

# 電気刺激を用いた指先への滑り感提示

Pseudo Slipping Sensation to the Fingertip with Electrical Stimulation

岡部浩之<sup>1)</sup>, 大原淳<sup>1)</sup>, 蜂須拓<sup>1)</sup>, 古川正紘<sup>1) 2)</sup>, 福嶋政期<sup>1)</sup>, 梶本裕之<sup>1) 3)</sup>

Hiroyuki OKABE, Jun OHARA, Taku HACHISU, Masahiro FURUKAWA,

Shogo FUKUSHIMA and Hiroyuki KAJIMOTO

1) 電気通信大学

(〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {h.okabe, oohara, hachisu, furukawa, shogo, kajimoto }@kaji-lab.jp)

2) 日本学術振興会特別研究員PD 3) 科学技術振興機構さきがけ

**Abstract:** We found a new haptic illusion that causes pseudo slipping sensation. An electro-tactile display constantly presents moving pattern to a finger. When shearing force is applied to the finger which direction is opposite to the presented motion, the participant feels as if his/her finger moves with constant speed. As this illusion presents pseudo motion, it can be applied to a new type of pointing device that does not move, but presents motion to the user by the illusion, resulting in smaller workspace. In this paper, we investigated the occurrence condition of the illusion focusing on the shearing force of the fingertip and the velocity of the electrical stimulation.

**Key Words:** *Electrical stimulation, slipping illusion, pointing device*

## 1. はじめに

### 1.1. 背景

PCのポインタ操作などのGUI環境において、ポインタを操作する為の入力インタフェースはポインティングデバイスと呼ばれ、ユーザの操作感を向上させる為に様々なポインティングデバイスが提案されている。それらのポインティングデバイスは、力を入力する方式のポインティングスティック型と、位置を入力する方式のタッチパッド型に大別される。前者は小面積での入力が可能であるが、入力した力でポインタの位置を制御するため、曲線を描くような細かい操作が困難である。一方で、後者は位置の変位を入力してポインタの位置を制御するので、直感的であり細かい操作が可能であるが、前者に比べ設置面積が大きくなってしまふ。つまり、従来のポインティングデバイスでは、入力環境の小面積化と直感性の両立は困難であった。

### 1.2. 研究の目的

本研究では小面積かつ直観的操作が可能なポインティングデバイスの実現のために、我々が発見した触錯覚現象を利用する。この触錯覚とは、指の腹を接触させた状態で指先に水平方向の力を加えながら指腹を歪ませている時に、力の方向と逆の方向に移動する電気刺激を提示すると、指先が動いていないにも関わらず、力を加えた方向に自分の指が滑っていくように感じるものである(以降、この触錯覚を“滑り錯覚”と呼ぶ)。

ポインティングスティックにこの滑り錯覚を利用する

と、ユーザがポインティングスティックに力を加えただけで自身の指が滑ったように知覚する。これによりあたかも位置による入力をしているように錯覚させることができると考える。つまり、ポインティングスティック型のような小面積な入力環境でありながら、タッチパッド型の位置入力のような直観的操作が可能なポインティングデバイスが実現できると考えられる。

本稿では、指先の水平方向の力と電気刺激の移動速度に着目して実験を行い、滑り錯覚の生起メカニズムを検討する。

### 1.3. 先行研究

指先への滑り感提示の先行研究として、Okamotoらは指先の触運動に応じて振動刺激を調節することで、指先と接触対象の摩擦感を含む物性値の変化を表現できることを示した[1]。またOokaらは振動ファントムセンセーション位置の動的制御によって指先へ把持物体の滑り感を提示した[2]。

これらの従来手法は機械的機構を用いるため、ポインティングスティックに実装するには触覚の提示部が大型化してしまう問題がある。また、対象物が滑った感覚を提示するものであり、自らの指が滑った感覚を提示するものではない。それらに対して我々の電気刺激を用いた滑り錯覚は、触覚の提示に電気刺激を用いるため機械的駆動部が不要で薄型化が可能であり、提示する滑りも接触物の移動ではなく自らの指の滑りを知覚させるものである。

