

# 細菌の遊泳に伴う流れとべん毛の変形に関する数値解析

鳥取大学大学院 工学研究科 生体システム解析学研究室

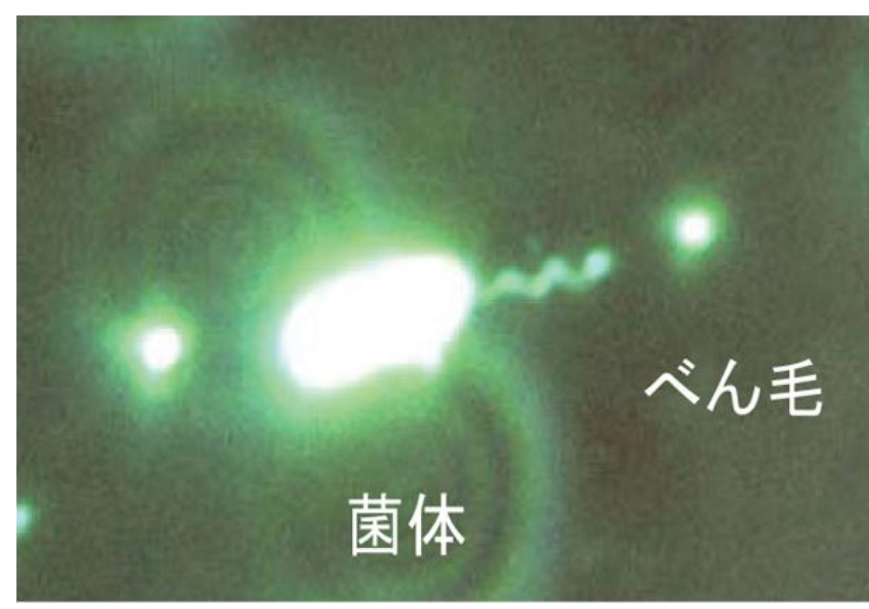
## 背景

細菌はらせん型のべん毛を回転させることで運動

前進と後退では遊泳速度が違う[1]

べん毛が変形することが影響

べん毛はどのように変形しているのか



これまでの研究[2]

