

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 26 年 6 月 13 日現在

機関番号：15301

研究種目：基盤研究(A)

研究期間：2010～2013

課題番号：22246019

研究課題名(和文) マイクロ構造形成によるソフトメカニズムの機能性表面修飾

研究課題名(英文) Surface improvement of soft mechanisms by fabricating micro structures

研究代表者

鈴森 康一 (KOICHI, SUZUMORI)

岡山大学・自然科学研究科・教授

研究者番号：00333451

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 36,200,000円、(間接経費) 10,860,000円

研究成果の概要(和文)： ゴムなどの柔らかい材料を用いたソフトメカニズムにおいて、ゴムの表面にサブmm～数 μ m程度の微細な構造物を形成すると、様々な機能的な物理特性をもたせることができる。本研究はここに着目し、ソフトメカニズムに機能性表面修飾を行った。

(1)光学特性に関しては、ソフトロボット表面に1～2 μ mピッチの回折格子を成形し、ロボットの動作や応力を色分布で視覚的に把握した。(2)親水/撥水特性に関しては、微細物をハンドリングするマイクロロボットハンドの表面の吸着制御に応用し、微細物のハンドリングが安定して行えるようになった。(3)マイクロ吸盤に関しては、異方性の吸着特性、凸凹表面への吸着を実現した。

研究成果の概要(英文)： Fabricating micro structures ranging in size sub mm to several micro meters on soft mechanisms made of soft materials such as rubber realizes various functional physical properties. Focusing on this point we have made researches on giving functional surface improvements on soft mechanisms.

(1) On optical properties: fabricating gratings with 1 to 2micron meter pitch enables grasping motion and stress of robots visually with color distribution images. (2) On hydrophilic/water-repellent properties: applying micro structures on the surface of micro robot fingers realizes very stable handling of micro parts. (3) On micro suction cups: integrated micro suction cups with various properties such as anisotropic sucking force and sucking on textured surfaces.

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：ソフトロボット 表面改質 マイクロマシン アクチュエータ

1. 研究開始当初の背景

新しいメカニズム研究の方向性を示すキーワードの一つとして、「マイクロ」と「ソフト」が挙げられる。ゴム製マイクロソフトメカニズムは、対象物を傷つけることなく生きもののように滑らかに動作するユニークな特徴を持つだけでなく、ゴムの一体成形により安価に形成できるので、使い捨てなどの医用機器等への応用が期待できる。われわれは、ゴム製マイクロソフトメカニズム研究遂行の過程で、ゴムの表面に微細な形状を形成することにより、種々の機能が発現するいくつかの現象に接した。そのメカニズム、設計方法、加工方法を追求することにより、種々の機能性ゴムを実現できると確信した。

2. 研究の目的

ゴムなどの柔らかい材料を用いたソフトメカニズムにおいて、ゴムの表面にサブmm~数 μm 程度の微細な構造物を形成することにより、様々な機能的な物理特性をもたせることができる。本研究はこの大きな可能性に注目して、①ゴム表面への微細構造形成技術、②微細構造がゴム表面に与える特性に関する基礎的研究、③これらのソフトロボットへの応用研究をあわせて進める。

本研究で具体的に実現を目指したのは、①可変型光回折格子、②ゴム表面の撥/親水性制御、③超低摩擦/吸着の3つの機能/デバイスである。

3. 研究の方法

3つの機能/デバイスごとにそれぞれについて説明する。

(1) 可変型光回折格子

表面に数~数 $10\mu\text{m}$ 程度の大きさの溝構造を持つゴムを成形することにより、きれいな光回折現象を実現できる。我々が着目したのは、ゴムを変形させることにより、その回折パターンが変化することである。回折パターンの変化を検出することにより、例えば数 $100\mu\text{m}$ 以下のマイクロ変位/力センサや、ゴム製メカニズムの変位/力センサ(ゴムの構造体に一体成型)の実現を目標にした。

(2) 撥/親水性制御

ゴム表面に微細な構造を作り込むことにより、表面の撥/親水性が大きく変化する。ソフトマイクロフィンガでは把持した物体を放す際に、表面力の作用により対象物がフィンガの表面から離れないケースが多々ある。この成果は例えばこのようなケースで指先の表面力をコントロールする技術として大きな可能性がある。

