

研究の課題名

空気圧ゴムアクチュエータ一体型ディスプレイセルソートマイクロチップの開発

岡山大学大学院自然科学研究科 助教

報告者 脇元 修一

報告日 2008 年（平成 20 年）5 月 27 日

1. 本研究の意義・特色

細胞懸濁液から必要とされる細胞を選択的に回収する技術はバイオ分野において重要な役割を担う。本研究では、空気圧ゴムアクチュエータをチップに搭載することによって、容易な大量生産と低コスト化を実現する空気圧ゴムアクチュエータ一体型セルソートマイクロチップの開発を目指す。

2. 実施した研究の具体的内容、結果

セルソートラバーマイクロチップの概念

図1はセルソートラバーマイクロチップの概念図を示している。3層構造のゴムチップであり、中間シートに流路、流路切り替え用バルブ、及び細胞をハンドリングするアクチュエータを構成し、上下シートによって密閉している。バルブにおいて種々の細胞を含む懸濁液から必要とする細胞を含む溶液を分離し、さらにゴムアクチュエータで細胞をソーティングする構造となっている。このようなゴム製のバルブとアクチュエータを流路と共に一体成型することで、安価に大量生産が可能なセルソートマイクロチップの実現が可能となる。本研究期間ではセルソートラバーマイクロチップの要素として、バルブ機能を有するラバーマイクロチップと細胞をハンドリングしソーティングするためのラバーマイクロアクチュエータに関する基礎開発をそれぞれ行った。

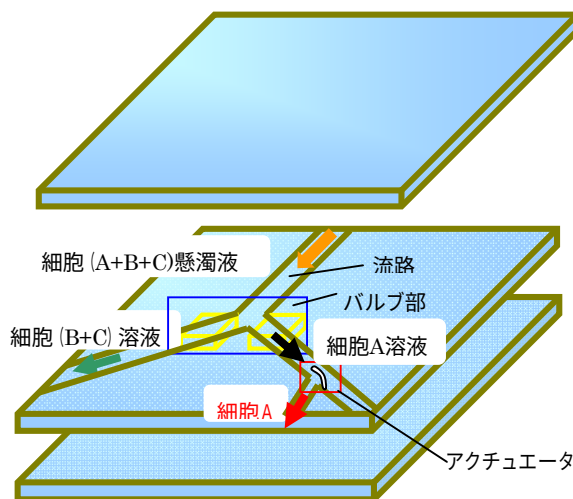


図1 セルソートラバーマイクロチップ

バルブ機能付きラバーマイクロチップ

・解析

流路の切り替えはゴム製のチャンバーを加圧し膨張させ流路を押し潰すことで行う。非線形有限要素法解析によってバルブの形状について検討した。

ゴムは高い材料非線形性を有するため、解析には材料特性としてムーニーリブリン関数を導入した。図2は本研究で使用したシリコンゴム（KE1603, Shinetsu Silicone）の引っ張り試験の結果とムーニーリブリン関数による近似曲線を示す。破断歪み付近では若干の誤差が生じているものの破断領域付近での使用は想定しておらず、また、他の領域では両曲線は高い整合性を示していることから本近似関数が有効であることがわかる。

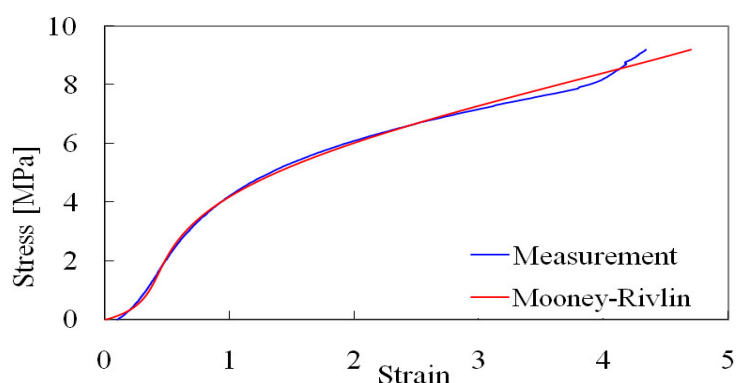


図2 シリコンゴムの引っ張り試験結果と近似曲線

図3(a)、(b)は解析モデルの例を示す。

Model Aは直方体状のチャンバーであり、Model Bは流路形状に沿った形状のチャンバーとなっている。両モデルともチャンバーと流路の最小ゴム膜厚、及び流路の高さは $100\mu\text{m}$ としている。図4はチャンバーに 100kPa を印加した際の解析を示しており、Model Aでは流路に隙間が生じているのに対して、Model Bでは完全に流路を閉じていることが分かる。また、図5は流路上部のエレメントの変位量を示しており、 $100\mu\text{m}$ の変位量を実現することと流路を閉じることが等価となる。Model Aは 100kPa 印加においても流路を閉じることが不可能であるのに対してModel Bでは 40kPa で変位量が $100\mu\text{m}$ に達し流路を閉じることが可能であった。