ピッチは減少、巻き数の増加  
定量的でない

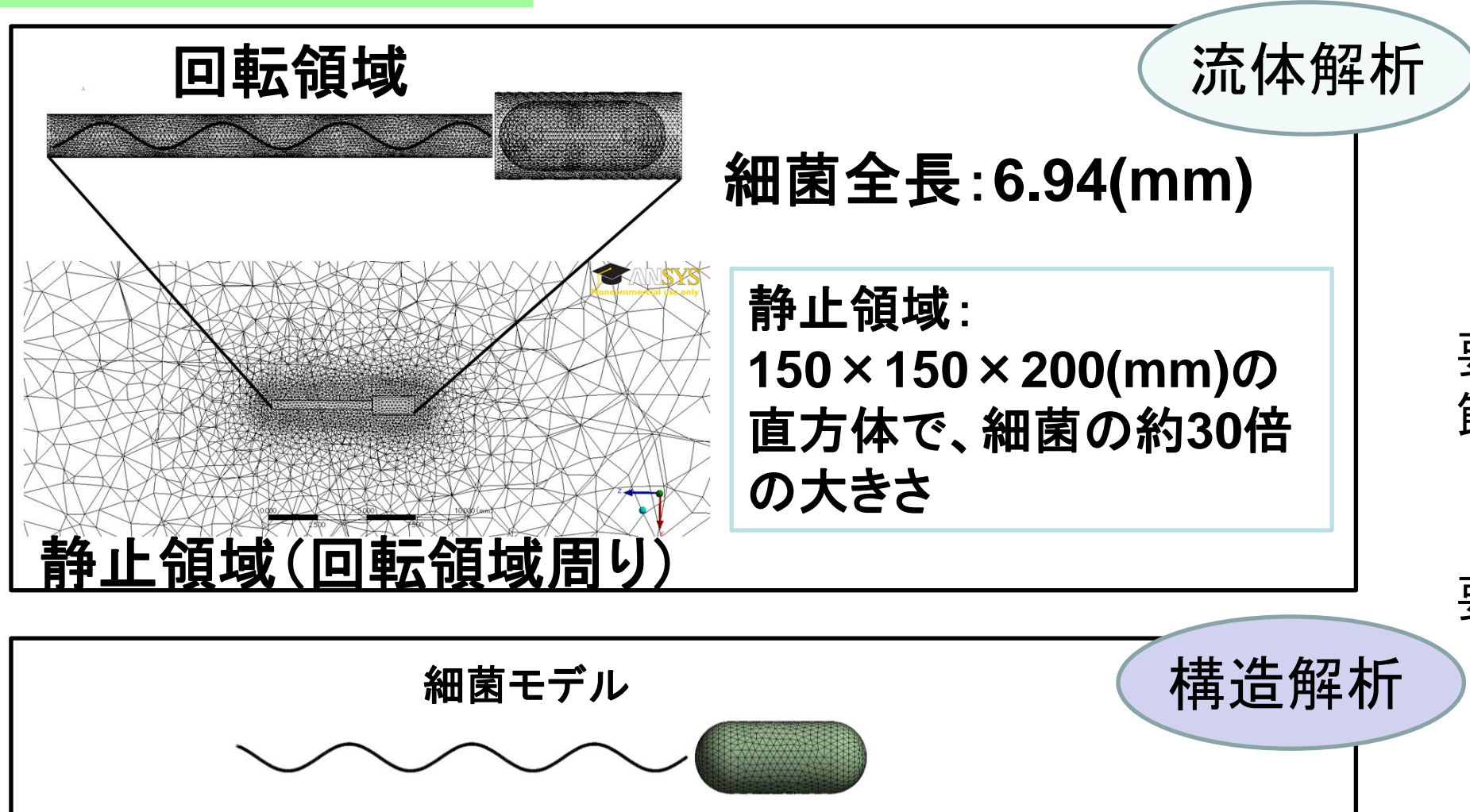
**本研究**

細菌の遊泳により生じる流れ場、変形

## 解析対象

[1] Yukio Magariyama et al.(2001) FEMS Microbiology Letters, 205: 343-347  
[2] 吉田ら, バイオエンジニアリング講演会講演論文集2003(15), pp.37-38 20030120

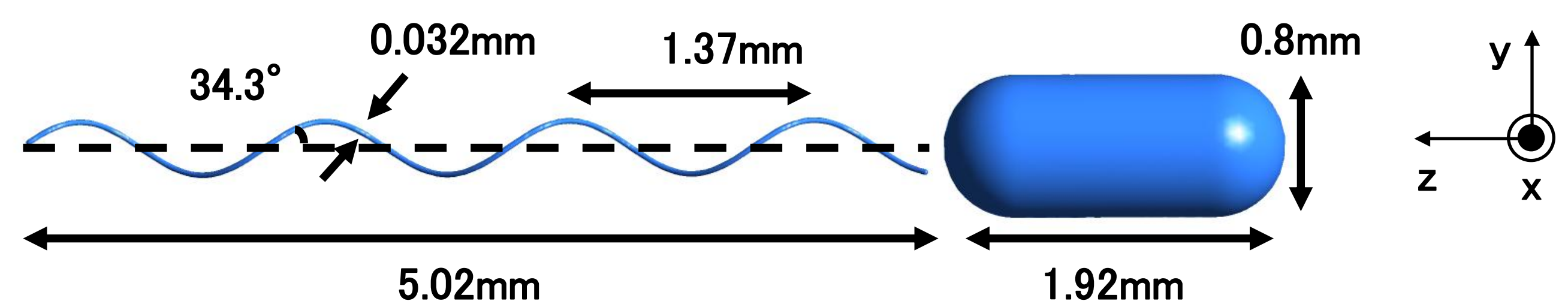
### メッシュ



要素: 四面体  
節点数: 静止領域(33007)  
回転領域(68314)  
細菌モデル(76667)  
要素数: 静止領域(189086)  
回転領域(267303)  
細菌モデル(42080)

