

# ファントムセンセーションの拡張に関する研究(第3報): 刺激像への特性付与と触覚ディスプレイへの応用検討

Augmentation of Phantom Sensation(III):

Addition of New Characters to Phantom Sensation (PhS) Image and Trial of Using PhS for New Application.

加藤寛士<sup>1)</sup>, 橋本悠希<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1)</sup>

Hiroshi KATO, Yuki HASHIMOTO and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 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, {hiro, kato, hashimoto, kajimoto}@kaji-lab. jp)

## Abstract:

Phantom Sensation (PhS) is a pseudo tactile sensation that occurs when two or more mechanical or electrical stimuli are presented simultaneously. PhS has two well known characters. First, we can move location of PhS between mechanical stimuli. Second, PhS has controllable stimulus intensity. A series of our research aims to find new characters of PhS and utilize simple tactile displays for interaction. In this paper, we report a possibility of additional texture of PhS by using two mechanical stimuli that have specially-enveloped pulse waveform. Second, based on the results, we suggest some applications in VR/AR field.

**Key Words:** Phantom Sensation, Funneling illusion, Tactile illusion, Haptic I/O, Tactile Display

## 1. Introduction

ファントムセンセーション (PhS) は Békésy によって Funneling illusion として見いだされた[1]触錯覚で、2点の触振動刺激を同時に呈示されると2点の間に1点の刺激のみが知覚される現象として知られている。Békésy の発見以後、多くの研究者によって PhS の基礎的特性が調査され、入力刺激の強度を変化させることで生起する位置や強度を操作できることが明らかにされた。

近年、触覚ディスプレイへの関心や需要の高まりに合わせて、PhS の空間的な刺激子配置を超えて擬似的に触覚刺激を発生させることができる特性を応用する試みも成され、一定の成果が報告されてきた[2]。一方、PhS には詳細な座標やテクスチャー呈示のような高品位な触覚呈示が難しいという一面もあり、その克服は PhS 応用の可能性を大きく拡大させるものと思われる。

そのような背景を受け、我々は PhS へのテクスチャー付与の可能性を検証し、PhS 像にさらに機械刺激を呈示することで一定の刺激特性を与え得る[3]ことを明らかにした。しかし PhS の応用を考えると、重畳用の触覚刺激子を設置することは触覚刺激子を節約できるという PhS 利用の利点をそぐことでもある。よって今回は、機械刺激の重畳を排して PhS へのテクスチャー特性を付加する実験についての報告を行う。

成果から、PhS が強度や位置以外の触覚情報を提供できる

ことを示すことができた。さらに上記の成果を踏まえ、普及を意識したエンターテイメント分野への PhS 応用についてもデバイス試作・提案を行う。

## 2. Experiment

### 2.1 機械刺激呈示手法

触覚刺激子としてスピーカー (LF040P1-S)を用いた。刺激子には面ファスナーバンド (幅 2.5mm)を取付け、スピーカーのコーン面を体表に密着させて固定した。(図 1)



図 1 スピーカーを用いた皮膚刺激子

実験には図 1の刺激子2つを用いた。被験者前腕部に手掌部と前腕腹の肘関節より手首側約5cmの位置に刺激子を装着し、PhSを生起させた。(図 2)



図 2 左前腕部への刺激子の装着

## 2.2 提示波形

本実験は、2pps、100ms のパルス時間幅を持つ基本波形のパルス部を入れ替えることで、生起する PhS 像へのテクスチャー付与を狙うものである。入れ替えるパルス部のパターンは全 20 種で、パルス部はそれぞれ「WINDOW」「INNER WAVE」の 2 つの要素から構成される。

WINDOW とは 100ms の時間幅を持った包絡線形状である。また、INNER WAVE は WINDOW 内の振動周波数を示す。例として WINDOW が SAW で INNER WAVE が 60Hz のときの波形を図 3 に示す。

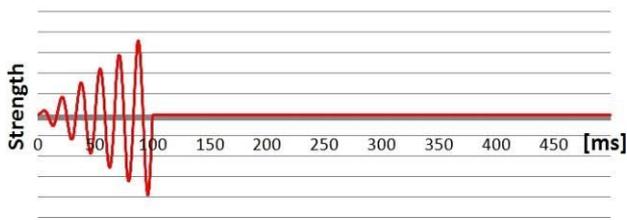


図 3 WINDOW-SAW INNER WAVE-60[Hz]の実験波形

表 1 に実験に用いた WINDOW 4 種、INNER WAVE 5 種をまとめた。なお INNER WAVE のうち none が選択される刺激は、包絡線に内包する振動はなく包絡線そのものが刺激波形となる。

