

第53回流体力学講演会/第39回航空数値シミュレーション技術シンポジウム
直交格子CFDワークショップ

3C06

スタガード格子を使った 直交カットセル法による非圧縮流れの解析

岩手大学大学院 機械・航空宇宙コース

港 怜

上野 和之

竹田 裕貴

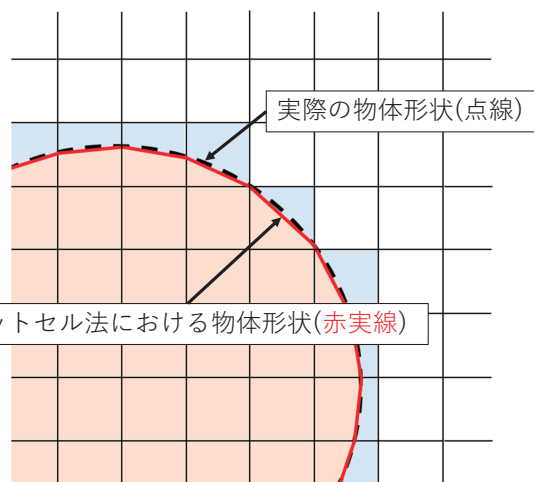
木村 蓮

2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

1

<直交カットセル法>



物体の形状に応じて計算セルをカットし
物体表面を区分的な平面で近似する方法

特徴

- ・ 格子生成の完全自動化
- ・ ロバストな格子生成

利点

- ・ ボクセル法に比べなめらかな形状表現が可能
- ・ IB法では満足しない質量保存則を満足

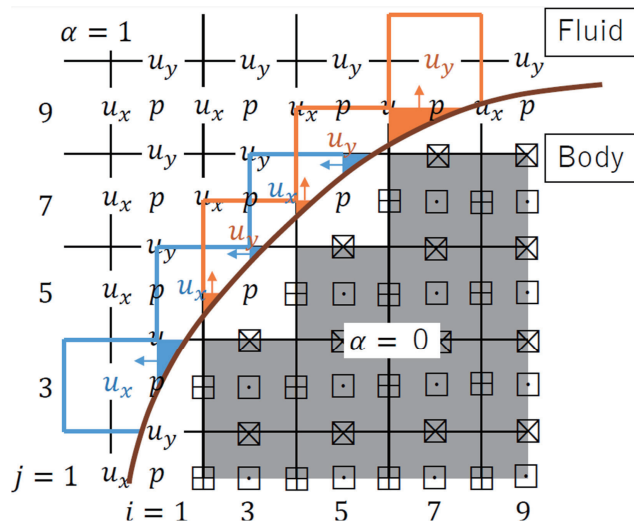
2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

