

令和 6 年 6 月 11 日現在

機関番号：11301

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21H04542

研究課題名（和文）皮膚感覚の実時間シミュレーション再現に基づくヒトの器用さを生み出す触覚機能の理解

研究課題名（英文）Understanding Tactile Functions that Contribute to Human Dexterity Based on Reproductions of Cutaneous Sensation with Real-time Simulation

研究代表者

昆陽 雅司（Konyo, Masashi）

東北大学・情報科学研究科・准教授

研究者番号：20400301

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 32,600,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、指と対象物との接触を実時間で高速にシミュレーションし、分布触覚ディスプレイにより皮膚感覚を再現する触覚サイバー・フィジカル・システム（CPS）を構築して、ヒトの把持・操り戦略を実証的に調査することを目的とする。基盤技術の確立のために、1) 吸引刺激を用いた指先32chの世界最高水準の分布触覚提示技術、2) 柔軟物体・複数接触・摩擦に対応した実時間高速有限要素シミュレーション技術、3) 皮膚感覚と力覚を独立提示可能な多指操作環境を構築した。2指把持を対象とした触覚CPSの実験では、実物体操作と同様の傾向が確認され、接触面の分布的触覚が把持時のなじみの知覚に関与することが示唆された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

触覚サイバー・フィジカル・システムを実現し、分布触覚ディスプレイ、高速変形シミュレーション、複数指に適用可能な多自由度の力覚提示装置などの要素技術を確立した。触覚CPSの実現は、従来、直接観察が困難であったヒトの把持操り運動に伴う皮膚変形と接触面の触覚状容器の活動、および対象物との力学的拘束状態を可視化したり、感覚刺激の条件に直接介入することが可能となる。このような触覚CPS技術は、製品の形状による操作性の評価や、ロボットやVRのリモート操作の支援など、様々な応用技術への発展も期待される。

研究成果の概要（英文）：The aim of this study is to establish a tactile cyber-physical system (CPS) that simulates contact between the fingers and an object at high speed in real time, reproducing cutaneous sensation with a distributed tactile display. Additionally, it seeks to empirically investigate human grasping and manipulation strategies. To establish the fundamental technologies, we have developed: 1) a world-class distributed tactile display technology with 32 channels at the fingertips using suction stimulation; 2) real-time, high-speed finite element simulation technologies for flexible objects, multiple contacts, and friction; and 3) a multi-finger manipulation environment that can independently present skin sensations and force sensations. In the experiment, a similar trend to that of real manipulation was confirmed, suggesting that the distributed tactile perception of the contact surface is involved in the perception of conformity during grasping.

研究分野：ロボティクス・メカトロニクス

キーワード：触覚ディスプレイ 皮膚感覚 マニピュレーション 実時間シミュレーション 多指力覚提示

1. 研究開始当初の背景

近年、高齢者の介護のために優しく接するロボットや、複数指で部品を組み付けたり、食材をお弁当に盛り付けたりするロボットなど、単に物体を把持するだけでなく、把持対象に力を加えるタスクも含めたマニピュレーション能力の向上が求められている。

ヒトの手による器用な把持・操りにおいて、皮膚感覚がどのように情報処理され、運動制御に利用されているかを理解することは、器用なロボットハンドの実現や、リモート操作のための感覚フィードバック技術などに重要な知見を与える。例えば、Johansson ら[1]は、マニピュレーションタスク中の指先受容器の神経活動とその活用戦略についてレビューしており、末梢への感覚運動制御ループには 100 ms 程度の比較的長い遅延が発生する中で、器用に物体を操作するには、連続する動作をフェーズに分けて、それぞれフェーズで動作戦略のサブゴールが設定されていること、フェーズ間の移行を示す何らかのイベントの検出と予測が行われている可能性について報告している。つまり、指先に存在する多数の触覚受容器の情報は集約され、接触の物理的な相互作用のイベントと紐付いて解釈される可能性がある。

