

令和 6 年 6 月 12 日現在

機関番号：10103

研究種目：若手研究

研究期間：2021～2023

課題番号：21K14116

研究課題名（和文）コンポーネント化したテクスチャ構造を有した多層構造流体指の開発

研究課題名（英文）Development of componentized multi-layered fluid fingertip with textured structures

研究代表者

藤平 祥孝（Fujihira, Yoshinori）

室蘭工業大学・大学院工学研究科・助教

研究者番号：40783379

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,700,000 円

研究成果の概要（和文）：本研究では、流体層と剛体層から成る二層構造流体指内部にテクスチャ構造を付した流体指を実システムへの適用を目指し研究を行った。まず、指内のテクスチャの形状や内圧が把持安定性に与える影響について把持耐力を指標に明らかにした。また、物体の様々な姿勢や形状に対応するためにテクスチャ構造が物体に応じて受動的に変化する高密度化ピンアレイ構造指を提案し、実際のグリップへの適用と把持安定性の向上を確認した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

学術的意義については、フラットな物体面における二層構造流体指内のテクスチャ構造の形状が把持耐力にほとんど影響を与えないことを実験的に明らかにしたことと、高密度化ピンアレイ構造の力学モデルと一般的なピンアレイ構造と比較してのピン径の細径化の限界値を示したことである。社会的意義については、様々な姿勢や形状の物体に適用できるように高密度化したテクスチャ構造指を新たに開発しグリップに適用し実際の把持適用可能性を示したことである。

研究成果の概要（英文）：In this study, a two-layered fluid finger consisting of a fluid layer and a rigid layer with a textured structure inside was studied for application to an actual system. First, the effects of the shape of the texture and the internal pressure of the finger on grasp stability were clarified using grasp resistance as an index. In addition, we proposed a densified pin-array structure finger whose texture structure changes passively according to the object to accommodate various postures and shapes of the object.

研究分野：ロボット工学

キーワード：ロボットハンド ロボットグリップ 物体把持・操作 把持安定性 ピンアレイ構造

1. 研究開始当初の背景

社会的に新たな労働力としてロボットの需要が高まっており、このような需要に応えるために多種多様な物体の把持がロボットハンドには求められている。一般的に、多様な物体を把持するには物体に合わせた複雑な知能・制御系が必要となるが、ロボットハンドや指の機構を工夫することで制御系を単純化できる。そこで、単純な制御系による多様な物体の把持を目指し、テクスチャ構造を有した流体指を開発してきた。この指は、多点接触による圧力の分散やマイクログリッパの特徴の一つであった物体の幾何的な拘束の補助による物体の操作自由度の向上などの機能を単純な構造で実現している。また、内圧を高圧／負圧に変更することで把持モードを変更することができる。この把持モード切り替えを対象物体・タスクに応じて最適な方策をとることができれば、さらなる把持・操作性の向上に期待できる。しかし、各把持モードやテクスチャ構造が物体把持に与える影響や実際のロボットへの実装方法が不明であり、実際のロボットへの実装には障壁があった。

2. 研究の目的

本研究では、テクスチャ構造を内部に持った二層構造流体指（以降、テクスチャ構造指）の内圧を制御することで、「指の流体部分のみでの把持」や「テクスチャ構造も使った把持」などを、対象物体・タスクによって最適なモードに使い分ける制御システムを組み込んだロボットの汎用的なコンポーネントとしての流体指の構築を目的としている。

3. 研究の方法

（1）対象物・タスクに応じて内圧を適切に制御するためには、その関係性を調査する必要がある。まず、流体指の特徴的な効果である圧力分散効果や把持安定性の指標である把持耐力について調べる。内圧とテクスチャ構造の形状が物体との接触圧力に与える影響について図 1 のようにテクスチャ構造と実験装置を用意して指を圧力測定フィルムに押し付ける実験を行った。その後、フィルムをスキャナーでスキャンし、スキャンした画像に対し画像処理を行い、圧力分布を定量化・可視化する。把持耐力については図 2 のようなテクスチャ構造と実験装置を用いて調査した。各テクスチャ構造で指の内圧を変化させ、指とアクリル板との間に滑りが生じたときの接線力を把持耐力として読み取った。指の内圧は 0kpa、5kpa と 10kpa とした。

