

論文内容要旨 (和文)

2017 年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学専攻

氏 名 徐 嘉 樂



論 文 題 目 微細アレイ構造による触感提示に関する研究

本論文は、微細な凹凸表面を用いた触感評価および能動的に触感や記号の提示を目指した刺激素子について記したものである。

触感や記号、文字情報を皮膚に伝達するツールとして触覚ディスプレイの研究が行われ、モバイル機器のスマートボタンなどへの応用が期待される。触覚ディスプレイには表面の形状を変化させ、指でなぞることで知覚する受動型や振動刺激を指に提示する能動型の2種類がある。本研究では、受動型と能動型の両面から周期的なアレイ構造をもつ触覚提示素子の開発に取り組んだ。

まず、受動型として皮膚が入り込みにくく、これまで研究例が少なく、体系立てた研究が行われていない溝幅が100 μm 以下の微細な領域に注目し、Si微細加工により周期的な凹凸構造を作製し、凸部の面積やエッジ数により人間が感じる「ざらざら感」と「抵抗感」への影響を官能評価した。また、ウレタン製の指モデルを用いて凹凸表面の摩擦係数を測定し、人間の感じる「ざらざら感」および「抵抗感」との関連についても調べた。ざらざら感に与える影響は凸部のエッジや頂点が支配的であり、抵抗感に与える影響は皮膚と凸部の接触面積が支配的であることがわかった。移動中の指モデル表面のせん断変形による摩擦係数の変動や、指モデル表面および凸部上面間で生じるスティックスリップ現象による抵抗感への影響も大きいことが確認された。次に、異なる触感を皮膚に可変提示することを目指し、Si凹凸表面にPDMS膜を貼り付け、中空内部の圧力によって表面の凹凸形状を可変する触覚ディスプレイを作製したが、加圧によりアクチュエータ全体が膨らみ、官能評価実験の結果、「ざらざら感」だけでなく、「柔らかさ感」も同時に変化してしまうことがわかった。

次に能動型として、変位および発生力の両立が期待される形状記憶合金厚膜アクチュエータを用いて、アレイ構造を個別に上下動作させ、触感に加えて記号等のパターン提示を目指した刺激提示素子の形成に取り組んだ。既報の1mmピッチに配置したSMAアクチュエータでは、出力が十分ではなく個人差によって感知されず、これを解消するために、本研究では大変位かつ大発生力動作を目指し、可動部を2mmピッチと大型化した刺激提示素子の設計および作製を行った。SMAアクチュエータは良好に形成することができ、振動動作に必要とされる大きな初期変位(320 μm)を与えても破断やヒーターの断線等が発生しないことを確認した。パルス通電時間を短くし、投入電力の増大させることでアクチュエータの加熱時の応答は向上したが、15 Hz以上では応答が追いつかないことが分かり、また、空気中への放熱よりもアクチュエータの根元部を伝達する熱の方が支配的であることがわかった。

アクチュエータは、1 Hzでは非常に大きな発生力(32 mN)が得られ、皮膚が感知しやすい15 Hz以上では冷却が律速して、発生力が1/4程度まで大きく減少したが、皮膚の知覚限界(1 mN)の数倍の発生力を得られることがわかった。また、リソグラフィで形成したSU-8のキャップ層、ピン層およびNiバイアスばね機構と接合してSMAアクチュエータの動作振幅を評価し、1 Hzでは20 μm 以上得られたが、15 Hzでは振幅が知覚限界より若干大きい10~13 μm 程度まで減少し、従来の1mmピッチ型と近いレベ

氏 名 徐 嘉 樂

ルとなった。アクチュエータの可動部を大型化すると、冷却時の放熱が律速し、高感度をもつ15 Hz程度では、変位および発生力が大幅に低減してしまい、大変位および大発生力を有するアクチュエータの実現には至らなかった。放熱の向上を目指したアクチュエータの設計や冷却方法の検討を行っていく必要があることが分かった。

論文内容要旨 (英文)

2017 年度入学 大学院博士後期課程

機械システム工学専攻

氏 名 徐 嘉樂



論 文 題 目 Study on presentation of tactile sensation with micro-array element

Tactile display has been developed for presenting tactile information to human skin. There are two types of tactile display such as passive type and active type. In this work, both types were fabricated to investigate the effect to human skin.

Initially, periodic micro-bump array with narrow gap (less than 100 μm) on Si substrate was successfully fabricated and sensory evaluation of roughness and frictional resistance feeling was evaluated in detail. Rough feeling was increased because the corners of the bump and edge effects of micro bump. The frictional resistance feeling was influenced by the contact area between the skin and micro bump surface. In addition, the frictional resistance feeling was strongly related to the stick-slip phenomenon by the frictional measurement using artificial finger model. Furthermore, a PDMS membrane was bonded to the Si micro-bump array. When the pressure applied to the grooves to change the surface structure. It can change the roughness feeling when applied pressure to the actuator. However, the softness was also changed at same time when the PDMS membrane was inflated.

