

令和 5 年 6 月 26 日現在

機関番号：12608

研究種目：挑戦的研究(萌芽)

研究期間：2020～2022

課題番号：20K20981

研究課題名(和文) 親疎水面塗分けパターンに基づく微小液架橋配列を用いた大面積対象物の把持・離脱機構

研究課題名(英文) Manipulation of large-area objects using micro-liquid capillary force based on the pattern of hydrophilic and hydrophobic surfaces

研究代表者

齋藤 滋規 (Saito, Shigeki)

東京工業大学・環境・社会理工学院・教授

研究者番号：30313349

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 5,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、「プレパラート上のスライドガラスを垂直方向に引き剥がせない」現象にヒントを得て、プローブ表面の親水性の異なる二つの物質で塗り分けることで、液架橋力によって対象物を自在に把持・離脱を可能にする「液架橋マニピュレーション」技術を開発した。具体的には、プローブ表面の内側を親水性材料、外側を疎水性材料で塗った物と、内側を疎水性外側を親水性で塗った物の2種類のプローブを作成し、液滴量のコントロールによって液架橋力の大きさのコントロールを目指した。本研究によって、液架橋力を用いた物体操作の技術体系を確立するための基礎を築いた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

液架橋力に基づく物体マニピュレーションは、物体操作が不可欠な生産技術分野において、次世代の物体操作技術の基盤になる可能性がある。特に対象物に一樣な応力を発生させながら物体操作できるため、次世代情報技術デバイスの生産に役立つ潜在的な可能性がある。研究成果を社会に実装することで、次世代生産技術に大きく貢献する可能性がある。

研究成果の概要(英文)：Inspired by the phenomenon that "a glass slide on a preparatory plate cannot be pulled off vertically," this study developed a "liquid capillary manipulation" technique that enables the flexible grasping and releasing of an object by capillary force by coating the probe surface with two different hydrophilic materials. Specifically, two types of probes were created: one coated with hydrophilic material on the inside and hydrophobic material on the outside of the probe surface, and the other coated with hydrophobic material on the inside and hydrophilic material on the outside, with the aim of controlling the magnitude of liquid capillary force by controlling the amount of droplets. This research has laid the foundation for establishing a technical system for manipulating objects using liquid capillary force.

研究分野：微細作業工学

キーワード：液架橋力 マイクロ・ナノメカトロニクス 生産技術

### 1. 研究開始当初の背景

近年、生産工程の機械化が進み、真珠・果物や大面積液晶パネルなどの疵付きやすい様々なモノをハンドリングする必要性が増している。しかし、既存手法(「つかむ・吸引」による把持)は、把持対象物に与える応力が大きく、新しい需要に対応できていない。問題解決のため、液架橋力を用いた物体操作手法(把持・離脱)が提案されている。「プレパレート上のスライドガラスを垂直方向に引き剥がせない」現象に見られるように、特定の条件下で液架橋力は非常に大きな力をもつ。一方、力の制御が難しく、「必要な把持(吸着)力の確保」と「確実な離脱」の両立が課題であった。対象物形状に対応するプローブ形状を成形し、液架橋力を制御可能とするシステムを開発されているが吸着面の大面積化に至っていない。

### 2. 研究の目的

本研究の目的は、従来手法では困難であった「大面積かつ繊細(≒疵付きやすい)平板状物体のハンドリング」のため、平板間に生じる液架橋力の原理を解明し、吸着面への液体供給ノズルの多数配列と親疎水塗分けにより『大面積対象物の液架橋力マニピュレーション』を可能にする知識の獲得である

### 3. 研究の方法

『大面積対象物の液架橋力によるマニピュレーション』が実現されていない理由として、物体離脱時に対象物に余分な力を加えることなく液架橋力の大きさを減らす難しさがある。物体の表面特性により液滴の接触角が変化するため、図3に示すように、プローブ先端の親疎水性を塗分けすることで、液滴量によって液架橋力の大きさを制御できる可能性がある。

