

令和 2 年 4 月 30 日現在

機関番号：82626

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2017～2019

課題番号：17K18862

研究課題名（和文）可変シワ構造による表面摩擦機能の拡張

研究課題名（英文）Extension of tribological functions using shape tunable wrinkles

研究代表者

大園 拓哉（Ohzono, Takuya）

国立研究開発法人産業技術総合研究所・エレクトロニクス・製造領域・主任研究員

研究者番号：40344030

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、摩擦に関わるソフトマテリアル部材に係り、摩擦に関わる界面上に凹凸構造を可逆的に発生させることで、摩擦力を大きくかつ必要な時に変化させる、という新しい技術拡張のコンセプトの実証を目的として、ゴムと織布の複合摩擦制御表面材の実用に向けた大面積化法の確立、自発変形ゴム材、織布、硬質ビーズ等からなる複数の新規摩擦可変複合材の提案を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本成果は、摩擦に関わる界面上に凹凸構造を可逆的に発生させることで、摩擦力を大きくかつ必要な時に変化させる、という新しい技術拡張のコンセプトを、その技術的な応用展開に繋がる形で実証している。より具体的に本成果は、ロボットハンドやスマート触感インターフェース、搬送技術、一時接着技術等への応用が可能であり、実応用にむけての更なる技術の先鋭化が見込まれる。

研究成果の概要（英文）：To demonstrate our new proposed concept, "on-demand frictional interfaces", in which the microtopography of the surface is dynamically modulated to increase/reduce the interfacial contacts, we have developed a method to produce a shape-tunable textile-elastomer composite with a large area toward various applications, a new composite based on the stimuli responsive elastomer for surface deformation, and a new simple composite of glass beads, and an elastomer for dynamic adhesion.

研究分野：機能性ソフトマター

キーワード：トライボロジー 表面構造 摩擦 付着 可変構造 ゴム コンポジット 織布

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

1. 研究開始当初の背景

摩擦は、機械工学から日常生活品に至る様々な場面で重要な物理現象であり、個々の目的に応じて適正な摩擦力となるよう工夫されている。例として人が握るグリップ等の表面では、握力（垂直抗力）と摩擦力の関係が重要で、その関係に大きく影響する表面材料の物性である凹凸構造・硬さ・化学的材質が最適化されている。さらに、耐久性への要求や作製コストの低減、意匠性等の諸条件が加味された上で、グリップの場合には程よく凹凸加工されたゴムや樹脂等が用いられる。例えば、少しの握力でも貼り付くような大きな静止摩擦力を生むには、引掛かりのある凹凸構造や柔らかく粘り気のある材料が好適であるが、この場合、不要なベタ付き感があるかもしれない。一方、ツルツル/サラサラ感のある硬めの材料を用いればグリップ力が落ちるため、より強く握る必要があるだろう。実際には適度な性能を実現する表面構造と材料が、勘と経験に頼った最適化を経て使われている場合が多い。ここで着目する点は、上記の物性は使用中でも能動的には変わらずに静的であり、垂直抗力のみが摩擦を変えるパラメーターである。例えば表面テクスチャはリソグラフィによって作成された例がトライボロジーで良く研究されているが、その形が積極的に変わる例は殆ど無かった。

2. 研究の目的

そこで摩擦力を変える(制御する)新たなコンセプトとして、可変シワ構造(大園等 Phys. Rev. B 2004)を利用し、上記物性中の従来静的な凹凸構造の変化で摩擦を変える案を提唱してきた。シワ構造は、硬い表面層を有するゴム等の弾性体への圧縮ひずみ印加で自己組織的に発生し、ひずみに応じて凹凸構造の発生を制御できるため、摩擦力の変化を誘起できることが示されていた。よって、本研究では、このコンセプト(=摩擦界面の一方の表面上に凹凸構造を可逆的に発生させることで、摩擦力を大きくかつ必要な時に変化させる)の一般性と実用化へ向けた応用可能性の検討と実証を目的とした。

3. 研究の方法

(1) 第1に、研究開始前までに提案していた、摩擦を変えられる、織布とゴムの複合表面部材についてその多方面への応用性を実証するために、その部材の大型化のプロセスを検討し、平行し、その摩擦等のトライボロジー評価を行う。(2) 第2に、上記の摩擦可変のコンセプトを実証するその他の複合部材系の複数提案とそれらの基礎性能の評価を行う。

4. 研究成果

(1) これまでに開発していた、織布をゴム表面に埋め込んで作製した摩擦可変表面部材について、その多様な実用化に向けてはその初期評価のためにさえ大面積化が必要である。しかし、これまでに報告した、数センチ角の面積に対応できる作製方法をそのまま大面積(10センチ角程度以上)に適応すると、次の問題が発生することが分かった。

