

科学研究費助成事業（学術研究助成基金助成金）研究成果報告書

平成25年5月31日現在

機関番号：12608
 研究種目：若手研究(B)
 研究期間：2011～2012
 課題番号：23760222
 研究課題名（和文）マルチニードル型キャピラリを用いた液滴の自在変形によるマイクロマニピュレーション
 研究課題名（英文）Micromanipulation by flexible transformation of a droplet using the multi-needle-type capillary
 研究代表者
 平田 慎之介 (Hirata Sinnosuke)
 東京工業大学・大学院理工学研究科・助教
 研究者番号：80550970

研究成果の概要（和文）：本研究では、生体細胞・組織や MEMS/NEMS デバイスといった大きさが μm オーダーの対象物を、液体の表面張力を利用して多自由度で操作することができるマルチニードル型キャピラリの開発およびその性能評価を目的としている。まずマイクロリニアステッピングモータを用いて円柱状に配置されたタングステン棒を上下させるマルチニードル型キャピラリを試作した。キャピラリ端面に形成させる液滴の表面張力による微小物体の把持、傾斜動作、回転動作を行い、マイクロマニピュレータとしての動作検証、評価を行った。また表面張力による把持力を制御するため、ニードルを傾斜させたマルチニードル型キャピラリを試作した。キャピラリ端面の面積を変化させることで、表面張力による把持力が変化することを確認した。そしてマルチニードル型キャピラリによるアセンブリ作業システムを構築し、微小な電子部品を再配置し、組み立てを行うアセンブリ作業を実現した。

研究成果の概要（英文）：Recently, high DOF micromanipulation methods for biological cells and tissues or MEMS/NEMS devices, whose sizes are smaller than a sub-millimeter order, are required. In this project, the multi-needle-type capillary for high DOF micromanipulation by surface tension is developed and evaluated. First, the multi-needle-type capillary was fabricated using cylindrically-arranged tungsten needles, which are moved up and down by micro linear stepping motors. A small chip register could be held, tilted and rotated by surface tension of the droplet, which was formed on the capillary tip. Next, altered multi-needle-type capillary, whose needles are conically arranged, was fabricated to control capillary force by surface tension. Variation of capillary forces by resizing the capillary tip could be verified in the experiments. Then, the assembly operation system using the multi-needle-type capillary was constructed. small chip registers could be rearranged and assembled in this system.

交付決定額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2011年度	2,400,000	720,000	3,120,000
2012年度	1,100,000	330,000	1,430,000
交付決定額	3,500,000	1,050,000	4,550,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目： 知能機械学・機械システム

キーワード： マイクロマニピュレータ，表面張力，多自由度操作，微少液滴

1. 研究開始当初の背景
- | | |
|---|--|
| <p>近年、生体細胞・組織や MEMS/NEMS デバイスなどを対象とした多自由度の微細操</p> | <p>作を可能にするマイクロマニピュレーション手法への要求が高まっている。物体の体積に比例した力である重力、慣性力などが支配</p> |
|---|--|

的な通常環境下とは異なり，対象物の大きさが μm オーダーである微細環境下では，物体の表面積に比例した力である分子間力，表面張力，静電気力などが支配的に作用する．このような環境下における対象物の多自由度操作を目的として，液体の表面張力を利用したマニピュレーション手法，カーボンナノチューブ等を用いて直接対象物を把持するマニピュレーション手法等が報告されている．

表面張力によるマニピュレーション手法では，キャピラリなどの先端に形成された液滴の表面張力によって対象物を把持し，移動，操作などを行う．この手法はキャピラリ先端と対象物との間に物理的な接触が無いため，対象物を傷つけずに操作できるという利点があるが，液体を送るチューブや電気配線等の影響で，対象物の可動範囲や方向が制限されてしまう．キャピラリ先端の液滴の形状を自在に変形させることができれば，対象物の多自由度操作が期待できる．通常，液滴に外力等を加えて，その形状を変形させることは困難であるが，キャピラリ先端の端面形状が斜めであった場合，液滴の形状も同様に斜めとなると予想される．そこで，複数本の極細ニードルを円柱状に配置し，仮想的な側壁とすることで，その端面形状を自在に変化させることができるマルチニードル型キャピラリの着想に至った．このマルチニードル型キャピラリでは極細ニードルをそれぞれ上下させることで，キャピラリ先端の端面形状及び先端に形成された液滴の形状を自在に変形させることができる．そのため，従来の表面張力によるマニピュレーション手法では困難であった対象物の傾斜・回転などを複合的に行う多自由度操作が可能となる．

