

# 触仮現運動の幅知覚における振動周波数の影響

Influence of vibration frequency on width perception during haptic apparent motion.

○学 大島 沙也佳 (電通大) 学 橋本 悠希 (電通大)  
正 梶本 裕之 (電通大)

Sayaka OOSHIMA, Yuki HASHIMOTO, Hiroyuki KAJIMOTO  
The University of Electro-Communications  
{ooshima, hashimoto, kajimoto}@kaji-lab.jp

Although there are a lot of researches on the occurrence condition of haptic apparent motion, there are quite limited reports on the subjective quality of the illusory sensation. In this paper, we report a new haptic phenomenon that width perception during haptic apparent motion is affected by vibration frequency, especially when there are numerous stimulation points. We used five speakers of 5cm in diameter as stimulators. The stimulators were put on the abdomen, 12cm interval. When the stimulation frequency was 240Hz, we observed that the participants felt a very thin line of around 5mm in width. This dramatic effect had strong correlation with the stimulation frequency, and the higher frequency gave the thinner perception.

**Key Words:** Tactile display, Vibratory stimulation, Haptic sensation, Apparent motion, Width perception.

## 1. はじめに

近年、触覚がエンタテインメントの様々な場面で応用されるようになってきた。我々も仮現運動[1]を利用して、刀にぱっさり切られる感覚、“ぱっさり感”の提示を試みている[2]。触覚の仮現運動とは、皮膚上に複数個並べた振動子がある特定の時間差で振動させることで、実際には振動子は移動していないにも関わらず、まるで振動子が移動しているような感覚を得る現象である。この現象と限られた振動子を用いて、ヒトの腹部に運動感覚の提示を行った。しかし、この時生成された感覚は、皮膚の上を刺激が移動していく純粋な運動感覚のみで、“ぱっさり感”を強く感じられるものではなかった。より良い“ぱっさり”感を求めて試行錯誤を繰り返すうちに、我々は、ヒトが知覚する仮現運動の「刺激の太さ (以後知覚幅と呼ぶ)」と「くすぐったさ (以後くすぐり感と呼ぶ)」が、振動子の振動周波数によって変わるといふ新しい現象を発見した。

そもそも仮現運動の生起の有無を扱った報告は数多くある[3][4][5]。しかしながら、生起に伴い知覚された仮現運動の感覚そのものに対する評価は殆ど無い。そこで、本研究では仮現運動の知覚内容を主とした新たな知見獲得を目指す。

仮現運動を構成する主なパラメータには DOS (Duration of Stimulus : 刺激持続時間), SOA (Stimulus Onset Asynchrony : 刺激時間間隔), 振動周波数, 振幅, 刺激間距離, 刺激素子数などが挙げられる。振動周波数が仮現運動の運動報告に影響を与えること、及びヒトが PC (pacinian corpuscle : パチニ小体) と NP I (非パチニ I) の仮現運動の違いを捉えられることは既に報告されている[6]が、その違いが具体的にどのようなものであるかは詳しく言及されていない。

そこで本稿では、ヒトの腹部に 5 つのスピーカを取り付けて仮現運動を提示し、知覚幅とくすぐり感と周波数との関連について調べた。

## 2. 実験装置

仮現運動の提示には直径 5cm のフルレンジスピーカ (AuraSound, NSW2-326-8A)を採用した。これにより従来の偏芯モータ型、およびボイスコイル型振動子よりも力強く、かつ広範囲への刺激提示が可能である。スピーカの振動が身体と

の接触部より拡散していくことを防止するため、直径 8cm のリングの中心にスピーカを配置した (Fig. 1)。このようなスピーカ 5 つを、スピーカ間の距離がスピーカ中心から 12cm となるようコルセットの内側に配置した (Fig. 2)。スピーカの振動は DA ボード (Interface Corp, PCI-3523A)からの正弦波出力を D 級オーディオアンプ (MAXIM, MAX9704)で増幅し、制御した。

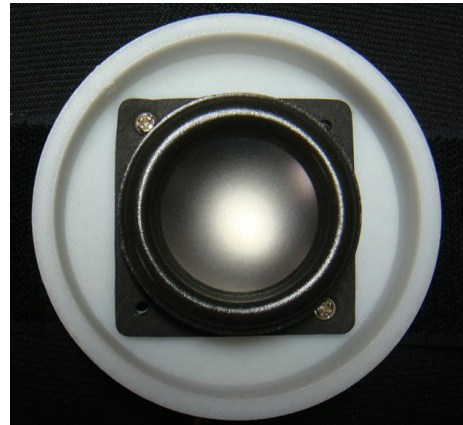


Fig. 1 Full-range speaker for tactile stimulation.