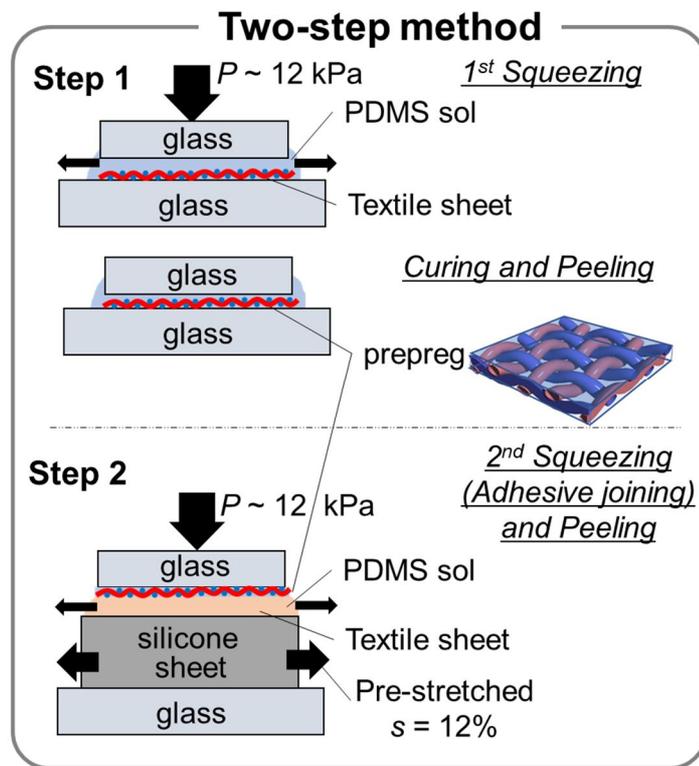


図1 摩擦可変複合材の大面積化を可能とする
2段階作製法

織布に含浸する未硬化ゴムの粘度が高いため、圧縮によってその余剰分を排出することが、面積が大きくなると困難になるという問題である。その解決のため、作成方法を2段階に分けることを検討し、10センチ角以上の試料の作製に成功した(図1)。柔らかい基板で粘性流体を排出することが難しいことを理論的にも確認し、より硬い基板を用いて、圧縮し、未硬化ゴム流体を排出することで、排出状態が均一な大面積試料が作成できた。この手法によると、曲面基板にも摩擦可変構造形成が作成できる利点もあることも分かった。

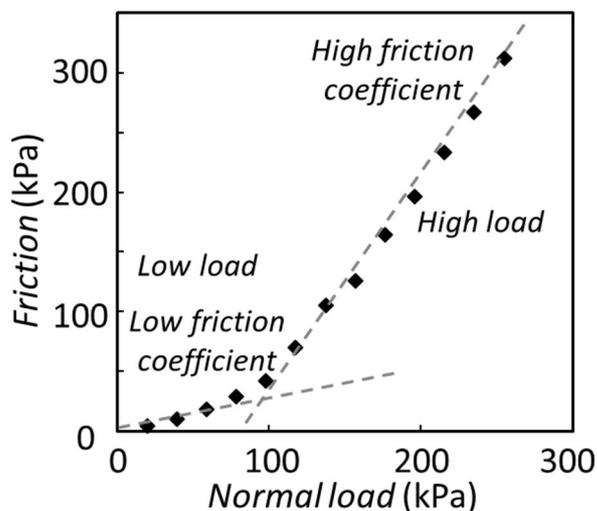


図2 摩擦可変複合材の高荷重での凹凸構造の潰れによる摩擦係数の増加

さらに、この摩擦可変部材について、その荷重が大きい場合の摩擦挙動が不明であったため、詳細に調査した。その結果、凹凸構造のあるシワ状態では、低荷重ではガラス表面との摩擦係数が0.1から0.3と低いのにに対し、高荷重になると1近く(使用したゴム飲みの場合と同程度)にまで増える挙動を確認した(図2)。この原因は、凹凸構造が垂直荷重により潰されて平坦になる結果、接触面積が増加することによることを顕微鏡観察で明らかにした。この挙動は、摩擦係数が荷重に大きく依存する新しい機能として、ゴム部材の摩擦機能を拡張できるものであることを示す。例えば、握り具合に応じてグリップ性や触感が変わる機能として活用できる。

