

表面張力を利用したマイクロアセンブリに関する研究*

(第1報, 吸着の原理と基礎実験)

高木 浩^{*1}, 水野 毅^{*2}
高崎 正也^{*3}, 石野 裕二^{*4}

Basic Study on Microassembly Using Surface Tension

(1st Report, Principle and Basic Experiments)

Hiroshi TAKAGI^{*5}, Takeshi MIZUNO,
Masaya TAKASAKI and Yuji ISHINO

^{*5} Department of Mechanical Engineering, Saitama University,
255 Shimo-Okubo, Sakura-ku, Saitama-shi, Saitama, 338-8570 Japan

This paper proposes a new method of handling microchips. The process of handling is as follow. First, a water drop is made at the head of the nozzle. Second, the nozzle downs so that the water drop touches the chip. Third, the nozzle is lifted up. Then the chip comes to the bottom of the water drop automatically due to the gravitational force, which is called self-centering effect. Then the water drop is suctioned for the chip to be held at the head of the nozzle. This method has an advantage of catching up and positioning a chip displaced from the center of the nozzle due to the self-centering effect. Fundamental performances of this method are studied experimentally.

Key Words: Micro Assembly, Self-Centering, Mechatronics, Actuator, Positioning, Surface Tension, Assembly

1 緒論

我々の身の回りには多くの電子機器が存在する。近年は電子機器の高性能・多機能化と共に小型化の傾向が著しい。これに伴い機器内部の電子回路や電子部品の小型化が進んでいる。しかし電子機器の製造現場では、電子部品の小型化が進むにつれ、産業機械による電子部品の取り扱いが困難になってきている。

今日、電子部品のアセンブリの各工程においてさまざまな研究がなされている⁽¹⁾。また、表面張力に関しては、その基本的な性質については詳しく調べられている⁽²⁾。近年、表面張力を積極的に利用しようとするさまざまな試みがなされている。気体と液体を分離するマイクロ気液分離機構⁽³⁾、液滴によりロータを支持・回転させるマイクロモータ⁽⁴⁾、水の浸透力を潤滑液の供給に利用した軸受⁽⁵⁾などがある。電子部品の組立てにおいても、電子部品の表面にぬれ性の高い部分と低い部分をもたせ、液滴を用いぬれ性の低い部分同士を引き合わせる事でセルフアライメントする方法⁽⁶⁾がある。また、液滴を微小球状物体のマニピュレーションに利用する

ことも提案されている⁽⁷⁾。本研究では電子部品のハンドリングに、従来の方法である真空吸着と液滴の表面張力を組み合わせて用いる。

現在、電子部品のハンドリングは真空吸着などの方法が用いられているが、近年の機械の位置決め技術に対し電子部品の小型化が先行しており、部品を正確に捉える技術が求められている。そこで本研究は、現在の実装機械の精度でマイクロオーダーの電子部品を取り扱うことが可能な装置の開発を目的とし、液滴の表面張力を利用したマイクロアセンブリを提案し、その基本特性を取得した。

2 表面張力を利用した吸着の提案

2.1 真空吸着 今日、一般に微小電子部品を基板へ実装するときは真空吸着が利用されている。その流れを図1を用いて説明する。

- (a) ノズル先端を部品に接触させ、ノズル内部に真空を発生させ、電子部品を吸着する

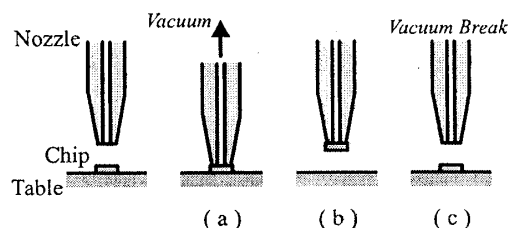


Fig. 1 Process of conventional assembly.

