

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 10 日現在

機関番号：32708

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12089

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) 2,700,000円

研究成果の概要(和文)：指の動きを妨げない大きさで、自由に動作できる装着型指触覚提示デバイスの設計から開発を行った。このデバイスは、指装着部、触覚生成デバイスの固定フレーム、触覚生成デバイスから構成される。指装着部、触覚生成デバイスの固定フレームは、3次元CADで設計し、3Dプリンタにより試作し、高精度に作成できた。触覚生成デバイスは、MEMS-CADで設計し、圧電層が5層あれば触覚を十分提示できることがわかった。そして、触覚デバイス製作のためのMEMSプロセスを検討し、方法は確立できた。しかし、ゾルゲルの圧電膜の成膜中の事故により、最後まで製作できなかった。また、多チャンネル圧電制御回路を試作した。

研究成果の概要(英文)：Wearable Tactile device of human fingertips was designed and developed which device size is small and can move freely. This device is consist of finger attached part, fixed frame of tactile actuator, tactile actuator. Finger attached part, fixed frame of tactile actuator were designed by 3D CAD and prototyped with high precision using 3D printer. Tactile actuator was designed by MEMS-CAD. From this design, five layers of piezo-electric part of actuator is enough to assign the tactile sensation. We considered the MEMS process of the actuator development and these process is available for prototyping. But we have accident at piezoelectric film deposition by sol-gel processing. Then, tactile actuator was not built completely. And we made the multi-channel driver for piezoelectric actuators.

研究分野：人間情報学

キーワード：バーチャルリアリティ 遠隔ロボット

1. 研究開始当初の背景

指の動作を妨げない大きさで装着可能かつ高密度情報を提示できる指触覚提示デバイスはなかった。

2. 研究の目的

本研究の目的は、指の動作を妨げない大きさで、指に装着可能な触覚ディスプレイを開発することである。その触覚ディスプレイの仕様は、2点弁別閾近くの高密度、400Hz、0.4mmの変位を目標とする。また、多指力覚ディスプレイの提示部に装着するためには、極力小型化する必要がある。

3. 研究の方法

(1) 指装着部と触覚生成デバイスの固定フレームの設計開発

指装着部と触覚生成デバイスの固定フレームは、3D CAD を用いて設計し、3D プリンタで試作した。

(2) 触覚アクチュエータ開発

触覚生成には、大きな変位量が生成できるカンチレバー方式を採用し、触覚生成デバイスは、高密度実装のため、数種のカンチレバーから構成される。カンチレバーには、高分解能、高速応答性が得られる圧電方式を採用し、圧電材料は PZT [Pb(Zr, Ti)O₃] を使用する。MEMS-CAD により、設計し、試作を行う。

(3) 多チャンネルの圧電制御回路

コンピュータでアクチュエータを制御するために、多チャンネルの圧電制御回路を試作する。

4. 研究成果

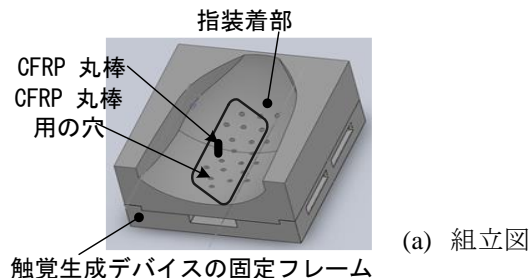
(1) 指装着部と触覚生成デバイスの固定フレームの設計開発結果

図1は、指腹部分に装着する触覚提示デバイスの構成を示す。装着箇所は、右手の人差し指(頂点~第1関節)とした。装着は、多指力覚ディスプレイの指をホールドする部分に組み込む。(a)は指装着部と触覚生成デバイスの固定フレームの組立図を示し、別々に3Dプリンタ(0.2mm ノズル径)により製作(b)して組み立てる。指装着部内部には穴が形成されており、そこに CFRP 棒を挿入する。その下に MEMS 技術で作成する触覚生成デバイスを配置し、その変位により、触覚を生成する。図に示すように、高精度に開発できた。

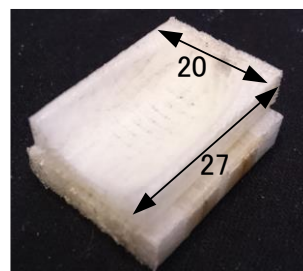
(2) 触覚アクチュエータ開発結果

触覚生成デバイスを2枚使用して、高密度配置を行う。図2は、1段目が2cm角、2段目が0.52×2cmの触覚生成デバイスを外側上部に重ねた概要を示す。図3(a),(b)はカンチレバーの配置概要を示す。カンチレバーは、高密度配置を考慮して4形状の長方形アクチュエータを接続して構成する。○部が刺激生成部であり、その反対側が固定部となる。1段目のデバイスはタイプ1-4の4種類のカンチレバーを、2段目は既存形状に、新たなタイプ5を加え、合計5つのカンチレバーが必用である。その接続は図5(b)に示すように、板Aの前の板からの変形による傾きを考

