



## 非接触痛み錯覚提示装置の開発

水野 蒼太<sup>1)</sup>, 許 佳禱<sup>2)</sup>, 家永 直人<sup>2)</sup>, 長谷川 晶一<sup>3)</sup>, 黒田 嘉宏<sup>2)</sup>

Souta MIZUNO, Jiayi XU, Naoto IENAGA, Shoichi HASEGAWA, Yoshihiro KURODA

1) 筑波大学 理工情報生命学術院 (〒 305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1, mizuno@lelab.jp)

2) 筑波大学 システム情報系 (〒 305-0006 茨城県つくば市天王台 1-1-1)

3) 東京工業大学 科学技術創成研究院 (〒 226-8503 神奈川県横浜市緑区長津田町 4259)

**概要:** 本研究では、冷気流と光加熱を用いた非接触型痛み錯覚提示法を提案する。痛み錯覚には、皮膚に温冷刺激が同時に提示されることで生起するサーマルグリル錯覚を用いる。サーマルグリル錯覚には温冷刺激の温度差、提示分布の影響が認められる。提案手法により、非接触な痛み錯覚提示における刺激の強度・空間分布を変える場合の知覚変化を調査可能とする。本発表では提案する非接触痛み錯覚提示装置の構成と性能評価について報告する。

**キーワード:** 温冷感覚提示、サーマルグリル錯覚、非接触提示

### 1. はじめに

近年 Virtual Reality (VR) に関連する分野として熱を用いた感覚提示が注目を集めている。温度感覚は、暑さや寒さといった環境の再現や、触れた物体の材質や状態を感じさせる役割を果たしている。本研究では温度感覚を利用した痛み錯覚である Thermal Grill Illusion (TGI) に着目する。

TGI とは皮膚に侵襲を与えない安全な温度範囲 (18-42 °C) で、皮膚上に温刺激と冷刺激を同時に並べて提示し、通常片方の刺激だけでは起こりえない痛覚を生起させる温度錯覚現象である [1]。TGI は、VR を用いた災害などのレスキュー現場を想定した危険な訓練 [2] やエクスポージャー療法 [3] などへの応用が期待される。

従来、TGI は皮膚と熱源素子を接触させる接触型による感覚提示が行われている。このとき提示を行うデバイスとして主に用いられるのはペルチェ素子であり、素子から伝達される熱を利用した温冷刺激の分布により提示面を作製する手法がとられている。例えば、ペルチェ素子を用いて TGI による痛み錯覚の強度について調査する研究が行われている [1]。また痛み錯覚提示ではないが、接触型の温冷覚提示として、温覚や冷覚の閾値に至らない程度に皮膚温度をあらかじめ変化させておくことで時間応答性を高める研究が提案されている [4]。しかし、ペルチェ素子を用いた接触型提示の課題として、温覚・冷覚の切り替えを素早く行うことが難しく、温刺激と冷刺激を別々の素子を用いて与える必要がある。また、素子自体が熱を持つことから即座に感覚提示を終了できないことも挙げられる。

従来の非接触での TGI 提示方法には、超音波ミストビームによる冷刺激とハロゲンランプによる温刺激を提示し TGI を生起させる方法 [5] がある。しかし、超音波ミストビームを用いた TGI 提示では強度や分布形状の調整は行われていない。

そのため、非接触 TGI 提示刺激について詳細な調査は行われていない。このとき、接触型提示との比較を行う際に非接触提示において提示温度の調整機能、従来の提示に類似した空間分布の実現が求められる。

本研究で提案する非接触痛み錯覚提示の概念図を図 1 に示す。本研究では冷気流と LED 光による光加熱 [6] を用いた非接触 TGI 提示手法を開発し、温冷刺激の強度が制御可能かつ空間分布が可変なデバイスの開発を行う。開発したデバイスの性能について温冷分布、提示刺激強度の変化についての調査結果を報告する。

### 2. 提案手法

#### 2.1 非接触 TGI 提示手法

本研究において、提示は冷気流と光加熱を利用して行う。これらを用いた提示温度の強度・空間分布が操作可能な非接触 TGI 提示装置を開発する。提案システムの構成を図 2 に示す。温冷刺激分布提示は、冷気流、LED 光、スリット

