

体内触運動感覚に関する研究（第1報）：ファントムセンセーション像を用いた貫通感覚提示

○細谷 佳生*(筑波大学), 遠田 哲史*(東京大学), 渡邊 淳司(NTT コミュニケーション科学基礎研究所), 橋本 悠希(筑波大学, 独立行政法人科学技術振興機構さきがけ)

Presentation of Internal Tactile Sensation By A Penetrating Sensation Using Phantom Sensation Image

○Yoshiki HOSOYA* (University of Tsukuba), Satoshi TOHDA* (University of Tokyo), Junji WATANABE (NTT Communication Science Laboratories), Yuki HASHIMOTO (University of Tsukuba, JST, PRESTO)

Abstract: To show more efficient internal tactile sensation inside the body, we proposed an illusionary tactile phenomenon caused by penetrating sensation by phantom sensation images. We named it "Phantom Penetration" and examined the occurrence possibility of this phenomenon. Based on that, we also examined the extensibility and verifying method of the internal tactile sensation.

1. 序論

近年、バーチャルリアリティ技術の発展により、全身を使った一人称体験コンテンツの需要が高まっている。しかしながら、利用されている感覚は視覚・聴覚が中心であり、身体的体験にとって欠かせない触覚に関する研究・開発は発展途上である。その理由の一つとして、全身に存在する触覚受容器に対して触覚を提示するには多大なコストがかかることが挙げられる。この問題に対し、ファントムセンセーション(以下 PhS)[1]や触仮現運動[2][3]に代表される錯触覚による、皮膚表面への効率的な触覚提示が試みられてきた。また、掌を挟むように振動子を配置して同時に振動刺激を行うことで体内に PhS 像を知覚する例[5]が存在する。また、首や胴を挟むように振動子を配置し、触仮現運動提示を行うことで、体内に触覚像が貫通する体験を実現した例[4]も存在する。これらの例から、錯触覚を用いることで触感覚を体内に知覚させることが可能だと考えられる。

上記を踏まえて本研究は、PhS と触仮現運動を組み合わせることによって、より広範囲かつ汎用的な体内触運動感覚を提示することを目指す。本稿では本研究で目指す体内触運動感覚提示手法の実現可能性を検証するため、PhS 像同士による貫通感覚の生起実験を行なった。また、その結果をもとに体内触運動感覚の拡張可能

性を検討し、検証するための方法について議論した。

2. 提案する錯触覚

2.1 Phantom Penetration

四肢などの部位において、身体を挟むように PhS 像を生起させる振動刺激を与え、かつ、この PhS 像が触仮現運動による身体貫通感覚を得るのに適したインターバル時間で生起する場合、PhS 像同士で身体貫通感覚が生起すると考えられる (Fig. 1)。我々はこれを Phantom Penetration(以降 PP と略す)と名付け、本稿においてその実現可能性を検討する。

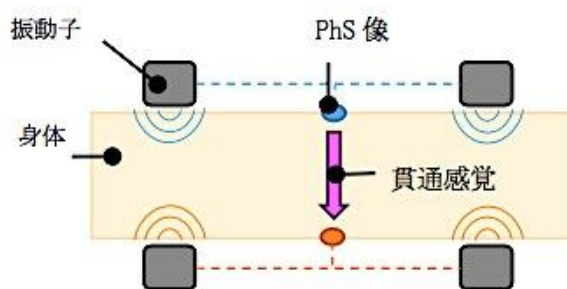


Fig. 1 : Phantom Penetration

3. Phantom Penetration の生起可能性の検証

3.1 実験目的

* Both authors contributed equally to this work.

本実験の目的は、PP の実現可能性を検証することである。本実験では、まず予備実験として PP の基礎となる貫通感覚および PhS の生起検証実験を行いそれぞれの生起確率を検証した。その後、PP の生起検証実験を行った。検証に使用する部位は前腕部とした。

3.2 実験環境・構成

実験装置は、振動子（Acouve 社製、パイプロトランスデューサ Vp4）2 個をベルト状の固定具に取り付け、これを刺激ユニットとした。振動子はそれぞれアンプ（Golin Audio 社製、GI-20）に接続し、アンプはマイクロコントローラ（NXP 社製、ARM mbed LPC1768 Board）からの信号を入力信号とした。

