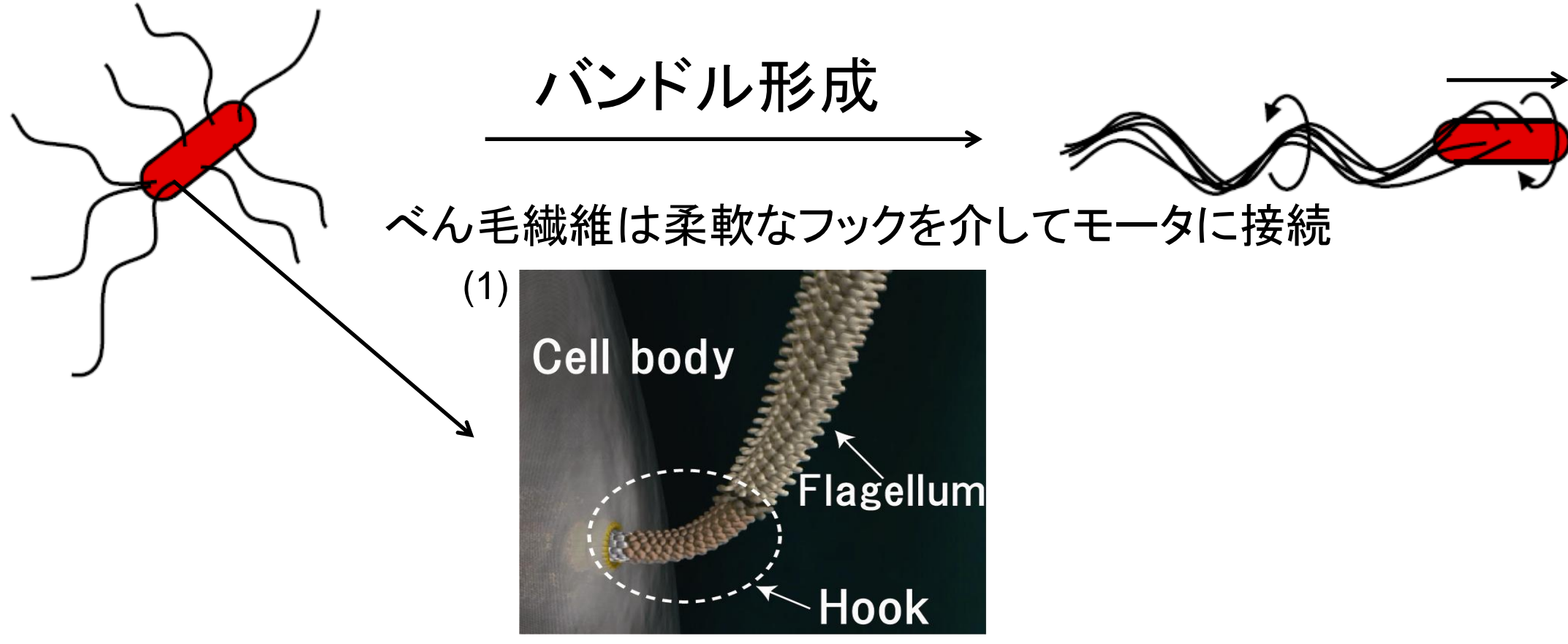


近接して回転する二本の細菌べん毛間に作用する流体力とべん毛の変形に関する数値解析

鳥取大学大学院 工学研究科 機械宇宙工学専攻 応用数理工学コース 生体システム解析学研究室

研究背景

大腸菌やサルモネラ菌などの周毛性細菌はらせん型のべん毛をべん毛モータにより回転させることで推進力を得ている



べん毛の繊維を同方向に回転させバンドルを形成する
菌体は回転モータの反作用のトルクによりべん毛とは反対方向に回転する

バンドル形成の要因

らせん型のべん毛同士の間隔の干渉(2)
菌体の回転の影響(3)