### モデル

#### 単毛性細菌ビブリオ菌模擬したモデル



※べん毛は左巻きらせん: べん毛を+z軸まわりに回転させ-z方向に推進力を得る都合上菌体、べん毛間は0.12mm隙間が空いている  
モデルの寸法は実際の細菌の $1 \times 10^3$ 倍( $\mu\text{m} \rightarrow \text{mm}$ )  
物性値→ヤング率とポアソン比(ポリスチレンと同等[1])

## 解析方法

### 流体解析

細菌の速度条件

- ・並進速度: 静止領域外縁からの流入による相対速度
  - ・回転角速度: 菌体部、べん毛部の回転領域を用いた
- 細菌にかかる力、トルク、周りの流れ場を調べる  
細菌にかかる力: **変形の予測**  
流れ場: **細菌遊泳時の周りの流れ**

※自由領域を遊泳する細菌: 細菌全体が受ける力とトルクの総和がゼロ  
境界要素法で得られた細菌遊泳時の回転角速度・推進速度 [3]を用いた

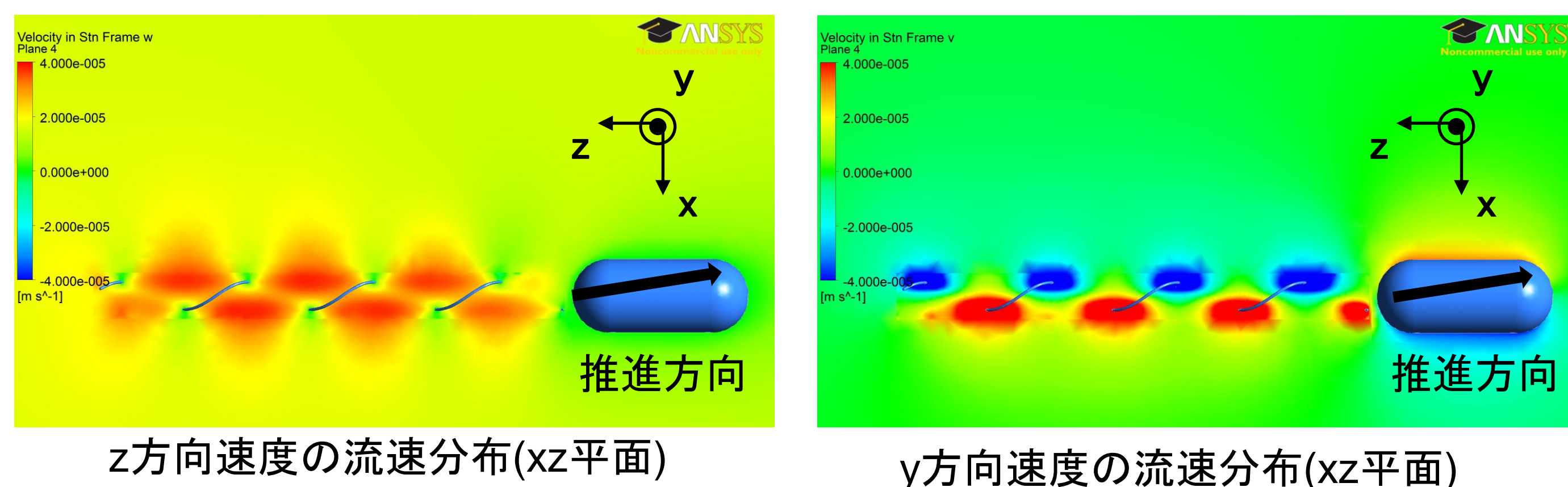
### 構造解析

ANSYS Workbenchによる一方向連成解析(流体-構造)  
細菌にかかる力を転送→細菌べん毛の変形  
流体解析時の予測、べん毛の弾性変形の解析[2]との比較

