

令和 3 年 6 月 7 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究

研究期間：2018～2020

課題番号：18K13656

研究課題名（和文）凝着力制御を利用した微小物体操作手法の確立

研究課題名（英文）Study on micro-manipulation using adhesion force control

研究代表者

関口 悠（Sekiguchi, Yu）

東京工業大学・科学技術創成研究院・助教

研究者番号：00712423

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,300,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、凝着力を利用した物体のマニピュレーションシステム構築のために、構造を利用した凝着力の制御手法を検討した。凝着デバイスの作成および凝着力の測定実験より、凝着力制御の可能性が示され、これらの結果をもとに小型凝着デバイスが設計された。構造を工夫することで、単純な入力で着脱できる機構を開発し、非常に軽量の平面物体のマニピュレートにも成功した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

製造工程において物体を運搬するプロセスは必ず存在する。しかし物が小型化するほど、運搬には困難が生じる。また、対象物や環境が変わるだけで同じ手法が適用できなくなることも多い。従って、物体を持ち上げたり配置したりする手法は選択肢が多いほど良い。本研究で開発された技術によって、わずかな駆動だけで凝着力を利用した着脱ができることを示せたことで、今までマニピュレーションが困難とされていた環境やサイズにおけるマニピュレートの可能性が広がり、製造プロセスにおけるマニピュレート手法の多様性へ貢献できたと考えられる。

研究成果の概要（英文）：In this study, the adhesive force controlling method utilizing the structures has been investigated to create an object manipulation system with adhesion control. By creating adhesive devices and carrying out experiments of adhesion force measurements, a possibility of adhesion force control was suggested. Then, based on the results, small size adhesive devices were designed. By devising the structure, the pick-and-place mechanism with simple input was developed, and we succeeded to manipulate a flat and lightweight plate using the developed adhesive device.

研究分野：接合工学

キーワード：凝着 可逆接合 生体模倣 マニピュレータ

### 1. 研究開始当初の背景

ヤモリや昆虫などは、足裏に微細毛を設けることによって凝着現象を移動手段として利用している。微細毛構造は、マイクロ・ナノスケールであることによる表面粗さの吸収とそれによる接着面積の増加によって、大きな凝着力を得るだけでなく、凝着異方性を持たせることにも貢献していることが明らかとなってきた。

重力よりも凝着力が大きい場合、物体は自然に剥がれ落ちない。特に、物体のサイズが小さくなるほどそのような状況が起こりやすくなるため、小さな物体を操作する場合、凝着力が脱離の阻害因子となる。一方で、凝着力を制御できれば小さな対象物に対して「重力>凝着力」という状況を作り出すことができ、任意のタイミングでの着脱が可能となるため、凝着力を物体操作などへも応用できるようになる。

ロボットなどで利用される物体操作手法に目を向けると、最も一般的なものとして関節を持つ指型構造が挙げられるであろう。人間と同じように「つかむ」「離す」といった動作ができるが、人間が物を壊さずにつかむことができるのは手に神経が張り巡らされているからである。従って、ロボットの指先にも触覚センサを搭載する必要がある。そのほかに産業的によく用いられる手法として、真空チャック（負圧吸着）型のマニピュレータがある。指型とは異なり突起のない平面对象物の運搬も可能であるが、圧力源が必要となる。凝着力をマニピュレータの駆動力として用いる場合、真空チャック同様、平面物体の把持に向いていると考えられる。一方で、圧力源は必要ないため、凝着力の制御方式にもよるが真空チャンバー内などの閉鎖空間での応用が期待される。

### 2. 研究の目的

本研究課題では、微小物体操作の新手法として凝着力を制御して物体を Pick&Place するマニピュレータを開発することを目的とした。具体的には、微小凝着梁による凝着異方性メカニズムの解明と凝着力の制御による平面物体の把持・脱離実現、さらにはその小型化を目指した。

### 3. 研究の方法

本研究課題は、3年間の研究期間において（1）凝着異方性発現の実験的検証、（2）凝着異方性を利用した物体の把持・脱離の実現、（3）デバイスの小型化と凝着力制御手法の簡易化によるマニピュレータの開発を実施して、目的の達成を推進した。

