

科学研究費助成事業 研究成果報告書

令和 5 年 4 月 27 日現在

機関番号：17104

研究種目：研究活動スタート支援

研究期間：2020～2022

課題番号：20K23346

研究課題名（和文）触覚のGestaltの生成・崩壊を利用した材質感提示技術の開発

研究課題名（英文）Development of material feeling presentation technology using generation and collapse of tactile Gestalt

研究代表者

小村 啓 (Komura, Hiraku)

九州工業大学・大学院工学研究院・助教

研究者番号：00881096

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 2,200,000円

研究成果の概要（和文）：触覚のGestalt性を解明するために、Velvet Hand Illusion（以後VHI）の調査を実施した。VHIとは、2本の平行に張られたワイヤを両手で挟んでこすると滑らかな面の感覚が生起する錯覚現象である。我々は本研究で下記3点を明らかにした。（1）2本の鋼線が位相差往復運動をする際に錯覚量に変化する。また、物理量（2本の鋼線の位相差）と心理量の関係をGestaltのプレグナンツの法則で説明できる。（2）温冷刺激とVHIが重畳した際にVHI感と温冷感の総和以上の感覚変化が生じる。（3）近赤外分光法（NIRS）による脳機能計測で、錯覚の強弱による左体性感覚野の賦活の変化を観察可能である。

研究成果の学術的意義や社会的意義

VHIの調査で明らかにした触覚のGestaltのモデルや、温冷刺激をVHIと重畳することで総和以上の感覚が生起するという発見は、今後の触覚ディスプレイ設計において重要な知見である。また、fNIRSでもVHI特有の脳活動が計測可能であることを示したことは、今後のGestalt研究において重要な成果である。例えば、Gestaltが生成したか否かの根拠となるため学術的意義があるといえる。触覚は我々の生活に無くてはならない感覚であり、モノの把持から人とのかかわりまで様々な状況において重要な役割を果たす。そのため、今回得た触覚の基礎的な知見は、触覚技術を人間社会に活かす基盤となるため社会的な意義がある。

研究成果の概要（英文）：To elucidate the tactile Gestalt, we conducted experiments of Velvet Hand Illusion (VHI). VHI is a tactile illusion phenomenon in which people perceive the sensation of a smooth surface when they squeeze two wires set parallel to each other between both palm of hands and rub back and forth. We clarified the following three points. (1) A change in the recognition of the object surface occurs when the thermal stimulus and the VHI are superimposed. (2) The amount of illusion changes when the two wires reciprocate with a phase difference. Also, the relationship between the physical quantity (the phase difference between the two wires) and the psychological quantity can be explained by Gestalt's law of prägnanz. (3) The measurement of brain function by near-infrared spectroscopy (NIRS) showed that the activation of the left somatosensory cortex changes depending on the intensity of the illusion.

研究分野：人間情報学

キーワード：Velvet Hand Illusion 触錯覚現象 定式化 Gestalt NIRS 心理物理学実験

様式 C-19, F-19-1, Z-19 (共通)

1. 研究開始当初の背景

我々は外部世界の情報を、外部と皮膚の相互作用による感覚受容器の反応として獲得し、推測・認識を行う。従って、通常では経験しない刺激が皮膚に与えられた際には思いもよらない感覚を得る場合がある。例えば、ワイヤ製の格子を両手で挟んで擦ると滑らかな面の感覚が生起する (Velvet Hand Illusion:以後 VHI) という現象がある。このような物理世界とは異なる主観的な触体験が得られるメカニズムは興味深い。我々は過去の調査において、2本線で生起する VHI の機序についての調査を行い、1本線では生起せず、2本線の往復運動で初めて滑らかさが生起するという特徴が、知覚体制化の Gestalt 理論と一致することを明らかにした。Gestalt とは「部分では説明できない複合的なまとまり」とされ、視覚認識で考えられた概念である。すなわち、視覚の Gestalt においてパーツのまとまりがデザイン、聴覚の Gestalt において音の繋がりがメロディとして認識されるのと同様に、触覚の Gestalt には触り心地が生起する。視覚や聴覚に関してはプレグナンツの法則に従ってまとまり方が変化し、心が動かされるような形状、メロディが認識される点が興味深い。一方、触覚の Gestalt については、触覚情報の統合を理解する上で重要であるにもかかわらず未解明な部分が非常に多いため本研究で調査を実施する。

2. 研究の目的

革新的な Haptic デバイスを実現するための基礎理論構築を最終目標とする。その実現に向けて、複数の感覚入力 (振動, 圧覚, 温冷覚等) で構成される触覚の Gestalt が、脳内の認知過程の中でどのような物体面の認識となるのかを解明することを研究目的とする。