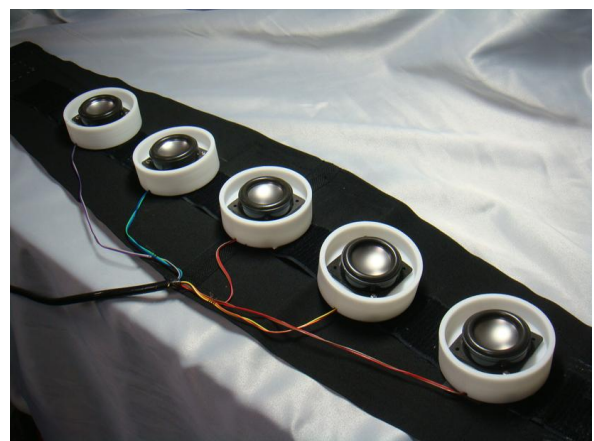


Fig. 2 Tactile Display.

### 3. 実験

振動周波数と知覚幅、及びくすぐり感の関連を調べるため、次のような実験を行った。

#### 3.1 予備実験（実物体の幅知覚能力測定）

すべての被験者が同様に、腹部での幅知覚能力を有しているとは限らない。そこで実際の固形物体を被験者の腹部に当てて動かす、各被験者の実物体の大きさを知覚する能力を測定した。



Fig. 3 Real stimulations.

実物体の刺激子として、半径の異なる4枚の円形プレート（ABS樹脂製）を造形した（Fig. 3）。プレートの直径は5.9, 11.8, 23.5, 47.0mmである。また運動の知覚幅を回答する指標として、実物体のサイズを含む太さの異なる9本の直線が描かれた紙を用意した（Fig. 4）。直線には1から9の番号が振られており、各々の太さは2.9, 4.4, 5.9, 8.8, 11.8, 17.6, 23.5, 35.3, 47.0mmである。以後線の太さはこの番号で扱う。

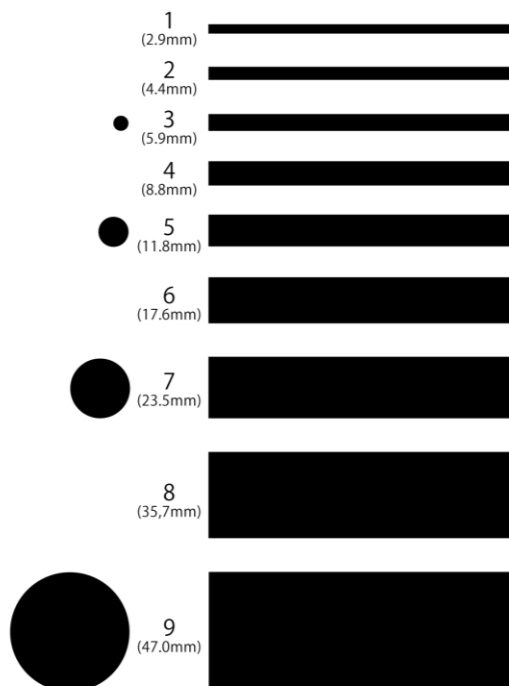


Fig. 4 Relation of width and number.