本研究では、接触面の把持状態を集約する情報として「なじみ」状態に着目する。ロボットハンドにおいて、「なじみ」は柔軟指や、劣駆動によるなじみ機構など、受動的な機械要素として機能し、シンプルな機構で適応的にタスクを実現する手法として注目されている[2]。しかし、受動的ななじみ機構だけでは、扱える物体の多様さやタスクの柔軟性に限界がある。そこで、本研究では、皮膚に存在する触覚受容器が「なじみ」の状態を知覚し、より能動的に「なじみ」状態を制御しているという「知覚的ななじみ」の概念を提唱し、その実証を試みるという着想に至った。「知覚的ななじみ」の実証にあたり、把持操り時の接触界面の力学情報や皮膚感覚の活動を直接観察することは困難である。本研究では、指と対象物との接触を実時間で高速にシミュレーションし、分布触覚ディスプレイにより皮膚感覚を再現する触覚サイバー・フィジカル・システムを構築して、ヒトの把持・操り戦略を実証論的に調査するという新しいアプローチに挑戦した。

2. 研究の目的

ヒトの手による器用な把持・操りにおいて、皮膚感覚がどのように情報処理され、運動制御に利用されているかを理解することは、器用なロボットハンドの実現や、リモート操作のための感覚フィードバック技術などに重要な知見を与える。本研究では、指と対象物との接触を実時間で高速にシミュレーションし、分布触覚ディスプレイにより皮膚感覚を再現する触覚サイバー・フィジカル・システム (CPS) を構築して、ヒトの把持・操り戦略を実証論的に調査する。基盤技術として、1) 世界最高水準の分布触覚提示技術、2) 柔軟物体・複数接触・摩擦に対応した高速シミュレーション技術、3) 皮膚感覚と力覚を独立提示可能な多指操作環境、を構築する。これにより、皮膚感覚を利用した対象への「知覚的ななじみ」行動の実証と生成条件の解明や多指接触の感覚統合の解明を行い、関連する学術分野に触覚利用の新しい指針を示す。

3. 研究の方法

触覚サイバー・フィジカル・システムの基盤技術の確立を目指して、(1) 世界最高水準の分布触覚提示技術、(2) 柔軟物体・複数接触・摩擦に対応した高速シミュレーション技術、(3) 皮膚感覚と力覚を独立提示可能な多指操作環境、に関して以下の研究開発を行う。また、(4) 知覚的「なじみ」の科学的実証を目標として、確立した基盤技術を元に構成した触覚サイバー・フィジカル・システム (図 1) を利用して、把持動作時のなじみ動作の再現を行い、実物体の操作時との比較を元に、「知覚的ななじみ」の生起条件について検証を行う。

(1) 高解像吸引型皮膚感覚ディスプレイの確立 (主担当: 東北大・昆陽)

多チャンネルの吸引圧を高精度に制御する高解像吸引皮膚感覚ディスプレイ技術を開発する。小型レギュレータを多数配置し、多チャンネルの駆動装置、弾性体材料の 3D プリンタを利用した流路設計を行う。また、1 指を対象に、従来の皮膚吸引ディスプレイおよび、開発する高解像度皮膚吸引ディスプレイを実時間接触シミュレーションと統合し、剛性の異なる接触面の押しつけ感の再現など検証する。また、力覚ディスプレイと統合し、複数指に対応した提示装置を開発し、剛体を把持した際のマニピュレーションタスクの皮膚感覚の提示に対応する。

さらに、商用 FEM ソフトを用いた 2 次元有限要素解析により吸引圧とひずみエネルギー密度 (SED) 分布の関係を求め、2 点弁別閾および刺激閾の心理物理実験と比較することにより、SED 分布の知覚量の統合範囲および吸引刺激による再現法を導出する。

