



# 実物の立体像に対するタッチパネルを用いた硬柔感提示 (第 3 報)

## -2 自由度の硬柔感提示デバイスの評価-

村田華蓮<sup>1)</sup>, 大石恵利佳<sup>1)</sup>, 中村拓人<sup>1)2)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>, 田中伸也<sup>3)</sup>, 佐野貴洋<sup>3)</sup>, 納谷昌之<sup>3)</sup>

1) 電気通信大学 情報理工学研究所 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {murata, oishi, n.takuto, kajimoto}@kaji-lab.jp)

2) 日本学術振興会特別研究員

3) 富士フイルム株式会社 先端コア技術研究所  
(〒258-8577 神奈川県足柄上郡開成町牛島 577, {nobuya.tanaka, takahiro.a.sano, masayuki.naya}@fujifilm.com)

**概要:** 本研究では AR 空間においてタッチパネルを用いた硬柔感提示が可能な新しいマルチモーダルシステムの構築を目指す。我々はこれまでハーフミラーでタッチパネル上に生成した実物の立体像に対して、指とタッチパネルの接面方向への反力提示と簡易的な視覚エフェクトによって硬柔感表現が可能であることを確認した。本報では、前報で開発した 2 自由度の反力提示が可能なデバイスの改良とそのデバイス評価実験の検証結果を報告する。

**キーワード:** AR, マルチモーダル, 視触覚重量, ハーフミラー

### 1. はじめに

触覚分野における材質感再現に必要な要素として、Fine-Roughness (振動感), Macro-Roughness (凹凸感), Friction (摩擦感), Warmness/Coldness (温冷感), Hardness/Softness (硬柔感) の 5 つがあることが知られている[1]。現在、タッチパネルに対する触覚提示の研究が多く行われているが、Fine-Roughness (振動感) [2][3], Macro-Roughness (凹凸感) [4][5][6][7], Friction (摩擦感) [7][8][9] の 3 つの要素については数多く提示されているものの、Warmness/Coldness (温冷感), Hardness/Softness (硬柔感) の提示に関する試みは稀であった。

これまで我々は残りの 2 要素のうち、特に硬柔感提示に着目してきた。従来のタッチパネルを用いた硬柔感提示では、物体素材に起因する反力を垂直方向に生じさせるか、垂直方向の指動作に伴う皮膚変形にに着目する必要がある。そのため装置の大型化[10]や指へのデバイス装着[11]といった、タッチパネルが本来持つ利点を失う可能性があった。そこで我々は、普段タッチパネルを用いるような自然な動作状況における硬柔感提示を目的とし、システ

ムの開発を行ってきた。これまで我々が開発してきたシステムでは、垂直方向の操作をあえて行わず、指をデバイス面の方向に動かした際に、その方向の反力と影のような視覚エフェクトを同時に提示することで対象物の硬柔感を提示する手法を提案した[12]。さらに前報では提示可能な反力の自由度を増やしたデバイス開発を行い、より広範囲な硬柔感提示の可能性を示唆した[13]。

本稿では、前報で開発の報告を行った 2 自由度の反力提示が可能なデバイスの改良の報告を行う。またそのデバイス評価実験を行い、任意の反力提示が可能であることの検証を行った。

### 2. プロトタイプデバイス

我々が第 1 報で提案した、DC モータのフィルム巻取りによる反力提示機構では、1 方向のみの反力しか提示ができなかった[12]。そこで第 2 報では、Saga らの 2.5 次元ディスプレイ[7], Roudant らの Gesture Output[14]や則枝らのパネル駆動型[15]を参考に、2 自由度の水平反力提示が可能なデバイスを開発した[13]。本報では、前報よりもさらに安定した反力提示を行うため、前報のデバイスの改良を行った。