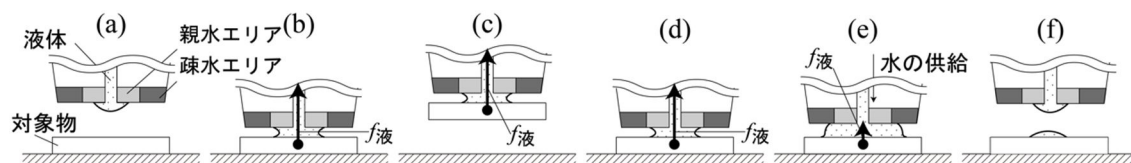


図1：親疎水塗分けを活用した液架橋力マニピュレーションのコンセプト(a)塗分けがされたプローブが物体に近づく、(b)対象物との間に液架橋を形成、(c)液架橋力を用いて物体を持ち上げ移動、(d)物体を設置、(e)液滴が疎水部分に広がるまで液滴量を増やす。(f)疎水面に液滴が広がることで液架橋力が弱まり物体を離脱。

本研究では、平板間に生じる液架橋力の原理を解明し、親疎水塗分けにより『大面積対象物の液架橋力によるマニピュレーション』を開発するため、以下の研究を実施した。

親疎水塗分けしたプローブを作成し、液架橋力の変動や物体操作の実現可能性を評価する。具体的には、(1)親水面を内側、疎水面を外側とする InPhilic プローブと(2)内側に疎水性材料、外側に親水性材料を配置する InPhobic プローブを作成する。物体離脱時には、InPhilic プローブでは水を供給することで液架橋力を低下させ、InPhobic プローブでは水を除去することで液架橋力を低下させることを目指す。プローブの制作においては、内側素材のロッドを、外側素材の中空ロッドに押し込んだ。そして、内側の棒の中心には、液体を供給・除去するための流路として穴が開けられた。性能評価はフォースカーブ(カー変異曲線)計測を基本とし、ビデオマイクロスコピーによる観察も同時に行う。

フォースカーブ測定実験では、プローブを垂直に動く電動ステージに取り付ける(図1)。プローブの流路にはシリンジに接続されたチューブが挿入され、手動で水を供給・除去する。測定対象物は、支持体に貼り付けたスライドガラスである。電子天秤の上に置かれる。プローブとスライドガラスが平行になるように(水が均等に広がるように)、電子天秤の下に2つのゴニオステージを置き、回転させてアライメントをとる。カメラ1はリキッドブリッジの側面形状を記録するために、カメラ2はその底面形状を記録するために使用される。両プローブの具体的な実験手順を図2(a)および図3(a)に示す。初期液滴、供給水、除去水の体積は、それぞれ約 7.7 L、140 L、130 L である。

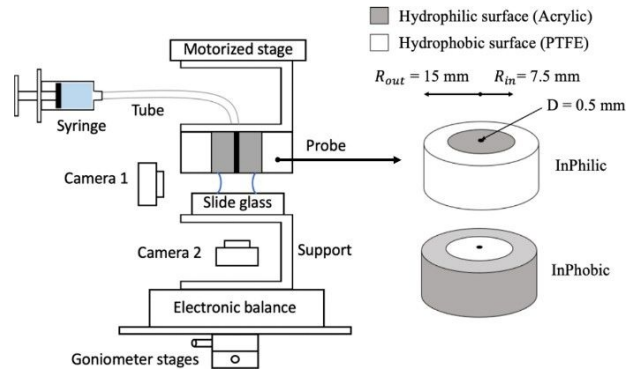


図2: 実験セットアップとプローブモデル

#### 4. 研究成果

##### (1) InPhilic プローブ

区間 $S_1$  (49 s - 76 s) では、水が供給されるにつれて液架橋力が増加する (図2) 水が内側の親水性表面から外側の疎水性表面へと広がった時点である 62 秒以降 (図2 (b))、接触角の増加に従って液架橋力はゆっくりとした速度で増加し始める。セクション  $S_2$  (109 s - 113 s) では、水抜き開始とともに急激な液架橋力の増加が見られる。ここで起こっていることの仮説は、シリンジで水が引き抜かれるにつれて、プローブとリキッドブリッジの間に後退した接触角が形成され、液架橋力が急激に増加することである。113 秒後、液体ブリッジの体積が減少するにつれて、液架橋力は減少する。セクション $S_3$  では、水が内側の親水性表面に戻る 125 秒後、接触角の減少に伴い、液架橋力はより遅い速度で減少し始める。

