

# 機械振動刺激による電気刺激振動感覚のマスキング

○ヤェム ヴィボル (電気通信大学), 梶本 裕之 (電気通信大学)

## Masking Electrical Vibration Sensation by Mechanical Vibration

○Vibol YEM (UEC), and Hiroyuki KAJIMOTO (UEC)

Abstract: It is known that, the vibrotactile sensation on an index finger can be masked by other vibration of the same frequency that presented to the forearm. In our study, we aim to use this phenomenon to mask vibration sensation and remain only pressure sensation, those produced by electrical stimulation. In the experiment, we used 50 Hz of mechanical vibration and 50 pps of electrical stimulation, those presented on the palm and index finger respectively. Result shows the possibility of our approach for masking electrical vibration sensation, and we observed that after-masking pressure sensation produced by cathodic stimulation is stronger than that by anodic stimulation.

### 1. はじめに

我々の触覚は、圧覚、低周波振動覚、高周波振動覚および皮膚せん断変形覚の4つの感覚の組み合わせの結果として生じていることが知られている[1]。そのうち、圧覚と低周波振動覚を担当する受容器は受容野サイズが小さく、十分な空間解像度を実現するためには例えば指先で2mm程度の間隔での提示が必要となる。そこで、提示デバイスを小型化することなどを目的として電気刺激が用いられることがある[2]。電気刺激は、主に圧覚又は低周波振動を個別に提示可能であるが、完全に圧覚のみ提示することが難しく、振動覚も生じる問題がある[3]。例えば、物体表面を触った感覚を圧覚として提示する際に、振動も知覚する。この問題を解決するためには、電気刺激による圧覚提示の際の振動覚を消す方法が必要である。

一方で、Tanakaら[4]は振動覚がマスキングされる現象を発見している。指先に機械振動刺激を与えている時、腕に振動を与えると、指先における振動を感じにくくなり、時には消えてしまうというものである。もしこの現象が電気刺激にも応用できれば、指先部位に圧覚のみを提示することが可能となるのではないかと考えられる。

本研究ではこのアイデアに基づき、指先への電気刺激で生じる圧覚と振動感覚に対して、掌への振動提示によって振動感覚をマスキングし、圧覚のみ残存させる手法を検討する。

### 2. 関連研究

電気刺激には、陽極刺激と陰極刺激の2つの提示方法があり(図1)、これらの方法によって生じる触覚も異なると報告されている[5][6]。陰極刺激は主に圧覚を生起させるが、これは主にMerkel細胞の神経を刺激し

ているためと考えられる。これに対して陽極刺激は主に振動覚を生起させるが、これは主にMeissner小体の神経を刺激しているためと考えられる。ただしこの分割は完全ではないことも知られている。我々は電気刺激と機械刺激による振動触覚を直接比較する実験により、陰極では振動と圧覚、陽極では主に振動が生じることを明らかにしている[3]。すなわち、陰極の提示においても完全な圧覚ではなく振動覚も生じてしまう。

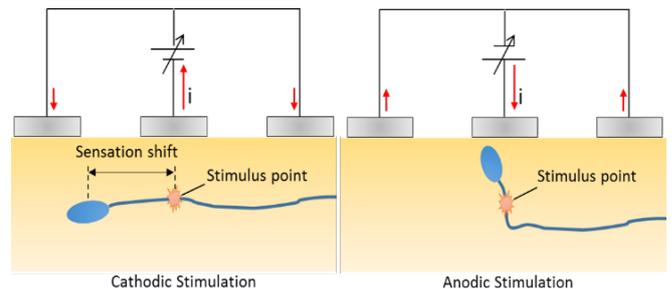


Fig.1 陰極刺激(左)と陽極刺激

電気刺激による振動覚を消す方法として、本研究ではTanakaら[4]が報告したマスキング現象を利用する。彼らの報告によれば、腕と指先に同じ周波数の振動を提示している時、腕における振動を強くすると、指先における振動覚が減少する。この現象を利用するため、本研究では、掌に電気刺激のパルス周波数と同じ周波数の機械振動刺激を与える。これにより指先に提示している電気刺激の振動覚が減少し、振動周波数成分を持たない圧覚のみ残存することを期待する。

### 3. 予備実験

#### 3.1 実験の目的

本実験では、提案したマスキング手法を検証するために、掌に振動を与える/与えない条件に対して、被験

者が陽極刺激又は陰極刺激で提示された刺激強度をどのように知覚したかを調査する。知覚した刺激強度の時間変化を被験者にグラフで描かせることによって主観的な触覚の変化を観察した。

### 3.2 実験装置

本実験では、機械刺激を提示するために、Acouve Laboratory 社の Vp2 振動子を利用した。振動波形生成には PureData を用い、Muse 社の M50 オディオアンプで増幅した。