2. 研究の目的

本研究では，マルチニードル型キャピラリの試作，静的・動的な性能評価，その応用に関して研究を行う．タングステン棒，様々なリニアアクチュエータを用いてマルチニードル型キャピラリを試作する．試作したキャピラリの端面形状および液滴の形状を変形させることで，液滴によって把持させた対象物の傾斜・回転動作を行う．この傾斜・回転動作における対象物の静的・動的な挙動を実験的・解析的に計測することで，マルチニードル型キャピラリの把持性能を評価する．

表面張力によるマニピュレーションにおいて，対象物を把持するピック動作は比較的容易に行うことができる．しかしながら，把持された対象物を開放するプレース動作は非常に困難である．そこで対象物のピックアンドプレースを実現するため，表面張力による把持力を制御することができるマルチニードル型キャピラリを検討する．ニードルを円柱状ではなく円錐状に配置することで，ニードルの上下動でキャピラリ端面の面積を変化させることができる．そこでニードルおよびその直動機構をキャピラリの中心に傾斜させたマルチニードル型キャピラリについて検討を行う．

さらに微小な電子部品の再配置や組み立てを行うアセンブリ作業システムを実現し，マニピュレーションツールとしてのマルチニードル型キャピラリの有用性を示す．

3. 研究の方法

(1) リニアアクチュエータを用いたマルチニードル型キャピラリの試作・動作検証

マルチニードル型キャピラリは，円柱状に配置されたタングステン棒を上下させることで，その端面形状を変化させる．そこで超音波リニアアクチュエータ，マイクロリニアステッピングモータを用いてタングステン棒を直動させるマルチニードル型キャピラリの試作を行う．またそれぞれのキャピラリを用いて微小物体の把持，傾斜動作，回転動作を行い，マイクロマニピュレータとしての動作検証，性能評価を行う．

(2) マルチニードル型キャピラリによる把持物体の開放

通常では困難な表面張力による把持力制御を目的とし，キャピラリ端面の面積を変化させることができるマルチニードル型キャピラリの検討を行う．円錐状に配置されたニードルの上下動によりキャピラリ端面の面積を変化させることができる．キャピラリ端面の面積が変化すると，生成される液滴の大きさも同様に変化するため，表面張力による把持力の制御が期待できる．そこでニードルおよびその直動機構をキャピラリの軸方向へ傾斜させたマルチニードル型キャピラリを試作する．異なる端面面積における微小物体の把持，開放実験から把持力の評価を行う．また同様に傾斜動作，回転動作を行い，のマイクロマニピュレータとしての動作検証，性能評価を行う．

(3) マルチニードル型キャピラリによるアセンブリ作業システム

マルチニードル型キャピラリによるマニピュレーションを行い，チップ抵抗のピックアンドプレース，移動，回転など行うシステムを構築する．実際にアセンブリ作業を行い，キャピラリ端面の変化による把持力制御，傾斜動作，回転動作の有用性を検証する．