2

<スタガード格子>

- 速度と圧力の定義点が異なる格子
⇒非圧縮性流れにおいて推奨
- スタガード格子と直交カットセル法との相性について未知の部分が多い



2020/2/12

3

<概要>

目的:スタガード格子で非圧縮性流れに対する直交カットセル法コードの開発
および計算結果を定性的・定量的に検証する

課題1:円柱まわり流れの解析
 $Re = 10, 50, 100, 200$

2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

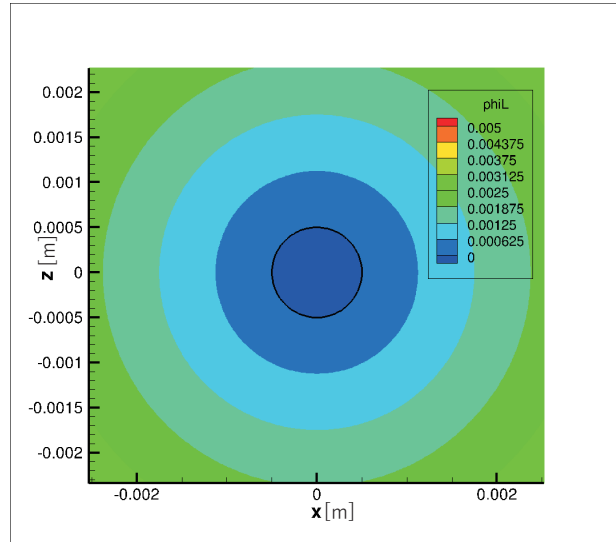
4

<レベルセット関数>

カットセル法における物体形状の判別にレベルセット関数を利用

符号付き距離関数

- $\phi > 0$ 気体中
- $\phi = 0$ 物体表面
- $\phi < 0$ 物体内部



<壁面剪断応力の算出と表面積分>

壁面剪断応力の算出

- 壁面剪断応力の算出にはカットセルの流体領域の重心（ボリュームセンター）と壁面との距離の近似値 ϕ_{vis} を使用

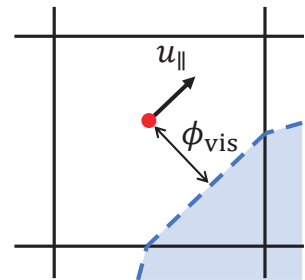
$$\phi_{vis} = \min \left[\frac{\alpha}{S_{cut-plane} V \{1 + \max(n_x^2, n_y^2, n_z^2)\}}, \frac{1}{2} \max(\phi_{i-\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}}, \phi_{i+\frac{1}{2}, j-\frac{1}{2}}, \phi_{i-\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}}, \phi_{i+\frac{1}{2}, j+\frac{1}{2}}) \right]$$

ϕ : レベルセット関数, \mathbf{n} : 単位法線ベクトル

壁面剪断応力の表面積分

- 壁面剪断応力とカット面の面積との積の総和をとることで得る

$$D_f = \sum_{cut-cell} (-\tau_{wx} S_{cut-plane})$$



< 各計算条件 >

Re_D	U_∞ m/s	T_∞ K	P_∞ kPa	ρ_∞ kg/m ³	D mm
10	55.755	800	1.5316	6.67×10^{-3}	1.0
50			7.6585	3.34×10^{-2}	
100			15.316	6.67×10^{-2}	
200			30.633	1.33×10^{-1}	

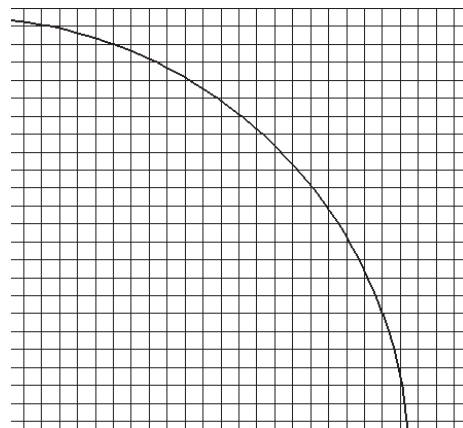
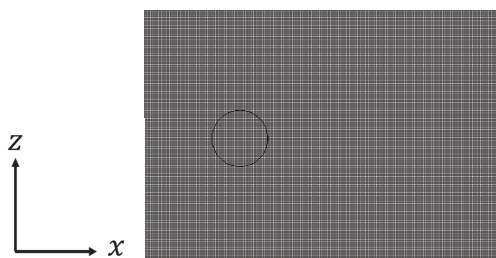
2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

7

< 計算領域 >

計算領域全体	$-67 \leq x/D \leq 67$
	$-98 \leq z/D \leq 98$
等間隔領域	$-5 \leq x/D \leq 10$
	$-3 \leq z/D \leq 3$
格子幅	$0.02D$



2021/7/2

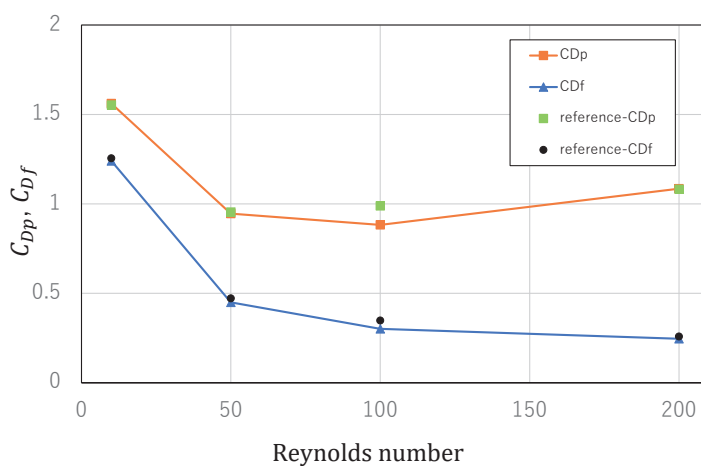
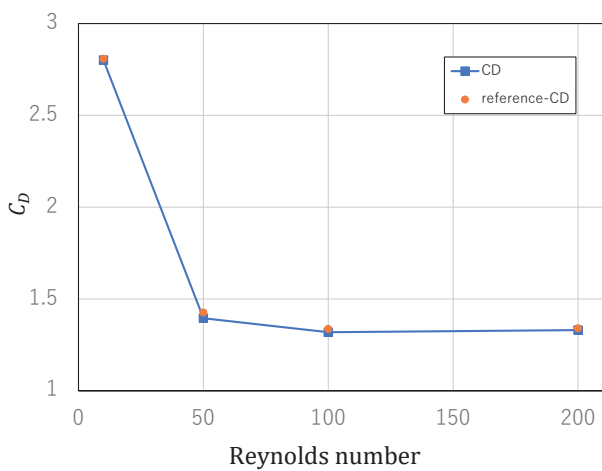
直交格子CFDワークショップ