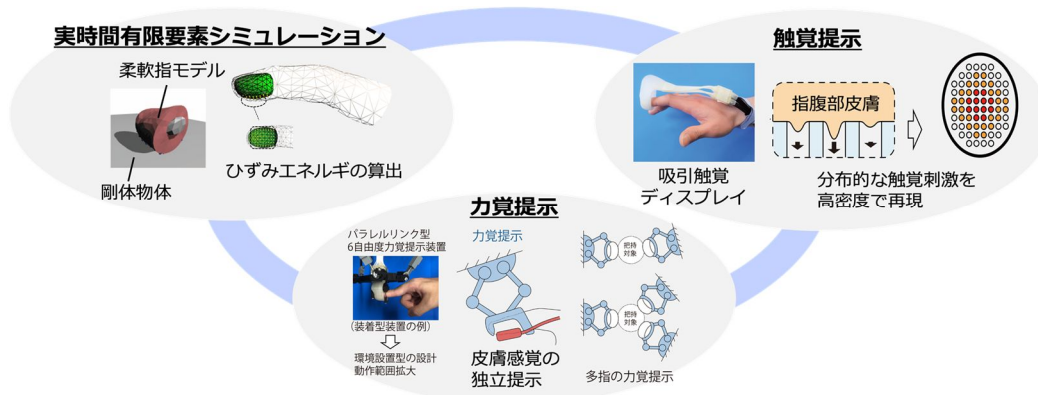


図1 触覚サイバー・フィジカル・システムの構成

(2) 実時間多点接触シミュレーション技術の確立（主担当：東北学院大・佐瀬）

物体把持における指の変形を再現するため、有限要素法を基本とした多点接触シミュレーションを開発する。また、触覚受容器位置における SED 分布を高精度に計算するため、指の解剖学的構造を再現した指モデルを開発する。実時間計算の実現には、計算コスト削減と高速計算の実装が重要である。計算コストの削減のため、変形計算法として比較的計算量が少なく十分な精度を持つと期待される corotational FEM を、接触処理法としてペナルティ法を採用する。また、把持における接触状態を表現するため摩擦表現を取り入れる。計算の高速化のため、マルチコア CPU などを用いた並列計算を実装する。これにより得られた結果の妥当性を評価するため、ヒト指を用いた実験、および、信頼性のある商用 FEM ソフトによる解析を行い、圧力分布や SED 分布を比較する。

(3) 多指力覚と皮膚感覚の統合提示技術の確立（主担当：神戸大・永野）

多指への 6 自由度力覚提示が可能であるとともに、皮膚吸引ディスプレイとの併用可能な力覚ディスプレイを構築する。高性能なダイレクトドライブモータを用いることで、力覚提示に適した高いバックドライバビリティを実現するとともに、高い提示力を実現するためにパラレルリンク機構を採用する。また、パラレルリンク構造の課題であるワークスペースの制限を改善するためのリンク機構を比較検討し、最適な機構を採用する。さらに、皮膚吸引ディスプレイとの統合のため、力覚提示装置の環境への設置方法・機構を比較検討するとともに、皮膚吸引ディスプレイと干渉しない接続機構を製作する。

(4) 「知覚的なじみ」の科学的実証

開発する触覚サイバー・フィジカル・システムを利用して 2 指把持動作時のなじみ調整タスクを実施し、実物体把持時のなじみ調整動作との比較を行う。被験者が知覚的に「なじんでいる」と感じる把持状態に調整させ、対象物の剛性を変化させた際の把持状態の変化を抽出し、知覚的「なじみ」を生み出す皮膚感覚の情報処理について検討する。また、皮膚感覚が統合され把持操りに影響を与えることを検証するために、皮膚感覚に実際と異なる刺激を加えた際の把持調整動作に対する影響を検証する。

4. 研究成果

(1) 高解像吸引型皮膚感覚ディスプレイの確立（主担当：東北大・昆陽）

弾性材料を用いた 3D プリンタにより、細径の流路を構成し、従来の 16ch の吸引デバイス [3] に対して 2 倍の解像度をもつ 1 指 32ch の吸引刺激デバイスを開発した（図 2）。当初予定して実装方法よりも、吸引圧の応答性と精度に優れる小型真空レギュレータを用いた空圧制御システムを構築することができた。FEM ソフト MSC.Marc を用いた皮膚変形の 2 次元有限要素解析により吸引圧と受容器位置の SED 分布の関係を求めた結果、吸引刺激によるひずみエネルギー分布は、皮膚に正圧を加える場合に比べて、皮膚内の SED 分布を局所化できること、および、隣接する刺激の影響を受けにくいことから、高解像の分布刺激を生成しやすいことを示した（図 3）。この 32ch の吸引触覚ディスプレイを用いて硬軟感の提示精度の向上を弁別実験および丁度可知差異の実験により確認した。図 3 に 16ch と 32ch を比較した弁別実験の結果を示す。この比較では、32ch の方が 3 種類の剛性を弁別閾付近まで近づけており、より難しい比較であったが、32ch の正答率の方が高い結果となった。