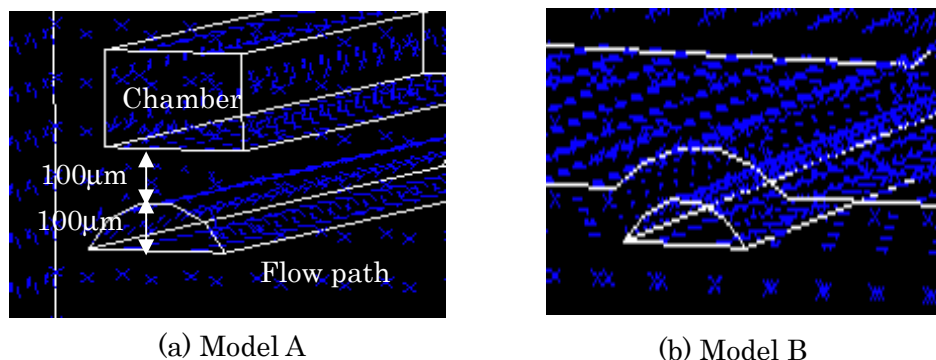


図3 解析に用いたモデルの形状

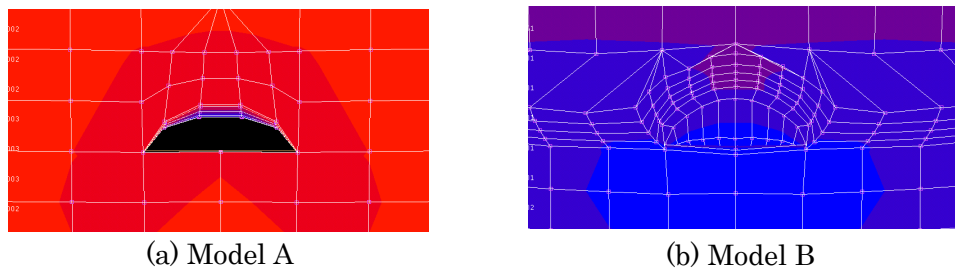


図 4 100kPa 印加時における流路断面

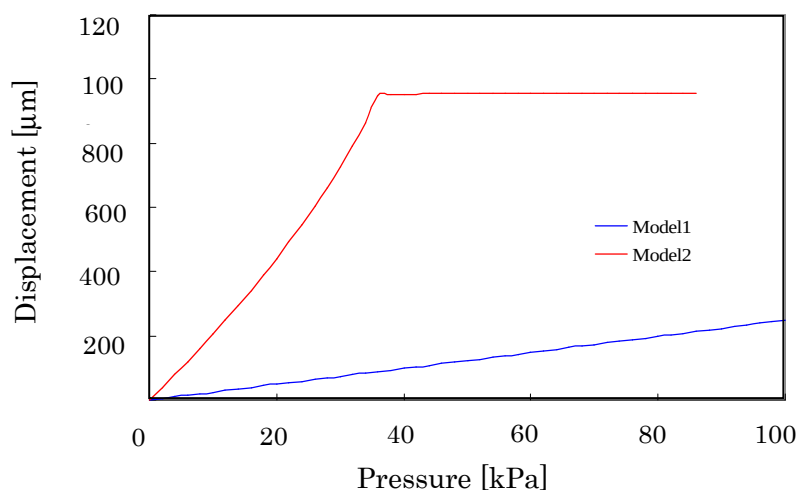


図 5 非線形有限要素法による解析結果

・製作と実験

非線形有限要素法の解析結果から、Model B の形状によってバルブ機能を有するマイクロチップの製作を行った。T 字形状に分岐した流路と 2 つのチャンバーを有するシートを中間層に配置し、上下シートによってシーリングを行っている。なお、上シートはチャンバーへの空気供給流路を有している。これらのシートはモールドイングによってシリコンゴムで製作している。また、エキシマ光照射による表面活性化技術を用いて各シートを接着することで強い接着強度を実現し、シール性を高めている。なお、1 つのチャンバーは $3.0\text{mm} \times 3.0\text{mm} \times 1.4\text{mm}$ 、流路幅は $500\mu\text{m}$ であり、チップ全体では $20.0\text{mm} \times 20.0\text{mm} \times 4.5\text{mm}$ となっている。

製作したセルソートシートの評価実験を行った。シリンジポンプにより流路入り口に食紅で赤く着色した水を送液しながら加圧する空気室を交互に切り替えることで流路の開閉動作の確認を行った。図 6 に送液実験の結果を示す。図 6(a)は両チャンバーとも無加圧のとき、図 6(b)は左側のチャンバーを加圧したときをそれぞれ示す。チャンバーには 50kPa を印加しており、加圧した空気室側の流路の開閉動作が行えていることが確認できた。