実験を通して被験者は耳栓し、その上からホワイトノイズが流れるヘッドフォンをかけて9本の線が描かれた紙の前に正面を向いて直立した。回答時以外目は閉じるよう指示した。被験者は肌着の上から、実験者によってプレートを右から左に3回連続して押しあててなぞられ、その後9本の線の中から同じ太さだと思うものの番号を回答した。また、同時にその刺激に対してどの程度くすぐり感を生じたかを5段階評価（1:まったく感じない, 2:少し感じる, 3:感じる, 4:やや強く感じる, 5:強く感じる）で回答した。各プレートにつき3回、計12試行を被験者5名で行った。

#### 3.2 結果

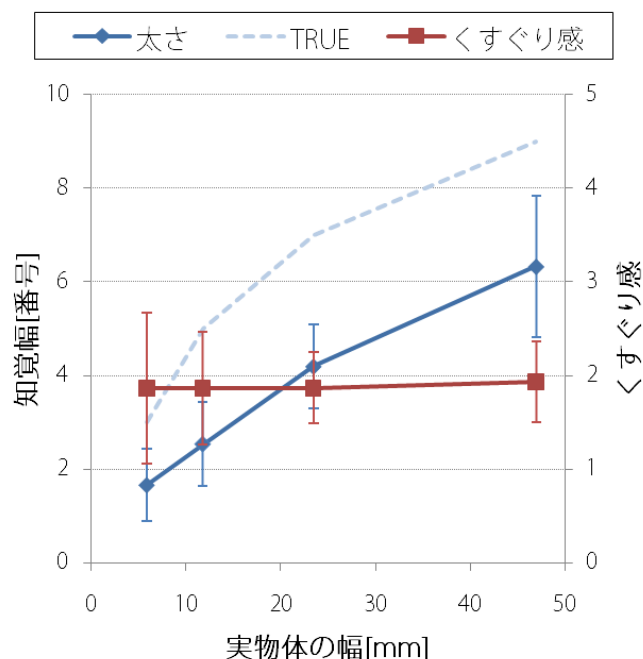


Fig. 5 A relation of real stimulus and width perception.

実験結果を Fig. 5 に示す。縦軸は回答した線の幅およびくすぐり感の強さ、横軸はプレートの大きさを表す。すべての被験者が実物体の大きさの違いをある程度判別できること、また被験者間に著しい差は見られないことがわかった。そしてくすぐり感、実物体の幅にあまり影響されず変化しないことがわかった。

#### 3.3 本実験（仮現運動の知覚幅測定）

引き続き同じ5名の被験者で仮現運動の知覚幅を測定した。被験者はスピーカより提示された仮現運動の知覚幅を、3.1節で使用した9本の線の中から選んで回答した。3.1節同様、刺激のくすぐり感も5段階評価で回答した。実験装置は中央のスピーカの位置が体幹中央と重なるように腹部へ巻きつけた。

スピーカから30, 60, 120, 240Hzの正弦波をランダムに5回ずつ出力し、計20試行実験した。一試行につき仮現運動は右から左に3回提示した。全ての試行において、DOSとSOAの値はそれぞれ100ms, 90msに統一した。

### 3.4結果

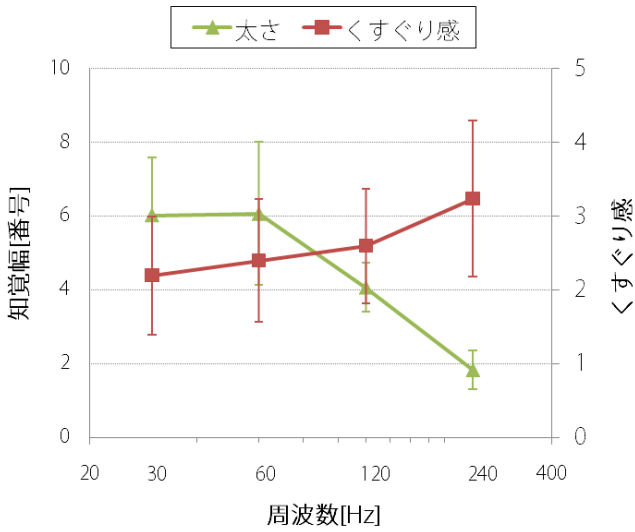


Fig. 6 A relation of frequency and width perception.

実験結果を Fig. 6 に示す. 縦軸は回答した線の幅およびくすぐり感の強さ, 横軸は仮現運動の周波数を表す.

