

「シミュレーション技術の革新と実用化基盤の構築」

平成 14 年度採択研究代表者

越塚 誠一

(東京大学大学院工学系研究科 教授)

「粒子法によるマルチフィジクスシミュレータ」

1. 研究実施の概要

連続体の運動を離散粒子群の運動によって近似する粒子法は、複雑な界面変化を伴う多相流問題や流体構造連成問題等において本質的な優位点をもっている。一方、マイクロ化に伴う様々な利点により次世代の生化学分析技術として広範な応用が期待されているマイクロ生化学システムは多相流問題・流体構造連成問題に支配されることが多い。そこで、本研究ではマイクロ生化学システムの研究開発能力の向上に寄与することを目的として、粒子法による多相流体構造連成解析手法に基づいた汎用マルチフィジクスシミュレータを開発する。さらに、それをマイクロ生化学システムの各種デバイスに実際に適用し、精密な計測実験結果と比較・検討して十分な定量的評価を行うことによって粒子法によるマルチフィジクスシミュレータの有効性を実証する。

平成 14 年度はプロジェクトの準備を行い、平成 15 年度は粒子法による非圧縮性流体解析手法を開発した。平成 16 年度は、この非圧縮性流体解析機能に界面計算機能を追加し、粒子法による多相流体計算機能を開発した。平成 17 年度は、この多相流体計算機能に構造計算機能を追加し、流体構造連成計算機能を開発した。また、これらのプログラム開発と並行して、幾つかのマイクロ流体デバイスに対して計測実験を行い、そこで得られたデータを用いて粒子法によるシミュレーションを行って粒子法による解析手法の有効性を検討してきている。平成 18 年度はシミュレータの改良と検証を行い、粒子法によるマルチフィジクスシミュレータを一通り完成させた。平成 19 年度は、これまでに得られた研究結果をまとめ、対外発表を積極的に行い、研究成果を積極的にアピールすることを予定している。

2. 研究実施内容

本研究では、MMI (Man-Machine Interface) 機能を整備した汎用マルチフィジクスシミュレータを粒子法による多相流体構造連成解析手法に基づき開発し、マイクロ生化学システムの精密な計測実験結果と比較・検討してその有効性を実証する。以下、研究グループ毎に平成 18 年度に行われた研究内容を報告する。

①粒子法研究グループ

平成18年度は、平成17年度までに開発した粒子法による多相流体構造連成計算機能を改良し、その改良プログラムを用いて検証計算を行った。具体的には、プログラムの改良により使用メモリーを約19%まで、計算時間を24%まで削減した(多相流体・構造連成問題のテスト計算において)。また、流体構造連成機能の定量的な検査を行い、妥当な結果を得た(図1)。検証計算としては、Lindemann et al.¹により開発されたマイクロディスペンサーの解析を行い、実験で観測される液滴射出挙動を良く再現する結果を得た。