4. 研究成果

(1) リニアアクチュエータを用いたマルチニードル型キャピラリの試作・動作検証

まず直径 $300\ \mu\text{m}$ のタングステン棒 8 本とそれらを直動させる超音波リニアアクチュ

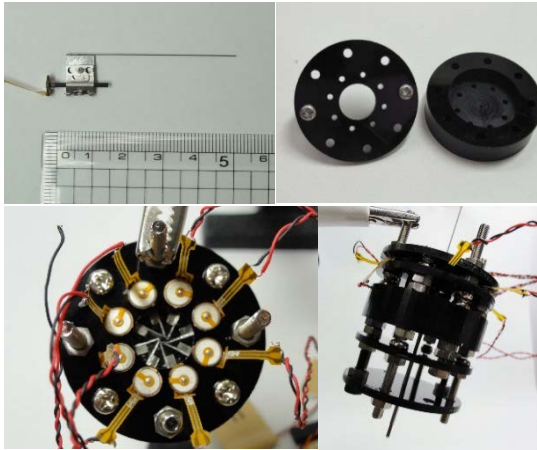


図 1 タングステン棒の直動機構，固定用ケースおよび試作したマルチニードル型キャピラリ

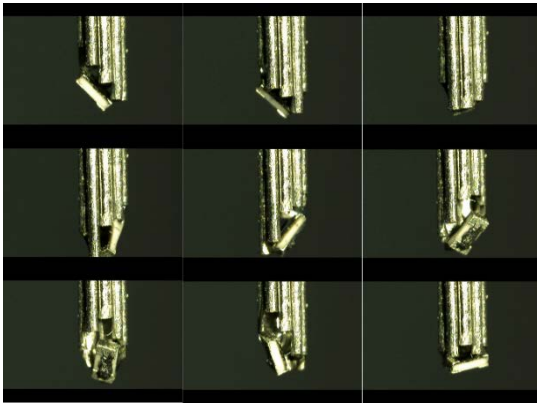


図 2 超音波リニアアクチュエータを使用したマルチニードル型キャピラリによる 1005 型チップ抵抗の回転動作

エータ (テクノハンズ・TULA50) を用いて，図 1 のようなマルチニードル型キャピラリの試作した．キャピラリ先端の外形は約 1.5 mm であった．1005 型チップ抵抗 (1.0 mm×0.5 mm) を用いた動作検証を行い，図 2 のように傾斜動作，傾斜させた状態での回転動作を実現した．しかしながら，ニードル同士の干渉やアクチュエータの位置決め精度の影響で傾斜・回転角度の再現性が低く，把持物体の姿勢制御は困難であった．

そこでタングステン棒 6 本とそれらを直動せるマイクロリニアステッピングモータ (アイカムス・ラボ・MUED01) を用いて図 3 のようなマルチニードル型キャピラリの試作した．ステッピングモータ型のアクチュエータを用いることで，オープンループでの高精度な位置決めが可能となった．よって図 4 のように液滴で把持した 1005 型チップ抵抗の鉛直軸から 60 度の傾斜動作，鉛直軸を中心とした回転動作が可能となった．しかしながら，液滴の量によって把持物体の姿勢が変化してしまうため，一定量の液滴を安定して保持できる機能を検討する必要がある．

