

# 目的

羽根を回転させたときに生じる気流の状態を確認する。

計使用プログラム 汎用熱流体解析プログラム PHOENICS Ver2017

# 計算方法

今回、計算条件として既知なものは、3D-CADで作成された羽根形状とその回転条件である。PHOENICSでは、時間ステップごとに固体を移動させることで羽根周りに発生する気流を計算することが可能である。しかしこの機能は、羽根形状を正確に模擬し、時間毎の速度を計算する求ため、計算コストがかかる。そこで今回の解析は、以下の2つの計算に分けて行った。

- case1: 初期計算  
羽根を回転させ、羽根周囲の流れが安定するまで非定常計算を行う
- case2: 本計算  
case1で得られた羽根周囲の速度を使用し、定常計算を行う。

# Case1 初期計算

## 計算条件

計算モデル : 3次元非定常解析  
座標系 : 円筒座標系  
計算格子数 : 240\*110\*156 (4,118,400)  
計算単位系 : SI単位  
乱流モデル : k- $\epsilon$  chenモデル  
変数 : 圧力、XYZ方向速度成分、乱流エネルギー、乱流エネルギー散逸率

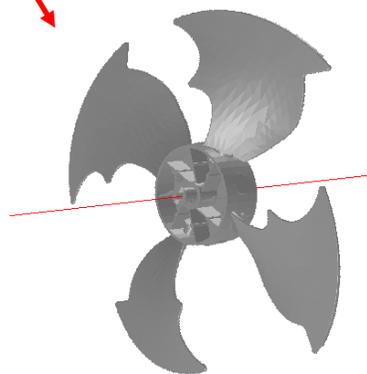
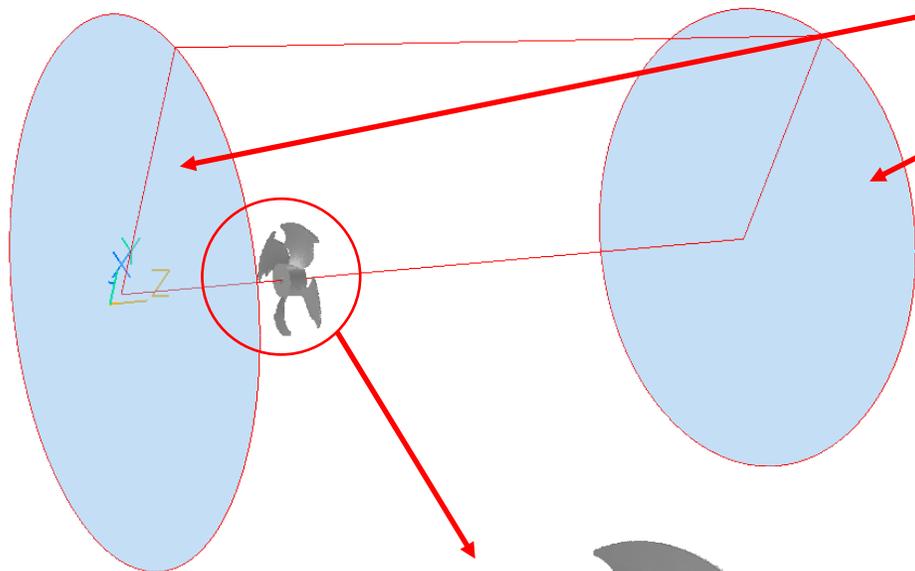
## 回転数

羽回転数 : 1500[rpm]  
計算時間 : 0.2s  
計算step数 : 400回  
(0.2s、5回転分の計算を行った)

# モデル図

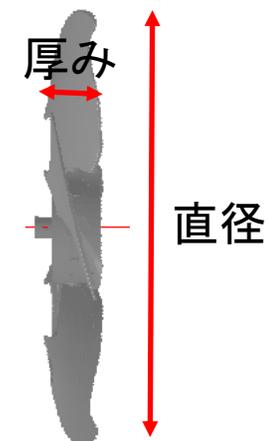
解析領域サイズ: 半径1[m] 長さ3[m]