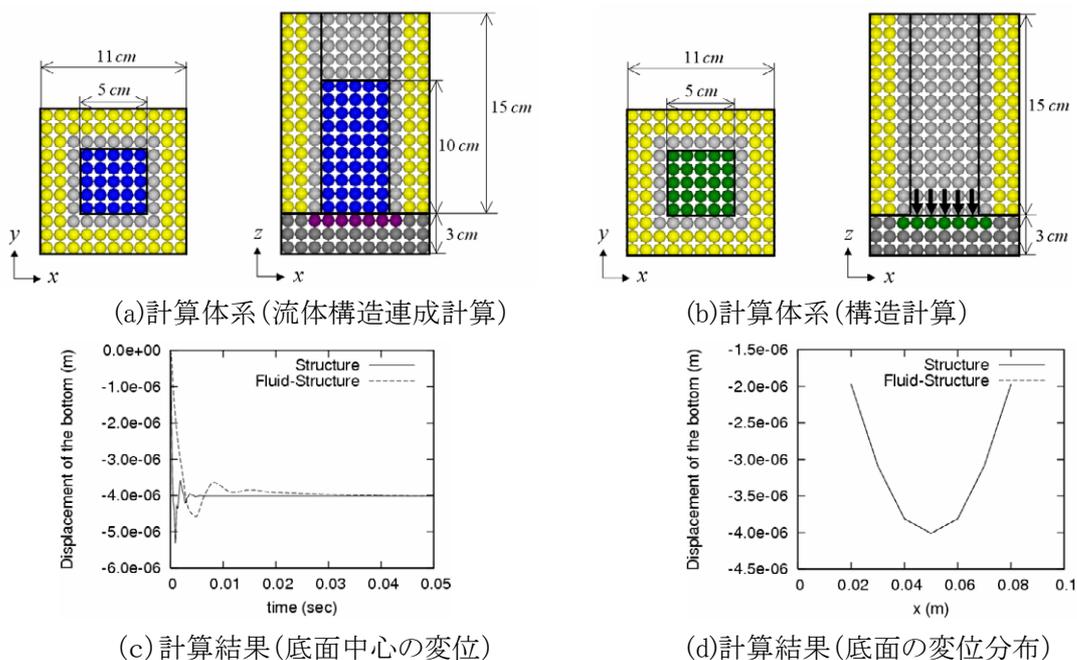


図1 流体構造連成計算機能の定量評価

¹ Lindemann, T., Streule, W., Birkle, G. Zengerle, R. and Koltay, P., "PipeJet™ – A Simple Disposable Dispenser for the Nanoliter Range", *ACTUATOR 2004, 9th International Conference on New Actuators, 14-16 June 2004, Bremen, Germany*, pp.224-227.

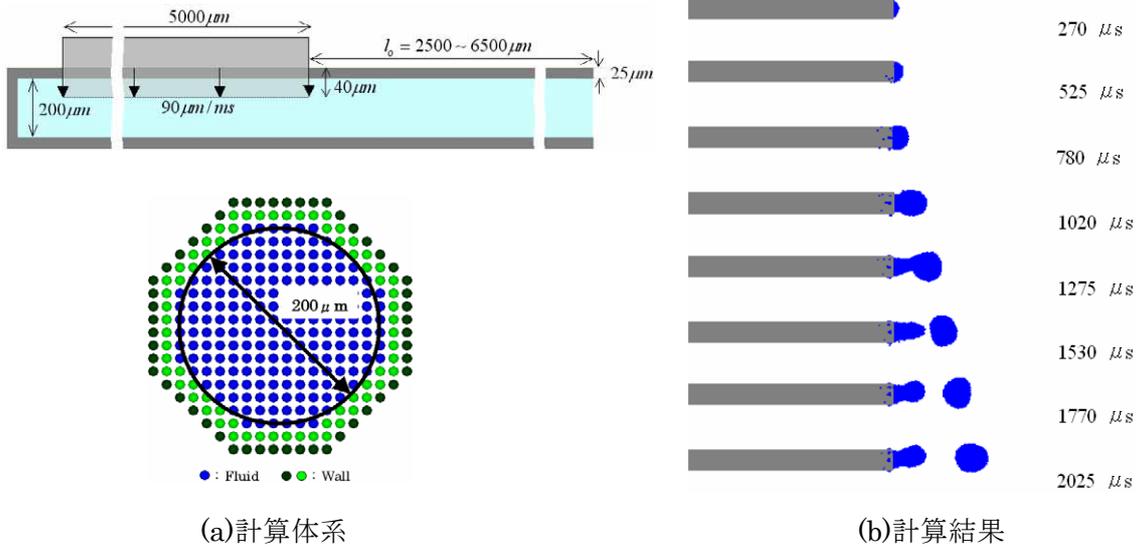


図2 マイクロディスペンサーの解析

②マイクロ生化学研究グループ

平成18年度は、T字型のマイクロ流路における人工細胞付着実験を行った(図3)。また、その流れ場のシミュレーションを行い、その結果から各位置における細胞粒子の接触回数を推測すると、実際の付着数をおおよそ予測できることが判明した(図4)。

