

マイクロ・ナノテクノロジーに基づくシステム統合と バイオメディカル応用

新井 史人

工学研究科 バイオリボティクス専攻 ロボティクス講座
知能メカトロニクス分野 教授
E-mail: arai@imech.mech.tohoku.ac.jp



1. はじめに

メカノバイオシステムは研究現場や医療現場に先端デバイスや装置を供給する点において重要な役割を果たしている。今後、小型化と機能化のためにはマイクロ・ナノテクノロジーが必要不可欠である。本プロジェクトではマイクロ・ナノテクノロジーにより統合されたメカノバイオシステムに関する研究を行う。

ここで、メカノバイオシステムとは、(1) 分子、細胞、組織といった生体を構成する要素を力学的に扱うもの、(2) 生体要素や生命自体を模擬する人工システムや、(3) 生体要素や生命を人工デバイスに取り込んだハイブリッドシステムや生体に組み込まれる生体親和性の高い人工物をさすものとする。

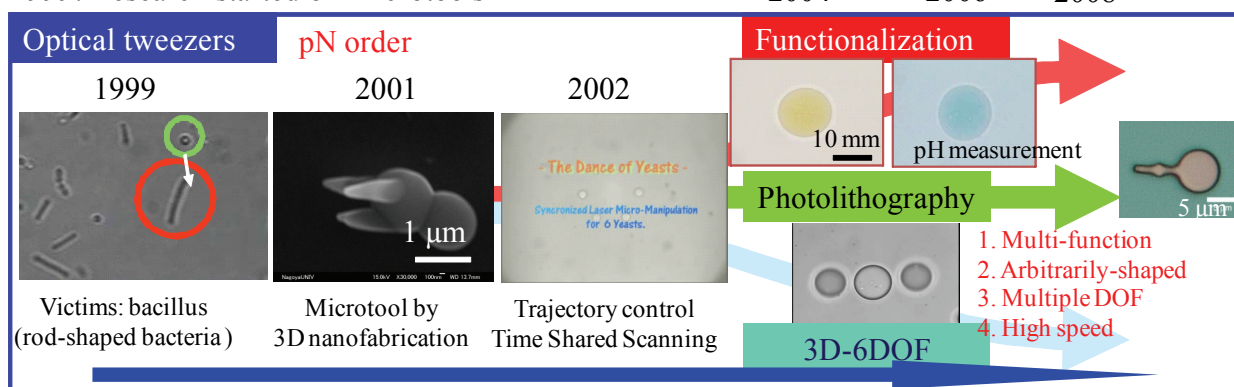
システムおよびその生体親和性を実現するために必要となるマイクロ・ナノテクノロジーはシステム統合において重要な役割を果たしている。以下では我々の最近の研究成果の一部を簡単に紹介する。

2. マイクロ・ナノ生体要素の操作

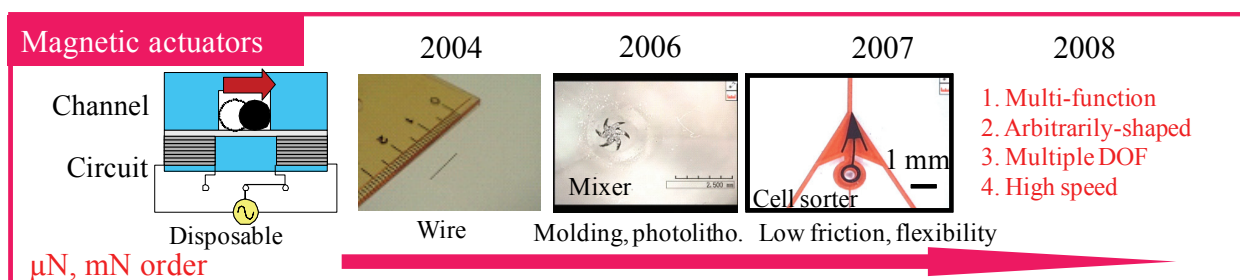
2.1 光ピンセットによるオンチップ非接触操作

オンチップ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

1999: Research started on Microtools



(a) History of microtools for optical tweezers



(b) History of microtools for electromagnetic manipulation

図 1. Transition of microtools

が、細胞操作では直接レーザ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利点を報告した [1]。図 1 (a)は光ピンセットによるマイクロツールの操作研究の経過を示す。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]、より器用な操作技術に関する研究を進めている。