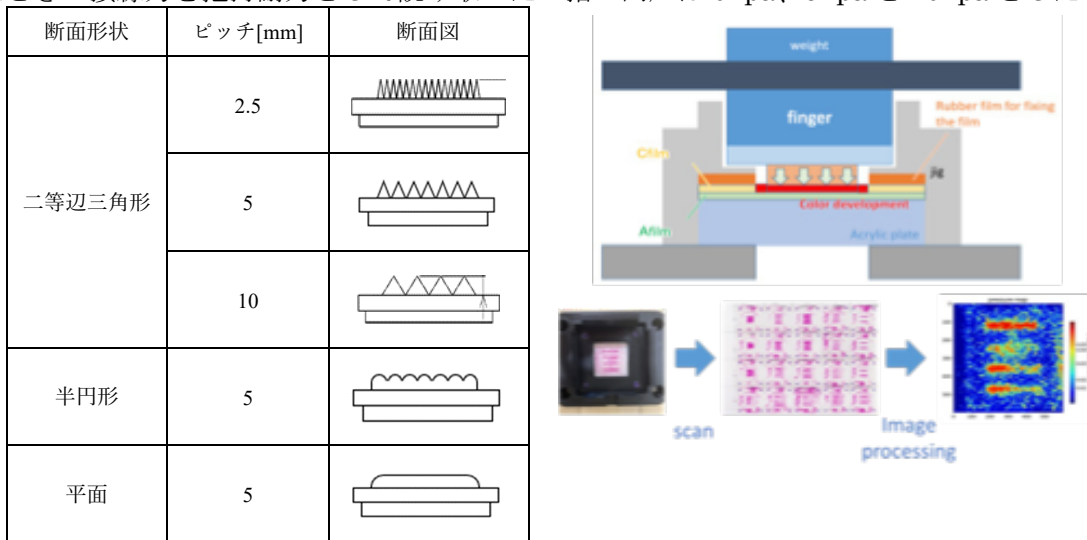


図 1 圧力分布の比較実験に使用したテクスチャ断面形状と実験装置の構成

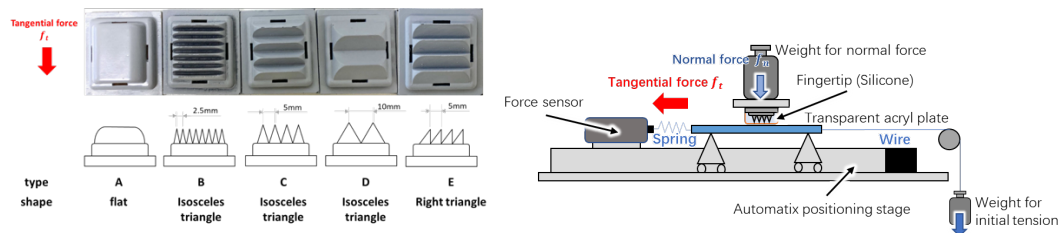


図 2 把持耐力の比較実験に使用したテクスチャ断面形状と実験装置の構成

（2）テクスチャ構造指の内界センサだけで提案する把持方策を実現できるように、テクスチャ構造指に搭載可能なカメラを用いたセンサ機能の提案をした。また、既存のテクスチャ構造指の問題点であった把持物体の形状や姿勢によって適切なテクスチャ構造が変わることについても、

センサ機能の実装に併せテクスチャ構造が可変となる機構を提案することで解決を試みた。この可変テクスチャ構造とカメラを組み合わせることでセンサ機能を実現した。これを実際に試作し、把持物体の認識可能性について実際の物体を押し当て確認した。

(3) 上記で提案した可変テクスチャ構造指は実際のグリップに搭載するにはサイズが大きく、また可変テクスチャの分解能も低いといった問題があった。そこで、センサを搭載したテクスチャ構造流体指のシステムを実際のロボットシステムに組み込むため、小型でテクスチャ構造を高密度化した指の構造を提案した。これを図3のように実際のグリップに搭載し、可変テクスチャ構造による把持性能の向上の効果を検証した。図3に示す物体をフラットな剛体部にゴム膜を貼り付けただけのフラット指と提案する指とで把持したときに、その把持を維持し続けられる最小把持力を計測・比較した。

