



# 額電気刺激による温度感覚提示の予備的検討

Preliminary Examination of a Thermal Sense Presentation Using Forehead Electrical Stimulation

齋藤大雅<sup>1)</sup>, 張建堯<sup>2)</sup>, 亀岡嵩幸<sup>2)</sup>, 梶本裕之<sup>2)</sup>

Taiga SAITO, Jianyao ZHANG, Takayuki KAMEOKA, 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, saito@kaji-lab.jp)

2) 電気通信大学 大学院情報学専攻 (〒182-8585 東京都調布市調布ヶ丘 1-5-1, {zhang, kameoka, kajimoto}@kaji-lab.jp)

**概要:** HMD に感覚提示装置を追加する取り組みが多数行われており, 中でも温度提示は臨場感を向上させる目的でペルチェ素子やヒータを利用することで実現されてきた. 我々は額電気刺激で温度感覚が稀に生じることを発見した. 本研究はこの知見に基づき, 電気刺激を用いることによる HMD における省スペース, 省電力な温度提示を提案する. 本稿では特に額中央部における陰極刺激による冷感生起について報告する.

**キーワード:** 電気刺激, 温度感覚, 触覚, HMD

## 1. はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 空間で高い没入感を実現するためには視聴覚以外に触覚などの感覚を組み合わせ提示することが有効である[1]. 中でも温度感覚は臨場感を向上させるうえで重要な感覚であることが知られており, 様々な温度感覚提示ディスプレイが研究されている[2][3][4][5].

一方で頭部搭載型ディスプレイ (HMD) の低価格化から, HMD を利用した VR 体験の需要が高まるにつれ, こうした触覚体験を HMD 使用時に簡便に実現することが求められている. この目的で HMD 自体に触覚提示装置を内蔵することが多数提案されており[6][7], 前述の温度提示においても同様に, HMD に温度提示装置を内蔵する研究がなされている. 例えば Peiri らはペルチェ素子を HMD のクッション部に内蔵し, VR 環境における環境温度の提示と温度提示による方向指示を行った[8].

しかし従来の温度提示手法は, HMD という環境では内部に熱がこもり放熱が難しく, 急激な温度変化に対応できないという問題がある. この問題を解決するためには, 実際には物理的な温度を提示すること無く温度感覚を提示することが有効であると考えられる. Brooks らはこうした試みの一つとして化学物質 (カプサイシン等) を利用した化学的提示方法を提案している[9]. しかし化学物質の使用は効果が消えるまでに時間がかかるなどの別の問題を生じると考えられる.

我々はこうした問題に対して, 時間応答性の高い電気刺激を用いた額への温度感覚提示を利用することを提案する. 我々はこれまでに額電気刺激を行った際に温度感覚が稀に生じることを経験的に発見していた. しかもその感覚

は, ジュール熱による温まる感覚ではなく, むしろ冷えるように感じるものであった. これがもし安定的に実現されるなら, HMD 内部に熱がこもらないうえ省スペース, 省電力な温度感覚提示手法となる可能性がある.

本稿ではこの知見に基づき, 特に額中央部における陰極刺激による冷感生起に関する予備的検討を報告する.

## 2. 実験

### 2.1 装置

電気刺激は 61 点の円形電極を等間隔に六方細密充填配置した電気刺激装置で行った (図 1) [10]. 各電極の直径は 1.2mm, 電極中心間距離は 2mm で, 電気刺激のパルス幅は 0.5ms, パルス周期は 11.0ms であった.

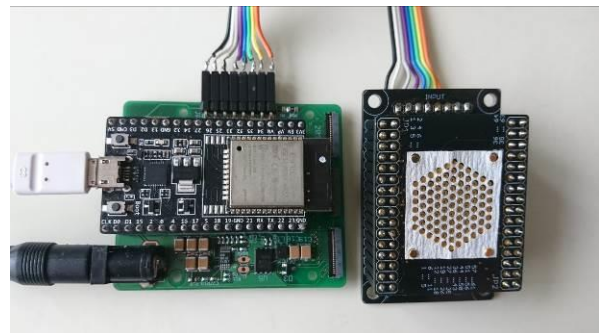


図 1. 電気刺激装置  
(左: マイコン, 右: 61 点の刺激電極)

### 2.2 実験手続き

我々は額に陰極電気刺激を行い, 温度感覚が生じる部位に関する評価実験を行った. 予備的な調査にて額中央部 (眉間上部) にて電気刺激により冷感が生起することを発

見した。この実験では、電気刺激装置を伸縮性のあるバンドで額に装着して陰極電気刺激を行った（図 2）。被験者は著者の 1 名である。

本実験は、額中央に刺激電極を配置して陰極刺激を行った（図 3）。電極 1 点ごとに 1mA での陰極刺激を行い温度感覚が生じる点を調べ、その中で最も強く温度感覚が生じる点を刺激点とした。刺激点に 5 種類の電流値（1mA, 1.5mA, 2mA, 2.5mA, 3mA）をランダムに提示したときの被験者に生じる温度感覚を調査した。電気刺激は 5 秒間提示し、提示後に刺激を止めて温度強度、振動強度、圧覚強度を回答させた。温度強度について 0（常温）から 9（氷に触れている）の 10 段階で評価した。また、振動強度についても 0（振動なし）から 9（スマートフォンのバイブレーション並の強度）の 10 段階で評価し、圧覚強度についても 0（圧覚なし）から 9（指で強く押した感覚）の 10 段階で評価した。以上の実験を各電気刺激条件に対し 5 試行ずつランダムな順番で行い、合計で 25 試行を行った。