大気開放



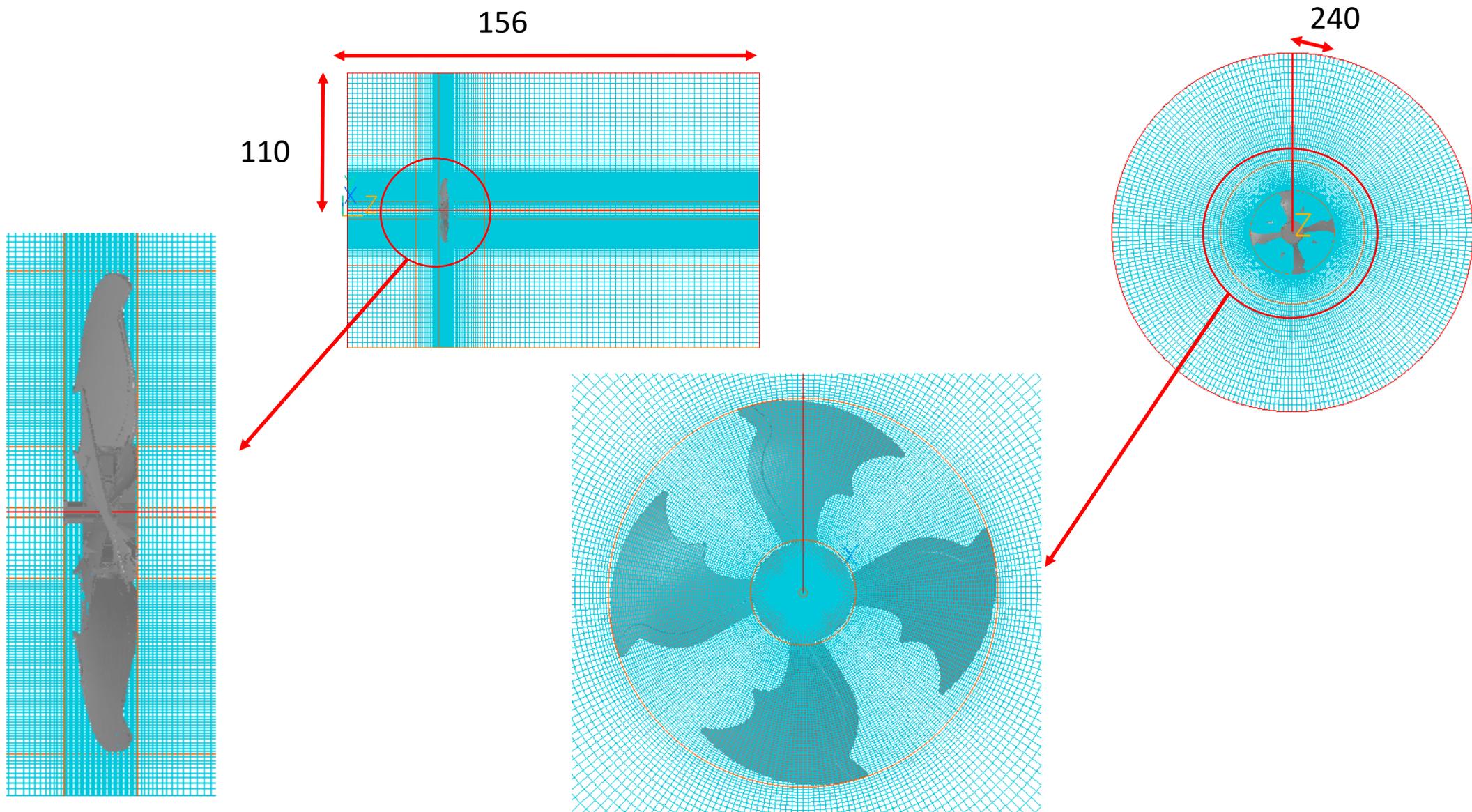
※3D CADで作成した羽根  
(お送り頂いたデータ)

羽根サイズ: 直径0.46[m]  
厚み0.071[m]

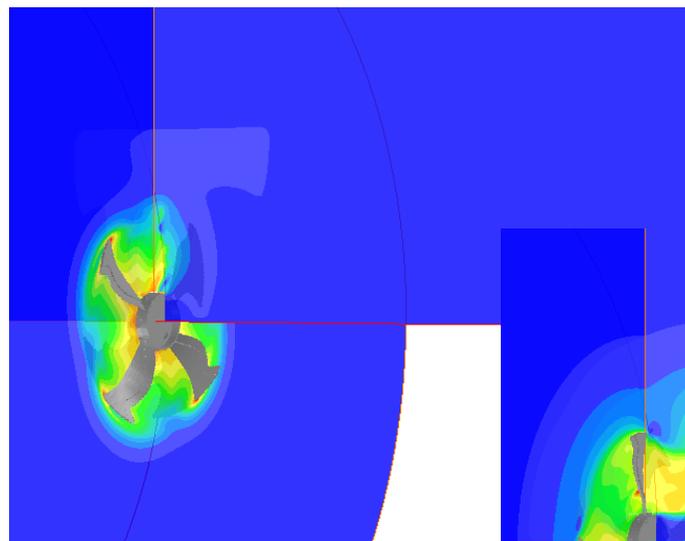
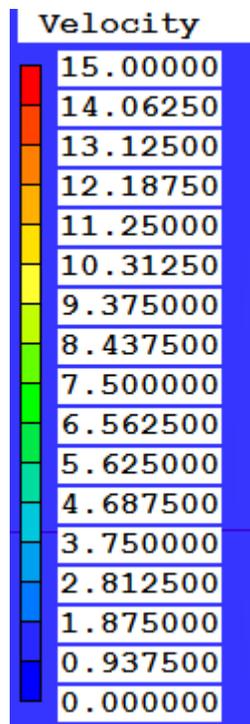


# メッシュ図

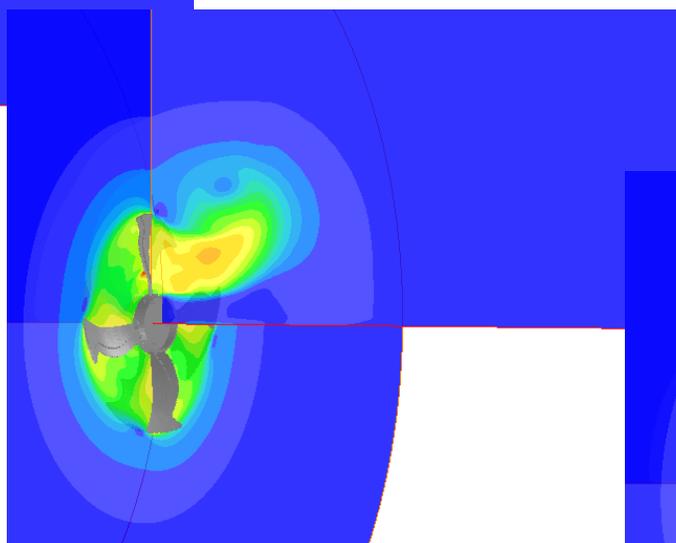
計算メッシュ数 : 240\*110\*156 (4,118,400)