2.2 磁気駆動マイクロツールによる操作

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デバイスを提案した。図 1 (b)は電磁力により非接触操作するポリマー製の磁気駆動マイクロツール (magnetically driven microtools: MMT)の研究経過を示す [3]。MMT は磁性ナノ微粒子とポリジメチルキロキサン(polydimethylsiloxane: PDMS)を混合し、フォトリソグラフィ技術により精密加工した。

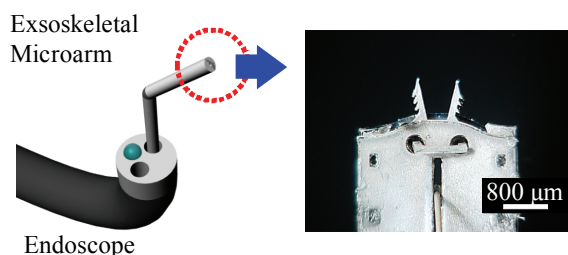


図 2. Endoscopic micro-device for biopsy

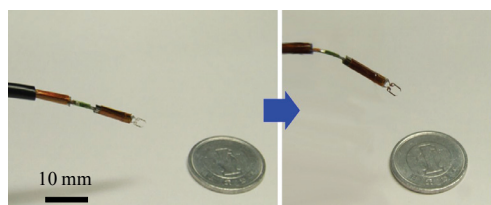


図 3. Bilateral actuation of the microarm

3. 内視鏡用の外骨格型マイクロアーム

内視鏡用のマイクロデバイスとして、図 2 に示す生検用デバイスや、内視鏡的粘膜下層剥離術により腫瘍を切除するためのツールを考案した。マイクロアームは内視鏡の先端から出して腫瘍の切除に利用する。このアームは、フォトリソグラフィと電鍍により製作した部品を積層組立プロセス (Stacked Microassembly Process: STAMP) [4]により積層して製作したため、低コストでの大量生産が可能である。このアームは外骨格構造を有し、図 3 に示すような関節駆動で精密な制御が可能となる。現在、統合制御システムを構築中である。

4. 個人用人体モデルとスキャホールド

個人データに基づく人工血管のスキャホールド (足場) を製作した。患者データからラピッドプロトタイピング、ソルトリーチングなどにより、図 4 に示す人工頸動脈を製作した。このスキャホールドは多孔性で、生分解性ポリマーからなり、内側に血管内皮細胞が接着してある。

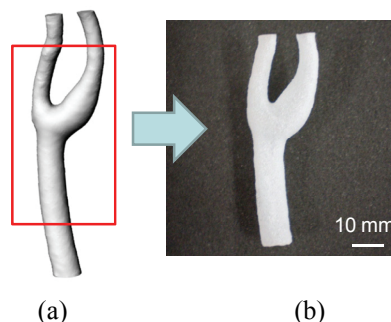


図 4. Patient-specific scaffold. (a) Reconstructed 3D structure of targeted carotid artery. (b) Macroscopic image of a PLCL scaffold.

5. おわりに

メカノバイオシステムはバイオメディカル工学にて重要な役割を果たしており、更なる改良のためにはマイクロ・ナノテクノロジーが重要となることは明白である。異分野にまたがり、境界領域での教育・研究を推進していく。

文献

- [1] F. Arai, et al., High speed random separation of microobject in microchip by laser manipulator and dielectrophoresis, *Proc. IEEE Micro Electro Mechanical Systems Conf.*, 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] Y. Yamanishi, Y. C. Lin, F. Arai, Magnetically Modified PDMS Devices for Active Microfluidic Control, *μ-TAS*, pp.883–885, 2007.
- [4] D. Azuma, K. Narumi, F. Arai, Fabrication of Articulated Microarm for Endoscopy by Stacked Microassembly Process (STAMP), *IEEE MHS '08*, Nagoya, Japan, Nov., 2008. (submitted)
- [5] T. Uchida, et al., “Development of biodegradable scaffolds based on patient-specific arterial configuration”, *J. Biotech.*, **133**, pp. 213–218, 2008.