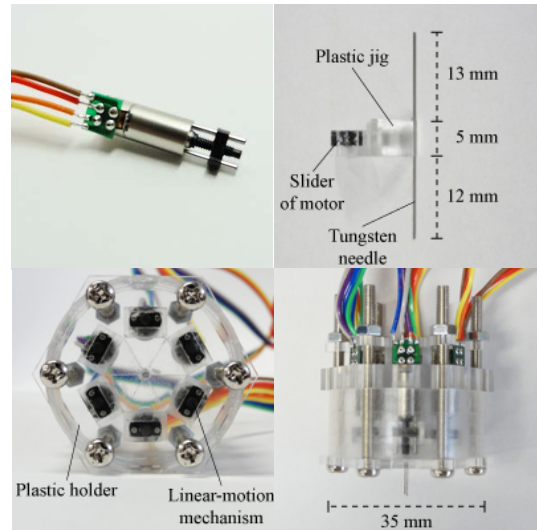


図 3 マイクロリニアステッピングモータ，タングステン棒固定用ジグおよび試作したマルチニードル型キャピラリ

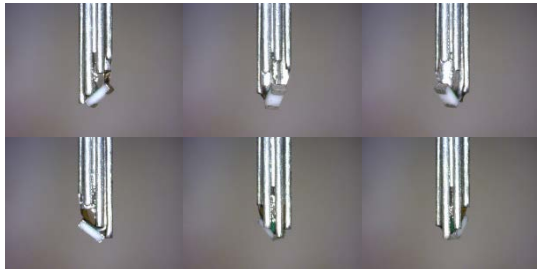


図 4 マイクロリニアステッピングモータを使用したマルチニードル型キャピラリによる 1005 型チップ抵抗の回転動作

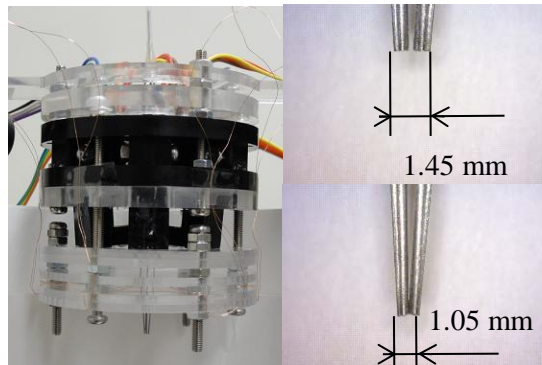


図 5 ニードルを傾斜させたマルチニードル型キャピラリと変化する端面形状

(2) マルチニードル型キャピラリによる把持物体の開放

図 5 のようにニードルおよびその直動機構をキャピラリの中心軸に対して 5 度傾斜させたマルチニードル型キャピラリを試作した．キャピラリの先端径はニードルの上下動によって 1.45 mm から 1.05 mm まで変化させることができる．試作したマルチニードル型キャピラリを用いて把持物体の開放実験を行った．開放されたチップ抵抗および液滴の質量から見積もった把持力は，キャピラリ径が

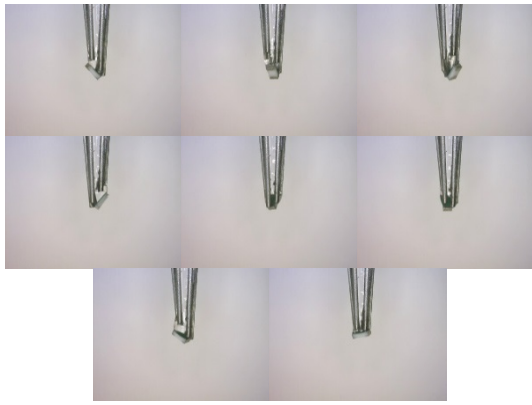


図 6 ニードルを傾斜させたマルチニードル型キャピラリによるチップ抵抗の回転動作

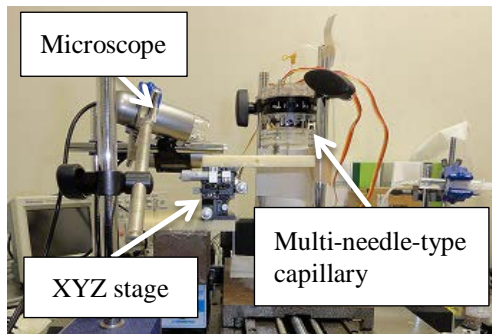


図 7 構築したアセンブリ作業システム

1.45 mm の場合に平均 0.105 mN, 1.05 mm の場合に平均 0.086 mN となり, 表面張力による把持力を変化させることに成功した. また図 6 のように液滴で把持した 1005 型チップ抵抗の傾斜動作, 回転動作も実現した.

(3) マルチニードル型キャピラリによるアセンブリ作業システム

図 7 のようにマルチニードル型キャピラリ, デジタルマイクロスコープ, XYZ 三軸ステージ, それらの制御機器で構成されるアセンブリ作業システムを構築した. 図 8 のように 1005 型チップ抵抗 2 個と, 1608 型チップ抵抗 1 個を移動, 配置して橋の構築するアセンブリ作業を行った. 1005 型チップ抵抗は, キャピラリ径が 1.05 mm の状態で把持し, 配置先にあらかじめ塗布されているシリコンオイルの表面張力によって開放した. 1608 型チップ抵抗は, キャピラリ径が 1.45 mm の状態で把持し, 180 度回転させて 1005 型チップ抵抗 2 個の上に開放した. こちらは 1005 型チップ抵抗 2 個の上部に残留した液滴の表面張力によって開放した. 今回は把持力制御による開放では, 十分な位置決め精度が得られなかったため, 配置先の表面張力によって把持物体の開放を行った. 今後はキャピラリ径の変化量を増やすことで, 把持力の制御範囲を拡大する必要がある.