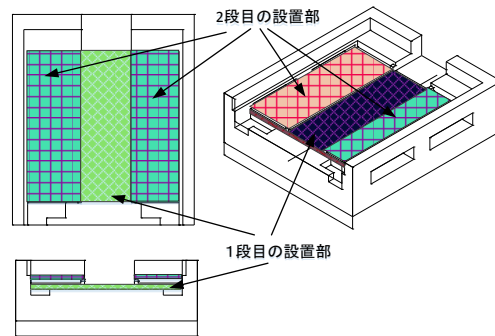
慮して、板Aの長手方向の変形に幅方向の変形が加算される連結方法を用いた。触覚提示を行う各 CFRP 棒の間隔は2~2.5mm, 全体で26箇所高密度配置できた。



(a) 組立図

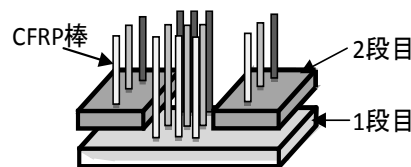


(b) 3D プリント試作



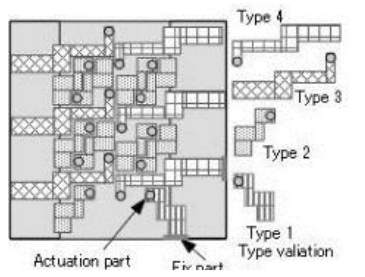
(c) 触覚生成デバイスの固定フレーム概要

図1 指装着デバイス概要

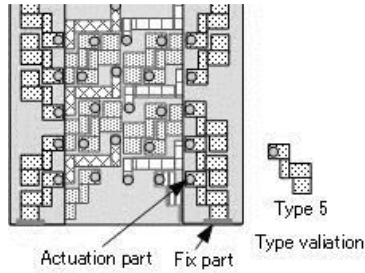


2 段配置

図2 触覚生成デバイスの2段配置



(a) 1 段目の配置



(b) 2 段目の配置

図3 タイプ毎のカンチレバー形状

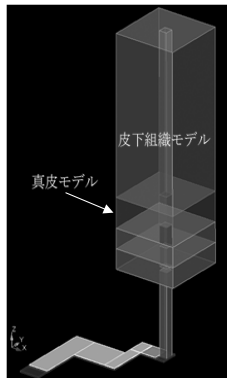


図4変形解析モデル

MEMS アクチュエータのカンチレバーの設計は、MEMS—CAD (MEMS ONE) を用いて、実施した。実際の皮膚に近い真皮、皮下組織を含めた解析モデルを用いて検討した。ここでは、皮下組織の上部に骨が存在し、拘束していると仮定している。図4に真皮(750 μm 厚)、皮下組織(4000 μm 厚)を付加した解析モデルを示す。圧電部は5層(1層3 μm 厚)である。このモデルで、Si の厚み 30 μm 、35 μm について、各カンチレバーの圧電変形解析を実施し、最大変位を求めた結果を図5に示す。図より5種類の全てのカンチレバーで400 μm 以上の変位量を得られた。そのため、圧電膜の積層数は5層で十分であることがわかった。また、最長のカンチレバーの共振周波数は594Hz であるため(片持ち梁の共振の計算式に長さや厚み、Si の物性値などを代入して計算)、400Hz の駆動には十分であると考えられる。

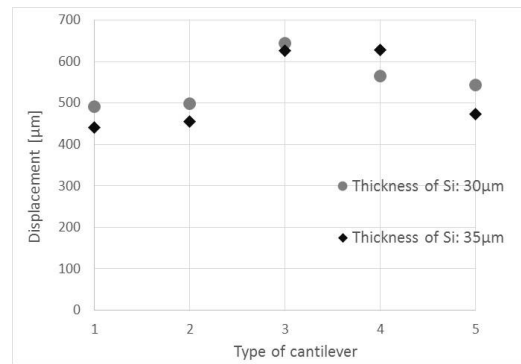


図5 タイプ毎の最大変位量

今回の設計結果を基に、MEMS デバイス作成のプロセスを検討して、それを基に試作を実施した。その結果を図6に示す。図より、高密度圧電方式のカンチレバーは、試作はできた。プローブをアクチュエータの電極に接触させて1.7V の電圧を印加すると、約4 μm の変位を確認した。今回は、特に多層膜電極の導通のための配線プロセスの検討が不足していたため、5層全部に電圧供給が必要であり、プロセスを見直し、フォトマスクも作成し直し、2回目の試作を実施した。しかし、圧電膜の4回目の成膜時に、自動ゾルゲル装置で、スピコートから成膜基板が脱落して、割れたため、最後まで、製作はできなかった。

