

# 随伴解析を用いた物体表面形状最適化による抵抗低減



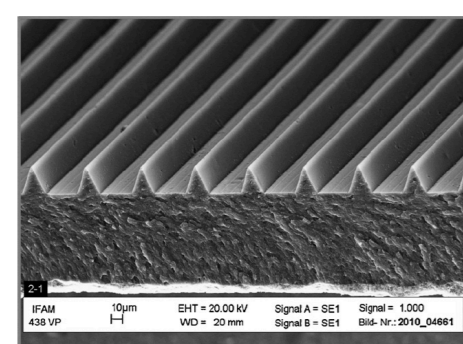
## 研究目的

### 物体表面形状

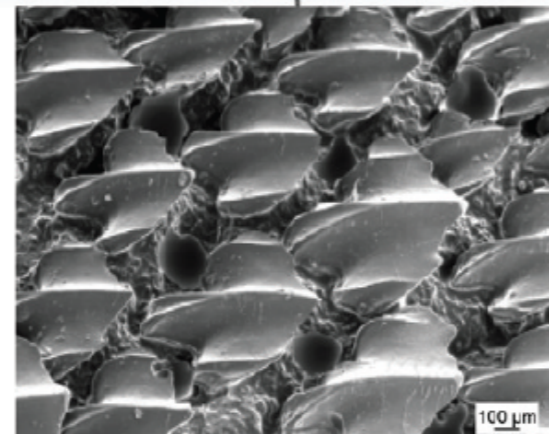
ゴルフボール(ディンプル)



リブレット



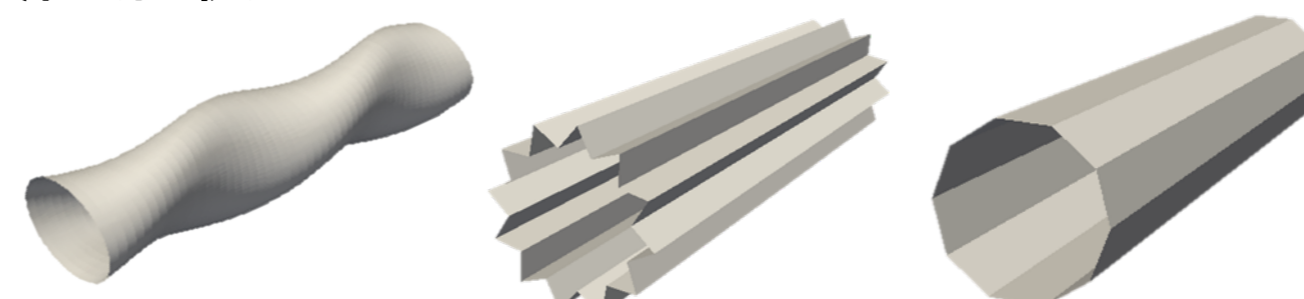
サメ肌



### 低風圧電線



### 表面形状



設計パラメータ: 断面形状(楕円, 溝, 多角形), ピッチ, etc.

- ・レイノルズ数  $Re \leq 10^4$
- ・より線の確保
- ・加工しやすい形状

少ない試行で風圧抵抗 ( $C_d$  値) が最小となる形状を探索したい



流場解析と随伴解析の活用

## 計算手法

流れ場(N-S式, 連続式)

$$\rho \left( \frac{\partial \mathbf{u}}{\partial t} + \mathbf{u} \cdot \nabla \mathbf{u} \right) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}$$

$$\boldsymbol{\sigma} = -p \mathbf{I} + \mu \left\{ \nabla \mathbf{u} + (\nabla \mathbf{u})^T \right\}$$

$$\nabla \cdot \mathbf{u} = 0$$

$\mathbf{u}$  : 速度       $\rho$  : 密度  
 $p$  : 圧力       $\mu$  : 粘性係数

随伴変数

$$\rho \left( -\frac{\partial \psi_u}{\partial t} + (\nabla \mathbf{u})^T \psi_u \right) = \nabla \cdot \boldsymbol{\sigma}_\psi$$

