

2020.9.30 流体力学講演会／航空宇宙数値シミュレーション技術シンポジウム2020オンライン  
直交格子CFDワークショップ

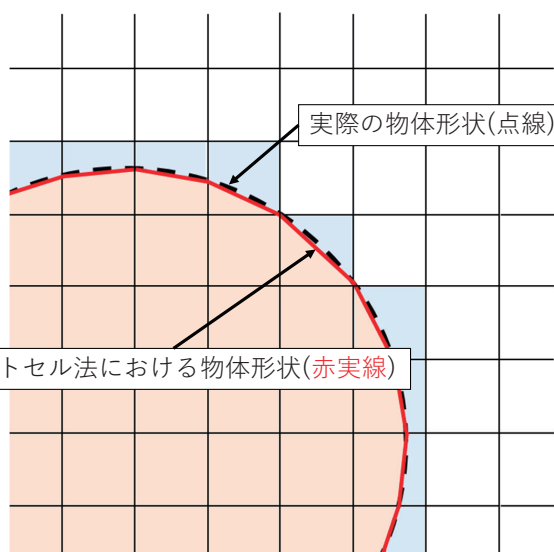
3C07

# 直交カットセル法による 圧縮性流れの解析結果

岩手大学工学部 竹田裕貴  
上野和之  
松原夏鈴

1

## 直交カットセル法



直交格子の特長である

- 格子生成の完全自動化
- ロバストな格子生成

物体の形状に応じて計算セルを**カット**

- ボクセル法に比べて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

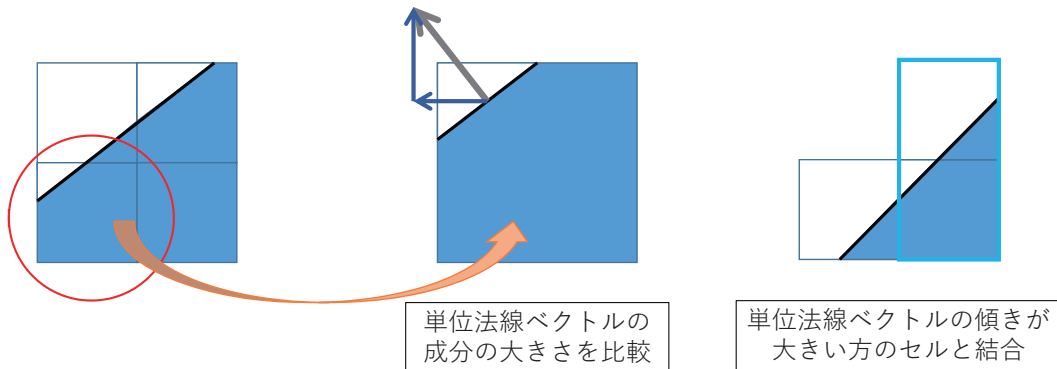
スモールセルにおける計算の不安定化

2

## セルマージ

スモールセルではCFL条件が満足されない  
→計算の不安定化の原因

あらかじめ設定した閾値未満の体積分率のセルでは隣接セルと保存量を案分  
• 閾値 $T$ が任意のパラメータになる



3

## 今回取り扱った課題

課題1 円柱周り流れ

$Re = 10, 20, 30, 40, 50, 60, 80, 100, 125, 150, 175, 200$

$M = 0.1$

$T_0 = 800K$

セルマージ閾値

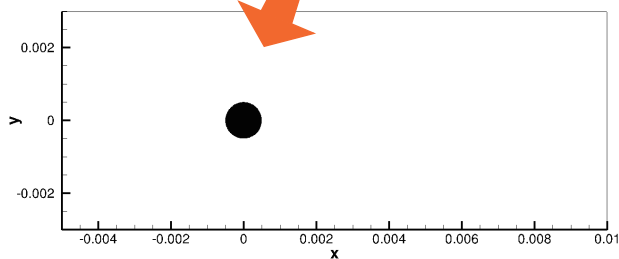
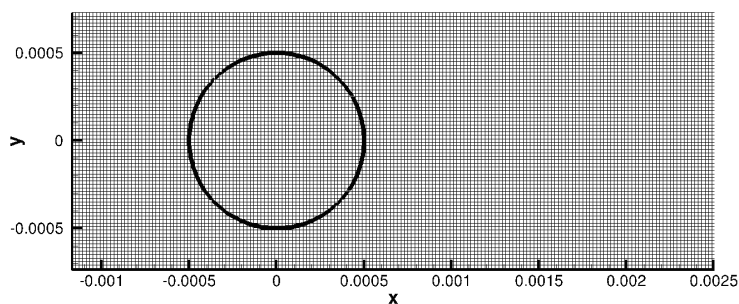
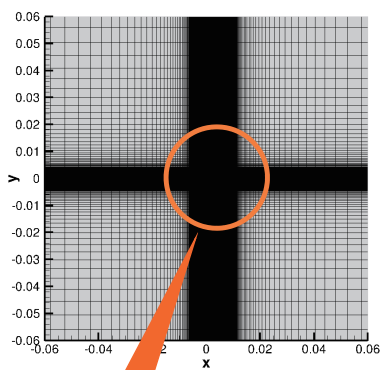
$T = 0.5$  (baseline),  $0.2$  (option)

4

# 計算手法

解析手法		セル中心有限体積法
物体表面の取り扱い		レベルセットベース直交カットセル法
保存方程式		圧縮性オイラー方程式
空間精度	対流項	5次精度MUSCL+Thornberらによる修正
	粘性項	2次精度中心差分
数値流速		SLAU法
時間発展方式		2次精度TVD Runge-Kutta
計算格子		直交等間隔格子+不等間隔格子

# 計算領域



計算領域全体	$-60 \leq x/D \leq 60$
	$-60 \leq y/D \leq 60$
等間隔領域	$-5 \leq x/D \leq 10$
	$-3 \leq y/D \leq 3$
格子幅	0.02D