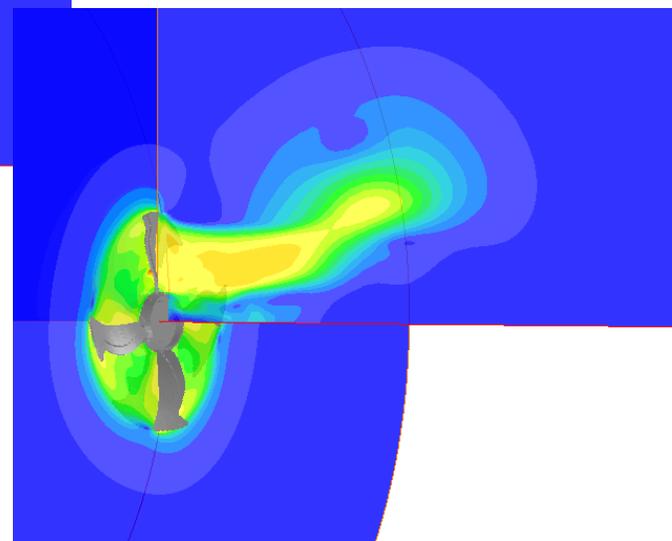
# 計算結果



0.05s



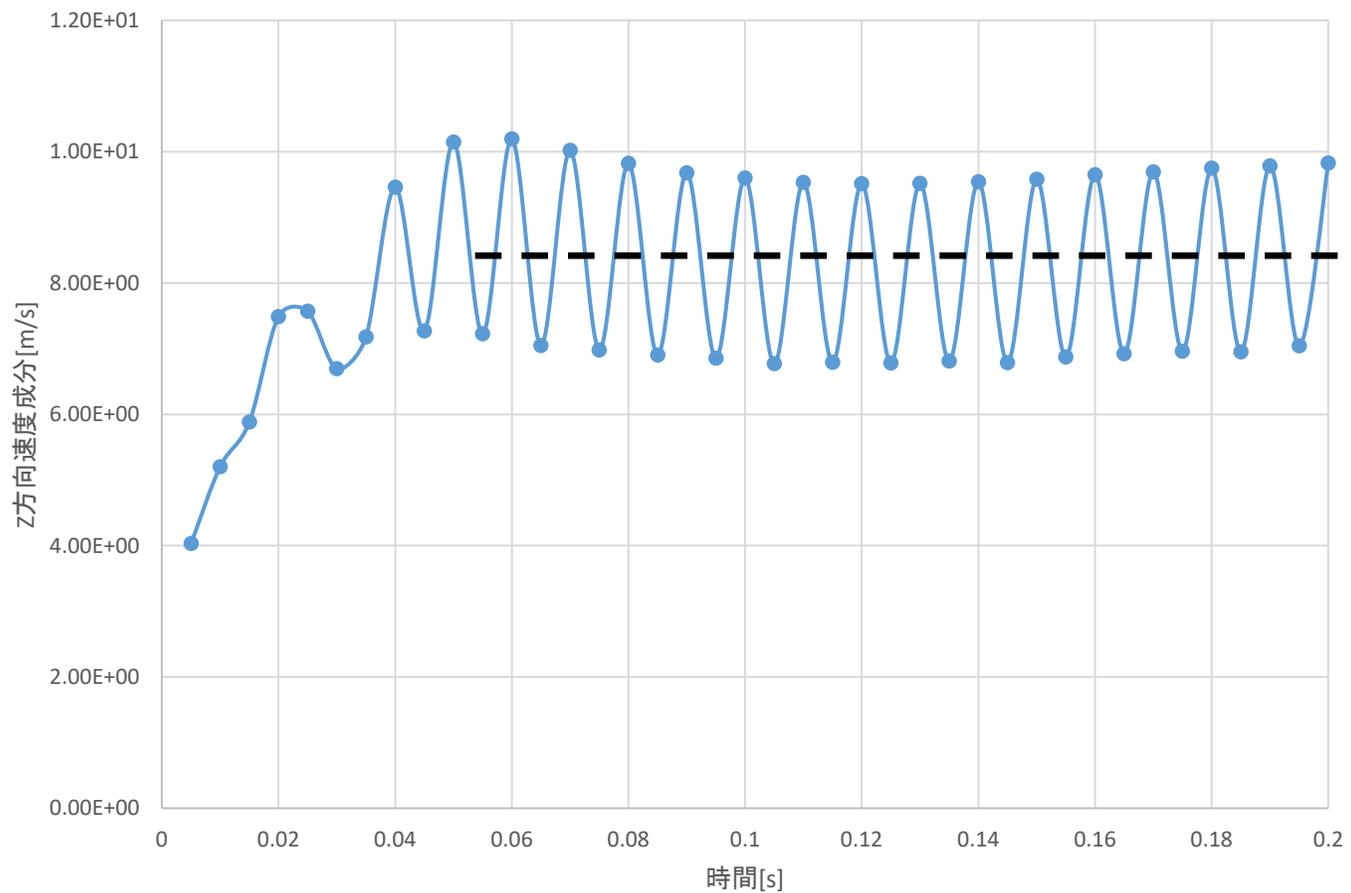
0.1s



0.3s

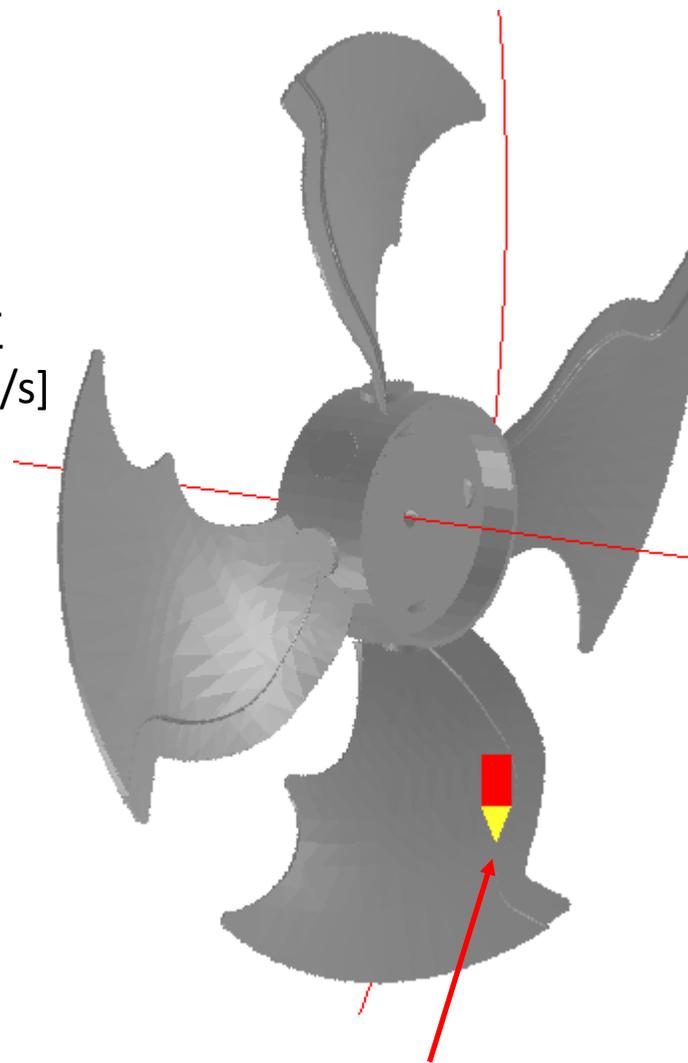
※羽根は計算ステップ毎に、回転し位置を変える。  
それに伴い軸方向速度が発達してくる。