As the active type, we selected SMA thick film actuator with a pitch of 2 mm was designed and fabricated for high power vibrational stimuli to human skin. The SMA actuator device was successfully fabricated without fracture in the SMA meandering actuator and the micro-heater circuit when the SMA actuator was deflected to the initial displacement of 320 μm . Although the SMA actuator generated large force 32 mN at 1 Hz, by periodic driving pulse above 15 Hz, where human skin has high sensitivity, the generated force drastically decreased by 1/4 because of poor thermal response during the pulse-off period. However, it is sufficient for stimulation to human skin whose perception limit is about 1 mN. The completed SMA tactile display with bias-spring mechanism generated the amplitude above 20 μm at 1 Hz. Although the amplitude of SMA tactile display was decreased to 10~13 μm at 15 Hz, it was slightly above the human perception limit. It was found that the SMA actuator with 2 mm pitch was not able to generate large force and displacement above 15 Hz. It is necessary to optimize the design of actuator in consideration of heat transfer.

学位論文の審査及び最終試験の結果の要旨

令和2年2月10日

理工学研究科長 殿

課程博士論文審査委員会

主査 峯田 貴
副査 古川 英光
副査 野村 美宗
副査 時任 静士
副査



学位論文の審査及び最終試験の結果を下記のとおり報告します。

記

論文申請者	専攻・分野名	機械システム工学分野	氏名	徐 嘉樂
論文題目	微細アレイ構造による触感提示に関する研究			
学位論文審査結果	合格	論文審査年月日	令和2年1月28日～ 令和2年2月10日	
論文公聴会	令和2年2月10日	場 所	工学部5号館301教室	
最終試験結果	合格	最終試験年月日	令和2年2月10日	

学位論文の審査結果の要旨 (1,000字程度)

触感や記号等の情報を触覚提示によって皮膚に伝達する研究が行われ、モバイル機器等への応用が期待されている。本論文は、表面の形状を指で触って知覚する受動型と、振動刺激を皮膚に提示する能動型の両面から、周期的なアレイ構造をもつ触覚提示素子の研究に取り組んだものである。

第1章では、本研究の背景と目的を明確に述べている。第2章では、受動型の基礎的な研究として、体系的な研究例の少ない100µm以下の微細な溝幅での凹凸構造に注目し、Si表面を種々のアレイ状の凹凸構造に精密に微細加工して、指先で感じるざらざら感と抵抗感の官能評価と指モデルによる摩擦特性評価を行い、ざらざら感には凸部のエッジと頂点の数が影響し、抵抗感には接触面積の影響に加え、皮膚のせん断変形と皮膚下の触覚受容器マイスナー小体の感知周波数域(<100 Hz)でのスティックスリップ現象が影響することを明らかにしている。第3章では、受動型を可動構造にして異なる触感の可変提示を目指し、Si凹凸表面にPDMS膜を貼り付けた中空構造を形成した。内部圧力によって表面の凹凸状態を切り替えると、独立した触感ではなく、ざらざら感に加え硬軟感も同時に変化するという結果を得ている。第4章では、能動型としてアレイ構造を個別に振動させて刺激を提示する素子の形成と基礎的な動作性能の検証に取り組み、大型の可動部をもつ形状記憶合金(SMA)厚膜アクチュエータ素子を新たに設計し、作製プロセスを確立して5×5アレイ(2mmピッチ)のMEMSチップ状の素子形成を可能にした。皮膚下のマイスナー小体が感知しやすい周波数15Hz以上でのパルス通電駆動では、冷却が律速して出力が低下するものの、知覚限界を超える数mNの発生力と10µm程度の振幅が得られ、触覚提示の実現への見通しを得ている。第5章では、能動型のSMA素子の可動部周辺のオイル充填による冷却効果を検証し、また、SMA素子を2層接合して振幅を倍増する素子構造を考案して形成手法も検証している。第6章では、本研究で得られた知見を的確にまとめ、本論文全体を総括している。

本学位論文は、研究背景および目的が的確に述べられ、論文の構成も適切で体裁も整っている。各章の研究内容について、各目的、取り組み方法、結果、考察に対する記述も論理的になされている。

上記の研究成果は、査読付き筆頭著者論文2報(和文)が学術誌に掲載決定されており、本研究に対して客観的な評価が得られ、審査基準を満たしている。また、これまで国際学会においても筆頭著者として3件の発表がなされている。

以上の通り、本論文により得られた知見と成果は、学術的、工業的に価値あるものと認められ、博士(工学)の学位論文として合格と判定した。

なお、本研究は学内の研究倫理委員会の許可のもとで行われた。本論文は、利益相反等に係る学内規則に基づく手続きは必要ない。

最終試験の結果の要旨

最終試験は、学位論文を中心とした約45分の口頭発表、ならびに関連ある科目も含めて約60分の口頭による質疑応答により実施した。その結果、学位論文の内容、研究手法の妥当性、関連科目に関する理解度は十分にあり、この分野における十分な知識と研究能力を持つことが確認された。この最終試験の結果、博士の学位を授与するのに十分な知識と能力を有していると判断し、最終試験を合格とした。