

令和 6 年 9 月 20 日現在

機関番号：13301

研究種目：基盤研究(B)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H01286

研究課題名（和文）界面洗浄・摩擦制御の実現による未知の表面特性をもつ物体の洗浄把持・操り

研究課題名（英文）Washing Grasping/Manipulation of Objects with Unknown Surface Properties by Realizing Interfacial Washing and Friction Control

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） 13,400,000円

研究成果の概要（和文）：これまで扱いが難しかった未知の表面特性をもつ物体の把持・操りが可能なロボットハンドシステムの実現を目指し、未知なる表面状態を認識し、その認識結果をもとに、状態を清浄かつ把持・操りに適した摩擦状態にする界面洗浄・摩擦制御の手法を開発した。FBG（Fiber Bragg Grating）センサをソフトロボット指の接触面に組み込み、そのひずみの値から接触面の状態を推定する手法を開発するとともに、エタノール等の液体滲出により物体表面の油などの汚れを洗浄できるロボットハンドシステムを開発した。これらのシステムをもとに、物体表面の汚れを洗浄しながら、表面の摩擦状態を推定できるシステムを開発した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

公共の場や日常生活空間において、家事や介護などの作業を代替できるようなロボットの実現への要求が高まっている。実現の核となるのが実作業を担うロボットハンドシステムである。これまで扱われていた把持対象は「キレイ」に整った表面を持つ物体であった。このため、摩擦情報は既知あるいは、把持するのに十分な摩擦をもつという仮定のもと把持・操り法が開発されてきた。しかしながら、現実空間にある対象物体の表面は未知である。特に新しく購入した物品や長らく使っていなかった物品などの表面状態は分からず、ほこりなどがある可能性がある。これを打開するため、未知なる表面状態を洗浄して物体把持・操りを実現する方法論を開発した。

研究成果の概要（英文）：We aimed to create a robotic hand system capable of handling and manipulating objects with unknown surface characteristics. To achieve this, we developed a method for recognizing unknown surface states and then cleaning these surfaces to achieve a state conducive to effective grasping and manipulation through contact area cleaning and friction control. We incorporated Fiber Bragg Grating (FBG) sensors into the contact surfaces of soft robotic fingers to estimate the condition of these surfaces based on the strain readings. Additionally, we developed a robotic hand system capable of cleaning surface contaminants such as oils with the injection of liquids like ethanol. Based on these systems, we developed a system that can clean surface dirt while estimating the frictional state of the surface.

研究分野：知的機械システム

キーワード：ロボットハンド マニピュレーション 摩擦制御 表面洗浄

1. 研究開始当初の背景

独居老人世帯の急増、生産年齢人口(働き手世代)の減少(令和元年版高齢社会白書(内閣府)), 働き手世代における家事時間数の減少、被介護者数の増加、介護・看護時間の増加(平成28年社会生活基本調査(総務省))を踏まえ、公共の場や日常生活空間において、家事や介護などの作業を代替できるようなロボットの実現への要求が高まっている。実現の核となるのが実作業を担うロボットハンドシステムである。これまで扱われていた把持対象は「キレイ」に整った表面を持つ物体であった。このため、摩擦情報は既知あるいは、把持するのに十分な摩擦をもつという仮定のもと把持・操り法が開発されてきた。しかしながら、現実空間にある対象物体の表面は未知である。特に新しく購入した物品や長らく使っていなかった物品などの表面状態は分からない。ほこりなどの汚れが付着している場合、タオルなどで汚れを取り除かないと物体を把持するのに十分な摩擦を得られず、把持ならびにその後の作業に失敗する可能性が高くなる。未知の表面特性をもつ物体が対象の場合であっても把持・操りを実現できるロボットシステムが必要である。