速度コンター図

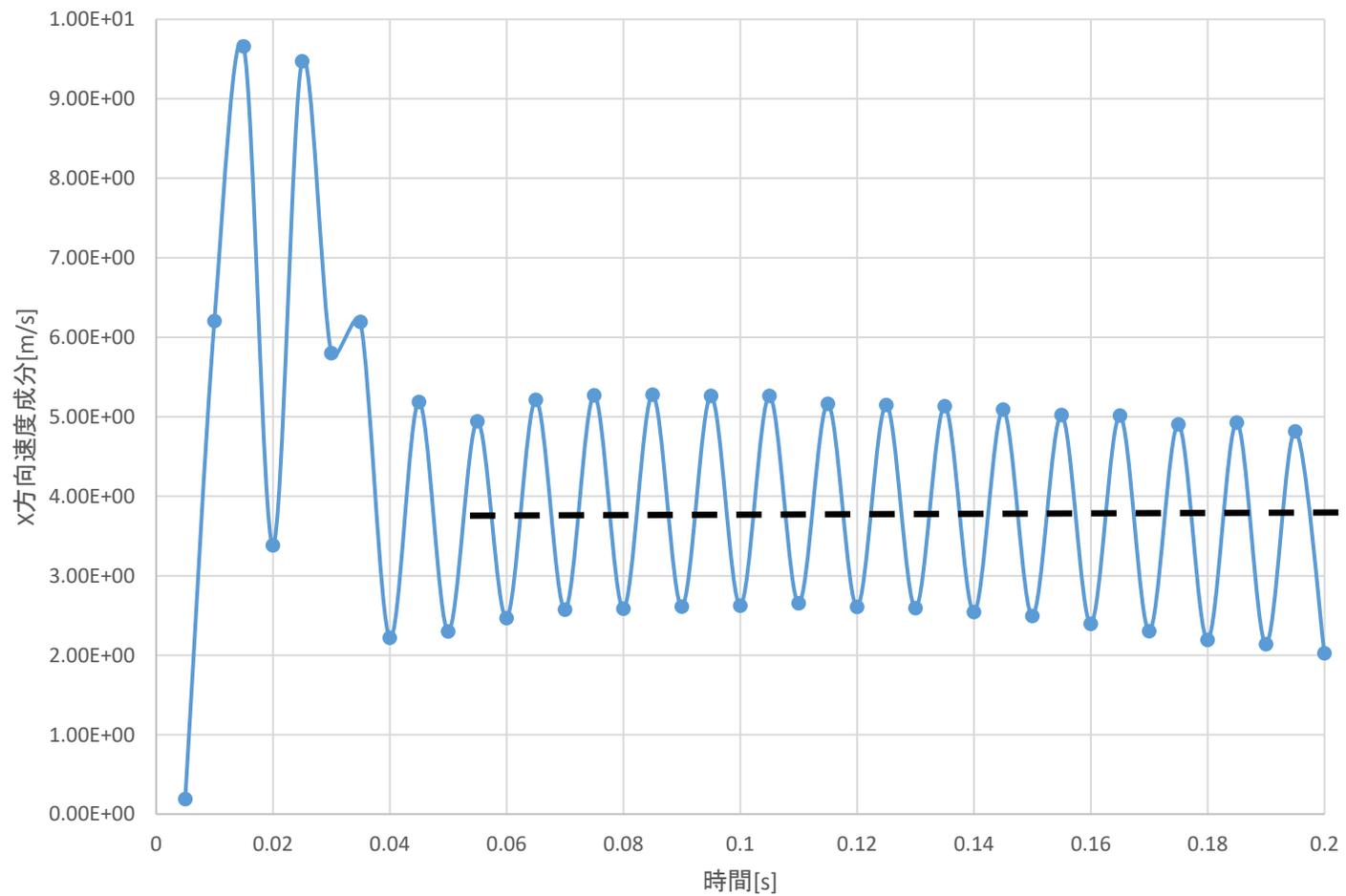


z方向(軸方向)速度成分グラフ

平均値  
8.31[m/s]