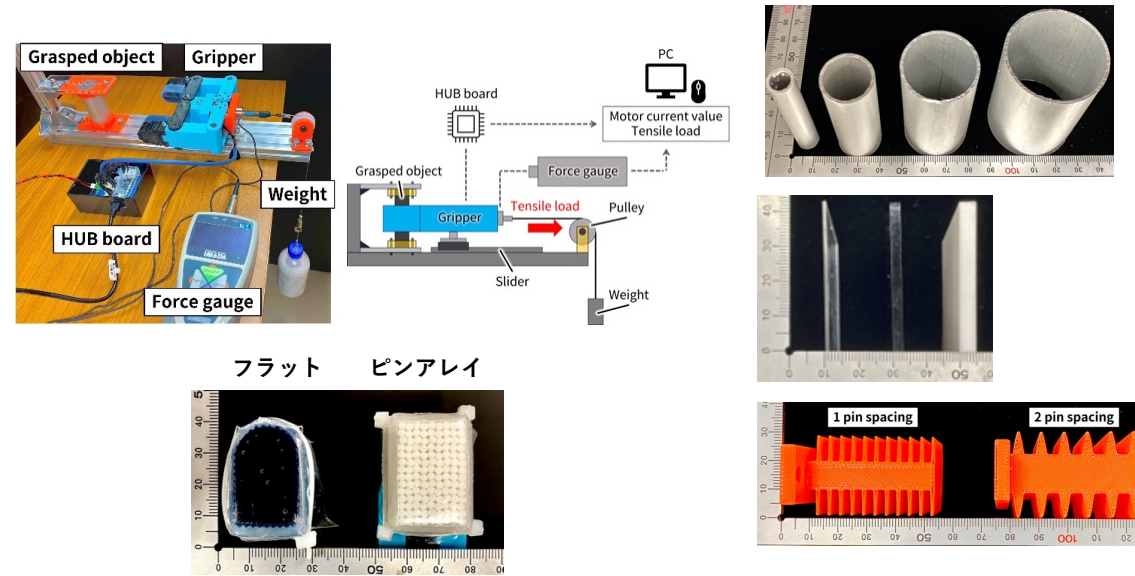


図3 可変テクスチャ構造指の把持性能向上効果を検証に使用した実験装置と把持物体

4. 研究成果

(1) 内圧とテクスチャ構造が接触圧力分散効果と把持耐力に与える影響

二層構造流体指内のテクスチャ構造が把持する際の圧力分散に与える影響について実験的に調査した結果を図4に示す。今回の実験の条件では、内圧を高めると物体との接触圧力がより分散することが分かった。特に、テクスチャパターン間のピッチ間隔が狭い指ではその傾向が大きかった。また、テクスチャパターンの頂点が尖っている形状よりも丸まっている形状の方が接触面の圧力の分散がされやすいということも確認できた。

