



複合現実型視覚刺激が温冷覚の知覚位置に与える影響

橋口 哲志, 柴田 史久, 木村 朝子

立命館大学 情報理工学部

(〒525-8577 滋賀県草津市野路東 1-1-1)

概要: 複合現実空間では、視覚的な外観（仮想空間）と触力覚（実空間）との間に差異をつくり出すことで、視覚触相互作用のメカニズムを解明することができる。その一研究として、皮膚感覚の一つである温冷覚に関して着目し、視覚刺激による知覚位置への影響を確認した。温冷覚提示方法としては、1点による提示とファントムセンセーションによる提示を行った。その結果、両者において温度知覚位置は、視覚刺激の位置によって変化ことがわかった。

キーワード: 複合現実感, 温冷覚刺激, ファントムセンセーション

1. はじめに

複合現実 (Mixed Reality; MR) 空間では触覚提示部に仮想物体 (CG) を実時間で重畳描画でき、視覚触融合の効果をj得ることができる [1]。仮想空間と実空間の組み合わせによって、新たな表現が可能であり、その中でも触覚刺激は振動刺激を用いた事例は多い [2][3]。振動刺激の提示方法として、錯覚現象の一つであるファントムセンセーション (Phantom Sensation; PhS) がよく用いられ、これは皮膚上の2点を同時に刺激することで、その中間に1点の刺激として知覚される現象である。この現象に、視覚刺激を組み合わせると、触覚刺激の知覚位置が変化することが報告されており [4]、視覚刺激を用いることで、触覚刺激が実在しない場所でも提示できることがわかっている。

我々はこれまでに、MR空間で前腕の数箇所の振動刺激に連動してCGの虫が移動することで、虫が這うような感覚を再現したり [5]、CGの蜂が襲ってくるのと同期して数箇所に痛覚刺激を提示することで、刺激箇所が少なくとも多くの蜂に刺されるような感覚を実現し [6]、MR型視覚刺激が振動覚、痛覚といった皮膚感覚の知覚位置に影響を与えることを確認した。

本研究では、次なるターゲットとして、もう一つの皮膚感覚である温冷覚に着目した。温冷覚は、振動覚や痛覚と比べると受容器が少なく、視覚刺激の影響を受けにくい可能性がある。また、温冷覚の受容器である温点・冷点の数が異なることから、温度が違うと視覚刺激による影響も変化する可能性がある。そこで、本研究では、MR技術を用いて視覚刺激が温冷覚の知覚位置に与える影響について実験を行う。

2. 研究目的と準備

2.1 実験目的

本研究では、温冷覚刺激を「1点で提示する場合」と「PhSを利用して提示する場合」の2種類に分けて実験を行う。前者の実験では、1点の温冷覚刺激に対するMR型視覚刺激の影響や、温冷覚の受容器の差による差異を確認する。後者は、MR型視覚刺激を提示することで、PhSが発生しやすくなるか否かや、1点に温冷覚刺激を提示した場合と比べて、MR型視覚刺激によって温冷の知覚位置がより影響をうけるのか否かを確認する。

2.2 実験準備

【実験環境】

実験で用いるMRシステムの構成を図1に示す。実験では、ビデオスルー型HMD (Canon, HM-A1) およびMR Platform Systemを用いた。体験者の頭部及び実物体の位置姿勢情報は磁気センサ (POLHEMUS, 3SPACE FASTRAK) から取得する。体験者がMR空間を観察する際、HMDのカメラキャプチャ画像に対して手領域の抽出を行い、その領域をマスキングすることで、手領域にCGが重畳描画されないようにする。