べん毛に作用する流体力やそれに伴うべん毛の変形など力学的詳細の知見は少ない

低レイノルズ数流れにおいて二本の細菌べん毛が近接して回転する数値解析

剛体のべん毛の流体解析

・菌体(境界)の有無においてべん毛に働く流体力の調査

べん毛の変形に関する解析

・流体解析と構造解析を繰り返し実行しべん毛の変形の過程を調査
・菌体の回転によるべん毛の変形の調査

数値解析によるアプローチ

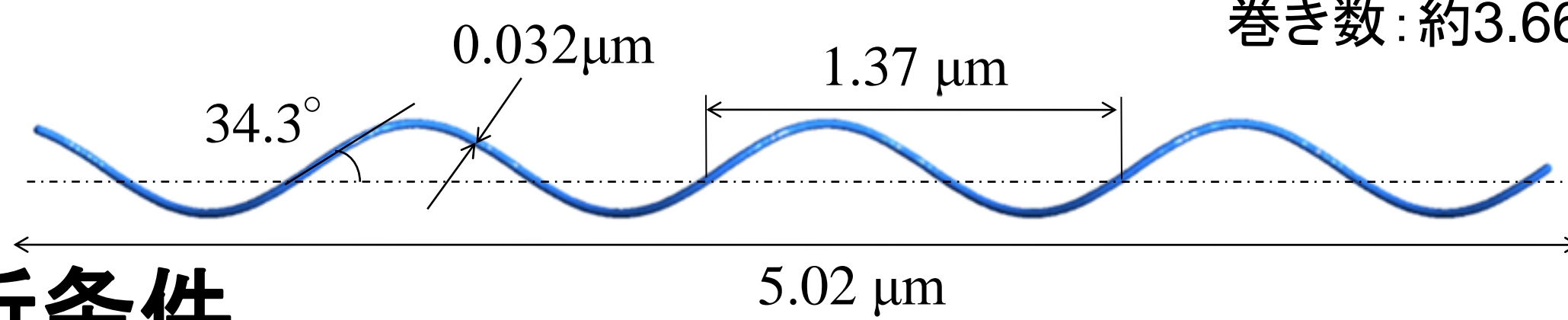
目的:バンドル形成のメカニズムの解明

- (1) JST,ERATO,難波プロトニックナノマシンプロジェクトDVD,回転するナノマシン~べん毛の構造と動きに迫る~,(2002)
- (2) Robert M.Macnab, "Bacterial flagella rotating in bundles:A study in helical geometry", Proc. Natl. Acad. Sci. USA, vol74, No.1, pp.221-225, Biophysics, (1977).
- (3) Thomas R.Powers, "Role of body rotation in bacterial flagellar bundling", PHYSICAL REVIEW E65, 040903(R), (2002).

解析モデル

ビブリオ菌のべん毛を模擬

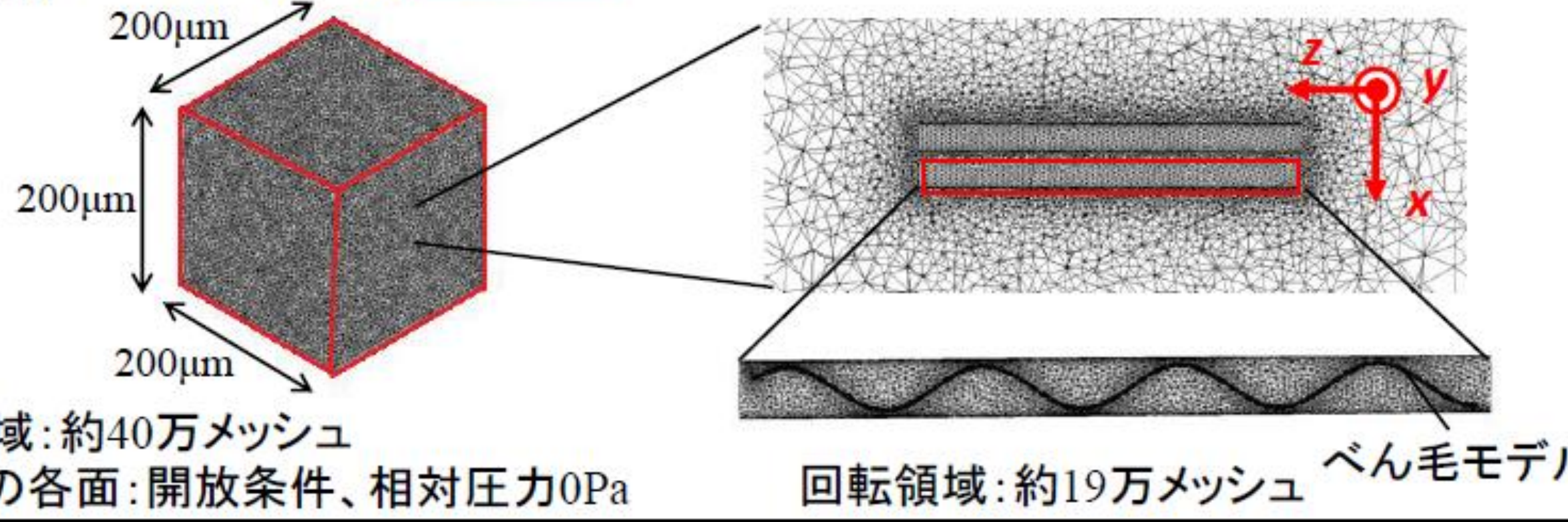
モデル作成: SolidWorks
巻き数: 約3.66巻き



解析条件

流体解析 (ANSYS CFX)

