

# 2方向の振動合成が可能な 液体金属を封入した電磁ソフトアクチュエータ

清水 真陽<sup>†1</sup> 新藤 尚輝<sup>†2</sup> 安藤 潤人<sup>†3</sup> 野間 春生<sup>†4</sup>

**概要:** 本研究の目的は小型で多方向の触覚提示装置の実現である。その実現のため2方向の振動合成が可能な電磁ソフトアクチュエータを開発した。開発した電磁ソフトアクチュエータは液体金属を封入した2つのソフトチューブと磁石を利用して、ソフトチューブ内の液体金属に電流を流すことで、振動子を振動させられる。本研究ではこれらの構成要素によってせん断方向、押し込み方向の触覚提示が可能かどうかを確かめ、入力信号の周波数に追従して振動させられることを示した。

## 1. はじめに

指や手で物体表面をなぞると、皮膚が押し込み方向とせん断方向の変形が生じる。その変形によって触覚受容器に刺激が加わり、ヒトは表面の情報を触覚として知覚する。したがって、皮膚変形を再現することで、表面をなぞった感覚を知覚させることが可能である。仮想の物体を触った感覚を提示する触覚ディスプレイや遠隔の物体を触った感覚を伝える触覚インターフェースは皮膚に何らかの刺激を与えることで実現している。皮膚に直接的に刺激を与える方式では、ピン型アクチュエータ[1]、形状記憶合金[2]、空気圧[3]、静電アクチュエータ[4]が利用されている。近年ではソフトアクチュエータを利用した方式も開発されている[5, 6]。これらの多くは単方向のみの提示であり、多方向の提示を実現しようとすると装置が大型化してしまう問題が生じる。本研究の目的は小型で多方向の触覚提示の実現である。

すでに流体金属を封入した電磁ソフトアクチュエータを開発し、振動周波数の範囲が数十 Hz~数百 Hz の触覚提示を実現している[7]。本研究ではこの電磁ソフトアクチュエータの原理を利用して押し込み方向とせん断方向の2方向の触覚提示可能な電磁ソフトアクチュエータを開発する。本稿ではプロトタイプを作製しその動きを計測し評価した。

## 2. 2方向電磁ソフトアクチュエータ

開発したソフトアクチュエータの構成要素と動作原理について説明する。図1は実際に作製したソフトアクチュエータの写真を示す。図2はその模式図を示す。ソフトアクチュエータは2つのネオジム磁石と振動子、液体金属(低融点合金(融点-19°C)、材料ドットコム)を封入したシリコン製ソフトチューブ(直径2.0 mm, 内径1.0 mm)からなる。振動子は紙製であり、2つのソフトチューブが十字に貼り

付けている。この2つのソフトチューブはそれぞれ独立しており、流路は繋がっていない。磁石は振動子を挟むように、磁石と振動子のクリアランスが1 mmになるように配置している。

ソフトチューブ内の液体金属に電流を流すと、振動子正面と直交方向に磁界が存在しているため、ソフトチューブは電磁力によって振動子正面から見て上下左右に動く。左

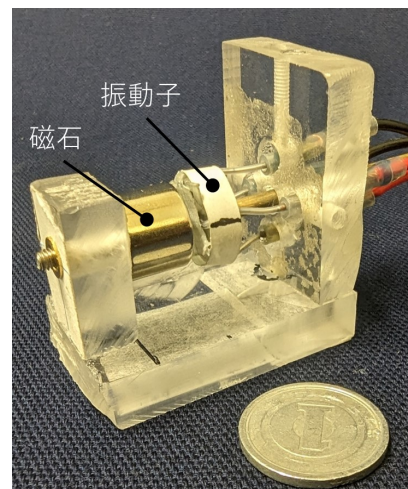


図1 2方向電磁ソフトアクチュエータ

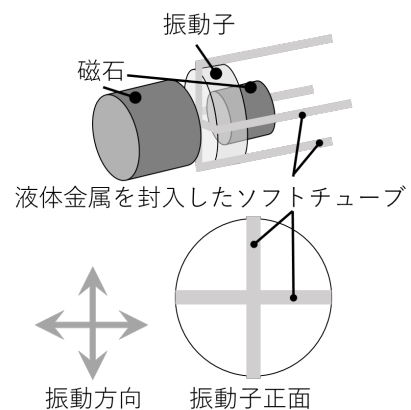


図2 2軸電磁ソフトアクチュエータの構成要素

†立命館大学 情報理工学部 情報理工学科

1 mshimizu@mxdlab.net

2 nshindo@mxdlab.net

3 anmitsu@fc.ritsumeai.ac.jp

4 hanoma@fc.ritsumeai.ac.jp

右方向に通るソフトチューブ内部の液体金属に電流を印可するとソフトチューブは上下方向に変形し、上下方向のソフトチューブ内部の液体金属に電流を印可するとソフトチューブは左右方向に変形する。この変形を利用して電流の向きを変化させることでソフトチューブを上下左右に振動させる。また、電流の向きを変化させるタイミングによってソフトチューブの振動数が、電流量によって荷重が制御可能である。これらを制御し、異なる位相と振動数を持った上下方向、左右方向の信号を合成することで2次元の振動を発生させ、振動子上部に皮膚を接触させることによって押し込み方向とせん断方向の振動提示を実現できる。