## 2. 実験

### 2.1. 実験概要

電気刺激を用いた滑り錯覚の生起メカニズムを調べる為に、本稿では複数考えられるパラメータのうち水平方向の力と電気刺激の移動速度に着目し、実験を行った。

### 2.2. 実験装置

#### 2.2.1. 電気触覚ディスプレイ

指の腹に電気刺激を提示する刺激装置には、Kajimoto [3]が開発した電気触覚ディスプレイを使用した(図 1)。指の腹が接触する基盤部分に 61 個の直径 1mm の電極が六角形に電極間中心距離 2mm の間隔で最密充填配置された電極を使用した。電気刺激の提示はパルスでおこない、刺激パルス周期 60 pps (pulses per sec), 刺激パルス幅 50us, 刺激パルス高さ 0-3mA で提示した。なお、被験者ごとに指先の皮膚抵抗値が異なるため電気刺激を知覚できる閾値が異なる。そのため実験では、電気刺激を明瞭に感じるように被験者自身に刺激パルスの高さ(電流値)を調節した。

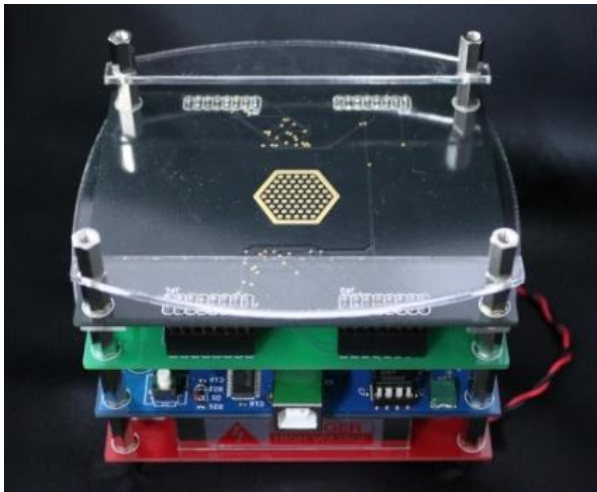


図 1 電気触覚ディスプレイ[3]の外観

#### 2.2.2. 指先の水平・垂直方向の力の計測

上部に接触子を固定した電気触覚ディスプレイ(図 1)を、底面を机に固定した硬い箱の中に入れた。箱の内部に電気触覚ディスプレイが水平方向に 1 軸で可動できる溝を設け、箱の内壁にフィルム状圧力センサ(ニッタ製, Flexi Force)を固定した。被験者が電気刺激部に指の腹を接触させ、指先に水平方向の力を加えると、接触子が圧力センサを押付け、指先の水平方向の力を計測する。計測した力は AD ボード(Interface 社, PCI3523A)を介し PC に送信され、画面に表示させた。そして、垂直方向の力の測定は前記の装置の下部に電子ばかりを固定し、液晶画面を観察した(図 7)。

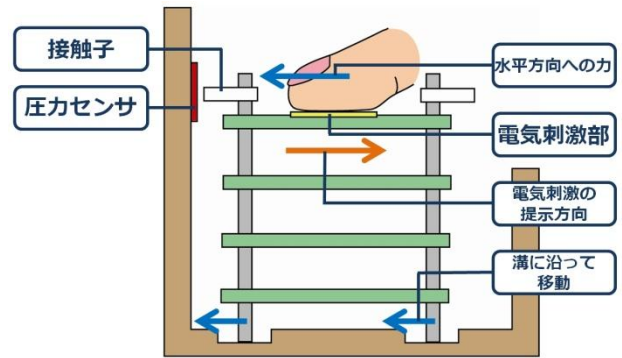


図 2 実験設備の模式図

### 2.3. 予備実験

まず、滑り錯覚における移動する電気刺激の移動速度を検討する。移動する電気刺激を人が線と知覚できる最大の移動速度を求める実験を行った。被験者は PC 上に表示される電気刺激の移動速度や刺激位置などのステータス(図 3)を見た状態で、線の移動を確認しながら 10mm/sec ずつ電気刺激の移動速度を調整法で調整していき、線と知覚出来る最大の移動速度を記録した。実験は 6 名の被験者(男性 5 名, 女性 1 名, 22-24 歳)に対して行った。

