

平成 30 年 6 月 13 日現在

機関番号：12608

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2017

課題番号：15K17933

研究課題名(和文) ヤモリ模倣凝着デバイスの形状傾斜化による着脱機能・表面粗さ吸収機能の両立

研究課題名(英文) Compatibility of reversible adhesion and surface roughness absorption by inclining micro-structures of gecko inspired adhesives

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、ヤモリの足裏構造に見られる微細毛の特徴を取り入れた可逆接合型凝着デバイスの構造傾斜化による影響を理論・実験の両面から明らかにするとともに、凝着デバイスを用いた物体マニピュレーションの可能性について議論した。具体的には、始めにデバイス表面の微小構造を傾斜構造とする製造プロセスの検討を提案した。提案手法により、様々な先端形状の凝着デバイスが作成可能となった。これらのデバイスを用い、凝着力の測定実験を行うことで、傾斜構造が凝着力の変化へ及ぼす影響、先端形状が表面粗さへ及ぼす影響などが調査された。またこれらの結果を元に、作製された凝着デバイスを用いた物体マニピュレーションに成功した。

研究成果の概要(英文)：In this study, influence of the structure inclination of a reversible adhesion type gecko inspired device incorporating the characteristics of micro/nano-structures of gecko foot hairs was clarified from both theoretical and experimental point of view. In addition, possibility of manipulation using the developed adhesive device was discussed. Specifically, manufacturing process of micro inclined structure on the surface of the devices was first investigated. By the proposed method, adhesive devices with various tip shapes were produced. From the adhesive force measurements using these devices, the effect of inclination of the structure on the adhesion force variation, and the effect of tip shape on the absorption of the surface roughness were investigated. Additionally, object manipulation using the produced adhesive device was succeeded based on these results.

研究分野：機械工学

キーワード：凝着現象 生体模倣 接着接合 可逆接合 マニピュレーション

1. 研究開始当初の背景

昆虫やヤモリといった生物の足裏に生える無数の微細毛には優れた凝着性能があることが知られている。凝着力が移動手段に使われるためには体重を支えるのに十分な凝着力を得ると同時に、凝着力を制御する必要があり、微細構造が大きな役割を果たしていると考えられてきた。ヤモリなどが利用する凝着力の源であるファンデルワールス力などの分子間力は、表面間距離に強く依存する力であるため、一般的な物体間の接触では表面粗さの影響によりほとんど働かない。足裏の微細毛は、表面粗さを吸収し分子間力が働く距離まで近接する表面の面積（実接触面積）を増加させることで凝着力を得ている。微細加工技術の向上により、多くの研究グループがヤモリ模倣デバイスを作製しており、微細構造が凝着力の向上に有効であることは示されてきた。

2. 研究の目的

本研究課題は、高分子表面の微小構造物形状の傾斜化を実現することで、表面粗さへの対応性を向上させるとともに、優れた着脱機能を有するヤモリ模倣凝着デバイスを開発し、その性能を実験的に明らかにするとともに、更なる高機能化へ向けた検討を行うことである。

3. 研究の方法

(1) 表面突起物の傾斜構造化手法の検討
ヤモリ足先にあるセタと呼ばれる剛毛は斜めに生えていることが知られている。理論的解析により、構造の傾斜化が凝着力の異方性に寄与していることが明らかにされている。凝着力の異方性を実験的に検証するために、また傾斜化によるその他の影響を調べるために、傾斜化した凝着デバイスの作製手法を確立する。

(2) 実験による凝着力変化の検証
作製された凝着デバイスに生じる凝着力を実験的に明らかにすることで、形状が凝着力へ及ぼす影響を明らかにする。

(3) 凝着デバイスによる着脱
凝着力の異方性に関する実験的検証を元に、凝着デバイスによる凝着力制御を実現し、マニピュレーションへの応用の可能性を検討する。

4. 研究成果

(1) 凝着デバイスの作製
微細機械加工を駆使することで金属へ微細加工を行い、ゴム表面へ形状が傾斜化した突起物を作成する手法を提案した（図1）。この手法を応用することにより、様々な先端形状を有する凝着デバイスの作製に成功した（図2）。