## 計算環境

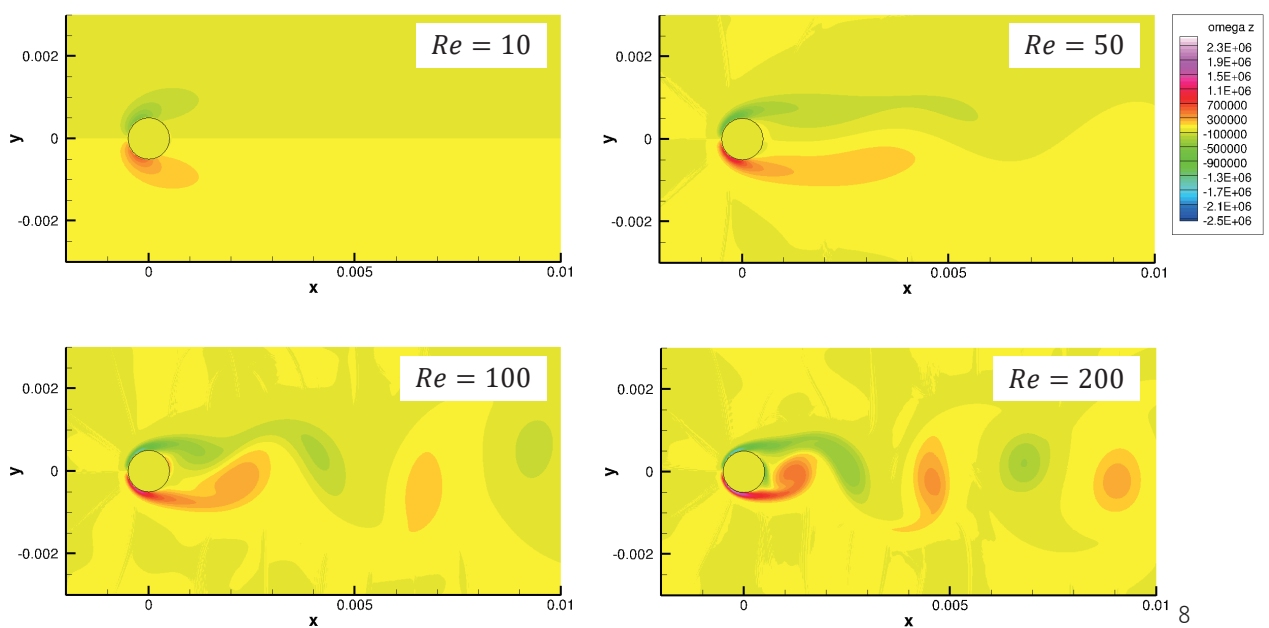
使用CPU Intel Xeon Gold 5118 2.3GHz (12 Core)  
並列化 4 Process Flat MPI

計算ステップ数, 計算時間

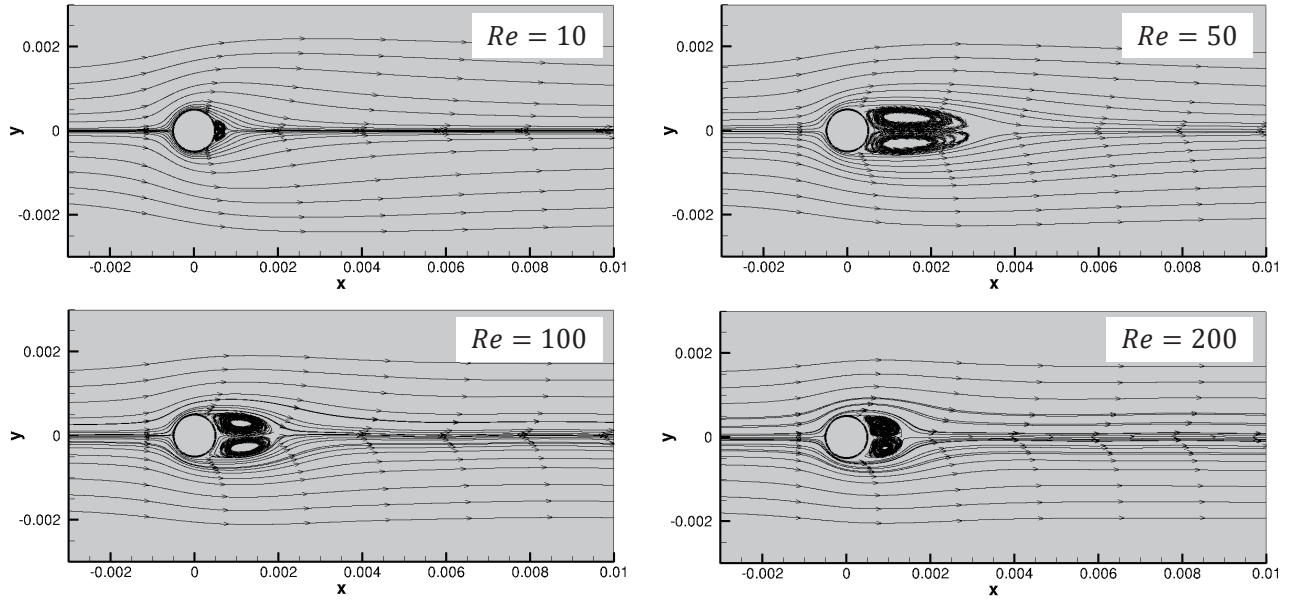
- $Re = 10 \sim 40$  900,000 Step, 45 Hour
- $Re = 50 \sim 200$  600,000 Step, 30 Hour

