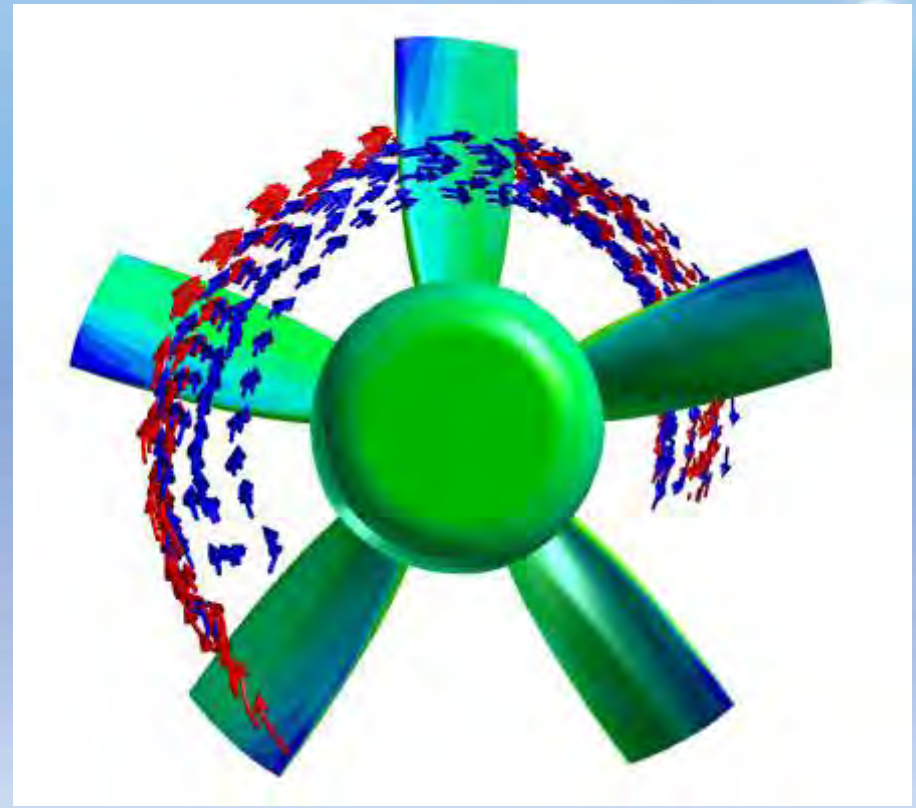
前縁ミッドスパン近傍を通過する流線

青: 負圧面を通過、赤: 圧力面を通過

# 流線および表面圧力(2/3)



前縁チップ近傍を通過する流線