* 原稿受付 2007年10月22日。

^{*1} 学生員, 埼玉大学大学院理工学研究科(☎ 338-8570 さいたま市桜区下大久保 255)。

^{*2} 正員, フェロー, 埼玉大学大学院理工学研究科。

^{*3} 正員, 埼玉大学大学院理工学研究科。

^{*4} 埼玉大学大学院理工学研究科。

E-mail: mizar@mech.saitama-u.ac.jp

- (b) 基板上の所定の位置まで搬送する
 (c) 真空を破壊し、部品をノズルから離間する

一般に機械の位置決め精度には限界があり、そのためノズルと部品、この二つの位置関係には必ず微小なずれが生じる。このずれが部品の寸法に対し十分に微小であれば問題とならない。しかし、部品の小型化が進むにつれ、相対的にこのずれの影響は大きくなり、ノズルが部品を正確に捉えられないという問題が生じている。

2.2 表面張力を利用した吸着 従来の方法では、ずれを伴った際にノズル先端が正確に部品を捉えないため真空が漏れ、そのため真空吸着を行うことはできない。

本研究で提案する表面張力を利用した部品の吸着方法を図2に示す。その手順は以下のようである。

- (a) 予めノズル内部に液体を溜めておく
 (b) ノズル内部の圧力を高め、ノズル先端に液滴を形成する
 (c) 形成した液滴表面に電子部品を付着される
 (d) 部品を設置面より持ち上げる
 (e) 従来と同様、ノズル内部を真空をにして、真空吸着を行う

この方法では、(d)の工程において、部品は自重により液滴の真下まで滑り、部品はノズルの真下で水平に保持され、自動的にノズルの軸に部品の重心位置が一致する。以下、この効果をセルフセンタリング効果と呼ぶ。そのためこの方法では、ノズルと部品との位置関係に多少ずれが存在したとしても、セルフセンタリング効果を得ることにより、十分に吸着が可能であると考えられる。

3 実験装置

本実験においてアセンブリの対象とした表面実装部品 (Surface Mount Device : SMD) の概略図を図3に示す。使用したチップは実際に実装部品として用いられている0402と呼ばれるチップ抵抗で、その外形寸法は幅 $w=0.4$ mm, 高さ $h=0.1$ mm, 奥行き $d=0.2$ mm, 電極部長さ $e=0.1$ mmである。また、図中のようにチ

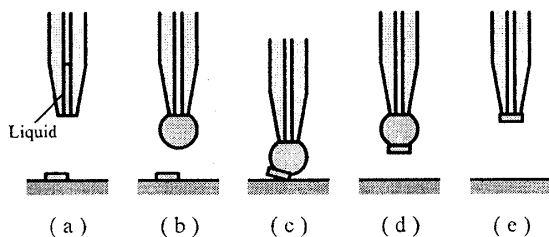


Fig. 2 Handling a chip using surface tension.

ップに対し X, Y, Z 軸を定義する。また、吸着に用いる液体としては、チップや組上がった製品に悪影響を与えないように超純水を用いた。

図4にノズルホルダとノズルを示す。また、本研究にて用いた実験構成を図5に示す。電子部品は装置上のステージに配置され、ステージにより水平方向と鉛直方向の位置調整が可能となっている。ノズルは装置上部のスライダに取り付けられており、鉛直方向の粗調整が可能となっている。また、エジェクタはノズルホルダを通しノズル内部に繋がっており、ノズル内部の圧力を制御している。また実験の様子を観察するため、ノズルとチップの相対位置の測定や液滴の径を測定するために顕微鏡を用いる。

4 吸着実験

4.1 セルフセンタリング効果の確認 図6に実際に吸着を行った様子を示す。Step 1の状態が初期状態である。Step 2は、ノズル先端に液滴を形成している。この段階では、ノズルとチップの位置関係にずれがあ

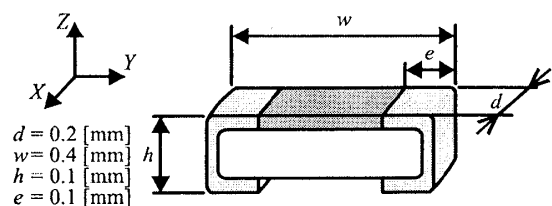


Fig. 3 Surface mount device.

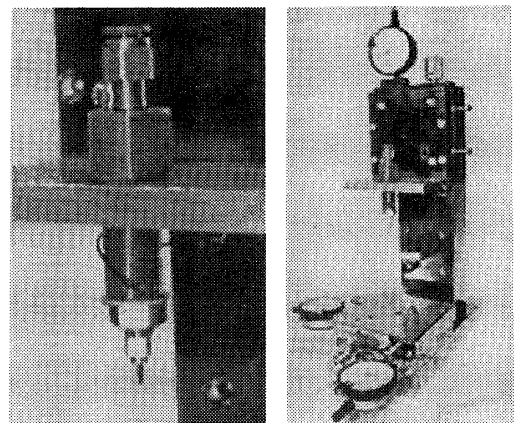


Fig. 4 Experimental equipment.