以上のようなロボットハンドシステムができれば、公共・日常空間で作業するロボットの機能性向上につながる。

2. 研究の目的

これまで扱いが難しかった(ロボットにとって)未知の表面特性をもつ物体の把持・操りが可能なロボットハンドシステムの実現を目指す。実現のカギは、1)未知なる表面状態を観察・認識し、2)その状態を清浄かつ把持・操りに適した摩擦状態にする界面洗浄・摩擦制御の実現にある。独自技術である濡れた環境下でも摩擦を変えることができる表面システムを拡張し、センサで接触面の界面・摩擦状態を観察・認識し、液体・気体滲出・吸引機構を使って、界面・摩擦状態を望みの状態へと制御するシステムを実現する。次いで、このシステムを搭載したロボットハンドを開発し、未知の界面・摩擦特性をもつ対象物体を把持・操る手法の確立に挑む。

なお、本研究グループは、油まみれを含め、乾いていても濡れていても高摩擦を与えるスリット状の表面テクスチャ、ならびにこの表面テクスチャ上にエタノールを滲出させることで、接触摩擦を能動的に減少させる、濡れた環境下でも摩擦を変えることができる表面システムを開発している前述の「独自技術である濡れた環境下でも摩擦を変えることができる表面システム」とは、このシステムのことである。

3. 研究の方法

上述の目的を達成する鍵は下記の三項目の開発である。

- 1) 未知なる表面状態を観察・認識するシステムの開発
- 2) 表面のほこりや油などの汚れを取り除く機構を有するロボットハンドシステムの開発
- 3) 1)と2)を融合し、把持・操りを可能とする表面状態へと制御できる機構を搭載したロボットハンドシステムの開発

以上のシステムを開発することで、未知の界面・摩擦特性をもつ対象物体を把持・操る手法の確立に挑む。

4. 研究成果

主な研究成果は下記の通りである。

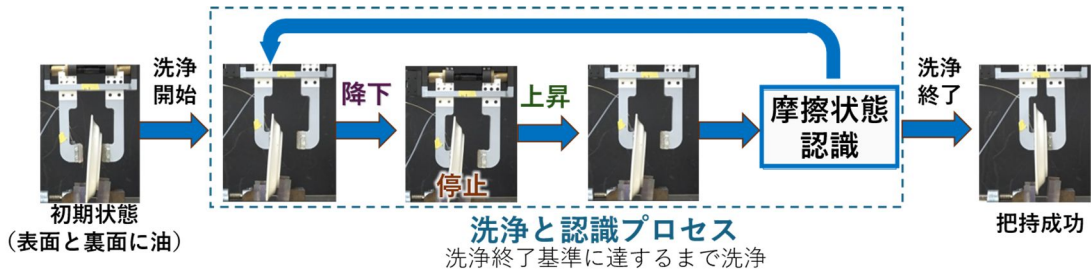
FBG センサを用いた洗浄状態推定に基づく油まみれの物体の洗浄把持

未知な物体表面の状態を観察する方法はいくつかあるが、摩擦状態、特に静止摩擦を知るためには、物体表面にロボット指を接触させて、滑らせる必要がある。油まみれの状態であってもひずみを検出できるよう、FBG (Fiber Bragg Grating) センサを用いた。FBGとは、光ファイバのコア内に短いセグメントで構築された回折格子を指し、波長を選択できる反射鏡のような役割を担っている。この回折格子に光を入射させると、ブラッグ波長を中心とした非常に狭帯域な光だけが回折格子で反射し、他の光は透過する、反射した光の波長の変化を検知することで、回折格子部分に加わる歪みを計測することができるセンサである。FBG センサは光ファイバで構成されているため、油まみれなどの環境でも使用できる点が特徴である。ロボット指を物体上でこすりつけたとき、stick-slip が容易に起こるよう、ロボット指表面に凹凸を設ける。その凹凸部分にFBG センサを組み込む。ロボット指で物体表面をこすり、指が物体表面上で滑る際のひずみを計測できるような観察システムを構築した。

