

令和 2 年 5 月 12 日現在

機関番号：13901

研究種目：若手研究(A)

研究期間：2017～2019

課題番号：17H04697

研究課題名（和文）二次元触感ディスプレイの開発とそれを用いた素材恒常性の原理探求

研究課題名（英文）Two-dimensional tactile texture display and perceptual constancy of tactile textures

研究代表者

岡本 正吾 (Okamoto, Shogo)

名古屋大学・工学研究科・准教授

研究者番号：10579064

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 7,100,000円

研究成果の概要（和文）：表面粗さの提示を得意とする機械的（振動）刺激と、静電気をを用いた摩擦刺激を併用する触覚テクスチャディスプレイを開発した。表面テクスチャの触感には、表面粗さと摩擦分布によって定義されるものであり、この新しい触感ディスプレイにより、従来の機械的刺激か、摩擦刺激のいずれかを利用する手法よりもリアリティの高いテクスチャが提示された。また、ヒトのテクスチャ触覚において、粗さと摩擦のダイナミックな関係性が利用されている可能性を新たに見出した。具体的には、両者の位相情報はテクスチャの識別に有意に利用できることがわかった。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の成果はタッチパネル用の触覚フィードバック機能の開発そのものであり、その高度化を図るという意味で産業に資するものである。学術的には、触覚によるテクスチャ知覚はこれまでに、単一のモダリティ（例えば、粗さ知覚のみ、摩擦知覚のみ）に対して多くの議論がなされてきたが、それらがどのように統合されるかということの研究した例は少ない。本研究は、粗さ知覚と摩擦知覚がどのように統合されて、テクスチャとして知覚・認識されるかという課題を扱っており、触覚分野の研究を新しいステージに押し上げるものと考えている。

研究成果の概要（英文）： In this project, we newly developed a tactile texture display that combines vibrotactile and electrostatic friction stimuli. In general, surface textures are characterized by their surface roughness and the distribution of friction; hence, this texture display can present surface textures with higher realism than previous texture displays that use either vibrotactile or friction stimuli. Furthermore, we found that the dynamic relationships between the roughness and friction may play an important role for the perception of tactile textures. Concretely, the phase information between the roughness-driven and friction forces can be significantly utilized for discriminating multiple surfaces.

研究分野：ハプティクス

キーワード：ハプティクス 触感 テクスチャ ディスプレイ 粗さ 摩擦 触覚

## 様式 C - 19、F - 19 - 1、Z - 19 (共通)

### 1. 研究開始当初の背景

従前の触覚テクスチャディスプレイ(表面の触感のことを、テクスチャと呼ぶ。テクスチャを仮想的に生成する装置のことを触覚・触感テクスチャディスプレイと呼ぶ。)は、機械刺激を用いる方法と摩擦刺激を用いる方法に大別される。両者は得意とするテクスチャおよび力学的性質が相補的であり、これらを併用することによる触感提示能力の向上と、それによって初めて実現するサイエンスが十二分に期待できる。例えば、触覚テクスチャは通常、表面粗さと摩擦特性によって特徴づけられ、一般に、機械刺激は粗さ提示を、摩擦刺激は摩擦分布の提示を得意とする。それにもかかわらず、これまでに両者を併用した触覚テクスチャディスプレイは存在しなかった。すなわち、これまでの触覚テクスチャディスプレイは、機械刺激を用いる方法か、摩擦刺激を用いる方法かに限られており、両者を併用することで得られる可能性は追究されていなかった。

### 2. 研究の目的

機械的(振動)刺激と静電気をを用いた摩擦刺激を併用する触覚テクスチャディスプレイを開発し、その触感提示能力が、従来のものよりも優れていることを実験的に示す。同時に、人がテクスチャを認識する過程において、粗さ刺激と摩擦刺激がどのように統合されているかを研究するために、この触感ディスプレイを活用する。



図1 本プロジェクトで開発した触感テクスチャディスプレイ。機械的振動刺激と静電摩擦刺激を併用した世界初の触感ディスプレイ。右は、スマートフォンに表示された画像(畳)の触感を提示している様子。

### 3. 研究の方法

#### 3.1 提示される触覚テクスチャのリアリティに関する調査

グレーティングスケールと呼ばれる粗さ試料(単純な一波長型(図2)と、複雑な二波長型の両方)と、木材や布などの自然素材の触感を再現して提示することを試みる。評価基準はリアリティ(本物らしさ)とする。実験参加者は、触感ディスプレイから提示される複数種類の刺激を比較し、実物のグレーティングスケールの触感に最も近い刺激を回答する。複数種類の刺激の中には、機械的刺激のみを用いる触感刺激、摩擦刺激のみを用いる触感刺激、両刺激を併用する触感刺激が含まれる。この際、機械的刺激と摩擦刺激の混合比率の影響を詳細に調査する。



