

ファントムセンセーションの拡張に関する研究(第1報) : ファントムセンセーションに対する刺激特性の付加

Augmentation of Phantom Sensation (I):
Superposition of Physical Stimuli and Phantom Sensation as a New Tactile Presentation

加藤寛士¹⁾, 橋本悠希²⁾, 梶本裕之²⁾
Hiroshi KATO, Yuuki HASHIMOTO and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学 人間コミュニケーション学科
(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, hiro.kato@kaji-lab.jp)
2) 電気通信大学大学院 人間コミュニケーション学専攻
(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp)

Abstract: Phantom Sensation (PhS) is a pseudo tactile sensation that occurs when two tactile stimuli are presented simultaneously. Although this phenomenon is well known, physiological principle underlying this phenomenon is still unobvious, and applications are limited. This series of researches aims to find new characters of PhS, clarify the principle, and utilize the phenomenon as a novel and simple tactile interface. In this paper, we report two supposedly new aspects of PhS. One is that “impulse” stimuli induce much clearer PhS image than continuous vibration. The other is that “superpositioning” physical stimulus on the PhS image is possible, especially when the PhS is induced by the impulse stimuli.

Key Words: Phantom Sensation, Impulse, Superposition, Tactile Display

1. はじめに

一般に触覚ディスプレイによる情報呈示では、ディスプレイと呈示を行う個所が空間的に近接している必要がある。これは視聴覚を用いたディスプレイに比べ、呈示対象者に肉体的な負担及び制約をもたらすことも多く、触覚ディスプレイの一つの大きなネックとされている。一方ファントムセンセーション(以下 PhS)は、離れた2点の触覚振動刺激の中間地点に実刺激によらない刺激像が知覚される現象として知られており、両端の振動子の相対刺激強度比を調整することによって、生成される像の発生位置をある程度制御できる性質も持つ。この性質を用いて前記の触覚ディスプレイ特有の制約を克服するための試みはこれまでも行われており、一定の成果が報告されてきた[1][4]。しかし PhS の生じる原因や条件に関する報告は未だ少ない。

そのことを踏まえ、我々は PhS の生じる条件を広範に求めることによって PhS を生む触覚機構を解明することを目指す。また現在知られている PhS を拡張することにより、新たな応用についても検討する。

本稿では振動刺激によらない像の生成、および発生した PhS 刺激像への実刺激の重畳について実験及び考察を行った。

2. 実験装置

本実験では、音響スピーカー:ES-006603(S. J 社製 8Ω MAX14W) アンプ:10W+10W D 級ステレオオーディオアンプキット(Strawberry Linux 社製) インターフェイスボード: PCI3523A(Interface 社製)、ABS 樹脂性の刺激棒から構成される実験装置を用いた。実験装置全体の構成を図1に示す。

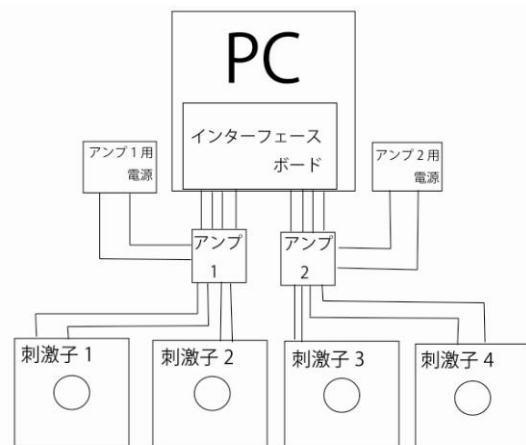


図1 システム全体図

刺激子は音響スピーカーに円柱構造の接触子を取り付けたものを使用した。(接触子上面直径 20[mm]) (図 2) 刺激子は接触子を上下させることで、皮膚表面からの圧迫刺激を行うことが出来る。



図 2 刺激子写真

刺激子はインターフェイスボードを介して PC に接続されており、PC からスピーカーへの出力電圧波形を操作することで接触子の上下動を制御できる。

制御プログラムでは、スピーカーへの出力電圧波形に対して以下の要素を制御することが可能である。

- ・ 刺激タイプ(正弦波 or 矩形パルス波)
- ・ 振幅
- ・ 周波数(正弦波時)
- ・ 刺激サイクル(図 3 cycle(矩形パルス時))
- ・ 矩形パルス波の出力時間(図 3 width)