また、2 点弁別閾および刺激閾の心理物理実験から、SED 分布の知覚量の統合範囲および吸

引刺激により提示される統合知覚量の関係式を導出した。さらに、統合知覚量と吸引刺激の関係式を利用し、個人毎に感度を調整するキャリブレーション手法を開発した。

さらに、力覚ディスプレイと吸引ディスプレイを統合するために、多孔チューブを用いた省配線装置を開発し、示指と母指による把持感覚提示する触覚 CPS を実現した。

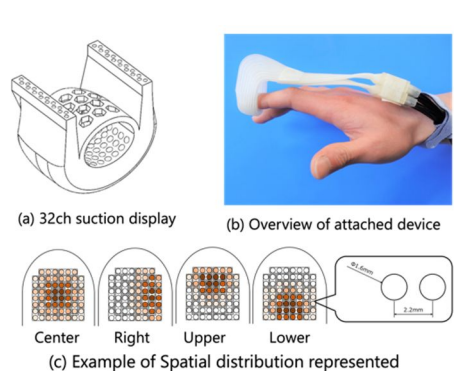


図 2 高解像吸引触覚ディスプレイ

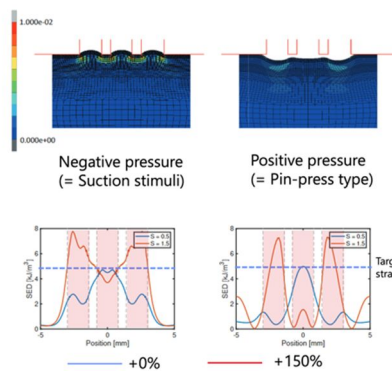


図 3 負圧刺激と正圧刺激の比較

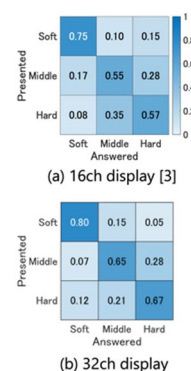


図 4 硬軟分別実験の結果

(2) 実時間多点接触シミュレーション技術の確立 (主担当：東北学院大・佐瀬)

物体把持における指の変形を再現する実時間シミュレータを開発した。変形計算には corotational FEM, 接触処理にペナルティ法を用い, マルチコア CPU による並列化計算を実装することで, 節点数 645 のモデルにおいて約 100FPS の実時間計算を達成した。指モデルについては CT 画像に基づいて作成された 3D モデルをもとに, 角層・表皮・真皮・皮下組織・爪・骨の構造を持つ 3 次元有限要素モデルを作成した。このモデルを用いて商用 FEM ソフト MSC.Marc で平板押し付け時の反力, 接触面積, 圧力分布, 触覚受容器位置における SED 分布を計算し, 同条件で行った実験結果と比較した。その結果, 概ね全体的な傾向を再現することができた。実時間計算するためには低解像度化したモデルが必要であったため, 角層を省略しメッシュサイズを大きくした実時間計算用簡易指モデルを作成した (図 5)。実時間計算の妥当性を評価するため, 同一条件で行った Marc による解析結果を比較した。その結果, SED 分布については, やや誤差は含むものの類似した分布形状が得られた (図 6)。

本手法を用い, 2 指による物体押し込みシミュレーションを実装した (図 7)。把持における摩擦挙動を簡易的に模擬するため, 接触力と接触面法線ベクトルの方向に基づく固着・分離モデルを導入し, 約 7 fps の実時間接触処理を実現した。また, 1 指のウェアラブル吸引デバイスを用いて凹凸感の提示する VR システムを実現し, 国際会議 IEEE WHC2023 で技術展示を行った。