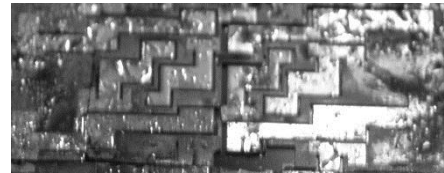


図6 試作結果

(3) 多チャンネルの圧電制御回路試作結果
コンピュータでアクチュエータを制御するために、多チャンネルの圧電制御回路を小型の圧電ドライバーを用いて試作した。これは、身体の型などに装着可能である。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計2件)

- ① 松本康義, 足立 丈宗, 星 陽一, 曾根 順治, MEMS 技術を用いた触覚提示デバイスの設計と特性解析, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, 査読有, Vol. 22, No. 2, 2017, 採録, ISSN: 1342-6680
- ② T. Adachi, Y. Matsumoto, Y. Hoshi and J. Sone, Feasible Design of Wearable Tactile Sensation Device, International Journal of Science and Research Methodology, 査読有, 4 (4),

[学会発表] (計 8 件)

- ① 曾根順治, 松本康義, 山田優希, 星陽二, MEMS 技術を用いた触覚提示デバイスの試作, 第 33 回 センサ・マイクロマシンと応用システム シンポジウム, 2016/10/24, 平戸.
- ② 松本康義, 山田優希, 沓澤翔吾, 曾根順治, 星陽二, MEMS 技術を用いた指触覚デバイスの設計と製作 (第 5 報) -MEMS デバイスの試作-1, 第 21 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2016/09/16, つくば.
- ③ 曾根順治, 足立丈宗, 松本康義, 星陽一, MEMS 型触覚デバイスの試作, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2016/06/09, 横浜.
- ④ 足立丈宗, 松本康義, 猪俣泰気, 星陽一, 曾根順治, MEMS 技術を用いた指触覚呈示デバイスの設計と開発, ヒューマン情報処理研究会, 2016/03/18, 横浜.
- ⑤ 曾根順治, 足立丈宗, 松本康義, 星陽一, 田中秀治, 対向スパッタによる圧電膜の成膜, 第 7 回マイクロ・ナノ工学シンポジウム, 2015/10/26, 新潟.
- ⑥ T. Adachi, Y. Matsumoto, T. Inomata, Y. Hoshi, J. Sone, S. Tanaka, Design and Prototyping of Tactile MEMS Device for Finger Tactile Sensation, 14th ACM SIGGRAPH International Conference on Virtual Reality Continuum and Its Applications in Industry (VRCAI 2015). 2015/10/30, Kobe.
- ⑦ 松本康義, 猪俣泰気, 足立丈宗, 星陽二, 曾根順治, 田中秀治, MEMS 技術を用いた指触覚デバイスの設計と製作 (第 3 報), 第 20 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2015/09/10, 東京.
- ⑧ 足立丈宗, 曾根順治, 堀川祐樹, 星陽二, MEMS 技術を活用した触覚技術の検討-設計と成膜技術の検討, ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2015/05/19, 京都.

[図書] (計 0 件)

[産業財産権]

○出願状況 (計 1 件)

名称: 触覚提示装置

発明者: 曾根順治

権利者: 曾根順治

種類: 特許

番号: 特願 2015-139191

出願年月日: 平成 27 年 6 月 3 日

国内外の別: 国内

○取得状況 (計 0 件)

[その他]

ホームページ等

研究室ホームページ

www.3dwebs.photo.t-kougei.ac.jp

6. 研究組織

(1) 研究代表者

曾根順治 (SONE Junji)

東京工芸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 50329215

(2) 連携研究者

田中秀治 (TANAKA Shuji)

東北大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 00312611

長谷川晶一 (HASEGAWA Shoichi)

東京工業大学・精密工学研究所・准教授

研究者番号: 10323833

星陽一 (HOSHI Yoichi)

東京工芸大学・大学院工学研究科・教授

研究者番号: 20108228

(3) 研究協力者

戸津 健太郎 (TOTSU Kentaro) 東北大

森山 雅昭 (MORIYAMA Masaaki) 東北大

平野 栄樹 (HIRANO Hideki) 東北大

吉田 慎哉 (YOSHIDA Shinya) 東北大

三田 吉郎 (MITA Yoshio) 東大

足立 丈宗 (ADACHI Takehiro)

松本 康義 (MATSUMOTO Yasuyoshi)

堀川 祐樹 (HORIKAWA Yuuki)

猪俣 泰気 (INOMATA Taiki)

山田 優希 (YAMADA Yuuki)

沓澤 翔吾 (KUTSUZAWA Shogo)

田中 康基 (TANAKA Koki) 東北大

西野 仁 (NISHINO Hitoshi) 東北大

浅野 翔 (ASANO Sho) 東北大

金子 亮介 (KANEKO Ryosuke) 東北大

謝辞

本研究の一部は、文部科学省のナノテクノロジープラットフォームの支援を受けて東北大学・東京大学ナノテク融合技術支援センターで実施された。また、本研究は、ユニバーサル未来社会推進協議会の「教育・コミュニケーションロボットの研究開発」のテーマとして、実施している。