

7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介



お話の内容 その1

1. 微小血管内における人工赤血球の流動シミュレーション
2. マイクロチャネル内の運動良好精子分離シミュレーション



1

7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

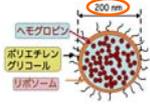
背景（人工赤血球とは？）

輸血用血液製剤不足の解消
現行の血液製剤のリスク軽減

赤血球製剤の代価物
人工酸素運搬体の開発



カプセル型人工赤血球
直径 200 - 250 nm



Liposome-encapsulated hemoglobin (LEH)

その特徴を生かして、微小循環障害、狭心病、貧血などへの利用



2

人工赤血球の利用例

微小循環障害

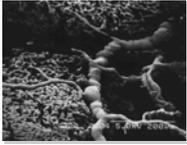
- 赤血球が到達できない微小血管部位にも酸素を運搬可能
⇒ 酸素不均一性の軽減（特に心筋組織内など）
- 微小循環障害治療薬としての用途が期待
⇒ 流体力学的観点からの効果の検証が必要

原発性肺高血圧症

細動脈レベルでの血管収縮
↓
肺動脈の血管抵抗が上昇
⇒ 人工赤血球投与による治療



正常な肺細動脈



肺高血圧症の肺細動脈



3

7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

シミュレーションの必要性

現状 微小血管内(数十~数 μm)の流れの実験
 ……その複雑性や微細であることから困難
 適切な流体解析ソフトがない

この現状を打破するためには…

↓

新しい流体シミュレーション技術による
効果的且つ安全な方法が有効

↓

まずは簡単なモデルで、効果の目安
を知ることが重要

現在期待されている人工赤血球の様々な治療効果を流体
シミュレーションによりある程度定量化できないだろうか？

→ 微小循環レベルでの新しい人工赤血球流動
シミュレーション技術の開発を目指す！

4

研究内容（微小循環障害の場合）

赤血球が排除される
血しょう分離
plasma skimming

赤血球と血しょうの分布が不均質になる
→ 酸素が行き渡らない

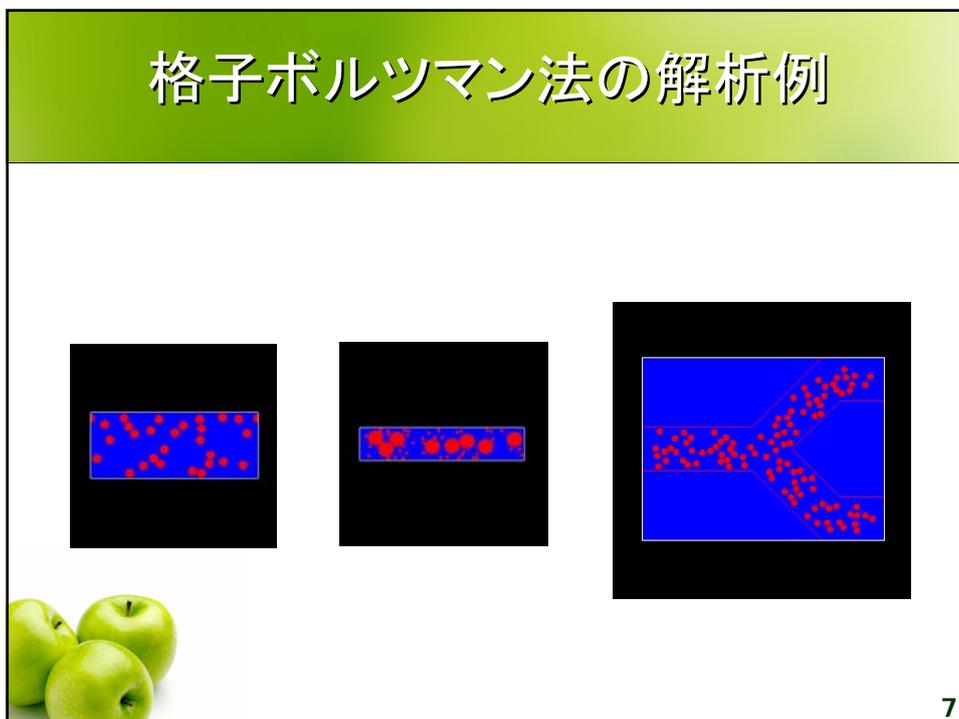
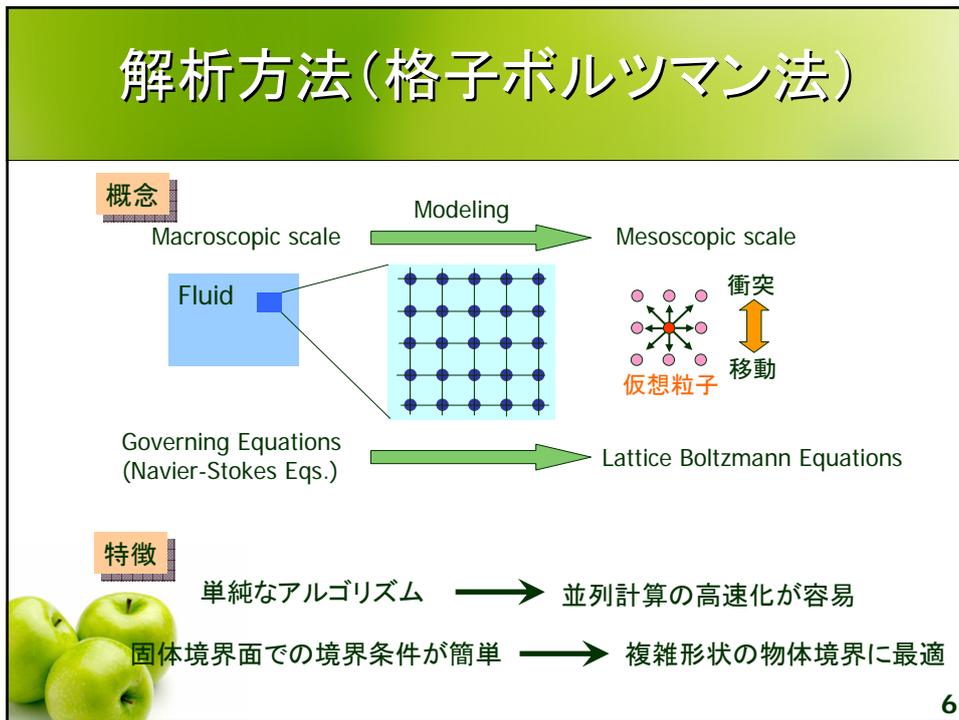
赤血球より微小である人工赤血球
→ どの程度の効果がある？