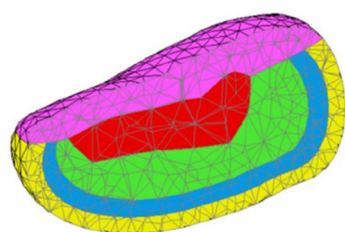


図 5 実時間計算用指モデル (断面)

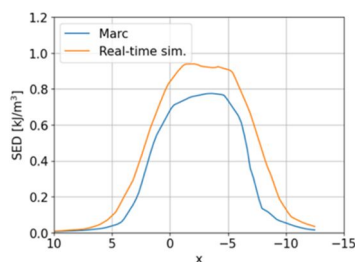


図 6 実時間計算による SED 分布の妥当性評価

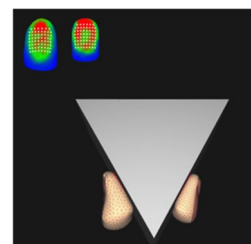


図 7 2 指による物体押し込みシミュレーション

(3) 多指力覚と皮膚感覚の統合提示技術の確立 (主担当：神戸大・永野)

皮膚吸引ディスプレイと統合可能な 6 自由度力覚提示装置の設計および製作を行った。多指での統合に向けた第一段階として, 一指用の装置を製作した。指先への 6 自由度力覚提示を実現するとともに従来之力覚提示装置より動作範囲を拡大させた機構として, 6RSS パラレルリンク機構に対して冗長関節を追加した機構を設計した。設計に基づき製作した装置を図 8 に示す。また, シミュレータ上での動作範囲の比較の様子を図 9 に示す。水平方向の最大距離について, 従来之機構 (Basic model) が 0.24 m であったのに対し, 構築した機構 (Imprived model) は 0.31 m であった。垂直方向については, 大きな違いは見られなかった。その結果, 改良型の方

がおよそ 1.2 倍広い動作範囲となることが分かった。また、シミュレータからの指令に基づく提示力の更新、および、シミュレータへの指先位置情報の送信が可能であることを確認した。

つぎに、2 指および 3 指での作業中における力覚提示を可能とする力覚提示装置を構築した。1 指用の 6 自由度力覚提示装置の設計に基づき、位置・姿勢可動範囲および干渉範囲を考慮し、示指と母指の二指用、および、中指を加えた三指用のそれぞれを設計、製作した。図 10 に設計した 3 指用の力覚提示システムを示す。

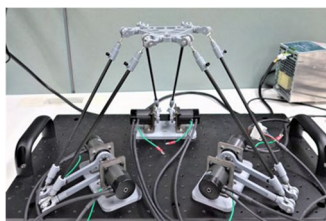


図 8 動作範囲を改善した 6 自由度パラレルリンク機構

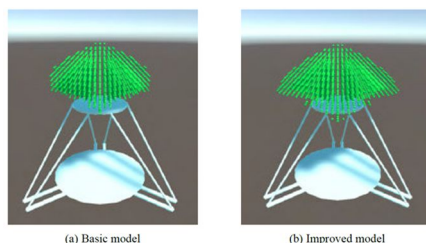


図 9 シミュレータ上での動作範囲の比較

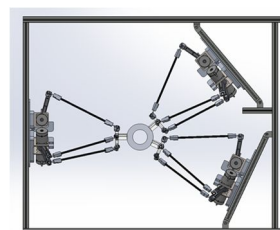


図 10 3 指への 6 自由度力覚提示システム

(4) 「知覚的なじみ」の科学的実証

把持における触覚機能の役割を検証するため、2 指に対する皮膚変形シミュレーションと力覚ディスプレイを組み合わせた触覚サイバー・フィジカル・システムを構築し、ひずみエネルギー分布と指に生じる反力を再現した(図 11)。知覚的になじんだと感じる把持状態を提案システムで再現し、実物体把持時の調整動作と比較することで知覚的なじみに対する力覚と触覚の貢献を調査した(図 12)。図 13 は、仮想物体の押し込み剛性を 3 段階で変化させたときの、押し込み反力と、有限要素解析によって得られる SED から算出した触覚分布の偏り変位との関係について 4 名の被験者の結果を示す。被験者毎に押し付け力の範囲の違いが見られたが、3 名の被験者は実物体実験の傾向が一致する傾向が見られたことから触覚 CPS の有効性が確認された。