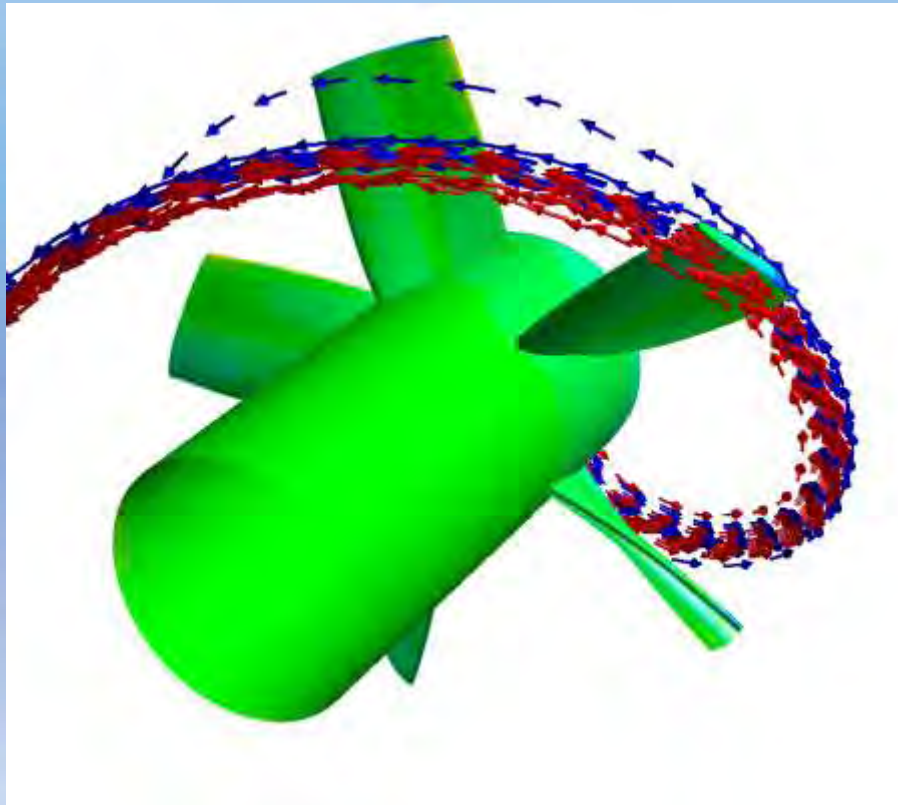


前縁ミッドスパン近傍を通過する流線

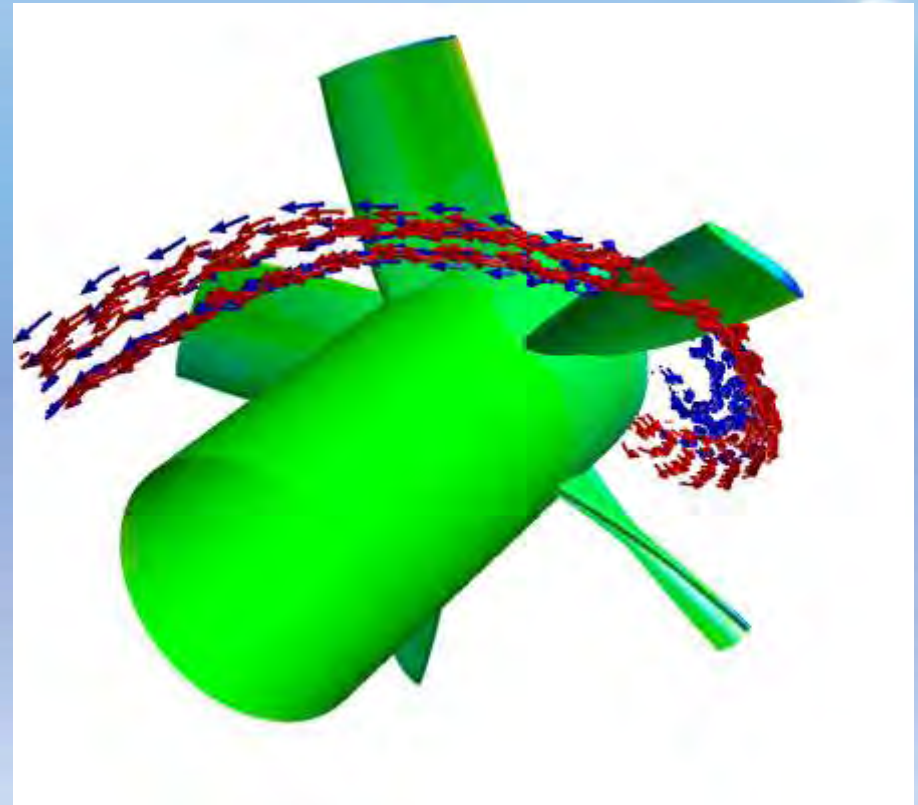
青: 負圧面を通過、赤: 圧力面を通過



# 流線および表面圧力(3/3)



