



材質感次元を用いた VHI 感の定量評価に関する研究

The Evaluation of VHI Sensation by using Psychophysical Dimensions

小村啓¹⁾, 大岡昌博¹⁾

Hiraku KOMURA, Masahiro OHKA

1) 名古屋大学 大学院情報学研究科 (〒464-8601 愛知県名古屋市千種区不老町, komura.hiraku@a.mbox.nagoya-u.ac.jp)

概要: VR 研究において触り心地を制御可能な触覚ディスプレイの開発が期待されている。我々は、滑らかさを生む Velvet Hand Illusion (以後 VHI) という触錯覚現象に注目し、錯覚現象を応用して触り心地を生む技術の開発を目指す。本研究では、VHI の機序解明を目的に SD 法と因子分析を用いて触り心地の材質感次元を作成し、次元上で VHI 感がどのように表現されるのかを調査した。その結果、点図ディスプレイで生起される VHI 感とワイヤーで生起される VHI 感をそれぞれ異なる感覚であることが明らかになった。また平行線の素材の触り心地に『すべすべ感』『温かさ柔らかさ感』『ぬるぬる感』が重畳された感覚が VHI 感であることが明らかになった。

キーワード: Velvet Hand Illusion, 材質感次元, SD 法, 因子分析

1. 緒言

触り心地に関連した VR 技術を発展させるためには、高度なハードウェアを開発することは重要であるが、それと同時に触覚の特性調査も不可欠である。特に触錯覚現象の解明は、中枢神経における触覚情報の処理過程を明らかにする手がかりになると考えられる。そこで、著者らは Velvet Hand Illusion (以後: VHI) という触錯覚現象に着目し、VHI が生起されるメカニズムを解明することで触覚についての理解を深めることを目標とする。VHI の研究に関しては、過去の研究において、2本の平行に張られたワイヤーの往復運動で生起されることや[1]、点図ディスプレイの触知ピンで作成した平行線の往復運動でも生起されること[2]、また点図の VHI 感はワイヤーの VHI 感とは少し異なることが明らかにされてきた。

本研究は、この触り心地の違いに着目し、刺激素材と VHI 感の関係を定量的に評価することで、VHI の機序解明を行うことが目的である。そこで著者らは、白土ら[3]が行った触覚の潜在的因子の調査を基に実験を構成し、VHI 感が材質感次元上でどのように表現されるかを調査した。

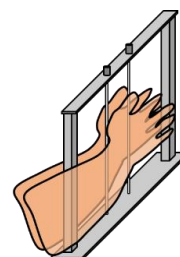
2. Velvet Hand Illusion

VHI とは、2本の平行線を両手で挟んで前後にこすると滑らかな面の感覚が生起する錯覚現象である。この錯覚は、片手でも生起することや、点図ディスプレイでも生起すること[2]、2本線の位相差運動の

状況下では VHI 感が減少すること[4]、VHI 感は触覚の Gestalt に生起すること[5]、VHI における大脳の神経基盤について[6]等が明らかにされている。これらの研究成果から下記のプロセスで VHI が惹起すると考えることができる。

- 2本線の刺激による機械受容器の発火
- 平行線の往復運動で大脳に認識される触覚の Gestalt に滑らかさが生起

すなわち、VHI 感は掌の触覚に与えられる刺激と大脳で認識される触覚の Gestalt に生起する感覚の重畳で表現されるのではないかということである。そこで本研究では、前者の触覚から得られる情報がどのように VHI 感に影響を及ぼすのかを明らかにするために、SD 法と因子分析を用いて触覚の材質感次元を構成し、点図ディスプレイの VHI 感とワイヤーの VHI 感を次元上で比較することで評価する。



Two parallel wires condition

Fig. 1 Velvet Hand Illusion

3. 材質感次元

触覚の潜在的因子に関する研究は盛んに行われて様々な次元が提案されてきたが、2013年の岡本等[7]の研究により、触覚による触り心地の潜在的因子は『hardness(硬さ)』『Friction(摩擦)』『Roughness(凸凹)』『Warmness(温度)』の4次元にまとめられた。すなわち、触り心地はこの4次元で構成される材質感次元の中のベクトルとして表現できるという事である。材質感ベクトルの優れた点は、感性の強弱はベクトルの長さで、感性の違いは内積で評価できる点である(図2)。従って、材質感次元を用いることでワイヤーと点図ディスプレイにより生起されるVHI感を比較することが可能となる。