表 1 パルス形状の構成要素

WINDOW	INNER WAVE [Hz]
SAW	none
RevSAW	30
PULSE	60
HAMMING	120
-	240

以下、図 4 - 7 に 4 つの WINDOW の具体的形状を示す。

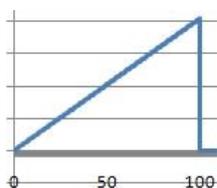


図 4 SAW

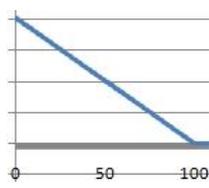


図 5 RevSAW

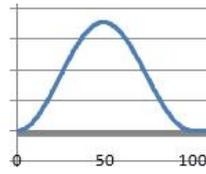


図 6 PULSE

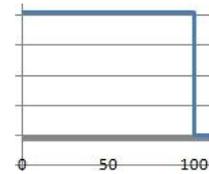


図 7 HAMMING

実験では 20 代男性 4 名に、20 種のパルス形状について各 3 試行ずつ計 60 試行をランダムな順序で呈示した。

被験者には試行毎に図 8 の回答入力フォームに示す質問項目に従って PhS の様相を評価させた。

中心に定位を感じない  はい

① 明瞭さ  
 曖昧 やや曖昧 中間的 やや明瞭 明瞭

② 大きさ  
 小さい やや小さい 中間的 やや大きい 大きい

③ 材質感が 粗い-滑らか  
 粗い やや粗い 中間的 やや滑らか 滑らか

④ 衝突感が 硬い-柔らかい  
 硬い やや硬い 中間的 やや柔らかい 柔らかい

図 8 回答入力フォーム

回答フォームの入力に関して、被験者には両端の刺激の知覚状況など他の触知覚情報にかかわらず PhS 像のみを評価するよう教示した。また、最初の設問（「中心に定位を感じない」）で「はい」と回答した試行については図 8 ①～④の評価を行わず、次の呈示に移るように設定した。さらに、被験者が現実世界の特定の刺激に形容できると直感した試行については図 8 のフォームとは別に、感じたイメージを自由に回答させた。ただし試行毎必須とはせず、任意回答項目として設定した。

実験では被験者の集中を保つため、30 回の呈示の後適当な休憩を設けた。

なお図 8 ③④の質問項目は、触テクスチャーが主にこの 2 軸によって評価されるという知見[5]に従い設定した。

## 3. Result

### 3.1 テクスチャー評価のブレ

評価手法について述べる。同じパルス形状の 3 試行に対してブレの少ないテクスチャー評価が行われているとき、安定した刺激特性付与が行えていると言える。また、現実のテクスチャーに対しても複数の人が「粗滑」「硬柔」の 2 軸を用いて評価を行うと被験者間の評価には違いが生じると考えられる。ただし、どの被験者にとっても評価自体は安定することが予測される。

そこで、以下の方法評価のブレをまとめる。まず、「粗い-滑らか」に「1-5」の数値を割りあて、「硬い-柔らかい」についても同様とすると、「粗い-滑らか」、「硬い-柔

らかい」平面を想定できる。その平面に同じ呈示 3 試行の評価をプロットする。このとき 3 点の成す 3 つの 2 点間距離のうち、最大のものを「ブレ」とする。

図 9 に 3 回の評価の座標が〔(滑らか, 柔らか)〕が (3, 2) (2, 3) (4, 3) であるときプロットの状態を示す。

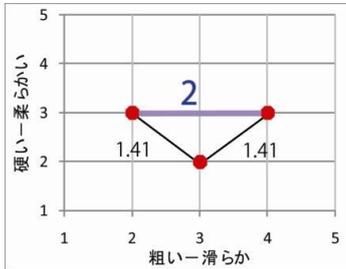


図 9 同じパルス形状による 3 試行の評価プロット例

このとき最大 2 点間距離は (2, 3) と (4, 3) の成す 2 であり、このパルス形状に対するブレは 2 となる。

パルス形状別のブレの分布を表 2 に示す。表中の数値はその列のブレに該当したパルス形状の数を示す。ただし一度でもその被験者によって中心に定位しないと評価されたパルス形状は除外とした。なお最左列の A, B, C, D は被験者 ID を表す。

表 2 パルス形状別のブレ分布

	ブレ平均	除外	ブレ					
			0.0	1.0	1.4	2.0	2.2	2.8-
A	1.58	3	2	2	4	4	5	0
B	1.86	2	0	4	4	6	3	1
C	2.01	4	1	3	2	1	5	4
D	1.94	1	2	2	3	2	4	6
AVE	1.85	2.5	1.3	2.8	3.3	3.3	4.3	2.8