## 2.1 デバイス構成

本デバイスの構成図の上から見た様子を Figure 1 に、横から見た様子を Figure 2 に示す。本デバイスは、タブレット型タッチパネルディスプレイ (ASUS, Transbook T303U, W210mm×H300mm), 0.2mm 厚のアクリル板, 5mm 厚のアクリル板, アクリル製ガイド, リニアレール (THK 社, LS877, 最大変位 24mm), 糸, ボビン, ロータリエンコーダ搭載の DC モータ (maxon 社, 10W), マイクロコントローラ (Espressif, ESP32-DevKitC) で構成される。最下層の 5mm 厚アクリル板を支える 2 つのリニアレールは、横向きで机に固定されており、そのアクリル上にさらに 2 つのリニアレールが縦方向に固定されている。タッチパネルは最下層の 5mm 厚アクリル板上に配置され、そのタッチパネルを覆うような形で 0.2mm 厚アクリル板が配置されている。4 隅に配置された DC モータは、最上層の 0.2mm 厚アクリル板の 4 隅とそれぞれ糸でつながれている。そのためタッチパネルをなぞった際、タッチパネル表面にあるアクリル板、糸とリニアレールが X 軸方向へ動き、最下層のアクリル板とリニアレールは Y 軸方向に動く。これにより、ユーザは滑らかにアクリル板を動かすことが可能となっている。

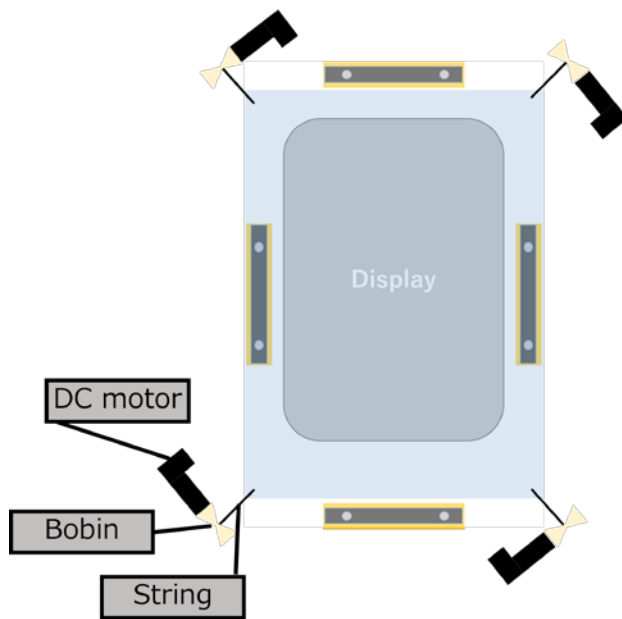


Figure 1. 提案デバイス (上面図)

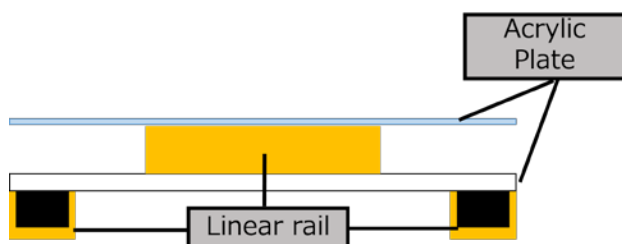


Figure 2. 提案デバイス (側面図)

## 2.2 制御方法

各モータを PWM 方式で駆動した。指の力によってユーザが動かした変位量  $x$  とその速度  $v$  に応じた以下の(1)に表される反力  $F$  を DC モータで提示する。なお変位量  $x$  の測定はモータ搭載のエンコーダを使用した。バネ定数  $k$ , ダンパ定数  $c$  は任意で値の変更が可能である。

$$F = -k * x - c * v \quad (1)$$

## 3. 実験

本デバイスは PWM 駆動によって、モータの回転方向と回転速度を制御することにより、反力の提示を行っている。本手法で、反力の制御ができていないかどうかを検証した。今回は本デバイスで +Y 軸方向の反力を提示し、力覚センサで本デバイスの原点にかかる力を実際に測定した。