7

## 瞬時渦度分布

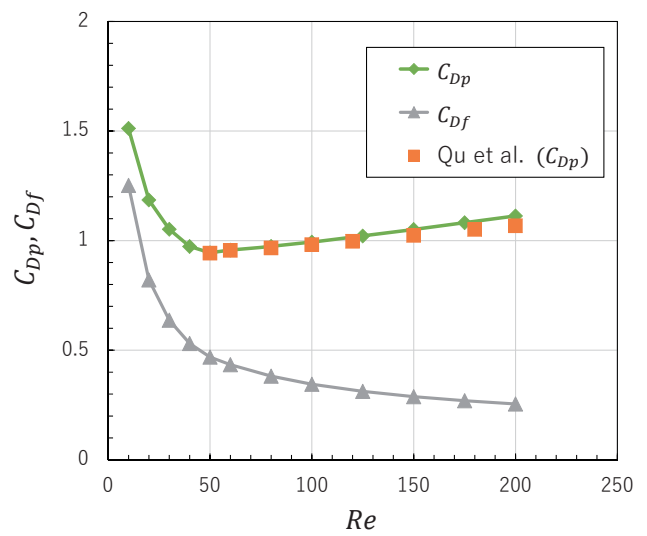
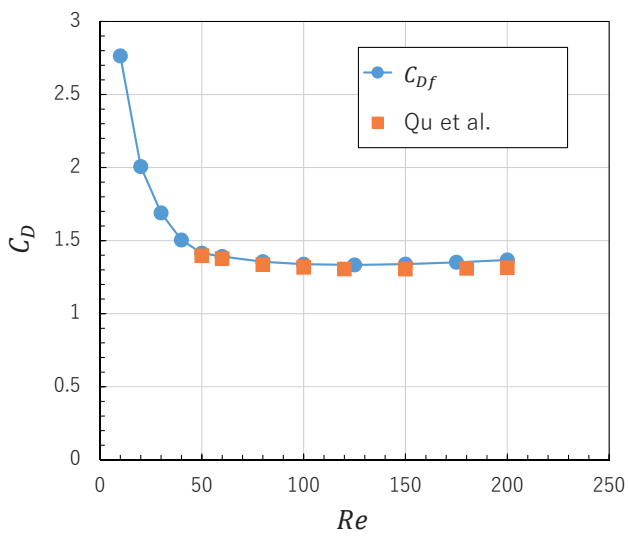


### 平均速度分布



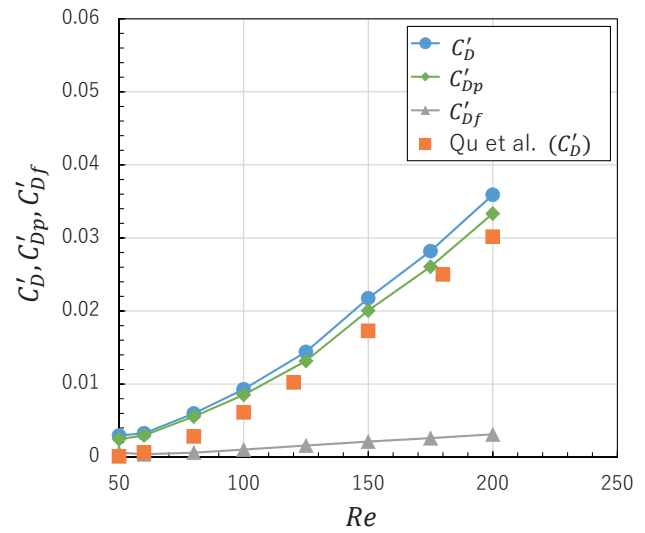
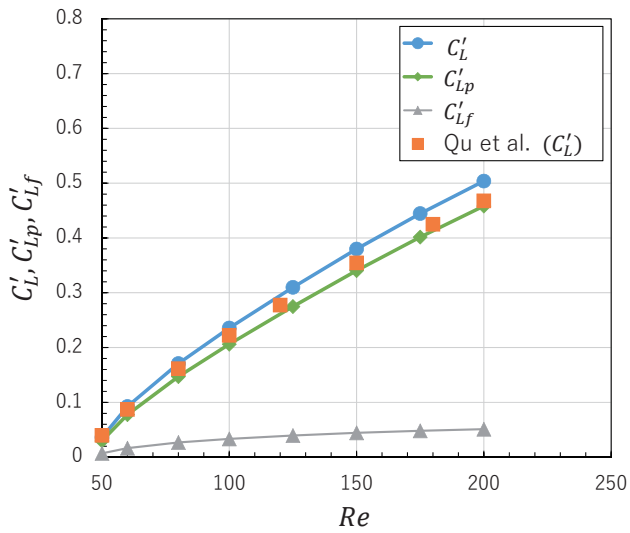
9

### 抗力係数



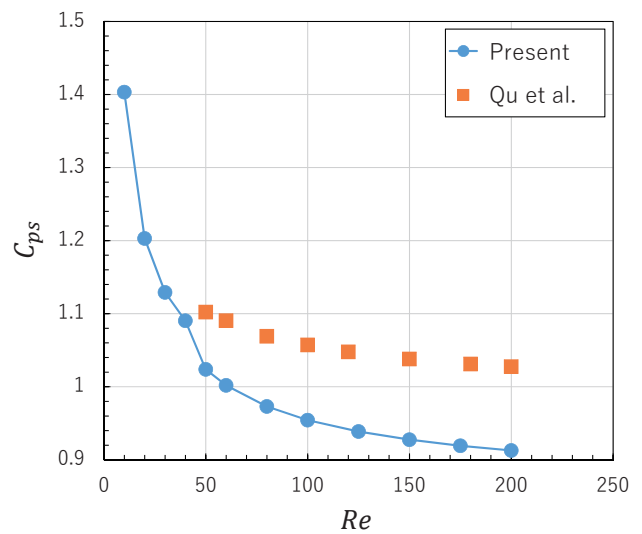
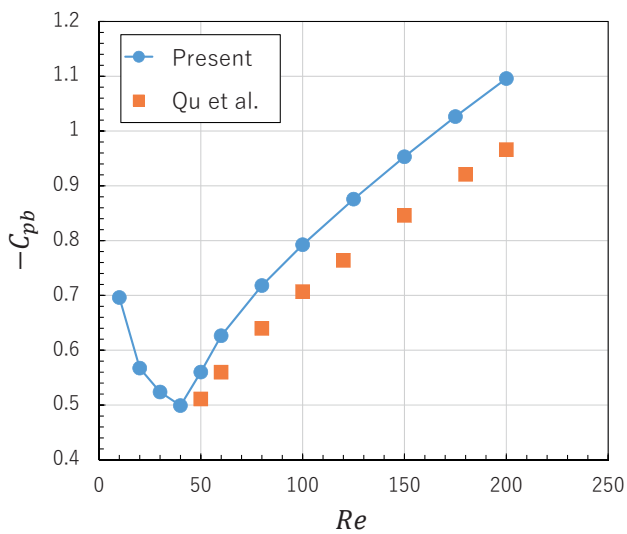
10