3. 研究の方法

本研究では、1)複数の触覚情報がプレグナンツの法則に基づき統合され VHI 感が生起する一連の仕組みの解明、および 2)触覚の Gestalt に関わる神経基盤の解明を行う。前者については、VHI の触り心地を SD 法で求めた材質感ベクトルを用いて評価する。様々な条件で VHI が生み出す材質感ベクトルを求め、触覚の Gestalt の効果 (まとまりの特徴) を体系的に分析する。後者については、全頭型 NIRS (LABNIRS 島津製) を用いて VHI の有無、強弱と大脳皮質の賦活の関係を明らかにする。

4. 研究成果

触覚の Gestalt の解明のために、触錯覚現象の一つである VHI に注目する。VHI とは2本の鋼線を両手に挟んで擦ると物理的に存在しない滑らかな面の感覚が錯覚として生起する現象である。鋼線1本では生起せず、また動きを伴わないと生起しないという VHI の要件は、Gestalt の要件と一致することから VHI の調査を通して触覚の Gestalt の解明に繋がると考える。本研究では VHI の調査として以下の3つの実験を実施した。

(4-1) VHI に関わる物理刺激と錯覚の心理量の関係から触覚の Gestalt の定式化を行った。

(4-2) 温冷刺激と機械刺激で構成される触覚の Gestalt はどのような物体面の認識になるのかの調査を行った。

(4-3) Gestalt 生起時の脳活動を近赤外分光法 (NIRS) を用いて計測した。

上述の3つの研究成果について下記に報告する。

(4-1) 物理刺激と VHI の錯覚量の関係に基づいた触覚の Gestalt の定式化

実験の狙いは、触覚特有の Gestalt のプレグナンツの法則を明らかにし、皮膚に与えられる刺激とそれにより生起する感覚の関係性を定式化することである。そのための図 1 の装置を開発した。この装置は 2 本線をそれぞれ独立に往復運動させることが可能であり、2 本線の往復運動に位相差をつけることができる。Gestalt は刺激同士の関係でまとまりやすさ

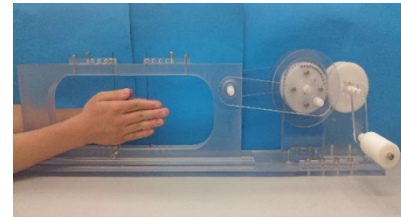
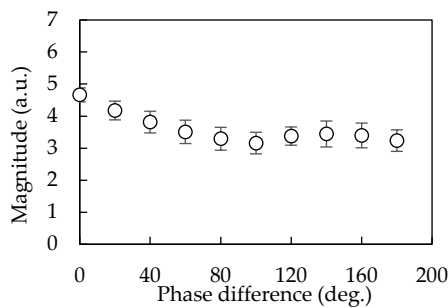
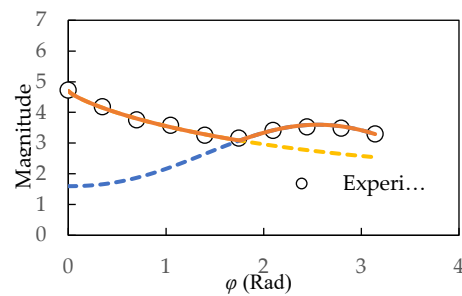


図 1 実験装置

が変化する性質があり、位相差が変化するとまとまりやすさも変化し、それに伴って錯覚の大きさも変化するはずである。この刺激と錯覚量の関係を心理物理学実験で調査し、定式化することを試みた。調査の結果、同位相の時と逆位相の時に錯覚量が強くなることが明らかになった。これは 2 本の鋼線が同方向に動く場合と、逆方向に動く場合にまとまりやすさが強くなっていることを意味する。この性質が触覚特有のプレグナンツの法則だと考えそれぞれ“平行移動の要因”と“伸縮の要因”と名付け、この性質に基づいて定式化を行った結果が図 2 である。図 2 (a) は被験者 10 名の 2 本線の位相差に対する錯覚量の関係を示した結果である。図 2 (b) は上述の平行移動の要因と伸縮の要因の 2 種類のシステムで実験結果を説明できることを示す。視覚においても複数の Gestalt 要因が同時に働いた場合に、最も強い要因がまとまりの認識の特徴としてあらわれることが知られており、触覚においても同様の性質が当てはまることが分かる。この研究成果を複数の学会で発表し [1] [2] 成果をまとめて学術雑誌に投稿した [3] [4]。