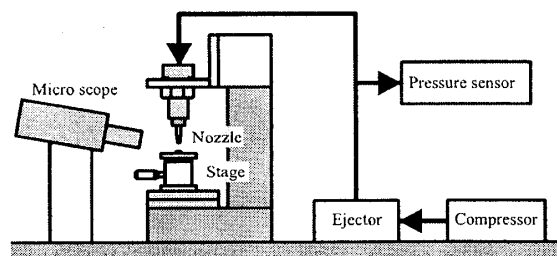


Fig. 5 Experimental setup.

ることが確認できる。Step 3 は、液滴にチップを付着させた状態である。チップは液滴表面をつたい、セルフセンタリングしていることが確認できる。Step 4 では、ノズル内部の圧力を下げ、チップをノズル先端に吸着している。

この結果から、水平方向のずれが生じた際に、セルフセンタリング効果が発生すること、またその効果によりずれを伴った状態からでも吸着が可能であることが確認できる。

4.2 水平方向のずれによる影響 表面張力を利用したアセンブリにおいて、チップの位置に対するノズルの位置のずれが吸着に与える影響を測定した。図7に各パラメータの定義を示す。ノズル先端に形成した液滴半径を R 、ノズルの中心軸とチップ重心のずれを D_α とする。所定のずれ D_α を与えた状態で吸着実験を行い、その結果を図8のように分類した。

Success : 一定以下のずれであればセルフセンタリング効果を得た後、吸着する。

Failure 1 : ずれが十分に大きい状態で付着を試みると、液滴がチップのみならずステージとも接触してしまう。この状態でノズルを上げると液滴はノズル側とステージ側に分かれ、チップはステージ側の液滴表面に残り、吸着できない。

Failure 2 : Y 軸方向に一定以上のずれが生じている状態で吸着を行うと、チップを付着させたとき電極

部のみが濡れ、吸着するとチップ立ちが生じる。

Failure 3 : チップの液滴への付着が問題なく行われたとしても、使用しているノズルの外径が細い場合、ノズル先端にチップを捉えることができず、ノズル側面にチップが付着する。ただし、これはノズルの径を適切に選択することにより防ぐことが可能である。

X 軸方向に所定のずれ D_x を与えた状態で吸着を行った結果を図9に示す。同様に Y 軸方向に所定のずれ D_y を与えた状態で吸着を行った結果を図10に示す。図9・図10中の実線は、図11に示すように液滴が部品とステージに同時に接触する幾何学的関係から求めたずれの限界値 D_{max} であり、次式(1)で表される。ただし、限界値が式(1)で求まるのは $R \geq h$ という条件が満足されて場合である。

$$D_{max} = \sqrt{R^2 - (R-h)^2} + \frac{l}{2} \quad (1)$$

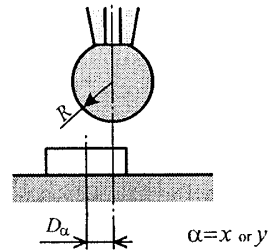


Fig. 7 Definition of parameter.

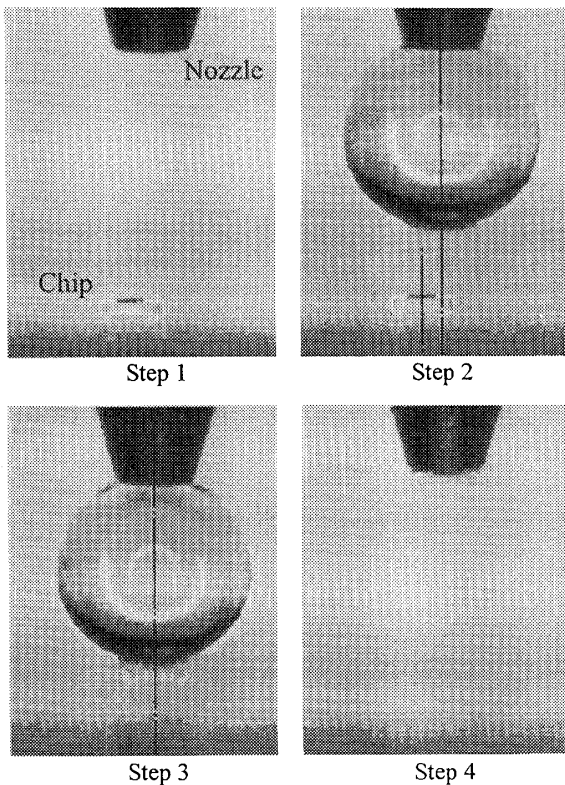


Fig. 6 Self-centering effect.