### 4. 研究成果

#### （1）凝着異方性の実験的検証

ヤモリなどの生物に見られる微小構造物による凝着は、構造物の側面が凝着する spatula 型と構造物の先端が凝着する seta 型に分類される。本研究課題では、seta 型にフォーカスし、その中でも有望と考えられた形状の凝着梁について、凝着力の変化を実験的に検証した（図1）。構造を斜めに傾斜させることで、傾斜構造物に対して前進した場合と後進した場合で凝着力に違いがみられたが、臨界移動量には前進と後進で大きな違いはみられなかった。

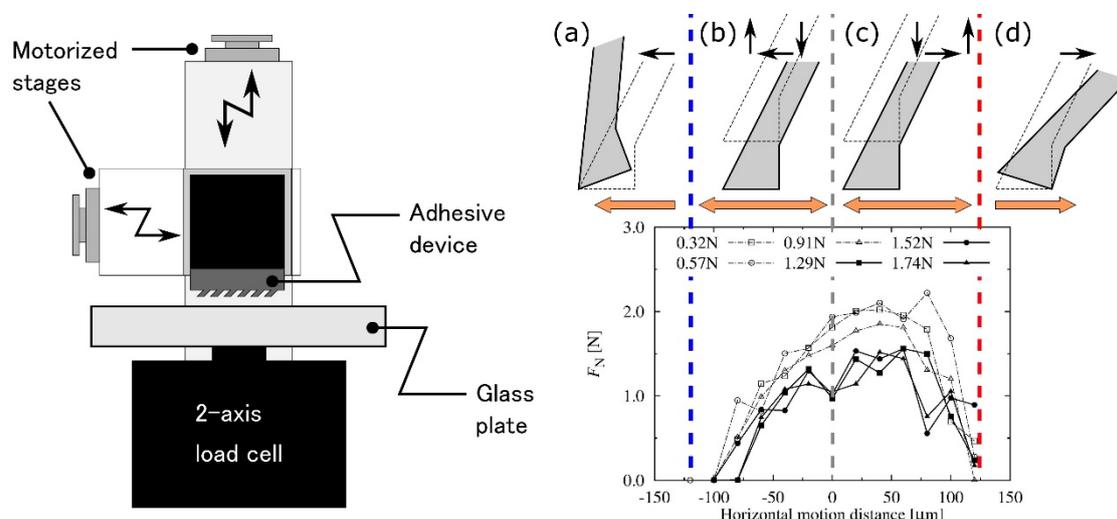


図1 水平移動による凝着力（垂直方向の最大接着力）の変化

(2) 凝着異方性を利用した物体の把持・脱離

凝着梁の集合体からなる凝着デバイスを作成し、(1)で明らかにされた凝着異方性に基づき、2軸駆動システムを用いて、ガラス薄板の把持・脱離を行った(図2)。左右に1つずつ凝着デバイスを取り付けることで最大約4Nの把持性能を持つ凝着システムとなったが、重力ではなく凝着力の変化によって脱離するプロセスを確立させるため、把持対象物として最大凝着力の約1/100となる質量わずか4.7gのガラスを選んだ。すなわち、凝着力を最大値の1/100以下に減少させられなければ着脱できない。凝着デバイスには複数の凝着梁が配置されており、その1本でも凝着した状態ではガラスを配置することはできないため、確実なマニピュレートにはすべての凝着梁の完全な脱離が求められた。様々な実験の結果、剥がす向きによって脱離成功率に違いがみられ、図1の(a)の方向への脱離より(d)の方向への脱離のほうが確実な脱離が見込めることが分かった。

