

研究種目：基盤研究（C）
 研究期間：2007～2008
 課題番号：19560147
 研究課題名（和文） 固体間の液架橋により生ずる振動系を利用した微小物体運動制御技術の
 確立
 研究課題名（英文） Establishment of motion control technology for micro objects by use
 of vibration system including capillary bridge between solid faces
 研究代表者
 館野 寿丈（TATENO TOSHITAKE）
 産業技術大学院大学・産業技術研究科・准教授
 研究者番号：30236559

研究成果の概要：

鉛直軸と水平軸の2軸が同期して数 μm 程度で振動するステージに微小物体を載せ、各軸の振動振幅と位相を変化させることで物体を任意の方向に任意の速度で移動させる運動機構を対象とした。この運動機構では、微小物体の運動が湿度の影響を強く受ける性質がある。これは大気中に含まれる水分が固体表面に微小な水滴として付着し、その液架橋の性質により生ずるものと判断している。しかし、その影響のメカニズムや影響量については十分には明らかにされていない。そこで本研究では、「液架橋の観察・測定」および「液架橋の力と振動駆動に必要な力との関係」について実験を通して評価した。

液架橋の観察・測定としては、プリズム全反射特性を利用した液架橋の新たな観察手法を考案し、従来には計測できなかった接触面での液架橋の大きさを定量的に測定することを可能にした。また、振動駆動の最中における液架橋の挙動を観察できることから、液架橋が表面をずれながら運動する場合と、液架橋が切れて運動する場合とを明確に区別することができるようになり、それぞれの条件での運動の比較を行うことが可能になった。

液架橋の力と振動駆動に必要な力との関係について、液架橋の観察を行いながら、液架橋がずれながら運動する場合、切れて運動する場合のそれぞれにおいて振動駆動に必要な振幅を測定することで、液架橋による吸着力を定量的に測定した。この結果、ずれながら運動する場合は、ほとんど液架橋の影響を受けず、切れる場合は、液架橋の面積にほぼ比例した吸着力が発生し、運動を妨げることが明らかになった。

これらの結果から、液架橋がずれながら運動する経路を人為的に構成することで、液架橋の特性を利用した高精度な運動制御を実現できると考えられる。本研究の成果はこのような運動制御手法を実現する基礎技術といえる。

交付額

(金額単位：円)

	直接経費	間接経費	合計
2007年度	3,000,000	900,000	3,900,000
2008年度	600,000	180,000	780,000
年度			
年度			
年度			
総計	3,600,000	1,080,000	4,680,000

研究分野：工学

科研費の分科・細目：機械工学・設計工学・機械機能要素・トライボロジー

キーワード：マイクロマシン，トライボロジー，振動駆動，液架橋，運動制御

1. 研究開始当初の背景

小型の機械で高精度の運動機能を実現しようとする要求は高く、多くの研究が進められている。しかしながら、数 mm の大きさを持ち数十～数百 μm 程度の物体を自由に操作する手法については、まだ実用化に至る技術として確立されていない。これが実用レベルに達せば、医用機器や、高度な測定機器の操作装置として有用性が非常に高い。

微小部品の操作を困難にする理由の一つには水分の影響がある。数 mm 程度の小さな物体になると、大気中の水分が表面に付着した程度でも、運動に影響を及ぼす。従来の微小物体操作においては、このような物体表面に働く力を排除することによって操作の精度を向上させるアプローチをとっていた。これに対し、筆者らは物体表面に働く力をむしろ積極的に活用することによって、操作の精度を向上させようとするアプローチで研究を進めている。

本研究では、特に物体表面に働く力の一つである液架橋の影響に着目する。筆者らの過去の研究において、微小物体を振動台の振動によって運動させる振動駆動では、大気中の湿度が運動に影響を及ぼすことが明らかになっている。また、微細加工 ($7\mu\text{m}$ 程度の溝) を施した振動面上で、平らな面を持つ微小物体を運動させると、溝に沿って運動しやすいことも明らかになっている。しかし、液架橋が振動駆動に影響を及ぼすメカニズムおよび定量的な影響量について明らかになっていない。これらを実験により明らかにし、液架橋を利用した振動駆動による運動制御手法の確立に向けた研究を行う。