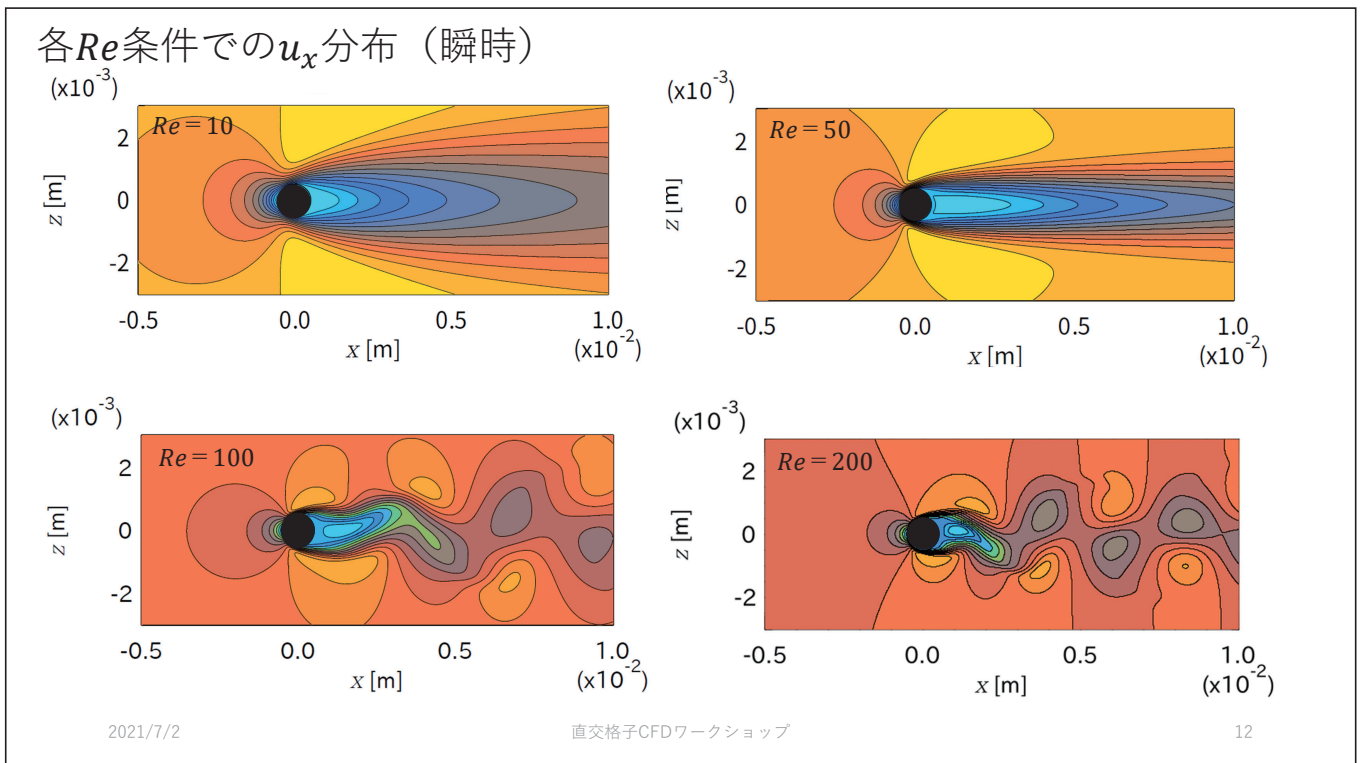
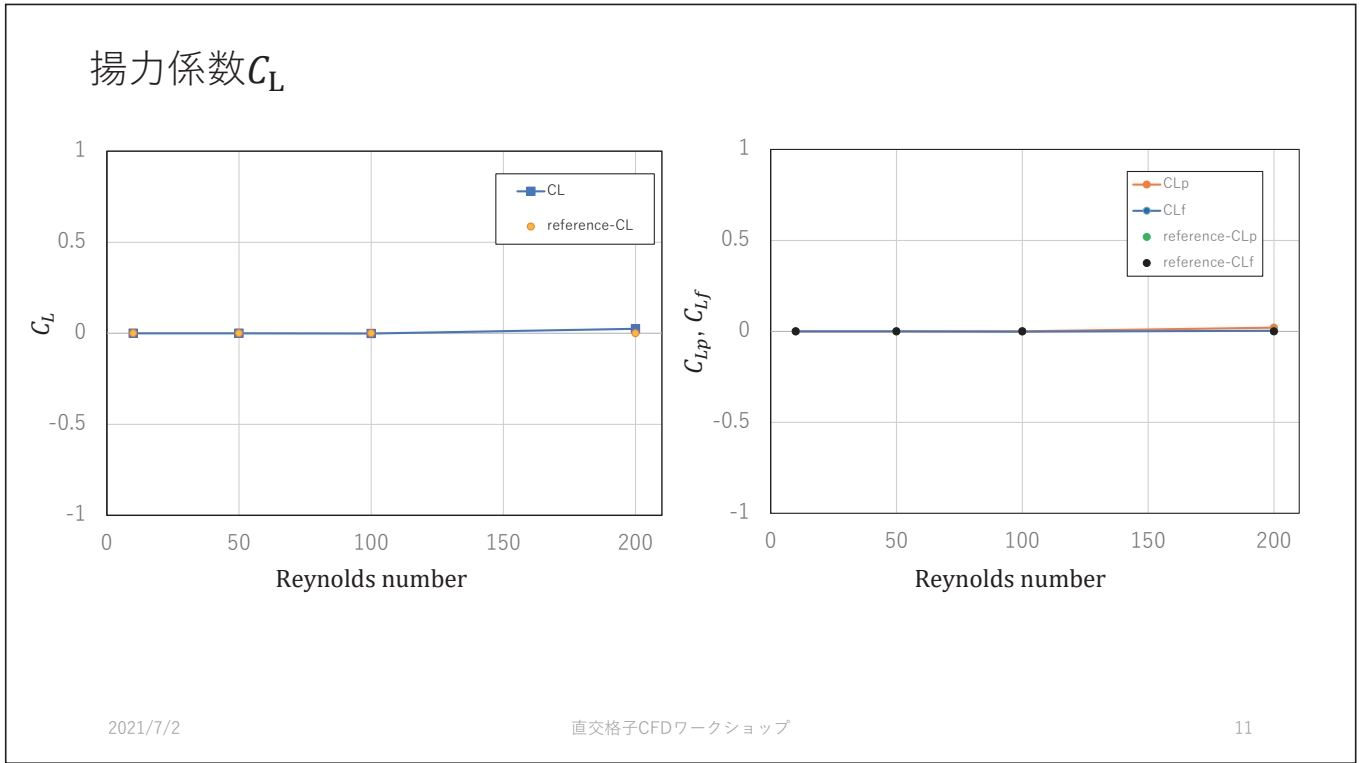
8