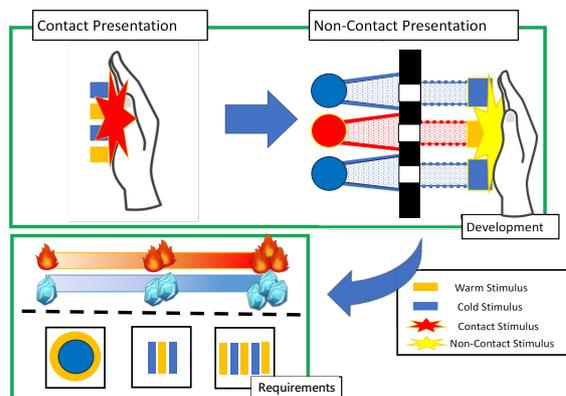


図 1: 提案する装置の実施形態と温冷刺激提示の要件

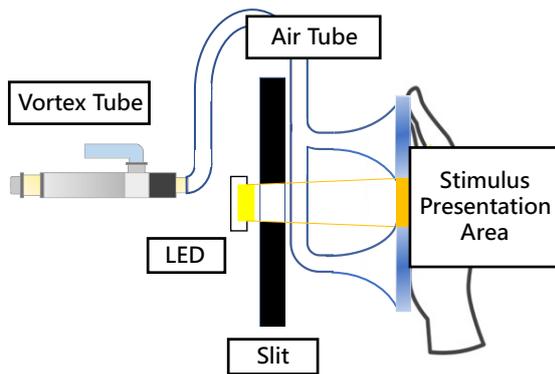


図 2: 構成図

で構成する。スリットにより冷気流の広がりに対し、LED 光の提示位置を操作し温刺激・冷刺激の空間分布を実現する。このとき、スリットを交換可能にすることで LED 光、冷気流ともに複数の空間分布パターンの実現が可能なデバイスを作製する。スリットにより図 3 に示すように複数の提示分布実現が可能である。温冷刺激の提示は LED 光の強度を調整し人体に侵襲を与えない温度範囲で行う。冷気流と LED により供給される熱量は流量、duty 比を変化させ制御する。また、提示温度について赤外線サーモグラフィカメラを用いて事前に確認・調整を行う。

## 2.2 冷覚提示方法

本研究では強度や提示位置が操作可能な冷気流を用いて冷覚提示を行う。冷気流は空気を冷風と温風に分けるボルテックス効果 [7] を利用したボルテックスチューブによって供給する。この提示は比例電磁弁を用いることにより提示刺激の強度制御が可能となる [8]。また、冷覚の提示位置はエアチューブによる輸送のみで操作可能となり提示位置の制限が少ない冷覚提示の実現が可能となる。

## 2.3 温覚提示方法

提案手法では強度制御や素早い熱提示が可能な LED 光による光加熱を用いて温覚提示を行う。1つ1つの LED の強度は小さいものの、多数の LED を使用することで目標とする提示強度の実現を可能とする [6]。LED を用いることにより、光加熱強度の duty 比による制御が可能となる。また、LED 光は素早い熱の提示や ON・OFF の切り替えが可能であり即応性の観点で優れている。

## 2.4 提案装置

開発を行った非接触型 TGI デバイスを図 4 に示す。装置はボルテックスチューブ、LED 20 個、3D プリンタを用いて作製したスリット、固定具によって構成される。冷気流の提示について冷気流の制御を行う比例電磁弁と供給を行うエアチューブを用いる。LED について放熱を効率的に行うためにファンを設置する。

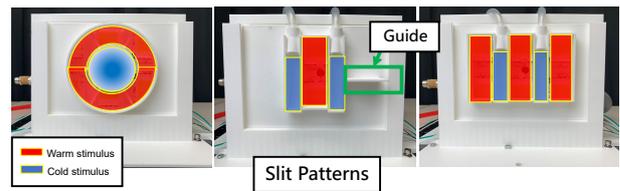


図 3: スリットのパターンと温冷空間分布

## 3. 評価実験

### 3.1 提示分布

実験で提示を行う空間分布としては温冷の境界を複数提示することで接触型 TGI 提示 [1][9] における温冷分布に近い形とした。スリットは図 3 の中央に示すものを使用し、温刺激提示部が縦 70mm 横 26mm、冷刺激提示部が縦 56mm 横 13mm、温冷刺激の間隔は 2mm で構成される。温刺激提示部の縦幅は手幅の平均値、冷刺激提示部は温刺激提示部の形状と装置構成により決定した。この提示では中心に温覚を提示し両側に冷覚を提示する温冷分布により刺激提示を行う。

### 3.2 提示装置の性能評価

#### 3.2.1 実験概要

本実験では LED(CREE 製 XPGWHT-L1-STAR-G53 5W)、ボルテックスチューブ (Tohin 製 AC-50)、3D プリンタ (JAPAN 3D PRINTER 製 Raise3D Pro2 Plus)-PLA 素材フィラメント (PolyLite™ PLA) を用いて制作した部品を用いて提示を行う。

