

令和 3 年 5 月 7 日現在

機関番号：13301

研究種目：挑戦的研究（萌芽）

研究期間：2018～2020

課題番号：18K18831

研究課題名（和文）汗・指紋制御に基づく極小把持力把持術の開拓

研究課題名（英文）Development of Grasping Technique with Small Force by Controlling Sweat and Fingerprints

研究代表者

渡辺 哲陽（Watanabe, Tetsuyou）

金沢大学・フロンティア工学系・教授

研究者番号：80363125

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,800,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、表面のテクスチャや液膜を上手く活用して、表面摩擦を操ることで、物体把持・操りを実現する新しい物体把持・操作の方法論の確立に挑んだ。まず、乾潤両状態で高摩擦を与えるテクスチャと、潤滑作用を有する液体を表面に滲出する機構により、表面摩擦を変える機構を開発した。この機構を搭載したロボットハンドを開発し、液体滲出による精密物体配置の実現や物体をもつ位置を変えるインハンド操作の実現を行った。柔らかい材料の場合、接触面積の大小が摩擦の大小に対応することを踏まえ、接触面積（テクスチャ）を変えることで摩擦を変える機構を開発した。この機構を搭載したロボットハンドによるチューブ操作の実現を行った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

ロボットが扱う対象は“乾燥”していることが暗黙の前提であったが、実際には、食品、台所用品、工業用部品、臓器など液体にまみれている物体も数多く存在する。本研究で確立した、濡れていても乾いていても摩擦を自在に変えながら物体をハンドリング・マニピュレーションの基礎技術を応用することで、これまでロボットでは扱えなかった対象が扱える可能性が生まれた。今後、摩擦制御方法ならびにそれを用いた物体ハンドリング・マニピュレーション技術をさらにより高度化することで、人の生活の近くで人の作業を代替・サポートするロボットの基盤技術となることが期待される。

研究成果の概要（英文）：In this study, we attempted to establish a new methodology for object grasping and manipulation by manipulating the surface friction, utilizing the surface texture and liquid film. First, we developed a mechanism to change the surface friction by using a texture that gives high friction in both dry and wet conditions, and a mechanism that exudes a liquid with lubricating effect on the surface. We developed a robot hand equipped with this mechanism, and realized precise object placement and in-hand manipulation to change the holding position of an object by liquid exudation. In the case of soft materials, the size of the contact area corresponds to the size of the friction, and thus we developed a mechanism to change the friction by changing the contact area (texture). The robot hand equipped with this mechanism was used to manipulate tubes.

研究分野：ロボット工学

キーワード：摩擦可変 表面テクスチャ ロボットハンド

1. 研究開始当初の背景

ロボットが扱う対象は“乾燥”していることが暗黙の前提であったが、実際には、食品、台所用品、工業用部品、臓器など液体にまみれている物体も数多く存在する。そこで、濡れていても乾燥していても安定把持が可能なシステムを目指し、ロボットハンド用皮膚テクスチャを開発した。そこで得られた主な知見を下記に示す。

- 1) 凹凸の凹部のような排水する部分がないと摩擦がほぼ効かない。
- 2) 液膜が薄いほど摩擦が高くなる。
- 3) 各凸部が流れ(摺動)方向に関して小さいと摩擦は大きい、小さすぎると曲げ変形の影響を受け、逆に摩擦は小さくなる。
- 4) 乾燥状態では、接触表面積が大きいほど摩擦が大きい。
- 5) 液量が少ない場合、対象物体への凝着現象が見られる(表面張力が機能)。
- 6) 凹凸構造によっては乾燥状態より濡れた状態の方が摩擦は高くなる。

以上の知見は「表面のテクスチャや液膜を変えれば、表面摩擦が変わる」こと、また、5、6の知見から「濡れた表面の方が、乾燥状態よりも大きな摩擦が得られ、小さな把持力で物体を把持できる可能性がある」ことを示唆している。

2. 研究の目的

以上の知見をもとに、本研究では、表面のテクスチャや液膜を上手く活用して、表面摩擦を操ることで、従来よりも小さな把持力で物体把持・放出を実現する新しい物体把持の方法論の確立にトライする。そのため、まず、汗の量やテクスチャなど制御して、指表面に形成される液膜の量・性質・流れや接触領域(凹凸などのテクスチャ)を制御できる機構を開発することを目的とする。次いでその汗やテクスチャの制御により表面摩擦を制御する技術の確立に挑む。以上の摩擦制御機構を備えたロボットハンドを開発し、摩擦制御機構を活用した物体ハンドリング・マニピュレーション技術の確立に挑む。