<数値解析手法>

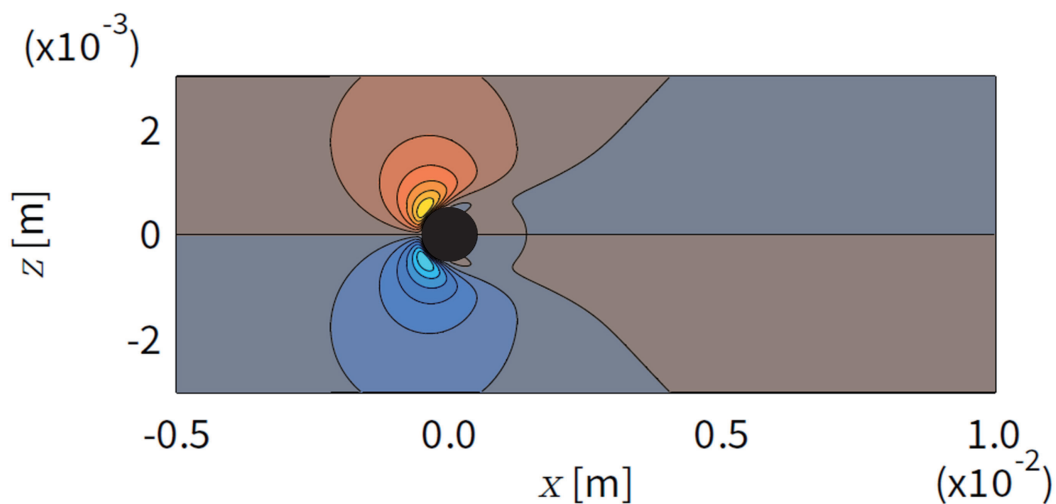
物体表面の取り扱い	レベルセット関数を用いた直交カットセル法
解析手法	スタガード格子SMAC法
保存方程式	非圧縮性ナビエ・ストークス方程式
空間精度	3次精度MUSCL + Thornberの修正
時間発展方式	2次精度アダムスバッシュフォース法
計算格子	直交等間隔格子 直交不等間隔格子