### 3.1 セットアップ

以下の Figure 3 に示すように小型 3 軸力覚センサ (TEC GIHAN 社, USL06-H5-50N-C) を反力提示デバイスの原点にとりつけ、力覚センサが動かないよう最下層の 0.2mm 厚アクリル板を挟むように固定した。小型力覚センサの読みとりには、力覚センサに対応したシグナルコンディショナ (TEC GIHAN 社, DSA-03A) を用いて電圧値をオシロスコープで出力し、そこから力に換算した。Figure 3 のデバイスのオシロスコープ側を +Y 軸方向、その逆方向を -Y 軸方向とした。

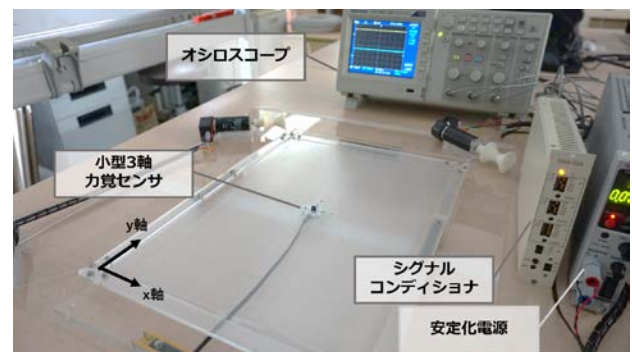


Figure 3. 実験セットアップ

### 3.2 実験手続き

上記のセットアップを用いて、PWM 駆動でモータの回転方向(プラス 1 方向)とデューティ比(各 10 条件)を変化させた計 10 条件の反力を提示した。各条件 10 回の計測を行った。各試行前に DC モータとアクリル板をつなぐ 4 隅の糸の張力が十分に張られた状態であることを確認し、実験を行った。

### 3.3 実験結果と考察

以下の Figure 4 に測定結果を示す。横軸がモータに与えられた信号のデューティ比で、縦軸は計測された力である。各データ点は実際の計測値、オレンジ色の実線は Y 軸方向の平均値であり、同色の点線はそこから求めた近似曲線

である。青色の実線は、X 軸を、灰色の実線は Z 軸方向の計測された力を表す。デューティ比が低い領域と高い領域で特にぶれがあるものの、全体的にみると線形的な変化をしている。このことから今回我々の提案したデバイスでは、Y 軸方向においては、比較的ブレの少ない反力提示ができることがわかった。これにより本デバイスにおける PWM 駆動で、Y 軸方向においては任意の反力提示が可能であることが示唆された。

一方で、今回提示していな方向である X 軸方向と Z 軸方向に微弱な力の変化が見られた。特にデューティ比が大きくなるにつれてその変化が大きくなっていることが以下のグラフより読み取ることができる。Z 軸方向に関しては、0.2mm 厚アクリル板の下に固定した形であったため、力が大きくなるにつれて固定が少しずつ上へ引っ張られていた可能性が考えられる。また X 軸方向の変化に関しては、左右のモータのオフセットの多少のずれがあったためと考えられる。