3. 研究の方法

上記目標を達成するため、下記の4項目の内容について研究を行った。

- 1) 液体滲出による摩擦可変機構の開発: 先の知見に基づき、人でいうところの汗に相当するような摩擦を変えることができる液体を表面から滲出できるような機構を開発する。
- 2) テクスチャ可変による摩擦可変機構の開発: 特に柔らかい材料で表面を構成する場合、摩擦は見かけの接触面積の大きさに応じて増減する。これを活用して接触面積を変えることで摩擦を変える機構を構築する。
- 3) 摩擦可変機構を有するロボットハンドの開発: 以上の摩擦可変機構を組み込んだロボットハンドの開発を行う。
- 4) 摩擦可変機構を有するロボットハンドによる物体ハンドリング・マニピュレーション手法の開発: 実際に摩擦可変機構を組み込んだロボットハンドで物体のハンドリングやマニピュレーションを行うためには、摩擦を変えるタイミングを考慮した手法の確立が必要である。この手法の確立を目指す。

4. 研究成果

1) 液体滲出による摩擦可変機構の開発

安定した物体把持のためには、ロボットハンド表面が滑りにくいことが重要である。シリコンなどの柔軟素材は、滑りにくさと物体へのなじみやすさから高い安定性を実現可能なため、表面やハンド自体の素材として使用されることが多い。しかし、狭い隙間に手を挿入するなどの場面では、滑りにくい表面はスムーズな動作の妨げとなる。滑りやすくスムーズなぞり動作が可能な表面を持つハンドもまた必要とされている。そこで、濡れていても乾燥していても高摩擦を得られる表面構造(テクスチャ)と、潤滑作用を利用した摩擦低減機構を組み合わせ、能動的に摩擦を低減できる流体指を開発した。その有効性はアクリル、ガラス、シリコン、セラミック、ステンレス上において確認した。次いで流体指では、剛性が低いため、つかむ対象が限られてしまうことを踏まえ、本体がシリコンゴムで作成された指を新たに開発した。潤滑剤を滲出させる機能を付加するため、指中央部にチューブを通した。シリコンゴムの座屈現象を活用して指の関節にあたる部分を構築した。以上の構成により一体型の指を実現した。指の開閉は、指側面部にワイヤーを添わせて、ワイヤーをけん引することで実現した。指の腹と背に昨年度開発した乾潤両状態で高摩擦を得られる表面構造(テクスチャ)を張り、中央の流路を辿って潤滑材が指先端から出る構造にすることで、摩擦低減機構を作用させた。高摩擦と低摩擦が実際に実現できるかについて実験により検証を行い、その有効性を確かめた。

2) テクスチャ可変による摩擦可変機構の開発

柔らかい材料で表面を構成する場合、摩擦は見かけの接触面積の大きさに応じて増減する。これを活用して接触面積を変えることで摩擦を変える機構を構築した。押し付け量や力が小さいときは点・線接触、押し付け量や力が大きいときは面接触となるようなテクスチャを開発し、接触面積の違いにより受動的に摩擦を変えることができる機構を開発した。摩擦係数に相当する最大発生可能な接線力を押し付け力で除した値では、低摩擦状態に比べて高摩擦状態では2倍以上の摩擦を得ることに成功した。また、この面積の変化をカメラで計測することで摩擦変化を検知できるシステムを構築した。

3) 摩擦可変機構を有するロボットハンドの開発：以上の摩擦可変機構を組み込んだロボットハンドの開発を行う。

液体滲出機構をベースとした摩擦可変機構を有する流体指を有するロボットグリッパ、液体滲出機構をベースとした摩擦可変機構を有するシリコーン型腱駆動指を有する三本指ロボットハンド、テクスチャ可変機構を有するロボットグリッパの開発を行った。