大動脈 動脈 細動脈 毛細血管 細静脈 静脈 大静脈

細動脈-毛細血管(20 μm)の分岐部 → 2D分岐部モデルで人工赤血球による微小循環改善作用の可能性を検証

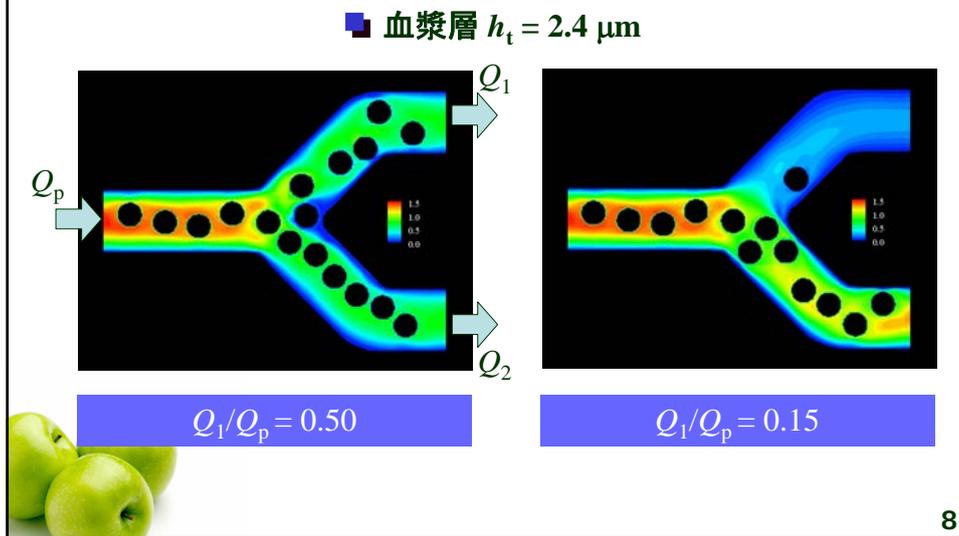
5

7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

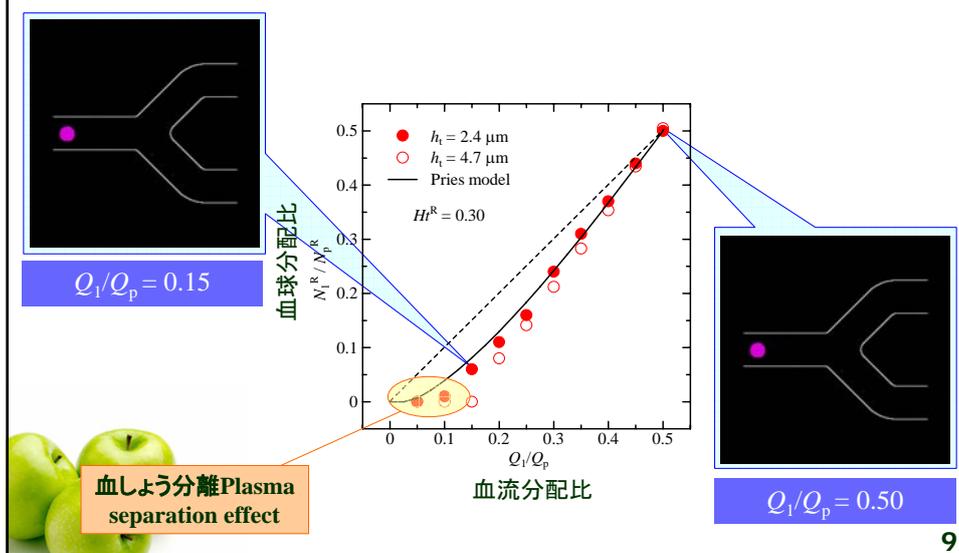


7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

解析例：流速分布（赤血球を投入）



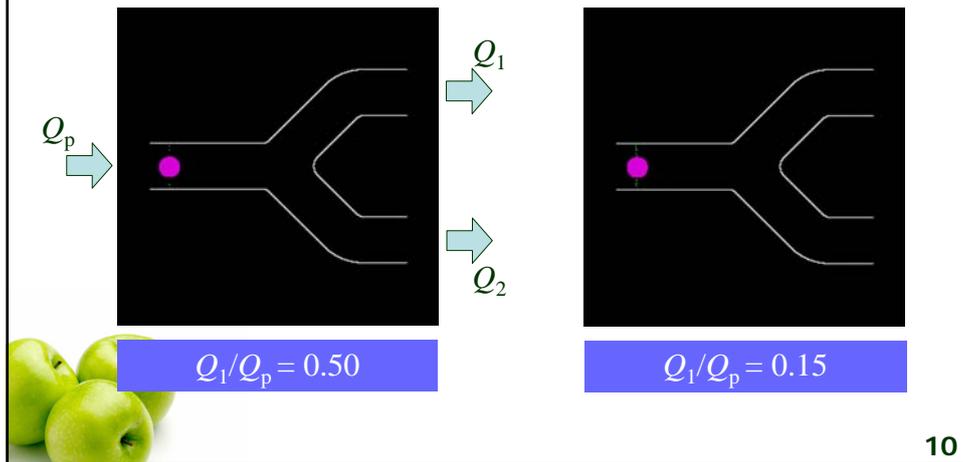
解析例：血流分配比と血球分配比の関係



7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

解析例：人工赤血球に置換した場合

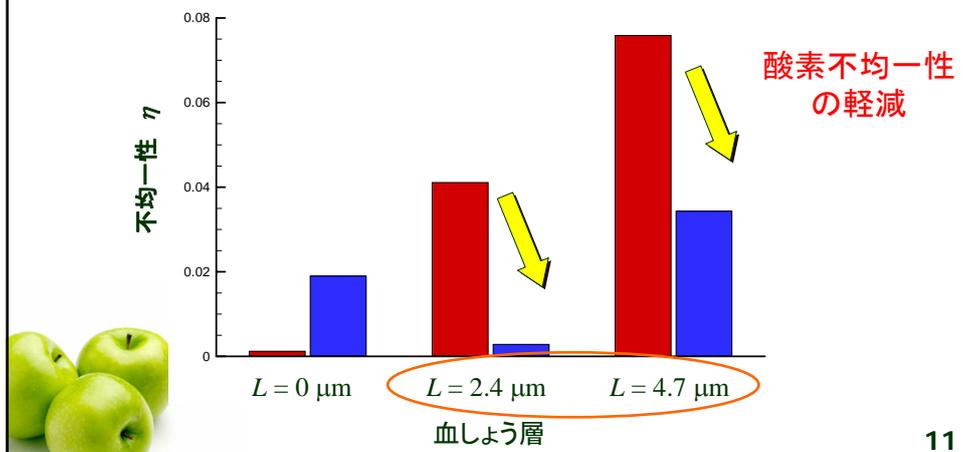
■ 血漿層 $h_t = 2.4 \mu\text{m}$



酸素不均一性の検証

$$\eta = \sum_{n=0}^{10} \left(Q_i/Q_p - N_i/N_p \right)^2, \quad n = 20 Q_i/Q_p$$