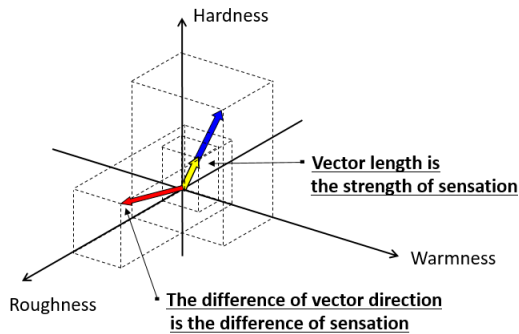


Fig. 2 Psychophysical Dimensions

4. 実験

4.1 実験参加者

本研究の心理物理学実験に参加した日本人学生は14名であり、年齢は22歳から26歳である。実験前にあらかじめ十分にVHIを経験した後に、本実験を実施した。

4.2 実験方法

SD法と因子分析を実施して材質感次元を作成し、VHI感を評価する。SD法では様々な供試材料と評価指標(形容詞対)が必要になる。そこで供試材料に関しては、21種類(皮革、布、金属など様々な材料)の試料と点図ディスプレイ・ワイヤーディスプレイの1本線及び2本線の往復運動刺激の合計25種類の刺激を準備した(表1)。これらの刺激は平均速度80mm/s、振幅60mmで図3のように被験者にパシブで与えられる。このようにすることによって素材の触り方を被験者間で統一することができ、触り方による知覚のばらつきを減らすことができる。

また評価はSD法を用いて行われた。SD法とは、『すべすべ—ざらざら』『凸凹な—平らな』ような対となる形容詞を等間隔で7分割し、-3~+3の間で7段階評価することで感性を点数化する手法である。本実験で使用した形容詞対を表2に示す。

実験では1種類の刺激ごとに評価を行う。一回の

刺激呈示時間は10秒であるが、実験参加者は何度でも刺激を知覚することができ、形容詞対による評価が終了すると、次の刺激呈示、及び評価に移行する。刺激呈示の順番は、VHI関連以外をランダムで呈示したのち、VHIに関する4条件を最後に呈示する。

Table 1 Material list

試料	
金属	銅, アルミニウム, ステンレス, 洋白
プラスチック	発泡スチロール, アクリル, 硬質塩化ビニル
布	ベルベット生地, 羊毛フェルト, デニム, ポリエステル, 絹
木材	ひのき, パルサ材
紙	普通紙, ティッシュ
ゴム	ブチルゴム, ポリウレタンゴム
革	羊皮, ヌバック, ペロア
VHI	2本の平行線(ワイヤー)
	1本線(ワイヤー)
	2本の平行線(点図ディスプレイ)
	1本線(点図ディスプレイ)

Table 2 The list of paired adjectives

形容詞対		
すべすべした	-	ざらざらした
凸凹な	-	平らな
きめの粗い	-	きめの細かい
チクチクする	-	チクチクしない
滑らかな	-	引っかかる
ヒヤとした	-	ヒヤッしない
温かい	-	冷たい
重厚な	-	軽薄な
しっとりした	-	乾いた
ぬるぬるした	-	さらさらした
硬い	-	柔らかい
弾性力のある	-	弾性力の無い

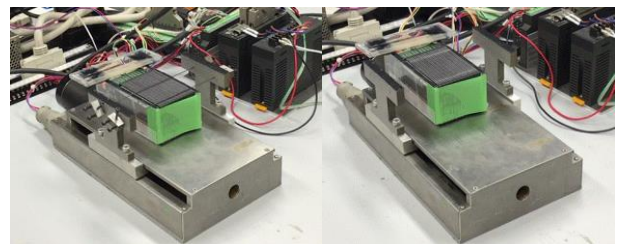
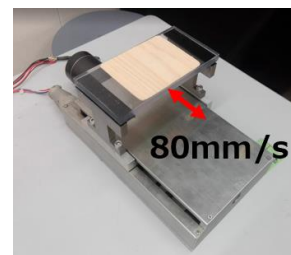


Fig.3 The experimental condition of Velvet Hand Illusion (Upper figure: cypress condition, lower left: wire display condition, lower right: dot-matrix display condition)

5. 実験結果, および考察

SD法を用いて得た感性評価に対して, 因子分析を実施して得られた結果を表3に示す. 累積寄与率90%以上となるように因子分析を実施したところ, 4因子が潜在的因子として得られた. 表3の右は相関が高い因子ごとにまとめており, これらの特徴から4種類の潜在的因子に対して『凸凹因子』『冷たさ硬さ因子』『さらさら因子』『重たさ因子』と名付けた. またこの4次元空間に25種類の材質の触り心地を表現したものが図4である.

