

液体封入変位増幅機構を有する大変位 MEMS アクチュエータアレイを用いた 高機能触覚ディスプレイの研究開発 (092103005)

Tactile Display Using Large Displacement MEMS Actuator Arrays Equipped with Hydraulic Displacement Amplification Mechanisms

研究代表者

三木則尚 慶應義塾大学理工学部機械工学科

Norihisa Miki Department of Mechanical Engineering, Keio University

研究期間 平成 21 年度～平成 23 年度

概要

触覚受容器の有する振動検出閾値は周波数によっては数 10 マイクロメートルにも達する。このような大変位 MEMS アクチュエータを実現するためにまず、上下面で断面積の異なるマイクロチャンバ内に非圧縮性流体を封入した変位増幅機構を開発する。これと圧電素子を組み合わせた大変位 MEMS アクチュエータアレイを用い、例えばざらざら、つるつるなどの様々な触感を提示するための変位、周波数、またアクチュエータ間の位相などを明らかにする。

Abstract

The tactile display consists of micro-actuator arrays that deform finger skin, physically stimulating tactile receptors on the fingertip. These mechanoreceptors in the fingertip have a frequency-dependent displacement threshold, and stimulating all types of mechanoreceptors at frequencies from 0 to 1 kHz would require displacements of several tens of micrometers. Hydraulic displacement amplification mechanism (HDAM) was developed to achieve such large displacement, where new liquid encapsulation processes were used. MEMS tactile display composed of an array of HDAM and piezoelectric actuators was characterized to display various surface textures, such as rough and smooth.

1. まえがき

触覚は、視覚、聴覚情報に次ぐ新しい情報伝達メディアとして期待されている。触覚情報を人に伝達するには、図 1 (a)に示すように、適切な時空間周波数で、数 10 マイクロメートルと言われる触覚受容器の有する振動検出閾値を越える大変位を皮膚に与えなくてはならない。従来の MEMS アクチュエータ単独ではこのような大変位を実現することができない。そこで、本研究開発の目的は、図 1 (b)に示すような液体封入型の変位増幅機構と圧電素子を組み合わせた大変位 MEMS アクチュエータアレイを開発し、これを用い複数の触感を提示可能な触覚ディスプレイを実現することである。具体的には、変位増幅機構を有する大変位 MEMS アクチュエータの開発、これを用いた振動型点字ディスプレイの開発、さらにはつるつる、ざらざらといった表面情報の呈示に関する研究を行った。

2. 研究内容及び成果

まず、大変位 MEMS アクチュエータを実現するための液体封入型変位増幅機構 (HDAM: Hydraulic Displacement Amplification Mechanism) の製作および圧電素子と組み合わせた大変位 MEMS アクチュエータの開発を行った。提案した HDAM は液体を完全に封入した機構であり、このような MEMS はこれまでに例を見なかった。そこで、本研究では大変形可能なポリマで液体を MEMS 構造内に封入するための液中接合技術、BiLT (Bonding-in-Liquid Technique) を開発した。HDAM と圧電素子を組み合わせることで、大変位 MEMS アクチュエータを開発し、その特性評価を行った。目標の増幅度 25 倍を達成する最適な形状を導出し、特に共振を用いることで増幅率を 40 倍まで上げることに成功した。素子間隔は 4 mm であり、当初の目標であったヒト触覚二点弁別閾である 2 mm よりも大きい。これは HDAM ではなく、利用できる圧電素子のサイズにより決定されてしまった。しかしながら、後述するように 4 mm でも弁別は困難であること、またヒト触覚の

錯覚 (ファントムセンセーション) を用いることで、間隔を半分の 2 mm とすることができる。

開発した大変位 MEMS アクチュエータの 3×3 アレイを製作し、振動型点字ディスプレイおよび触覚ディスプレイに応用した (図 2)。ヒトが点字を感知するとき、ヒトは点字表面をなぞることで高感度に点字を認識する。これはヒト触覚受容器のうち、凸凹などの低周波信号を検出する SA タイプの触覚受容器だけでなく、ざらざらといった高周波信号を検出する FA タイプの触覚受容器を利用しているためといえる。しかしながら、将来的に触覚ディスプレイを活用する際、触覚ディスプレイは指腹部もしくはその