電気刺激の提示には、我々の先行研究[7]で用いた装置と同様な電気刺激キット (図 2) を利用した。このキットにはマイクロコントローラ (NXP Semiconductors, mbed NXP LPC1768)、高速 D/A 変換及び電圧-電流変換回路が用いられ、刺激電流の波形および極性を制御できる。電極は直径 1.75 mm、中心間距離 2.5 mm の電極を 3×3 配置し、中央の電極を刺激電極として、周囲の 8 つの電極を不関電極として用いた。感覚の安定化のために、不関電極と接続する棒を用意し、これを被験者は握った状態で実験した。マイクロコントローラと PC の間で Serial 通信を行うことで、電気刺激の強度 (電流パルスの高さ) を PC のキーボードで操作できるようにした。

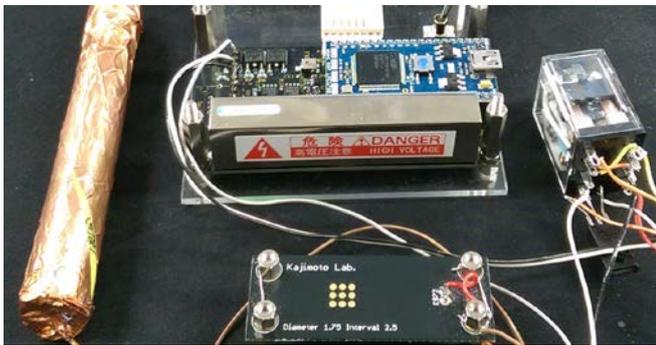


Fig.2 グランド棒と電気刺激キット

### 3.3 被験者・手順

被験者は 21~24 歳の 4 名 (全員男性, 全員右利き) であった。実験の手順は以下の通りであった。

- ① 図 3 に示すように、被験者に実験装置の前に椅子の上に座らせ、不関電極の棒と振動子を把持させた。また、姿勢を安定させるために腕をサポート台に置くように伝えた。
- ② 各試行の冒頭において、電気刺激による振動をはっきり知覚できるまでキーボードを操作して電流を調整させた。
- ③ 電気刺激提示の間隔については、連続的に 1 秒ごとに ON/OFF させた。振動刺激のボリュームについては、電気刺激による指先の振動覚が消えるまで機械

刺激を少しずつ強くするように伝えた。

- ④ オディオアンプのスイッチで機械刺激の ON/OFF を切り替え、電気刺激による指先の感覚がどのように変化するかを比較させた。
- ⑤ 被験者が納得するまで比較し、その後、1 秒間の電気刺激中の感覚の変化をグラフに表現させた。



Fig.3 不関電極の棒と振動子を握む様子 (左) と実験の様子 (右)

本実験では、電流パルスの幅を 200  $\mu$ s、パルス周期を 50 pps とした。また、機械刺激の振動入力を 50 Hz の正弦波とした。電気刺激の極性 (陰極と陽極) の提示はランダムとした。

### 3.4 実験結果と考察

各被験者が作成した電気刺激強度の変化のグラフを図 4 に示す。横軸は電気刺激が ON の時の経過時間で、時間の間隔は 0 から 1 秒までであった。縦軸は、被験者が知覚した電気刺激の強度で、機械刺激がない時の最大強度を 1 とするよう指示した。黒線と赤線はそれぞれ機械振動なし/ありの条件に示す。グラフにより、以下の 2 つことが分かった。

第一に、機械刺激は電気刺激の振動覚をマスキングし、圧覚のみ残存させることができた。これは予想どおりであり、指先への電気刺激と掌への機械刺激の組み合わせによって、指先に圧覚のみ提示可能となることが分かった。

第二に、振動をマスキングした際の圧覚の強度は、陰極刺激の方が陽極刺激よりも大きかった。これは第 2 章で述べたように、陰極刺激が主に圧覚に応答する Merkel 細胞を刺激しているためと考えられる。

