

オンチップロボティクスの現状と未来

On-Chip Robotics

東北大学大学院工学研究科バイオリボティクス専攻 新井史人

Tohoku University, Fumihito Arai

1. オンチップロボティクスとは

バイオメディカル分野において、マイクロ・ナノロボット工学は先進デバイスや装置等を供給し、ブレイクスルーを果たすための重要な役割を担っている。これまで、接触型のメカニカルマニピュレータが多用され、この流れは今も続いているが、一方で、マニピュレータ自体を大幅に小型化する研究もなされている。

我々は、閉じた空間での単一細胞レベルでの各種計測・分析・クローニング・解剖操作を目的とし、細胞ソーティングなどの微細作業を行うためのマイクロ・ナノロボットを搭載したマイクロ流体チップをロボチップ (Robochip) と呼んでおり、これに関する研究をオンチップロボティクス (On-Chip Robotics) として研究を進めている。マニピュレータを小型化し、マイクロ流体チップ内部に組み込むことで、以下のような利点があげられる。(1)小型化、(2)高速駆動、(3)低外乱、(4)ディスポーザブル (コンタミの防止)、(5) μ -TAS との融合が容易 (拡張性)。ここで、閉じた空間でマニピュレータ (より一般的にはツール) を駆動するには非接触操作手法が必要で、レーザーによる光放射圧、磁力、静電気力、超音波による放射圧などが利用できる。ここではオンチップロボティクスの現状を紹介する。

2. レーザ駆動によるオンチップロボティクス

マイクロ流体チップ内での単一細胞解析は、生命科学などの分野において重要なアプローチとなっている。光

ピンセットは閉空間での非接触操作手法の一つとしてよく知られている。光ピンセットはマイクロ・ナノサイズの単一微粒子の操作に適しているが、細胞操作では直接レーザー照射は推奨できない。我々はマイクロツールを間接的に利用する方法を提案した [1]。これまでに光ピンセットによる三次元 6 自由度操作を実現し [2]、より器用な操作の実現に向けた研究を進めている。

最近ではレーザーを高速に走査して時分割で軌道制御を行う Time-Shared Scanning 法 (TSS) と、マルチビーム光ピンセットの一つである Generalized Phase Contrast 法 (GPC) を統合した操作手法 (Integrated Optical Tweezers: IOT) を提案した [3]。これまで、フォトリソグラフィにより加工したマイクロツール (図 1) [3]、自己組織化により製作したマイクロツール (図 2) [4]や、計測機能を有するゲル製の機能性マイクロツール [5]の操作を実現した。マイクロツールに加わる力を計測することも可能であり、バイラテラル制御による遠隔操作システムを構築した。

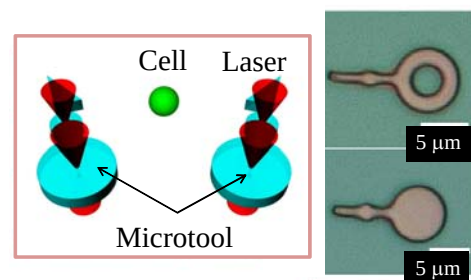
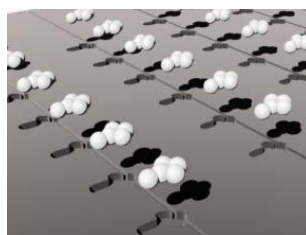
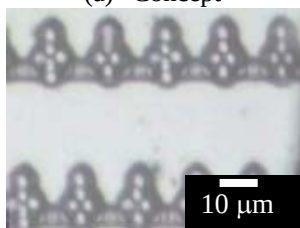


図 1. Microtools Made by Photolithography



(a) Concept



(b) Self-assembly

図 2. Fabrication of the microtools using self-assembly

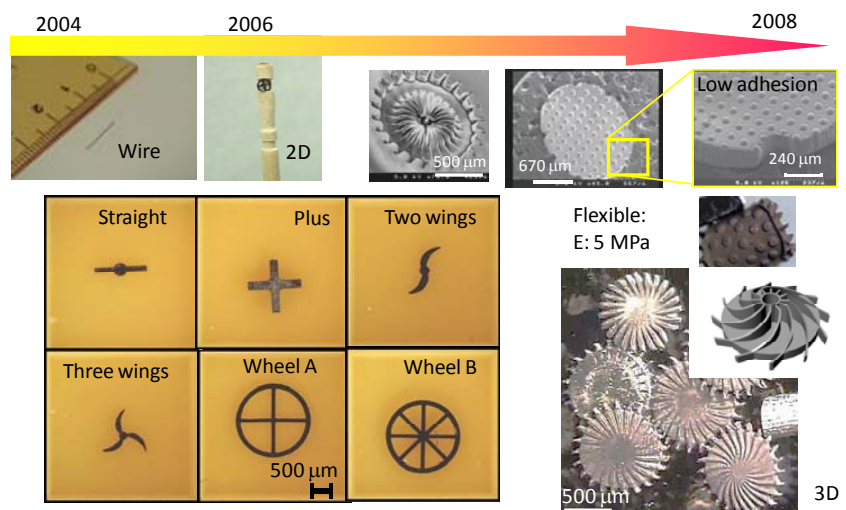


図 3. Magnetically Driven Microtools: MMT

我々は、マイクロ流体チップと IOT による操作技術を用いて、細胞の機械特性計測や膜輸送体の機能解析に利用している。また、単一ウイルスを操作し、特定細胞の完成前後の変化や細胞内変化の計測に利用している。