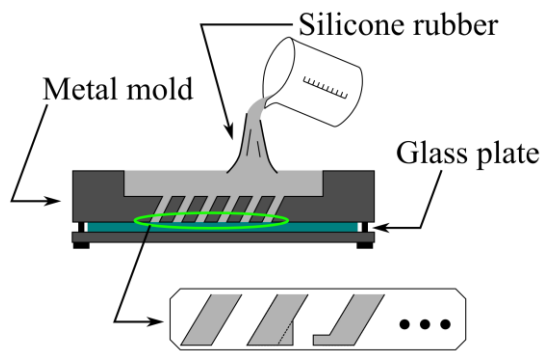


図1 傾斜構造デバイスの作製手法¹⁾

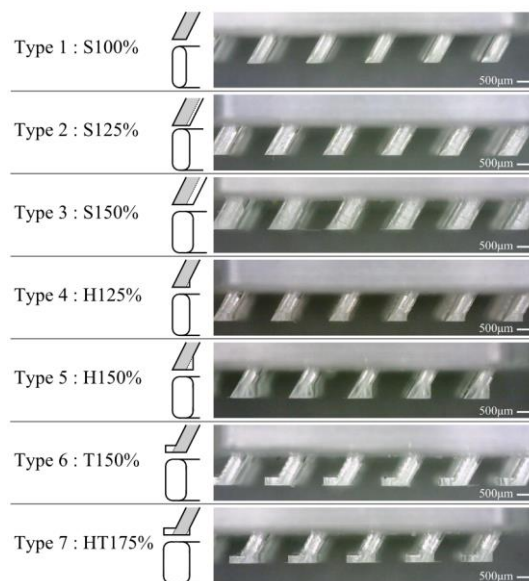


図2 様々な先端形状の凝着デバイス¹⁾

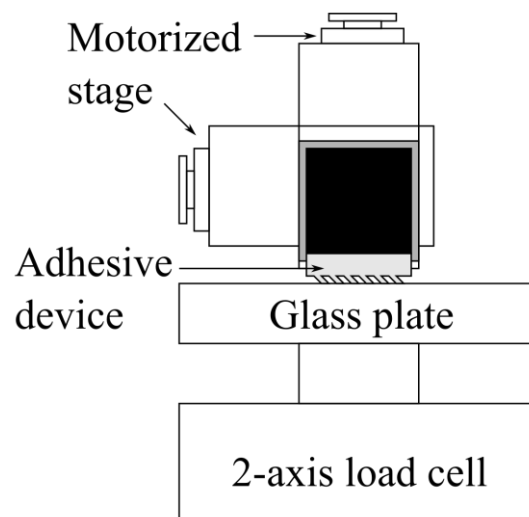


図3 凝着力測定のための実験装置

(2) 凝着力の測定
作製された凝着デバイスを用いた実験的検証では、図3に示す2軸駆動2軸ロードセル

を用いた実験装置により、水平・垂直力が測定された。その結果、水平力の負荷状況により垂直力（凝着力）が変化することが示された。この水平・垂直力の関係性が構造物の傾斜角度により変化することが実験により明らかにされ、研究代表者により提案された解析モデルと良い一致を示すことが明らかにされた²⁾。また、凝着力が最大となるのは、構造物の傾斜角度の方向に力が負荷された場合であることが実験・理論の両面から示された²⁾。さらに、脱離時の水平・垂直力は駆動速度が変化してもその関係性を維持し、駆動速度が速くなるほど脱離時の力は大きくなる傾向にあることが示された³⁾。ガラス平面を用いた着脱における、先端形状の異なる Type 3 と Type 5 の脱離時の水平・垂直力の関係を図 4 に示す。Type 3 と Type 5 は同じ傾斜角度、同じ接触面積を有する。この場合、ガラス平面に対する凝着にはあまり違いが見られないことが分かる。次に、ある一定曲率を有するガラス製円筒面平凸レンズ（図 5）を用いた実験結果を図 6、図 7 に示す。これらの結果から、曲率が大きい表面に対しては、先端形状が大きく影響を及ぼすことが示された。

