



RadiantVR: Immersive Heat Experience

RadiantVR: Immersive Heat Experience

大嶺太聖¹⁾, 濱田輝²⁾

Taisei OMINE, and Hikaru HAMADA

- 1) 九州大学 芸術工学府 (〒815-8540 福岡県福岡市南区塩原 4-9-1, omine.taisei.138@s.kyushu-u.ac.jp)
2) 九州大学 芸術工学府 (〒815-8540 福岡県福岡市南区塩原 4-9-1, hamada.hikaru.755@s.kyushu-u.ac.jp)

概要: 太陽光や火などの温かさや熱さは、その程度により心地よさから恐怖心まで、様々な感覚を生じさせる。よって適切に熱を感じさせることで、VR コンテンツの没入感や満足度が高まる可能性がある。本企画では、複数の白熱電球を制御し、VR コンテンツで温かさや軽度の熱さを感じるためのシステムを提案する。熱刺激のためのデバイスにはペルチェ素子が使われることが多いが、本企画では電球を用いることで、デバイスの着用の違和感や着脱の手間を要さず、全身に自然な放射熱を感じられる仕組みを比較的低コストで実現する。

キーワード: 照明、温度感覚、温かさ、熱

1. はじめに

人間にとって、温かさは重要である。食べ物の多くは温まった状態が好まれ、風呂や温泉ではその温かさが疲れを癒す。また、こたつでぬくぬくと過ごし、温かい春を待ち望む経験からも、温かさにはぬくもりや心地よさを感じさせる役割があることが分かる。

また、心地よい温かさだけでなく、熱さに近い温かさを感じられることで、ゲームなどにおける火器や火炎のリアリティを高められる可能性がある。ユニバーサル・スタジオ・ジャパンに存在したアトラクションであるバックドラフト[1]は、観客の前で実際に炎があがり、熱気を感じることで、同名の映画のシーンをよりリアルに体験できる。

よって、VR 機器の利用時に、皮膚の温度感覚を制御できることで、コンテンツの没入感や満足度を高められる可能性がある。

本企画では、VR コンテンツに合わせ、温かさや熱さを体感することができるシステムを提案する。仮想空間内の熱源の方向から、照明による放射熱を発する仕組みとすることで、既存手法より、熱源の方向や移動を自然かつ身体の広範囲で感じることができる。

2. システム構成

2.1 既存手法

温度感覚の再現に関する研究は多数存在する。Ranasinghe ら[2]は、首に装着したペルチェ素子による温

度変化と、ファンによる気流変化で、VR 体験の臨場感に有意な差が見られたと報告した。Peiris ら[3]は、HMD にペルチェ素子を複数個付け、一部のみを温めることで熱の方向を上下左右と前方の中から選択させた。結果、被験者は 68.59%の正解率でおおよその熱の指向性を正答できた。小野ら[4]は、首周りのペルチェ素子の数が、2、4、6 個の場合に、VR 空間内のオブジェクトの方向との違和感を調査した。結果として、数が増えるに従い、違和感が減少するとした。

また、製品として、HMD に取り付ける温度デバイスに加え、腕、手に専用ハードウェアを付けることで温冷を体感できる ThermoReal[5]や、首の後ろに専用ハードウェアを付けることで温冷を体感できる Pebble Feel[6]がある。

これらの多くは、ペルチェ素子を用い皮膚に直接装着する。複数のペルチェ素子を独立に操作することで、熱源の方向や移動を感じさせることができる。

しかし、皮膚に装着させたペルチェ素子から受ける熱は、伝導熱であり、放射熱を再現することは難しい。放射熱の例には、太陽光や火、暖房器具から受ける熱が挙げられ、VR コンテンツ内でも登場することがある[7][8]。

また、ペルチェ素子を利用する場合、触れている部分以外を温めることが難しいため、身体の広範囲を温めるには、多数のペルチェ素子を用意せねばならず、コストが大きくなる。

さらに、ペルチェ素子を用いる場合、身体に装着することの触覚の感覚や、着脱の手間によって没入感や満足

感が低下する恐れがある。

本システムでは、手ごろな値段で手に入る白熱電球やハロゲン電球を用い、非接触な仕組みを構築することで、これらの問題の改善を図る。電球は、多くの場合、ヒーターなどの他の熱源と比べ小型で、かつ短時間で光量の調節が可能である。また、VR コンテンツ利用時にはHMDを装着するため、照明のまぶしさはほとんどない。