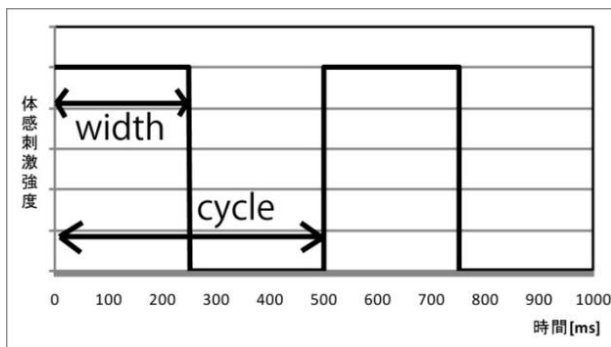


図 3 制御波形例：矩形パルス波

3. 実験 1: インパルス刺激による PhS

従来の PhS に関する研究では、PhS 刺激像生成のために主に数十～数百 Hz の定常的な振動を用いており、刺激時間が短いインパルスを与えた例は無い。そこで我々は予備実験として図 3 のような矩形パルス刺激を 2 点同時に提示することで、PhS が知覚されるかを検証した。(被験者：20 代男性 2 名)

結果、矩形パルス刺激によって PhS に類似した刺激像が得られることが観測された。この現象を本稿では β ファントムセンセーション(以下 β PhS)現象と呼ぶ。

また、 β PhS においては刺激像を発生させている 2 点の実刺激がごく弱く感じられるか、もしくは全く感じられないことが報告された。定常的な振動による PhS で両端の実刺激が PhS よりも強く感じられていたことと比較すると、

β PhS は触覚提示手法としてより優れている可能性がある。

これに類似した現象の報告は、過去に電気的な刺激を用いた PhS に関する研究にてなされている [2] が、物理的な皮膚刺激によってそのような現象が生じたという報告は確認されていない。

3.1 実験内容

予備実験の結果を鑑み、以下の実験では刺激パルス波の幅(図 3 の width)と β PhS 刺激像の強さの関係を調べた。以下実験の手順を示す。

1. 2 つの刺激子の接触子中心間を約 13[cm] に保ち、刺激子を接触子が上面に来るように机上に置く
2. 被験者の左前腕内側を配置した刺激子に橋架するように置く。また接触子の一方が手首下に位置するように調整する。(図 4)
3. パルス幅を変更し、刺激子を駆動する



図 4 2 刺激子を用いた実験の刺激子配置

刺激サイクル(図 3 の cycle)を 1000ms に固定し、パルス幅を 1, 3, 5, 10, 30, 50, 100, 300, 500ms としたときの β PhS 刺激像の明瞭度を次の手法で定量化した。

被験者にはパルス幅を変化させた刺激をランダムな順序で 10 回ずつ呈示し、5 段階(感じない(0), わずかに感じる(1), 弱く感じる(2), 感じる(3), やや強く感じる(4), とても強く感じる(5)で評価させた。

ただし各被験者には事前に単体の刺激子による刺激で異なるパルス幅に対して同じ強度に感じるようにパルス高さを調節している。これにより実刺激の強度自体が PhS の明瞭度に影響しないように配慮した。

3.2 実験結果および考察

20 代男性 4 名を被験者として実験を行った。図 5 に被験者ごとの平均評価点、および全体の平均を示す。なお 4 名の被験者への全呈示中「感じない」という回答は無かった。

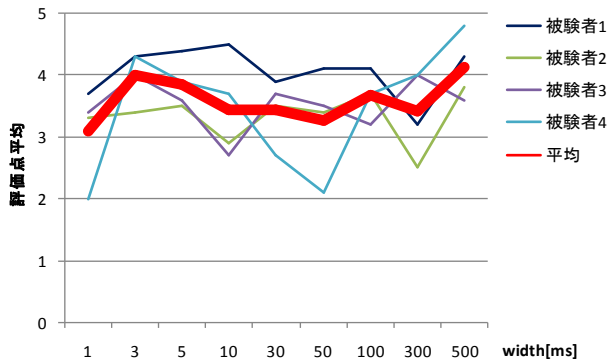


図5 width 評価結果グラフ

実験1ではパルス幅3, 5[ms]付近と500[ms]付近に評価得点のピークが見られた。しかし被験者毎の傾向にばらつきが大きく明確な結論を導くことは難しい。

ただし、個人レベルではパルス幅がβ PhS 刺激像の明瞭さに大きく影響を及ぼすことは図5から読み取ることができる。

なおβ PhS 刺激像を感じなかったという報告は無く、矩形パルス刺激によるβ PhS 刺激像の生成自体は普遍的な知覚現象として捉えることが出来たと言える。

4. 実験2: PhS 刺激像への実刺激重畳

PhS や仮現運動を用いた情報伝達手法はこれまでも多数提案されてきた。しかし、PhS 刺激像の感覚の質そのものを変化させることを目的とした研究は我々の知る限り存在していない。我々は PhS が記号的な情報伝達ばかりではなく、リアリティを持った触覚を提示する簡便な手法となりうると考え、PhS の感覚の質を変えることを試みた。