結果より, 周波数の増加に伴って, 仮現運動の知覚幅は細くなる傾向があることが認められる. 特に 240Hz で仮現運動を生起した場合の知覚幅は番号 2 に収束し, 分散も少なかった. つまり, 実際には直径 5cm の振動子で刺激していたにもかかわらず, 被験者は直径 4.4mm の棒でなぞられているののように感じたのである.

また周波数の増加に伴い, くすぐり感も強くなることがわかった.

### 3.5考察

実験結果より, 仮現運動の振動刺激周波数と知覚幅の間には何らかの関連があることが確認された.

この現象の説明として, MC (meissner corpuscle: マイスナー小体) と PC の発火比率が影響していると考えられる. MC は 10-200Hz で発火し, 40Hz のとき最小発火閾をとる[7]. 一方 PC は 70-1000Hz で発火し, 200-250Hz のとき最小発火閾をとる. また MC は PC に比べて受容野が狭い.

大きさの異なる実物体で腹部をなぞった場合, 発火する MC の数は実物体の大きさに比例して増減する. その一方で PC は受容野が広いため, 大きさの異なる物体を当てたとしても発火する PC の数は MC ほどには変わらない. つまり大きな実物体を当ててなぞった時ほど, MC の PC に対する発火比率は上がることになる.

次に同じ大きさの振動子によって触仮現運動を提示する場合を考える. 40Hz の正弦波で仮現運動を生起させた時, 発火する MC の数は最多となる. 以降振動周波数を高めるにつれ

て発火する MC の数は減少し, 逆に発火する PC の数は 250Hz を上限に増加する. つまり MC の PC に対する発火比率は下がっていく. この試行を実物体で刺激した場合と同様に考えると, 低い周波数を提示した場合は実刺激の太い幅の場合に相当し, 高い周波数の場合は実刺激の細い幅の場合に相当することになる. これが周波数に依存して幅知覚が変化した原因とすれば, 本実験の結果と矛盾しない.

しかし, この仮説に従うと, ヒトの皮膚上に一点だけ振動刺激を与えた場合にも, 知覚される刺激の大きさは周波数に依存して変化することになる. これを確認するため, 腹部の一点に周波数の異なる複数の正弦波を提示し, 知覚される刺激の大きさを測る予備実験を行ったが, 仮現運動を提示した時ほどに大きさの違いを明瞭に判別することはできなかった. これは先の仮説を肯定するものではないが, 静止した物体と移動感を持つ物体では大きさの認識プロセスが異なるため, このような結果になったとも考えられる. 周波数の違いによって知覚する刺激の大きさが変わる, という現象のメカニズム解明には, 刺激の移動感の有無や刺激子の個数など周波数以外のパラメータも考慮して進めていく必要があるだろう.

## 4. おわりに

本稿では, ヒトの腹部に 5 つのスピーカを取り付けて正弦波振動させて触仮現運動を生起させた場合に, 知覚される幅(太さ)は周波数によって変化するという新たな現象について報告した.

今後は, この現象のメカニズムについて更なる検証を行う予定である.

## 文献

- [1] Kirman, J. H. : Tactile apparent movement: The effects of interstimulus onset interval and stimulus duration, Perception & Psychophysics, Vol15, No.1, 1974.
- [2] 大島, 橋本, 渡邊, 梶本 : 仮現運動を利用した“ばつさり感”提示の研究, 日本バーチャルリアリティ学会第 12 回大会論文集, 2007.
- [3] 久野, 岡田, 柳田 : 仮現運動を用いた脚部への振動刺激に関する研究; 日本バーチャルリアリティ学会第 11 回大会論文集, pp.380-381, 2006.
- [4] Jan B. F. van Erp : Vibrotactile spatial acuity on the torso: effects of location and timing parameters, First Joint Eurohaptics Conference and Symposium on Haptic Interfaces for Virtual Environment and Teleoperator Systems pp. 80-85, 2005.
- [5] 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 Vol.49, No.10, 2008.
- [6] 大山正, 今井省吾, 和氣典二, 菊池正 : 新編 Part2 感覚・知覚心理学ハンドブック; 誠信書房, pp.392-393, 2007.
- [7] Karun B. Shimoga : A survey of perceptual feedback issues in dexterous telemanipulation: part II. Finger touch feedback, Proc. VRAIS '93, pp.271-279.