さらに、なじみ状態においては 2 指のひずみエネルギーの偏りが一定の範囲に収まること、また、吸引刺激を増減させると、なじみ状態を感じる押し込み反力に変化が生じることが確認された。以上から、接触面における触覚分布の偏りが「知覚的なじみ」状態に影響することが示唆された。

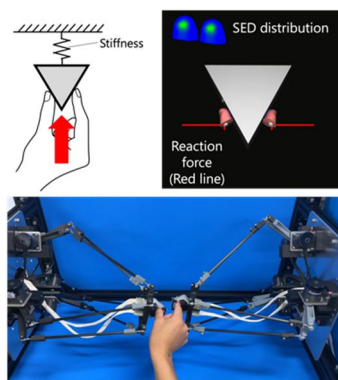


図 11 2 指把持 CPS を用いたなじみ調整タスク

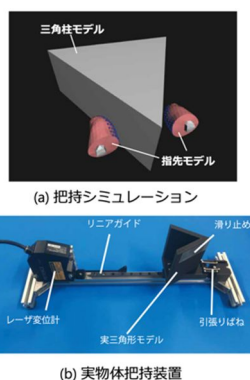


図 12 把持シミュレーションと実物体把持装置による比較

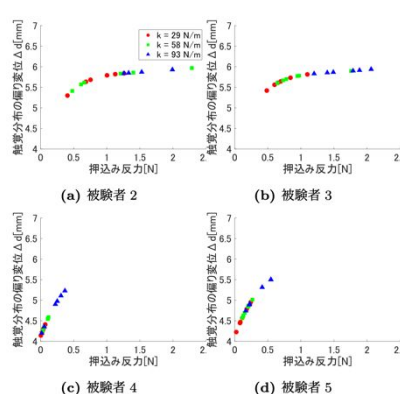


図 13 押し込み反力と触覚分布の偏り変位の関係

< 引用文献 >

- [1] R. Johansson, J. Flanagan, "Coding and use of tactile signals from the fingertips in object manipulation tasks," *Nature Review Neuroscience*, vol. 10, no. 5, pp. 345-359, 2009.
- [2] F. Negrello, H.S. Stuart, and M. G. Catalano, "Hands in the Real World," *Frontiers in Robotics and AI*, vol. 6, 2020.
- [3] H. Nagano, K. Sase, M. Konyo, and S. Tadokoro, "Wearable Suction Haptic Display with Spatiotemporal Stimulus Distribution on a Finger Pad," 2019 IEEE World Haptics Conference (WHC), pp.389--394, 2019.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1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 Morita Natsumi, Ichijo Akio, Konyo Masashi, Kato Haruki, Sase Kazuya, Nagano Hikaru, Tadokoro Satoshi	4. 巻 16
2. 論文標題 Wearable High-Resolution Haptic Display Using Suction Stimuli to Represent Cutaneous Contact Information on Finger Pad	5. 発行年 2023年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Haptics	6. 最初と最後の頁 687 ~ 694
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TOH.2023.3280391	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22件（うち招待講演 1件 / うち国際学会 3件）