図 2. 提示部への装着

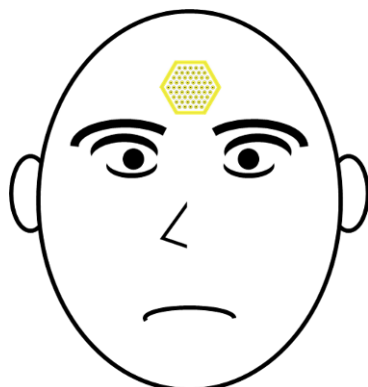


図 3. 額電気刺激位置

### 2.3 実験結果

温度感覚が生じる箇所を調べる実験で、1mA の陰極刺激で温度感覚が生じた点は 61 点中 4 点であった。その中で一番強く温度感覚が生じた点で実験した。各条件の主観値評価を示す（図 4）。図を見ると 1mA から 2mA で温度感覚が生じ、2.5mA 以上では温度感覚が生じなかったことがわかる。すなわち温度感覚は電流値が小さい時ほど強い傾向がみられた。また、電流値が大きいほど振動強度と圧覚強度が大きいことが確認できた。

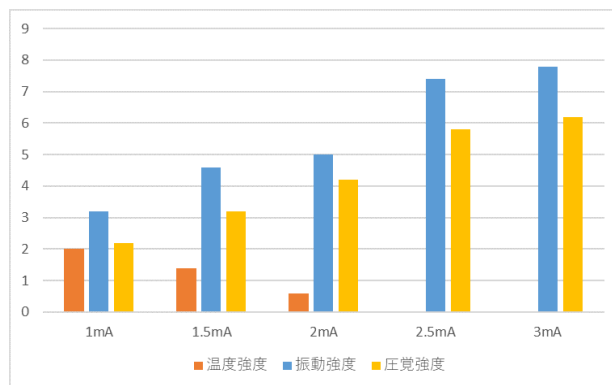


図 4. 主観値評価

### 3. 考察

実験の結果から、電流値が温度感覚知覚に影響していることが示唆された。温度感覚は電流値が低いほど強く生じている。これは、電流値が大きくなるほど振動・圧覚感覚が強くなり、温度感覚をマスクしてしまうことが原因であると考えられる。また額電気刺激による温度感覚提示では刺激開始後すぐに温度感覚が生じるため、HMD 内部の温度維持、応答性の速さを向上させた温度感覚提示を実現できる可能性がある。薄型の電気刺激装置もあり、将来的に HMD の装着の妨げにならない温度感覚提示を行えると考えられる。

### 4. まとめ

本稿では、額電気刺激による温度感覚提示について実験的に調査した。5 種類の電流値による陰極電気刺激を行い、温度・圧覚・振動強度の主観値を 10 段階で評価した。その結果、電流値が小さいほど温度感覚が強く生起され、電流値が大きいほど振動・圧覚が強く生起された。

今後は電気刺激により温度知覚が生じる原因を究明し、温度提示手法としての確立を目指す。また本稿では冷覚のみ生起したが、温覚の生起が可能かについても引き続き調査を継続する。

謝辞 本研究は JSPS 科研費 JP20K20627 の助成を受けたものです。

### 参考文献

- [1] Dangxiao Wang, Kouhei Ohnishi and Weiliang Xu: Multimodal Haptic Display for Virtual Reality: A Survey, IEEE TRANSACTIONS ON INDUSTRIAL ELECTRONICS, VOL. 67, NO. 1, 2020.
- [2] Shaoyu Cai, Pingchuan Ke, Takuji Narumi and Kening Zhu: ThermAirGlove: A Pneumatic Glove for Thermal Perception and Material Identification in Virtual Reality, 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces, 2020.
- [3] Dustin T. Goetz, David K. Owusu-Antwi, and Heather Culbertson: PATCH: Pump-Actuated Thermal Compression Haptics, 2020 IEEE Haptics Symposium,

2020.

- [4] 界瑛宏, 山口勉, 三武裕玄, 長谷川晶一: HMDVR のための可視光 LED による手への非接触型温覚提示, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, Vol. 24, No. 1, pp.83-92, 2019.
- [5] Mitsuru Nakajima, Yasutoshi Makino and Hiroyuki Shinoda: Remote Cooling Sensation Presentation Controlling Mist in Midair, 2020 IEEE/SICE International Symposium on System Integration, 2020.
- [6] Victor Adriel de Jesus Oliveira, Luca Brayda, Luciana Nedel and Anderson Macie: Designing a Vibrotactile Head-mounted Display for Spatial Awareness in 3D Spaces, IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS, VOL. 23, NO. 4, 2017.
- [7] Takayuki Kameoka, Yuki Kon, Takuto Nakamura, Hiroyuki Kajimoto: Haptopus: Haptic VR Experience Using Suction Mechanism Embedded in Head-Mounted Display, SIGGRAPH Asia 2018 Virtual & Augmented Reality, 2018.
- [8] Roshan Lalintha Peiris, Wei Peng, Zikun Chen, Liwei Chan and Kouta Minamizawa: ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays, in CHI, 2017.
- [9] Jas Brooks, Steven Nagels and Pedro Lopes: Trigeminal-based Temperature Illusions, in CHI, 2020.
- [10] Hiroyuki Kajimoto: Electro-tactile Display with Real-time Impedance Feedback, EuroHaptics 2010, pp. 285–291, 2010.