



# 水流を用いた大面積温度ディスプレイの 提示温度と面積に関する評価

Evaluation of Presentation Temperature and Area of Large Thermal Display Using Water Flow

坂口正道<sup>1)</sup>, 梶河拓真<sup>1)</sup>

Masamichi SAKAGUCHI, Takuma KAJIKAWA

1) 名古屋工業大学 大学院工学研究科 電気・機械工学専攻

(〒 466-8555 愛知県名古屋市昭和区御器所町, saka@nitech.ac.jp, t.kajikawa.668@nitech.jp)

**概要:** バーチャルリアリティの普及に伴い、触覚提示技術に関する研究が盛んに行われている。我々はこれまで温冷覚に着目し、熱媒体に水を用いた大面積温度提示システムを提案してきた。熱媒体に水を用いることで大面積に対して温度提示が可能となる。本報はこのシステムを用いて、提示温度や面積とヒトの生理反応との関係を、主観値と心拍を基に評価した。

**キーワード:** 温度刺激, 水の流れ, 大面積

## 1. はじめに

近年、触覚提示に着目した様々な工業製品が製品化されてきている。しかし、これらの製品の多くは振動に注目して開発されたものである。硬軟感や温冷感などの触覚を提示する製品の開発は私たちの生活をより快適なものにする可能性がある。私たちはこのうち温冷感に着目する。

温度提示装置の原理は様々であるが、多くの研究ではペルチェ素子を使用している [1]。ペルチェ素子は、ペルチェ効果を利用した半導体素子であり、直流電流によって温度制御を容易に行うことができる利点を持つ。佐藤らはペルチェ素子を用いて腰に温熱を提示する装置を開発し、腰の空間的温感と温熱刺激の知覚強度と熱的快適性を示した [2]。またペルチェ素子を用いないものとして、界らが提案する LED を用いた非接触温覚提示装置が挙げられる [3]。

筆者らはこれまでに、水を熱媒体とした温度提示装置を開発してきた [4]。この提示装置によって、普段温度変化が少ない体幹部に対して温度刺激を与えることで、生理反応が誘発されることを確認した。また、あらかじめ冷刺激を提示し交感神経活動を優位にすることによって、視聴覚コンテンツによって生じる恐怖の情動が増幅することを確認した [5]。

しかしながら、我々が開発した温度提示システムに関して、提示温度や面積が主観値や生理反応に及ぼす効果に対する評価は十分になされていない。この評価によって得られる知見は、温度提示デバイスの開発に効果的に作用する。したがって本研究では、水流を用いた大面積温度ディスプレイの提示温度と面積に関して評価を行った結果を報告する。

## 2. 大面積温度提示ディスプレイ

図 1 に、本実験において用いた大面積温度ディスプレイの構成を示す。また図 2 に、本実験において用いた大面積温度ディスプレイの提示部を示す。上部から流入した水流が 4 つの流路に分岐され、図下部に向けて流れ落ちる。1 枚の提示部の大きさは、縦 30cm、横 10cm、面積 300cm<sup>2</sup> である。提示部には厚さ 0.08mm の高密度ポリエチレンを、超音波ウェルダ (精電舎電子工業社製, SONOPET446D) によって超音波溶着したものをを用いた。また、水流の分岐部分には 3D プリンタにて造形した ABS 製の治具を用いた。

この提示部に対して、ポンプ (ニッソー製, PP-51) によって水を流す。熱媒体には、ヒーター (泉伝熱製, TWSH-1110) とクーラー (ニッソー製, NHC-032) によって温度をあらかじめ調節した水を用いた。

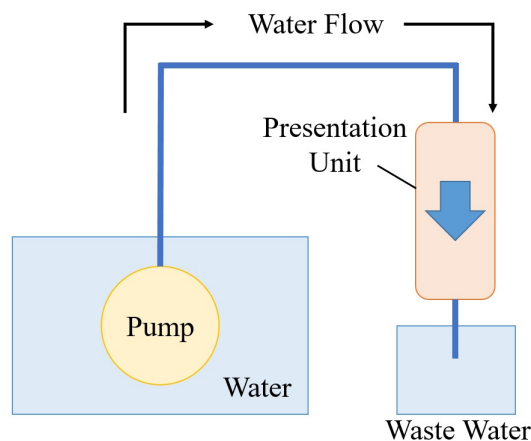


図 1: 大面積温度提示ディスプレイの構成



図 2: 大面積温度提示ディスプレイの提示部

### 3. 実験

我々は面積温度ディスプレイの提示温度と提示面積に関する評価実験を行った。この実験では、表 1 に示す 2 種類の提示温度 ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $28^{\circ}\text{C}$ ) と 2 種類の提示面積 ( $300\text{cm}^2$ ,  $900\text{cm}^2$ ) を用意した。その後 4 種類の温度刺激を実験参加者に提示したときの、実験参加者の主観値と心拍を測定した。この実験は室温を  $26^{\circ}\text{C}$  に設定された部屋で行われており、実験参加者は 3 名の 22~23 歳の健全な男性である。