(3) 摩擦制御

従来の受動歩行ロボットの研究は、動的にリンク機構が振動運動しながら動作するものであった。本研究では、ゴムの周期的な変形(立脚時の後方への蹴り動作とともに弾性エネルギーが脚に蓄積され、遊脚時にその弾性エネルギーが解放されて前方への脚振り上げ動作が行える)を静的な力バランスにより実現する可能性を検討する。また、マイクロ吸盤を集積することで、さまざまな凸凹面に吸着可能な(すなわち、摩擦係数の大きな)ゴム面を作ることを目指す。

4. 研究成果

(1) 可変型光回折格子

ゴム表面に回折格子を形成するために、格子間隔が 1000本/mm と 500本/mm 、溝深さが約 300nm の型を用いた。ロボットを形成する金型表面に、上記の回折格子を形成し、液状のシリコンゴムに転写した。

図1に、観察用として平板のゴム板の表面に形成した回折格子状の微小構造体を示す。約 300nm の高さの構造が良好に転写されていることが分かる。

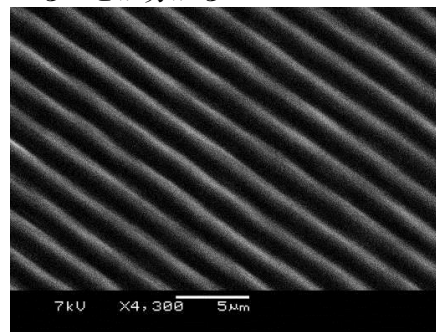


図1 ゴム製ロボットの表面に形成した微小構造体の一例

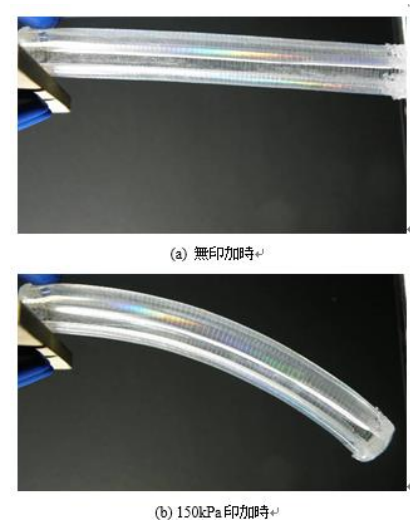


図2 FMAの表面に形成した例。FMAの屈曲にあわせて発色状態が変化する。

これを **FMA**(フレキシブルマイクロアクチュエータ)の表面に形成し、動作させた結果の一例を図2に示す。FMAの屈曲に合わせて色のパターンが変化することを確認した。

(2) 撥/親水性制御

ゴム微細表面構造の変形に伴う濡れ性の変化を実現させることを目指した。まず、シリコンゴム製のシートを作り、水滴の接触角を測定した。図3に示すようにシートは、ダンベル方をしており、両端をゴム引っ張り試験機を使って伸展することができる。ダンベルシートの中央部にはピラー構造のマイクロ構造体が形成されており、ここに水滴を落として、その接触角の変化を観察した。

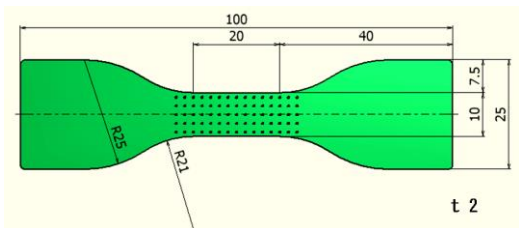


図3 試験片全体図

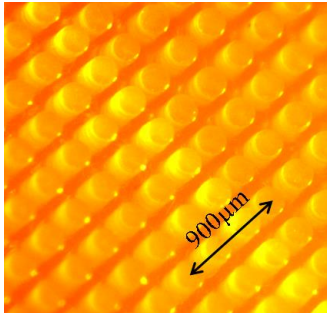


図4 マイクロ構造(直径 $200[\mu\text{m}]$ 、高さ $200[\mu\text{m}]$)の円柱配列

伸びが $0[\text{mm}]$ のときに水滴を滴下し、試験片を $10[\text{mm}]$ ずつ伸ばしていったときの微細構造と水滴の様子を図5に示す。試験片の伸びに応じて円柱のピッチが広がっていき、水滴の端部が円柱間で飛び移りを起こしている現象を確認できた。