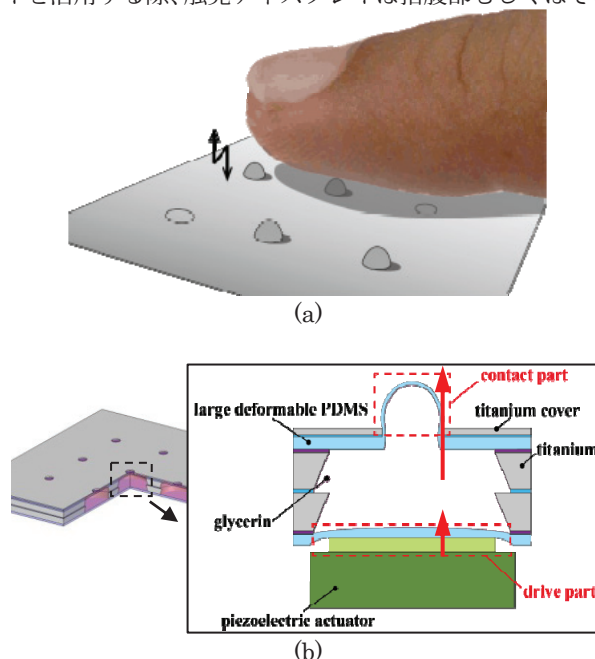


図 1. (a)大変位 MEMS アクチュエータアレイを用いた触覚ディスプレイ、(b)変位増幅機構を有する各素子の断面図。

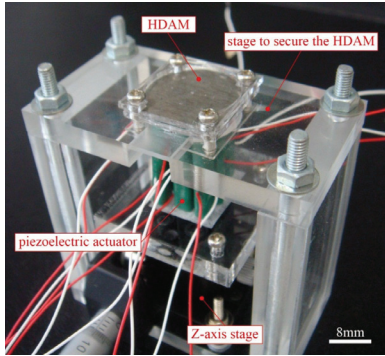


図2. 製作した触覚ディスプレイ。

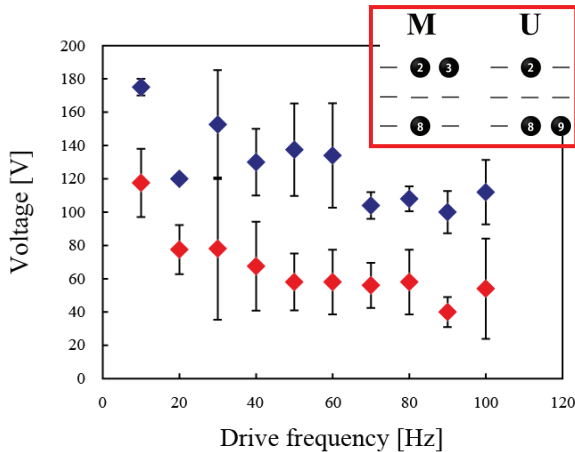
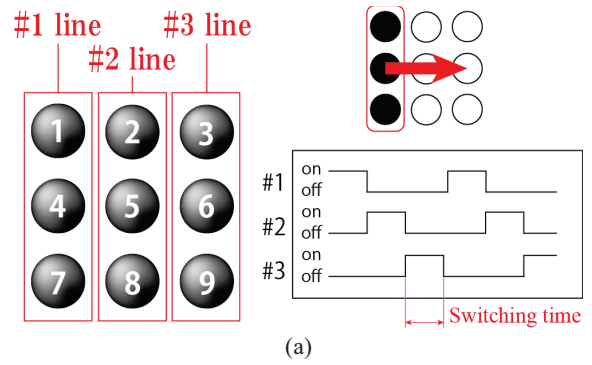