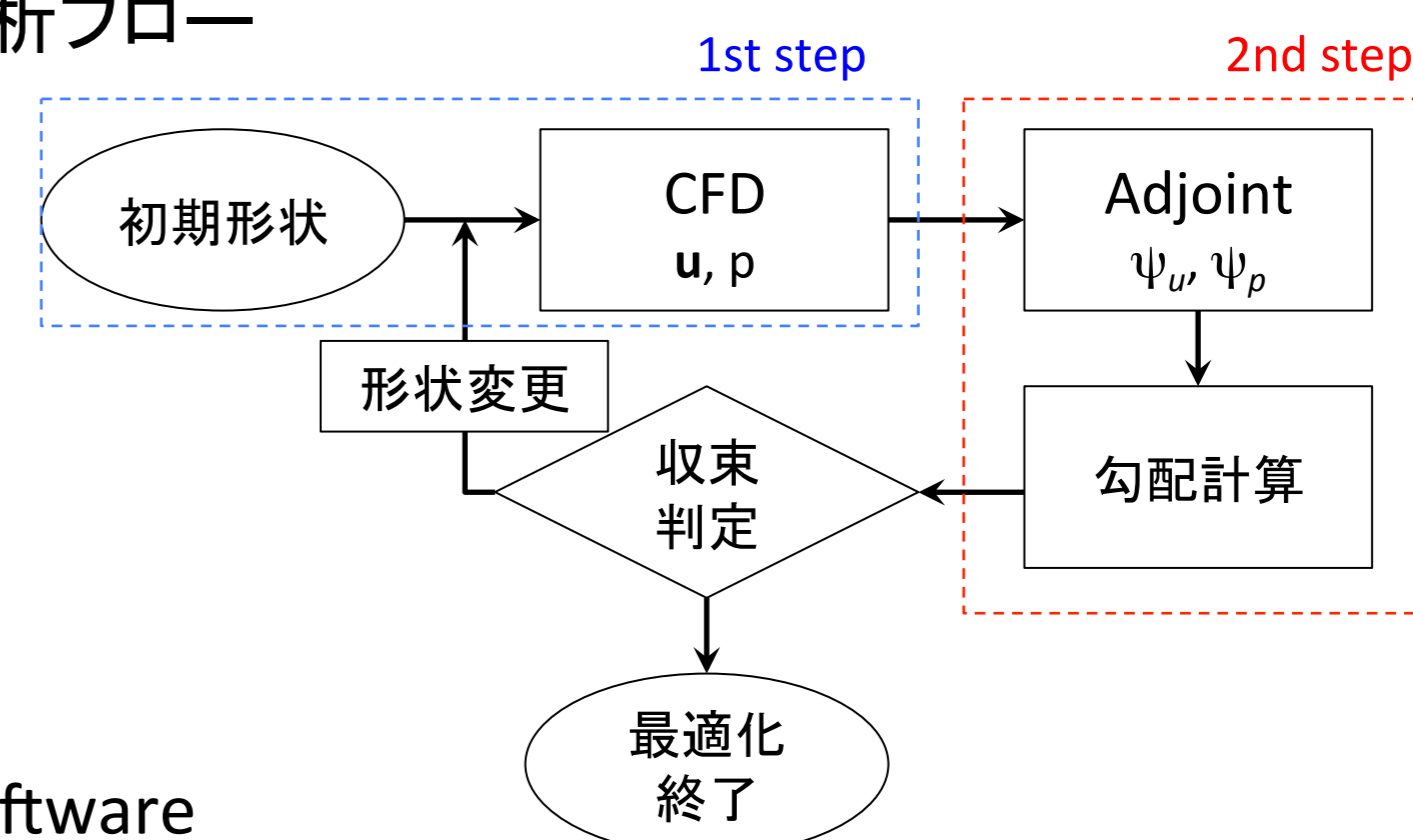
$$\boldsymbol{\sigma} = -\psi_p \mathbf{I} + \mu \left\{ \nabla \psi_u + (\nabla \psi_u)^T \right\}$$