定常計算 レイノルズ数: 1.0×10^{-6}



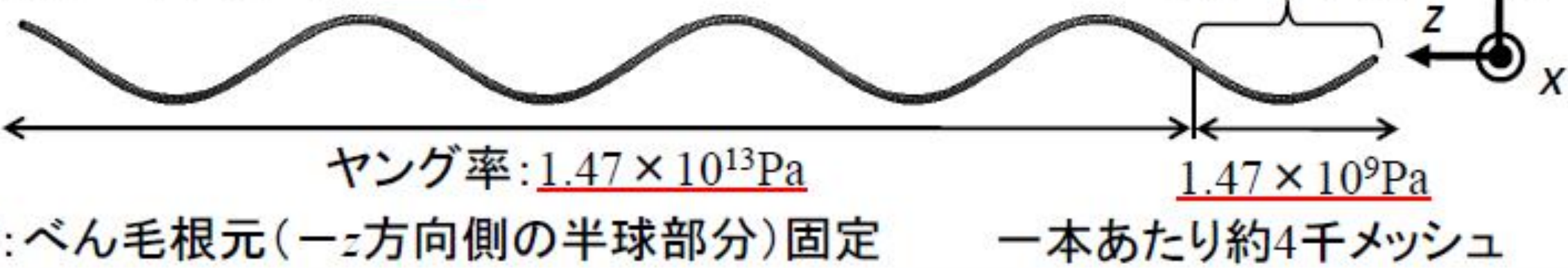
静止領域: 約40万メッシュ

立方体の各面: 開放条件、相対圧力0Pa

回転領域: 約19万メッシュ

構造解析 (ANSYS Mechanical)