まず, 点図ディスプレイで生起するVHI感と, ワイヤードisplayで生起するVHI感に注目する. ワイヤードisplayのVHI感は点図ディスプレイに比べて『すべすべ感』『ぬるぬる感』『重厚感』が大きいことが分かる. 1本線でも同様の傾向がみられることから, 両者のVHI感の違いは触る素材の感覚の違いによるものと考えられる.

次に両方のVHI感と本物のベルベット生地感覚と比較したところ, 『すべすべ感』『柔温かさ柔らかさ感』に関しては似ているが, 『ぬるぬる感』におい

ては真逆の感覚であることが明らかになった.

最後に1本線から2本線への感覚の変化に注目する. 1本線では錯覚が生起しないため触覚情報のみの感覚であるが, 2本線は触覚情報+錯覚であることから, 両者の差に着目することで中枢神経において生起する錯覚の感覚を明らかにすることができる. 点図ディスプレイ, ワイヤードisplayともに1本線の感覚に『すべすべ感』『温かさ柔らかさ感』『ぬるぬる感』を足した感覚が2本線の感覚となっている. このことから, 上記の3つの感覚が中枢神経で生じていると考えられる. 著者らは過去の研究でVHIは触覚のGestaltに生起する感覚であると提案した. Gestaltとは形態という意味であり, 視覚において形状が認識され, 聴覚によってメロディーが認識されるのもGestalt Groupingという認知メカニズムによるものである. すなわち平行なワイヤードisplayで構成されるGestaltに上記の3つの感覚が惹起し, 触覚から得られた線の素材の質感との統合により触り心地が生起していると考えられる

表3 触覚の評価項目に対する因子分析

評価項目	因子1	因子2	因子3	因子4	因子1	因子2	因子3	因子4
きめの粗い-細かい	-0.92	0.26	-0.26	-0.06	きめの粗い			
すべすべ-ざらざら	0.91	-0.22	0.22	0.22	ざらざら			
チクチクする-しない	-0.88	0.23	-0.13	-0.26	ちくちくする			
凸凹な-平らな	-0.81	0.47	-0.23	-0.16	凸凹な			
しっとりした-乾いた	0.61	-0.18	0.47	0.46	乾いた			
弾性力のある-無い	-0.24	0.93	-0.09	-0.17	弾力がない			
硬い-柔らかい	0.39	-0.88	0.18	0.13	硬い			
温かい-冷たい	-0.41	0.82	-0.25	-0.18	冷たい			
ヒヤッとした-ヒヤッとしな	0.50	-0.74	0.17	0.32	ヒヤッとした			
い								
滑らかな-引っかかる	0.44	0.61	-0.25	-0.23	引っかかる			
ぬるぬるした-さらさらした	0.35	-0.28	0.77	0.12			さらさら	
重厚な-軽薄な	0.33	-0.48	0.15	0.74				軽薄な
固有値	8.10	2.00	0.74	0.54	凸凹因子	冷たさ・硬さ因子	さらさら因子	重たさ因子
累積寄与率	37.87	70.90	81.11	90.76				