抗力係数 C_D





$Re = 50$ における u_z 分布 (瞬時)

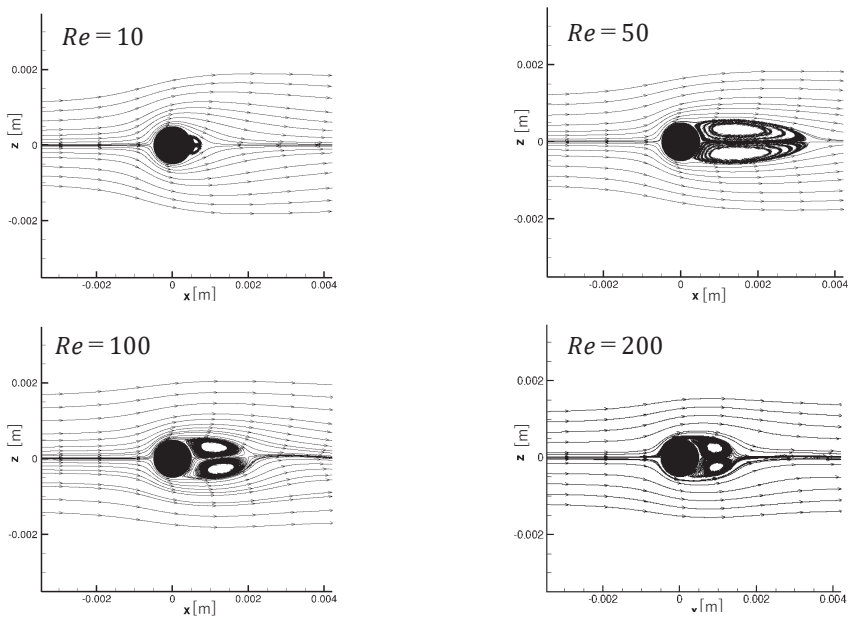


2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

13

各 Re 条件での時間平均流線

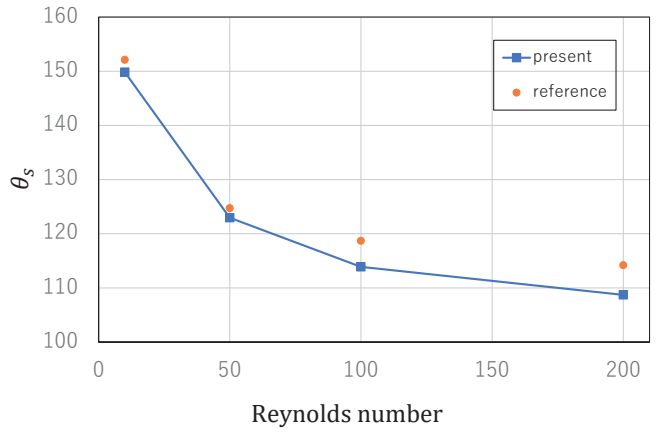
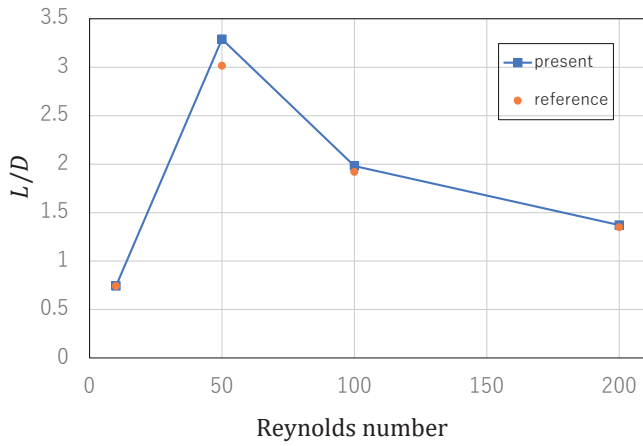