2.2 本システム

本システムの外観は図1の通りである。中央の椅子を囲む枠に、電球が固定されており、頭部の周囲、腕の周囲に8個ずつ、膝・太腿の付近に5個、足首の付近に2つの計23個がある。電球の配置は、頭部、腕、足首等の皮膚が露出しており、熱が伝わりやすい部分を中心に決定した。座った状態では、膝や太腿は服と密着しており熱が伝わりやすいため、これらの部位付近にも照明を配置する。

上方からの指向性を再現するために、頭部の周囲の電球はやや下向きに設置する。各電球の消費電力は原則として最大120Wであるが、下半身の一部に最大200Wの照明を使用する可能性がある。これは、下肢部の温覚の感度が他の部位に比べ悪いこと[9]、および、下半身の衣服が分厚い場合を考慮したものである。また各電球は、調光ユニットを通じ、コンピュータからそれぞれ光量を調節できる。予備実験では、ランプシェードを適切に選択することで、少ない消費電力でも効率よく熱を一方に放射できることがわかった。なお、Meta Quest 2[10]においては、強い照明の下でも位置トラッキングに対する影響は確認されなかった。

各電球は、体験者が体験するVRコンテンツに同期し、インタラクティブに光量に変化する。光量に応じ、電球から発される熱量が変化し、体験者は身体の様々な位置で熱を感じる。体験者と電球の間にはアクリル板を設置し、熱された電球に直接触れることを防ぐ。



図1：本システムの外観

VRコンテンツは、Unity等のゲームエンジンを用いて作成される。仮想空間内に設置する熱源となるオブジェクトと、体験者との相対位置から、発光させる電球とその強さをインタラクティブに決定する。システム全体の構成は図2のとおりである。

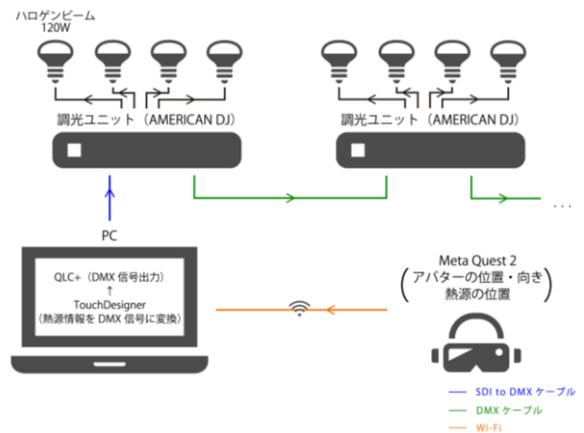


図2：本システムの構成

3. 体験の流れ

体験者はMeta Quest 2を装着し、コントローラを持った状態で装置中央の椅子に座る。体験時には、厚手の服は脱ぐことが望ましい。その後、熱源が登場するVRコンテンツを体験する。なお、本企画における熱源とは、太陽光、炎、高温度の物質などを想定する。体験時間は3分以内である。

3.1 コンテンツの内容

本コンテンツは、従来のVRコンテンツでは得られにくかった、温かさに関連する以下の感覚を得ることで、体験者の満足度を高めることを目的とする。

- ・ 温かさの心地よさ
- ・ 熱源の移動感覚
- ・ 熱源の強さの変化の感覚
- ・ 熱さに近い温かさによるスリル

これらの感覚を得るためのVRコンテンツとして以下のシーンを検討している。

1. 散歩

晴れた日中の屋外のシーンで、コントローラにより日向と日陰を自由に移動することができる。日向にいる場合、太陽の方向から日の温かさを感じることができる。雲がかかる場合には、日向にいても温かさが減る。

2. ファンタジー

モンスターとのバトルシーンを想定する。モンスターが吐いた炎が、身体の周囲を移動する感覚を感じられる。また、火器を用いた攻撃時や、火炎を操る魔法の使用時、シーン内の松明等に近づいたときにも熱を感じることができる。

3. サウナ

サウナ施設のじんわりとした温かさを感じることが

できる。また、コントローラを用いて、サウナストーンに水を掛けたり、扇いで熱風を起こすことで熱をより強く感じることができる。なお、実際には、これらの熱の多くは放射熱ではなく、対流熱である。

3.2 安全性の確保

本システムは、HMD を装着した体験者の皮膚に、照明を照らすという機構になっており、高い安全性が求められる。そのために、常に作成者が監視を行うほか、以下の対策を講じる。