(2) これまで開発していた凹凸可変表面の概念を一般的に発展させ、ゴムと硬い微粒子を組み合わせて作製した、新しい表面形状可変部材を提案し、その形状変化により付着力を制御できることを見出した。付着の変化により、摩擦力も変化することが見込まれる結果である。この部材は、微粒子をゴム表面に埋め込んだだけの構造であり作製が簡単であり、部材に延伸ひずみを加えるだけで、凹凸が可逆的に発生する(図3)。この系は、これまでの開発した織布とゴムの複合材と合わせて、ゴム部材のトライボロジー機能を拡張できる新しい部材として期待できる。

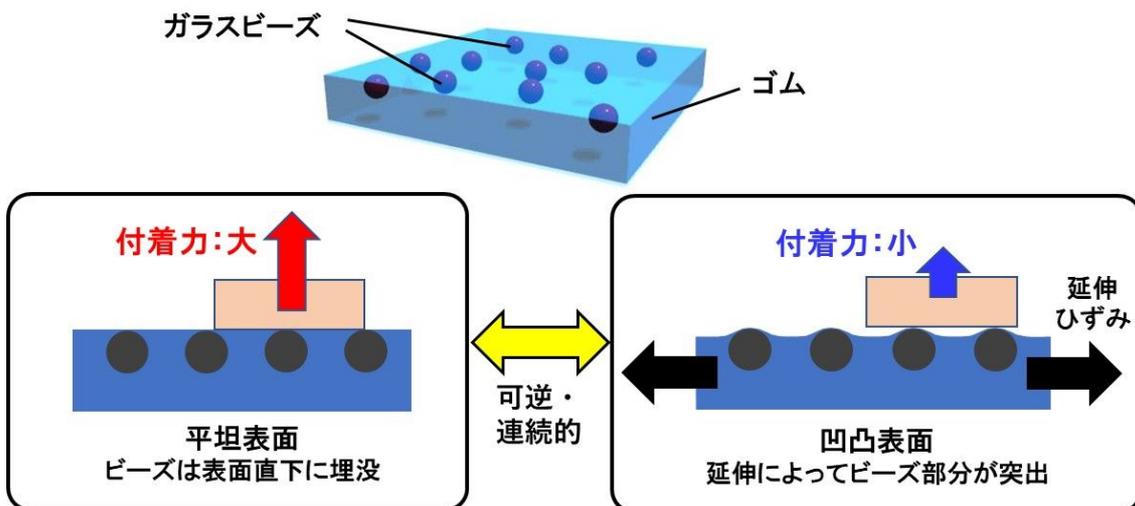


図3 ガラスビーズとゴムの複合材表面の延伸誘起凹凸とそれによる付着力の変化

さらに、織布と液晶エラストマーを組み合わせることで、液晶エラストマーの温度誘起形状変化に応じて、接触界面の変化を生みだせる系を開発し、その摩擦可変特性を実証した。この新部材では、温度によって形状が変化するエラストマー部材を織布のメッシュ部分に施工し、温度の変化に応じて対抗面との接触のオン・オフが可能となり、結果として付着由来の摩擦力の変化を生じさせることができる。

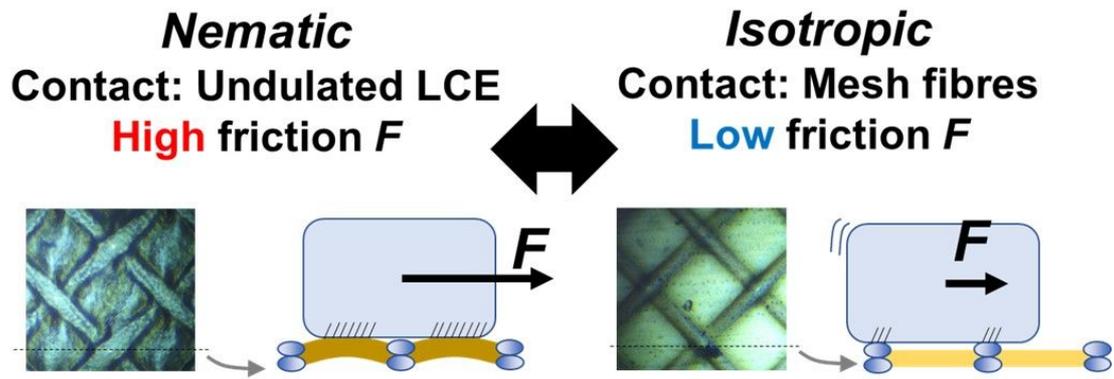


図4 織布と液晶エラストマーを組み合わせによる温度応答凹凸変化部材とそれによる摩擦力の変化の概略図

科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計8件（うち査読付論文 4件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 4件）