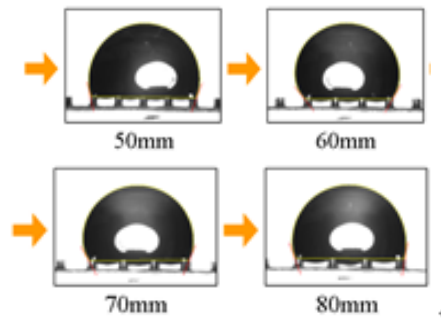
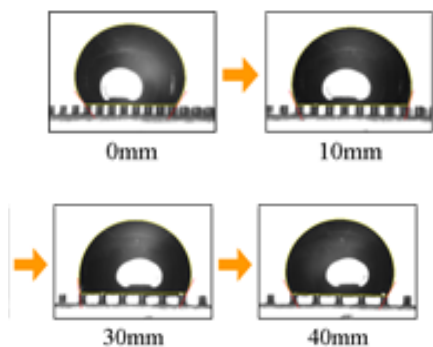


図5 ゴム片変形に伴う巨視的な接触角の変化、ならびに飛び移り現象

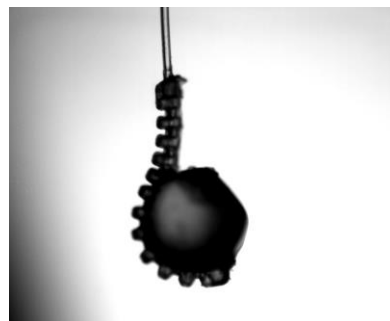
また、巨視的に見ればゴム伸張に伴って接触角が変化し、撥水性→親水性に傾向が傾くことが分かる。

従来より、ゴム製マイクロフィンガで微小物をハンドリングする際、ものを離すときにスムーズに離れず、安定したハンドリングができない欠点があった。そこで、マイクロフィンガの先に微細構造を形成する実験を行った。

実験に用いたのは直径 2mm の蛇腹型湾曲ロボットフィンガである。イクラを握った状態(図6(a))から離そうとすると、表面に微細構造を持たない場合は、グリッパとイクラの間に働く表面張力によりスムーズに話すことができない(図6(b))が、表面に微細構造(図7)を形成したものは、きわめてスムーズに離すことができる。



(a) イクラを握った状態



(b) 微細構造がないとスムーズに離れない



(c) 微細構造があると簡単に離れていく(この写真の直後きれいに離れる)

図6 マイクロロボットフィンガへの適用実験

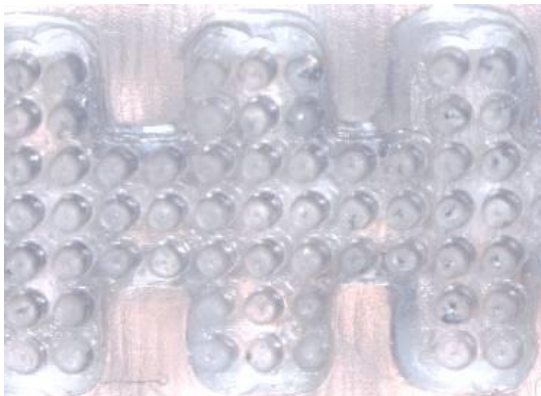


図7 形成した微細構造(直径200 μm ピッチ400 μm ピラー)

(3) 摩擦制御

マイクロ受動脚を用いた低摩擦ゴム表面の実現と、マイクロ吸盤を用いた高摩擦ゴム表面の実現について、順に説明する。

①マイクロ受動脚を用いた低摩擦ゴム表面の実現

受動歩行を行う微小な脚を集積することで、巨視的には摩擦の少ないゴム表面ができる。図8は試作した受動歩行脚の一例で、太さ1mmの脚を120本持つシリコンゴム製の多脚体である。坂道を下る実験では、受動歩行が確認され、脚がない場合に比べてはるかに小さい傾斜角で動作をすることが確認された(図9)。