図 3 に示すように、実験参加者に 3 枚の提示部を装着させた。その後本実験は、図 4 に示すタイムテーブルに従って実行された。最初の 60 秒間は安静にし、次の 60 秒間に実験参加者は基準刺激 ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $300\text{cm}^2$ ) に提示される。その後 30 秒間の安静の後、60 秒間実験参加者はテスト刺激を提示される。1 回の試行が終了した後に、実験参加者にテスト刺激の主観値を回答させた。ただし基準刺激の主観強度を 100 とし、冷たいほど主観強度は大きい値とした。1 度の実験において全条件について 1 度ずつ提示し、この実験を 1 人あたり 4 回実行した。

この実験では、生理反応のうち交感神経活動に注目した。

表 1: 実験条件

| 条件   | 提示温度 [ $^{\circ}\text{C}$ ] | 提示面積 [ $\text{cm}^2$ ] |
|------|-----------------------------|------------------------|
| 基準刺激 | 20                          | 300                    |
| 1    | 20                          | 300                    |
| 2    | 20                          | 900                    |
| 3    | 28                          | 300                    |
| 4    | 28                          | 900                    |



図 3: 提示部の装着位置



図 4: タイムテーブル

実験参加者の心拍を取得するために、実験前に電極を装着させ、心拍計（アームエレクトロニクス社製、AC-301A）を使用した。我々は心拍感覚時間（R-R 間隔時間）を基に周波数解析を行い、LF/HF 成分比を算出した。また呼吸の影響を取り除くために、メトロノームを使い全ての実験参加者の呼吸を 4 秒に 1 回に統制した。

## 4. 結果と考察

### 4.1 自律神経系

自律神経系は、交感神経系と副交感神経系の拮抗作用によって成り立っている。交感神経系は主に活動時に優位となり、副交感神経系はリラックスしているときに優位となる [6]。心拍変動の周波数解析において、 $0.04\sim 0.15\text{Hz}$  の LF (Low - Frequency) 成分と、 $0.15\text{Hz}$  以上の HF (High - Frequency) 成分が存在し、HF 成分は副交感神経活性を、LF/HF の成分比は交感神経活性を反映する指標として用いられる [7]。

### 4.2 主観値

本実験の実験条件における提示温度 ( $20^{\circ}\text{C}$ ,  $28^{\circ}\text{C}$ ) は、ともに痛覚を伴わない冷覚を知覚する温度帯である。そのため、提示温度が低いほど主観値が大きくなり、同様に提示面積が大きいほど主観値が大きくなると推測できる。

図 5 に、各実験参加者のテスト刺激の主観値を示す。エラーバーはピーク値を示す。上述したとおり、温度や面積の

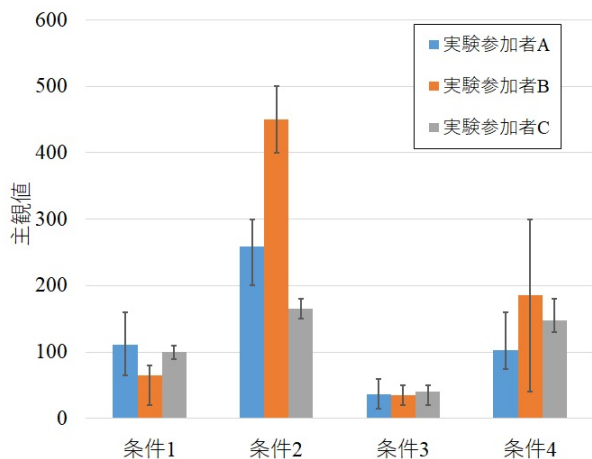


図 5: テスト刺激提示時の主観値

みが異なる条件間では、すべての実験参加者において明確な主観値の差が示唆された。私たちは各条件での主観値に対して二元配置反復測定分散分析を行った。温度間、面積間では有意水準 1% を、交互作用では有意水準 5% を満たすことが示唆された。

#### 4.3 生理反応

実験中に取得した心拍から、LF/HF 成分比を算出した。LF/HF 成分比は一般的に交感神経と副交感神経の活動のバランスを示す指標である。LF/HF 成分比が大きいほど、交感神経が優位であり、LF/HF 成分比が小さいほど、副交感神経が優位であることが推測できる。

図 6 に、実験参加者がテスト刺激を与えられたときの LF/HF 成分比を示す。これらのデータは提示開始 15 秒後～45 秒後の 30 秒間の心拍を基に算出した。条件 1 と条件 3、条件 2 と条件 4 を比較すると、提示温度が低いほど交感神経がより優位になることが示唆された。また条件 1 と条件 2、条件 3 と条件 4 を比較すると、提示面積が大きいほど交感神経がより優位になることが示唆された。

我々は、各条件での主観値に対して二元配置反復測定分散分析を行った。すべての条件間で有意水準 5% を満たさなかった。また、効果量を評価するために Cohen's  $d$  を導入