【提示する温度】

提示する温度を決めるためには、人間の温度受容器について考える必要がある。温度受容器には温点と冷点の2

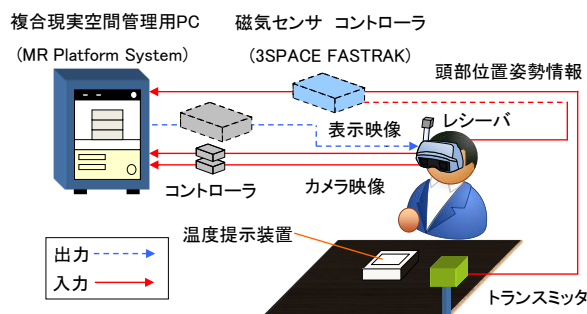


図1 システム構成

Satoshi HASHIGUCHI, Fumihisa SHIBATA,
and Asako KIMURA
Ritsumeikan University

つがある。温点は 32°C 以上、 45°C 以下で興奮し、冷点は 10°C 以上、 30°C 以下で興奮する。また、 45°C 以上、 10°C 以下の温度は痛みとなるため、温かいと知覚される温覚刺激の範囲は $33^{\circ}\text{C}\sim 44^{\circ}\text{C}$ 、冷たいと知覚される冷覚刺激は $11^{\circ}\text{C}\sim 29^{\circ}\text{C}$ となる。Stevens, Choo ら [7] による温度検閾の測定実験では、被験者に提示する温度に約 2°C の差をつけている。そこで、温覚刺激の最大温度である 44°C 、冷覚刺激の最低温度の 11°C を基準にして、温覚刺激を 40°C 、 42°C 、 44°C 、冷覚刺激を 11°C 、 13°C 、 15°C と、 2°C 刻みで設定した。予備実験として被験者 3 名に提示したところ、温度の差を知覚することができた。

【温冷覚刺激】

温冷覚提示には、ペルチェ温度コントローラセット (VPE20-5-20S, 株式会社ビックス) を使用した (図 2)。MR 型視覚刺激を提示した際の視認しやすさを考慮して、温冷覚提示部位を前腕の腹側とした (図 3)。実験スペース内の室温は、一定の温度 (25°C) に設定し、室温の変化による温度知覚への影響を配慮した。

【MR 型視覚刺激】

まずはシンプルな形状の視覚刺激による影響から確認するために、提示する MR 型視覚刺激は、長方形の仮想物体とした。長方形の大きさは長辺 120mm 、短辺 20mm とした。また、長方形の色は赤色 (R: 255, G: 0, B: 0) と青色 (R: 0, G: 0, B: 255) を設定した。これは、被験者に暖色や寒色を提示することによって温度をイメージしやすくするためである。また、MR 型視覚刺激の提示位置は、図 4 に示す通り、温度提示位置と同じ前腕の腹側とした。

3. 実験 1: MR 型視覚刺激の温冷知覚位置への影響

本研究の第一段階として、前腕の 1 点に温冷覚刺激を提示した際の、MR 型視覚刺激による温冷覚知覚位置への影響を確認する。

3.1 実験条件と手順

冷覚刺激 11°C 、 13°C 、 15°C 、温覚刺激 40°C 、 42°C 、 44°C の計 6 種類を各々提示する。被験者は右前腕を温度提示装置の上に置き、被験者の前に置かれた白い紙に温冷覚刺激を知覚した位置を記録する (図 4)。6 種類の提示温度に対して、長方形の MR 型視覚刺激を前腕の中心、中心から手首側、肘側それぞれに 27.5mm 離れた位置に提示した場合の 3 種類の計 18 パターンを各パターンにつき 3 回ずつ試行した。MR 型視覚刺激として、被験者に温覚刺激を提示する場合は赤い長方形、冷覚刺激を提示する場合は青色の長方形を提示している。被験者は 20 代の学生 5 名 (男性: 5 名) である。実験手順は以下の通りである。

- (1) 被験者の前腕を計測し、刺激位置 (中心) を決定
- (2) 提示パターンから 1 種類を選択し、温度を設定
- (3) 被験者は前腕を温度提示装置の上に乗せると同時に MR 型視覚刺激を提示
- (4) 被験者は白い紙に温冷を知覚した位置を記録
- (5) 記録用の白い紙を取り替える