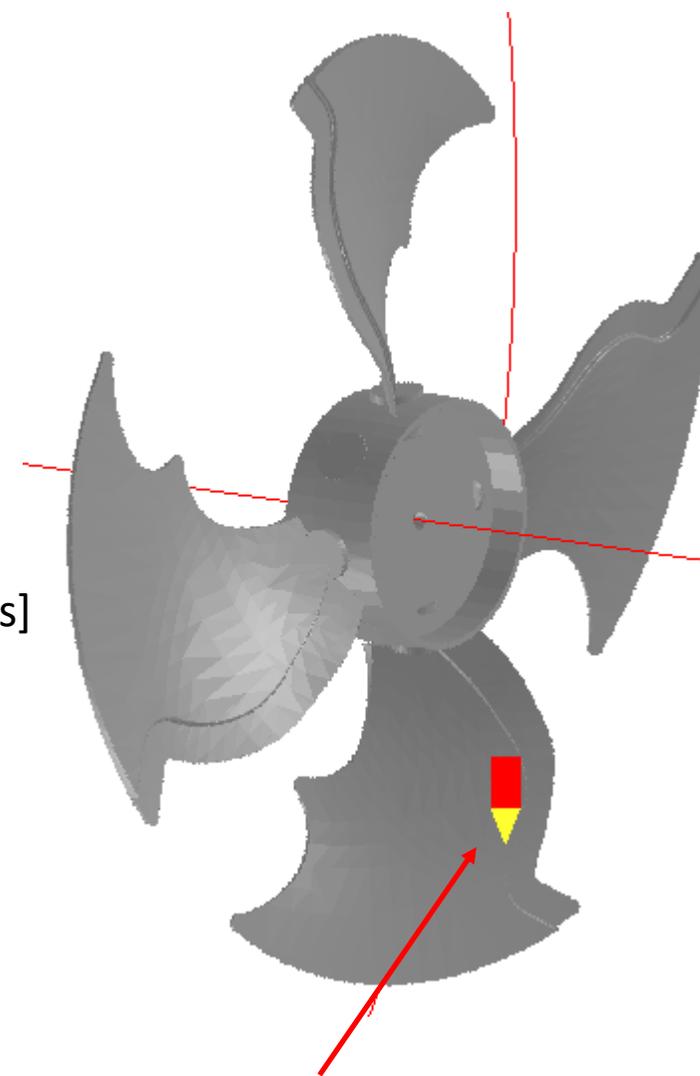


データ測定位置



X方向(周方向)速度成分グラフ

平均値  
3.78[m/s]



データ測定位置

# Case2 本計算

## 計算条件

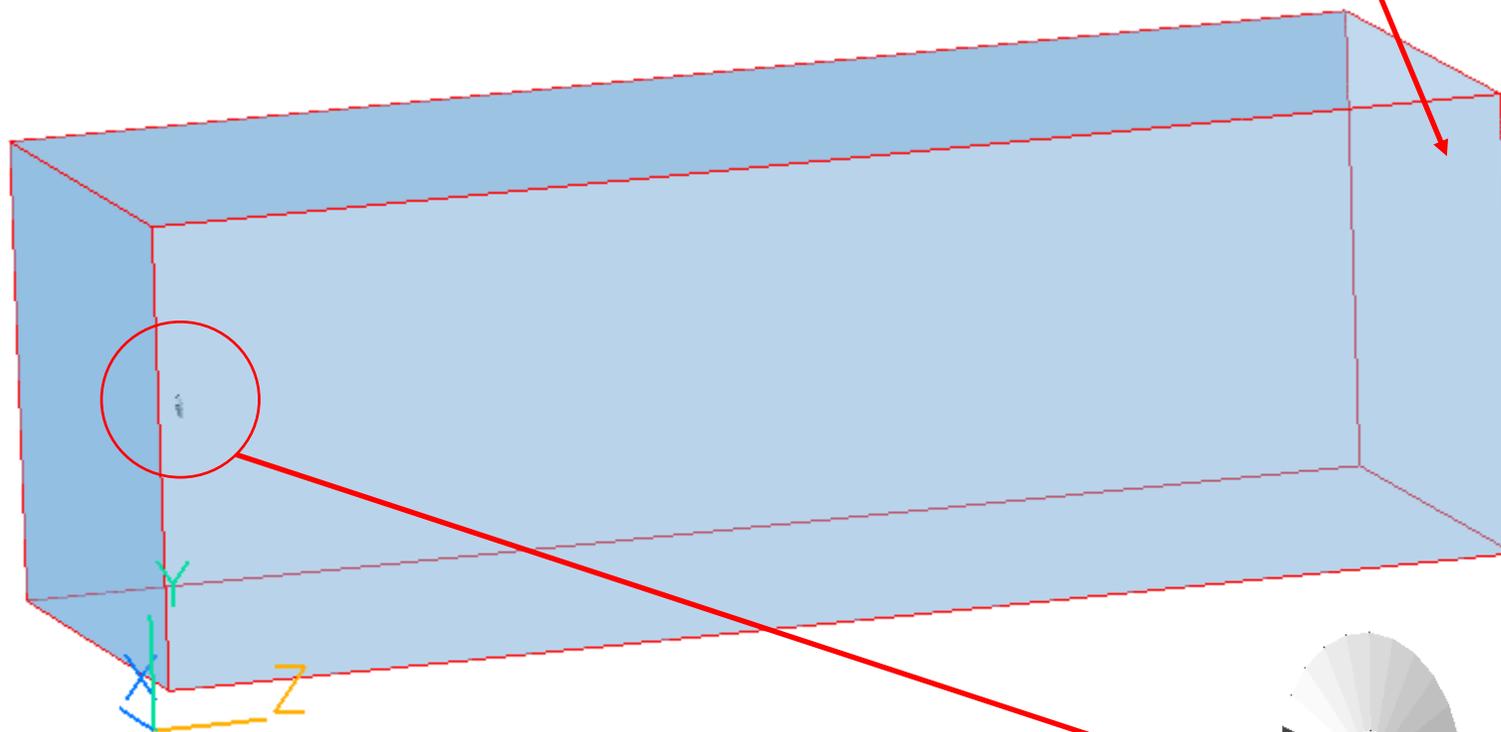
計算モデル : 3次元定常解析  
座標系 : 直交座標系  
計算格子数 : 60\*60\*201 (723,600)  
計算単位系 : SI単位  
乱流モデル : k-ε chenモデル  
変数 : 圧力、XYZ方向速度成分、乱流エネルギー、乱流エネルギー散逸率

## 羽速度

主流方向速度成分 : 8.31[m/s]  
Case1の結果から、Z方向速度成分の平均が約8.31[m/s]となったため  
周方向速度成分 : 3.78[m/s]  
Case1の結果から、X方向速度成分の平均が約3.78[m/s]となったため