表 2 では各被験者にブレが 1 以下のパルス形状が 4 つずつ存在する。ここに内包するパルス形状を表 3 に示した。

表 3 ブレの少ないパルス形状と被験者の関係

WINDOW	INNER WAVE	A	B	C	D
RevSAW	none			○	
RevSAW	30			○	
RevSAW	120	○	○		○
RevSAW	240	○			○
PULSE	60		○		
PULSE	120		○		
SAW	none				○
SAW	60	○			
SAW	120			○	
HAMMING	none		○		
HAMMING	30	○			○
HAMMING	60			○	

### 3.2 WINDOW・INNER WAVE 別評価への寄与

WINDOW を固定したときの評価の違いを図 10, 図 11 に示す。図中の値は、その評価軸への評価値合計に対する同一 WINDOW15 呈示の評価値合計の寄与率を、被験者平均したものである。なお「明瞭さ」「大きさ」にも「1-5」の値を割り当てた。

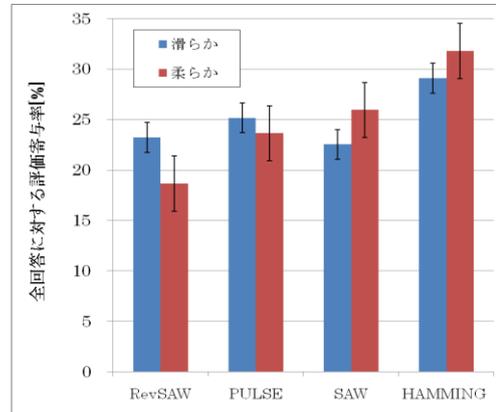


図 10 WINDOW 別テクスチャーにかかわる評価

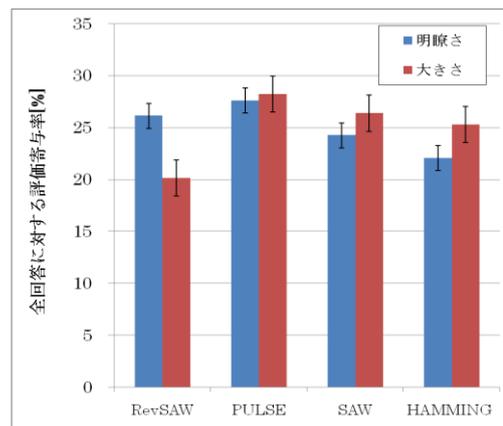


図 11 WINDOW 別テクスチャー以外の評価

INNER WAVE を固定した評価の差違について、図 12, 図 13 に示す。図中の値は図 10, 図 11 と同等の意味である。

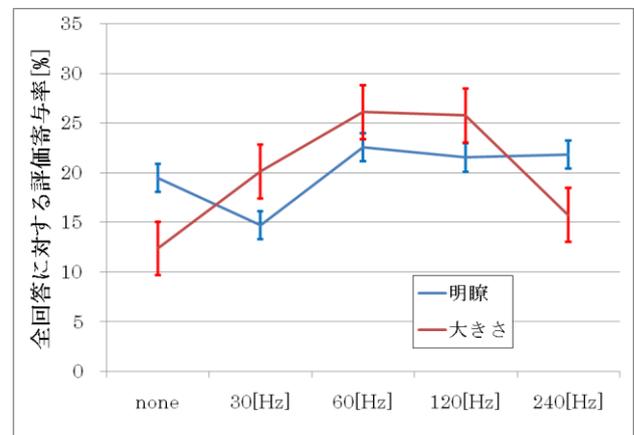


図 12 INNER WAVE 別テクスチャーにかかわる評価

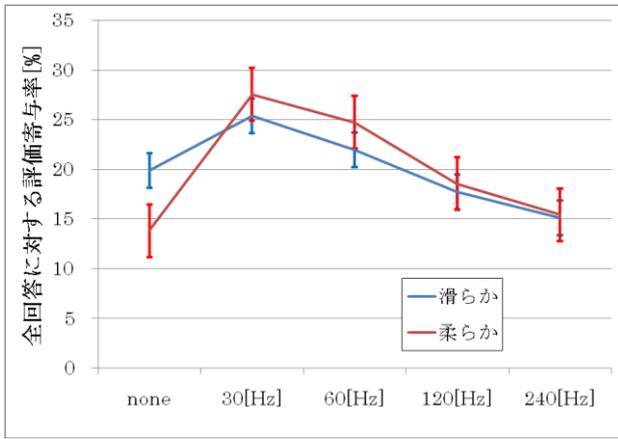


図 13 INNER WAVE 別テクスチャー以外の評価

任意回答の刺激形容評価について類似した回答が多くあったものを以下に示す。

弦で弾かれる, クリックされる, エンジンの振動, うでわが締まる, もまれる, スプリング, 針でつつかれる

## 4. Discussion

### 4.1 結果の評価

PhS へのテクスチャー呈示の手法として変形したパルス形状を用いることを検証した結果, 両端の波形の形状を変化させることでテクスチャー感を付加できる可能性を示すことができた。ただし, 特定のテクスチャー感を安定して提示できたとは言い難い。