次いで、ロボット指表面にエタノールを滲出させる機構を組み込んだ。このシステムは、前述

の「独自技術である濡れた環境下でも摩擦を変えることができる表面システム」を応用したものである。

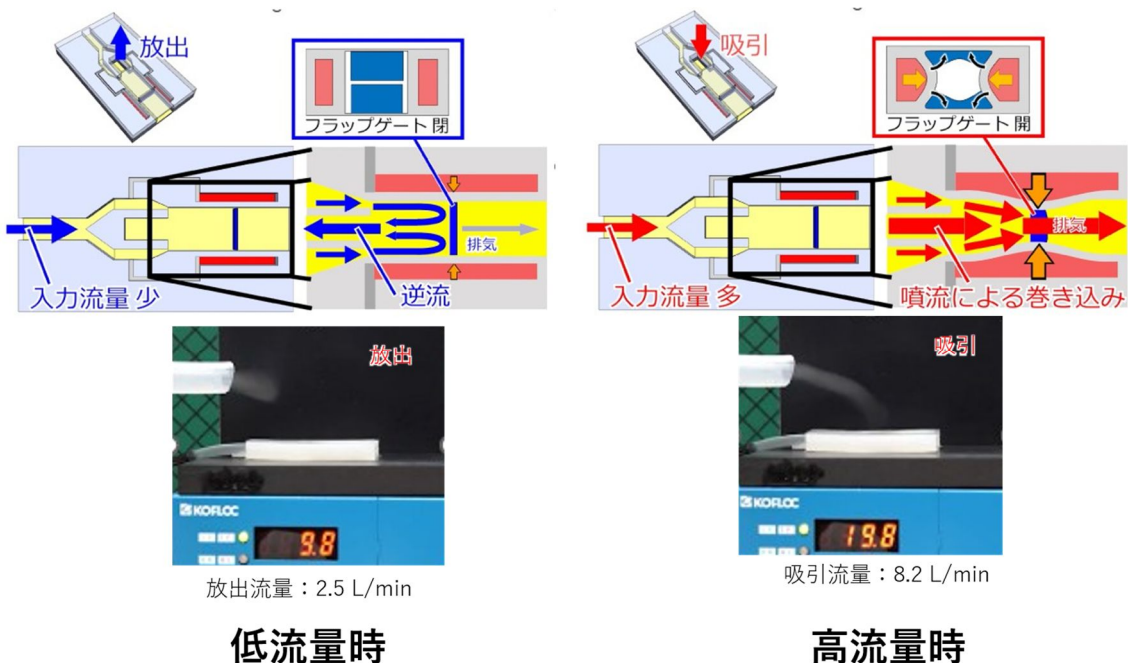
以上のシステムを一つのロボットハンド指上に統合した。1) 洗浄, 2) こすって摩擦状態の確認, という手順を繰り返す。物体をハンドリングするのに十分な摩擦が得られたかどうかを確認し, 十分な摩擦が得られたと判断したら, 物体ハンドリング動作を行う。これにより, 油まみれで, もともとハンドリングができない物体を, 洗浄によってハンドリングできるようにするシステムを開発した。



送風・吸引切り替え可能なフレキシブルデバイスを活用したほこり除去&吸引ハンドリング

物体表面の汚れとしてほこりは代表的なものである。このほこりのため, 物体をハンドリングできないケースがある。ほこりを除去して清浄な面を構成できれば, 物体をハンドリングすることができる。ほこり除去の方法として, 今回はプロアーのようにほこりを吹き飛ばすことで物体の表面を清浄な状態にする手法の開発に取り組んだ。ほこりを除去したあと, そのままハンドリングする簡単な方法として吸引が上げられる。そこで, 送風機能と吸引機能を有するエンドエフェクタを構築することとした。ただし, 送風・吸引機能は様々なデバイスにとりつけて機能させたい。そこで, 1 流路を流れる空気の流れを制御するだけで, 送風・吸引を切り替えることができる薄くて柔らかい FDR (Flow-Direction Reversal) デバイスを開発した。流路上に絞りとフラップゲートを容易した。また, フラップゲートの近くに空気圧力に応じて膨張する膨張室を設けた。流量が低い場合, 膨張室は膨張せず, フラップゲートは閉じたままとなる。このとき, 絞りから出てきた空気はそのまま排気できず, 逆流する。逆流した空気が出口から放出されることでプロアー (送風) 状態となる。流量が高い場合, 内部空気圧力も高まる。その結果, 膨張室が膨らむ。膨張室が膨らむと, 膨らんだ壁が曲がり, フラップゲートをも曲げる。その結果, フラップゲートが開き, 空気が排気される。この際, 絞り部分で生成された噴流が, 周辺の空気を巻き込みながら排気される。これにより, 出口では吸引が引き起る。