特に本稿では、PhS の刺激像と実刺激の重畳を試みた。以後、PhS を生じるための両端の実刺激を両端刺激、PhS の位置に加える実刺激を重畳刺激と呼ぶ。(つまり実刺激重畳実験には3つの刺激子が必要である(図6))

20代男性2名に対する予備実験の結果、前節で述べたβ PhS と PhS では重畳時の刺激特性の知覚に大きな差があることが確認された。両端刺激と重畳刺激の特性組合せによって PhS 像の刺激特性の知覚の変化が報告され、変化の形態は刺激の組合せによって、像消滅、像分離、波形融合、刺激増強の4パターンに分類可能であった。



図6 3刺激子を用いた実験の刺激子配置

4.1 実験内容

予備実験の結果を鑑み、以下の実験では PhS 像もしくはβ PhS 像に実刺激を重畳したときに生じる知覚について評価を行った。刺激子は予備実験と同様のやりかたで使用した。

両端刺激子の刺激設定は、以下の2タイプを用いた。

1. 正弦波刺激(120[Hz])

2. 矩形パルス波刺激(width=5[ms], Cycle=1000[ms])

両端の刺激子による刺激は常に同一とした。矩形パルスのパルス幅は実験1でもβ PhS を生じやすかった5msとした。

中央の刺激子は PhS 像もしくはβ PhS 像に実刺激を重畳する為に用いる。重畳する刺激も以下の2設定であった。

1. 正弦波刺激(120[Hz])

2. 矩形パルス波刺激(width=5[ms], Cycle=1000[ms])

以上の準備のもと、両端の刺激と中央の刺激の組み合わせによる知覚についての評価を行った。両端刺激と重畳刺激の組み合わせは4通りとなる。各組み合わせの名称を表1にまとめる。

表1 刺激組合せ名前表

		重畳刺激	
		正弦波	矩形パルス
両端刺激	正弦波	sin-sin	sin-矩形
	矩形パルス	矩形-sin	矩形-矩形

実験ではまず両端刺激によって PhS 像もしくはβ PhS 像を生起した。次に重畳刺激を重ね、像の知覚がどのように変化したかを評価させた。このとき被験者には両端刺激の知覚については評価の要素に含めないよう説明し、重畳前と重畳後の刺激像の変化のみを回答させている。

被験者には各組合せをランダムな順序で10回ずつ呈示し択一式で評価させた。評価選択肢は予備実験で得られた知見を元に以下の4つを設定した。

像消滅: 生成した PhS 像もしくはβ PhS 像が感じられなくなる。(両端刺激と重畳刺激をそのまま感じる)

像分離: 実刺激を重畳すると PhS 像もしくはβ PhS 像を2つに分離して感じる。

これは、重畳刺激と各両端刺激の間でそれぞれ別の PhS 現象が生じるケースを想定している。(図7の×点に刺激を感じる場合)

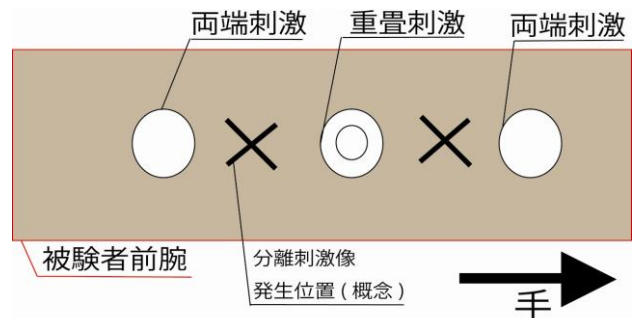


図7 像分離概念図

波形融合: 両端刺激と重畳刺激の波形を加算した波形の刺激を重畳刺激点に感じる。本実験では 120[Hz]の定まった刺激像に重畳して 1000[ms]おきに 5[ms]の矩形パルス性の刺激を感じられるようなケースを想定している。