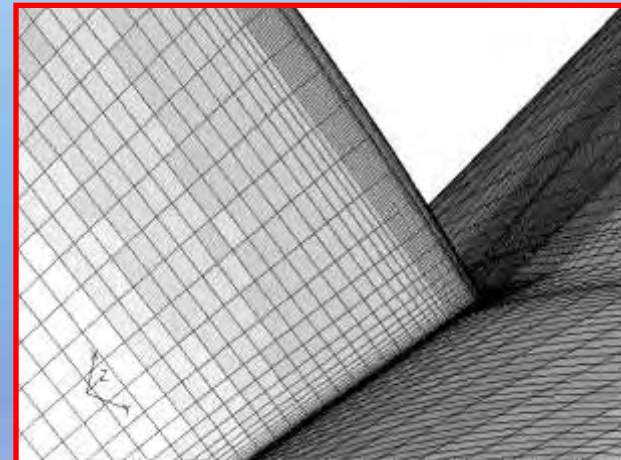
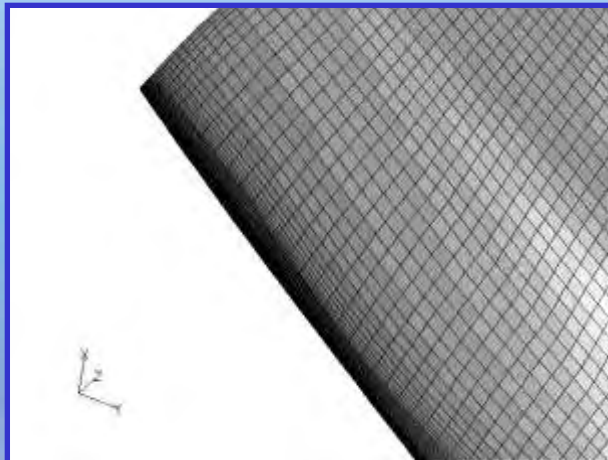
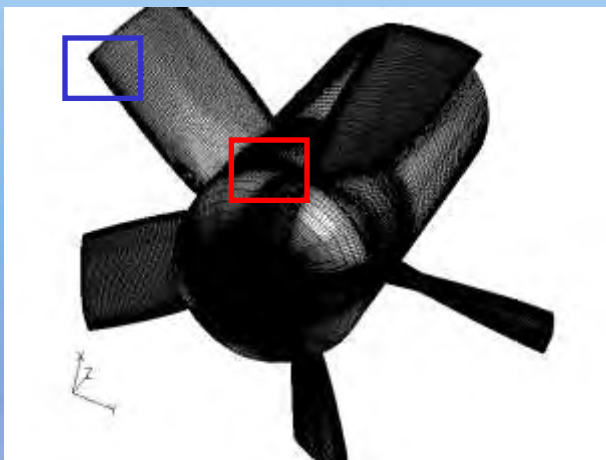
前縁チップ近傍を通過する流線