4) 摩擦可変機構を有するロボットハンドによる物体ハンドリング・マニピュレーション手法の開発：

液体滲出機構をベースとした摩擦可変機構を有する流体指を有するロボットグリッパでは、物体ハンドリング時には高摩擦モード、物体リリース時には低摩擦モードとすることで、グリッパの開閉幅を変えずに物体を設置することに成功した。これにより精密な物体配置を実現した。液体滲出機構をベースとした摩擦可変機構を有するシリコーン型腱駆動指を有する三本指ロボットハンドでは、テニスボール、スナックの入った袋、ケーブル、ペン、紙箱、ペットボトル、ワイングラス、泡立て器などの調理器具のハンドリングに成功した。また、液体滲出により表面摩擦を変えることで、物体をもつ位置を変えるインハンドマニピュレーションの実現も実施した。テクスチャ可変機構を有するロボットグリッパでは、チューブを円柱にまきつける操作を実現した。内蔵のカメラで摩擦状態をセンシングすることで、チューブをもつ位置を変えたいときは低摩擦モードに、保持してチューブを動かしたいときは高摩擦モードにすることで、チューブを円柱にまきつける操作の実現を行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 5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 Mizushima Kaori, Suzuki Yosuke, Tsuji Tokuo, Watanabe Tetsuyou	4. 巻 33
2. 論文標題 Deformable fingertip with a friction reduction system based on lubricating effect for smooth operation under both dry and wet conditions	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Advanced Robotics	6. 最初と最後の頁 508 ~ 519
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1080/01691864.2019.1608299	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 -
1. 著者名 Nojiri Seita, Mizushima Kaori, Suzuki Yosuke, Tsuji Tokuo, Watanabe Tetsuyou	4. 巻 -
2. 論文標題 Development of Contact Area Variable Surface for Manipulation Requiring Sliding	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)	6. 最初と最後の頁 131-136
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROBOSOFT.2019.8722754	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 -
1. 著者名 Mizushima Kaori, Oku Takumi, Suzuki Yosuke, Tsuji Tokuo, Watanabe Tetsuyou	4. 巻 1
2. 論文標題 Multi-fingered robotic hand based on hybrid mechanism of tendon-driven and jamming transition	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)	6. 最初と最後の頁 376 - 381
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/ROBOSOFT.2018.8404948	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 -
1. 著者名 Watanabe Tetsuyou, Yamazaki Kimitoshi, Yokokohji Yasuyoshi	4. 巻 36
2. 論文標題 Survey of Robotic Manipulation Studies Intending Practical Applications in Real Environments	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 338 ~ 347
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.36.338	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 -

1. 著者名 Watanabe Tetsuyou	4. 巻 37
2. 論文標題 Manipulation with Soft Robotic Hands	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 Journal of the Robotics Society of Japan	6. 最初と最後の頁 30 ~ 33
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.7210/jrsj.37.30	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 Nojiri Seita, Yamaguchi Akihiko, Suzuki Yosuke, Tsuji Tokuo, Watanabe Tetsuyou	4. 巻 -
2. 論文標題 Sensing and Control of Friction Mode for Contact Area Variable Surfaces (Friction-variable Surface Structure)	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft)	6. 最初と最後の頁 215-222
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/robosoft48309.2020.9116019	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7件 (うち招待講演 2件 / うち国際学会 1件)

1. 発表者名 野尻 晴太, 山口 明彦 (東北大学), 水島 歌織, 鈴木 陽介, 辻 徳生
2. 発表標題 滑りを伴う物体操作のための接触面積可変機構のメカニズムと接触面センシング
3. 学会等名 JSMEロボティクスメカトロニクス2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 清水 健介, 水島歌織, 鈴木陽介, 辻徳生
2. 発表標題 乾潤いずれの状態でも摩擦可変な表面をもつ柔軟ロボット指の開発
3. 学会等名 第20回システムインテグレーション部門講演会 (SI2020)
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 Tetsuyou Watanabe
2. 発表標題 Friction design for deformable fingertips under both dry and wet conditions
3. 学会等名 Italian Institute of Technology (招待講演)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 Tetsuyou Watanabe
2. 発表標題 Delicate grasping by highly deformable fingertips
3. 学会等名 IEEE International Conference on Soft Robotics (RoboSoft) Workshop: Soft haptics: what has been done and what can be done (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2018年

1. 発表者名 清水 健介, 水島 歌織, 鈴木 陽介, 辻 徳生, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 摩擦制御可能な表面をもつロボットハンドの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 竹下 幸来, 水島 歌織, 鈴木 陽介, 辻 徳生, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 食器ハンドリング用グリッパの開発
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 野尻 晴太, 山口 明彦, 鈴木 陽介, 辻 徳生, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 摩擦モードを推定可能な表面摩擦制御機構の開発と性能評価
3. 学会等名 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>A friction reduction system https://techxplore.com/news/2019-05-friction-reduction-deformable-robotic-fingertips.html 物体をつかんだロボットの指先を動かすことなく物体を放す制御方法を開発 https://www.kanazawa-u.ac.jp/rd/69209 Robot control system https://www.kanazawa-u.ac.jp/latest-research/69210 IEEE Video Friday https://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/robotics-hardware/video-friday-atlas-jogging-driveai-launch-ocado-robotic-warehouse 把持物を滑らせ放すロボハンド 金沢大が開発 https://www.nikkan.co.jp/articles/view/00477333</p>

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