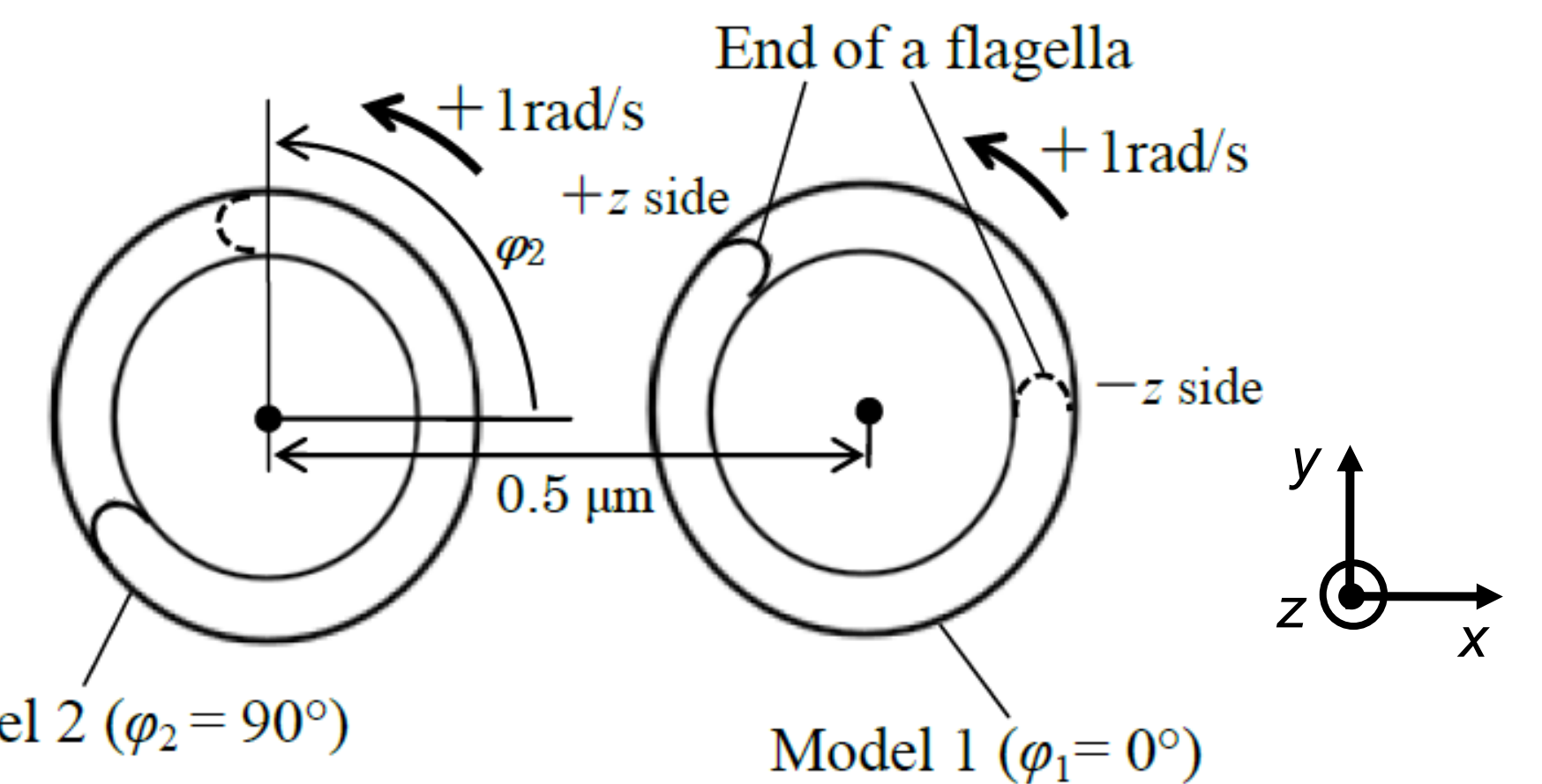
静的構造解析 ポアソン比: 0.34



拘束条件: べん毛根元(-z方向側の半球部分)固定

一本あたり約4千メッシュ

二本のべん毛モデルの位置関係、位相変化



位相は+x方向を基準としてらせん先端までの角度で定義する

