

課題名 (タイトル) :

生体力学シミュレーションソフトウェアの研究開発
Software Development for Biomechanical Simulations

利用者氏名 : ○杉山 和靖*, 川島 康弘**, Chang-Jin Ji ***

所属 : *情報基盤センター 技術開発ユニット

**株式会社 富士通システムズ・イースト解析シミュレーション部

*** Modern Mechanics, University of Science and Technology of China

1. 本課題の研究の背景、目的、関係するプロジェクトとの関係

生体力学を対象とするシミュレーションは、治療効果の事前予測、生命現象の本質の理解、病気のメカニズムの解明など、医療分野、生命化学分野での活用が期待されている。本課題の目的は、連続体レベルの生体力学の諸問題、中でも、境界幾何形状が複雑な問題、大量の膜被包液滴を含む問題を扱うためのシミュレーション技術の開発、整備である。

2. 具体的な利用内容、計算方法

本研究における RICC の利用内容は、(i) 狭窄が存在する血管内の血流を対象として、圧力損失と流量関係を数値予測すること (ii) 血球の運動、血小板・血管壁の接着を考慮して、一次血栓に至る動力学を大規模計算によって予測する並列化コードの開発である。(i) においては、既存のボクセルベースのシミュレータ V-FLOW VOF3D を利用する。この方法では、基礎方程式がデカルト座標系で有限差分法により離散化され、Volume-Of-Fluid 関数、Area-Of-Fluid 関数によって、境界幾何形状が表現される。(ii) においては、流れ場、血球膜を、それぞれ、立方メッシュ、表面メッシュ上で離散化する。そして、埋込境界法に基づき、平滑化デルタ関数を用いて、流体・膜間の動力的相互作用を記述する。MPI 並列計算に際して、流れ場については、計算領域の均等分割が容易である。シリアルコードから並列化コードを作成する作業は、主に、隣接ノード間通信の実装であり、容易である。一方、血球膜については、表面メッシュが所属する計算領域を管理する仕組みを導入する必要がある。計算アルゴリズムが複雑となるため、プログラム開発においては、様々な項目に対する動作確認を要する。

3. 結果

狭窄流れの研究においては、Navier-Stokes 方程式、Stokes 方程式を解き速度場、応力場を求めた。両式の解の相関から、圧力損失と速度の空間分布に成り立つ関係式を導出するとともに、圧力損失を、狭窄率、レイノルズ数の関数として与える関係式を求めた。

血栓コードの並列化においては、計算ノード間で物理量が正しく受け渡され、コードの並列化が正常に行われていることを確認した。また、開発されたコードを「京」で実行し、比較を想定しているマイクロチャネル実験と同程度の寸法の計算が可能となった。

4. まとめ

連続体レベルの生体力学解析に適したシミュレーション技術の開発、整備を進めてきた。RICC を利用することで、狭窄流れの並列計算、流体・膜連成解析の並列化が可能となった。

5. 今後の計画・展望

本課題で掲げている技術開発、整備を、一層進めるため、来年度も継続的に RICC が利用することを望む。

平成 25 年度 RICC 利用研究成果リスト

【論文、学会報告・雑誌などの論文発表】

杉山 和靖, 伊井 仁志, 高木 周 (2003) 松本 洋一郎, 超大規模並列計算に適した流体・構造連成手法の開発と血流シミュレーションへの適用, *ながれ*, Vol. 32, pp. 139-143.

【国際会議などの予稿集、proceeding】

Sugiyama, K., Ii, S., Takagi, S. and Matsumoto, Y., (2013) Full Eulerian fluid-structure/membrane coupling methods for blood flow analyses, Proc. of International Conference on Multiphase Flow 2013 (ICMF2013), Jeju, Korea, May 2013, No. 373.

【国際会議、学会などでの口頭発表】

Ji, C.-J., 杉山 和靖, 野田 茂穂, He, Y., 姫野 龍太郎 (2013) 狭窄流における圧力損失について, 日本流体力学学会年会 2013 講演論文集, No. 59.

Sugiyama, K., Ii, S., Takagi, S. and Matsumoto, Y. (2013) Development of Multiscale Thrombosis Simulator on Massively Parallel Computer, APCOM/ISCM (5th Asia Pacific Cong. on Computational Mechanics and 4th Int. Symp. on Computational Mechanics), Singapore, Dec. 2013, No. 1074.

【その他】