### 3. 2方向の変位測定

動作原理を確認するため2方向電磁ソフトアクチュエータのプロトタイプを作製し、それぞれの方向の変位を測定した。測定にはレーザ測距センサ（HG-C1050, パナソニック）を使用した。垂直方向の変位の測定ではセンサをアクチュエータの設置面の垂直方向に、水平方向の測定では水平位置にセンサを設置し、振動子表面にレーザを当てることでその変位を測定している。

測定実験では各ソフトアクチュエータに5V, 1Aを印可し、アクチュエータを各方向へ動かした。振動させるため、50 Hzの矩形波を信号とし、電流の方向を変化させた。

垂直方向のみを動かす場合は振動子正面から見て左右を通るソフトチューブ内部の液体金属にのみ電流を印可した。図3は垂直方向に振動子を動かしたときの変位の測定結果である。約0.2 mmの振幅で入力信号の50 Hzに追従して振動している様子が観測された。

水平方向にのみ動かす場合は振動子正面から見て上下方向を通るソフトチューブ内部の液体金属のみに電流を印可した。図4は水平方向に振動子を動かしたときの変位の測定結果である。約0.15 mmの振幅で入力信号の50 Hzに追従して振動している様子が観測された。

2方向の振幅に違いが生じた理由として、2つのソフトチューブが同じ長さでなかったためと考えられた。

2方向のそれぞれの振動による変位測定から、どちらの方向でも入力信号に合わせて振動させられることが実証された。これによって2方向の振動を合成して触覚を提示し、それぞれの入力信号を変化させることによって様々な2次元振動を表現することができる。

### 4. おわりに

本研究では2方向の振動合成可能な電磁ソフトアクチュエータを開発し、動作原理を確認した。その結果、2方向どちらも入力信号に追従して振動させることが可能であることが分かった。これによりせん断方向、押し込み方向の触覚提示が可能であることが示された。今後は2方向の振動を合成し、実際にどのような触覚提示が可能か調査する予定である。

定である。

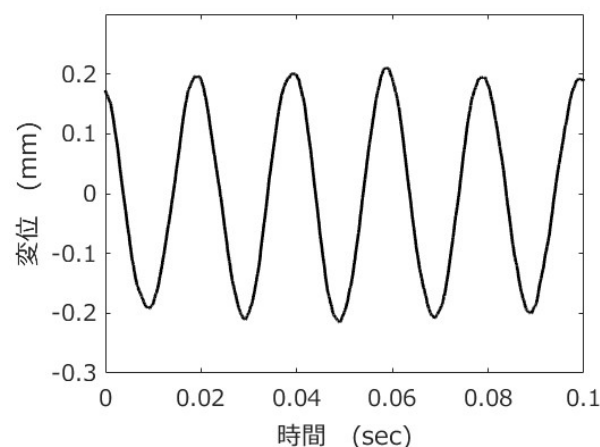


図3 垂直方向の変位

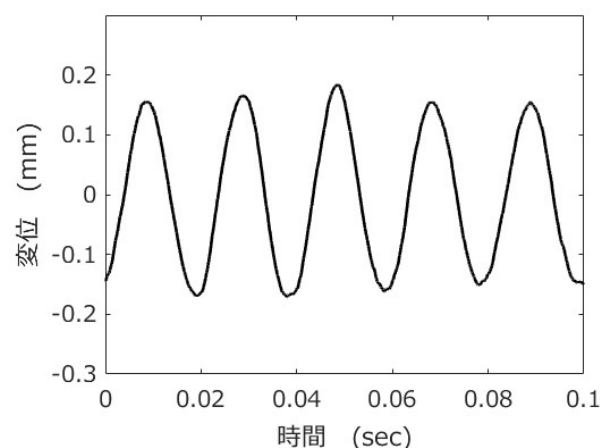


図4 水平方向の変位

### 参考文献

- [1] Qi Wang and V. Hayward, "Compact, Portable, Modular, High-performance, Distributed Tactile Transducer Device Based on Lateral Skin Deformation," 2006 14th Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems, pp. 67-72, 2006.
- [2] 馬場悠輔, 澤田秀之, "SMAワイヤを用いたピンアレイ型ウェアラブル触覚ディスプレイ", 第84回全国大会講演論文集, pp. 191-192, 2022.
- [3] Y. Ujitoko, T. Taniguchi, S. Sakurai and K. Hirota, "Development of Finger-Mounted High-Density Pin-Array Haptic Display," in IEEE Access, vol. 8, pp. 145107-145114, 2020.
- [4] Hirobumi Tomita, et al., "A Proposal and Investigation of Displaying Method by Passive Touch with Electrostatic Tactile Display", Haptics: Science Technology Applications", pp. 353-361, 2020.
- [5] Dae-Young Lee, et al., "A Wearable Textile-Embedded Dielectric Elastomer Actuator Haptic Display", Soft Robotics, Vol. 9, No. 6, pp. 1186-1197, 2022.
- [6] Hoa Phung, et al., "Bidirectional tactile display driven by electrostatic dielectric elastomer actuator", Smart Materials and Structures, Vol.9, No. 3, 2020.
- [7] 新藤尚輝, 安藤潤人, 野間春生, "触覚ディスプレイのための流体金属を用いた電磁ソフトアクチュエータの開発", 第27回バーチャルリアリティ学会大会, 2021.