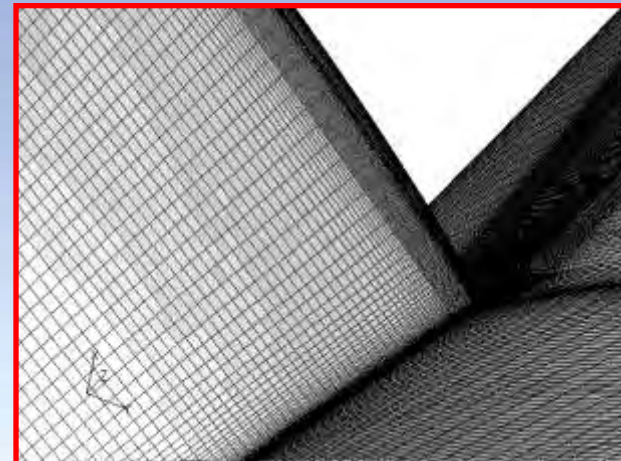
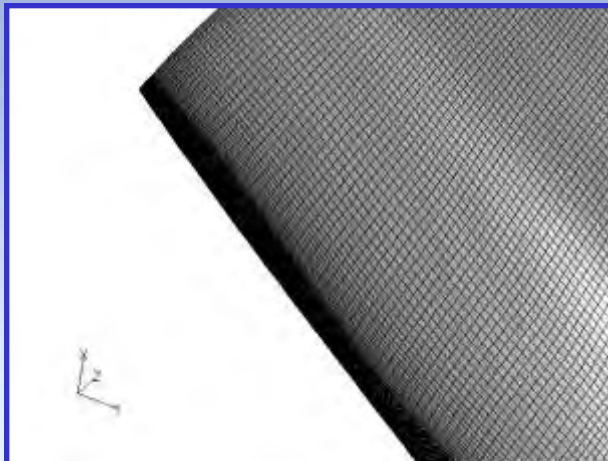
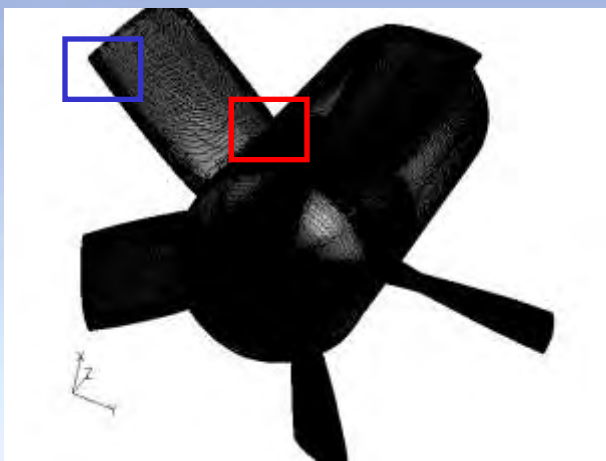
前縁ミッドスパン近傍を通過する流線

青: 負圧面を通過、赤: 圧力面を通過

# 再分割前後のメッシュモデルの比較



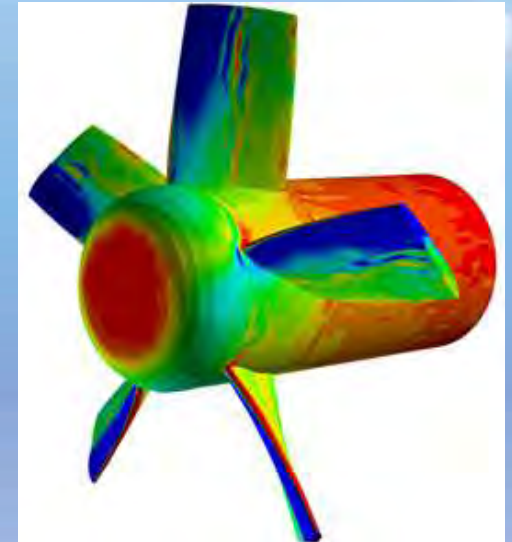
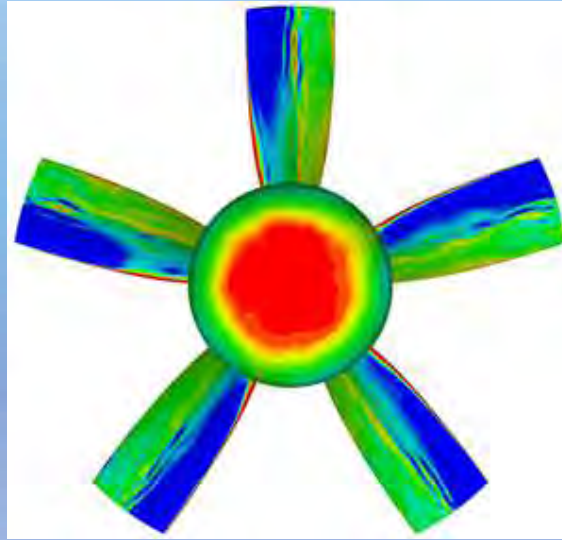
リファイン前