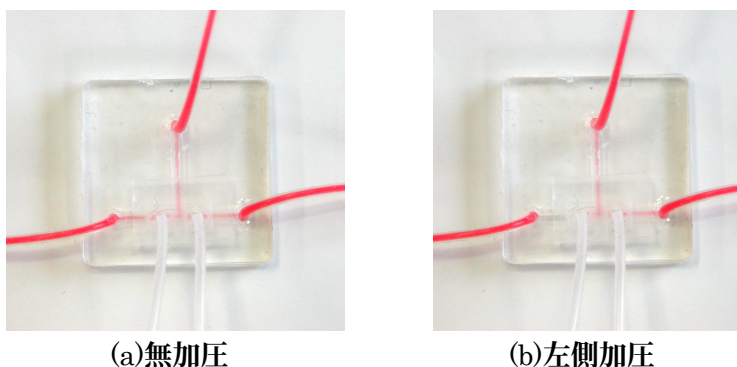


図6 バルブの駆動実験

ラバーアクチュエータ

本研究メンバーの一人はこれまでに FMA(Flexible microactuator) と呼ばれる湾曲型の空圧駆動アクチュエータの開発を行っている⁽¹⁾。FMA では空圧印加時のゴムチャンバーの径方向の膨張を繊維強化によって抑制することで湾曲動作を実現しているが、チップに搭載可能な大きさまで小型化を目指す際には繊維をゴム構造体に複合することが極めて困難となる。本研究では空気圧印加時におけるチャンバーの膨張方向の異方性を形状によって実現することとした。本研究期間では非線形有限要素法解析による最適な形状の導出とプロトタイプとして直径 2mm のアクチュエータの製作を行った。

・解析

複数のアクチュエータ形状について解析を行った結果、蛇腹形状を有するゴム構造体において大きな湾曲動作が実現可能であった。図 7 は解析結果を示す。圧力の印加により蛇腹構造部は容易に伸長するのに対して対面する板部の伸長量は僅かである。このため、アクチュエータは湾曲動作を実現することとなる。

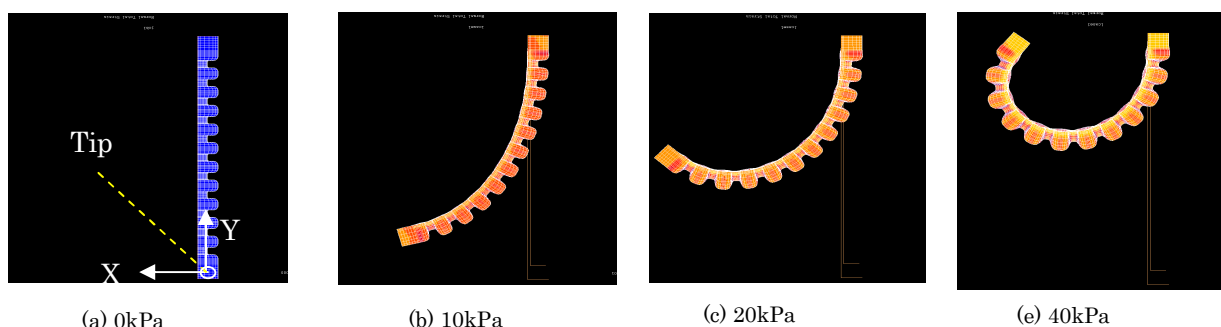


図7 ラバーアクチュエータ解析結果

・製作と実験

ラバーアクチュエータは蛇腹部と蛇腹部に対面する板部をそれぞれモールドイングにより製作し、2つをエキシマ光照射によって接合することで実現した。図 8 は製作したアクチュエータの動作を示す。内部チャンバーに空気圧を印加することによって、アクチュエータは大きな湾曲動作を実現していることがわかる。また、図 9 はアクチュエータ先端の軌

跡を示しており、実験結果、解析結果とも同様の曲線を描いている。しかしながら、圧力に対する変位量の絶対量には誤差が見られており、これは、アクチュエータ製作時における若干の形状誤差に起因するものと考えられる。