被験者は左腕の前腕部を露出させ、共振防止のためにウレタンマットが敷かれた机の上に、掌が上になるように腕を置いた。腕には刺激ユニットを 2 個取り付けた。このとき、振動子は前腕内側と前腕外側にそれぞれ位置するように配置し、振動子が概ね互いに平行になるように調整した。被験者の前腕・振動子 A, B, C, D・刺激ユニットの位置関係を Fig.2 に示す。また、本実験では刺激像の軌跡を正確に求めるため、波形は、先行研究[3]より、貫通感覚の生起しやすい、240Hz の正弦波とした。

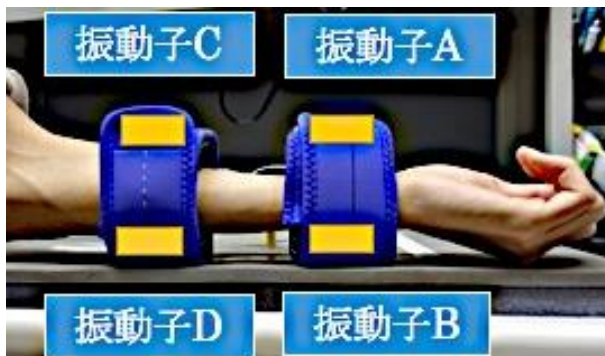


Fig. 2 : Transducer Position

被験者は着席した状態でヘッドホンを用いてホワイトノイズを聞かせ、聴覚を遮断した。また、左腕には不透明の布をかぶせ、被験者に振動の様子を視認させないようにした。被験者の左腕の右側には回答用にタブレット型端末（Apple 社製、iPad Air 2）を配置した。

3.3 予備実験 1：貫通感覚の生起検証

本予備実験は、以下の手順で行った。

1. 振動子 A, B 間に触仮現運動を生起するような刺激(Fig. 3)、触仮現運動を生起しない刺激(Fig. 4)をランダムに提示する
2. 「同時」「2 つ別の振動」「貫通感覚」から回答させる

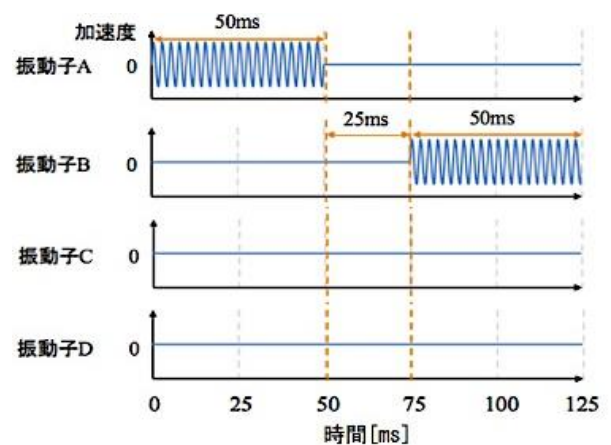


Fig. 3 : Vibration Pattern that Penetrating Sensation Occurs

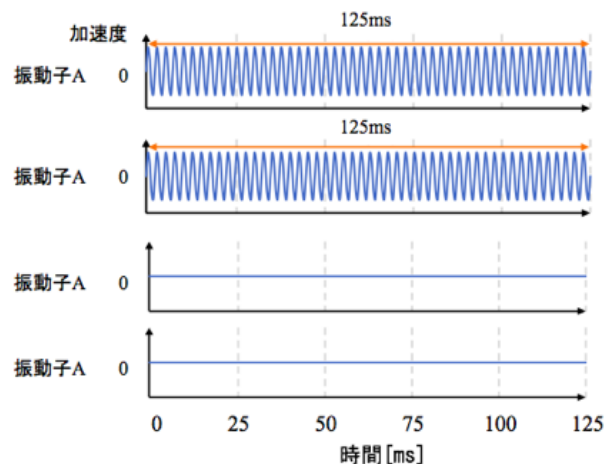


Fig. 4 : Vibration Pattern that Penetrating Sensation Does Not Occur

試行は刺激条件毎に 15 回ずつ、計 30 回試行した。また、振動子 C, D 間についても同様に 30 回試行した。実験結果(Fig. 5)から、皮膚上の触仮現運動を 40%以上の確率で知覚した被験者は 8 人中 5 人であり、過半数の被験者が運動を知覚出来たといえる。