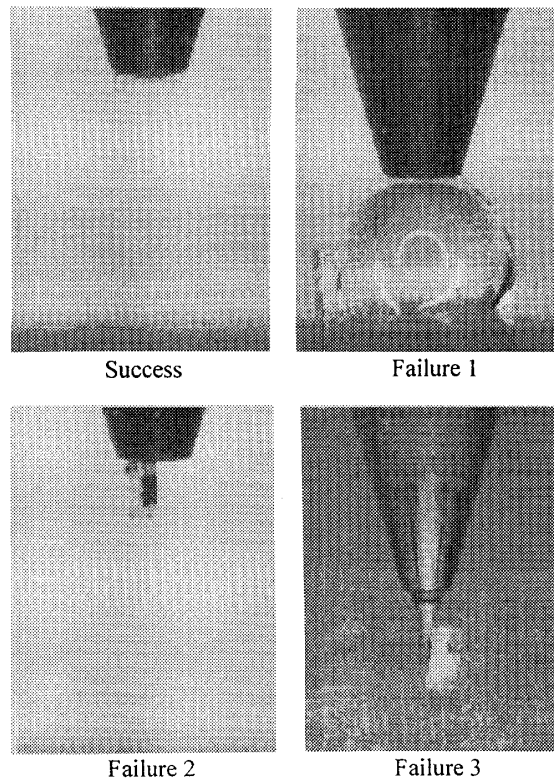


Fig. 8 Classification of operation.

式 (1)中の l は図9ではチップの奥行き d , 図10では幅 w とした。

この結果よりチップ寸法 $w=0.4$ mm, $d=0.2$ mm に対し 0.2 mm 程度のずれが生じて吸着が可能であることがわかった。一般に機械の位置決め精度が 0.05 mm 以下であることを考えると, 提案する方法を用いることによって, 水平方向のずれを伴った場合においても問題なく吸着でき, かつ今後電子部品がさらに小型化しても, 問題なく吸着できると考えられる。また形成する液滴の径を大きくすることにより, より大きな水平方向のずれに対し吸着が可能となることがわかった。吸着に失敗した結果に着目すると, D_{max} に近づくとつれ Failure 1 及び Failure 2 が起きていることが確認できる。また, それぞれの軸の結果を比較すると, Y 軸にずれを与えた際には Failure 2 が確認されたが, X 軸にずれを与えた際には Failure 2 は確認されなかった。これ

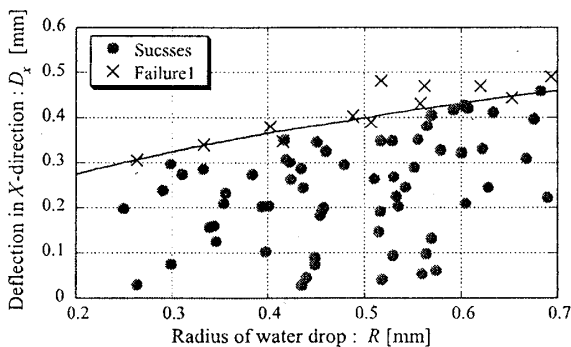


Fig. 9 Effects of deflection in X-direction.

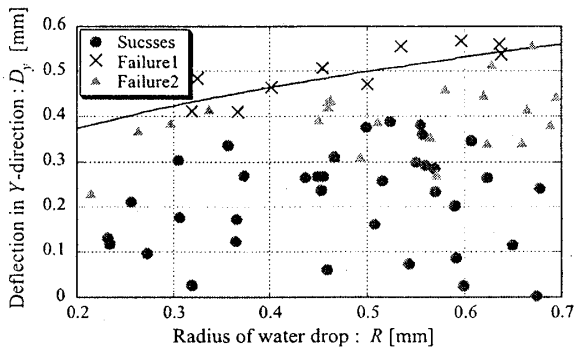


Fig. 10 Effects of deflection in Y-direction.