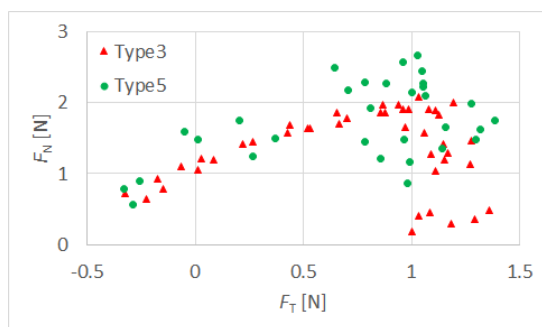


図 4 実験結果（平面ガラス）

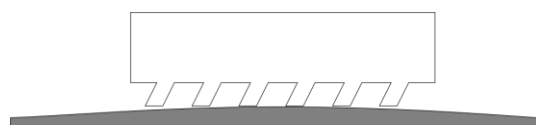


図 5 曲率を有するガラスへの接触

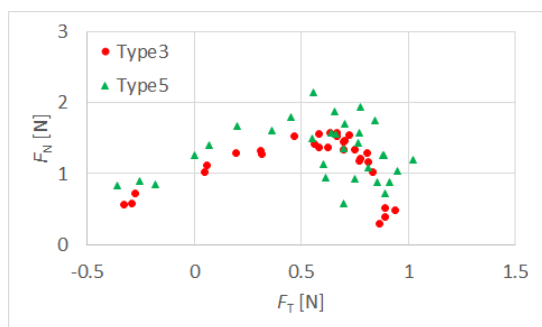


図 6 実験結果（曲率半径 R=1000mm のレンズ）

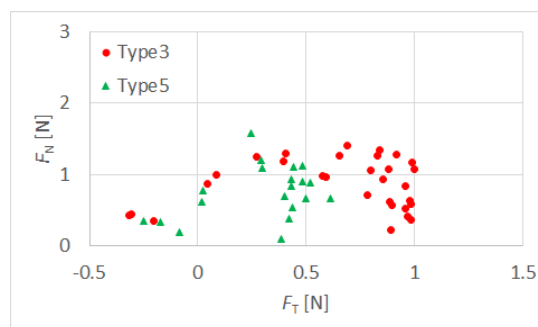
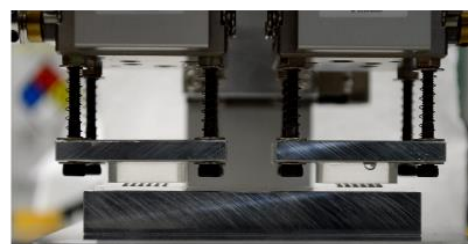


図 7 実験結果（曲率半径 R=500mm のレンズ）

(3) マニピュレーション

水平力を適切にコントロールすることで垂直力を制御可能であることが実験において示された。従って、力を適切に制御することで凝着デバイスをマニピュレータへ応用可能である。2 個の凝着デバイスをを用い、モータによりデバイスを水平・垂直に駆動することで、約 70 グラムの物体を把持・脱離することに成功した（図 8）。



(a) Contact



(b) Pick



(c) Place

図 8 Pick & Place

参考文献

- 1) Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, *Appl Adhes Sci* (2017) **5**:8.
- 2) Yu Sekiguchi, Kunio Takahashi, Chiaki Sato, *J Phys D Appl Phys* (2015) **48**, 475301.
- 3) Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, *Key Eng Mater* (2016) **715**, 63–67.

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)

[雑誌論文] (計 3 件)

- ① Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, Experimental investigation of the effect of tip shape in gecko-inspired adhesive devices under asymmetric detachment, Applied Adhesion Science, 査読有, Vol. 5, 2017, 8
DOI:10.1186/s40563-017-0086-8
- ② Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, Effect of detachment speed on adhesion strength of gecko inspired adhesive devices, Key Engineering Materials, 査読有, Vol. 715, 2016, pp. 63-67
DOI:10.4028/www.scientific.net/KEM.715.63
- ③ Yu Sekiguchi, Kunio Takahashi, Chiaki Sato, Adhesion mechanism of a gecko-inspired oblique structure with an adhesive tip for asymmetric detachment, Journal of Physics D: Applied Physics, 査読有, Vol. 48, 2015, 475301 (7pp)
DOI:10.1088/0022-3727/48/47/475301

[学会発表] (計 5 件)

- ① Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, Effect of tip structure on adhesion strength of gecko inspired adhesive devices, 6th Asian Conference on Adhesion (ACA2016), June 2016, Tokyo, Japan
- ② Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, Effect of detachment speed on adhesion strength of gecko inspired adhesive devices, 9th International Symposium on Impact Engineering (ISIE2016), September 2016, Tainan, Taiwan
- ③ 関口悠, 佐藤千明, ヤモリ模倣異方性凝着デバイスの剥離速度が凝着力へ及ぼす影響, 一般社団法人日本接着学会第 55 回年次大会, June 2017, 大阪
- ④ Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, Surface curvature effect on adhesion of gecko inspired asymmetric adhesive devices, 4th International Conference on Structural Adhesive Bonding, July 2017, Porto, Portugal
- ⑤ Yu Sekiguchi, Chiaki Sato, Possibility of manipulation with gecko-inspired reversible adhesives, 19th International Conference on Electrics Materials and Packaging, September 2017, Matsue, Japan

[図書] (計 0 件)

なし

[産業財産権]

○出願状況 (計 0 件)

なし

○取得状況 (計 0 件)

なし

[その他]

なし

6. 研究組織

(1) 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

(2) 研究分担者

なし

(3) 連携研究者

なし

(4) 研究協力者

なし