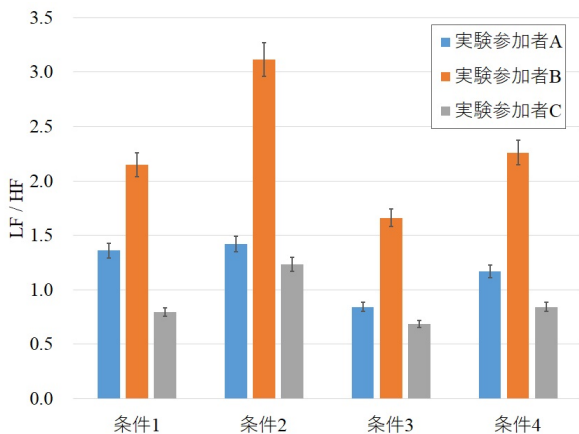


図 6: テスト刺激提示時の LF/HF 成分比

した [8]. 式 (1) は無指向性の Cohen's  $d$  を示す。  $m_A, m_B$  はそれぞれの母集団の平均値を示す。  $\sigma$  は母集団の標準偏差を示す。

$$d = \frac{m_A - m_B}{\sigma} \quad (1)$$

各条件間で、Cohen's  $d$  を計算した。表 2 に、Cohen's  $d$  の値とその評価を示す。 Sawilowsky は Cohen's  $d$  が示す効果量の評価を定義した [9].  $d < 0.20, 0.50, 0.80$  のとき、効果量の評価はそれぞれ “Very small”, “Small”, “Medium” である。条件 1 と条件 4 との間の効果量は最小で、条件 2 と条件 3 との間の効果量は最大である。このことから、本研究の実験条件では、温度効果と面積効果が相乗的に作用することが示唆された。温度効果に関して条件 1 と条件 3、条件 2 と条件 4 の効果量から温度効果を推測することができ、同様に条件 1 と条件 2、条件 3 と条件 4 の効果量から面積効果を推測することができる。これらの効果量を比較すると、面積効果に関する効果量の方が温度効果に関する効果量よりも大きい。したがって本研究の実験条件では、面積効果の方が温度効果よりも優位であると示唆された。

#### 5. むすび

本稿では、大面積温度提示ディスプレイにおける提示温度と提示面積の違いがヒトの知覚と生理反応に及ぼす影響を評価した。2 種類の提示温度と提示面積を用いて水流による温度提示を行い、その際の主観値と心拍を取得した。主観値では提示温度、提示面積のそれぞれの違いによる有意な差が生じた。また、心拍から LF/HF 成分比を計算し、温度効果と面積効果に関して、効果量として Cohen's  $d$  を評価した。本研究の条件下では面積効果の方が温度効果よりも優位に作用し、かつ温度効果と面積効果は相乗的に作用することが示唆された。

今後は十分なサンプルサイズにおいて、提示温度や提示面積に関して条件を増やして実験を行うことで、ヒトの知覚や生理反応への影響をより定量的に評価していく。

表 2: テスト刺激提示時の LF/HF 成分比に関する効果量

| 条件 |   | Cohen's $d$ | 評価         |
|----|---|-------------|------------|
| 1  | 2 | 0.42        | Small      |
| 1  | 3 | 0.20        | Very Small |
| 1  | 4 | 0.01        | Very small |
| 2  | 3 | 0.59        | Medium     |
| 2  | 4 | 0.34        | Small      |
| 3  | 4 | 0.49        | Small      |

## 参考文献

- [1] A. Sinhal and L. A. Jones, "Perceptual Interactions in Thermo-tactile Displays", 2017 IEEE World Haptics Conference (WHC), Munich, pp. 90-95, 2017
- [2] K. Sato and M. Usui, "Assessment of Perceived Intensity and Thermal Comfort associated with Area of Warm Stimulation to the Waist", Eurohaptics 2018 Conference, Pisa, pp. 106-113, 2018
- [3] 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
- [4] M. Sakaguchi, Y. Komatsu, R. Kawai, "Development of Jacket Type Thermal Display to Induce Physiological Response", Eurohaptics 2018 Conference Work in Progress #1107, Pisa, 2018
- [5] 小松祐介, 河合凌輝, 坂口正道, "生理反応を誘発する温度刺激が情動増幅に及ぼす影響", ロボティクス・メカトロニクス講演会講演概要集, 1P1-M16, 2018
- [6] 後藤貴文, 松浦弘毅, 村本健一郎, "心拍変動解析による自律神経機能の推定", 電子情報通信学会技術研究報告. MBE, ME とバイオサイバネティックス, Vol. 102, No. 507, pp. 13-16, 2002.
- [7] 西田裕介, 樋渡正夫, 丸山仁司, "施設入所高齢者における低強度運動負荷時の心拍変動 一周波数解析を用いた自律神経活動の評価一", 理学療法学, Vol. 33, No. 1, pp. 1-6, 2006.
- [8] J. Cohen, "*Statistical Power Analysis for the Behavioral Sciences* (2nd ed.)" Lawrence Earlbaum Associates, pp. 21, 1988
- [9] Sawilowsky, S. S., "New Effect Size Rules of Thumb" *Journal of Modern Applied Statistical Methods*, Volume 8, No. 2, pp. 597-599, 2009