図2 グレーティングスケール(粗さ試料)。表面の波長の長さ(1.0-3.0 mm)によって特徴づけられる。

#### 3.2 粗さ刺激と摩擦刺激の動的・統計的関係に関する調査

従来、粗さ知覚と摩擦知覚は個別に研究されてきた。両者の関係がどのように重要であるかは不明である。そこで、両者の動的かつ統計的な関係を調査する。図3のような、テクスチャを触察するときには発生する接触力と指の運動を精緻に計測する装置を用いて、粗さ刺激(法線力)と摩擦刺激(接線力)の情報を収集した。およそ20種類の素材を10名以上の参加者が繰り返し触察し、データを収集した。それらに対して、複数の観点から調査を行ったが、最終的には、粗さ刺激と摩擦刺激の間の位相特性が重要であることを見出した。

### 4. 研究成果

#### 4.1 提示される触覚テクスチャのリアリティに関する調査の結果

グレーティングスケールについては、従前の機械刺激か摩擦刺激のどちらか一方のみを用いる場合よりも、本研究で開発した併用型が、知覚される触感のリアリティの面から、はつきりと優れていることが示された。すなわち、併用型の刺激がもっとも頻繁に選択された。このとき、機械刺激と静電摩擦刺激は、8:2程度の混合比であることが好ましいことがわかった(図4)。特に、グレーティングスケールの表面波長が大きい時にこの傾向ははっきりとした。

自然素材については、併用型の方が優れている素材と、従来の手法でも十分に対応できる素材

に別れることが示された。どのような素材については、従来手法でも十分であるかは今後の検討課題である。

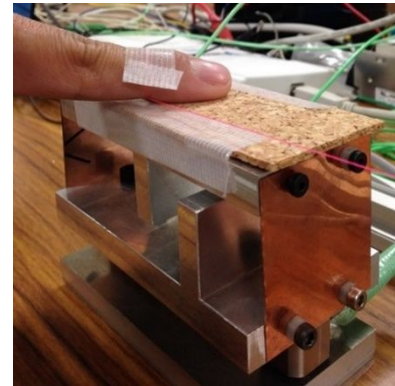
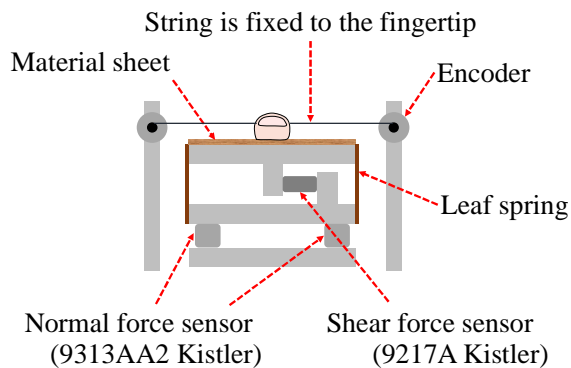


図3 触察時の接触力と触察運動を計測する装置

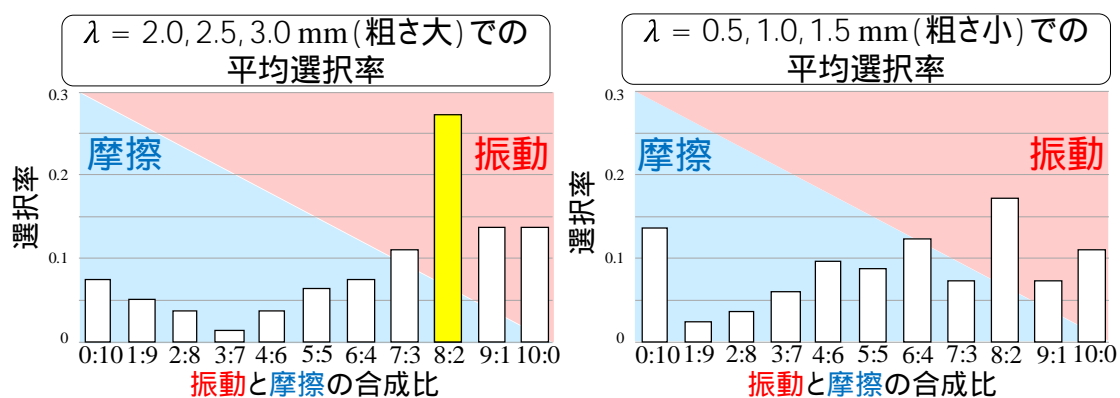


図4 振動刺激と摩擦刺激を異なる比率で合成した11種類の刺激がリアリティが高いものとして選択された確率。はグレーティングスケールの表面波長。が2.0 mmよりも大きい時に、特に顕著に(振動刺激:摩擦刺激)=(8:2)の刺激条件が選択された。(0:10)は摩擦刺激のみであることを意味し,(10:0)は機械的振動刺激のみであることを意味する。

#### 4.2 粗さ刺激と摩擦刺激の動的・統計的關係に関する調査

ヒトが自然素材を触察するとき発生する作用力(接触力)の2分力(法線力及び接線力)の間に統計的に關係が存在し、これが素材に拠ることを発見した。従来から、作用力のパワースペクトラムが素材の触感情報を集約していることが指摘されていたが、2分力間の位相スペクトラムを用いると、素材がより正確(統計的な意味で)に分類可能である。これまでに議論されたことが無かった2分力間の位相情報の意味について、さきがける成果を得た。

#### <引用文献>

Asano, S.; Okamoto, S. & Yoji Yamada, Vibrotactile stimulation to increase and decrease texture roughness, IEEE Transactions on Human-machine Systems, 2015, 45, 393-398.