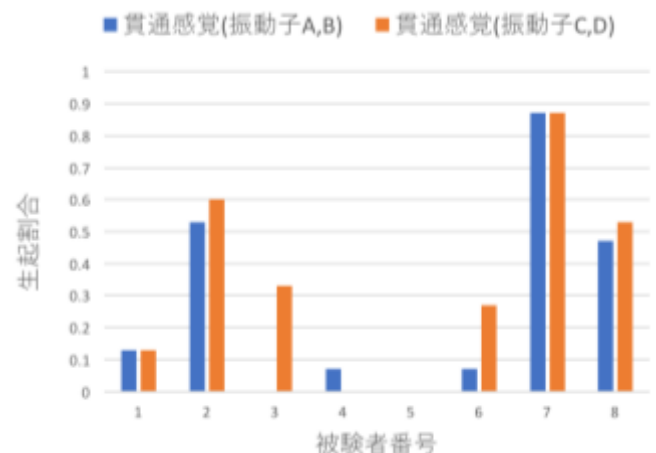


Fig. 5 : Occurrence Rate of Apparent Motion

3.4 予備実験 2 : PhS の生起検証

本予備実験は、以下の手順で行った。

1. 振動子 A,B 間および C,D 間において、振動強度が等しいと知覚される強度比を被験者毎に求め、その際の出力強度を 50 と設定する。
2. PhS を生起するような刺激 (Table. 1 内 h, k), 生起しないような刺激 (Table. 1 内 g, i, j, l) をランダムに提示する。
3. 触覚刺激を感じる位置をタブレット端末に回答させる (Fig 6)。

最初に手順 1 を行った後、手順 2-3 を刺激条件毎に 10 回ずつランダムに、計 30 回試行した。なお、刺激継続時間は 50ms に設定した。

各被験者について、提示した刺激パターンごとに触覚像の生起位置の中央値を求め、平均を Fig.7 に示した。なお、刺激パターン g, h, i は腕の上側に対する触覚提示である。

実験結果から、PhS 刺激である h, k について、振動子間に触覚像を知覚していたことから、PhS 像の知覚が確認できた。

Table. 1 : Vibration Intensity of each Transducer for each Stimulus Pattern

パターン	振動子			
	A	B	C	D
g	100	0	0	0
h	50	0	50	0
i	0	0	100	0
j	0	100	0	0
k	0	50	0	50
l	0	0	0	100

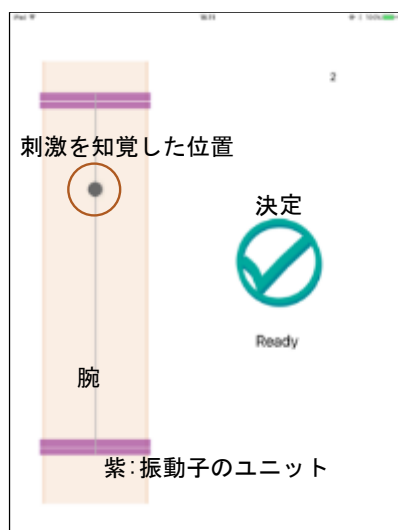


Fig. 6 : Application for Answering (for PhS)

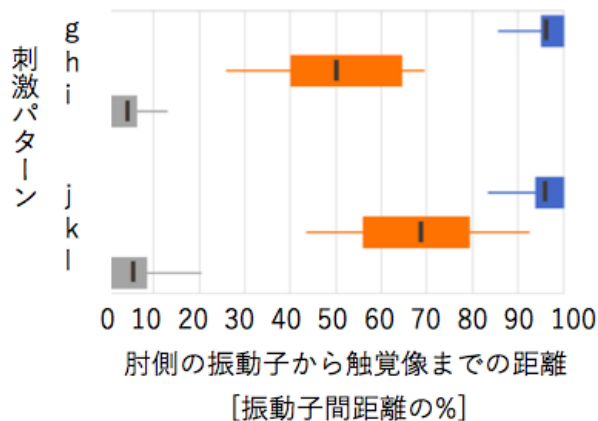


Fig. 7 : Occurrence Position

3.5 Phantom Penetration の生起検証実験

本実験では、通常の振動子間に生起する貫通感覚と PhS 像同士に生起させる貫通感覚をそれぞれ提示し、軌跡を比較することで、Phantom Penetration の生起可能性を検証する。