2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

14

循環長さ,剥離位置

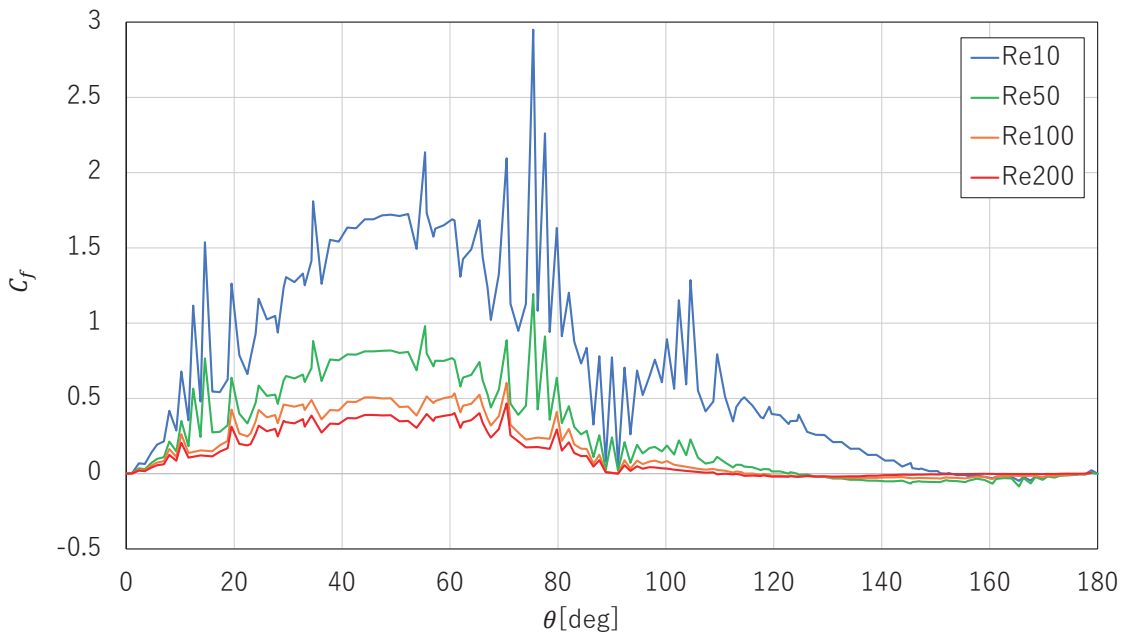