提示刺激による温度変化を計測するため、黒体スプレーを吹きかけたシリコンシートを置き、刺激提示を行った際の温度分布をサーモグラフィカメラ (日本アビオニクス製 InfReC R450) により計測した。温冷刺激の条件は図 5 に示す 15 条件で、LED ドライバ、比例電磁弁 (Asco 製 Positive-flow-202) に対してマイコン (Arduino 製 A000066) とシリアル通信を行い、PWM 制御により LED の duty 比 40, 60, 80 % および冷気流の流量 30, 40, 50 L/min を操作する。これらの温度条件をそれぞれ Warm:1-3(duty 比:40,60,80),Cool:1-3(流量:30, 40, 50) と表す。また、シリコンシートに加えて、人への提示部位として手のひらに提示し、温度変化を計測した。手のひらに提示を行う場合はスリットにガイドを設置し提示位置の統制を行った。これにより強度による提示温度について調査を行う。

#### 3.2.2 実験結果

計測した各パターンにおける温度分布と手のひらに対して提示した結果を図 5 に示す。シリコンシートの温度変化より、Warm:1-3, Cool:1-3 について強度ごとに提示される温度について温刺激は 38 度から 42 度以上、冷刺激は 27 度から 29 度の間で変化が確認され、スリットにより温冷刺激の提示分布が実現されていることが明らかとなった。また手のひらに対する提示結果より、スリットにより制限された範囲に温刺激、冷刺激の分布が実現され、温刺激・冷刺激とも