リファイン後

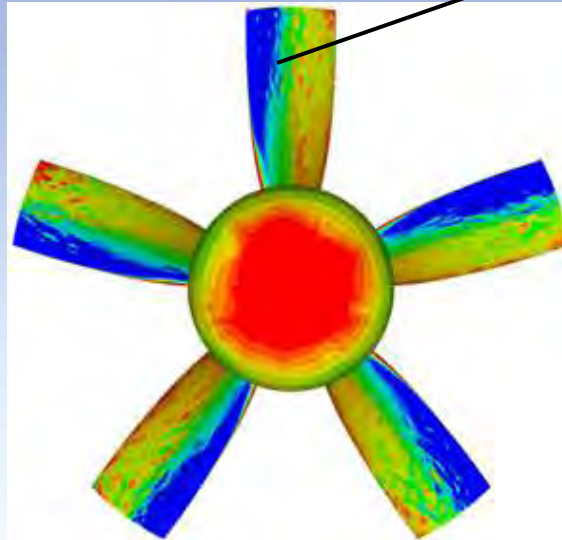
# 格子解像度と流れ構造の関係

リファイン前



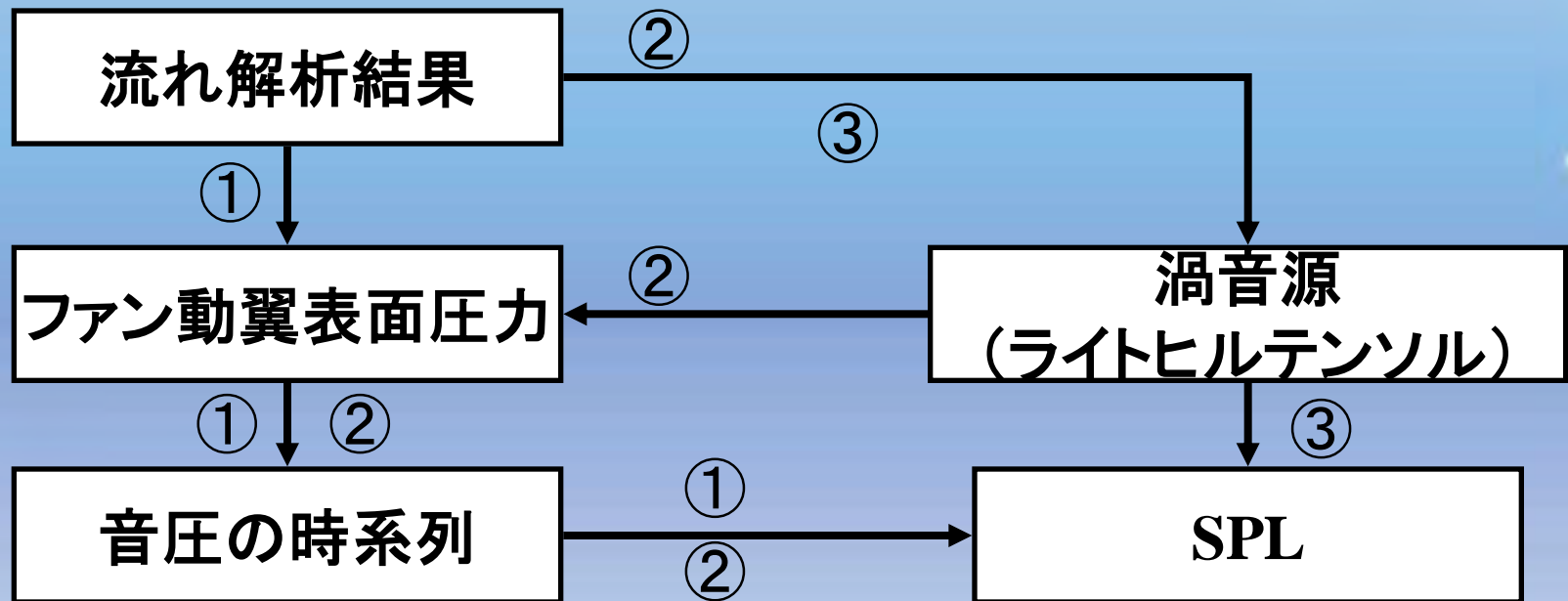