$$\nabla \cdot \psi_u = 0$$

$$\Psi = (\psi_u, \psi_p)$$

ラグランジュ乗数である随伴変数  $\Psi$  を導入して得られる支配方程式を解く

### 解析フロー



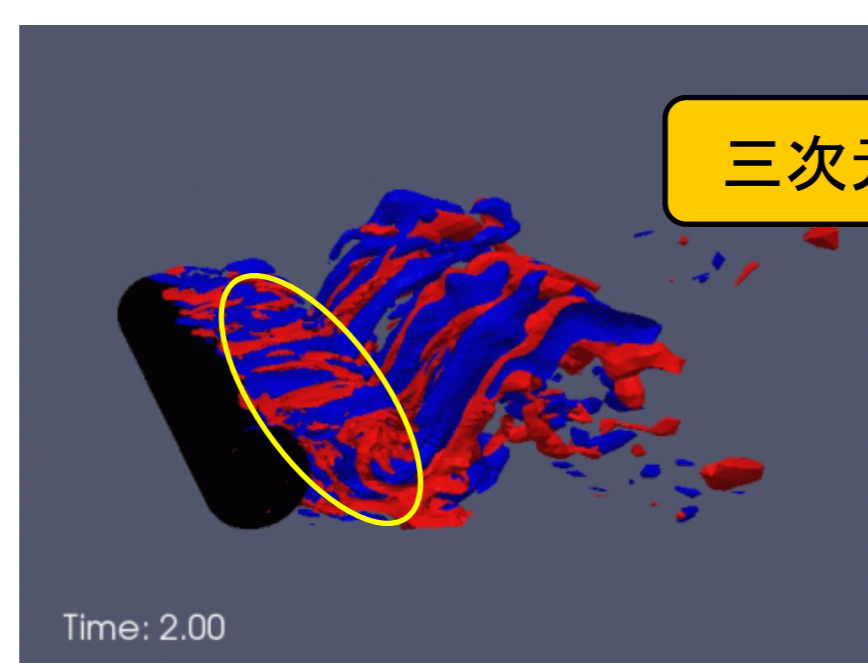
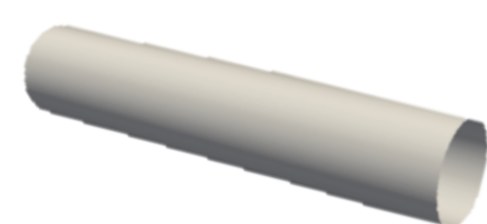
Software

- ・ OpenFOAM
- ・ pisoFoam, adjointShapeOptimizationFoam

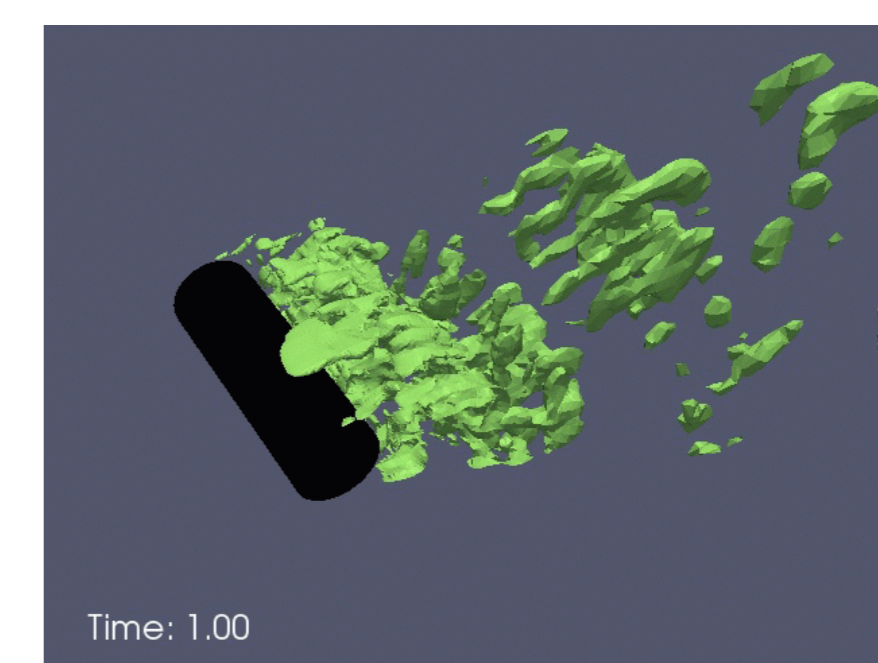
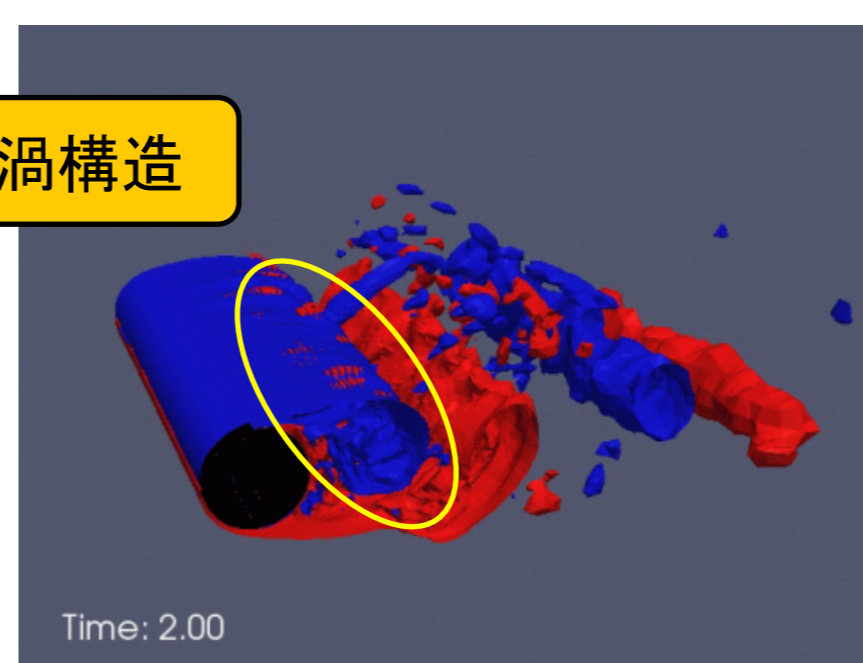
## 計算結果(CFDによる基礎検討)