3.5.1 実験手順

本実験は、以下の手順で行った。

1. 被験者に振動子間に貫通間隔を生起するような刺激パターン m, o, PhS 像間に貫通感覚を生起するような刺激パターン n のいずれかを提示する。
2. 被験者は知覚した刺激をタブレット端末に自由に描画するという形で回答 (fig. 11)する。

実験に使用した振動波形は正弦波、周波数は 240Hz とした。各振動パターンは Fig. 8~10 に示す。刺激パターン m, n, o を 10 回ずつランダムに、計 30 回行った。また、内観報告として「現在の体調はどうか」「刺激の移動を感じたか」「本実験の感想」を被験者に自由に答えさせた。

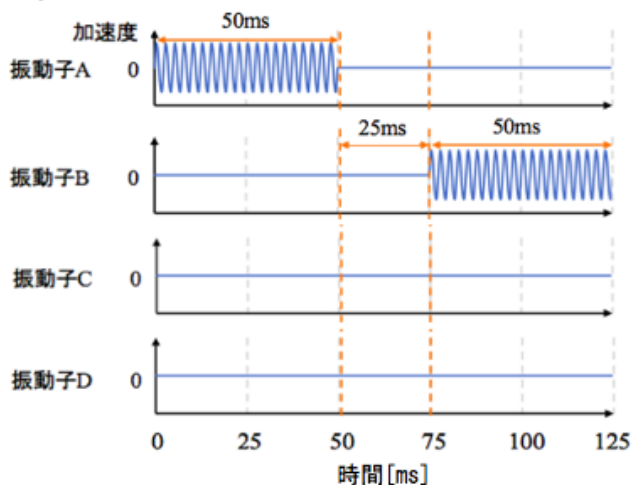


Fig. 8 : Vibration Pattern m

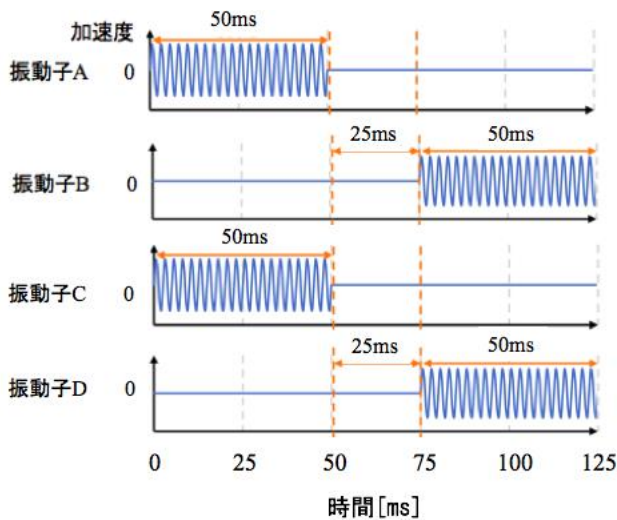


Fig. 9 : Vibration Pattern n

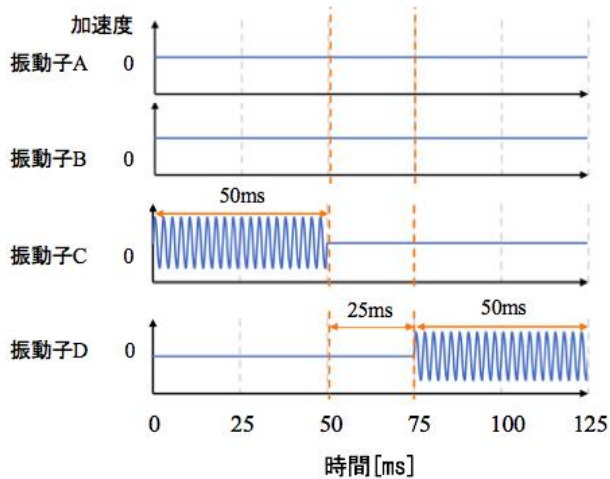


Fig. 10 : Vibration Pattern o

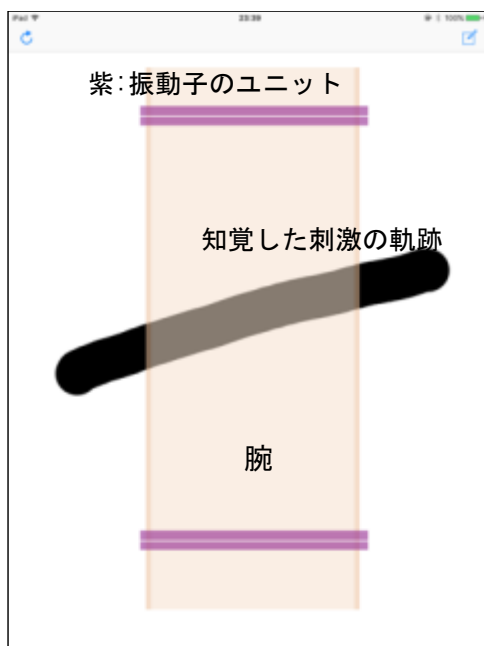


Fig. 11 : Application for Answering(PP)

3.5.2 結果

各被験者について、結果を重ね合わせて一枚の軌跡記録画像に構成し、以下の2条件が両方成立していることを PhS 像の貫通感覚として認めることとした。

条件1. 軌跡が一本の線であること