■ $Ht^R = 30\%$
 ■ $Ht^R = 15\%, Ht^L = 15\%$



7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

お話の内容 その2

1. 微小血管内における人工赤血球の流動シミュレーション
2. マイクロチャネル内の運動良好精子分離シミュレーション



12

背景・目的

出生率の低下による少子化

→ 不妊カップルが10組に1組、不妊原因の半数が男性側の異常、その要因の大半が精子の異常

↓ 受精には運動能力の良い精子が必要

→ 運動能力良好の精子を、簡便に、かつ効率よく分離することが求められている

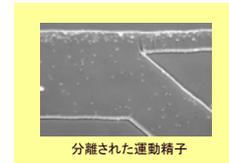
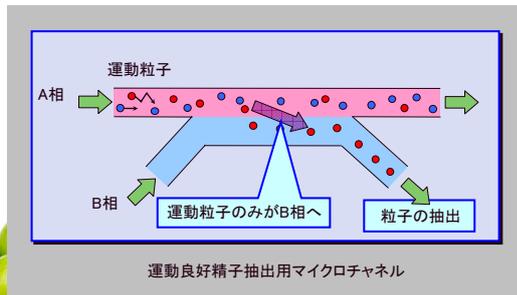


13

7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

マイクロチャネルの原理

- マイクロ、ナノ加工技術進展に伴い、マイクロチャネルなどのダウンサイジング効果を利用した研究開発が進展
- チャネル内は**安定した層流**
→2液を同時に平行して流す際、片方の相に含まれる**特定の物質のみをもう片方の相に抽出可能**と考えられている