### 渦構造の可視化

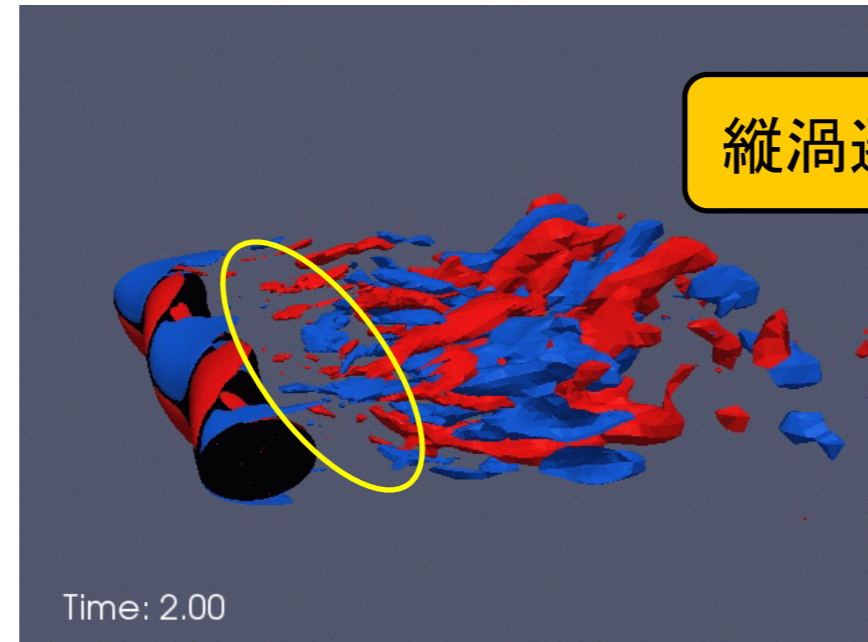
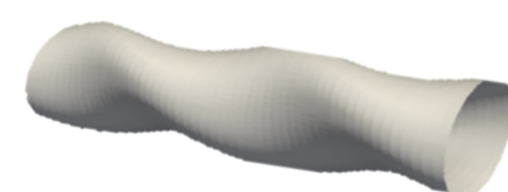
円柱