条件2. 軌跡の始点と終点が振動子間距離の中央50%以内に収まっていること

PP を生起させるような刺激 n について、条件 1, 2, および PP に該当する軌跡の割合を Fig. 12 に示す。

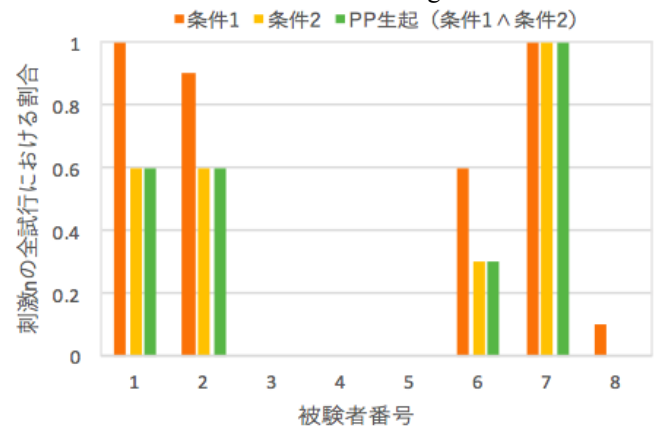


Fig. 12 : Occurrence Rate of PP

Fig.12 より、約半数の被験者について PP の生起が確認できたことから、PhS と貫通感覚の組み合わせによる新たな体内触運動感覚の提示可能性が示唆された。

4. 広範囲かつ汎用的な体内触運動感覚に向けて

4.1 検証結果の考察

前述の実験により、PP の生起が確認された。ただし、刺激条件の最適化が課題となった。今回の実験では、PP は被験者 8 人中 4 人にある程度の生起が見られたが、3.3 と 3.5 の結果を比較すると、手首に近い刺激ユニットで貫通感覚を覚えた割合と PP の生起割合には $R^2 = 0.52546$ の相関関係が存在することが判明した (Fig. 13)。

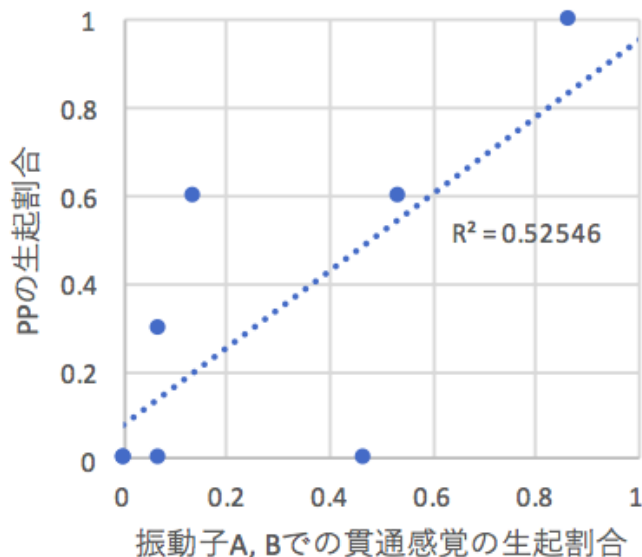


Fig. 13 : Correlation of Occurrence Rate Between PP and Penetrating Sensation

この結果から、前腕部においてより貫通感覚が生起しやすい特性の振動、本稿においては 240Hz の正弦波を用いた上で、実験の最初の段階での振動強度設定を、貫通感覚の生起しやすさを基準に行うことでPPを安定的に生起できるようになると考えられる。