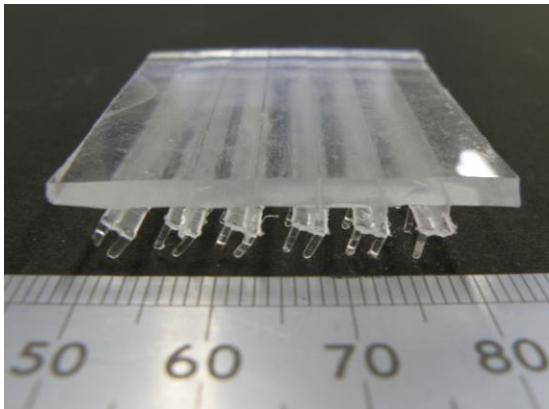


図8 試作したマイクロ受動歩行脚の一例

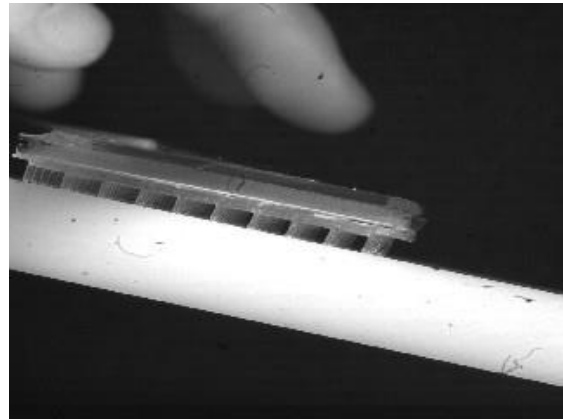
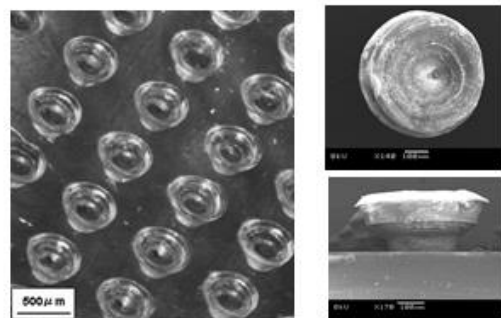


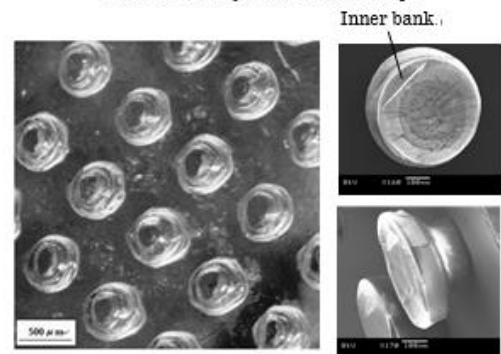
図9 坂道を下る受動歩行の実験

②マイクロ吸盤を集積したゴム表面の実現
マイクロ吸盤を集積することで、段差や曲面に対しても吸着力を持つゴム表面が形成できる。

図10は試作の一例で、外径0.5mmの吸盤が集積されている。曲率20mmの曲面や段差1mmの平板でも安定した吸着が可能である。(a)は対称形状の吸盤だが、(b)は非対称形状を有し、吸着力に異方性がある。これはロボットの足裏に利用した場合に、設脚状態から遊脚に移行する際に有用な特性となる。