刺激増強: 重畳後に PhS 像もしくは β PhS 像の刺激強度が増強されたように感じる。

4.2 実験結果および考察

20 代男性 3 名の被験者の全回答回数を集計した結果を図 8 に示す。

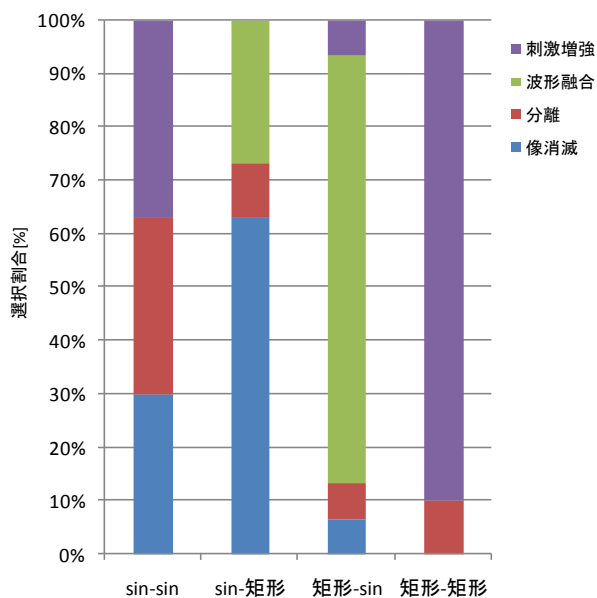


図 8 重畳刺激知覚実験グラフ

実験 2 ではまず重要な知見として、PhS に実刺激を重畳した場合と β PhS に実刺激を重畳した場合で回答の傾向に明瞭な違いが観察された。

従来の PhS に実刺激を重畳した場合(図 8 sin-sin, sin-矩形)、回答のばらつきが大きい。

しかし今回我々の見出した β PhS に実刺激を重畳した場合ほとんどの回答が一致している。

この違いは、従来の PhS 刺激像は β PhS 刺激像に比べて不明瞭であり、定まった刺激像を知覚するには意識の集中や PhS 刺激像呈示への習熟を必要とする[3]。そのため、PhS 刺激像への刺激重畳では PhS 刺激像と重畳刺激との相対的な明瞭度の差が大きくなってしまい明確な判別が

難しかったことが原因と考えられる。

β PhS に矩形パルス刺激を加えた場合(図 8 矩形-矩形)では各被験者とも殆どを刺激増強と回答している点で共通している。 β PhS に正弦波を加えた場合(図 8 矩形-sin)では波形融合の回答が多く見られた。

その他にも、PhS に正弦波を加えた場合(図 8 sin-sin)では回答が分かれてはいるが、分離が他の組合せよりも多いことがわかる。また、sin-sin と矩形-矩形で知覚が異なることから PhS 刺激像と β PhS 刺激像では認知過程に違いがある可能性が示唆された。

5. まとめと今後

実験から物理的な皮膚表面に対する矩形パルス刺激による β PhS 現象を発見し、明瞭な刺激像が発生することが確認された。また、実刺激重畳時の刺激知覚特性についても確かめることが出来た。

今後は重畳刺激の変動させる要素や刺激自体の種類を増やし、引き続きファントムセンセーション像への刺激重畳に関する可能性を探る予定である。また β PhS 像については本報告とは別角度からの実験も継続していく。

謝辞

本稿を執筆するにあたり電気通信大学内田雅文先生、下条誠先生には、PhS に関する多くの示唆を頂いた。また、被験者として実験に協力いただいた同大学学生にも謝意を表す。

参考文献

- [1] 上田真太郎,内田雅文,野澤昭雄,井出英人: Phantom sensation と仮現運動を併用した触覚ディスプレイ, 電気学会論文誌 A vol.127, No.6, pp. 278-284, 2007.
- [2] 谷江和雄, 舘暲,小森谷清,阿部稔: 電気パルス刺激における強度差ファントムセンセーション像の位置弁別特性, 計測自動制御学会論文集 vol.15, No.4, pp. 91-98, 1979.
- [3] 水野統太,野澤昭雄,内田雅文,井出英人: 変調振動刺激に対する学習および忘却特性, 電気学会論文誌 C vol.127, No.3, pp. 299-304, 2007.
- [4] 泉隆,藤井昭雄,星宮望,半田康延: 麻痺上肢補助における感覚フィードバックのための移動感覚の呈示方式, 電気情報通信学会論文誌 D vol.70, No.8, pp. 1625-1682 1987.