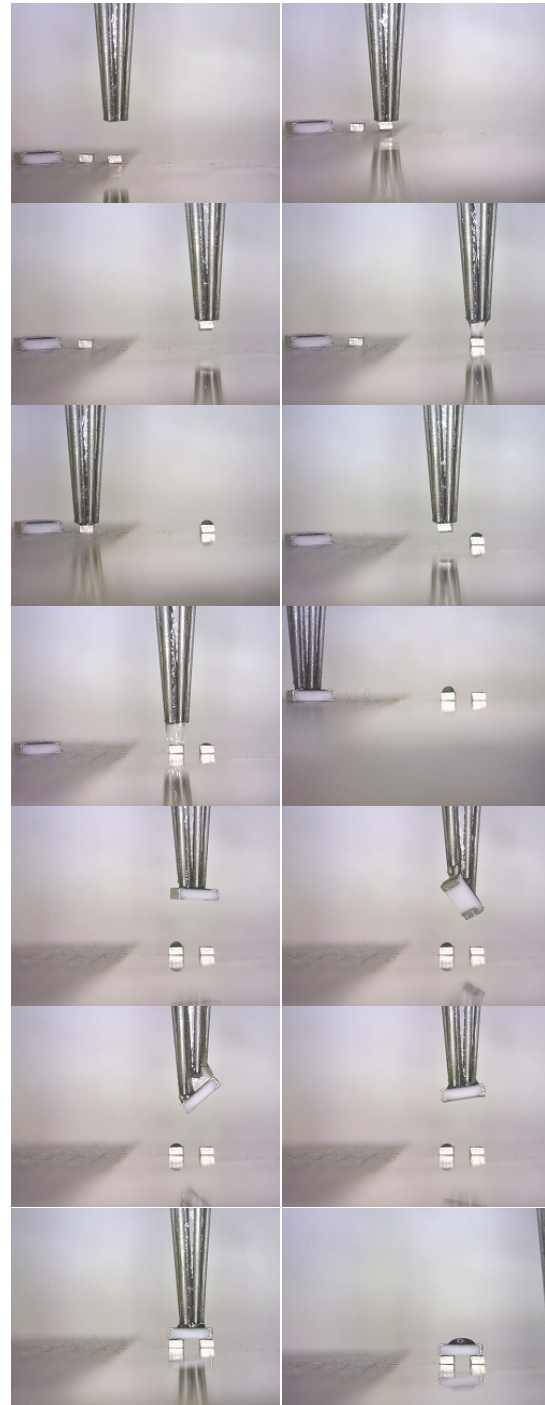


図 8 1005 型チップ抵抗 2 個と, 1608 型チップ抵抗 1 個を移動, 配置して橋の構築するアセンブリ作業

5. 主な発表論文等

(研究代表者, 研究分担者及び連携研究者には下線)

〔学会発表〕(計 5 件)

- ① Takuya Shigeta, Hisayuki Aoyama, Shinnosuke Hirata,
 “Development of multi-needle-type capillary; High DOF micromanipulator using surface tension,” The 2012 IEEE

International Conference on Mechatronics and Automation, pp. 819-824, Wangjiang Hotel Chengdu, Chengdu, China, Aug. 5-8, 2012.

- ② Shinnosuke Hirata, Takuya Shigeta, Hisayuki Aoyama, “High DOF Micromanipulation Using the Multi-needle-type Capillary -Resizable Capillary Tip for Pick-and-place Operation-,” ACTUATOR 12 International Conference and Exhibition on New Actuators and Drive Systems, pp. 587-590, MESSE BREMEN, Bremen, Germany, June 18-20, 2012.
- ③ 平田慎之介, 重田琢也, 青山尚之, “マルチニードル型キャピラリを用いた表面張力によるマイクロマニピュレーション -円錐状に配置したニードルによるキャピラリ先端の極細化-,” 2012 年度精密工学会春季大会 学術講演会講演論文集, pp. 685-686, 首都大学東京, 東京, Mar. 14-16, 2012.
- ④ Shinnosuke Hirata, Takuya Shigeta, Hisayuki Aoyama, “Basic study of high DOF micro-manipulation by surface tension

using the multi-needle-type capillary,” ROBIO 2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics, pp. 739-744, Movenpick Resort and Spa Karon Beach, Phuket, Thai, Dec. 7-11, 2011.

- ⑤ 平田慎之介, 重田琢也, 青山尚之, “マルチニードル型キャピラリを用いた表面張力によるマイクロマニピュレーション -ニードル直動機構の自動化と対象姿勢の静的制御-,” 2011 年度精密工学会秋季大会学術講演会” pp. 575-576, 金沢大学, 金沢, Sep. 20-22, 2011.

[その他]

ホームページ等

<http://www.aolab.mce.uec.ac.jp>,

http://www.us.ctrl.titech.ac.jp/hirata/index_j.html

6. 研究組織

(1) 研究代表者

平田 慎之介 (Hirata Sinnosuke)

東京工業大学・大学院理工学研究科・助教

研究者番号：80550970