### 抗力係数, 揚力係数のRMS値



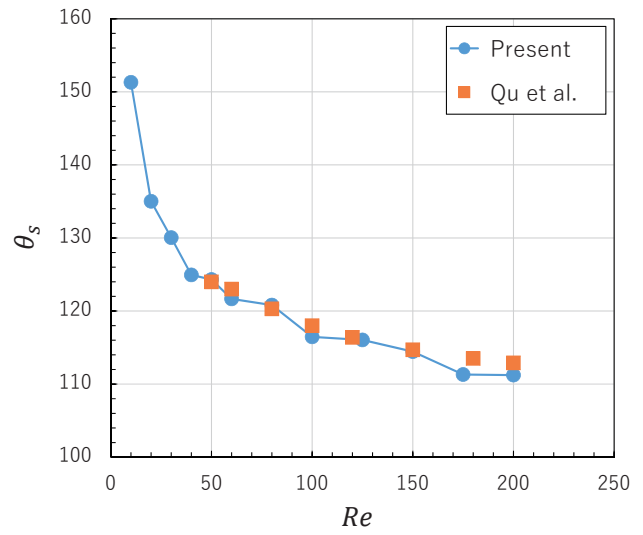
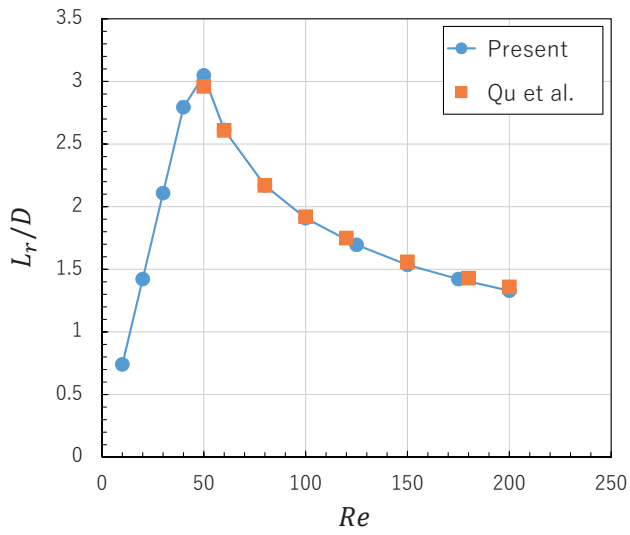
11