2. 研究の目的

数 mm 程度の振動台を、数 kHz 程度の周波数および数 μm 程度の振幅にて加振させることで、数百 μm 程度の大きさの物体を、任意の速度で高精度に位置決めする機構を対象とする。この機構において、振動台と運動物体との接触面に生ずる液架橋が運動に及ぼす影響のメカニズムおよび影響量を把握することを目的とする。

3. 研究の方法

(1)振動駆動

平らな面に物体を乗せて面に振動を与えると、振動の条件により様々な運動を生じて物体は移動する。その位置や姿勢の移動量を振動条件によって制御しようとするのを、Versatile Motion Control と呼び、研究を進めている。この駆動原理では、対象物体を直接把持することなく移動させるので、微小物体の位置決めに適しており、微小電子部品の整列などへの応用が期待される。一方で、滑

り面の表面に生ずる幾何拘束以外の種々の特性、例えば静電力、液架橋力といった力の影響を大きく受けることから、これらの力の制御が大きな課題となっている。ただし、逆の言い方をすれば、これらの力を自由に制御できるようになれば、その特性を積極的に活用し、これまでにない微小物体の制御手法として応用していくことができる。

本研究では、Versatile Motion Control での最も基本的な運動である直進運動のメカニズムを用いる。図 1 にその運動原理を示す。振動台を水平方向と垂直方向に同期した正弦波で振動すると、図中(a)にあるような軌道を生ずる。両軸の位相が 0° であれば直線の往復運動、 90° であれば円軌道、 180° であれば位相が 0° の軌道と直交する方向の往復運動というように、位相の違いによって軌道が変わる。図 1 の場合、(b)の状態では、物体の重力や表面間の付着力によって振動台に付着しているが、(c)の状態になると、慣性力によって物体は振動台から引き離される力を生ずる。その慣性力の水平軸成分が摩擦力を超えた場合滑りを生ずる。これを繰り返すことで、物体は一定の方向・速度で移動することになる。

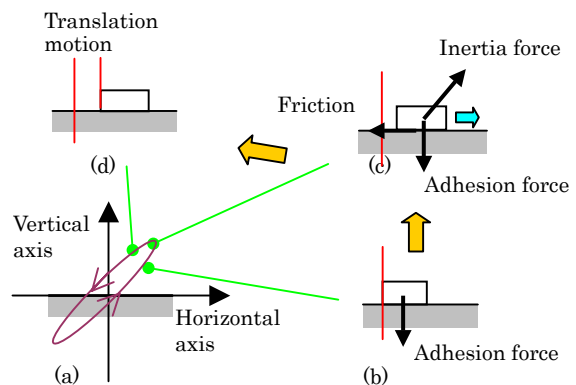


Fig.1 Translation motion of vibration slide mechanism

ここで、物体と振動台との間に生じる付着力は、種々の原因により生ずる。その要因の一つに液架橋の影響がある。大気中に含まれる水分が物体表面に付着し、微小な液架橋を多数生じることにより、接触面間が引き付けられ、摩擦力が増加することが知られている。しかし、その液架橋はあまりにも微小であり、直接に観察することが極めて困難である。したがって、その量と付着力との関係については明確になっていない。そこで、本研究では図 2 のような構造体を構築して、1mm 程度の液架橋を発生させ、これが運動に及ぼす影響を評価した。

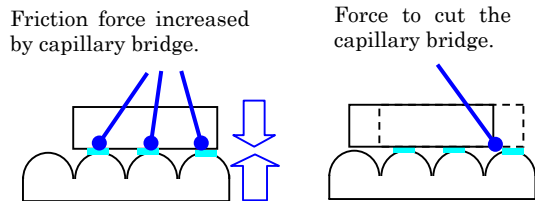


Fig.2 Two types of adhesion force by capillary bridge

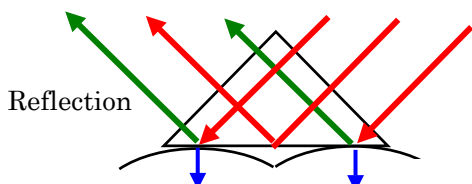


Fig.3. The total internal reflection of prism

(2)液架橋の観察

大気中の水分が物体表面に付着することで発生する液架橋は極めて微小であり、直接観察することは実質的に不可能である。そこで、観察可能な程度の液架橋を発生させて測定することで、実際の大きさでのメカニズムおよび影響量を推定する。