べん毛モデルと壁との関係

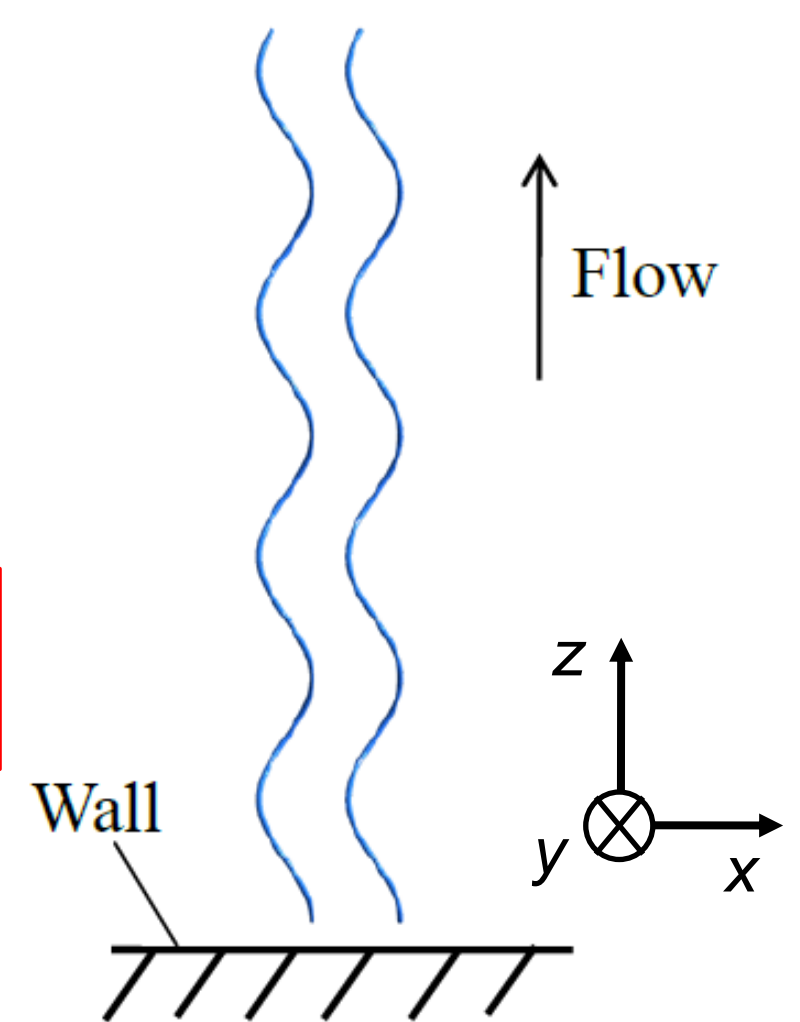
べん毛モデルが+z向きの角速度で回転

らせんの波が+z方向に伝播し、+z方向に流れが生じる

べん毛モデルは-z方向の推進力を受ける