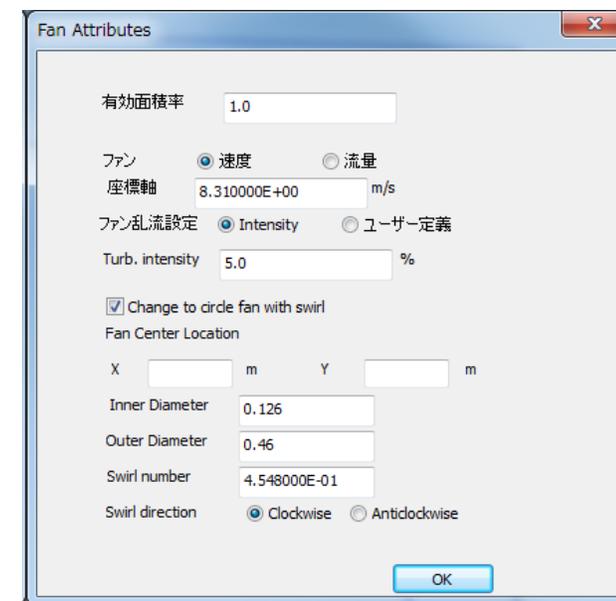
# モデル図

解析領域サイズ: 10[m]\*10[m]\*30[m]



大気開放(全面)

## FANオブジェクトの設定



羽根サイズ: 直径0.46[m]  
内径0.126[m]

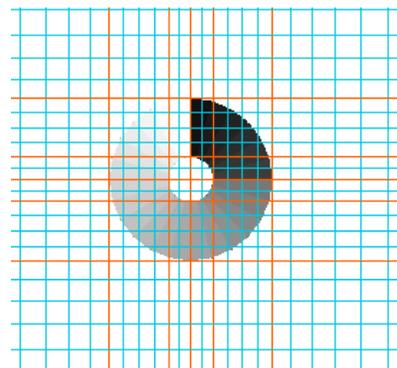
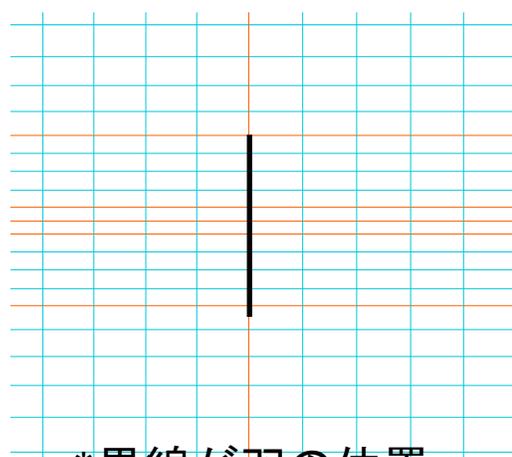
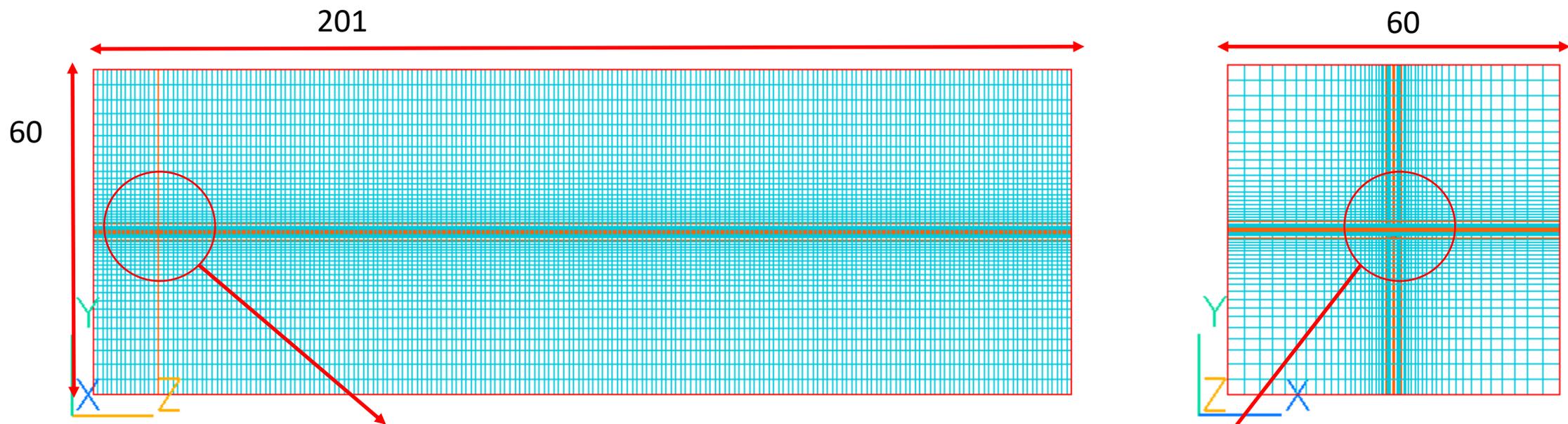