(a) VHI intensity and phase difference



(b) Estimation of formulated tactile Gestalts factors

図 2 実験結果とモデルを用いた同定結果

(4-2) 冷刺激と機械刺激で構成される触覚の Gestalt の調査

皮膚には物体表面の凹凸感を知覚する機械受容器と、温度を知覚する受容器が存在する。本研究の狙いは、物理的な刺激と温度刺激によって構成される Gestalt がどのような物体面の認識になるのかを明らかにすることである。触り心地を定量化するために、触覚の因子空間を用いて評価を行った。図 3 が開発したワイヤの温度を変更できる装置である。この装置では温度制御した水を $\Phi 3$ の銅パイプに循環させて温度刺激も同時に与える仕組みとなっている。触り心地の因子空間を構成するために

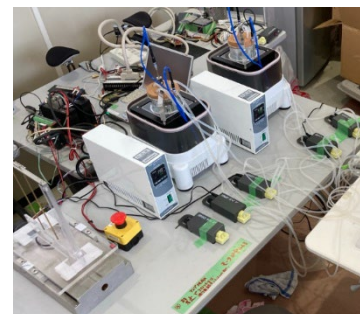


図 3 実験装置

SD (Semantic Differential method) 法を用いた。SD 法では意味の対極な形容詞対を用意し、その間を 7 等分して、質問に対して 7 段階評価させる心理物理学実験手法である。本研究の場合は下記 12 種類の形容詞対を準備した。「しっとりした—乾いた」、「ぬるぬるした—さらさらした」、「弾性力のある—弾性力の無い」、「すべすべした—ざらざらした」、「重厚な—軽薄な」、「ヒヤ

つとした—ヒヤッとしない」, 「温かい—冷たい」 「滑らかな—引っかかる」, 「きめの粗い—きめの細かい」, 「チクチクする—チクチクしない」, 「硬い—柔らかい」, 「凸凹な—平らな」. また, 供試材料として下記 21 種類の供試材料を準備した. 金属 (銅・アルミ・ステンレス・洋白), 布 (ベルベット生地・羊毛フェルト・デニム・ポリエステル・シルク), プラスチック (発泡スチロール・アクリル・ポリ塩化ビニル), 紙 (ティッシュ・コピー用紙), 木材 (檜・バルサ材), ゴム (ブチルゴム・ポリウレタンゴム), 皮革 (羊皮・ヌバック・ベロア). さらに, VHI の条件として 2 本の鋼線の温度条件を下記 4 種類準備した. 通常刺激 (28°C-28°C), 温刺激 (40°C-40°C), 冷刺激 (20°C-20°C), 温冷刺激 (20°C-40°C). 被験者 5 名の実験結果で構成した因子空間に供試材料と温度制御した VHI の触り心地を図 4 に示す. この因子空間は 3 因子で構成され, 第一因子から「Smooth-Rough 因子」, 「Soft, Warm-Hard, Cold 因子」, 「Sticky-Slippery 因子」となった. 黒い☆が通常 VHI の感覚を示しており, 青い☆が冷刺激で生じた VHI, 及び, 冷温刺激で生じた VHI, 赤い☆が温刺激で生じた VHI である. 温かい刺激で生成した VHI

(Warm-warm wires) の条件で最も顕著な結果が表れた. すなわち, 通常の VHI (Normal wires) と比較して温かさ (Warm), 柔らかさ (Soft), ねばねば感 (Sticky) が増している. このよ

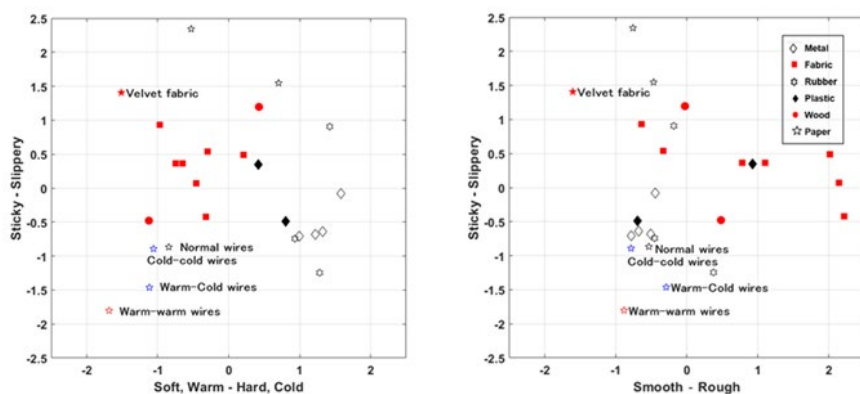


図 4 因子空間における供試材料と VHI の評価

うに, 複数の刺激要素が合わさることで通常の VHI とは異なる感覚が得られることが明らかになった. この研究成果を機械学会年次大会と人工知能学会合同研究会で報告した [5] [6].

