

一様磁場における赤血球数値モデルの開発とその運動特性評価

京都大学 工学研究科 機械理工学専攻 氏名 巽 和也

目的: 本研究では, 流体中に懸濁した細胞の一様磁場内における運動と流動場への影響を解明することが可能な数値解析モデルの開発を目的とする.

内容: 流体と赤血球の連成解析にはImmersed Boundary Methodを用いる. また, 流体の解析には有限体積法を, 赤血球については2種類の力学モデルを用いる. 赤血球の力学モデルには, 赤血球膜を微小三角形要素に分割し, 各要素に伸縮や曲げなどのばね要素を適用したばねネットワークモデルと, 赤血球膜を弾性膜と考え, 膜の伸縮や曲げを考慮した有限要素法モデルの2種類を採用する. これらのモデルに, 本研究で提案する磁場の影響を考慮した2種類の磁気モデルを導入して流体との連成計算を行い, 各モデルの妥当性, 有効性について検討を行う. 磁気モデルは, 赤血球膜を構成するリン脂質と膜貫通蛋白質の磁気異方性に注目したモデルである. これらリン脂質や膜貫通蛋白質に生じる磁気トルクを基に, 赤血球を配向させる磁気力のモデル化を行う. このモデルは, 膜上の微小領域の弾性力と磁気力の釣り合いにより磁場環境下での赤血球単体の運動を再現するため, 流れの中で3次的に変形しながら運動した場合でも, 適切な解析モデルとして適用できると考えられる.

結果: 2種類の力学モデルに, 磁気モデルを適用し, 静止流体中における赤血球の配向運動の計算を行った. この場合, 赤血球を構成する要素への磁気モデルの適用法について2通りの方法を検討した. 磁気モデルの妥当性評価は, 磁場発生装置と高速デジタルビデオカメラ, マイクロ流路を用いて製作した実験装置による赤血球運動の可視化測定と比較することで行った. その結果, 実験と計算とで赤血球の運動特性が定量的に良好な一致を示し, 磁気モデルの妥当性と磁気モデルの異なる力学モデルへの適用性の高さを示した. また, 計算で得られた赤血球膜に作用する磁気力の分布(図1)を検討することで, 赤血球の配向の機構について考察を行った. さらに, 応用展開として, 磁気モデルを用いた赤血球1細胞あたりの異方的磁化率の算出, リン脂質と膜貫通蛋白質の異方的磁化率を求められることを示した.

利用した計算機: SX-8R
CPU時間: 112時間
使用メモリ: 10G
ベクトル化率: 90%
並列化: 4並列