FANオブジェクト

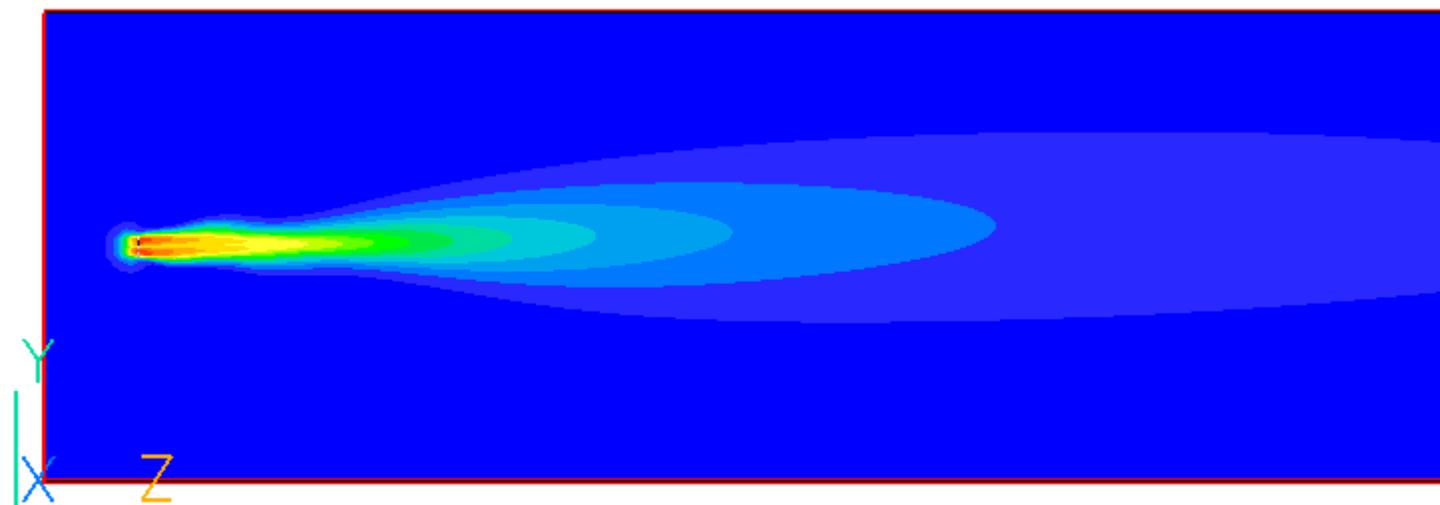
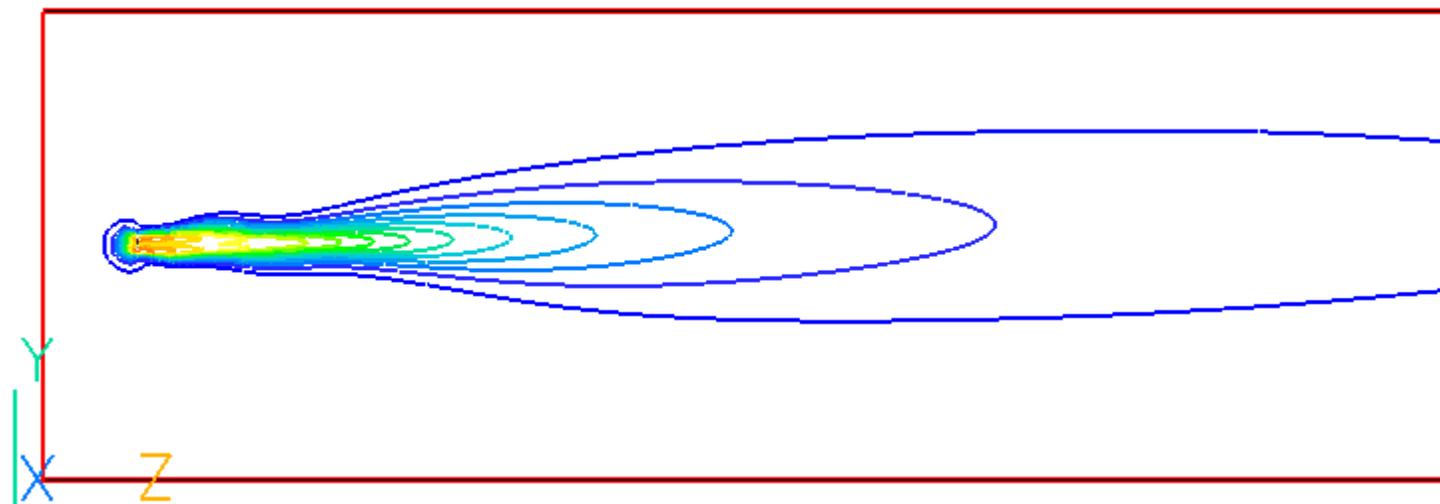
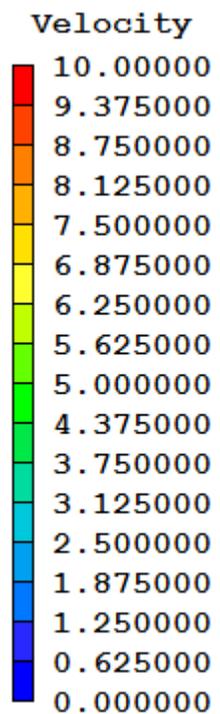
# メッシュ図

計算メッシュ数 : 60\*60\*201 (723,600)