液架橋の大きさを観察するために、真実接触面積を測定するためによく用いられるプリズムの全反射とエバネッセント光の特性を利用した。図3のようにプリズムを凹凸がある面に載せると、接触していない部分では光は全反射されるが、プリズムと凹凸面とが十分近い距離になる部分では、光がエバネッセント光として染み出し、その部分の領域を全反射の領域と区別して観察できる。この特性を利用することで、液架橋の大きさを測定できる。

(3)実験装置

図4に使用した実験装置の構成を示す。振動台は、一辺が10mmのアルミ立方体の下面と一つの側面に積層ピエゾ素子を2つずつ配置して構築した。積層ピエゾ素子は印加される電圧に応じて伸縮し、それぞれの電圧はファンクションジェネレータから発生した信号がアンプを介して印加される。

アルミ立方体の上面に、球状突起のある板（突起板）を貼り付け、その上に移動物体を載せて運動させる。図5に突起板とプリズムの寸法を示す。突起はプラスチックと鋼球の2種類を準備した。移動物体には一辺5mmの直角プリズムを使用した。また、プリズム上側面となる面に垂直になる向きに顕微鏡カメ

ラを配置し、プリズムの運動の観察および、液架橋の大きさを画像によって測定できるようにした。

電圧は1kHzの正弦波として垂直軸と水平軸には同じ（同位相）電圧で印加する。プリズムを顕微鏡カメラで映像記録した後、プリズムを観察しながら電圧（振幅）を上昇させ、目視で動き出したと判断した時点での振動振幅を記録する。

また、液架橋による吸着力が振動駆動に及ぼす影響を評価するために、液架橋の大きさと振動駆動に必要な振動振幅との関係を測定する。

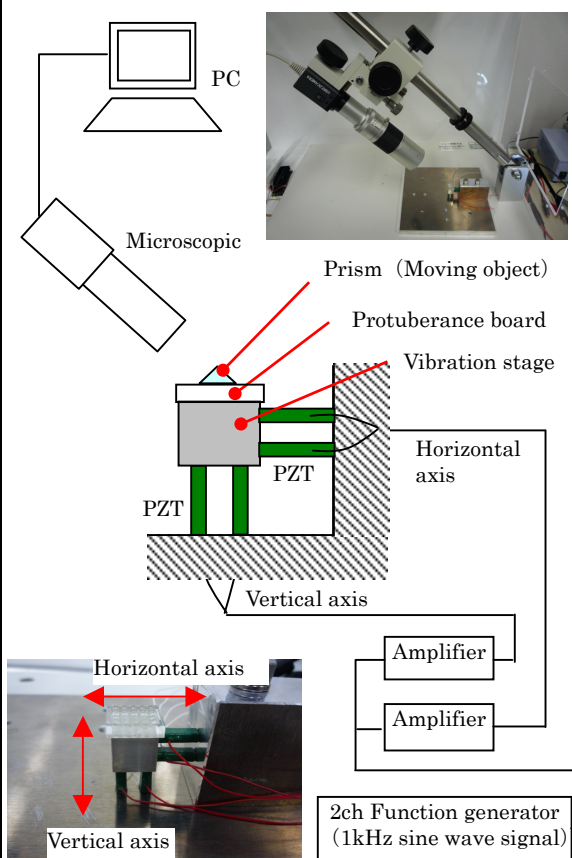
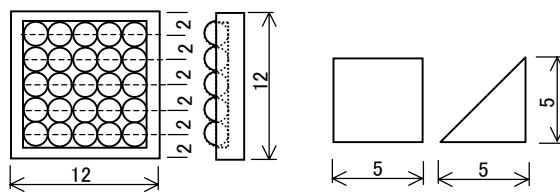


Fig.4 Experimental setup



(a) Protuberance board (b) Prism

Fig.5 Shape and size of contact board and prism

4. 研究成果

(1) 液架橋の観察

図6にプリズムの全反射の特性を用いた液架橋の映像を示す。画像では液架橋の部分が横長に観察されるが、実際の液とプリズムの接触面は円形である。これはカメラが接触面に対して斜め45°傾いた方向から撮影しているためである。このため、観察される接触面の横幅を接触面直径として面積を算出した。