4.2 体内触運動感覚の拡張

生起が確認されたPPは、PhSと貫通感覚を組み合わせ、皮膚→体内→皮膚という経路をあたかもとっているかのような刺激である。そこで次に、PhS像を体内に知覚させた上で仮現運動させ、体内のみで触覚像の存在および移動感の知覚が完結する体内触運動感覚へ拡張することを考える。体内触運動感覚が提示できれば、PPと合わせて皮膚表面と体内を自由に行き来できる3次元的な触覚提示が可能となり、触覚提示の応用範囲が広がることが期待できる。

そこで現在、3章と同様の装置、環境下で以下の3つの実験を行い、体内触運動感覚の拡張可能性について検証することを計画している。

4.2.1 体内におけるPhSの生起検証実験

前腕部においても先行研究[5]と同様、「片側のみ振動」「同時に振動」「片方ずつ振動」の各振動条件について、刺激像を知覚した位置を記述すると共に、信頼度を5段階で回答する。

4.2.2 貫通感覚の生起検証実験

3.5と同様の実験を行い、運動の方向と信頼度を3段階で回答させる。また、新たな試みとして、Fig. 14のようなイラストを何枚か用意し、知覚した刺激に最も近いものを選ぶことも同時に行ない、体表面を伝う刺激なのか、体内を貫通したものなのかを明確にする。

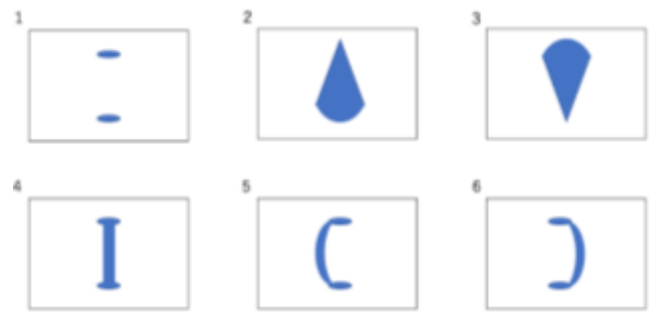


Fig. 14 : Example of Illustrations

4.2.3 体内触運動感覚の生起検証実験

Fig.2のA,B間とC,D間でPhSを時間差で起こすことにより、体内で生起されたPhS像同士による体内仮現運動の生起可能性について検証を行う。

被験者は前腕部のイラストが印刷された回答用紙に知覚した刺激を自由に記述する形で回答する。

5. まとめ

本研究では広範囲かつ汎用的な体内触運動感覚提示の実現に向け、最初のステップとして、PhSおよび身体貫通感覚が共に生起する振動刺激を提示することで、PhS像が身体を貫通するような感覚を得る錯覚現象・PPが生起することを検証した。その結果、生起割合はまだ高いもの、PPの生起が確認できた。また、貫通感覚の生起割合とPPの生起割合の相関関係が導き出された。今後、この検証結果を踏まえて追実験を行い、体内触運動感覚の拡張について検討していく。

6. 参考文献

- [1] Ooshima, S., Fukuzawa, Y., Hashimoto, Y., Ando, H., Watanabe, J., Kajimoto, H., “/ed (slashed) - Gut Feelings when Being Cutand Pierced,” Proc. ACM SIGGRAPH2008 , (2008)
- [2] 大島, 橋本, 梶本: 触仮現運動の幅知覚における振動周波数の影響, ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集 2009, 2A2-J13(1)/2A2-J13(3), (2009)
- [3] J.H. Kirman, “Tactile apparent movement: the effects of interstimulus onset interval and stimulus duration,” Perception & Psychophysics, 15, 1, (1974).
- [4] 渡邊, 福沢, 梶本, 安藤: 腹部通過仮現運動を利用した貫通感覚提示, 情報処理学会論文誌 49(10), 3542/3545, (2008).
- [5] 石井, 佐藤, 福嶋, 古川, 梶本: 手部触覚による奥行き情報の提示, バーチャルリアリティ学会大会論文集, 16, 310/313, (2011).