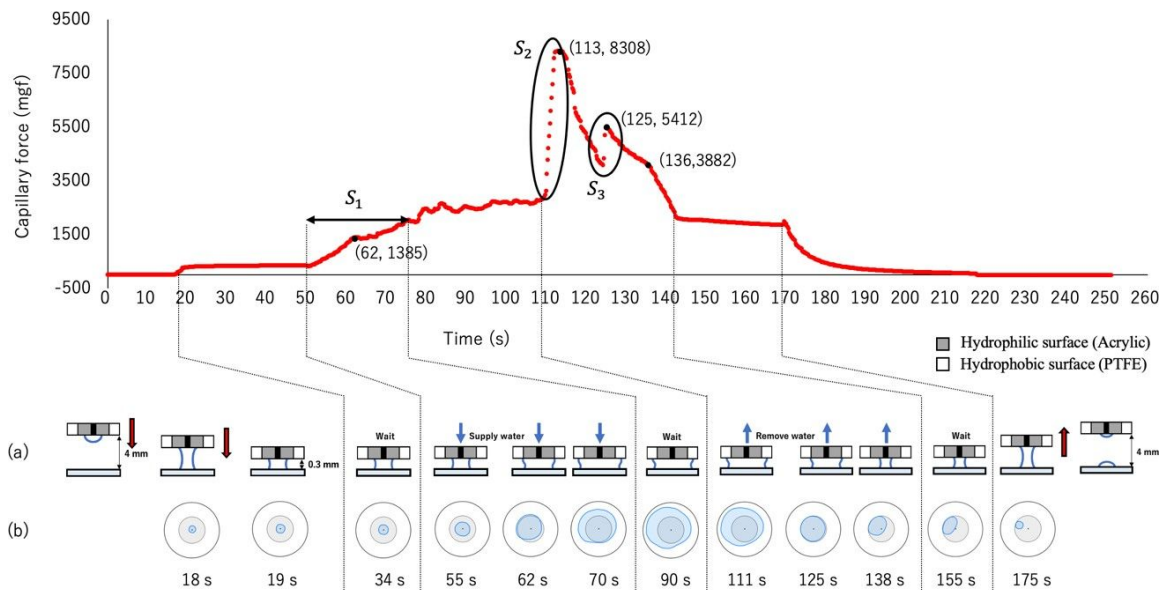


図3: (a) InPhilic プローブにおける液架橋の期待される挙動 (b) 液体ブリッジの底面図

##### (2) InPhobic プローブ

区間 $S_4$  (49 s - 66 s) では、水を供給するにつれて液架橋力が増加する (図3)。液架橋は均一に広がらないため、55 秒で 1 回、62 秒で 2 回親水性表面に到達する (図3 (b))。接触角が減少するにつれて、高い割合で液架橋力が増加し始める。区間 $S_5$  (109 秒 ~ 113 秒) では、水が取り除かれ、接触角が減少するにつれて、液架橋力が急激に増加する。113 秒に液架橋力は最大値となる。液架橋力の一部が外側の親水性表面から内側の疎水性表面に移動するときである。接触角の増加に従い、液架橋力はこの時点で減少し始める。113 秒と 125 秒に 2 つのピークがあったインフィリックとは対照的に (図2) 水分除去時には 113 秒に 1 つのピークしか観察されない (図3)。これは、後退角の形成と表面間のシフトが同時に起こったためである。区間 $S_6$  (122 s - 171 s) では、水を除去した後、液架橋力を効果的に減少させるためには、液架橋が疎水性領域内になければならない。しかし、セクション $S_6$ の平均的な液架橋力は、セクション $S_4$ に水を供給した後とほぼ同じ力の大きさである。これは、図3(b)に見られるように、水の不均一な広がりによるものである。水を除去した後、液架橋の大部分は外側の親水性表面に留まるため、接触角は小さいままとなり、液架橋力が相対的に大きくなる。