(4-3) fNIRS を用いた触覚の Gestalt 生起時の脳機能計測

触覚の Gestalt の機序を解明するためには, 様々な刺激を与えた際の脳活動を明らかにする必要があるが, fMRI 環境下では電子機器を使用することができない. 本研究では, 電子機器を使用可能な fNIRS (近赤外分光法) を用いて脳機能計測を行い, fMRI で明らかにされた VHI 特有の脳の反応 [7] を fNIRS で観測可能か否かを明らかにする. また合わせて, 点図ディスプレイというデバイスで VHI が生じた際の脳活動も計測し, VHI 特有の脳活動がみられるのかを明らかにする. 島津製作所製の LabNIRS を脳機能計測装置として用いる. 脳の関心領域は, fMRI 研究で明らかにされた左体性感覚野周辺 (被験者が右利きの場合) であるため, 図 5 のようにプローブを装着した.

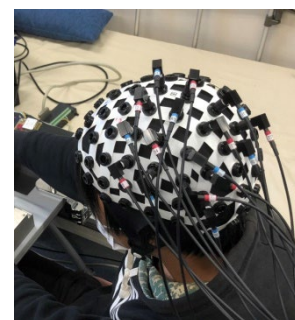


図 5 左体性感覚野付近を計測

VHI 生起のための刺激機器については, VHI の強弱の影響を調べるために, Strong illusion 条件 (Si 条件), Weak illusion 条件 (Wi 条件), No illusion 条件 (Ni 条件) を準備した (図 6). 図 7 は点図ディスプレイによる刺激条件であり, この刺激に関しても先行研究に基づき Si 条件, Wi 条件, Ni 条件を準備した. 提示方法は受動触であり, ワイヤの場合はディスプレイ側がモータにより前後に動作する. 点図ディスプレイの場合は, 提示位置は右掌であり対応する点

図が順番に上下に動作することにより仮想的に往復運動を再現している。被験者 17 名に対してそれぞれの条件につき 6 回ずつ繰り返し計測を行い得られた結果が図 8 である。左がワイヤディスプレイの結果であり、右が点図ディスプレイの結果である。それぞれのグラフの横軸は被験者が回答した錯覚の大きさを表しており、縦軸がその際の左体性感覚野掌部分の賦活の大きさを表している。ワイヤディスプレイでは、錯覚量が増加すればするほど脳の賦活も上昇していることが分かる。これは fMRI で得られた結果と同じであり、fNIRS でも VHI 特有の脳活動を計測可能であることを表している。一方、点図ディスプレイを用いた計測では、被験者の主観として錯覚が増加しても脳の賦活としてその傾向が表れていないことを示している。点図ディスプレイで生起する錯覚はワイヤに比べて弱いことが原因なのか、或いはワイヤディスプレイのように両手を合わせないことが原因なのか、この原因の追究に関しては今後の課題である。本研究成果については、2022 年の機械学会・情報知能精密部門講演会にて口頭発表を行った [8]。

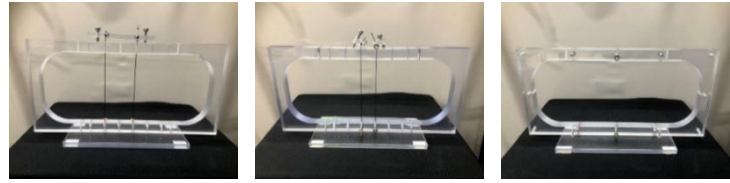


図6 ワイヤを用いた刺激条件
(左: Si condition, 中央: Wi condition, 右: Ni condition)

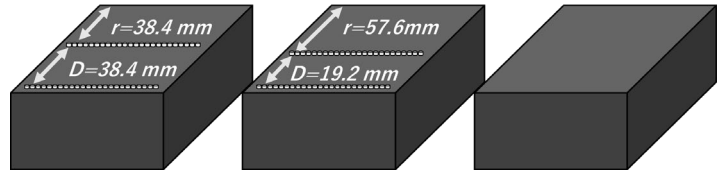


図7 点図を用いた刺激条件
(左: Si condition, 中央: Wi condition, 右: Ni condition)