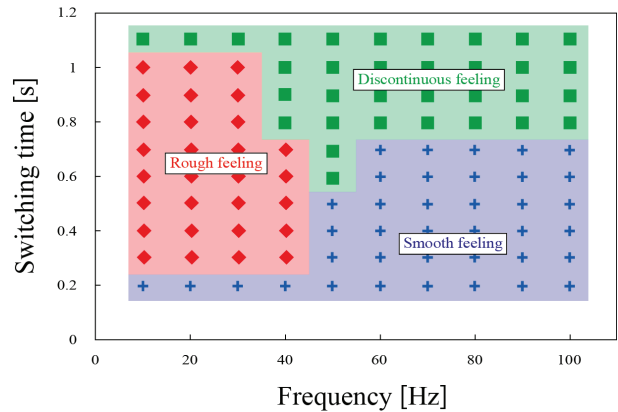
図3. 素子振動数と点字弁別に必要な駆動電圧の関係。

他の皮膚部に張り付けられて利用されることも多いと考えられ、その場合指とディスプレイの相対位置は変わらず、そのままではFAタイプの触覚受容器を利用することができない。そこで点字呈示素子を振動させることで、高効率に点字を伝達することを考えた。図3にその結果を示す。点字としてMとUの弁別ができたときの最小の駆動電圧を赤ダイヤモンド(下側)として、全ての素子が弁別できた時の電圧を青ダイヤモンド(上側)として記述している。図3に示すように、素子に40 Hz以上の振動を与えた場合、より小さな変位で点字を伝達できることが明らかになった。これは触覚受容器の特性によるものであり、振動型点字ディスプレイの有効性を示すことができた。また素子間隔4 mmであっても、2点の弁別にはより大きな変位が必要であることがわかった。

図4(a)に示すように、9つの素子を3列に分け、それぞれ時間差(Switching time)を持たせて駆動した。その時、振動数および駆動電圧を変化させた。150 Vで駆動した時の結果を図4(b)に示す。例えばSwitching timeが0.5 sの時、素子の振動数が40 Hz以下だと粗い表面、50 Hz以上だと滑らかな表面が呈示された。またSwitching timeが大きいときは、不連続な表面として知覚された。すなわちこのように、周波数やSwitching timeを変化させることで、異なる表面の触感を提示できることが明らかになった。また今回は9素子を用いて実験をしているが、隣り合う素子を同じ周波数、振幅で振動させた時、素子の間にもう一つ素子があり、それが振動しているかのように錯覚することがわかった。これを用いることで、現在の9素子から25素子まで有効な素子数を増やすことができ、伝えられる触覚情報を増やすことができると期待される。



(a)



(b)

図4. (a)駆動方法ならびに(b)振動数とSwitching timeによる提示できる触感の変化。

3. むすび

本研究においては、液体封入型の変位増幅機構を開発し、それを用いてMEMS触覚ディスプレイを実現した。点字ディスプレイとしての有効性、また表面呈示能について実験的に評価した。本研究により実現された触覚ディスプレイは、点字ディスプレイ、仮想空間で再構築された物体情報の提示、アンビエント情報の人への直観的な提示など、音声、画像に続く新たな情報通信メディアとしての触覚利用が可能になると期待される。

【誌上発表リスト】

- [1] X. Arouette, Y. Matsumoto, T. Ninomiya, Y. Okayama and N. Miki, "Dynamic Characteristics of a Hydraulic Amplification Mechanism for Large Displacement Actuators Systems," *Sensors*, vol. 10 (4), 2946-2956, 2010.
- [2] Y. Okayama, K. Nakahara, X. Arouette, T. Ninomiya, Y. Matsumoto, Y. Orimo, A. Hotta, M. Omiya and N. Miki, "Characterization of a bonding-in-liquid technique for liquid encapsulation into MEMS devices," *Journal of Micromechanics and Microengineering*, vol. 20, 095018 (6pp), 2010..
- [3] J. Watanabe, H. Ishikawa, X. Arouette, Y. Matsumoto, and N. Miki, "Demonstration of vibrational Braille code display using large displacement micro-electro-mechanical-systems actuators", *Japanese Journal of Applied Physics*, accepted for publication, 2012

【本研究開発課題を掲載したホームページ】

<http://www.miki.mech.keio.ac.jp>