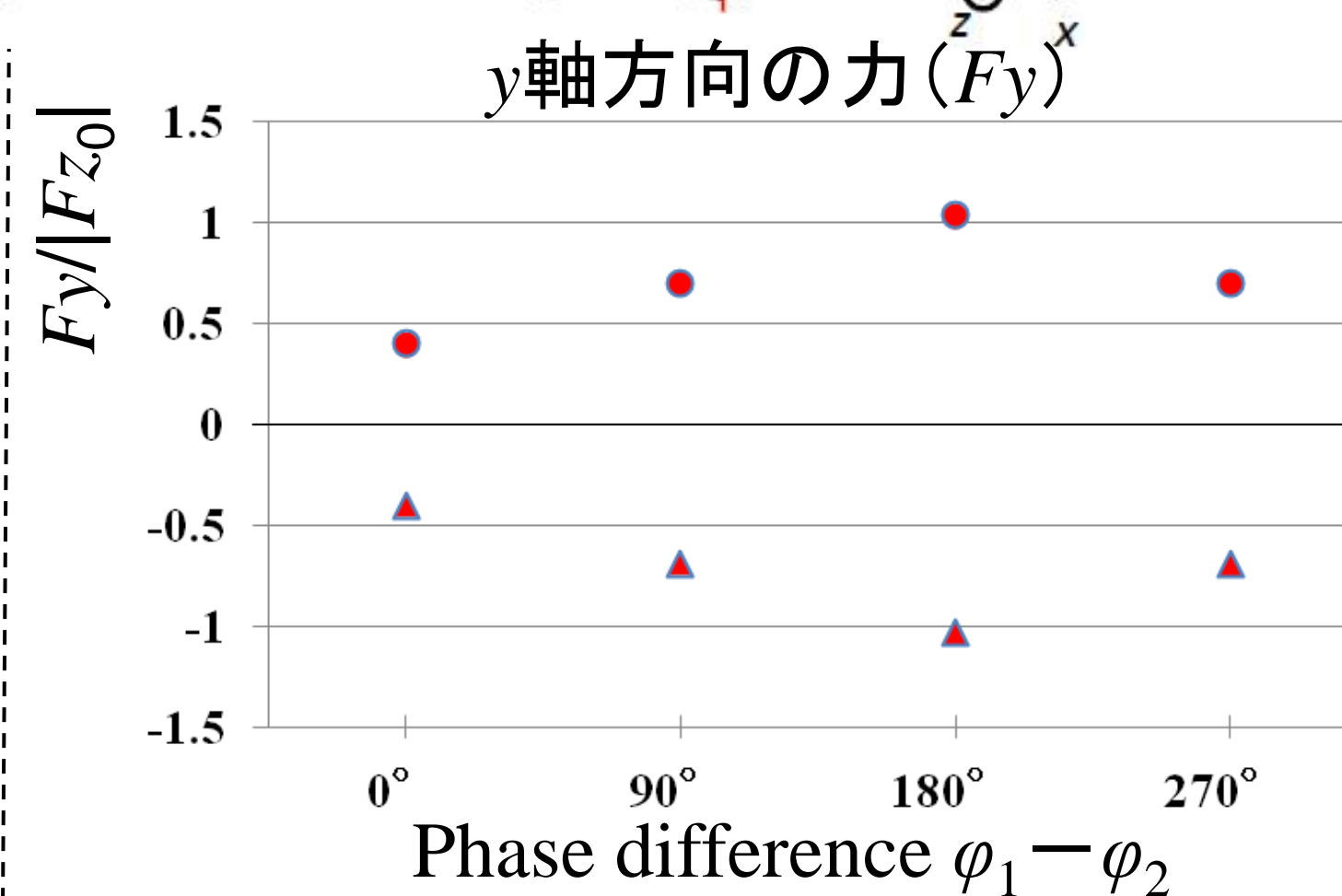
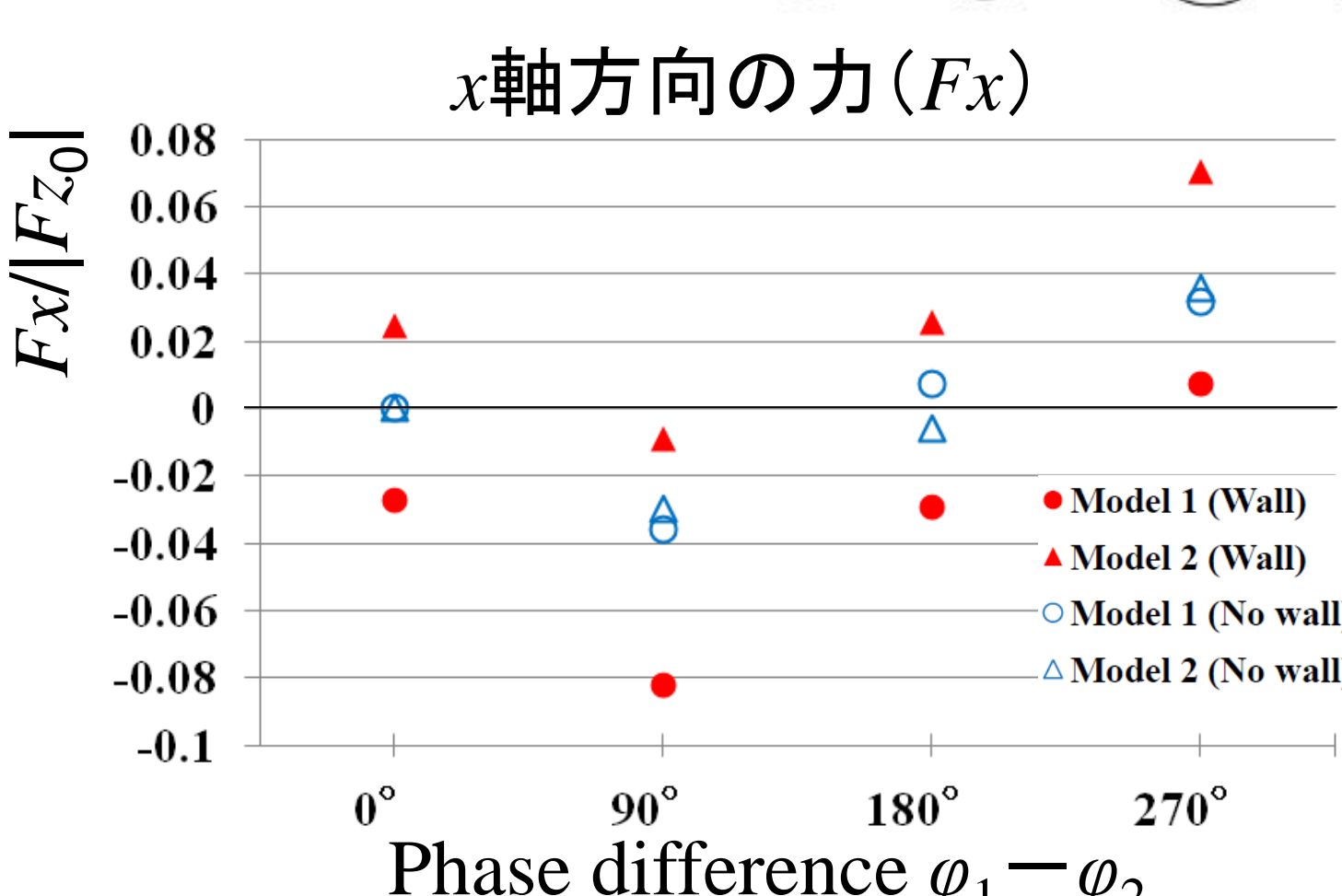
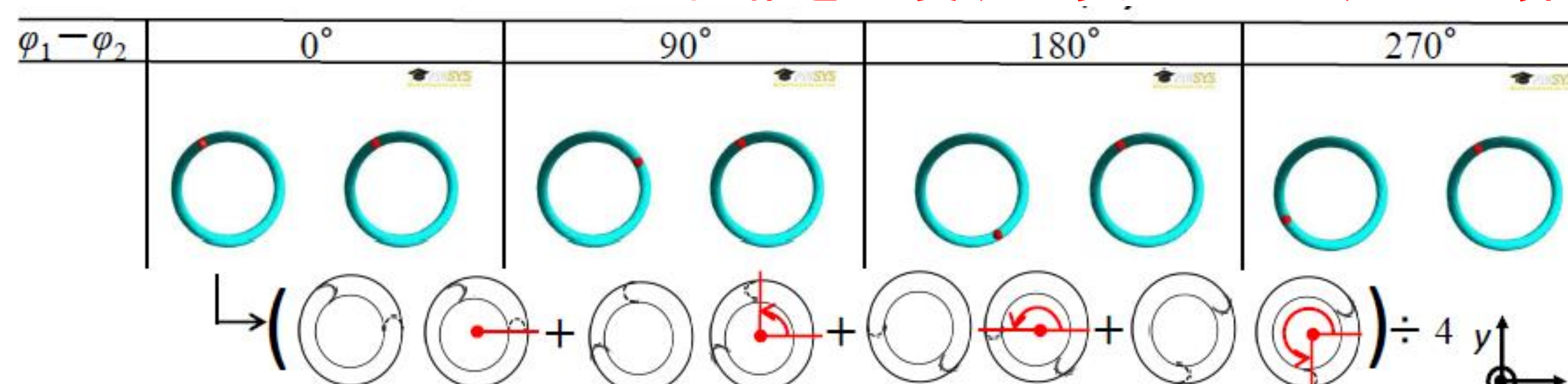
菌体の存在により流れ場が変化することを定性的に表現するために-z方向の壁を設ける