2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

15

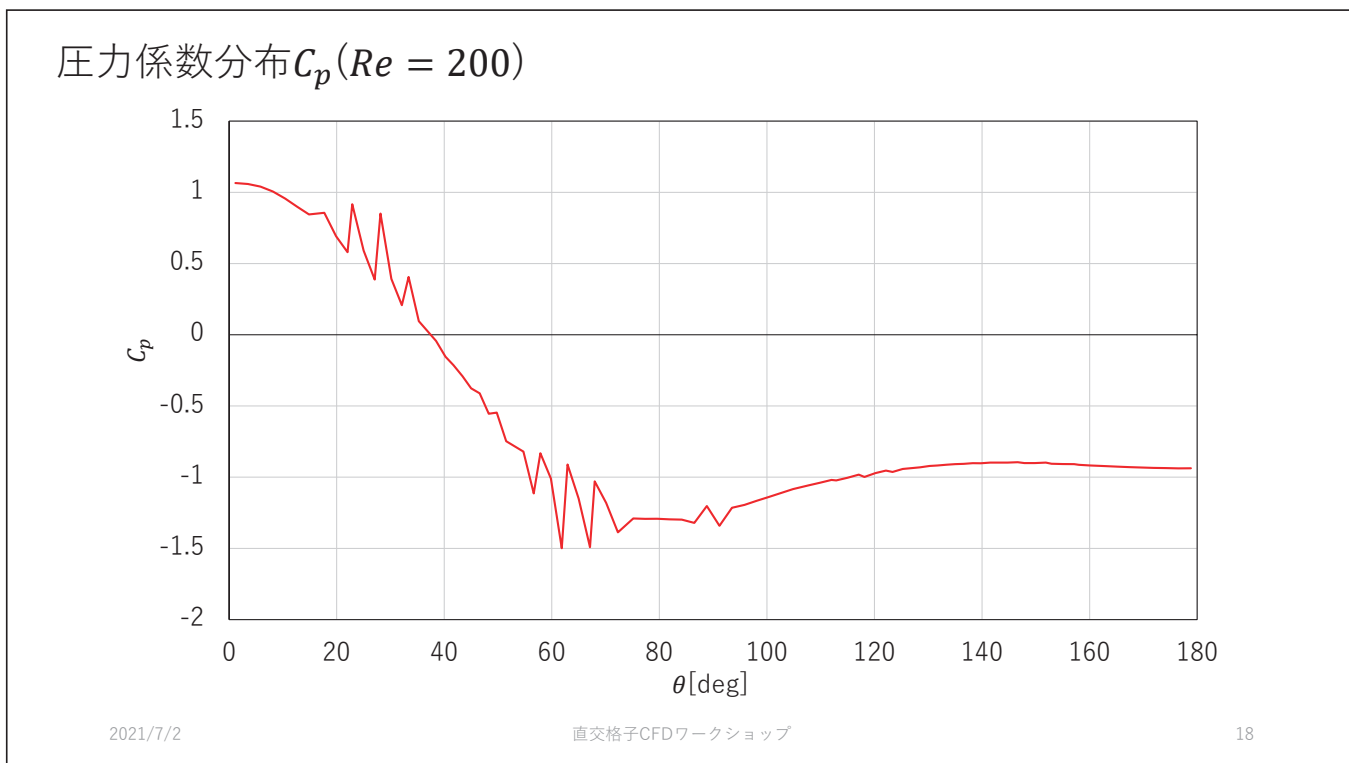
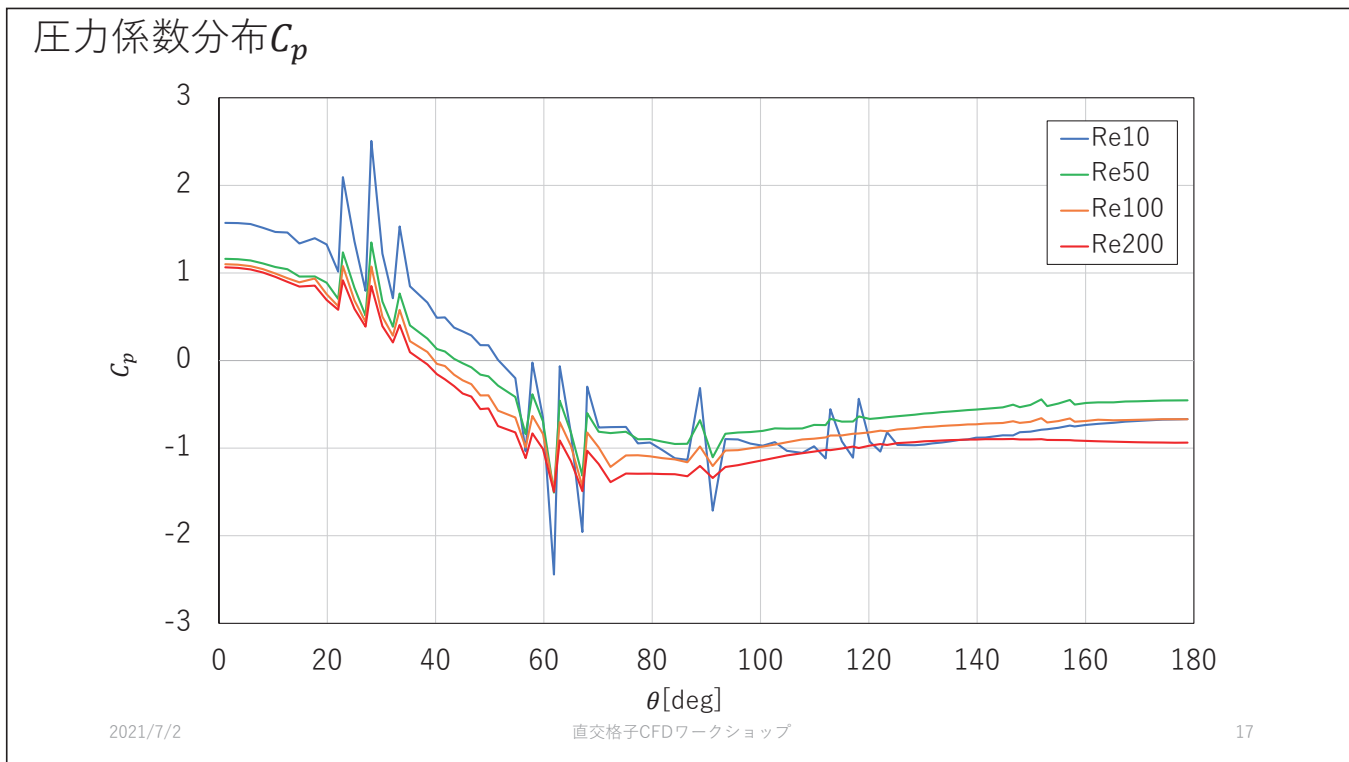
表面摩擦係数 C_f