岡山大学大学院医歯薬総合研究科システム管理生理学講座より提供 14

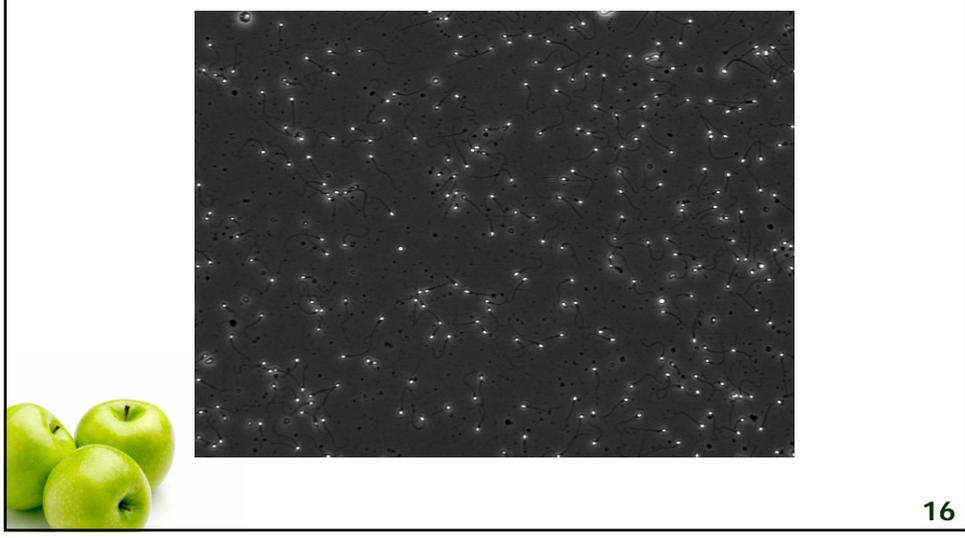
シミュレーションの必要性

- さまざまな装置開発は進んでいるが、シミュレーションによる最適設計の検討はなかなか進んでいない
- 必要に応じて多数のパラメータを簡単変更
- 本研究対象のマイクロチャネル内での運動粒子抽出の有効性を検証する上での**迅速な対応**(最適形状の寸法、精子の数を具体的な数値として求められる)
- 予測結果をもとに最適設計の検討
→製品化する過程で**大きなコストダウン**につながる