二本のモデルが並ぶx軸方向の力(F_x)、及びそれに垂直な方向(F_y)の調査を行う



剛体のべん毛に働く力

位相を90度ずつ変化させて定常計算を実行



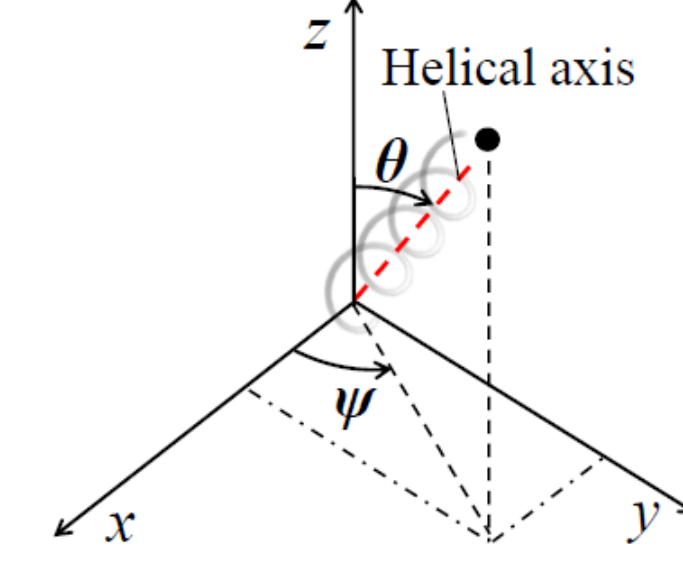
壁なし: 引き合わない
壁あり: 引き合う

・壁の有無による差は生じない
・モデル1は正の方向、モデル2は負の方向

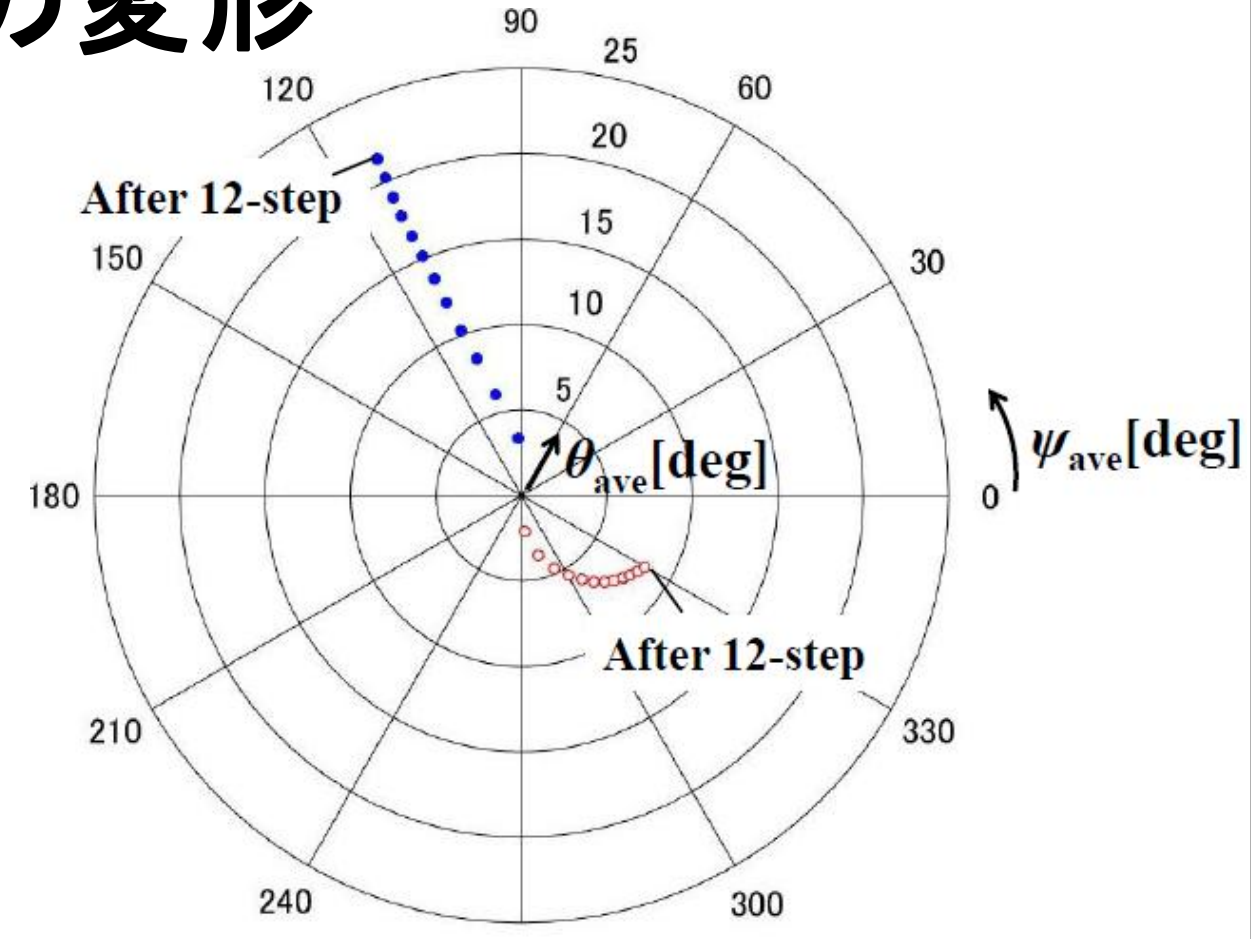
二本のモデルは軸周り方向の流れ場の影響を大きく受ける($F_y > F_x$)