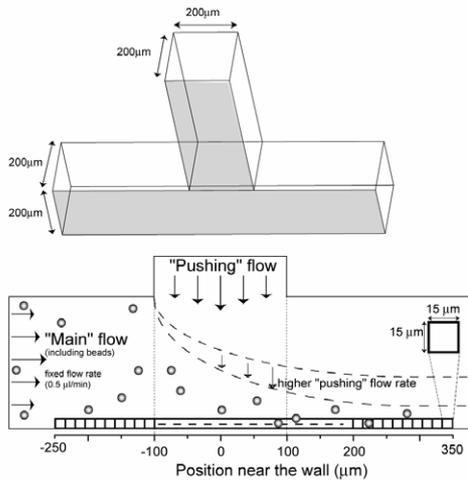


図3 T字型マイクロ流路における人工細胞付着実験

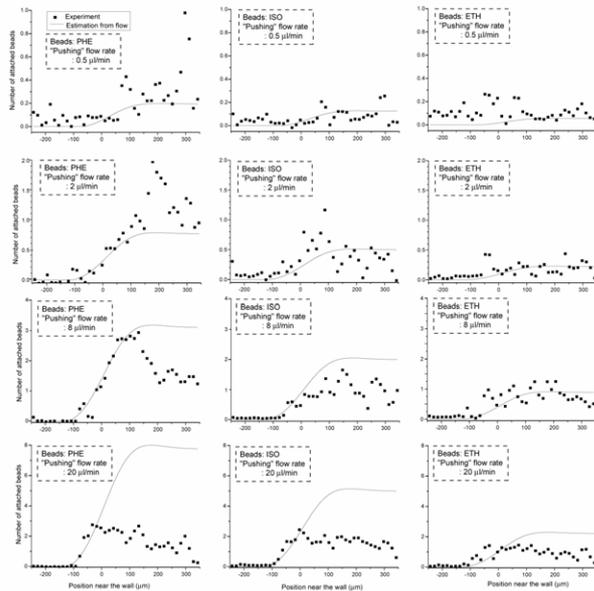


図4 人工細胞の壁面付着数とその予測値

③マイクロ流体制御研究グループ

平成18年度は、3次元マイクロ構造体を透明なSU-8マイクロ流体チップの中に組み込むことに成功し(図5)、有機相の中の水滴を細分化する装置を開発した(図6)。また、マイクロ構造による3次元完全シースフローの実現に成功した(図7)。