この FDR デバイスをエンドエフェクタとして用い, ほこりに見立てた紙屑を除去して物体をハンドリングするような実験を行い, いずれも成功した。一部, 吸引を止めても凝着により FDR デバイスにはりついたままとなる物体があったが, 送風に切り替えることでリリースも行うことができることを確認している。



放出流量：2.5 L/min

吸引流量：8.2 L/min

低流量時

高流量時

その他、前述の FDR デバイスに振動体を組み込むことで、音でかかる力を推定できるシステムの開発や、圧縮空気を流すことで摩擦を低下させ、純水を噴出することで摩擦を増加させる摩擦可変システムの開発、ロボットハンドの指先に組み込んだ小型カメラで接触界面を計測し、その計測結果から接触摩擦の大きさや滑りを推定する手法の開発などを行った。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計3件（うち査読付論文 3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 Nojiri Seita, Nishimura Toshihiro, Tadakuma Kenjiro, Watanabe Tetsuyou	4. 巻 8
2. 論文標題 Flexible and Slim Device Switching Air Blowing and Suction by a Single Airflow Control	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 2637 ~ 2644
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2023.3254465	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 Nishimura Toshihiro, Shimizu Kensuke, Nojiri Seita, Tadakuma Kenjiro, Suzuki Yosuke, Tsuji Tokuo, Watanabe Tetsuyou	4. 巻 7
2. 論文標題 Soft Robotic Hand With Finger-Bending/Friction-Reduction Switching Mechanism Through 1-Degree-of-Freedom Flow Control	5. 発行年 2022年
3. 雑誌名 IEEE Robotics and Automation Letters	6. 最初と最後の頁 5695 ~ 5702
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/LRA.2022.3157964	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 Suzuki Yoshiyuki, Yamaguchi Akihiko, Nojiri Seita, Watanabe Tetsuyou, Hashimoto Koichi	4. 巻 -
2. 論文標題 Vibration Control for Pivoting by Robot Hand Equipped with CAVS and FingerVision	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Proceedings of the IEEE International Conference on Robotic Computing (IRC)	6. 最初と最後の頁 -
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/IRC52146.2021.00010	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21件（うち招待講演 0件/うち国際学会 0件）