1. 著者名 Ohzono Takuya, Saed Mohand O., Yue Youfeng, Norikane Yasuo, Terentjev Eugene M.	4. 巻 7
2. 論文標題 Dynamic Manipulation of Friction in Smart Textile Composites of Liquid Crystal Elastomers	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Advanced Materials Interfaces	6. 最初と最後の頁 1901996 ~ 1901996
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) https://doi.org/10.1002/admi.201901996	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 該当する

1. 著者名 寺岡 啓、大園拓哉	4. 巻 19
2. 論文標題 摩擦機能や光学特性を拡張する可変な凹凸表面の技術開発・設計とその様々な応用展開の可能性～第1報 本技術の概要と摩擦カコントロール機能について～	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Stage	6. 最初と最後の頁 63-65
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 寺岡 啓、大園拓哉	4. 巻 19
2. 論文標題 摩擦機能や光学特性を拡張する可変な凹凸表面の技術開発・設計とその様々な応用展開の可能性～第2報 光学特性および濡れ性コントロール機能について～	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Stage	6. 最初と最後の頁 51-52
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 寺岡 啓、大園拓哉	4. 巻 19
2. 論文標題 摩擦機能や光学特性を拡張する可変な凹凸表面の技術開発・設計とその様々な応用展開の可能性～第3報 本技術の利用イメージについて～	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Materials Stage	6. 最初と最後の頁 51-53
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 T. Ohzono, K. Teraoka	4. 巻 5
2. 論文標題 A two-step method for fabricating large-area textile-embedded elastomers for tunable friction	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Royal Society Open Science	6. 最初と最後の頁 181169
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) rsos.181169	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohzono T., Teraoka K.	4. 巻 91
2. 論文標題 可変なシワによるトライボロジー機能の拡張	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 日本ゴム協会	6. 最初と最後の頁 358-362
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) なし	査読の有無 無
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 -

1. 著者名 T. Ohzono, K. Teraoka	4. 巻 7
2. 論文標題 Unique load dependency of static friction of wrinkles formed on textile-embedded elastomer surfaces	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 AIP Advances	6. 最初と最後の頁 055309 ~ 055309
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1063/1.4983800	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

1. 著者名 Ohzono T., Teraoka K.	4. 巻 13
2. 論文標題 Switchable bumps of a bead-embedded elastomer surface with variable adhesion	5. 発行年 2017年
3. 雑誌名 Soft Matter	6. 最初と最後の頁 9082 ~ 9086
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1039/C7SM02048A	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている (また、その予定である)	国際共著 -

〔学会発表〕 計6件（うち招待講演 5件 / うち国際学会 0件）

1. 発表者名 大園拓哉
2. 発表標題 可変な凹凸構造やバルク性質による表面機能の拡張
3. 学会等名 第33期CMMフォーラム 本例会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大園拓哉、寺岡 啓
2. 発表標題 可変な凹凸構造を活用したトライボロジー機能の拡張
3. 学会等名 トライボロジー学会 研究会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大園拓哉
2. 発表標題 ゴムを基材とする可変な凹凸による表面機能拡張
3. 学会等名 第50回エラストマーの補強研究分科会（招待講演）
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 大園拓哉 寺岡啓
2. 発表標題 延伸により付着力を変えられるゴム基材
3. 学会等名 第67回高分子討論会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大園拓哉
2. 発表標題 摩擦・付着制御のためのゴム 織布複合材のデザイン
3. 学会等名 日本機械学会 柔軟媒体ハンドリング技術及び応用プロセスに関する調査研究分科会（招待講演）
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 大園拓哉 寺岡啓
2. 発表標題 ビーズ埋め込みゴムシートの凹凸可変性と付着力制御能
3. 学会等名 ゴム協会2018年年次大会研究発表会
4. 発表年 2018年

〔図書〕 計1件

1. 著者名 多数（大園拓哉、寺岡啓）	4. 発行年 2020年
2. 出版社 技術情報協会	5. 総ページ数 450
3. 書名 高分子材料のトライボロジー制御	

〔出願〕 計3件

産業財産権の名称 凹凸表面の可変制御方法及び可変凹凸表面を有するシート体	発明者 大園拓哉、ユエユウ フン、則包恭央	権利者 産業技術総合研 究所
産業財産権の種類、番号 特許、2019-197726	出願年 2019年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 表面構造が変化する複合部材の大型化の方法	発明者 大園拓哉 寺岡啓	権利者 産業技術総合研 究所
産業財産権の種類、番号 特許、特願2018-126215	出願年 2018年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 物体保持構造体及び物体保持方法	発明者 大園拓哉 寺岡啓	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2017-167264	出願年 2017年	国内・外国の別 国内

〔取得〕 計0件

〔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	寺岡 啓 (Teraoka Kay) (00357542)	国立研究開発法人産業技術総合研究所・情報・人間工学領域・主任研究員 (82626)	