表 2, 表 3 から安定したテクスチャー呈示のためのパルス形状を考えることは難しい。各被験者とも評価が安定しているパルス形状はあるものの, 全被験者を横断して安定した呈示が行えるパルス形状は見いだせない。「粗滑」「硬軟」が, 今回の実験で用いた WINDOW や INNER WAVE に単純には従属しないことがわかる。すなわち, 2次元要素で安定して評価が下されるほど高品位なテクスチャー呈示は行えていないと言える。

ただし, 図 10, 図 11 のように単一の評価軸で考えるとき, 特に「硬柔」には被験者横断的な傾向が見られる。

例えば, 以下の傾向はすべての被験者に共通している。図 10 によれば WINDOW に立ち上がり急峻な RevSAW や PULSE を用いたとき「硬い」(柔らかの値が低い)となる。また, 図 13\_30Hz で「柔らか」が最大となる。none や 240 が「硬い」と評価されることも共通するが, それらは包絡線への追従が早く, RevSAW や PULSE と組み合わせられたとき「硬い」の評価が下される傾向が顕著であることに由来すると我々は考えている。「粗滑」もほぼこれに追従する。

さらに HAMMING が, 同様に立ち上がりやかならかな SAW に対して柔らかであることから, 立ち上がり限定されず急峻な刺激強度変動の有無が, PhS の「硬柔」に影響していると考えられる。

入力刺激によるテクスチャー生成が行えたことから, 固

定的に扱ったパルス時間幅を適時変動したり, ある刺激をモデルとしてその激様態を摸したパルス形状を入力に用いるなどで, さらに高品位なテクスチャー呈示も行える可能性がある。

他に, 大きさに関しては RevSAW で全被験者に共通して小さくなる傾向があった。明瞭については被験者間横断する傾向は見られない。

### 4.2 結果の応用に向けて

PhS を何らかのコンテキストに組み込んで触覚呈示に利用できれば, テクスチャーにかなりのバリエーションが出すことができることが予測される。

ところで, ほとんどの普及型ゲーム用コントローラーでは組み込まれた振動装置は単純な出力しか行えないが, 多くの人に多様な振動の呈示装置として違和感なく受け入れられている。これは臨場感/没入感呈示のためにそれほど精細な触覚刺激を行わなくとも良いことを示す例である。このような臨場感/没入感補助を主目的としたデバイスの要求と簡便なセットアップで刺激呈示が可能だが高品位の刺激生成を苦手とする PhS の親和性は高い。

我々はこの点に着目し, PhS を利用して掌部から前腕部までを利用した臨場感/没入感補助技術を試作・提案する予定である。

## 5. Conclusion

変形パルス状の刺激を用いて PhS 生起を行い, 基礎的なテクスチャーの付与に成功した。これにより, PhS の新たな応用可能性が示唆された。この成果を踏まえ, 普及を意識したエンターテインメント分野への PhS 応用提案を行う。

### 参考文献

- [1] Georg von Békésy :Neural Funnelling along the Skin and between the Inner and Outer Hair Cells of the Cochlea, THE JOURNAL OF THE ACOUSTICAL SOCIETY OF AMERICA, Vol.31, No.9, pp.1236-1249, 1959.
- [2] 白井暁彦, 佐藤勝, 久米祐一郎, 草原真知子:ファンタスティック・ファントム・スリッパ, 日本バーチャルリアリティ学会大会第 2 回論文集, pp.27-28, 1997.
- [3] 加藤寛士, 橋本悠希, 梶本裕之: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, 日本バーチャルリアリティ学会第 13 回大会論文集 pp.385-388 2008.
- [4] 谷江和雄, 館暲, 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.
- [5] MARK HOLLINS, SLIMAN BENSMAÏA, KRISTIE KARLOF, FORREST YOUNG: Individual differences in perceptual space for tactile textures: Evidence from multidimensional scaling, Perception & Psychophysics, Vol. 62 No.8, pp.1534-1544, 2000