1. 発表者名 Natsumi Morita
2. 発表標題 A high-resolution suction tactile display integrated with a kinesthetic haptic display
3. 学会等名 AsiaHaptics 2022（国際学会）
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 KANG Junhui
2. 発表標題 指先への6自由度力覚提示のための冗長な受動関節を有するパラレルリンク機構の検討
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2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田夏実
2. 発表標題 指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現 第2報:吸引刺激による2点弁別閾の同定
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2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田夏実
2. 発表標題 指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現 第3報 吸引刺激の知覚とひずみエネルギー分布の関係の調査
3. 学会等名 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 佐瀬一弥
2. 発表標題 指先への触覚分布レンダリングにおけるバーチャルカップリングの必要性
3. 学会等名 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 一條暁生
2. 発表標題 指腹部高解像吸引ディスプレイによる把持感覚の再現 第4報:1指への力触覚同時提示と硬軟感提示性能の評価
3. 学会等名 第27回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 加藤明樹
2. 発表標題 触覚分布提示のための実時間指変形シミュレーション手法の検討
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会第29回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田 夏実
2. 発表標題 指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 加藤明樹
2. 発表標題 触覚分布提示のための指変形シミュレーション手法の検討と実験による評価
3. 学会等名 第23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 2022年

1. 発表者名 加藤 明樹
2. 発表標題 3次元指モデルを用いた指腹部圧力分布計算およびその実験による妥当性評価
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会第30回研究会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 森田 夏実
2. 発表標題 指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現 第1報:高解像ディスプレイの開発と硬軟感提示性能の確認
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 佐瀬 一弥
2. 発表標題 柔軟物体同士の実時間接触シミュレーションにおける接触圧力分布の妥当性評価
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会第28回研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 加藤 明樹
2. 発表標題 指先SED分布実時間計算のための3次元指モデルの開発
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
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 一條 暁生
2. 発表標題 触覚サイバー・フィジカル・システムを用いた把持タスクにおける触覚機能の調査
3. 学会等名 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会第31回研究会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 一條 暁生
2. 発表標題 指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現 第8報: 2指把持タスクにおける知覚的なじみ状態の検証
3. 学会等名 第41回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 昆陽 雅司
2. 発表標題 指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現 第7報: 把持における知覚的なじみの提案と構成論的実証法
3. 学会等名 第41回日本ロボット学会学術講演会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 一條 暁生
2. 発表標題 指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現 第6報: パラレルリンク型力覚ディスプレイとの統合, 日本機械学会
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 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 佐瀬 一弥
2. 発表標題 触覚分布提示のための指変形シミュレーションにおける寸法個人差の影響
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 2023
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 加藤 明樹
2. 発表標題 3次元指先簡易解剖学モデルにおける皮下SED分布の妥当性評価
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 2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 小野寺玲偉
2. 発表標題 個別別指モデルによる接触反力と接触面積の個人差寸法再現の試み
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 2024
4. 発表年 2024年

1. 発表者名 Masashi Konyo
2. 発表標題 Wearable High-Resolution Haptic Display Using Suction Stimuli to Represent Cutaneous Contact Information on Finger Pad
3. 学会等名 IEEE World Haptics Conference 2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Masashi Konyo
2. 発表標題 Representing Softness Based on the Contact Distribution Using a High-Resolution Suction Tactile Display
3. 学会等名 IEEE Haptics Symposium 2024 (招待講演) (国際学会)
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>受賞等</p> <ul style="list-style-type: none"> ・2022年11月12日, AsiaHaptics2022 Tokyo Satellite Best Demonstration Award Silver Winner (AsiaHaptics2022発表論文「A high-resolution suction tactile display integrated with a kinesthetic haptic display」に対して) ・2023年11月16日, 令和五年ハプティクス研究委員会研究発表賞, 一條暁生, 日本バーチャルリアリティ学会ハプティクス研究委員会第31回研究会発表「田所論, 触覚サイバー・フィジカル・システムを用いた把持タスクにおける触覚機能の調査」に対して ・2023年5月30日, 日本機械学会若手優秀講演フェロー賞, 一條暁生, 日本機械学会ロボティクス・メカトロニクス講演会2023発表「指腹部高解像吸引触覚ディスプレイによる把持感覚の再現 第6報: パラレルリンク型力覚ディスプレイとの統合」に対して

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	佐瀬 一弥 (Sase Kazuya) (20805220)	東北学院大学・工学部・准教授 (31302)	
研究分担者	永野 光 (Nagano Hikaru) (70758127)	神戸大学・工学研究科・助教 (14501)	

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