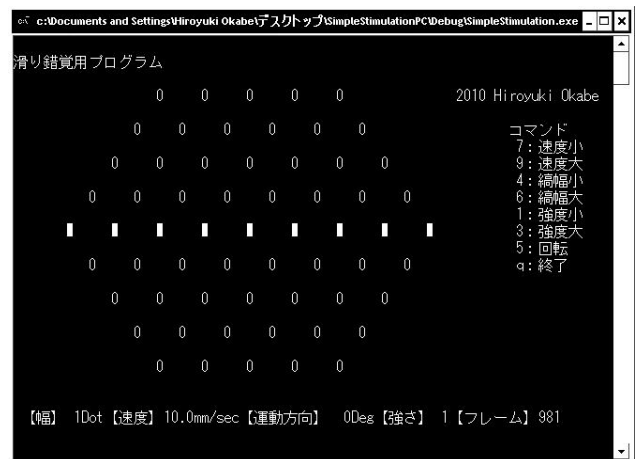


図 3 予備実験で表示したステータス画面

実験結果を表 1 に示す。各被験者が、移動する電気刺激を線と知覚出来る最大の移動速度は平均すると 53.3 mm/sec であった。そこで、次節以降の実験で提示する電気刺激の移動速度は最大 50 mm/sec とした。

表 1 電気刺激において人が線と知覚できる移動速度の最大値

	被験者 1	被験者 2	被験者 3	被験者 4	被験者 5	被験者 6	平均	標準偏差
速度 [mm/sec]	50	50	50	90	30	50	53.3	19.7

## 2.4. 実験 1

水平方向の力と電気刺激の移動速度との関係調べる実験を行った。視覚情報を遮るため被験者は、閉眼状態で全ての試行を行った。電気刺激の移動速度として4パターン(0, 10, 30, 50 mm/sec)提示した。速さ0 mm/secにおける試行は、電気刺激を行わず、力を加えて指が滑ったと感じた条件での試行を指す。図4に示すように、被験者に指先を水平方向へ徐々に力を加えるように指示した。自分の指が滑ったと感じたところで手元のボタンを押させ、その時の圧力センサの値を記録した。電気刺激の移動速度1パターンにつき5試行、計20回試行を行った。実験は3名の被験者(男性2名、女性1名、22-23歳)に対して行った。



図4 実験1の実験装置

実験結果を図5に示す。グラフの横軸は電気刺激の移動する速さ、縦軸は水平方向の力が電気刺激なしの場合と比較してどの程度変化をしたかを示す。例えば10mm/secで移動する電気刺激を提示した場合は、電気刺激なしで滑りを知覚した水平方向の力と比較して3.14N低い力で滑りを知覚したことを示す。エラーバーは標準偏差である。

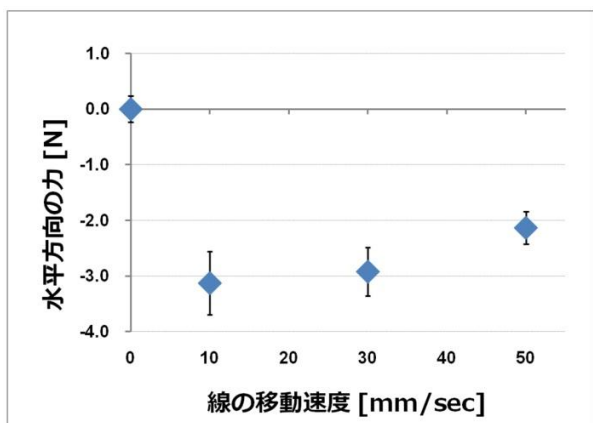


図5 水平方向の力と電気刺激の移動速度の関係

指先が基盤の上を滑ったと知覚するには、本来電気刺激なしの0mm/sec時に滑ったと知覚した水平方向の力と同等の力を加えなければならないはずである。しかし、移動する電気刺激を提示すると、水平方向の力が、滑ったと知覚する力に満たないにも関わらず、自分の指先が滑ったよ

うに感じた」と回答している。つまり、指を水平方向に歪ませた状態で移動する電気刺激を提示すると錯覚が生じ、滑りを知覚するのに必要な水平方向の力を減衰させたと考えられる。つまり、移動する電気刺激によって滑りを知覚する閾値を低下させたと言える。