### よどみ点および背面の圧力係数



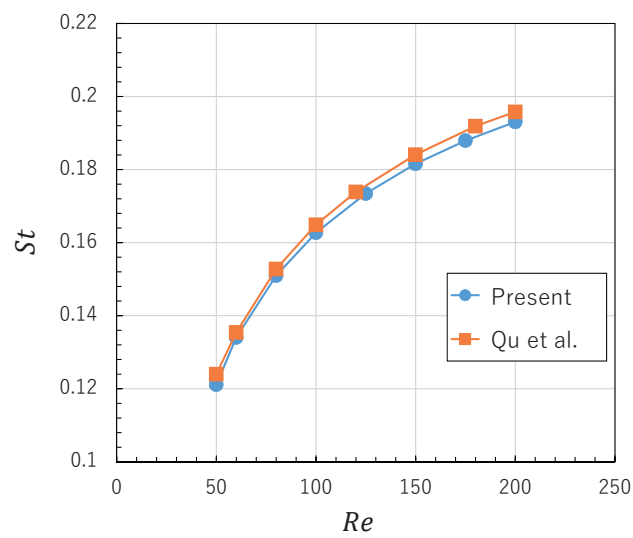
12

### 循環域長さおよび剥離位置



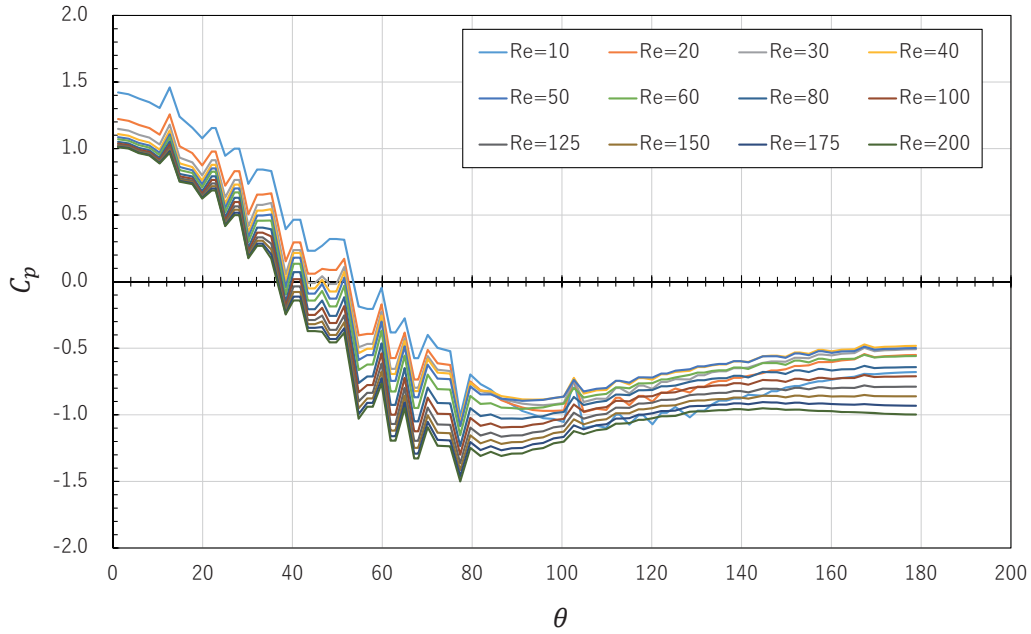
13

### ストローハル数



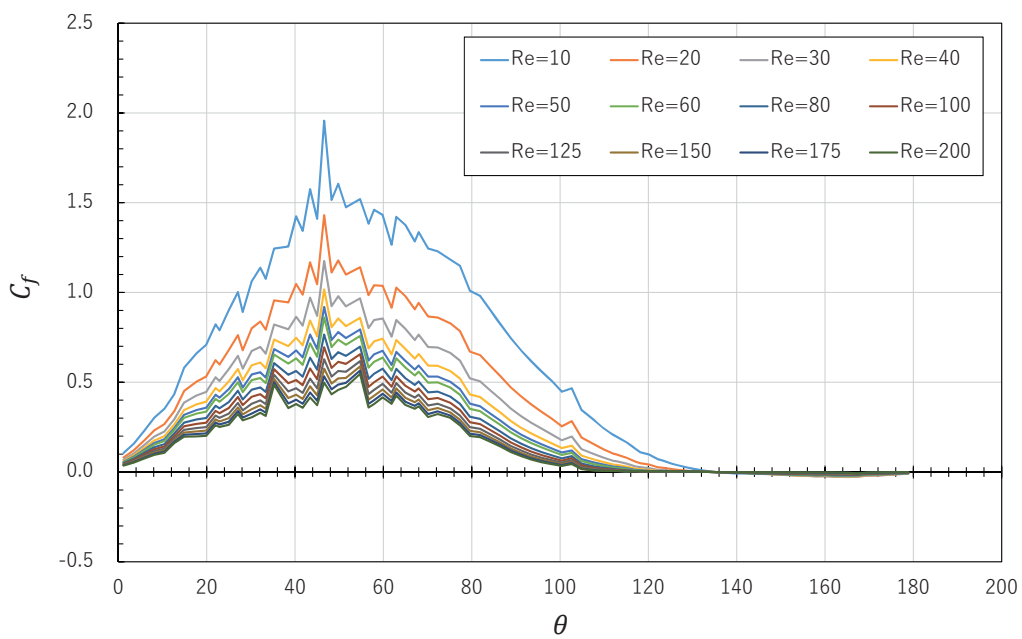
14

## 圧力係数分布



15

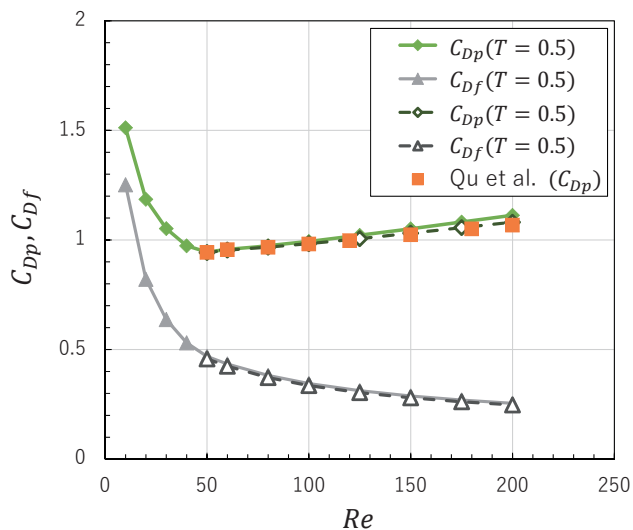
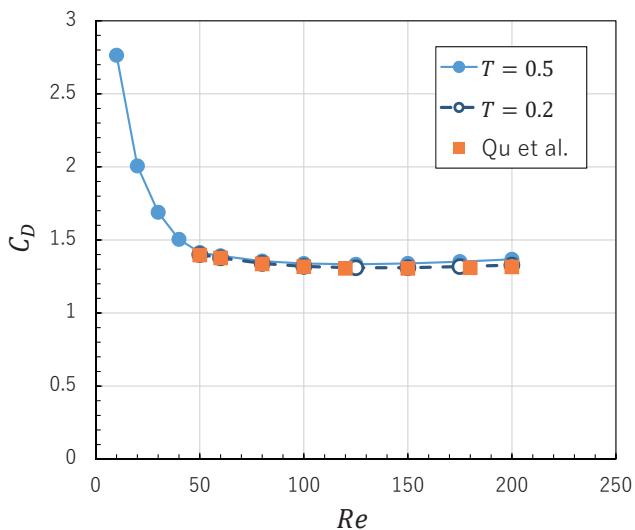
## 表面摩擦係数分布



16

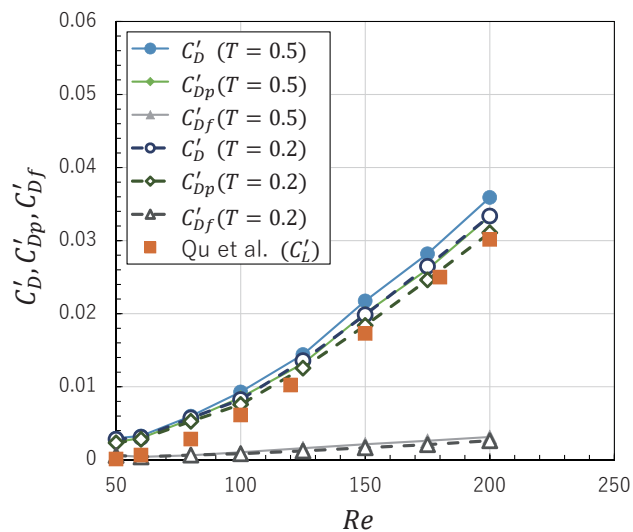
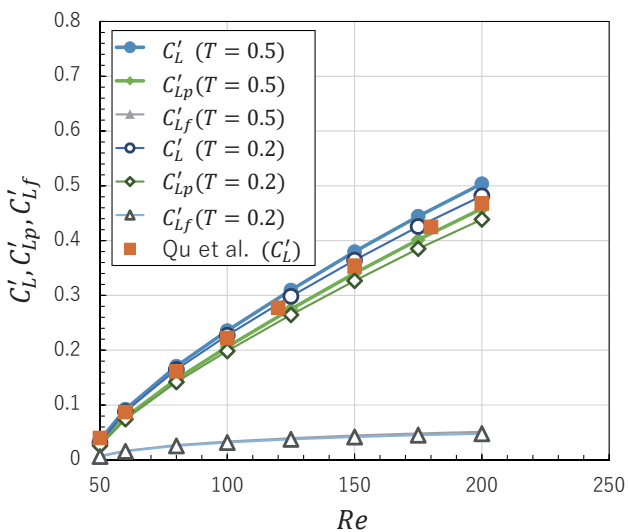