この問題に対する可能な解決策は内側の疎水性表面の半径を小さくすることである。これにより、水が外側の親水性表面によってあらゆる方向に引き寄せられると予想されるため、水除去時

に液架橋がプローブの片側で終わるのを防ぐことができる。もう一つの可能な解決策は、プローブ表面にマイクロパターンをエッチングし、液架橋の広がりを誘導することである。

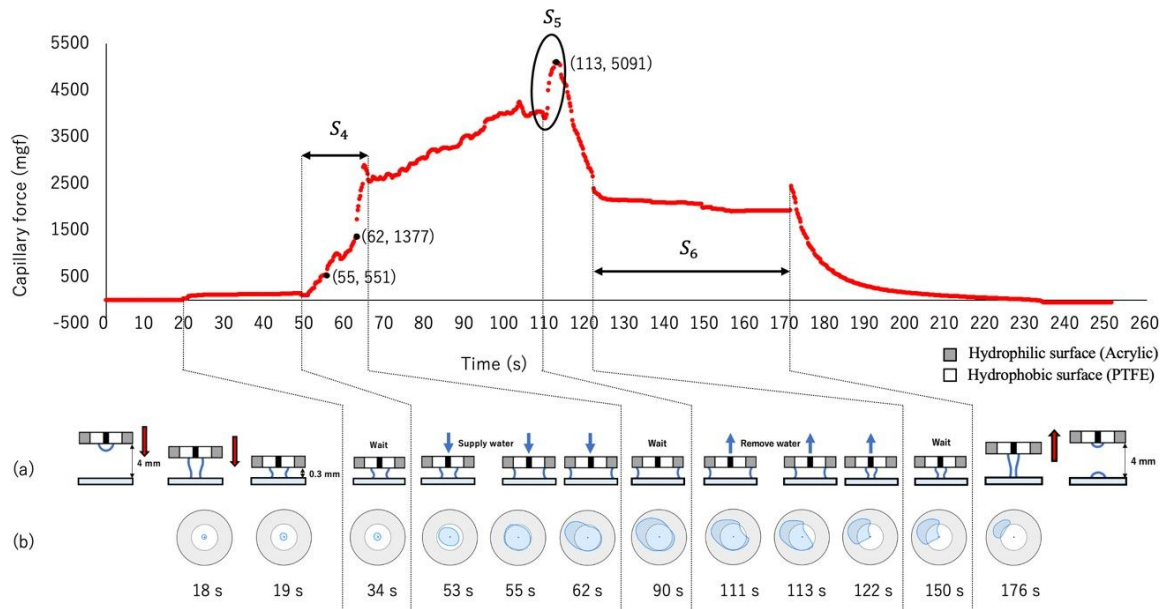


図4: (a) InPhobicプローブにおける液架橋の期待される挙動(b) 液体ブリッジの底面図

本研究では、親水性表面と疎水性表面を同軸上に並べたプローブを作製した。その結果、液架橋力は液架橋の体積に比例することが確認された。液架橋力は、親水性表面から疎水性表面に広がると減少し、その逆の場合は増加する。液架橋を正確に制御するためには、プローブ設計のさらなる改良が必要である。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計2件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 TREETAVEKUL WANWALEE, 田岡祐樹, 齊藤滋規
2. 発表標題 Development of a capillary force manipulation technique using probes with hydrophilic and hydrophobic surfaces
3. 学会等名 2022年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 北瀬 雄士, 田岡 祐樹, 齊藤 滋規.
2. 発表標題 親疎水面塗分けを施したプローブを用いた液架橋力制御によるマニピュレーション手法の有効性検証
3. 学会等名 2021年度精密工学会春季大会学術講演会
4. 発表年 2021年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	田岡 祐樹  (Taoka Yuki)  (50845766)	東京工業大学・環境・社会理工学院・助教   (12608)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------