流体力によるべん毛の変形

変形の過程



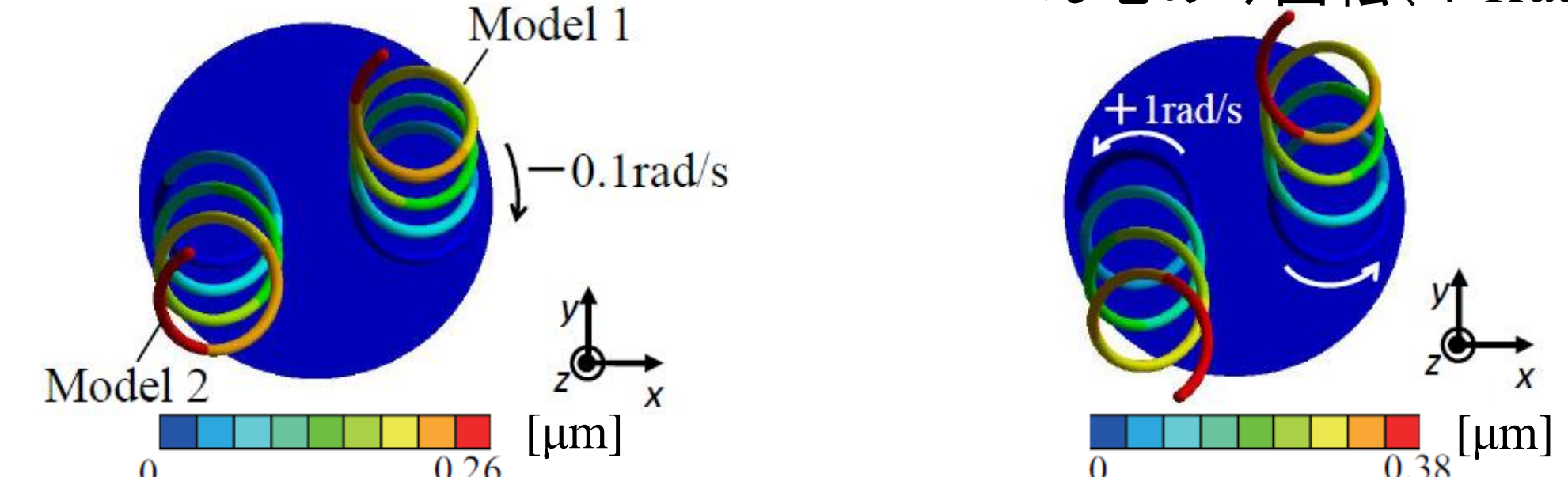
らせん軸とx軸とのなす角 ψ
らせん軸とz軸とのなす角 θ



変形結果の比較(べん毛と菌体の回転)

円板のみ回転 (-0.1rad/s)

べん毛のみ回転 (+1rad/s)



・回転の影響により二本のモデルは振れる方向に変形する
・菌体の回転速度がべん毛の回転速度の1/10程度のときに変形量が同程度になる

結言

剛体のべん毛の流体解析

・菌体を考慮すると二本のモデルの間には引力が生じる
・お互いが引き合う力よりも軸周り方向の流れ場によって生じる力を大きく受ける

べん毛の変形に関する解析

・べん毛、菌体、それぞれ単独の回転で二本のモデルはお互いが振れる方向に変形する
・菌体の回転速度がべん毛の回転速度の1/10程度のときにべん毛の変形量は同程度になる

本解析ではべん毛の物性値や変形の時間経過を無視した計算をしている

詳細なべん毛の変形の調査には時刻歴を追った流体と構造の連成解析が必要