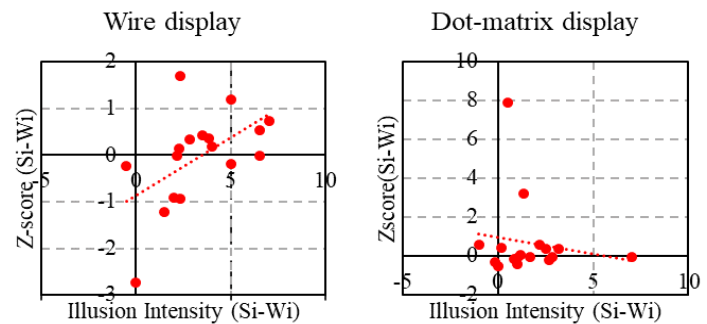


図8 VHIの主観的な評価と左体性感覚野の賦活の相関
(左: ワイヤディスプレイ, 右: 点図ディスプレイ)

参考文献

- [1] 小村啓, 大岡昌博, “触覚の Gestalt の定式化,” 人工知能学会 合同研究会 2020, 2020.
- [2] 小村啓, 大岡昌博, “心地よさを生起する Haptic デバイスの開発に向けた Gestalt の定式化,” IIP2021 情報・知能・精密機器部門 講演会, 2021.
- [3] H. Komura, T. Nakamura and M. Ohka, "Investigation of Tactile Illusion Based on Gestalt Theory," *Philosophies*, vol. 6, no. 3, 2021.
- [4] H. Komura, T. Nakamura and M. Ohka, "Formulation of tactile Gestalt to express variation in velvet hand illusion caused by out-of-phase cycles of two wires," *Journal of Advanced Mechanical Design, Systems and Manufacturing*, vol. 14, no. 6, pp. 1-8, 2020.
- [5] 小村啓, 大岡昌博, “温冷刺激と触錯覚現象の融合によって生起する新たな触り心地の基礎調査,” 人工知能学会合同研究会, 2021.
- [6] 小村啓, 大岡昌博, “熱刺激と触錯覚現象を用いた触覚ディスプレイの開発,” 日本機械学会 2021 年度年次大会, 2021.
- [7] N. Rajaei, H. Takahashi, T. Miyaoka, K. Kochiyama, N. Sadato and R. Kitada, "Brain networks underlying conscious tactile perception of textures as revealed using the Velvet Hand Illusion," *Human Brain Mapping*, vol. 39, no. 12, pp. 1-15, 2018.
- [8] 小村啓, 山下恭平, 大岡昌博, “LABNIRS による VHI 感と脳賦活の関係の調査,” IIP 情報・知能・精密機器部門講演会講演論文集, 2022.

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計4件（うち査読付論文 4件／うち国際共著 0件／うちオープンアクセス 3件）

1. 著者名 Komura Hiraku, Nakamura Toshiki, Ohka Masahiro	4. 巻 6
2. 論文標題 Investigation of Tactile Illusion Based on Gestalt Theory	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Philosophies	6. 最初と最後の頁 1-13
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.3390/philosophies6030060	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 Hiraku KOMURA, Toshiki NAKAMURA, Masahiro OHKA	4. 巻 14
2. 論文標題 Formulation of tactile Gestalt to express variation in velvet hand illusion caused by out-of-phase cycles of two wires	5. 発行年 2020年
3. 雑誌名 Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing	6. 最初と最後の頁 1-8
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.1299/jamdsm.2020jamdsm0088	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 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件／うち国際学会 0件）

1. 発表者名 小村 啓, 山下 恭平, 大岡 昌博
2. 発表標題 LABNIRS によるVHI 感と脳賦活の関係の調査
3. 学会等名 IIP情報・知能・精密機器部門講演会講演論
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 小村啓, 大岡昌博
2. 発表標題 温冷刺激と触錯覚現象の融合によって生起する新たな触り心地の基礎調査
3. 学会等名 第35回研究会 人工知能学会合同研究会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小村啓, 大岡昌博
2. 発表標題 熱刺激と触錯覚現象を用いた触覚ディスプレイの開発
3. 学会等名 日本機械学会 2021年度年次大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小村啓, 矢崎 武瑠, 大岡昌博
2. 発表標題 心地よさを生起するHapticデバイス開発に向けた触覚のGestaltの定式化
3. 学会等名 IIP2021 情報・知能・精密機器部門講演会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 小村啓, 矢崎 武瑠, 大岡昌博
2. 発表標題 触覚のGestaltの定式化
3. 学会等名 人工知能学会 合同研究会2020
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

九州工業大学HP https://hyokadb02.jimu.kyutech.ac.jp/html/100001322_ja.html ORCID https://orcid.org/0000-0001-7540-9810 Researchgate https://www.researchgate.net/profile/Hiraku-Komura
--

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
--	---------------------------	-----------------------	----

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------