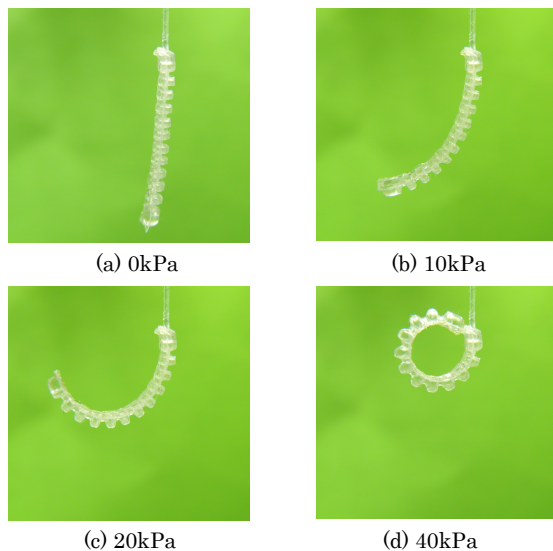


図8 ラバーアクチュエータの動作実験

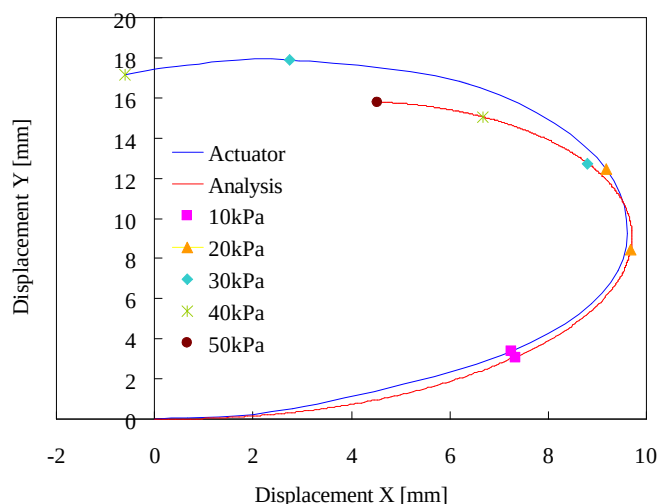


図9 実験結果と解析結果の比較

まとめ

本研究では、セルソートマイクロラバーチップに適応可能なバルブ機能付きラバーマイクロチップと大湾曲動作ラバーアクチュエータの開発を行った。両デバイスともに非線形有限要素法による解析を行うことによって、効率的な動作が可能な形状の導出に成功している。また、機械加工による金型成型とシリコンゴムのモールディング、及びエキシマ光による表面改質によるゴム接合技術を用いることで、微細構造を有するゴム構造体の製作と接合を実現した。

バルブ機能付きマイクロチップは空気圧をチャンバーに印加することによりゴム構造体を膨張させて流路を塞ぐ構造となっており、基礎実験を行った結果、加圧した流路において流体を遮断することが確認された。

ラバーアクチュエータでは空気圧の印加によって大きな湾曲動作が実現できており、また、その変形状態は解析結果とほぼ一致することを確認した。

今後、アクチュエータの小型化とチップとアクチュエータの一体成型について研究を行う予定である。

- (1) K. Suzumori, S. Iikura, and H. Tanaka, "Applying a Flexible Microactuator to Robotic Mechanisms", *IEEE Control Systems*, pp. 21-27, 1992

3. 本研究を実施したグループに属するおもな研究者の氏名・役職名

脇元 修一 ・助教
鈴森 康一 ・教授
小倉 慶子 ・博士前期課程

4. 研究実施時期

2007 年（平成 19 年）3 月 31 日から 2008 年（平成 20 年）7 月 30 日

5. 本研究に関連して発表した主な論文等

脇元修一，小倉慶子，鈴森康一，西岡靖貴；“大湾曲ラバーアクチュエータのマイクロ化に関する研究（第 1 報 蛇腹構造の最適化とマイクロラバーモールドプロセスの確立）”，第 9 回（社）計測自動制御学会 システムインテグレーション部門 講演会，pp. 1209-1210, 2008.

Keiko Ogura, Shuichi Wakimoto, Koichi Suzumori, Yasutaka Nishioka; “Micro Pneumatic Curling Actuator -Nematode Actuator-”, Proceedings of the 2008 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, MoC2.1, pp. 462-467, 2009.

Shuichi Wakimoto, Keiko Ogura, Koichi Suzumori, Yasutaka Nishioka; “Miniature Soft Hand with Curling Rubber Pneumatic Actuators”, 2009 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2009), pp. 556-561, 2009.

6. 内外における関連研究の状況

バルブ機能を有するラバーチップの開発は幾つかの国内外の機関で行われているが、本研究はゴム製アクチュエータとバルブを流路と共に一体成型するという特徴を持つ。また、非線形有限要素法を基盤とすることで効率的な開発プロセスを確立している。

7. 今後の発展に対する希望

本年度は非線形有限要素法解析を用いることでバルブ機能を有するラバーマイクロチップの製作と蛇腹構造ラバーアクチュエータの設計と試作を行い、各々の基本動作の確認に成功した。しかしながら、ラバーアクチュエータには更なる小型が必須である。今後はラバーアクチュエータの小型化に焦点を当て研究を行い、その後、チップとの一体成型を目指す。