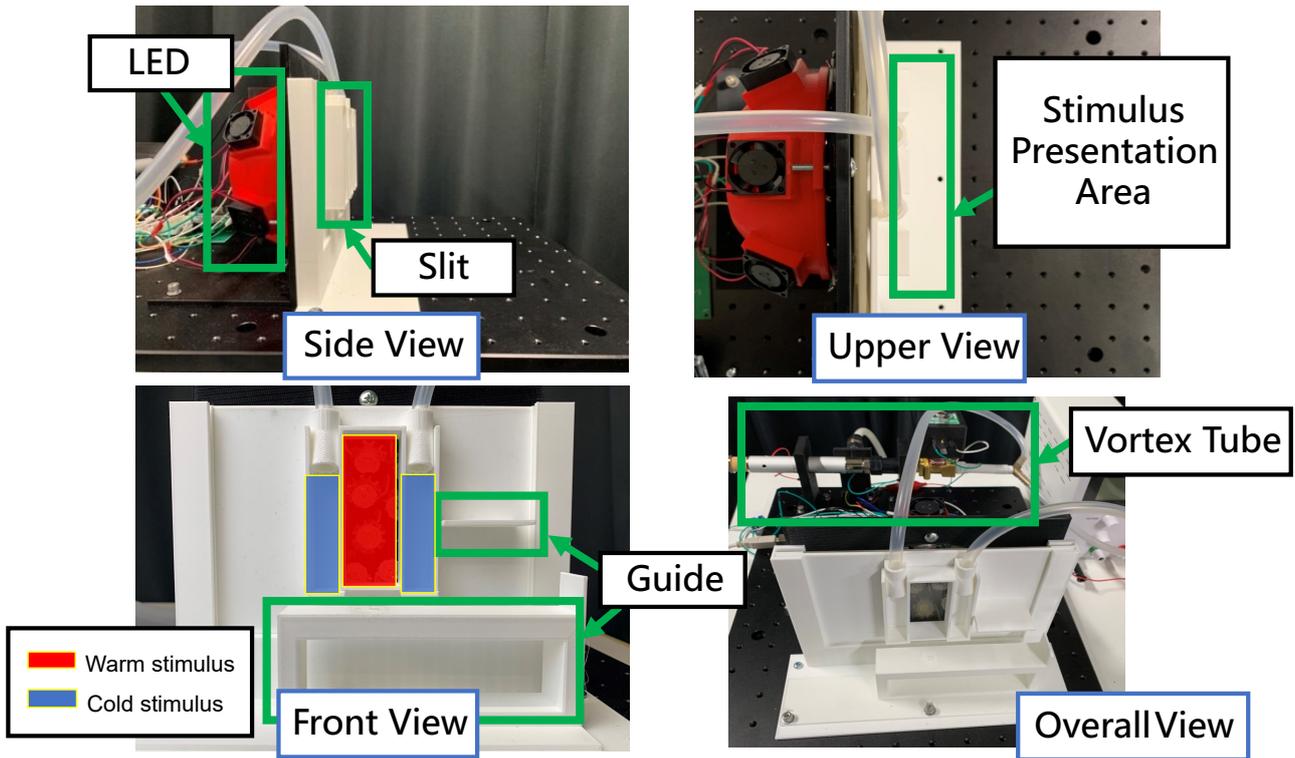


図 4: 開発した提示装置

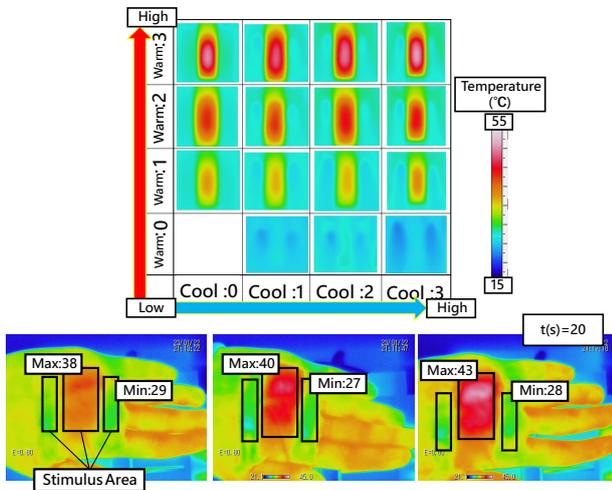


図 5: 温冷分布の強度調査と皮膚表面に提示した場合の温度変化

に強度変化を実現できていることが確認された。手のひらの温度変化として Cool1-3, Warm1-3 に対応する 27-29/38-43 度の温度変化が確認された。したがって、提案装置による非接触な提示温度変化と空間分布の実現について確認された。

4. おわりに

本研究では冷気流と光加熱を用いて非接触な TGI 提示が可能なデバイスの開発と温冷刺激の出力調査を行った。実験結果から温刺激、冷刺激について先行事例 [5] を参考に TGI が生じうる温度を確認することはできた。これによ

り提案装置は目標とする提示を行えることが示された。しかし、本実験では冷刺激の変化量は+1℃程度と小さい。また、皮膚温度変化の個人差による影響は十分に考慮できていない。そのため、今後は冷気流がより効率的に熱伝達を行える提示方法を考案し、提案装置による詳細な TGI 生起調査を行う。また、開発したデバイスを用いた非接触 TGI 感覚の調査結果について報告を行う予定である。

謝辞

本研究は、JSPS 科研費 JP21H03474 の助成を受けたものです。

参考文献

[1] S. Patwardhan, A. Kawazoe, D. Kerr, M. Nakatani, and Y. Visell: “Dynamics and Perception in the Thermal Grill Illusion”, IEEE Transactions on Haptics, Vol.12, No.4, pp.604-614, 2019.

[2] S. Ooi, T. Tanimoto, and M. Sano: “Virtual Reality Fire Disaster Training System for Improving Disaster Awareness”, In Proceedings of the 2019 8th International Conference on Educational and Information Technology, pp.301-307, 2019.

[3] P. Lindner, A. Miloff, W. Hamilton, L. Reuterskiöld, G. Andersson, MB. Powers, and P. Carlbring: “Creating state of the art, next-generation Virtual Reality exposure therapies for anxiety disorders using consumer hardware platforms: design considerations

- and future directions”, *Cognitive Behaviour Therapy*, Vol.46, No.5, pp.404—420, 2017.
- [4] K. Sato, T. Maeno: ”Presentation of Rapid Temperature Change Using Spatially Divided Hot and Cold Stimuli”, *Journal of Robotics and Mechatronics*, Vol.25, No.3, pp.497–505, 2013.
- [5] M. Nakajima, Y. Makino, and H. Shinoda: ” Displaying Pain Sensation in Midair by Thermal Grill Illusion” , In *Proceedings of the HAVE 2019*, 10/3,4 , 2019.
- [6] 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”, *TVRSJ*, Vol.24 No.1 pp83–92, 2019.
- [7] G. J. Ranque: ”Method and apparatus for obtaining from a fluid under pressure two outputs of fluid at different temperatures”, US patent, US2456094A, 1934.
- [8] J. Xu, S. Yoshimoto, N. Ienaga, and Y. Kuroda: ”Intensity-Adjustable Non-contact Cold Sensation Presentation Based on the Vortex Effect”, *IEEE Transactions on Haptics*, Vol. 15, No. 3, pp. 592-602, 2022.
- [9] A. D. Craig and M. C. Bushnell: ”The Thermal Grill Illusion: Unmasking the Burn of Cold Pain”, *Science*, Vol. 265, Issue 5169, pp.252–255, 1994.