

単毛性細菌の固体表面に対する 姿勢と遊泳軌跡の数値解析

研究目的

細菌の運動を時刻歴解析し

固体表面近傍における細菌の一連の遊泳運動を調査

境界要素解析

基礎方程式

$$\nabla \cdot \mathbf{u}(\mathbf{x}) = 0, \quad \nabla^2 \mathbf{u}(\mathbf{x}) = \frac{1}{\mu} \nabla p(\mathbf{x})$$

境界積分方程式

$$[G]\mathbf{t}(\mathbf{x}) = [H]\mathbf{u}(\mathbf{x})$$

解析条件

菌体とべん毛は剛体

細菌全体に働く力=0

細菌全体に働く力のモーメント=0

境界条件

$\mathbf{u}(\mathbf{x}) =$ 細菌表面の速度 (細菌表面上)

$\mathbf{u}(\mathbf{x}) = 0, p(\mathbf{x}) =$ 一定 (無限遠方)

$\mathbf{u}(\mathbf{x}) = 0$ (固体表面上)

解析方法

並進速度: U

角速度: Ω

Euler法
Runge-Kutta法

位置: X

姿勢: R

$$\mathbf{X}_{n+1} = \mathbf{X}_n + \mathbf{U}\Delta t$$

$$\mathbf{R}_{n+1} = \mathbf{W}(\Omega, \Delta t)\mathbf{R}_n$$

$\mathbf{u}(\mathbf{x})$: 流体の速度

μ : 粘性係数

$p(\mathbf{x})$: 圧力

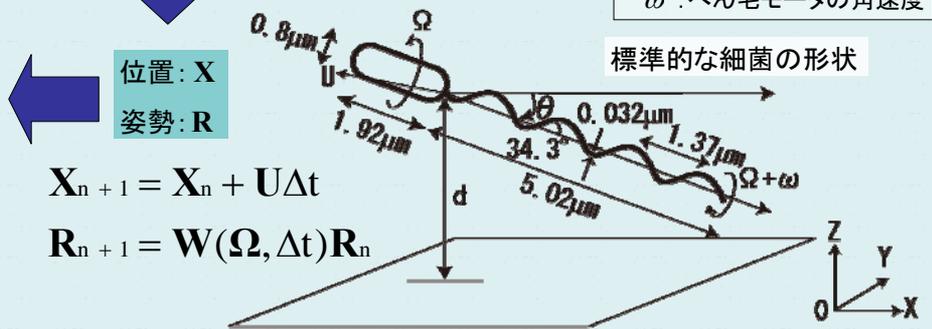
$\mathbf{t}(\mathbf{x})$: トラクションベクトル

\mathbf{X} : べん毛付け根部の位置

\mathbf{R} : 菌体の両極を結ぶ方向ベクトル

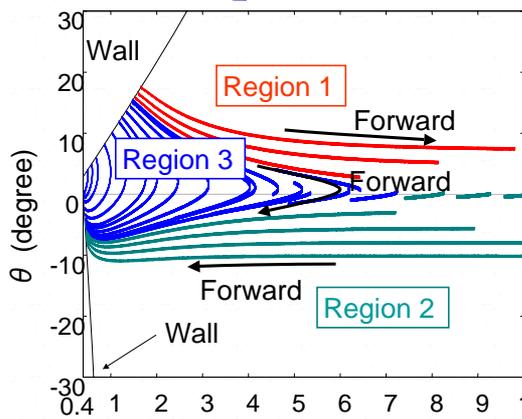
\mathbf{W} : 回転行列

ω : べん毛モータの角速度

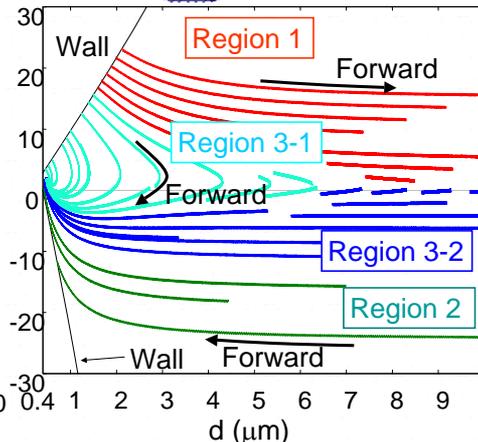


解析結果

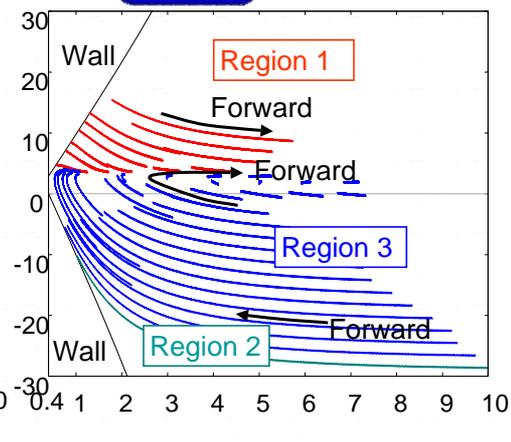
0.96 μm



1.92 μm



3.84 μm



まとめ

時刻歴解析を行った結果、細菌の遊泳運動は以下のように分けられる

1. 壁面から離れる方向に運動
2. 壁面に衝突する方向に運動
3. 1、2とは異なった運動

3の運動は菌体長径に依存する。

菌体長径の大きさが

標準的のとき

小さいとき

大きいとき

前進時

壁面に近づく → 一定の状態に遊泳

壁面に近づく → 壁面に衝突

壁面に近づく → 壁面から離れる