もし、人が滑りを知覚する際に図6のような物理現象と同様のモデルで滑りを知覚しているならば、水平方向の力の減衰は知覚の上での最大静止摩擦力を減少させたことを意味する。この仮説については次章で検討する。

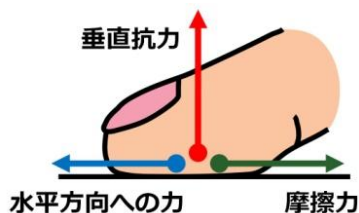


図6 指に生じる力のイメージ

## 2.5. 実験 2

実験1の結果より、滑り錯覚において電気刺激の移動速度と水平方向の力には何らかの相関関係があると考えられる。そこで、実験2では電気刺激の移動速度を細分し実験を行った。また、2.4節の滑り錯覚の考察より、滑り錯覚は最大静止摩擦力を低下させる効果があるのではないかと考えられた。最大静止摩擦力は最大静止摩擦係数と垂直抗力の2変数に依存するので、実験1で統制のとれていなかった垂直方向の力も統制し、本錯覚の最大静止摩擦係数への寄与も検討した。

垂直抗力を一定に保つために、実験1の装置の下に電子量りを設置し固定した(図7)。実験1の試行手順に加え、被験者には電子ばかりの液晶画面を見ながら垂直方向の力を1-3Nに保つように指示を与え実験を行った。電気刺激は0-20 mm/secを2 mm/sec間隔でランダムに提示し、各試行3回の計33試行を行った。被験者は6名(男性4名、女性2名、21-28歳)である。



図7 実験2の実験装置

実験結果を図 8 に示す。グラフの縦軸，横軸，エラーバーは図 5 と同様である。

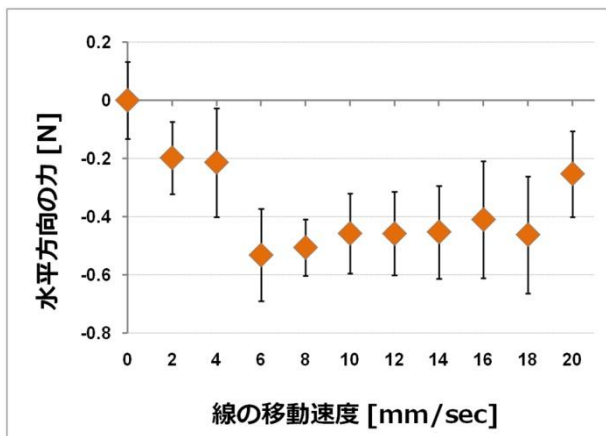


図 8 垂直抗力を統制した状態での，水平方向の力と電気刺激の移動速度の関係

実験結果より，垂直抗力を統制した条件においても水平方向の力が減衰し滑り錯覚が生じた。本滑り錯覚は知覚の上での最大静止摩擦係数を変化させていたと考えられる。また 4-6 mm/sec の間で水平方向の力が顕著に減少している。つまり電気刺激の移動速度が 4-6mm/s 以上でないと，水平方向の力の減衰は生じない事が分かった。

### 3. 考察

全実験を通じて全被験者が本滑り錯覚を生起した為，ポインティングデバイスへの実装が可能であると期待できる。また内観報告によると，滑り錯覚の感覚は基盤の上を手汗でぬるぬると滑っていく様だと全被験者が答えた。

### 4. おわりに

本稿では，指の腹を接触させた状態で，指先に水平方向へ力を加えている時に，力の方向と逆の方向に移動する電気刺激を提示すると，滑り錯覚が生じることを報告した。今後は本錯覚が生じる条件をさらに解明すると共に，ポインティングデバイスへの実装を試みる。

#### 参考文献

- [1] S. Okamoto et al., Detectability and Perceptual Consequences of Delayed Feed-back in a Vibrotactile Texture Display, IEEE Trans. on Haptics, vol.2, issue 2, pp. 73-84,2009
- [2] T. Ooka et al., Virtual Object Manipulation System with Substitutive Display of Tangential Force and Slip by Control of Vibrotactile Phantom Sensation, 2010 IEEE Haptics Symposium, pp. 215-18, 2010.
- [3] H. Kajimoto, Electro-tactil display with real-time impedance feedback, EuroHaptics 2010, pp. 285-291, 2010