3.2.1 アクリル板の設置

照明を囲むようにアクリル板を配置することで、皮膚が照明に直接接触することを防ぐ。照明付近に熱が滞留しないよう、十分に距離を離し、必要な部分のみを囲う。

予備実験により、120W の電球をアクリルから 15cm 離れた距離から 60 秒間照射した場合、アクリルの表面温度は、45°C を超えないことがわかった。これは、皮膚が短時間触れても問題ない温度である。

3.2.2 構造の分離

枠組みを前後で分割することで、照明を簡単に人体から離すことができる。

3.2.3 難燃性素材の利用

枠組みを難燃性の素材で作成することで火災を防止する。

3.2.4 同一部位への長時間照射の禁止

予備実験により、120W の電球を皮膚から 15cm 離れた距離から 60 秒間照射した場合、皮膚の表面温度は、45°C を超えないことがわかった。ISO13732-1[11] 及び、ASTM C1055-03[12] に基づくと、体験の最大時間である 3 分間、皮膚に熱を与え続けた場合に不可逆な表皮傷害を及ぼさない温度の上限は 50°C である。

本体験では、皮膚の温度が 45°C を超えず、かつ、皮膚の同一部位への照射を最大 2 分以内とするよう調整する。

3.2.5 服の素材の考慮

服の素材によっては、熱を吸収しやすいため、様々な服で検証を行う。

3.2.6 消費電力の上限の設定

一般的なコンセントから得られる最大電力が 1500W であることから、システム全体の消費電力が、ピーク時でも 1400W 程度を超えないよう調整を行う。また、現在の消費電力について常時監視を行う。

3.2.7 身体を動かさない操作方法

座った状態で身体を動かさない操作を原則とすることで、むやみに照明に身体が近づくことを防ぐ。

3.2.8 非常停止ボタンの設定

コントローラのボタンを非常停止機能として利用可能にし、押された場合には全照明を消灯する。

3.2.9 HMD・コントローラの位置による警告

HMD とコントローラの位置を取得し、頭部や手が照明に近い場合には、VR コンテンツ内で、警告を表示する。

4. むすび

VR コンテンツにおいて、温かさや熱さを自然に体験するシステムを企画した。特に、ペルチェ素子ではなく、照明を用いることで、太陽光や火といった放射熱をより自然に低コストで体験できるようになった。

参考文献

- [1] バックドラフト | アトラクション | ユニバーサル・スタジオ・ジャパン | USJ . <https://s.usj.co.jp/attraction/backdraft.html>, (参照 2023-05-28).
- [2] Ranasinghe, Nimesha, et al. "Ambiotherm: enhancing sense of presence in virtual reality by simulating real-world environmental conditions." Proceedings of the 2017 CHI conference on human factors in computing systems. 2017.
- [3] Peiris, Roshan Lalintha, et al. "Thermovr: Exploring integrated thermal haptic feedback with head mounted displays." Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems. 2017.
- [4] 小野龍一, 伊藤亘輝, and 羽田久一. "首への熱刺激による VR 体験者への方向提示の提案." エンタテインメントコンピューティングシンポジウム 2018 論文集 2018 (2018): 220-223.
- [5] ThermoReal. <https://tegway.co.kr/27>, (参照 2023-05-27).
- [6] Pebble feel - 株式会社 Shiftall. <https://ja.shiftall.net/products/pebblefeel>, (参照 2023-05-27).
- [7] A Walk in the Woods . https://store.steampowered.com/app/557900/A_Walk_in_the_Woods/, (参照 2023-05-28).
- [8] Crunch Element . https://store.steampowered.com/app/1090250/Crunch_Element/, (参照 2023-05-28).
- [9] 井口拓海, and 宮本征一. "各部位における温刺激を知覚する温度および 不快を知覚する温度に関する研究." 人間 - 生活環境系シンポジウム報告集 第 43 回人間 - 生活環境系シンポジウム報告集. 人間 - 生活環境系学会, 2019.
- [10] Meta Quest 2: 没入感あふれるオールインワンの VR ヘッドセット | Meta Store | Meta Store . <https://www.meta.com/jp/quest/products/quest-2/>, (参照 2023-05-28).
- [11] ISO 13732-1:2006 - Ergonomics of the thermal environment — Methods for the assessment of human responses to contact with surfaces — Part 1: Hot surfaces. <https://www.iso.org/standard/43558.html>, (参照 2023-05-27).
- [12] C1055 Standard Guide for Heated System Surface Conditions That Produce Contact Burn Injuries . <https://www.astm.org/c1055-03.html>, (参照 2023-05-27).