### セルマージ閾値 $T$ の影響( $C_D, C_{Dp}, C_{Df}$ )



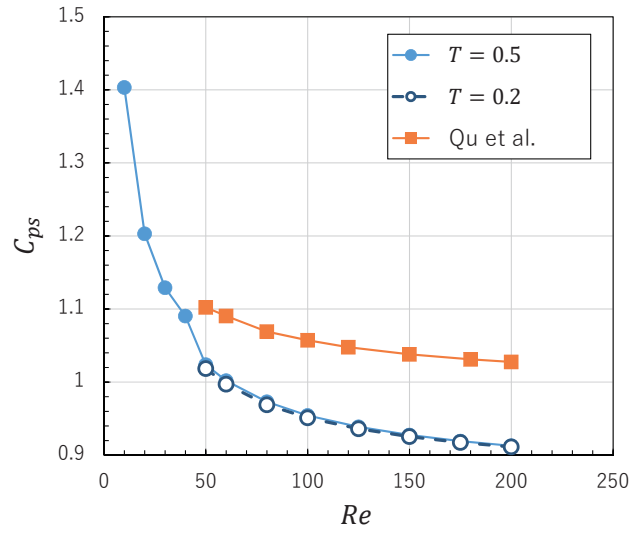
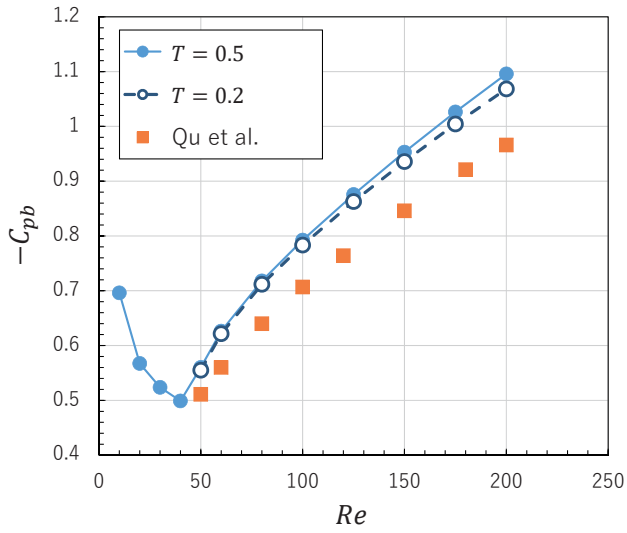
17

### $C'_L, C'_{Lp}, C'_{Lf}, C'_D, C'_{Dp}, C'_{Df}$ への $T$ の影響



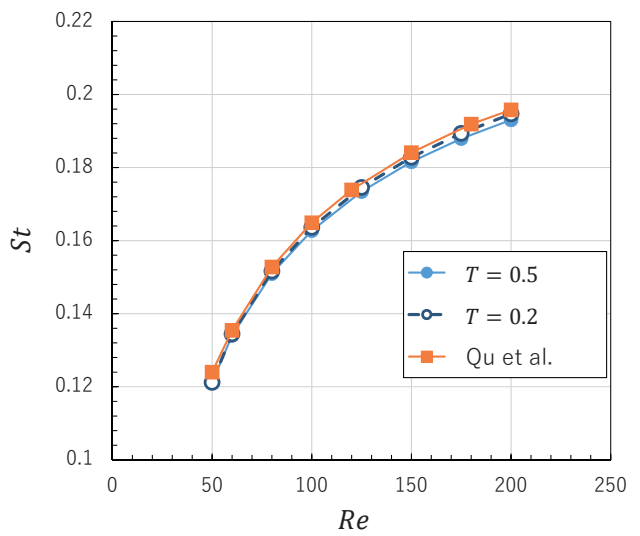
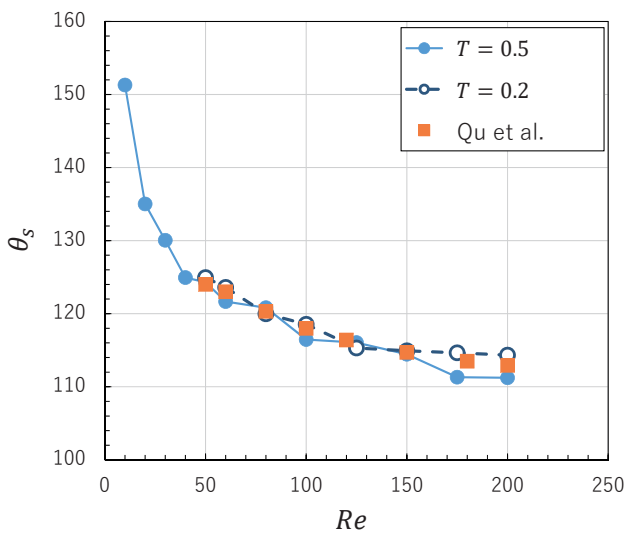
18