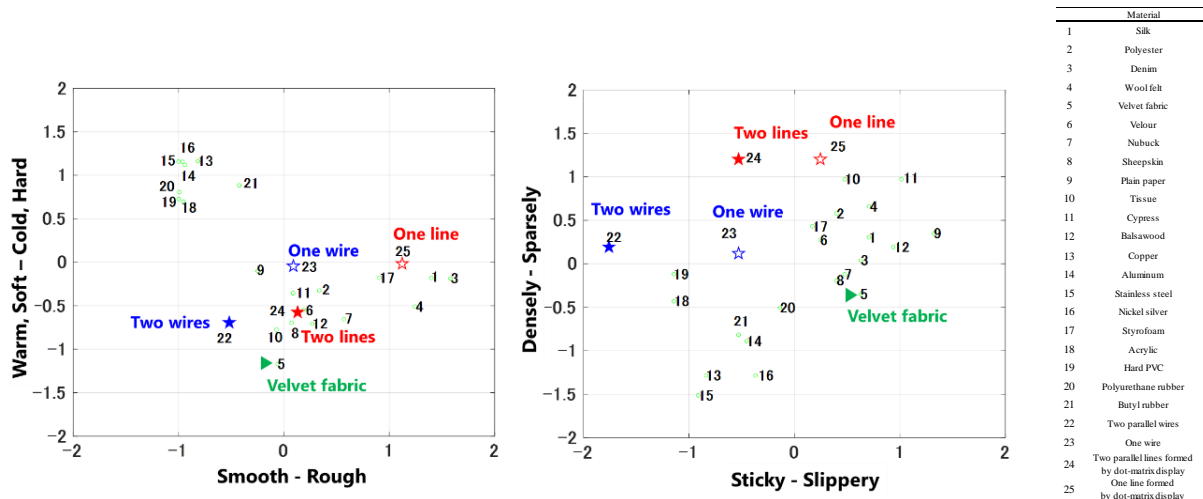


Fig. 4 Tactile sensation of 25 materials in psychophysical dimension

6. 結 論

触覚ディスプレイにおいて材質感を生起する技術を開発するため、VHI という触錯覚現象に着目した。VHI の機序解明のために、SD 法と因子分析をもちいて触覚の潜在的因子を求め材質感次元を構成し VHI 感を評価した。その結果、ワイヤーディスプレイと点図ディスプレイの VHI 感には、『すべすべ感』・『ぬるぬる感』『重厚感』において違いがあることが分かった。1 本線条件においても点図とワイヤーの間に同様の傾向がみられたことから、線の材質によって VHI 感が変化することが示された。

さらに、1 本線(No VHI)から 2 本線 (VHI) への感覚の変化に注目することで、錯覚時に中枢神経で惹起する感覚が『すべすべ感』『温かさ柔らかさ感』『ぬるぬる感』であることが分かった。すなわち、VHI 感は線の触り心地に中枢神経で生じる上記の 3 つの感覚が足された感覚であるということである。今後の研究で、さらに色々な刺激で VHI を生起させ、VHI により表現可能な感覚の調査を実施していく予定である。

7. 謝辞

本研究は豊秋奨学会の助成、および JSPS 科研費 JP19J15243 の助成を受けたことを付記し謝意を表す。

参考文献

- [1] N. Rajaei, Y. Kawabe, M. Ohka, T. Miyaoka, A. Chami, and H.B. Yussouf, Psychophysical Experiments on Velvet Hand Illusion Toward Presenting Virtual Feeling of Material, *Int. J. Soc. Robot.*, 4-1, pp. 97-105, 2012
- [2] N. Rajaei, M. Ohka, H. Nomura, H. Komura, S. Matsushita, T. Miyaoka, Tactile mouse generating velvet hand illusion on human palm, *Int. J. Adv. Rob. Syst.*, pp. 1-10, 2016
- [3] 白土 寛和, 前野 隆司: 触感呈示・検出のための材質認識機構のモデル化, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌* Vol.9 No. 3, pp. 235-240, 2004
- [4] 小村啓, 中村俊貴, 宮岡徹, 大岡昌博, 2 本のワイヤーの位相差運動がベルベット・ハンド・イリュージョンに及ぼす影響, 第 22 回日本バーチャルリアリティ学会大会, 1C1-02, 徳島大学, 9 月 2017 年
- [5] 小村啓・大岡昌博: 滑らかさを惹起する触覚の Gestalt に関する基礎調査, *日本バーチャルリアリティ学会論文誌*, Vol.24-1, 2019
- [6] N. Rajaei, H.K. Takahashi, T. Miyaoka, K. Kochiyama, M. Ohka, N. Sadato, and R. Kitada, Brain networks underlying conscious tactile perception of textures as revealed using the velvet hand illusion. *Hum Brain Mapp.*, Vol. 39-12, pp. 4787-4801, 2018
- [7] S. Okamoto, H. Nagano, Y. Yamada, Psychophysical Dimensions of Tactile Perception of Textures, *IEEE Transactions on Haptics* 6(1), pp. 81-93, 2013