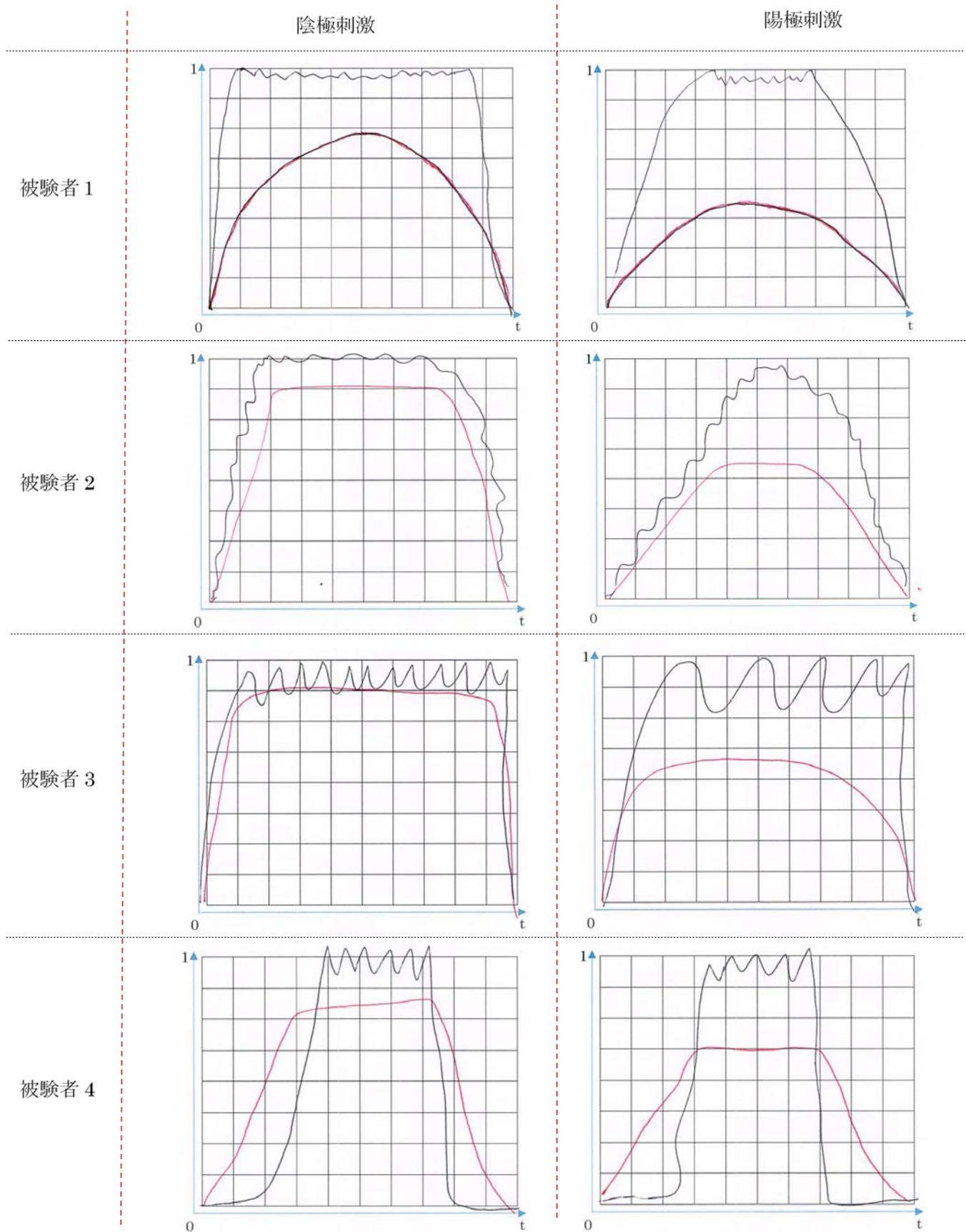


Fig.4 実験の結果

#### 4. おわりに

本研究は、Tanaka ら[4]が報告した現象を利用して、指先への電気刺激で生じる振動覚をマスキングし、圧覚のみ残存させる手法を検討した。実験では、被験者の掌に機械振動刺激を与え、指先に与えている電気刺激の知覚がどのように変化するかを観察した。被験者に生じた感覚を描画させる手法で得られた結果より、本手法の有効性を確認できた。

今後は、電気刺激の強度とマスキングできる機械刺激の強度との関係を明らかにする予定である。

#### 謝辞

本研究は JST-ACCEL「身体性メディア」プロジェクトの一環として行われた。

#### 参考文献

- [1] L.A Jones and S.J Lederman, "Human Hand Function." 1st ed. USA: Oxford University Press, 2006.
- [2] V. Yem, R. Okazaki, H. Kajimoto, "FinGAR: Combination of Electrical and Mechanical Stimulation for High-Fidelity Tactile Presentation." SIGGRAPH '16 Emerging Technologies, 2016.
- [3] V. Yem, H. Kajimoto, "Comparative Evaluation of Tactile Sensation by Electrical and Mechanical Stimulation." IEEE Trans. on Haptics (Accepted)
- [4] Y. Tanaka, et al., "Frequency-Specific Masking Effect by Vibrotactile Stimulation to the Forearm." Eurohaptics'16, 2016.
- [5] K. A. Kaczmarek, M. E. Tyler, and P. Bach y Rita: Electrotactile haptic display on the fingertips, Preliminary results. In Proc. 16th Annu. Int. Conf. IEEE Eng. Med. Biol. Soc, pp. 940-941, 1994.
- [6] H. Kajimoto, N. Kawakami, T. Maeda, S. Tachi, "Tactile Feeling Display using Functional Electrical Stimulation", 9th International Conference on Artificial Reality and Telexistence(ICAT99), 1999.
- [7] H. Kajimoto, M. Suzuki and Y. Kanno, "HamsaTouch: tactile vision substitution with smartphone and electro-tactile display," Proc. ACM on Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems (CHI EA), pp.