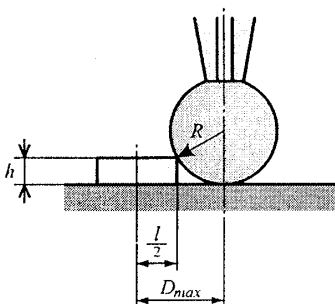


Fig. 11 Maximum deflection.

はチップの表面形状が X 軸方向には一様であるのに対し, Y 軸方向には一様でないためである。このことから, 提案する方法では対象の表面形状・構造が吸着に影響するということがわかる。

4.3 吸着精度 次に吸着時の精度を測定した。正面からは光学式顕微鏡 (分解能 $1 \mu\text{m}$) を, 側面からは光学式デジタル寸法測定器 ($1 \mu\text{m}$ 以下) を用い, ノズルの中心軸に対するチップの重心位置を測定した。この測定における分解能は $1 \mu\text{m}$ 程度である。

測定結果を図12に示す。33回の測定の結果, 平均ずれとして $24 \mu\text{m}$ であった。この結果から, 表面張力を利用する方法ではセルフセンタリング効果を得ることにより, 例えば X 軸方向に 0.2 mm のずれを伴った状態からでも平均して $24 \mu\text{m}$ 程度のずれに抑えることができることがわかる。

4.4 鉛直方向のずれによる影響 次に Z 軸方向にずれを与えたときの吸着への影響を測定した。この測定では図13に示すように, 液滴がチップを捉えた瞬間のノズル位置を基準位置「 $D_z=0$ 」とした。基準位置よりノズルをステージ側に $0.05, 0.1$ mm 近づけていった後にノズルを上げ吸着を行った結果と, ノズルをステージ側に近づけていった際に液滴が変形しステージと接触してしまうまでの距離を測定した。その結果を図14に示す。

実際に鉛直方向にずれを与えた際の様子を図15に示す。Step 1 は液滴がチップを捉えた瞬間の状態がこの状態が基準となる。Step 2 はノズルを下げた際の様子であるが, このように液滴が変形する事により, 鉛直方向のずれの影響が吸収されている。さらにノズルを

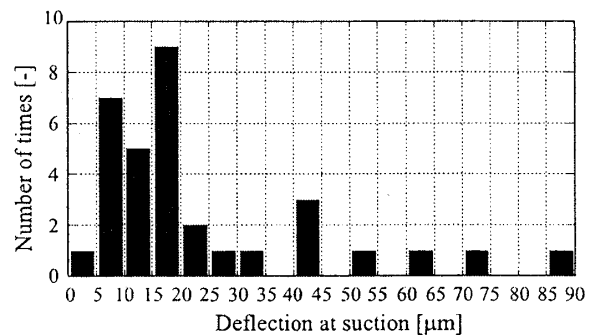


Fig. 12 Deflection at suction.

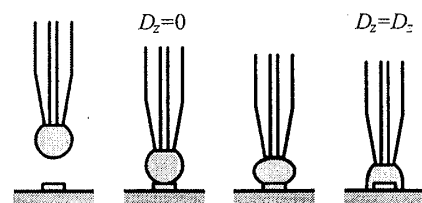


Fig. 13 Definition of deflection in Z-direction.

下げた際の様子 Step 3 と Step 4 である。一定以上のずれを与えると、液滴がチップ側面に逃げ始め、そしてステージに接触し Failure 1 となる。

この結果より、0.1 mm 以下の鉛直ずれであれば、液滴の変形により吸着の問題とならないことがわかる。また水平方向のずれでは液滴の径により吸着可能な範囲が変化したが、鉛直方向のずれは液滴の径にあまり依存しないことがわかった。

5 結論

本研究はマイクロオダの電子部品を対象として、液体の表面張力を利用したアセンブリを提案した。提案する方法の有効性を実証するために、実験装置を開発し、実際の微小実装部品(寸法 $w=0.4$ mm, $d=0.2$ mm)を対象として、吸着実験を行った。その結果、吸着の

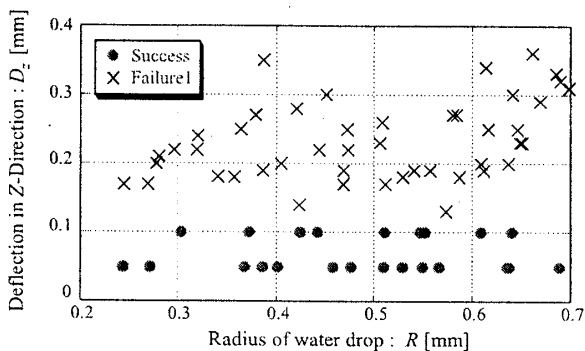


Fig. 14 Effects of deflection in Z-direction.