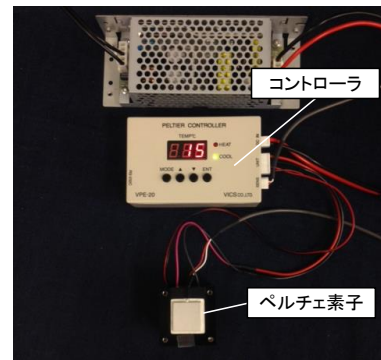


図 2 ペルチェ温度コントローラセット

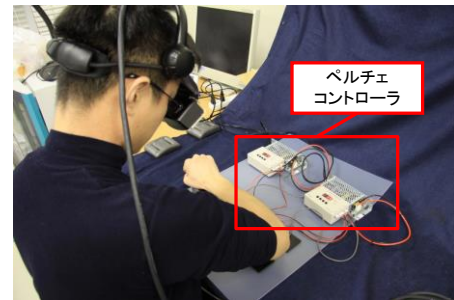


図 3 実験の様子

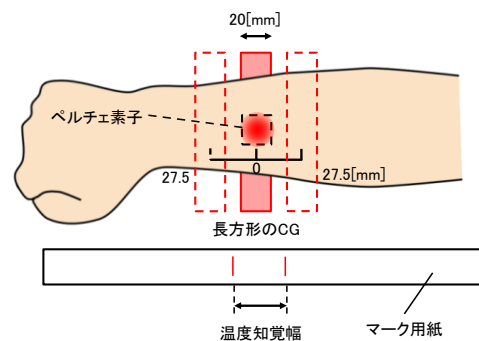


図 4 温度知覚位置の計測

(6) 皮膚の温度変化の影響を排除するために十分なインターバルを設ける

(7) (2)~(6)を残りのパターン繰り返す

3.2 結果

結果を図 5 に示す。縦軸は被験者が温冷を知覚した位置、横軸は MR 型視覚刺激を提示した位置を示す。点線は MR 型視覚刺激の提示位置である。結果から、以下のことがわかる。

- (i) 温・冷覚刺激のいずれに関しても、MR 型視覚刺激により温冷の知覚位置が変化している
- (ii) 提示温度による知覚位置の影響は少ない
- (iii) 温覚刺激、冷覚刺激ともに、MR 型視覚刺激による知覚位置の変化は同程度

(i) に関して、本来ならば温度を提示した位置、すなわち前腕の中心に温冷覚刺激を知覚するはずである。しかし、被験者の温冷覚刺激の知覚位置は、MR 型視覚刺激の提示位置に引きずられるように変化している。この場合、温冷覚刺激よりも視覚刺激の方が優位となり、知覚位置に影響を与えたと考えられる。

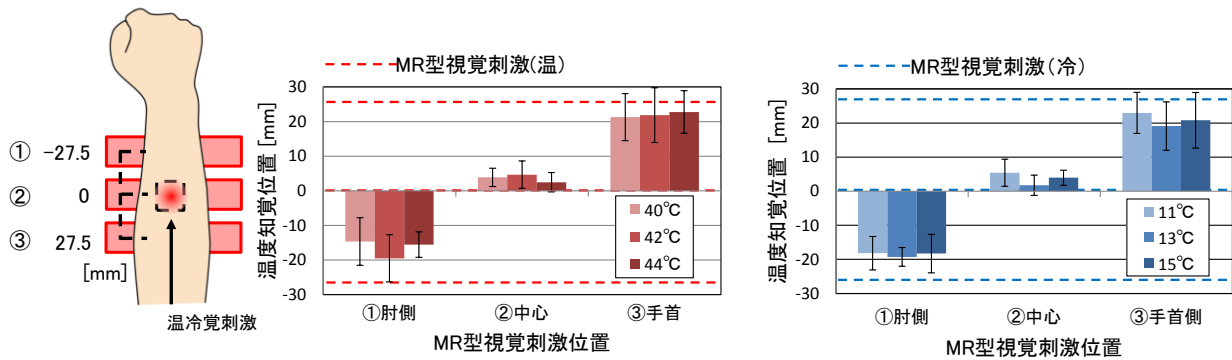


図5 実験1の結果

(ii) に関して、温覚刺激なら高温、冷覚刺激なら低温であるほど強く明瞭に知覚するため、当初は、MR型視覚刺激を提示したとしても知覚位置が変化しにくくなると予想していた。しかし、温覚刺激の44°C、冷覚刺激の11°Cに対しても、他の条件と同様にMR型視覚刺激の影響がみられた。このことから、44°Cや11°Cのような強い温冷覚刺激であっても、MR型視覚刺激が温度の知覚位置に影響を与えることが分かる。