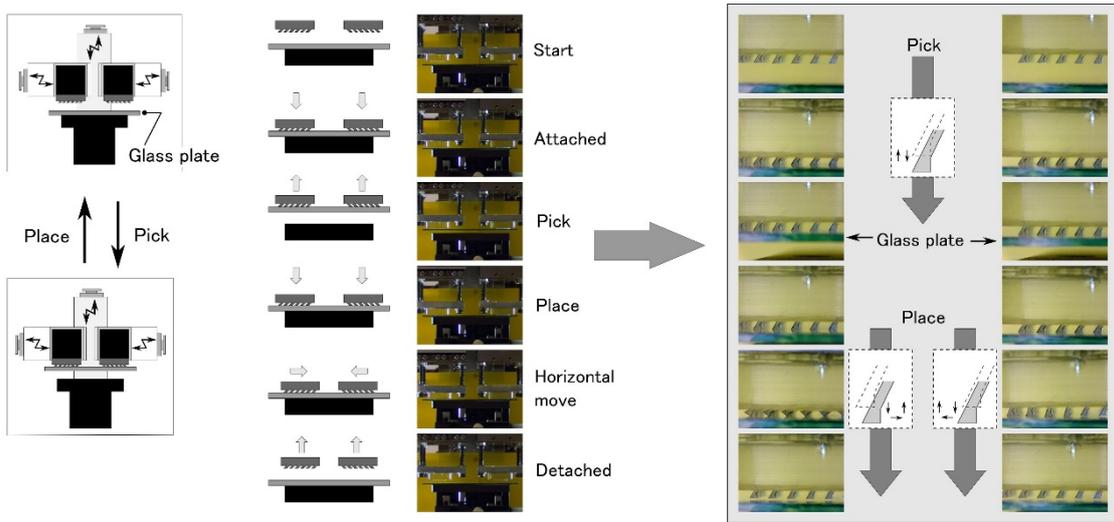


図2 複数の凝着デバイスを用いたガラス板のマニピュレート

(3) デバイスの小型化と凝着力制御手法の簡易化によるマニピュレータの開発

凝着梁の集合体はシステムが複雑になることから、凝着部を少なくし小型化することによって、非常に薄くて軽量のガラスなどピンセットでは持ち上げることができない平面物体を Pick&Place するデバイスを開発した(図3)。小型化により最大凝着力も減少せざるを得なかったが、単純な入力で先端の凝着部が剥離するように動く工夫を施したため、約0.2gのガラスなどの非常に軽量の板状の物体でも問題なく着脱することが可能となった。

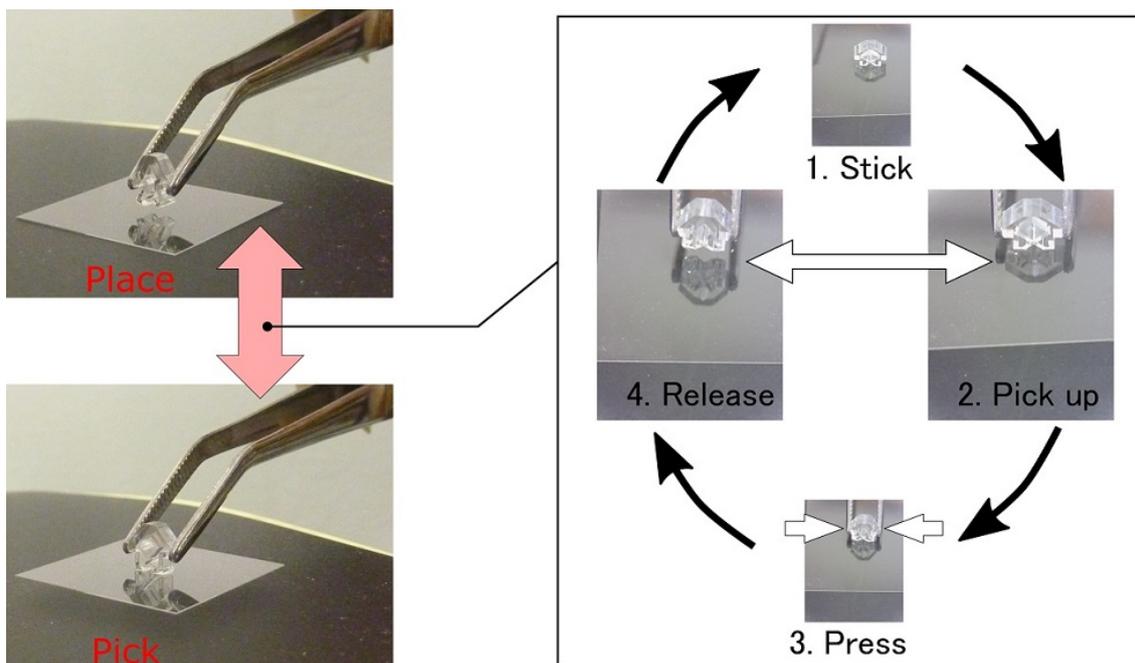


図3 小型凝着式マニピュレータによるカバーガラス着脱の様子

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 0件）

1. 著者名 関口悠	4. 巻 55
2. 論文標題 ヤモリ足裏構造にインスピレーションされた可逆接合に関する研究	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 日本接着学会誌	6. 最初と最後の頁 50-56
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.11618/adhesion.55.50	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

〔学会発表〕 計0件

〔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
---------------------------	-----------------------	----

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
---------	---------