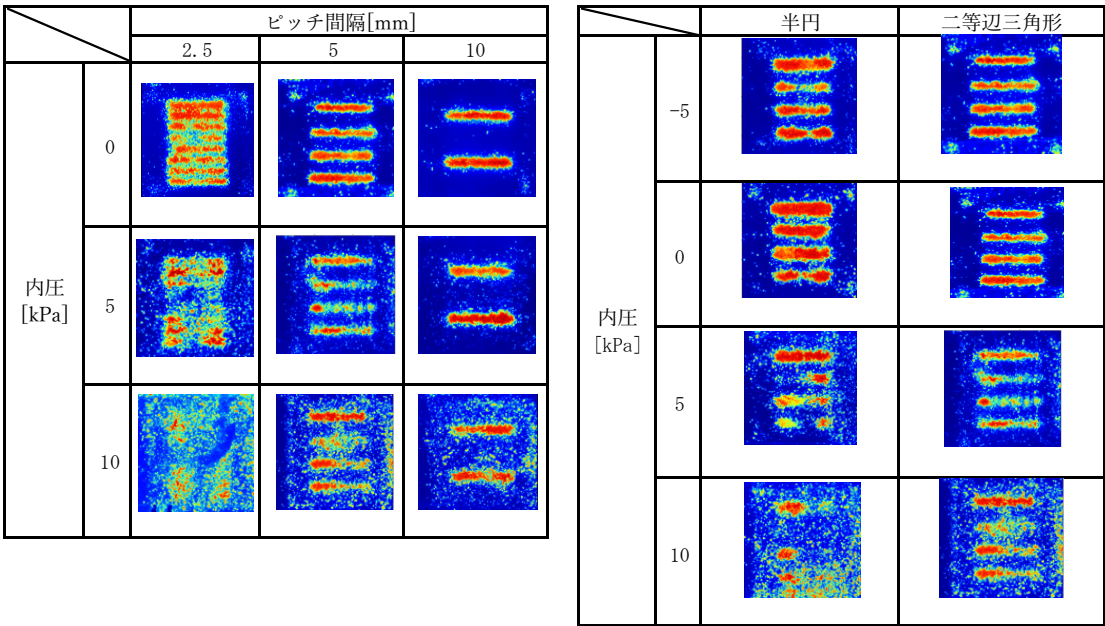


図4 指の内圧を変えたときの各テクスチャのピッチや断面形状の圧力分布

図2のような条件で10回ずつ把持耐力を計測したデータの箱ひげ図を図5に示す。箱の中心の線は中央値でありエラーバーは最大・最小値である。どのテクスチャ構造の指も内圧が大きくなるほど把持耐力も大きくなっている。タイプE（直角三角形）のみ他の指にくらべ把持耐力のばらつきが少なく、全体的に把持耐力が小さかった。タイプA（テクスチャなし）とその他の指で把持耐力に大きな差は見られなかった。ピッチによる違いもタイプB, C, Dを見ると大きな差は見られなかった。今回の実験は平面との接触の場合であり、平面のようにテクスチャ構造に対して十分大きい面を把持する場合はテクスチャの影響はほとんど現れないと考えられる。したがって、テクスチャ構造を設計するときは、テクスチャ構造に幾何的に引っ掛けて把持する把持形態のときだけを主に考慮することで問題ないと言える。

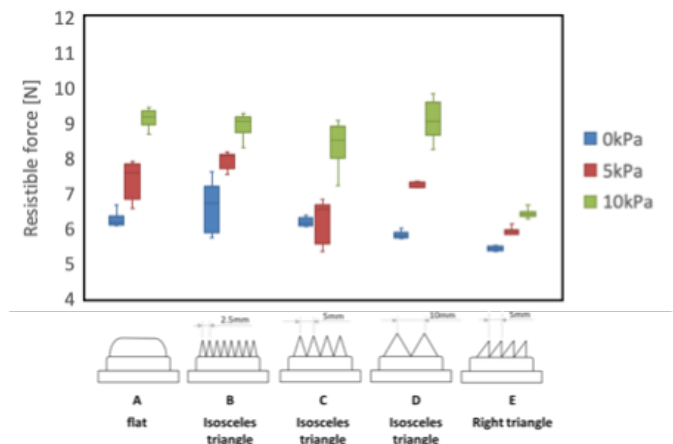


図5 指の内圧を変えたときの各テクスチャのピッチや断面形状の圧力分布

(2) 接触センサ機能を内蔵した可変テクスチャ構造

指内部のテクスチャのピッチやパターンが物体に応じて変化する機構として、ピンアレイ構造を用いた図6のような構造の流体指を提案した。提案する構造はピンアレイを配置した表面をゴム膜で覆った構造となっている。ゴム膜内の流体には空気を用いる。一般的なピンアレイ機構を応用したグリッパは各ピンが把持物体に馴染むために、各ピンの内外に個別に弾性要素のパーツが取り付けられている。提案機構は図6上のようにピンアレイの下に弾性要素として1枚のゴム膜を設置するだけの単純な構造を提案する。このゴム膜はピンの配置に合わせて穴が開けられたフレームに取り付けられており、ピンごとの弾性要素として機能する。このゴム膜は色彩の異なる2枚のゴムで構成された2層構造となっており、図6下のようにピンの押し込みに状態によって下から見た色が変わる。これをカメラで計測することで物体の接触検知に利用する。図7に試作した指に実際の物体を押し当てたときに提案手法により、物体と接触したピンを検出した例を示す。おおよそ物体の形状に合わせてピンが変位しそれを検出できていることが分かる。今回は、ピンの実装密度が疎であったため、細かい凹凸がある物体の形状検出または馴染む分解能が低かった。

