FEM シミュレーションによるマイクロ流路内で誘導される フェムト秒レーザー誘起衝撃力の解析 Numerical Analysis of Femtosecond Laser-induced Impulsive Force in Micro-fluidic Channel Based on FEM Simulation 奈良先端大物質 [°](M2)山本 将也, (M2)寺西 教裕, 安國 良平, Yalikun Yaxiaer, 細川 陽一郎 Div. Mat. Sci. NAIST, [°]Masaya Yamamoto, Norihiro Teranishi, Ryohei Yasukuni, Yalikun Yaxiaer, Yoichiroh Hosokawa Email: yamamoto.masaya.yl5@ms.naist.jp

最近、我々はマイクロ流路にフェムト秒レーザーを集光照射し、そこで誘導される衝撃力によ り、細胞などの微小物体を高速で操作し、分取する技術の開発に成功した[1]。本研究により、1 秒間に最高 10 万個の細胞を分取できる性能(100,000 events/s)を実証するに至っているが、高速で 細胞を操作するためには、細胞に対して大きな衝撃力を作用させる必要があり、細胞へのダメー ジが懸念されている。そこで我々は、マイクロ流路の側面にポケット構造を設け、そこで衝撃波 と応力波を発生させることにより、無駄なく効率的に細胞に衝撃力を作用させる方法を検討して いる。本研究では、このポケット構造の最適化を目的とし、有限要素法(FEM)計算により、応力波 のマイクロ流路内での伝播挙動の数値シミュレーションを行った。

マイクロ流路内で細胞に作用する応力波の成分として、衝撃波に追随して伝播する物質移動が 無視できる圧力波と、レーザー集光点で発生するキャビテーションバブルにより誘導される物質 移動を伴う圧力波を、ここでは仮定する[2]。計算では、圧力波発生を水の圧力上昇、体積波を誘 導するキャビテーションバブルの発生を高圧の空気発生としてモデル化した。FEM 計算は、汎用 流体解析ソフトである ANSYS Fluent 2020 R1 を用いて行った。

図1に幅20 µm、長さ20 µmのポケットの中心に高圧領域を発生させたときの結果を示す。集 光点で発生した高圧は時間が経過するとともに、圧力波としてポケットの反対方向に伝播し、そ の伝播速度は約500 m/s であった。ポケットから出た圧力波は速度を落としながら、ほぼ放射状に マイクロ流路の中に広がる。

図2に幅20 µm、長さ20 µmのポケットの中心にキャビテーションバブルを発生させたときの 結果を示す。キャビテーションバブルは時間が経過するとともに、ポケットの反対方向に大きく 膨張し、その膨張する速度は約4 m/s であった。ポケットから出たキャビテーションバブルの成長 は、ポケットの幅より制限されているように見える。

実験で観察される細胞の移動速度は、1 m/s のスケールであり[2]、キャビテーションバブルの成 長速度と同程度である。これはキャビテーションバブルの膨張に伴う体積波が、流路中の細胞に 作用する衝撃力の主たる要素であることを示唆している。ポケットから出たキャビテーションバ ブルの膨張形状は、ポケット形状に依存しており、細胞への体積波の作用もポケット形状に依存 すると考えられる。今後、マイクロ流路中で細胞に対して、より合理的に体積波を細胞に作用さ せるポケット形状についての検討を進める。





Fig.1 FEM simulation of pressure wave propagation. The laser is focused at the center of the pocket structure at 0 ns. Initial pressure and spot diameter of the laser focal point are 1 MPa and 5 μ m.

Fig.2 FEM simulation of cavitation bubble expansion. The bubble generation was imitated as 1 MPa high-pressure air with diameter of 5 μ m at 0 μ s.

[1] Iino et al., High-speed microparticle isolation unlimited by Poisson statistics, Lab on a Chip, 16 (2019).

[2] Hosokawa, Applications of the femtosecond laser-induced impulse to cell research, Japanese Journal of Applied Physics, 58 (2019).