(a)Skin A with symmetric suction cups¹⁾



(b)Skin B with asymmetric suction cups¹⁾

図10 マイクロ集積吸盤

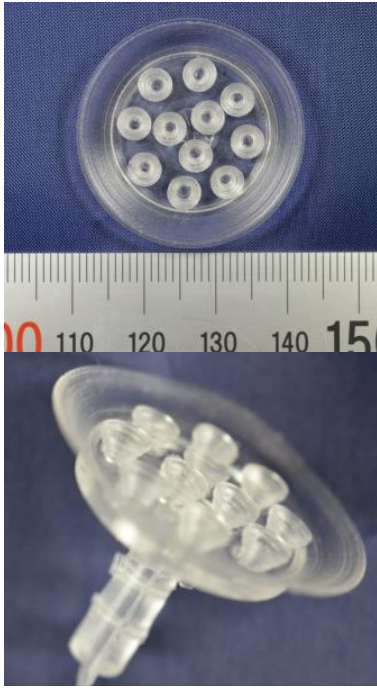


図 11 cups in cup

吸盤吸着は、吸盤の大きさに比べて、非常に小さい荒さを持つ壁面か、逆に非常に大きなうねり(あるいは段差)をもつ壁面に対して働くことが研究の結果分かった。これに基づいて生まれたアイデアが cups in cup 構造である。すなわち大きな吸盤の中に小さな吸盤が多数ある構造である(図 11)。実験の結果、この吸盤は、30 ミクロン以下の荒さをもつ壁に対しても、1mm 以下の段差を持つ壁に対しても、安定して吸着できることが示された。

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4件)

- ① 眞鍋諒一、鈴森康一、脇元修一、マイクロ吸盤の集積による吸着性柔軟ロボットスキン、日本ロボット学会誌、査読有、Vol.31, No.1、2013、pp.98-106.
- ② Shuichi Wakimoto , Koichi Suzumori and Keiko Ogura Miniature Pneumatic Curling Rubber Actuator Generating Bidirectional Motion with One Air-Supply Tube, Advanced Robotics, 査読有, 25-9-10, 2011, pp. 1311-1330.
- ④ Koichi Suzumori, Fumitaka Saito, Micro Rubber Structures for Passive Walking, Journal of Robotics and Mechatronics, 査読有、Vol.22、2010、pp167-172、pp.953-960.
- ⑤ 齊藤文孝、鈴森康一、マイクロ受動脚による低摩擦ラバー構造体の実現、日本ロボット学会誌、査読有、Vol.28、2010、

pp.953-960.

[学会発表] (計 27 件)

- ① 菱川ほか、形状適応性を持つ集積型マイクロ吸盤の研究、日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会、2014年5月25日、富山。
- ② Ryoichi MANABE ほか、Robot Skin with Integrated Micro Rubber Suction Cups Adhering Rough Surfaces, 2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS2013), 2013年11月3日、Tokyo.
- ③ 森重佳久ほか、ゴム微細表面構造の変形に伴う接触角変化の測定、日本機械学会 2013年度年次大会、2013年9月8日、岡山。pp. 4052-4057, Nov. 2013.)
- ④ Kurumi Yagi, Development and fundamental experiments of occlusal sound detecting device using soft suction cups, Mechatronics and Machine Vision in Practice (M2VIP2012), November 28, 2012, Auckland, New Zealand
- ⑤ Masaki Mihara, Development and Fundamental Experiments of Rubber Structural Color Sheet with Multi Grating Patterns, IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM2012), Taiwan
- ⑥ Ryoichi MANABE, A Functional Adhesive Robot Skin with Integrated Micro Rubber Suction Cups, IEEE International conference on robotics and automation, May 14, 2012, St. Paul, MN, USA
- ⑦ Koichi Suzumori, Masaki Mihara, Shuichi Wakimoto Beautiful Flexible Microactuator Changing its Structural Color with Variable Pitch Grating, IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA2011) May 11, 2011, 上海
発表者(代表)名、発表標題、学会等名、発表年月日、発表場所を記入すること。

[図書] (計 3 件)

- ① 鈴森康一、講談社、ロボットはなぜ生き物に似てしまうのか、2012、151-169.
- ② 日本ロボット学会編、オーム社、ロボットテクノロジー、2011
- ③ 岡山大学アクチュエータ研究センター編、産業図書株式会社、アクチュエータが未来を創る、2011.

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称：歯科診断装置および歯科診断用プローブ

発明者：皆木省吾，沖和広，熊崎洋平，脇元修一，鈴木康一，八木くるみ
権利者：岡山大学
種類：特願
番号：2012-084339
出願年月日：2012.4.2
国内外の別：国内

〔その他〕

岡山大学システム構成学研究室 HP
<http://www.act.sys.okayama-u.ac.jp/>

6. 研究組織

(1)研究代表者

鈴木 康一 (SUZUMORI KOICHI)
岡山大学・大学院自然科学研究科・教授
研究者番号：00333451

(2)研究分担者

脇元 修一 (WAKIMOTO SHUICHI)
岡山大学・大学院自然科学研究科・准教授
研究者番号：40452560