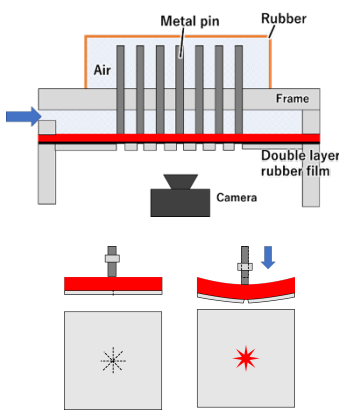


図6 ピンアレイ構造指と接触センシングの原理

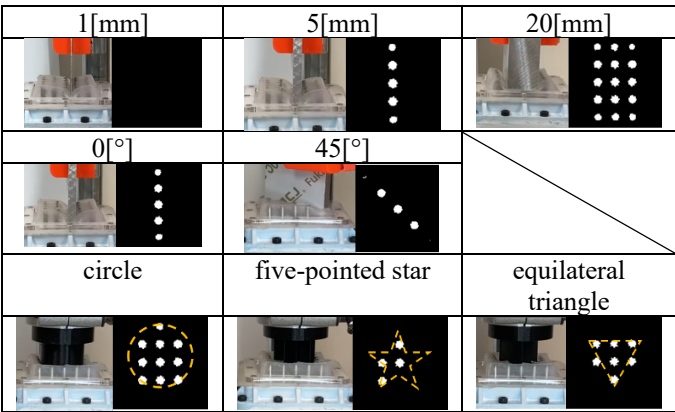


図7 物体を接触させたときの接触ピンの検出画像

(3) 可変テクスチャ構造の高密度化と実機への適用と評価

一般的なピンアレイ構造は図 8 左のように y 方向に配置されたピンのみで物体を支持することになるが、提案する高密度ピンアレイ構造は物体下面以下のピン全てで支持することになる。高密度ピンアレイ構造においてこの複数のピンで支持した状態を梁モデルで考える際に、ピンは x 方向にスライドでき摩擦は少ないことを考慮すると、合成梁モデルでなく重ね梁モデルとする方が妥当であると考えられる。ここで、 $n_{y1}=2$ と $n_{y1} \rightarrow \infty$ のときの d_2/d_1 と σ_2/σ_1 の関係を図 8 右に示す。このグラフより、一般的なピンアレイ構造より高密度ピンアレイ構造の曲げ応力が大きくならず（ $\sigma_2/\sigma_1 < 1$ の領域）、ピンを小さくできる限界の範囲は d_2/d_1 がおよそ 0.7 から 0.8 の範囲であることがわかる。つまり、指の構造の強度は同じまま一般的なピンアレイ構造より最大で約 20%ピンを細くできることを示している。したがって、提案する高密度ピンアレイ構造は形状になじむ分解能を向上させることができる。

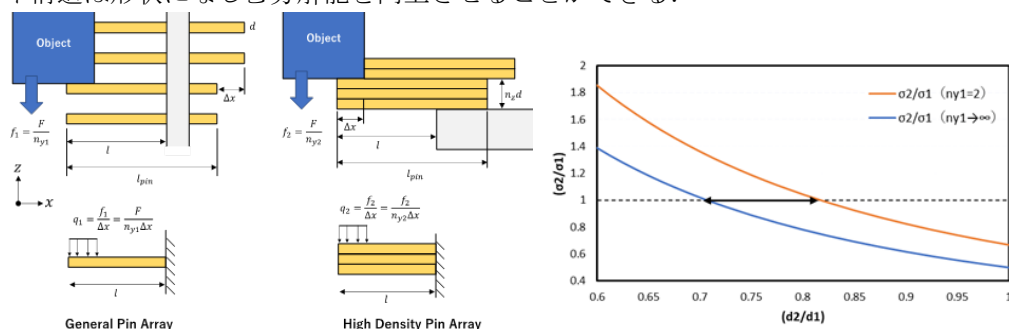
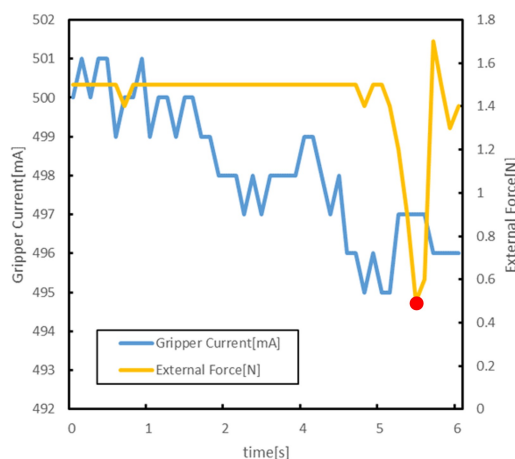