### $C_{pb}, C_{ps}$ への $T$ の影響



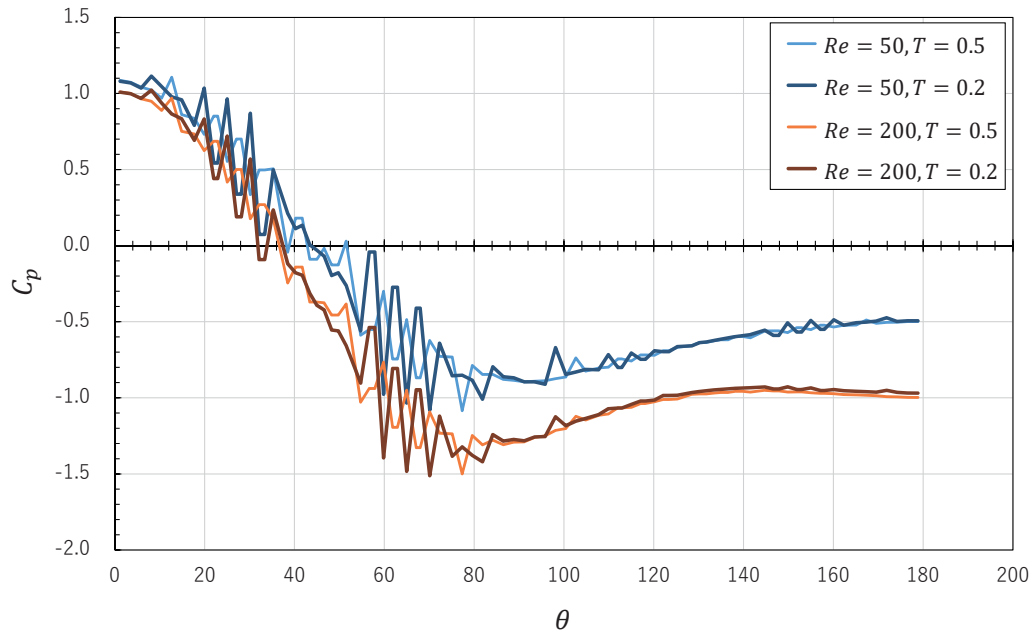
19

### $\theta_s, St$ への $T$ の影響



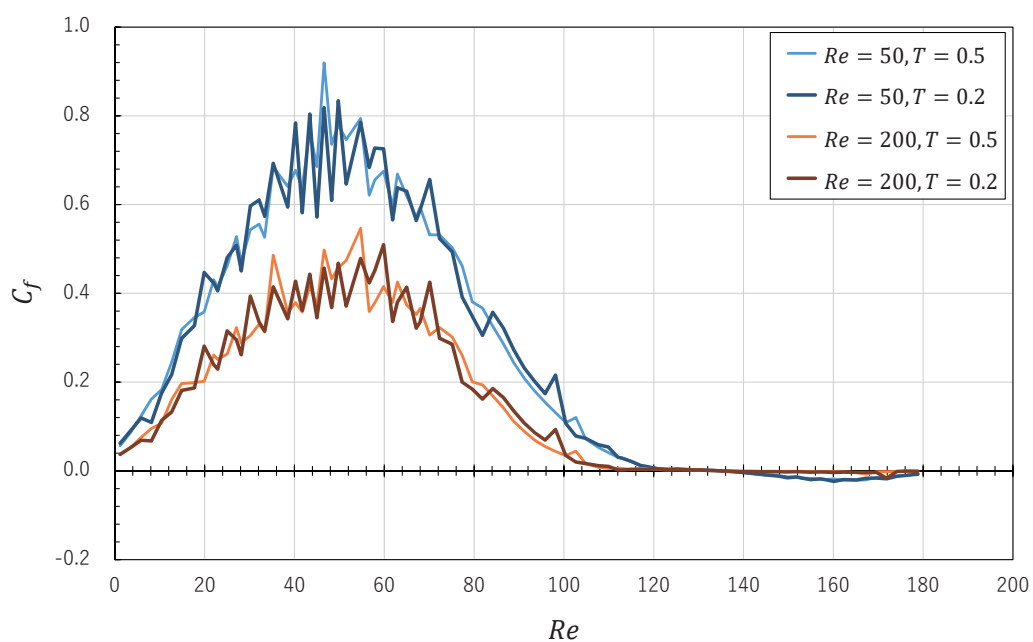
20

### $T$ の変化による表面圧力係数分布の変化@ $Re = 50, 200$



21

### $T$ の変化による摩擦係数分布の変化@ $Re = 50, 200$



22

## まとめ

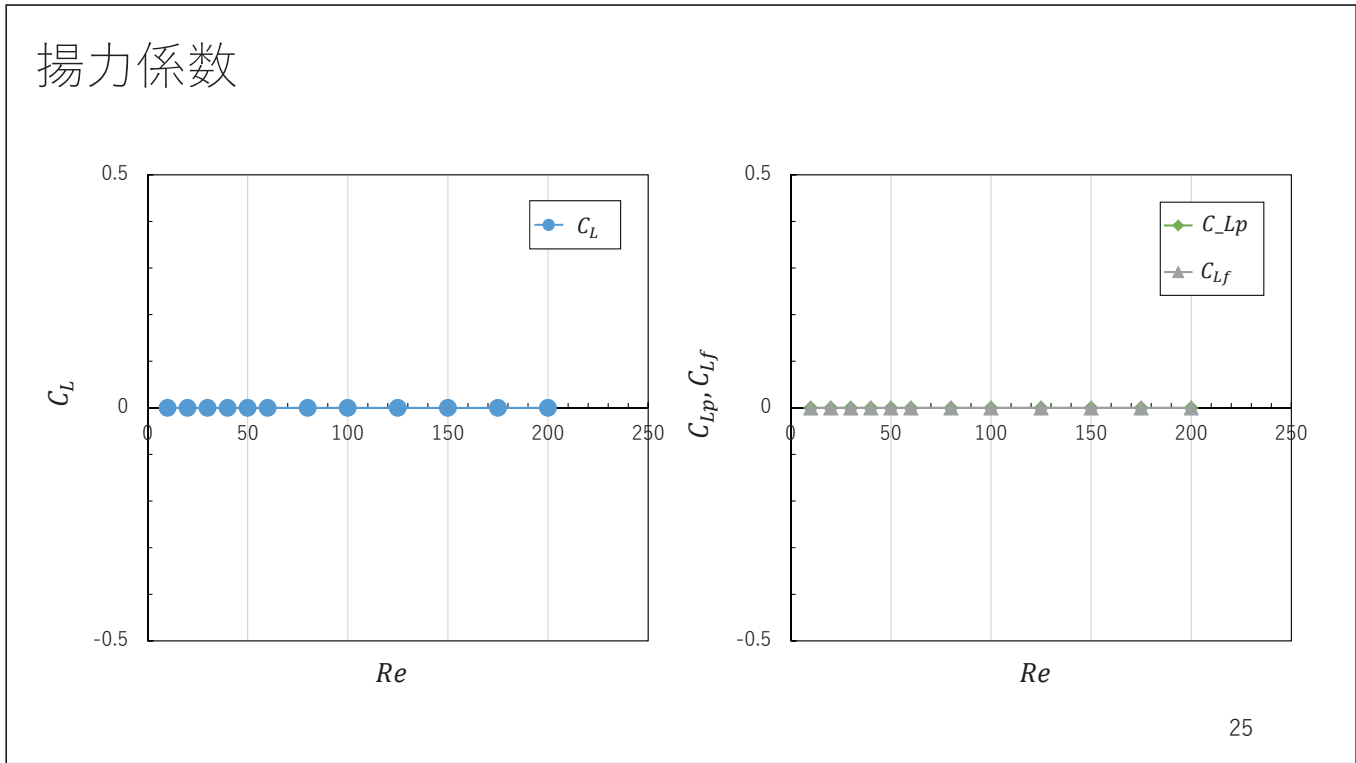
直交カットセル法を用いて課題1の円柱まわり流れの数値解析を行った

- 各空力係数をおおむね良好に予測
- RMS値にやや差がみられる（特に高レイノルズ数側で顕著）
- 後流の長さを良好に予測
- 剥離位置に階段状の分布が発生
- 圧力係数，表面摩擦係数の予測に課題
- RMS値の差，剥離位置の分布はセルマージの閾値の変更( $T = 0.5 \rightarrow 0.2$ )で改善