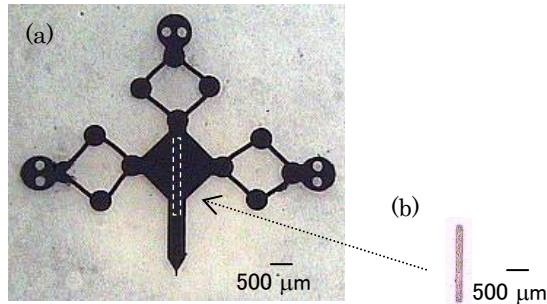


図 4. Fabricated Hybrid Type 2DOF-MMT
(a) 2DOF-MMT, (b) Ni plate fabricated by plating

表 1. Classification of driving method of MMT

分類	特徴
A. 磁場制御方式による分類	
1. 電磁石固定型	電磁石の制御により、磁極もしくは磁界を制御する。
1.1 磁極切替型	ON/OFF 的
1.2 磁場分布型	連続的
2. 電磁石移動型	電磁石の位置をアクチュエータにより制御し、磁極もしくは磁界を制御する。アクチュエータタイプ(圧電、電磁石、AD/DC モータなど)
3. 永久磁石移動型	永久磁石の位置をアクチュエータにより制御し、磁極もしくは磁界を制御する。アクチュエータタイプ(圧電、電磁石、AC/DC モータなど)
B. MMT の磁気特性による分類	
1. VR 型	高透磁率材料を利用する。
2. PM 型	永久磁石を利用する。
C. 自由度による分類	
1DOF 並進	x (y)並進
1DOF 回転	連続, ステップ
2DOF xy 並進, 並進+回転	
多自由度	xyz並進

3. 磁気駆動によるオンチップロボティクス

細胞操作では十分な駆動力と柔軟性が必要とされる場合がある。我々は使い捨てタイプのマイクロ流体チップ内で制御する磁気駆動マイクロツール (Magnetically Driven Microtool: MMT) を提案した[6] (図 3)。MMT は磁性ナノ微粒子(例えば: Fe_3O_4 ; 平均粒径 200 nm)とポリマーを混合し、フォトリソグラフィ技術により精密加工した。用いるポリマーの種類を変えることによって、ヤング率を様々な調整することができる[7]。

これまでに MMT の三次元加工 [8]や磁場集中による駆動特性の改善を行い[9],[10], オンチップデバイスとして各種応用を行った。また、最近では金属を内蔵したハイブリッドタイプの MMT を開発した (図 4) [11]。金属を内蔵することにより、局所的に剛性をあげることができる。磁場制御によって、マイクロチップ内部で前後左右に移動できるため、細胞の操作など、幅広い用途に応用できる。表 1 に MMT の駆動方法の分類を示す[10]。用途に応じて様々な利用形態が考えうる。

4. おわりに

オンチップロボティクスは、 μTAS との融合により、今後さらなる発展が期待できる。 μTAS に関する研究の多くは、小型化における流体力学的な視点にたつて有用性を議論したものがほとんどである。マニピュレータやツールそのものを小型化してマイクロ流体チップ内で操作する研究は、我々のグループが世界に先駆けて提唱してきたもので、マイクロナノ技術との融合により、今後ともさらなる発展と多様な応用が期待できる。

文献

- [1] F. Arai, et al., High speed random separation of microobject in microchip by laser manipulator and dielectrophoresis, *Proc. IEEE MEMS*, pp. 727–732, 2000.
- [2] F. Arai, et al., 3D 6DOF Manipulation of Micro-object Using Laser Trapped Microtool, *Proc. of 2006 IEEE Int'l Conf. on Robotics and Automation*, pp. 1390–1395, 2006.
- [3] F. Arai, K. Onda, et al., Micromanipulation of Microtools Made of SU-8 by Integrated Optical Tweezers, *$\mu\text{-TAS}$* , pp. 396–398, 2008.
- [4] 飯塚, 恩田, 丸山, 新井, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2009, 2A2-L09, 2009.
- [5] M. Maruyama, F. Arai, T. Fukuda, *Lab on Chip*, 8, pp. 346–351, 2008.
- [6] Y. Yamanishi, Y. C. Lin, F. Arai, Magnetically Modified PDMS Devices for Active Microfluidic Control, *$\mu\text{-TAS}$* , pp.883–885, 2007.
- [7] 木原, 山西, 佐久間, 新井, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2009, 2A2-L02, 2009.
- [8] Y. Yamanishi, S. Sakuma, Y. Kihara, F. Arai, On-chip Magnetic 3D Soft Microactuators Made by Gray-scale Lithography, *2008 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2008)*, pp. 4054–4059, 2008.
- [9] Y. Yamanishi, S. Sakuma, K. Onda, F. Arai, *2008 IEEE/RSJ Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems (IROS2008)*, pp. 570–575, 2008.
- [10] F. Arai, S. Sakuma, Y. Yamanishi and K. Onda, Powerful Actuation of Magnetized Microtool by Focused Magnetic Field on a Disposable Microfluidic Chip, *Proc. IEEE MEMS*, p.51–54, 2009.
- [11] 山西, 佐久間, 木原, 新井, 日本機械学会ロボティクスメカトロニクス講演会 2009, 2A2-L03, 2009.