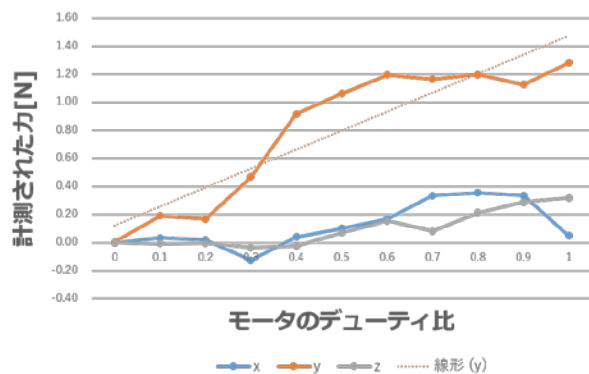


Figure 4. 計測結果

#### 4. まとめ

本稿では、前報で提案した 2 自由度の反力提示デバイスの改良とその反力評価実験を行った。原点における +Y 軸方向の反力提示に関しては、本デバイスの PWM 駆動によって比較的安定した線形的な反力提示が可能であることが評価実験より示唆された。しかしながら、X 軸と Z 軸で多少の力の変化が見られた。このような本来であれば提示されるべきではない力をより小さくするため、より適切な駆動方法を考えることが課題であると考えられる。今後は同様の実験を X 軸方向でも行い、また原点だけではなく、多点でも安定した反力が提示可能であることを示す。

#### 参考文献

[1] S. Okamoto, H. Nagano and Y. Yamada: Psychophysical Dimensions of Tactile Perception of Textures, IEEE Transactions on Haptics, Vol. 6, No. 1, pp.81-93, 2012.  
 [2] M. Fukumoto and T. Sugimura: Active click: tactile feedback for touch panels, in Proceedings of CHI 2001

Extended Abstracts, pp.121-122, 2001.

[3] I. Poupyrev, S. Maruyama and J. Rekimoto: Ambient touch: designing tactile interfaces for handheld devices, in Proceedings of the 15th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST2002), pp.51-60, 2002.  
 [4] O. Bau, I. Poupyrev, A. Israr and C. Harrison: Tesla Touch: electrovibration for touch surfaces, in Proceedings of the 23rd annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST2013), pp.283-292, 2010.  
 [5] I. Poupyrev and S. Maruyama: Tactile interfaces for small touch screen, in Proceedings of the 26th annual ACM symposium on User interface software and technology (UIST2013), pp.217-220, 2013.  
 [6] Immersion Corporation., Touch Sense Tactile Feedback System, <http://www.immersion.com/products/touchsense-tactile-feedback/>  
 [7] S. Saga and K. Deguchi: Lateral-Force-Based 2.5-Dimensional Tactile Display for Touch Screen, in Proceedings of Haptics Symposium 2012, 2012.  
 [8] L. Winfield, J. Glassmire, J. E. Colgate and M. Peshkin: TPaD: Tactile pattern display through variable friction reduction, in Proceedings of World Haptics 2007, pp.421-426, 2007.  
 [9] K. A. Kaczmarek, K. Nammi, A. K. Agarwal, M. E. Tyler, S. J. Haase and D. J. Beebe: Polarity effect in electrovibration for tactile display, IEEE Transaction on Biomed. Eng., Vol.53, No.10, pp.2047-2054, 2006.  
 [10] Y. Matoba, T. Sato, N. Takahashi and H. Koike: ClaytricSurface: An Interactive Surface with Dynamic Softness Control Capability, in Proceedings of CHI'02, pp.355-362, 2002.  
 [11] T. Nakamura and A. Yamamoto: Extension of an Electrostatic Visuo-Haptic Display to Provide Softness Sensation, in Proceedings of Haptics Symposium 2016, 2016.  
 [12] 村田華蓮, 大石恵利佳, 中村拓人, 梶本裕之, 佐野貴洋, 納谷昌之: 実物の立体像に対する視触覚重量, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017.  
 [13] 村田華蓮, 大石恵利佳, 中村拓人, 梶本裕之, 佐野貴洋, 納谷昌之: 実物の立体像に対するタッチパネルを用いた硬柔感提示 (第 2 報) -2 自由度の硬柔感提示デバイスの開発-, ロボティクス・メカトロニクス講演会 2018, 2018.  
 [14] A. Roudant, A. Rau, C. Sterz, M. Plauth, P. Lopes, P. Baudisch: Gesture Output: Eye-Free Output Using a Force Feedback Touch Surface, in Proceedings of CHI 2013, pp.2547-2556, 2013.  
 [15] 則枝真, 佐藤誠: パネル駆動型力覚提示タッチパネルとその力覚制御手法の提案, インタラクション

2012, 2012.