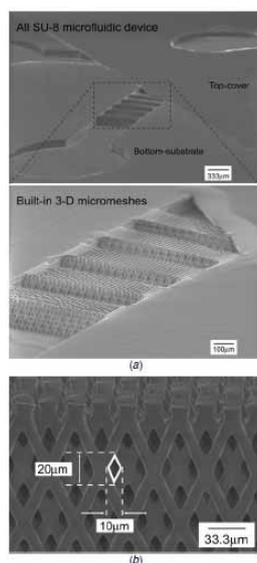


図5 SU-8チップ内のマイクロ構造体

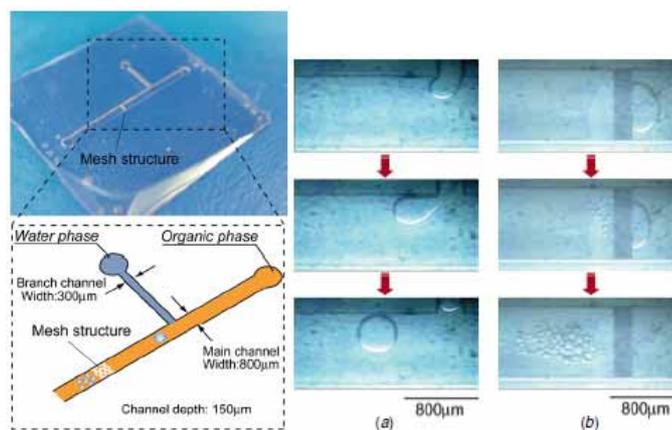


図6 マイクロ構造体による液滴の分解

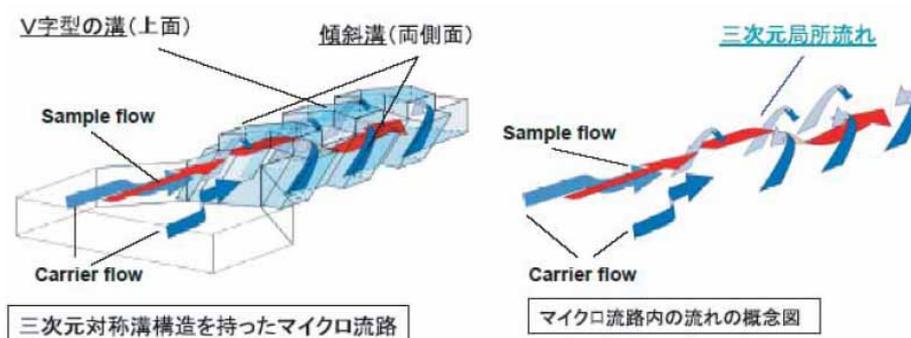


図7 マイクロ溝構造によるシースフロー

3. 研究実施体制

(1)「粒子法研究グループ」グループ

①グループリーダー

越塚 誠一(東京大学 教授)

②研究項目

- ・粒子法によるマルチフィジクスシミュレータの検証

(2)「マイクロ生化学研究」グループ

①グループリーダー

藤井 輝夫(東京大学生産技術研究所 教授)

②研究項目

・マイクロ生化学の計測実験

(3)「マイクロ流体制御研究」グループ

①グループリーダー

庄子 習一(早稲田大学 教授)

②研究項目

・マイクロ流体制御の計測実験

4. 研究成果の発表等

(1) 論文発表(原著論文)

- 近藤雅裕, 越塚誠一, 鈴木幸人, “3次元 MPS 法弾性体解析へのシンプレクティックスキームの適用”, 日本機械学会論文集(A), **72**(4), 425-431 (2006)
- T. Harada, Y. Suzuki, S. Koshizuka, T. Arakawa and S. Shoji, "Simulation of Droplet Generation in Micro Flow Using MPS Method" JSME Int. J., Series B, **49**(3) 731-736 (2006)
- 鈴木幸人, 小石川雅紀, 越塚誠一, 岡本拓士, 金子直嗣, 高松敦子, 藤井輝夫, “MPS 法によるマイクロ流路内細胞付着流れのシミュレーション”, 日本機械学会論文集(B), **72**(721), 2109-2116 (2006)
- 鈴木幸人, 越塚誠一, “非線形弾性体に対する粒子法の開発”, Transactions of JSCES, Vol.2007, 20070001 (2007)
- 原田隆宏, 鈴木幸人, 越塚誠一, 荒川貴博, 庄子習一, “MPS 法を用いたマイクロ混相流 3次元解析”, 日本機械学会論文集(B), **73**(726), 437-444 (2007)
- 田中正幸, 越塚誠一, “粒子法を用いた赤血球の変形シミュレーション”, ながれ, **26**, 49-55 (2007)
- H. Kinoshita, S. Kaneda, T. Fujii and M. Oshima, “Three-dimensional Measurement and Visualization of Internal Flow of a Moving Droplet using Confocal Micro-PIV” Lab Chip, 7, 2007, p.338-346
- H. Sato, H. Matsumura, S. Keino, S. Shoji, “An all SU-8 microfluidic chip with built-in 3D fine microstructures”, Journal of Micromechanics and Microengineering **16** (2006) pp.2318-2322