1. 発表者名 野尻晴太, 西村育寛, 多田隈建二郎, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 1 自由度で吸引と放出が可能なフレキシブルデバイスの開発
3. 学会等名 ロボティクスシンポジウム論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 倉又菜津子、堀内優輝、野尻晴太、西村斉寛、多田隈建二郎、渡辺哲陽
2. 発表標題 摩擦・温度・湿度可変な薄いフレキシブル機構における実験環境の影響評価
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野尻晴太、西村斉寛、多田隈建二郎、渡辺哲陽
2. 発表標題 生活支援ロボットのための布の吸着が可能な柔軟吸着パッドの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 西村斉寛、清水健介、野尻晴太、多田隈建二郎、鈴木陽介、辻徳生、渡辺哲陽
2. 発表標題 摩擦可変機能を有する1自由度ソフトロボットハンドの開発 流路切替機構の解析と検証
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2022論文集
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 堀内 優輝、野尻 晴太、西村 斉寛、渡辺 哲陽
2. 発表標題 生理情報長時間計測を目的とした エタノール滲出による低抵抗維持器の開発
3. 学会等名 第40回日本ロボット学会学術講演会 (RSJ2022)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 野尻 晴太, 山口 明彦, 鈴木 吉幸, 鈴木 陽介, 辻 徳生, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 突起構造に基づく3Dプリント可能な透明摩擦可変表面の開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木吉幸, 山口明彦, 野尻晴太, 渡辺哲陽, 橋本浩一
2. 発表標題 CAVSとFingerVisionを利用したインハンド回転操作
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021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 液体滲出により摩擦制御可能な表面を備えた柔軟多関節ロボットハンドの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス 講演会 2021
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野尻 晴太, 山口 明彦, 鈴木 吉幸, 鈴木 陽介, 辻 徳生, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 突起の摩擦特性の違いを利用した摩擦可変表面の開発
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 鈴木吉幸, 山口明彦, 野尻晴太, 渡辺哲陽, 橋本浩一
2. 発表標題 CAVS+FingerVision搭載ハンドによるピボット操作のための振動制御
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 堀内 優輝, 野尻 晴太, 倉又 菜津子, 西村 斉寛, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 FBGセンサを活用した布地上のStick Slipとその方向検出
3. 学会等名 第22回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 野尻 晴太, 西村 斉寛, 多田隈 建二郎, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 接触サポートのための負圧と正圧を発生可能な吸盤の開発
3. 学会等名 第22回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 倉又 菜津子, 野尻 晴太, 堀内 優輝, 西村 斉寛, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 摩擦・温度・湿度可変な薄いフレキシブル機構
3. 学会等名 第22回 計測自動制御学会 システムインテグレーション部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 清水健介, 西村 齊寛, 野尻 晴太, 多田隈 建二郎, 鈴木 陽介, 辻 徳生, 渡辺 哲陽
2. 発表標題 流量で制御可能な分岐弁を用いた摩擦可変機構を有する空圧駆動ソフトロボットハンド
3. 学会等名 第27回ロボティクスシンポジア
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小澤優生、西村齊寛、鈴木陽介、辻徳生、渡辺哲陽
2. 発表標題 ウェットフォールディング操作が可能なロボットグリッパの開発
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野尻晴太、西村齊寛、多田隈建二郎、渡辺哲陽
2. 発表標題 流動方向変換アクチュエータによる荷重・ひずみ計測
3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2023論文集
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 野尻晴太、西村齊寛、多田隈建二郎、渡辺哲陽
2. 発表標題 音響式柔軟触覚センサの開発
3. 学会等名 日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 陳 序飛、森 翔太、上野 耕静、水島 歌織、西村 斉寛、渡辺 哲陽
2. 発表標題 FBG センサを用いた洗浄状態推定に基づく油まみれの物体の洗浄把持
3. 学会等名 第24回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2023)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 堀内 優輝、野尻 晴太、Tianyi Wang、西村 斉寛、渡辺 哲陽
2. 発表標題 心電情報長時間計測を目的とした液体滲出による低抵抗維持器の開発
3. 学会等名 日本生体医工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Tianyi Wang, Toshihiro Nishimura, Kenjiro Tadakuma, Kensuke Harada, Tetsuyou Watanabe
2. 発表標題 "Will you Warm me?" A Stereolithography-based 3D Printed Half Ring Type Soft Wearable Finger Warm System
3. 学会等名 日本生体医工学会大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 柳澤拓馬, 西村斉寛, 渡辺哲陽
2. 発表標題 凍結把持が可能なジャミング・吸着グリッパの開発
3. 学会等名 ロボティクスシンポジウム論文集
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

産業財産権の名称 吸盤	発明者 渡辺哲陽, 西村齊 寛, 野尻晴太, 多田 隈建二郎	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-202904	出願年 2021年	国内・外国の別 国内

産業財産権の名称 サポータ	発明者 渡辺哲陽, 西村齊 寛, 野尻晴太, 倉又 奈津子, 多田隈建二	権利者 同左
産業財産権の種類、番号 特許、特願2021-202900	出願年 2021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	西村 齊寛 (Nishimura Toshihiro) (60913720)	金沢大学・フロンティア工学系・助教 (13301)	

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