乱流遷移を  
捉えることが  
可能

リファイン後





# FFBにおけるファン騒音予測

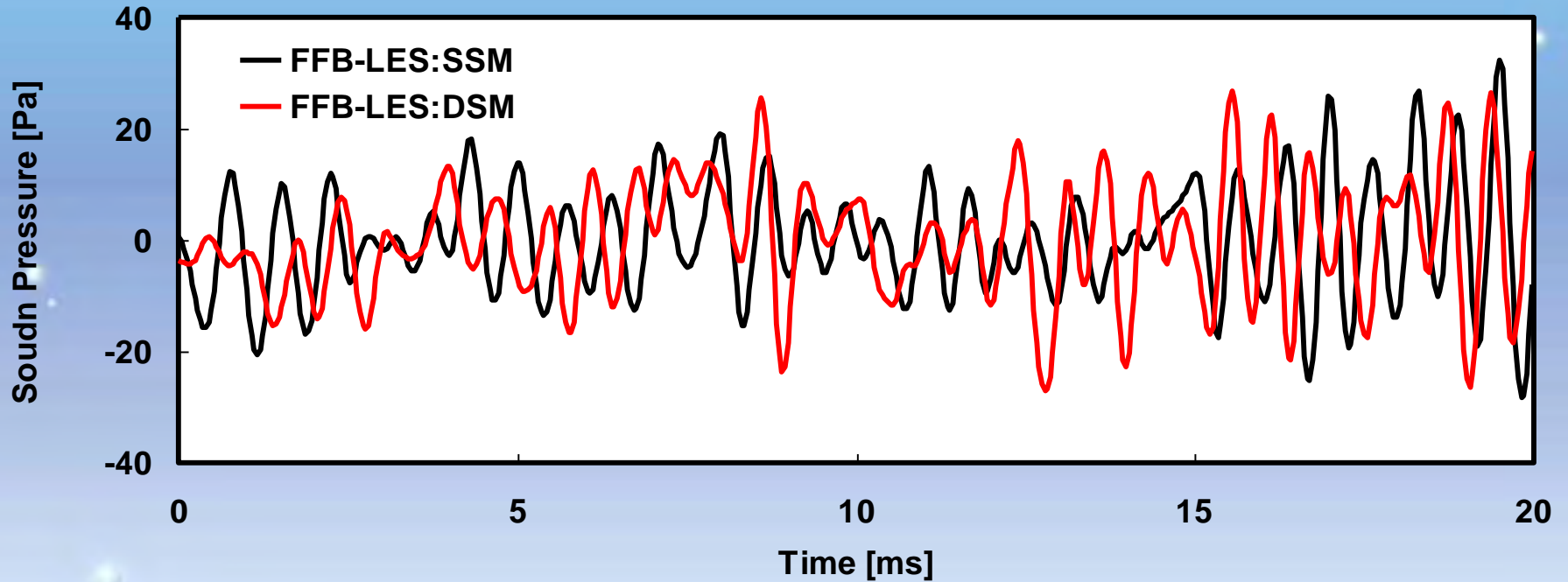


① 流体計算 (表面圧力変動) → カールの式 (SPL)