図 8 一般的な構造と高密度ピンアレイ構造の力学モデルとピンに発生する応力とピン径を比較したグラフ

実験により得られた引張荷重とグリッパーのモーターの電流値のデータの例を図 9 上に示す。指と物体との間に滑りが生じると、図 9 上の赤い点で示すように引張荷重は一定の値から急激に低下し極小値を示す。このときの電流値の平均値と標準偏差を図 9 下の表にまとめた。表中の N. S. は電流値を 50mA まで下げても滑らなかったことを示す。また、ピン 1 本間隔の周期形状物体を正方格子状ピンアレイ指で把持した際、計測回数 5 回のうち 3 回は滑り、2 回は滑らなかった。そのため、表 1 には滑った 3 回分の平均値を示している。

実験結果より、正方格子状ピンアレイ指は表面がフラットな指よりもモーターの電流値が低いとき、すなわちグリッパーの把持力が低いときでも把持できていることがわかる。したがって、今回、用いたどの形状の物体においてもピンアレイ機構は物体把持の安定性を高めていることが本実験より明らかとなった。



Finger type	Diameter [mm]				Plate thickness [mm]			Periodic uneven objects	
	10	20	30	40	1	3	5	1 pin	2 pin
Flat	491 ±4	440 ±13	484 ±4	299 ±77	334 ±162	435 ±38	484 ±17	327 ±65	289 ±33
Pin-array	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	N.S.	216 ±40	N.S.

図 9 可変テクスチャ構造指の最小把持力（グリッパーの電流値）実験の結果

5．主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計0件

〔学会発表〕 計8件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1．発表者名 坂本龍音，佐野南，藤平祥孝，花島直彦，水上雅人
2．発表標題 ピンアレイ機構による可変テクスチャ構造指の把持性能評価
3．学会等名 第56回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4．発表年 2023年～2024年

1．発表者名 坂本龍音，藤平祥孝，花島直彦，水上雅人
2．発表標題 可変テクスチャ構造指の小型化を目指したピンアレイ機構の提案と比較
3．学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2023
4．発表年 2023年

1．発表者名 坂本龍音，藤平祥孝，花島直彦，水上雅人
2．発表標題 把持の安定性向上を目指した可変テクスチャ指におけるピンアレイ剛性可変機構の検討
3．学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2024
4．発表年 2023年～2024年

1．発表者名 坂本龍音，藤平祥孝，花島直彦，水上雅人
2．発表標題 ピンアレイ機構を高密度化した小型可変テクスチャ構造指の開発
3．学会等名 日本機械学会北海道学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 MAZHENG，藤平祥孝，花島直彦，水上雅人
2．発表標題 流体指内の三角状テクスチャパターンと内圧が把持耐力に与える影響
3．学会等名 日本機械学会北海道学生会第52回学生員卒業研究発表講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 馬場 爽矢斗，藤平 祥孝，花島 直彦，水上 雅人
2．発表標題 ピンアレイ機構を応用した流体指内テクスチャ構造可変指の開発
3．学会等名 第54回計測自動制御学会北海道支部学術講演会
4．発表年 2022年

1．発表者名 馬場 爽矢斗，藤平 祥孝，花島 直彦，水上 雅人
2．発表標題 ピンアレイ機構による内部テクスチャ可変指の開発
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SI2021
4．発表年 2022年

1．発表者名 馬場 爽矢斗，藤平 祥孝，花島 直彦，水上 雅人
2．発表標題 二層構造流体指内のテクスチャパターンが圧力分布に与える影響
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

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔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
--	---------------------------	-----------------------	----

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