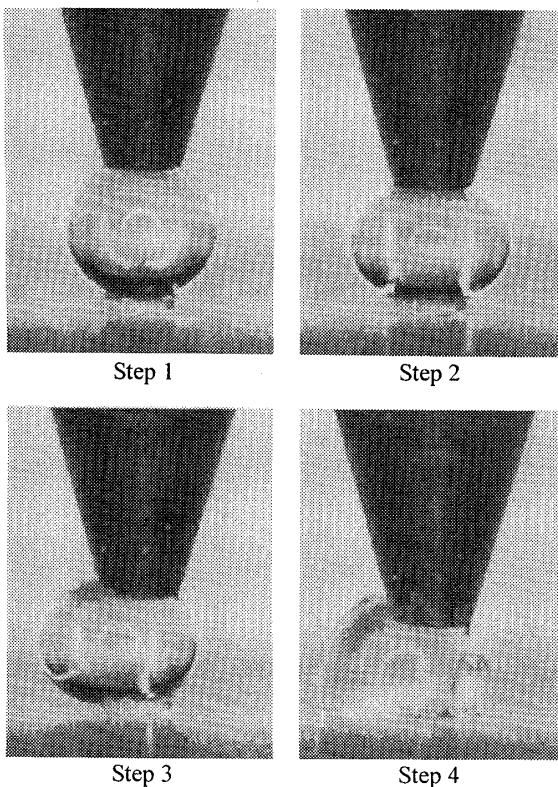


Fig. 15 Vertical deflection.

過程でセルフセンタリング効果によって 0.2 mm 程度の水平方向のずれが生じていても吸着が可能であることを示した。さらに、水平方向のずれを伴った状態からの吸着でも 24 μ m 程度のずれに抑えることができることを示した。また、鉛直方向のずれに関しても 0.1 mm 程度のずれであれば問題なく吸着できることを示した。

これらの結果より表面張力を利用したアセンブリの有効性を確認することができた。

参考文献

- (1) Ruben Segovia, Sandra Schweizer, Peter Vischer, Hannes Bleuler, Contact Free Manipulation of MEMS-Devices with Aerodynamics Effects, Proc. of the 4th International Conference on Motion and Vibration Control (MOVIC'98), Vol.3, (1998), pp.1129-1132.
- (2) Pierre-gilles de genes, Françoise brochard-wyart, David Quéré, (Translatede by K.Okumura into Japanese), Physics of Surface Tension – Drops, Bubbles, Beads and Waves (in Japanese) , (2003), Yosioka-Syoten
- (3) Naoki SHIKAZONO, Yusuke MUKASA and Hiroshi IWATA, Assessment of Micro Gas-Liquid Separator Using Surface Tension, JSME Millennium, No.05-1, (2005-9)
- (4) Amane KAJIWARA, Kenji SUZUKI, Hirofumi MIURA and Hideaki TAKANOBU, Study on actuation of micro objects using surface tension of liquid droplets, Conference on Information, Intelligence and Precision Equipment, No.07-7, (2007), pp.29-32.
- (5) Eiji SHAMOTO, Takamichi KOMURA and Norikazu SUZUKI, Development of a New Fluid Bearing Utilizing Surface Tension, Proceedings of the Meeting of Japan Society of Precision Engineering, (2005-9), pp.875-876.
- (6) Kaiji SATO, Tomonori SEKI, Seiichi HATA and Akira SHIMOKOHBE, Principle and Characteristics of Microparts Self-alignment usin Liquid Surface Tension, Journal of the Japan Society of Precision Engineering, Vol.66, No.2, (2000), pp.282-286.
- (7) Kenji J. OBATA, Tomoyuki MOTOKADO, Shigeki SAITO and Kunio TAKAHASHI, A Scheme for Micro Manipulation Based on Capillary force, Journal of Fluid Mechanics, (2004), pp113-121.