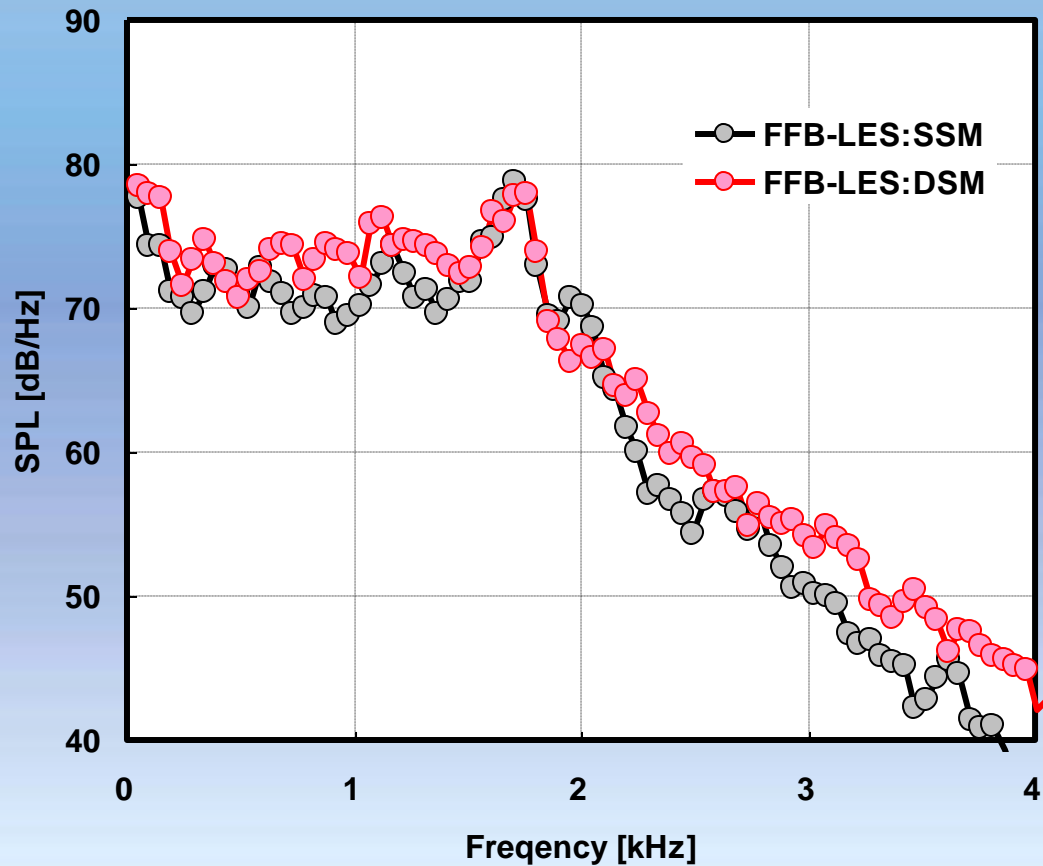
② 流体計算 (渦音源) → 音響解析 (表面圧力変動) → カールの式 (SPL)

③ 流体解析 (渦音源) → 音響解析 (SPL空間分布)

# ジェットファン上流1mにおける音圧の予測値



# SPLの予測結果





# まとめ

- ・LESによるジェットファン騒音予測の大規模解析環境が構築できた。
- ・Refiner計算は数値安定の面で課題を残しているが、翼表面上のより詳細な圧力分布を得ることができ、その効果を確認することができた。
- ・騒音予測の結果では、SSMとDSMの間に大きな違いは見られなかった。



ハイパフォーマンスコンピューティングを利用することで、  
企業の製品開発がより加速すると考えられる。

# ESの有用性

- ・ESを利用することによって大規模解析に取り組むことができた。本プロジェクトで解析に使用したリファイン後のメッシュモデルを使って、社内のPCクラスタで解析することはほぼ不可能である。
  - ・乱流遷移が捉えられる程度の解像度を有する大規模解析が常に必要なわけではないが、全く不要というわけでもない。費用対効果を考えると社内に大規模解析が可能なコンピュータを導入することは難しいので、地球シミュレータのようなスーパーコンピュータを社外利用できる環境は大変有益である。
- ⇒これまで実行不可能だった大規模解析が可能となった。