## 解析結果

[3]川上智之、鳥取大学工学部応用数理工学科 平成22年度卒業論文

### 流体解析



### 生じる流れ

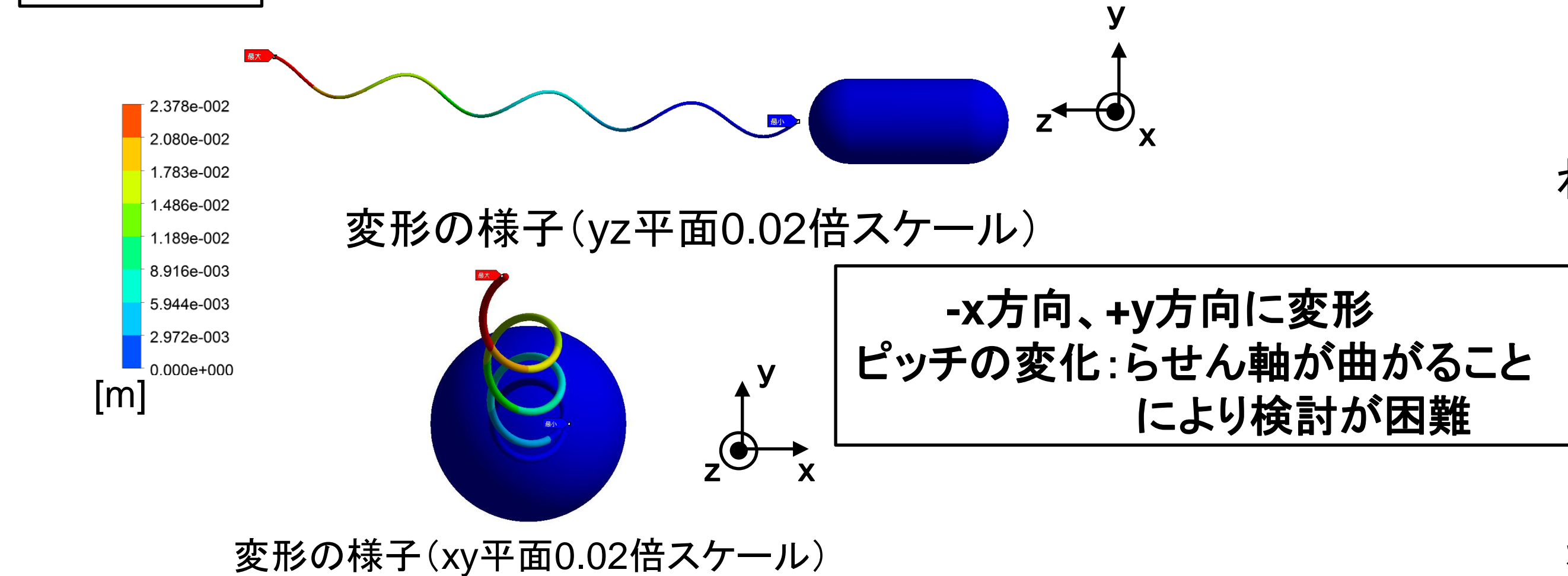
べん毛部において菌体から離れるにつれてべん毛周りの+z方向(押し出す)流速の速い範囲が広くなり、菌体とべん毛は回転方向の違いによる流れが生じる

べん毛にかかる力  
x方向:  $-0.995 \times 10^{-4} \text{N}$   
y方向:  $0.244 \times 10^{-4} \text{N}$   
z方向:  $-2.633 \times 10^{-4} \text{N}$

### 変形の予測

-x方向、+y方向への変形  
-z方向への力→ピッチの減少

### 構造解析



		z方向(伸縮方向) 変位量の平均 (m)	y方向(曲がり方向) 変位量の平均 (m)
ポアソン比	0.49	$-0.329 \times 10^{-4}$	$8.124 \times 10^{-3}$
	0.34 (ポリスチレン)	$-0.655 \times 10^{-4}$	$8.094 \times 10^{-3}$
	0.001	$-1.371 \times 10^{-4}$	$7.871 \times 10^{-3}$

+y方向+z方向  
(べん毛が伸びる)

-y方向-z方向  
(べん毛が縮む)

## まとめ

### (流体解析)

・べん毛部において菌体から離れるにつれて押し出す流体の流速が速い範囲が広くなり、菌体とべん毛の回転方向の違いによる流れが生じた

### (構造解析)

・変形部分は菌体付近で主に曲がる ・ポアソン比が小さくなるとべん毛が縮む傾向がみられた

**べん毛の弾性変形の解析[3]との比較** 先行研究: ピッチの減少、巻き数の増加

本研究: ポアソン比(せん断弾性係数)を小さくすることでべん毛が縮むことが分かった

べん毛形状(中空形状など)の検討が必要