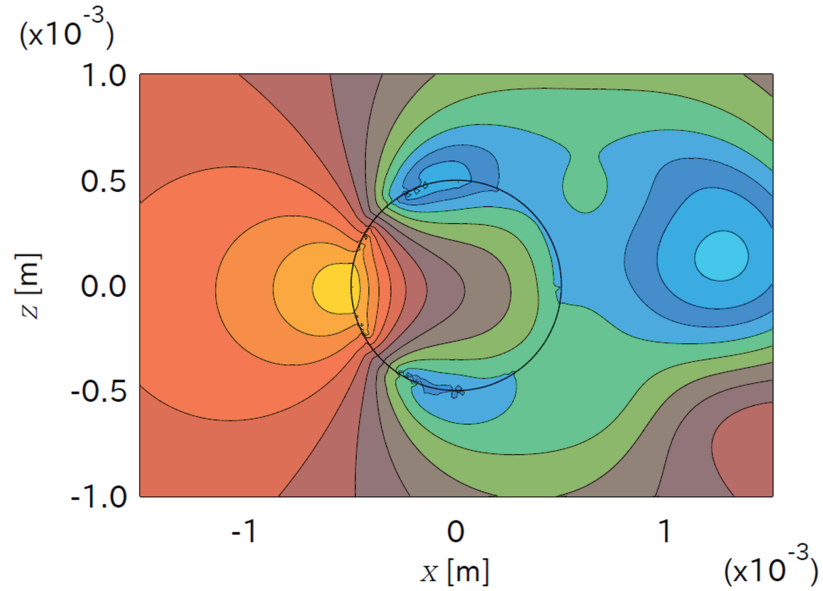


2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

16

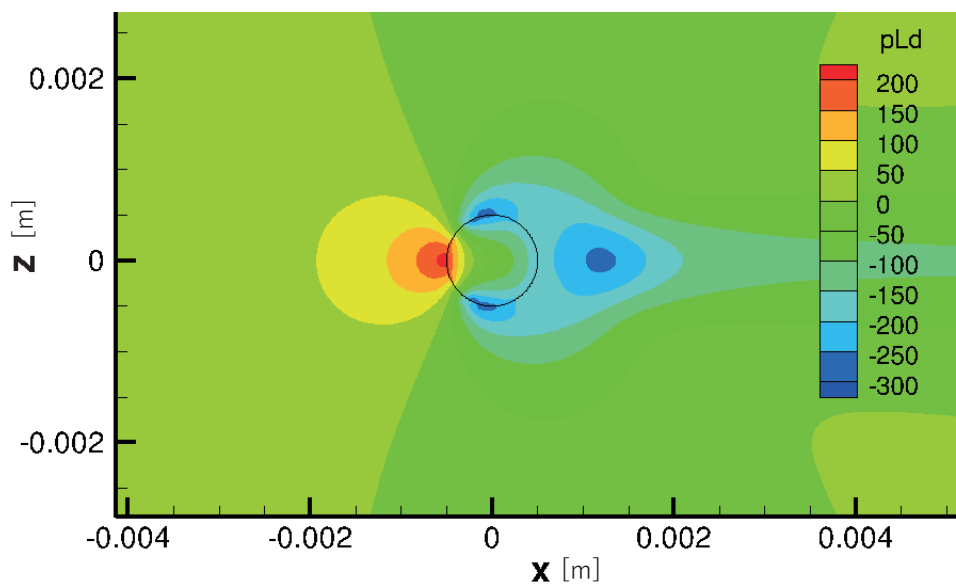


$Re = 200$ の圧力分布 (瞬時場)

2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

19

 $Re = 200$ の圧力分布 (時間平均場)

2021/7/2

直交格子CFDワークショップ

20

まとめ

スタガード格子を使った直交カットセル法による非圧縮性流れの解析を行い以下の成果を得た。

- ・ C_D および C_L についてはおおむね良好な結果が得られた
- ・ 時間平均流線の可視化により、後流を捉えることを達成
- ・ C_f 分布については壁面せん断応力の評価法に不十分な点が存在する可能性