23

予備スライド

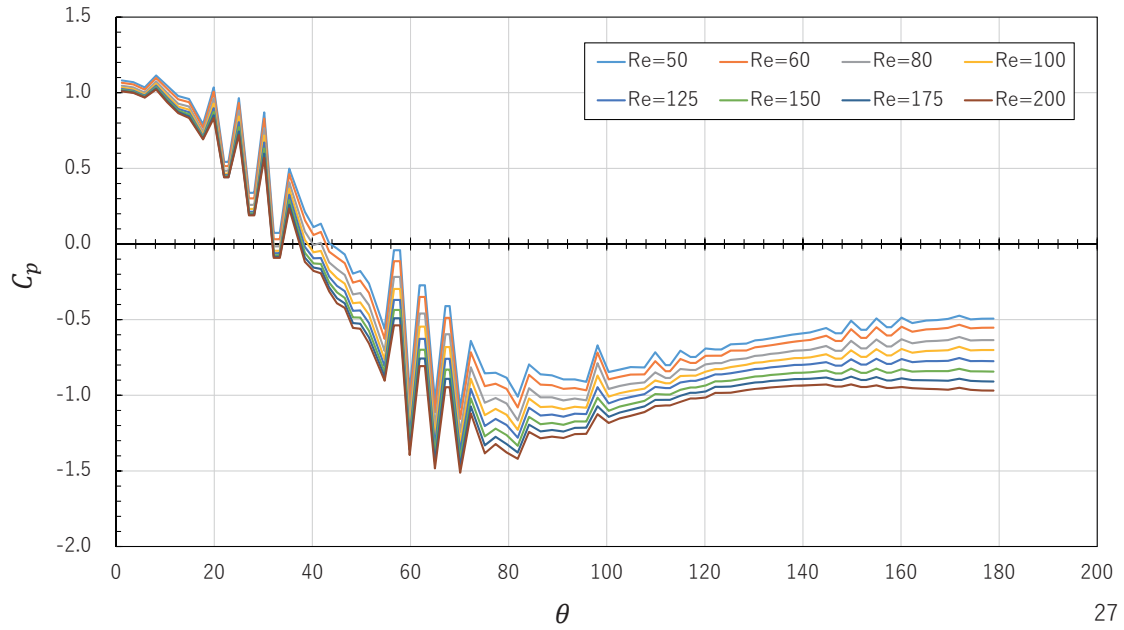
24



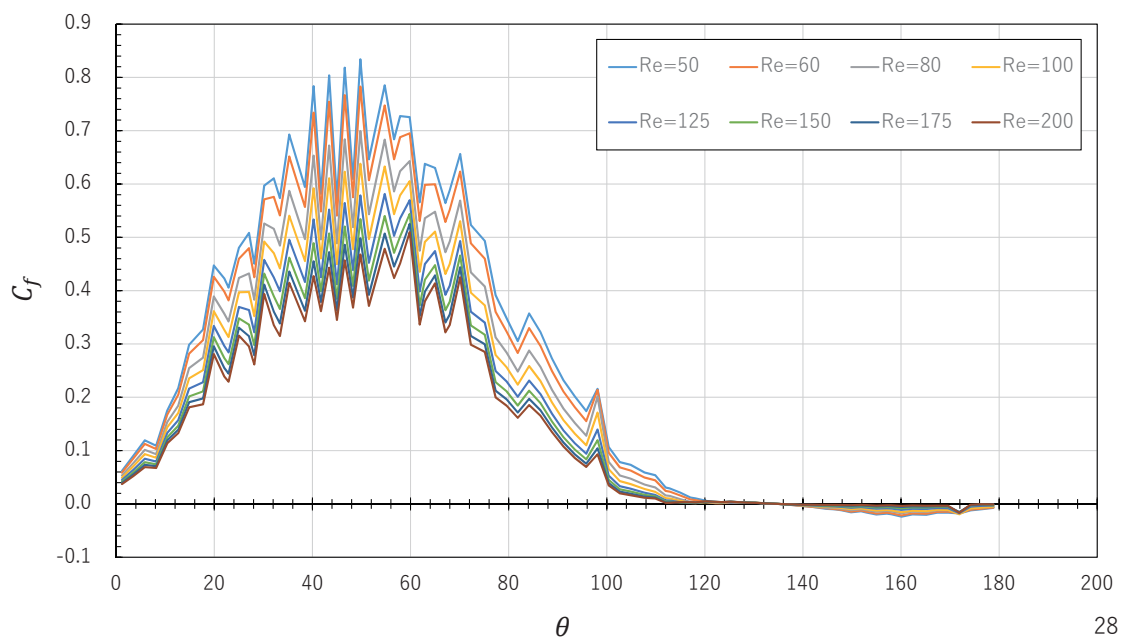
### 保存方程式に組み込まれた壁面Fluxの評価

- 保存方程式:
 
$$\frac{d}{dt} \int_{y_2}^{y_1} \int_{x_2}^{x_1} H Q dx dy + \left[ \int_{y_1}^{y_2} H (\mathbf{E}_a - \mathbf{E}_d) dy \right]_{x_1}^{x_2} + \left[ \int_{x_1}^{x_2} H (\mathbf{F}_a - \mathbf{F}_d) dx \right]_{y_1}^{y_2} = \iint_{\text{cut-plane}} \sigma dS$$
- ヘヴィサイド関数
 
$$H(t, x, y) = \begin{cases} 1: \text{in the air} \\ 0: \text{otherwise} \end{cases}$$
- 壁面flux:
 
$$\sigma = \begin{pmatrix} 0 \\ pn_x - \eta \frac{\partial(u_x + u_n n_x)}{\partial n} \\ pn_y - \eta \frac{\partial(u_y + u_n n_y)}{\partial n} \\ 0 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} 0 \\ pn_x - \eta \frac{\partial(u_x - u_n n_x)}{\partial n} - 2\eta \frac{\partial u_n n_x}{\partial n} \\ pn_y - \eta \frac{\partial(u_y - u_n n_y)}{\partial n} - 2\eta \frac{\partial u_n n_y}{\partial n} \\ 0 \end{pmatrix}$$

26

表面圧力分布 ( $T = 0.2$ )

27

表面摩擦係数 ( $T = 0.2$ )

28