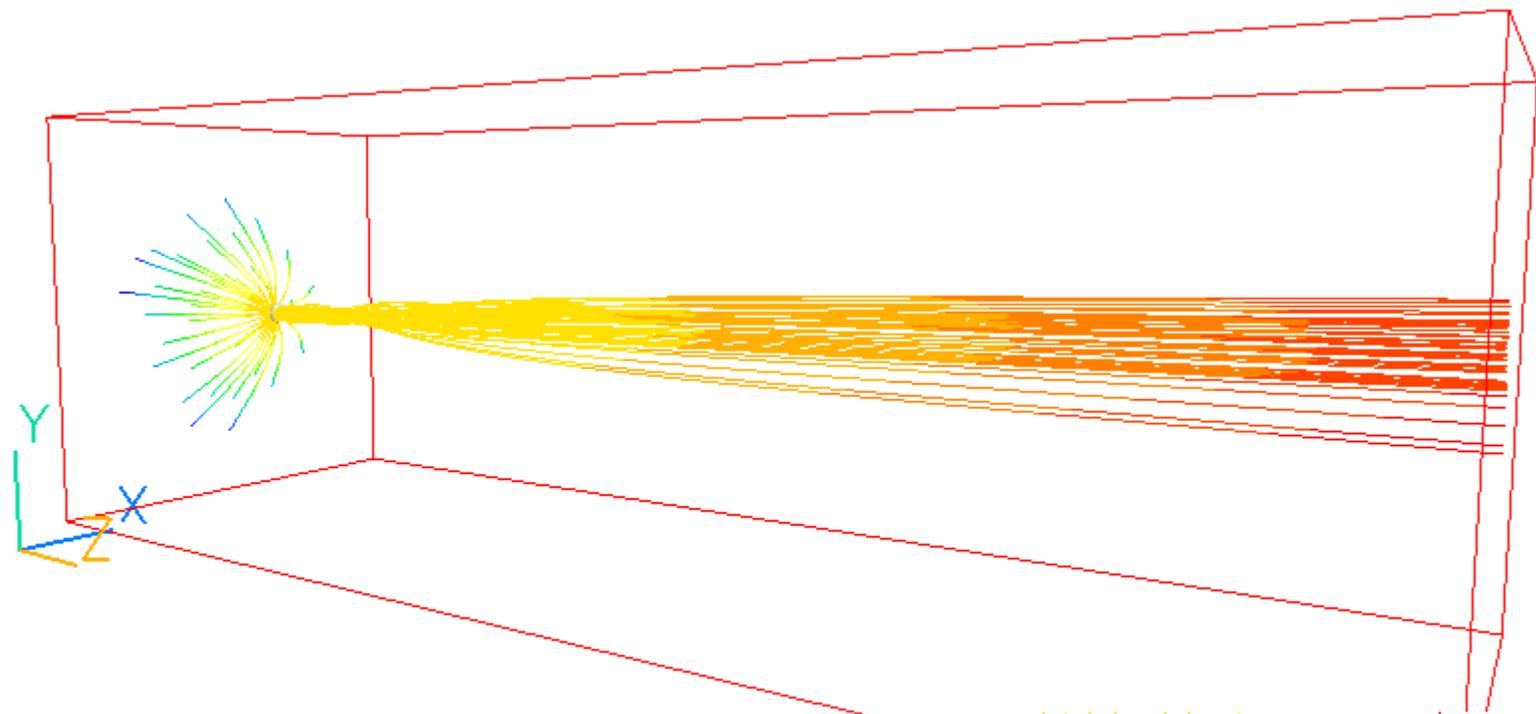
※Case1の約1/6



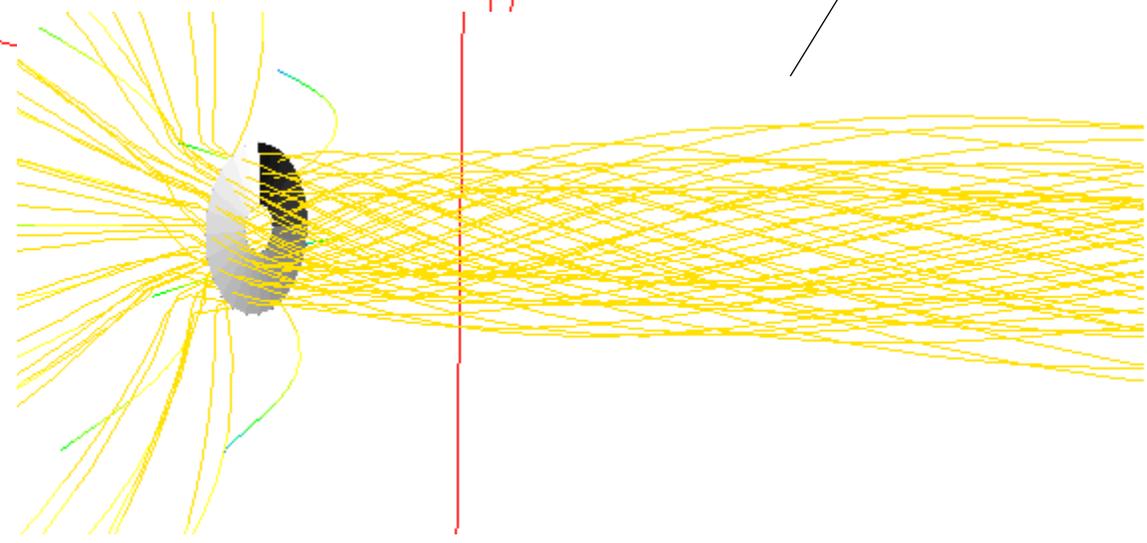
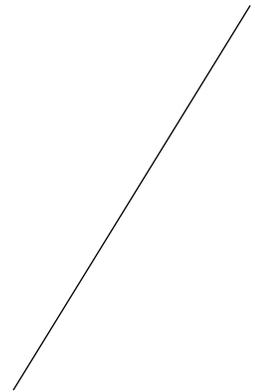
# 計算結果



速度コンター図(中心断面)



ファン下流では  
旋回流が発生している



流線図

# 計算環境

- ・計算に使用したPC

CPU : Intel(R) Core(TM) i7-4790 CPU @ 3.60GHz 3.60GHz

RAM : 32GB

O/S : Windows 10

- ・計算時間

case1

計算時間 : 0.2s

計算step数 : 400回

反復計算回数 : 20回

計算時間 : 約60h

\*5回転分の計算を行ったが、case1の計算結果から約0.08s  
(2回転)で羽周囲の流れ場は安定していることがわかった。

case2

反復計算回数 : 10000回

計算時間 : 約15h

\*半分程度の約4,500回でほぼ収束していた

# まとめ

ベンチマーク開始当初は、PHOENICSの移動境界機能 (ROTORオブジェクト) を使用し、非定常計算で、気流全体の流れが確認できるまで計算を行おうと考えていたが、羽根形状を正確に表すためメッシュ分割、時間分割が大きくなり計算コストがかかかってしまった。計算結果から回転開始後約0.08secには、羽根近傍の平均速度はほぼ一定となっていた。そこで新たに定常計算用の計算モデルを作成し、PHOENICSのファン計算機能に対し非定常計算の平均速度を与えることで全体の気流分布を求めた。計算を2段階に分けることで計算コストは、飛躍的に低減できた。

計算から、1500rpmで直径約50cmの羽根を回転させた場合、1m/sの流速が羽根下流20mの位置まで到達していることを確認できた。