15

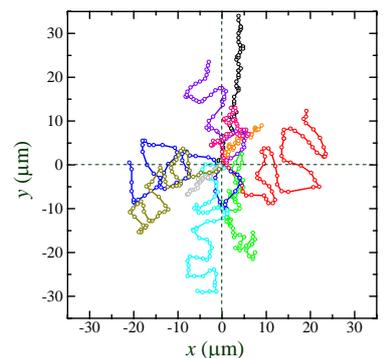
7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

精子運動の動画

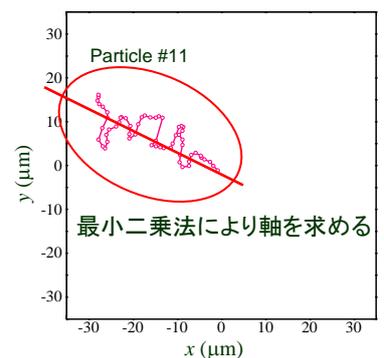


16

例1: 精子運動のモデル化(運動の追跡)



Particle #1-#10

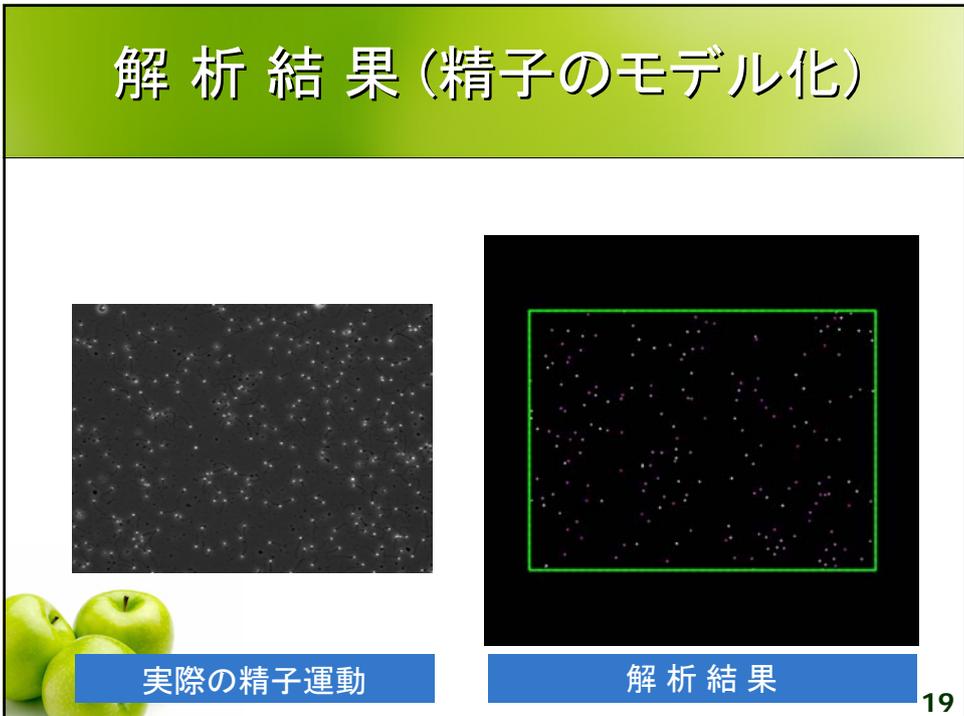
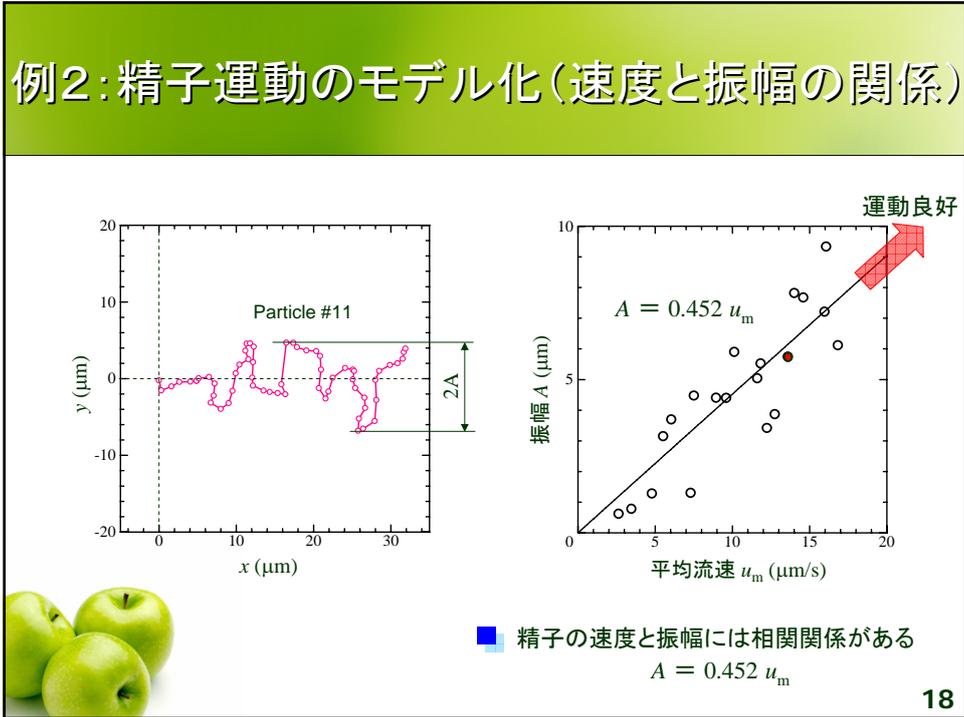