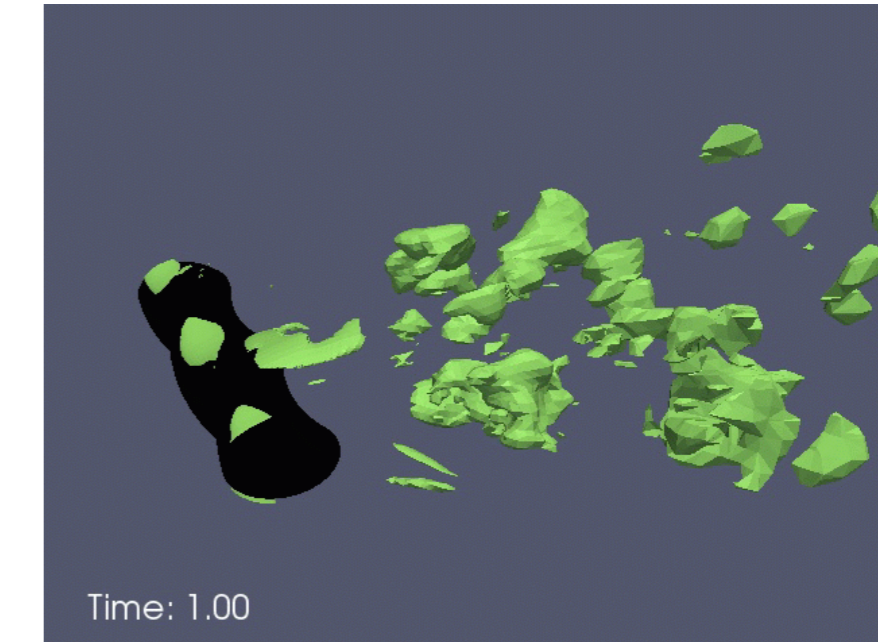
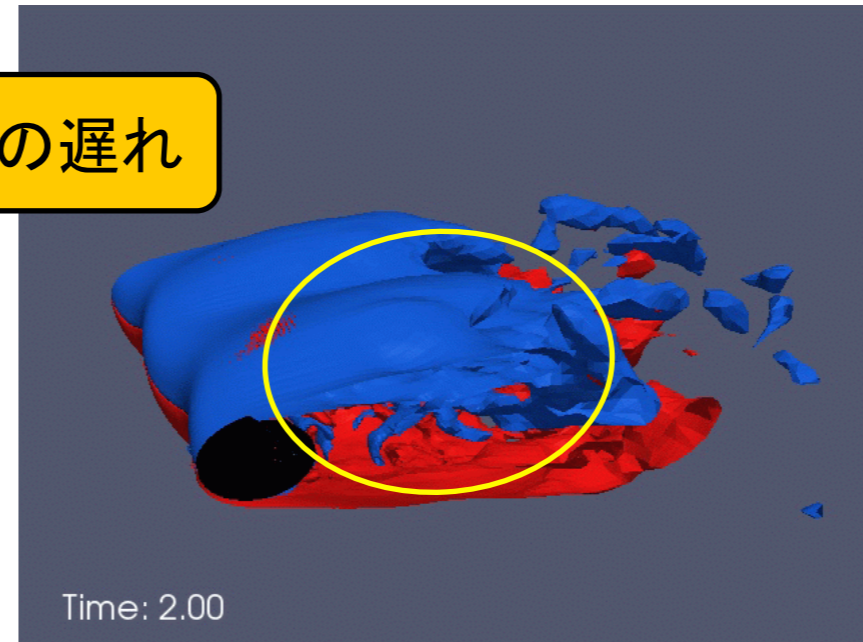
三次元縦渦構造



らせん形状 (ピッチ: 100 mm)



縦渦遷移の遅れ



流れ方向渦度

$$\omega_x = \frac{\partial u_z}{\partial y} - \frac{\partial u_y}{\partial z}$$

スパン方向渦度

$$\omega_z = \frac{\partial u_y}{\partial x} - \frac{\partial u_x}{\partial y}$$

ヘリシティ密度

$$h = u_i \omega_i \quad \begin{matrix} u_i : \text{速度 [m/s]} \\ \omega_i : \text{渦度 [1/s]} \end{matrix}$$

## 今後の展望

- ・ OpenFOAMのadjointソルバーをカスタマイズしての感度解析
- ・ らせん, 溝, 多角形などの各形式に対する最適化
- ・ 随伴解析によって再現される流れ場の物理的解釈

問い合わせ先: takagi-yohei-hn@ynu.ac.jp