Culbertson, H. & Kuchenbecker, K. J., Importance of Matching Physical Friction, Hardness, and Texture in Creating Realistic Haptic Virtual Surfaces, IEEE Transactions on Haptics, 2017, 10, 63-74.

Nakamura, T. & Yamamoto, A., A Multi-user Surface Visuo-Haptic Display Using Electrostatic Friction Modulation and Capacitive-type Position Sensing, IEEE Transactions on Haptics, 2016, 9(3), 311-322.

Bensmaïa, S. J. & Hollins, M., Pacinian Representations of Fine Surface Texture, Perception & Psychophysics, 2005, 67, 842-854.

## 5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計6件（うち査読付論文 2件/うち国際共著 1件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Ken Ito, Shogo Okamoto, Yoji Yamada, and Hiroyuki Kajimoto	4. 巻 16(4)
2. 論文標題 Tactile texture display with vibrotactile and electrostatic friction stimuli mixed at appropriate ratio presents better roughness textures	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 ACM Transactions on Applied Perception	6. 最初と最後の頁 20
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1145/3340961	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -
1. 著者名 Hikaru Hasegawa, Shogo Okamoto, Elfekey Hatem, and Yoji Yamada	4. 巻 -
2. 論文標題 Stochastic relationships between the normal and shear interaction forces during tactile exploration of textures	5. 発行年 2018年
3. 雑誌名 Proceedings of IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics	6. 最初と最後の頁 3029-3034
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/SMC.2018.00515	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 該当する
1. 著者名 Hasegawa Hikaru, Okamoto Shogo, Yamada Yoji	4. 巻 13
2. 論文標題 Phase Difference Between Normal and Shear Forces During Tactile Exploration Represents Textural Features	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Haptics	6. 最初と最後の頁 11~17
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TOH.2019.2960021	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -
1. 著者名 Inoue Koki, Okamoto Shogo, Akiyama Yasuhiro, Yamada Yoji	4. 巻 13
2. 論文標題 Effect of Material Hardness on Friction Between a Bare Finger and Dry and Lubricated Artificial Skin	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Haptics	6. 最初と最後の頁 123~129
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1109/TOH.2020.2966704	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 Okamoto Shogo, Oishi Ariei	4. 巻 13
2. 論文標題 Relationship Between Spatial Variations in Static Skin Deformation and Perceived Roughness of Macroscopic Surfaces	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 IEEE Transactions on Haptics	6. 最初と最後の頁 66 ~ 72
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.1109/TOH.2020.2964538	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

1. 著者名 HASEGAWA Hikaru, OKAMOTO Shogo, ITO Ken, YAMADA Yoji	4. 巻 18
2. 論文標題 Affective Vibrotactile Stimuli: Relation between Vibrotactile Parameters and Affective Responses	5. 発行年 2019年
3. 雑誌名 International Journal of Affective Engineering	6. 最初と最後の頁 171 ~ 180
掲載論文のDOI (デジタルオブジェクト識別子) 10.5057/ijae.IJAE-D-18-00008	査読の有無 無
オープンアクセス オープンアクセスではない、又はオープンアクセスが困難	国際共著 -

[学会発表] 計3件(うち招待講演 0件/うち国際学会 0件)

1. 発表者名 長谷川 輝, 岡本 正吾, 山田 陽滋
2. 発表標題 触察時に指と素材間に作用する法線力と接線力の統計的關係
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2018
4. 発表年 2018年 ~ 2019年

1. 発表者名 長谷川輝、岡本正吾、山田陽滋
2. 発表標題 テクスチャ触知覚において指腹に生じる法線力と接線力の位相差は弁別できる
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

1. 発表者名 井上公貴、岡本正吾、秋山靖博、山田陽滋
2. 発表標題 指で皮膚を擦る時に皮膚の柔らかさが摩擦係数に与える影響
3. 学会等名 日本機械学会 ロボティクス・メカトロニクス講演会2019
4. 発表年 2019年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

名古屋大学 機械システム工学専攻 岡本正吾のHP <a href="http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/member/shogo_okamoto/">http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/member/shogo_okamoto/</a> 触感ディスプレイ/Tactile texture displays <a href="http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/texturedisplay/">http://www.mech.nagoya-u.ac.jp/asi/ja/texturedisplay/</a>
---

6. 研究組織		
氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考