Particle #11-#20

■ 精子の動く方向に規則性は見られない ➡ 精子の動く方向はランダム $\alpha=0\sim 2\pi$
■ 精子の動きに一定の周期が見られる ➡ 正弦波と近似(振幅と周期が必要)

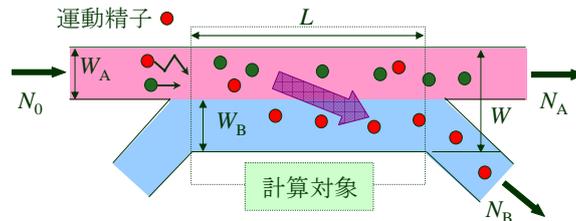
17

7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介



7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

マイクロチャネル内シミュレーション

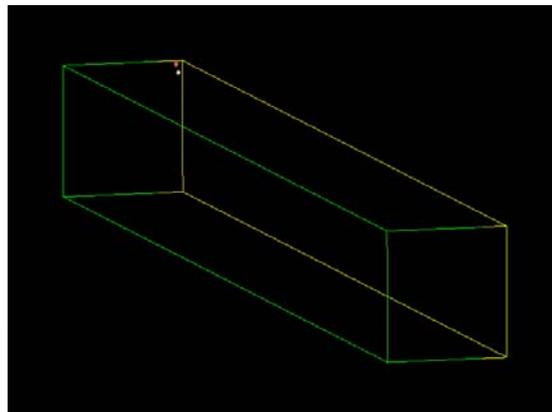


- | | | |
|-----|---|---|
| 寸法 | → | 長さ L , 幅 W , 深さ D , A相の幅 W_A , B相の幅 W_B |
| 精子数 | → | A相から流入する全精子数 N_0 , A相到達数 N_A , B相到達数 N_B |
| | | 運動良好数 N^G ($S \geq \frac{S_{\max}}{2}$) (B相到達運動良好数の場合 N_B^G) |



20

マイクロチャネル内3D解析例



21

7. 医療分野における流体シミュレーション適用例の紹介