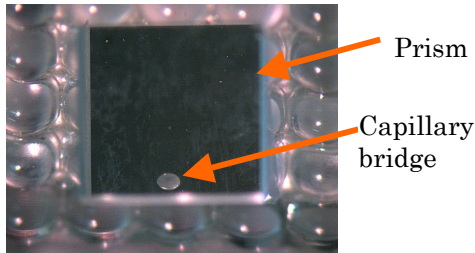


Fig.6 Observation by using total internal reflection of prism

(2) 液架橋が振動駆動に及ぼす影響

鋼球の突起板を使用した時の、液架橋の接触面積と、プリズムが運動を開始した振動振幅との関係を図7に示す。プラスチックの突起板を用いた場合も同様の結果を得たが、データのばらつきが大きかった。図7の結果を見ると、液架橋が切れる条件にない場合（図2左の条件）での振幅は、液架橋が無い場合での振幅と同程度である。これに対し、液架橋が切れる条件にある場合（図2右の条件）は、接触面積が大きくなるほど、大きな振動振幅を必要とすることが明らかとなった。

また、プリズムの質量($m=0.150\text{g}$)、振動数(1kHz)、振幅の値から次式を用いて、液架橋を切るための力を算出することができる。

$$f = -mA\omega^2 \sin(\omega t) \quad \text{式(1)}$$

ここで、 m :プリズムの質量
 A :振幅
 ω :角周波数

この式を用いて、液架橋の接触面積と、液架橋を切るための力との関係として書き直したものを図8に示す。図8には、液架橋を切るための力が接触面積に比例するとして近似した式を加えている。液架橋がずれる時の力は接触面積にかかわらずほぼ一定であるので、図中の橙色部分の領域では、液架橋が切れずにずれる方向に動くことになる。そして、接触面積が常にこの範囲を保つよう接触面形状を加工しておけば、決められた方向に運動を制御することができると考えられる。

以上のように、液架橋の特性を用いた振動による運動制御を一つの手法として整理することができた。

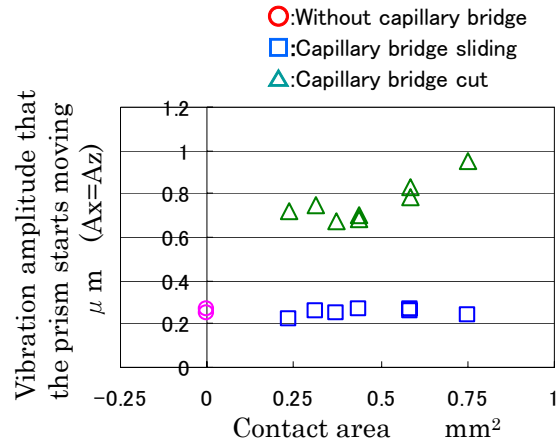


Fig. 7 Relation between vibration amplitude and contact area

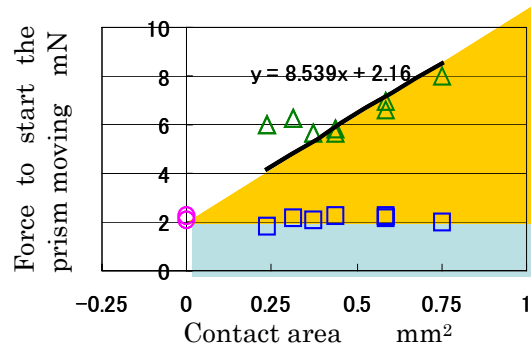


Fig. 8 Force to cut capillary bridge over contact area

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 1件)

館野寿丈, 角田陽, 佐久間秀夫, ”微小物体の振動駆動における滑り面に生ずる液架橋の影響に関する研究”, 精密工学会春季大会学講演論文集, PP.765-766, 2009年3月11日, 中央大学.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

館野 寿丈 (TATENO TOSHITAKE)
 産業技術大学院大学・産業技術研究科・
 准教授
 研究者番号：30236559

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし