

令和 4 年 8 月 31 日現在

機関番号：32708

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2017～2021

課題番号：17K00285

研究課題名（和文）MEMS技術を用いた高密度・高精度触覚デバイスの開発

研究課題名（英文）Development of high density and accuracy tactile device using MEMS technology

研究代表者

曽根 順治（Sone, Junji）

東京工芸大学・工学部・教授

研究者番号：50329215

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 3,600,000円

研究成果の概要（和文）： 遭遇型多指力覚提示機構の拡張と触覚デバイスの開発、その融合からなる。遭遇型多指力覚提示機構は、Unityで制御する機能を作成した。力覚提示の遭遇型を実現のため、各指に実装されている力覚位置変更機構をUnity上での多重解像度表現とモータ制御機能の開発で実現できた。触覚提示部は、薄型チャージ型圧電デバイスの高密度化に目標を変更し、0.25mm厚、3.5mm間隔の触覚生成点を有する触覚生成デバイスを開発し、70-300Hzの振動が提示できた。多重カンチレバー型も進めたが、多くの制限で、試作が難しいため特許を出願した。予定の実用試験までは進められなかったが、デバイスと力覚システム開発はできた。

研究成果の学術的意義や社会的意義

世界的にメタバース関係の技術の研究が進められている中、この研究は、人間同士や人間とロボットが、力覚と触覚を活用して高密度のコミュニケーションするために活用できる、デバイス及びシステム技術である。今回の開発により、実装が容易で、安価な薄型チャージ型圧電の触覚デバイスを、多点化して開発できたため、メタバースの進展に大きく貢献できると考えられる。今後、デバイスの実用化が望まれるため、高信頼配線や駆動アンプ、それらを統合して制御するシステムの開発を進めることが必要となる。

研究成果の概要（英文）： This research is the expansion of the encounter-type multi-finger haptic mechanism, the development of tactile devices, and the fusion of these devices. The encounter-type multi-finger haptic mechanism developed a function controlled by Unity. In order to realize the encounter type of haptic presentation was realized the force present position change mechanism mounted on each finger by developing multiple resolution expression and motor control function on Unity.

The multi-point tactile realized the high density activate points in thin charge type piezoelectric devices, a thickness of 0.25 mm and tactile generation points at intervals of 3.5 mm, and was able to present vibrations of 70-300 Hz. We also proceeded with the multiple cantilever type, but due to many restrictions, it was difficult to make a prototype, so we applied for a patent. Although we can not execute the field experiment for confirming our device, the tactile device and encounter-type haptic system could be developed.

研究分野：バーチャルリアリティ、力覚提示、MEMS

キーワード：ヒューマンインターフェイス 力覚 ソフトアクチュエータ メタバース バーチャルリアリティ インタラクション MEMS 触覚

1. 研究開始当初の背景

触覚デバイスは、接地型と装着型に分かれ、接地型は解像度の高いものが開発され、ピンを突出させるタイプが主流である。また、装着型は、電気刺激や振動刺激が多く、人による感度の差異や詳細な触覚提示は難しい場合がある。また、MEMS 技術を活用した多く研究があるが、形状を提示するには変位量が小さい研究、また、触覚デバイスとしては、動作速度が遅い研究などの課題がある。ここでは、MEMS 技術が薄膜技術であり、人力により簡単に壊れる問題がある。また、MEMS デバイスが平面構造であるが、人間の指や身体は3次元形状を有し、密着し難い問題がある。提案者は、平成 27-28 年度の挑戦的萌芽研究「MEMS 技術を用いた高密度・高精度触覚デバイスの開発」において、圧電方式に注目して、MEMS の高精度技術を活用し、指腹部が 400 μm 程度変形が行える高密度触覚提示デバイスを設計し、一部の試作を実施した。また、作業支援などにおいて、力覚と触覚を同時に提示すると効果が大きいことが研究されており、融合が必要であった。

カンチレバー型の圧電 MEMS を活用した触覚デバイスを開発していた。そこでは、0.5mm の Si 基板を用いていることと、カンチレバーが高密度のために、強度が不足していた。また、圧電膜を多層にする必要があり、工程が複雑となり、製作が難しいこともあった。さらに、多層圧電膜は、配線部を露出させ、また正確な輪郭形状に整えるために、正確なエッチングによるパターンニングが必要であった。しかし、多層圧電膜のエッチングは難しく、また、残存圧電膜によるワイヤボンディング不良も生じていた。また、装着の簡便性を向上させるために、柔軟デバイスの開発も重要であるため、フレキシブルタイプの触覚生成デバイスも検討する必要がある。

また、複数指への力覚提示ロボットも開発しており、力覚提示精度を向上させるために、力覚提示位置変更や角度変更ができる遭遇型の機能が必要となっていた。また、カンチレバー型の触覚デバイスと力覚提示ロボットを融合して、力覚と触覚を同時に提示する必要があった。

2. 研究の目的

触覚デバイスは、接地型と装着型に分かれ、接地型は解像度の高いものが開発され、ピンを突出させるタイプが主流である。また、装着型は、電気刺激や振動刺激が多く、人による感度の差異や詳細な触覚提示は難しい場合がある。また、MEMS 技術を活用した多く研究があるが、形状を提示するには変位量が小さい研究、また、触覚デバイスとしては、動作速度が遅い研究などの課題がある。ここでは、MEMS 技術が薄膜技術であり、人力により簡単に壊れる問題がある。また、MEMS デバイスが平面構造であるが、人間の指や身体は3次元形状を有し、密着し難い問題がある。提案者は、平成 27-28 年度の挑戦的萌芽研究「MEMS 技術を用いた高密度・高精度触覚デバイスの開発」において、圧電方式に注目して、MEMS の高精度技術を活用し、指腹部が 400 μm 程度変形が行える高密度触覚提示デバイスを設計し、一部の試作を実施した。また、作業支援などにおいて、力覚と触覚を同時に提示すると効果が大きいことが研究されており、融合が必要であった。

カンチレバー型の圧電 MEMS を活用した触覚デバイスを開発していた。そこでは、0.5mm の Si 基板を用いていることと、カンチレバーが高密度のために、強度が不足していた。また、圧電膜を多層にする必要があり、工程が複雑となり、製作が難しいこともあった。さらに、多層圧電膜は、配線部を露出させ、また正確な輪郭形状に整えるために、正確なエッチングによるパターンニングが必要であった。しかし、多層圧電膜のエッチングは難しく、また、残存圧電膜によるワイヤボンディング不良も生じていた。また、装着の簡便性を向上させるために、柔軟デバイスの開発も重要であるため、フレキシブルタイプの触覚生成デバイスも検討する必要がある。

また、複数指への力覚提示ロボットも開発しており、力覚提示精度を向上させるために、力覚提示位置変更や角度変更ができる遭遇型の機能が必要となっていた。また、カンチレバー型の触覚デバイスと力覚提示ロボットを融合して、力覚と触覚を同時に提示する必要があった。

3. 研究の方法

MEMS のカンチレバーの強度を増すために、多段のカンチレバー方式を採用する。そのために、まずは、1 層の MEMS カンチレバーを開発する。また、圧電層が多段となると、デバイス製造が難しくなるため、1 層で行える高出力圧電膜の成膜を検討し、デバイスの完成度を高める。また、カンチレバー型と並行して、樹脂製の圧電ソフトアクチュエータを開発し、高密度の触覚生成が可能であるかを検討する。

力覚提示ロボットの力覚提示精度を向上させるために、力覚提示位置変更や角度変更ができる遭遇型の機能を開発する。そのためには、位置変更を行うためのモータ制御が必要であり、力覚提示とは別に、サーボモータを制御するハードを開発し、モータを制御するミドルウェアソフトを開発する。この機能は、VR 空間実現から適切に駆動させる必要があるために、接触位置を予想しながら、力覚提示位置変更や角度変更を実施できるように、システムを開発する。

4. 研究成果

4.1 多段方式のカンチレバー型の MEMS

図1に示す多段方式のカンチレバー型の MEMS の試作においては、PZT より、圧電性能が高いと産総研などから報告されている PLZT の成膜を行い、条件を詰めてきた。2019 年度の UC Berkeley 研修において、基本的な条件は詰めてきたが、2cm 角基板によるパターニングを行うための治具がなく、試作できなかった、2020 年度から 2021 年度は、東北大での試作が緊急事態宣言などで難しい中、東北大の設備（スピンドラと RTA 装置が異なる）で、ほぼ PZT と同等レベルまでは、圧電膜の成膜条件が詰めてきているが、さらなる向上が必要であった。また、配線やカンチレバー形状のパターニングに必要な PLZT のエッチングは、条件を詰めて、エッチング後に露出した下部電極には、ワイヤボンディングによる配線が行えた。しかし、新しく採用した PLZT 成膜剤の粘度が高く、2cm 角の基板では、厚みが $0.5\mu\text{m}$ を超えると外側に割れが生じるため、最低でも、4cm 角基板での製作が必要となった。これに伴い、再設計と 10 枚程度のパターニング用フォトマスクの再作成が必要となったが、安価にフォトマスク作成が行えないために、試作ができなかった。この内容は、国際特許 PCT/JP2022/009622 として特許出願を行った。

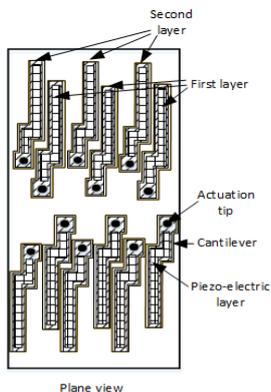


図1 多段方式のカンチレバー型皮膚刺激デバイス

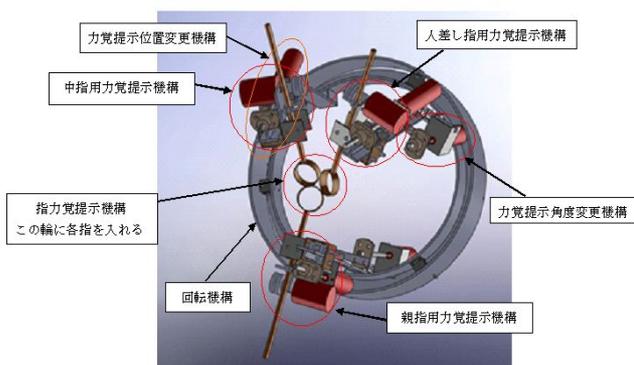


図4 力覚提示デバイスの構成

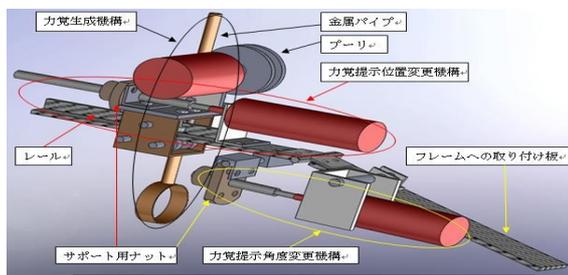


図5 指への力覚生成機構

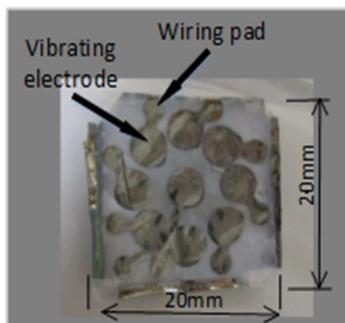


図2 多点デバイス

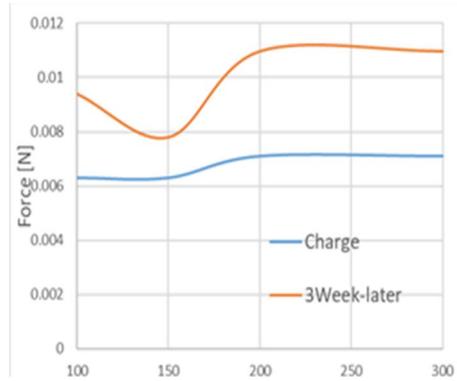


図3 多点デバイスの振動力

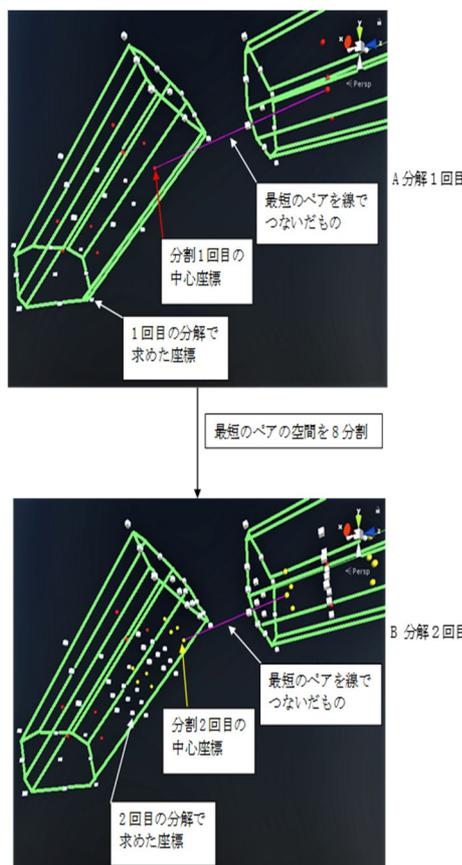


図6 3次元空間で動かしたときの最短距離計算方法

4.2 フレキシブルチャージ型デバイス

UC Berkeley で、同時開発を進めていたチャージ型の樹脂製の圧電ソフトアクチュエータは、基

本性能の確認から、高密度化の検討まで進め、3.5mm 間隔の触覚生成点（電極）に個別に力を生成できることが確認できた。デバイスの試作方法から性能評価結果を下記に示す。

（１）デバイスの試作方法 デバイスの試作は以下の手順で実施した。

・3Dプリンタで作成した型とスピンドルコートを用いて、厚み0.2mm-0.5mmのシリコンゴム膜を作成した。

・FEPフィルムの片面には、スパッタにより、Ti電極膜を150nm成膜した。

・シリコンゴム膜とFEPフィルムは、接着し、コロナチャージを行った。

（２）デバイス構成

大面積デバイスは、2種類作成した。内部には穴を形成し、穴の面積比は10.2%と28.2%である。さらに、50 μ m厚のガラス板にカリウムをドーブ（500 ,1時間）して、ガラス板のみにチャージして、シリコンゴムに積層してデバイスを製作した。

小型多点デバイスは、2cm角内に、9点の触覚生成点を設けており、各点で、触覚を生成することを目的としている。図2は、作成したデバイス写真である。大径の円パッド電極が、触覚生成部、小径の円パッドは、電極接続点である。電極の下部が穴となっており、穴の面積は28%である。

（３）デバイス評価結果

振動力は、人間が感じる70Hzから300Hzの振動の生成圧力を計測した。大面積デバイスは、チャージから3週間経過しても、100Hz以上で大きな振動力を出せた。また、穴の面積比が28.2%のデバイスは、70Hzから安定して振動した。また、穴の面積比は10.2%のデバイスは、28.2%のデバイスの5倍の振動が観察された。3種類のデバイスは、指では十分振動を感じることができた。カリウムドーブも、電荷の保持には有効であった。図3は、小型多点デバイスの振動力の測定結果を示す。チャージ直後と3週間後の振動特性はそれ程変化してないが、3週間後は、若干向上した。このデバイスは、大型デバイスよりは、振動出力は低い、指で振動を感じることができた。

（４）まとめ

人間の触覚に重要な70-300Hzの振動触覚を生成するチャージ型の樹脂薄膜圧電触覚デバイスを開発できた。チャージの低下を抑えるために、カリウムドーブも検討した。2cm角の小型の多点触覚デバイスを開発することができ、指などの局所触覚生成に有効であると考えられる。そのため、XRへの応用を検討して行きたいと考える。この技術は、0.25mm厚でフレキシブルであるため、力覚提示ロボットに装着も容易である。今後、多点化の高密度化、高出力化と配線技術の向上を図り、遭遇型多指力覚提示機構の指接触部への実装と、手術ロボット操作部の触覚提示に活用したいと考える（東京大学 川嶋教授に提案中）。この技術は、国際特許PCT/JP2022/009621 出願した。

4.3 遭遇型多指力覚提示機構の拡張

遭遇型多指力覚提示機構の拡張は、Unity上で開発している仮想現実感システムの拡張のため、6自由度の指の姿勢の反映機能を作成できているが、力覚提示の遭遇型機能を実現するために、各指に実装されている力覚位置変更機構と力覚角度変更機構の制御部を開発している。

（１）デバイス構成

3本の指に力覚提示デバイスを装着し、仮想空間の3Dモデルを用いた力覚計算結果を用いて、触れたり、把持した力を、力覚提示デバイス、モータ制御システムを介して3本の指に生成し、現実であたかも触れているかのように力覚提示することが目標である。図4は力覚提示デバイスの構成を示す。指力覚提示機構はそれぞれ親指、人差し指、中指用の力覚提示機構から形成され、指のコンタクト輪の中に指を入れて使用する。力覚提示位置変更機構は、各指の指先から指の付け根の間で力覚提示の位置を変更する。力覚提示角度変更機構は、親指、人差し指、中指を回転機構に沿って力覚提示の角度を変更する。図5に各指の力覚生成の各機構を示す。力覚生成機構、力覚提示位置変更機構、力覚提示角度変更機構が取り付けられている。各指のコンタクト輪に親指、人差し指、中指にそれぞれ装着し、個別のデバイスに装着されている力覚提示機構、力覚位置変更機構、力覚角度変更機構のモータが動作することにより、実作業に近い遭遇型の力覚を表現できる。

（２）力覚位置、力覚角度変更機能の開発

制御プログラム(C#言語で記述)から直接、モータ制御が行えるP C I制御ボード(株式会社コスモテックス、PXPG-88)を導入し、各指における力覚提示位置変更機構と力覚提示角度変更機構を自作アンプによって制御する構成を導入した。自作アンプはモータ制御ボードからのモータの回転数と方向の命令を受け、回転方向の方向制御回路を経て、電流制御アンプの高出力電圧をモータに送り、モータの回転方向、回転を制御して位置決めを行う。

Unity(グラフィック、物理計算ライブラリー)を用いて開発した仮想空間システムで、指と物体との衝突位置を予測するプログラムを追加開発し、触覚の生成位置を変更する機能を開発した。衝突位置の予測は力覚位置変更機構と力覚角度変更機構のモータの回転の速度が遅いため、衝突位置を予測しながら、指が、接触物体に近づいた状態から、徐々に接近するように工夫した。このプログラムでは多重解像度で使われる八分木を利用している。図6は八分木を使用して衝突位置の予測する説明図である。把持物体(Obj)と指(Yubi)オブジェクトの二種類の衝突位

置を予測するために、八分割を行う回数の MaxLevel を設定する。設定したオブジェクトの x,y,z 軸の最大値と最小値を求め、そのオブジェクトを覆う直方体のサイズを求める。求めた直方体を八等分し、8つの直方体の空間を生成し、各空間の x,y,z 軸の値が異なる頂点2つを使用し中心の座標を求め、Obj の分割直方体の中心座標と Yubi の分割直方体の中心座標から、8×8の組み合わせで距離を計算する。そして、Obj と Yubi の距離が一番近い組み合わせを探す。先ほど中心座標を求めるときに使用した2つの頂点を元にその空間を、さらに八等分する。そこでも、最小距離の組み合わせを求め、一番近いものの組み合わせを判別する。これを設定した MaxLevel 回数行いながら、Obj と Yubi がどの位置で衝突するかを推定する。そして、触覚生成プログラムに位置情報を渡す。白色の四角形は分割したときに求めた座標を表し、赤色の丸は分解1回目中心座標を表し、黄色の丸は分解2回目中心座標を表し、紫色の線が一番近い組み合わせを表す。

(3) 開発結果

以前の FPGA を活用したモータ制御システムは、FPGA ボードに、Arm CPU が搭載され、Arm CPU を利用した USB 通信機能の開発が必要であったが、費用や技術の関係から開発が難しくなったため、制御 PC に直接搭載できる多軸モータ制御ボードを使用して、制御システムを構築した。自作モータアンプを組み合わせ、力覚提示位置変更機構、力覚提示角度変更機構のモータ制御は可能となった。Unity 上で開発している仮想現実感システムにおいて、力覚提示時に、力覚提示位置を変更する機能が開発できた。また、力覚提示位置を、高速に計算するために、CG モデルに多重解像度表現を導入し、階層的に接触位置の精度を高めながら、接触位置を高速に計算する機能を開発して、それを、仮想空間の構成している Unity プログラムに実装した。

4.4 研究成果のまとめ

MEMS 技術を用いた高密度・高精度触覚デバイスの開発の研究プロジェクトから下記の成果を得られた。

(1) 多段方式のカンチレバー型の MEMS 触覚デバイスにおいては、デバイスの機構や製造プロセスの多くの試行錯誤を行いながら、多段方式のカンチレバー型が必要であることがわかった。しかし、東北大 MEMS 試作コインランドリに通わないと試作がでないため、緊急事態宣言の制約や、試作費用(設備の利用費、材料代)が高額なため、常に、予算以上の経費が必要となり、開発が難しかった。ここでは、予算を旅費に充当できなかった。また、セラミック系圧電膜については、材料からプロセスまで、高い技術ノウハウが必要であり、この研究プロジェクト全期間をかけて、やっと成膜、エッチング、配線までの技術を習得するに至ったが、多段方式のカンチレバー型の MEMS デバイスの試作までは、至らなかった。この試作には、さらに、200 万円以上の費用と2年以上の開発期間が必要であった。そのため、国際特許を出願して、技術の権利化を図った。

(2) フレキシブル型の触覚デバイスについては、大学保有の基本的な設備で試作できるため、人間の触覚に重要な 70-300Hz の振動触覚を生成するチャージ型の樹脂薄膜圧電触覚デバイスを開発できた。2cm 角の小型多点触覚デバイスを開発することができた。これは、指などの局所触覚生成に有効であり、力覚提示ロボットに装着も容易である。この技術は、さらなる密度の向上と高信頼の配線方法を検討し、遭遇型多指力覚提示システムの力覚提示部に触覚提示機能を実装することや、手術ロボットの操作部の触覚提示にも活用したいと考える。この技術も国際特許を出願して、技術の権利化を図った。

(3) 遭遇型多指力覚提示機構の拡張は、Unity 上で開発している仮想現実感システムから、力覚提示時に、力覚提示位置変更機能を開発することができた。また、力覚提示位置を、高速に計算するために、CG モデルを多重解像度表現により、階層的に接触位置の精度を高めながら、少ないステップで、接触位置を計算する機能を開発できた。今後は、触覚の方向を制御する機能の開発を進め、さらに、指の力覚生成部にフレキシブル型の触覚デバイスを実装して、力覚と触覚を同時に提示するシステムを開発する予定である。ここでは、CG モデルからのテクスチャ情報や接触エッジの推定機能を開発し、その情報から触覚デバイスの駆動信号を生成する。また、触覚デバイスの駆動のために、20V の正弦波(70-300Hz)電圧を、多チャンネルで発生する制御機が必要であり、それらを開発しながら、実用化を進める予定である。

以上の結果より、当初計画の、実用試験までは進められなかったが、目標の精度に近いフレキシブル型の多点触覚デバイスを開発することができ、それを実装する遭遇型多指力覚提示機構の拡張も進められたと考えられる。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計2件（うち査読付論文 2件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

| | |
|--|-----------------------|
| 1. 著者名 J. Sone, Y. Matsumoto, Y. Yasuda, S. Hasegawa, and K. Yamada | 4. 巻 Vol.32, No.2 |
| 2. 論文標題 Development of MEMS Tactile Sensation Device for Haptic Robot | 5. 発行年 2020年 |
| 3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics | 6. 最初と最後の頁 315-322 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.20965/jrm.2020.p0315 | 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 松本 康義、足立 丈宗、星 陽一、曾根 順治 | 4. 巻 22 |
| 2. 論文標題 MEMS技術を用いた触覚提示デバイスの設計と特性解析 | 5. 発行年 2017年 |
| 3. 雑誌名 日本バーチャルリアリティ学会論文誌 | 6. 最初と最後の頁 279 ~ 285 |
| 掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.18974/tvrsj.22.2_279 | 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17件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 3件）

| |
|---|
| 1. 発表者名 Junji Sone, Tatsuya Sato, Shinmyo Yanagawa, Katsumi Yamada, Liwei Lin |
| 2. 発表標題 Study of Thin Polymer pre-charge Multi point Tactile device |
| 3. 学会等名 Workshop on Emerging Novel Input Devices and Interaction Techniques, IEEE VR 2022 (国際学会) |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 曾根順治, 佐藤龍弥, 柳川信明 |
| 2. 発表標題 薄型樹脂型プリチャージ触覚デバイスの検討 |
| 3. 学会等名 電気学会【C】電子・情報・システム部門 知覚情報研究会 |
| 4. 発表年 2022年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 曾根順治、飯田麗司 |
| 2. 発表標題 チャージ型ソフト圧電デバイスの検討 |
| 3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 2021 シンポジウム |
| 4. 発表年 2021年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 曾根順治, Sedat Pala, Liwei Lin |
| 2. 発表標題 圧電デバイス用のPLZT膜の活用 |
| 3. 学会等名 第11回マイクロ・ナノ工学シンポジウム |
| 4. 発表年 2020年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 Junji Sone, Sedat Pala, Liwei Lin |
| 2. 発表標題 Investigating Ultrasonic Actuator |
| 3. 学会等名 BSAC Conference - Spring 2020 (国際学会) |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 J. Sone, Y. Matsumoto, R. Sekiya, K. Ooizumi, Y. YASUDA, Y. HOSHI and S. HASEGAWA |
| 2. 発表標題 Fusion of Tactile and Force display - Concept and each display development - |
| 3. 学会等名 The 16th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and its Applications in Industry (VRCAI 2018) (国際学会) |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 曾根 順治, 鳥越 祐輝, 松本 康義 |
| 2. 発表標題 装着型回転力覚提示デバイスや触覚デバイスの開発 |
| 3. 学会等名 知覚情報研究会 |
| 4. 発表年 2019年 |

| |
|--------------------------------|
| 1. 発表者名 曾根 順治, 松本 康義, 大泉 勝彦 |
| 2. 発表標題 圧電型触覚提示デバイスの試作-2 |
| 3. 学会等名 第9回マイクロ・ナノ工学シンポジウム |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 曾根順治, 中島乃樹, 関谷涼, 松本康義, 長谷川晶一 |
| 2. 発表標題 多指力覚提示機構のシステム拡張 |
| 3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 曾根順治, 松本康義, 大泉勝彦, 安田洋司, 星陽一 |
| 2. 発表標題 MEMS 技術を用いた指触覚デバイスの設計と製作 (第7報) |
| 3. 学会等名 第23回日本バーチャルリアリティ学会大会 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 曾根順治 |
| 2. 発表標題 多指力覚提示機構のシステム拡張 |
| 3. 学会等名 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会技術・芸術展示 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|---|
| 1. 発表者名 曾根順治, 中島 乃樹, 松本 康義, 長谷川 晶一 |
| 2. 発表標題 多指力覚提示のシステム拡張 遭遇型多指力覚ディスプレイのシステム開発 |
| 3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018 |
| 4. 発表年 2018年 |

| |
|----------------------------------|
| 1. 発表者名 曾根順治, 松本康義, 山田優希, 星陽一 |
| 2. 発表標題 触覚提示デバイスの機能向上 |
| 3. 学会等名 ロボティクス・メカトロニクス講演会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本康義, 沓澤翔吾, 曾根順治, 安田 洋司, 星陽一 |
| 2. 発表標題 MEMS技術を用いた指触覚デバイスの設計と製作 (第6報) - MEMSデバイスの試作 - 2 - |
| 3. 学会等名 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 曾根順治, 松本康義, 沓澤翔吾, 安田洋司, 星陽一 |
| 2. 発表標題 対向スパッタによる圧電膜の成膜-2 |
| 3. 学会等名 日本機械学会第8回マイクロ・ナノ工学シンポジウム |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|--|
| 1. 発表者名 松本康義, 沓澤翔吾, 曾根順治, 安田洋司, 星陽一 |
| 2. 発表標題 触覚提示用の圧電膜の研究 |
| 3. 学会等名 知覚情報研究会, 2018年3月14日, 東京 |
| 4. 発表年 2017年 |

| |
|------------------------------------|
| 1. 発表者名 中島乃樹, 曾根順治, 松本康義, 長谷川晶一 |
| 2. 発表標題 多指力覚提示機構のシステム開発 |
| 3. 学会等名 知覚情報研究会, 2018年3月13日, 東京 |
| 4. 発表年 2017年 |

〔図書〕 計0件

〔出願〕 計2件

| | | |
|--------------------------------------|------------------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 皮膚刺激デバイスおよび皮膚刺激デバイスの駆動方法 | 発明者 Junji Sone, Liwei Lin | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/00961 | 出願年 2022年 | 国内・外国の別 外国 |

| | | |
|--------------------------------------|-------------------|---------------|
| 産業財産権の名称 皮膚刺激デバイスおよび皮膚刺激デバイスの駆動方法 | 発明者 Junji Sone | 権利者 同左 |
| 産業財産権の種類、番号 特許、PCT/JP2022/00962 | 出願年 2022年 | 国内・外国の別 外国 |

〔取得〕 計0件

〔その他〕

3Dシステム研究室
<http://3dwebs.photo.t-kougei.ac.jp/>
東京工芸大学 連携最先端技術研究センター
<http://3dwebs.photo.t-kougei.ac.jp/JRCH/>

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 |
|-------|------------------------------------|-----------------------|----|
| 研究協力者 | リン リュウエイ (Lin Liwei) | | |
| 研究協力者 | 松本 康義 (Matsumoto Yasuyoshi) | | |
| 研究協力者 | 中島 乃樹 (Nakajima Daina) | | |
| 研究協力者 | 正田 大知 (Syouda Daichi) | | |
| 研究協力者 | 飯田 麗司 (Iida Reiji) | | |

6. 研究組織（つづき）

| | 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 |
|-------|--|---------------------------------------|----|
| 研究協力者 | 佐藤 龍弥 (Sato Tatsuya) | | |
| 研究協力者 | 柳川 信明 (Yanagawa Shinmyou) | | |
| 連携研究者 | 長谷川 晶一 (Hasegawa Shoichi) (10323833) | 東京工業大学・精密工学研究所・准教授 (12608) | |
| 連携研究者 | 田中 秀治 (Tanaka Shuji) (00312611) | 東北大学・大学院工学研究科・教授 (11301) | |

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 |
|---------|---------|
| | |