(iii) に関して、当初の予測では、温点・冷点の分布の差によって知覚位置に差異が生じるのではないかと考えていた。冷点は温点よりも多いため、温覚より冷覚の方が温度を感じやすいということが考えられ、冷覚刺激のほうがMR型視覚刺激による影響が見られにくいのではないかと予想していた。しかし、温・冷覚刺激ともにMR型視覚刺激による知覚位置への影響は同程度であった。このことから、温度知覚位置に関して、温点や冷点の受容器の分布による温度知覚よりも視覚刺激からの影響を強く受けていることがわかった。

4. 実験2: MR型視覚刺激のPhS発生率への影響

先行研究において、温冷覚刺激でもPhSが発生することがわかっている[8]。しかし、PhSの知覚には個人差があり、温冷覚刺激を提示しても2点の刺激として知覚する場合がある。そこで、まずMR型視覚刺激を提示することによって、温冷覚刺激によるPhSが発生しやすくなるか確認する。

4.1 実験条件と手順

実験2では、温覚刺激として40°C、42°C、44°Cの3種類、冷覚刺激として11°C、13°C、15°Cの3種類の計6種類の温度を提示する。被験者は右前腕を温度提示装置の上に置き、装置の前に置かれた白い紙に温冷を知覚した位置を記録する。温冷覚刺激の6種類の提示温度に対して、長方形のMR型視覚刺激を前腕の中心に提示した場合、なにも提示しない場合の2種類、計12パターンを各パターンにつき3回ずつ試行する。なお、温覚刺激を被験者に提示する場合は赤い長方形を提示した。冷覚刺激を被験者に提示する場合は青色の長方形を提示した。被験者は20代の学生10名(男性:9名、女性:1名)である。

4.2 結果

結果を図6に示す。縦軸はPhSの発生率、横軸は提示した温度を示している。結果より以下のことがわかる。

- (i) MR型視覚刺激がない場合において、温覚刺激よりも冷覚刺激の方がPhSの発生率が低い
- (ii) 温冷覚刺激のどちらにおいてもMR型視覚刺激を提示することでPhSの発生率が向上
- (iii) MR型視覚刺激を提示した冷覚刺激によるPhSは、温覚刺激の場合と同程度で発生している

(i) から温覚刺激よりも冷覚刺激の方が刺激を2点に感じやすいということがわかる。前述したとおり、前腕における温度受容器の分布から、温覚刺激の受容器よりも遥かに多くの冷覚刺激の受容器が存在している。このことから、冷覚刺激は、PhSが発生しにくかったと考えられる。

実験1と同様に、温冷の知覚位置はMR型視覚刺激の位置に定位しやすくなることが考えられる。しかし、(ii)では視覚の効果によって、2点に定位していたものが、視覚と同位置の1点として、知覚されやすくなったことを示す

(iii) において、(i)の結果でもあるようにMR型視覚刺激がない場合は、冷覚刺激の方がPhSが発生しにくい。しかし、MR型視覚刺激を付与することによって、PhSは同程度発生するようになった。ここでも視覚刺激の影響は大きく、2点に定位していた冷覚刺激でも視覚刺激の位置に定位しやすくなっている。

5. 実験3: MR型視覚刺激のPhSによる温冷知覚位置への影響

前腕の中心にPhSが発生した状態で、MR型視覚刺激の提示位置のみを変化させることで、温冷の知覚位置が変

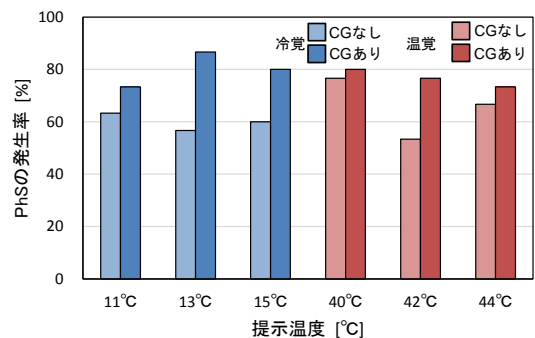


図6 PhSの発生率

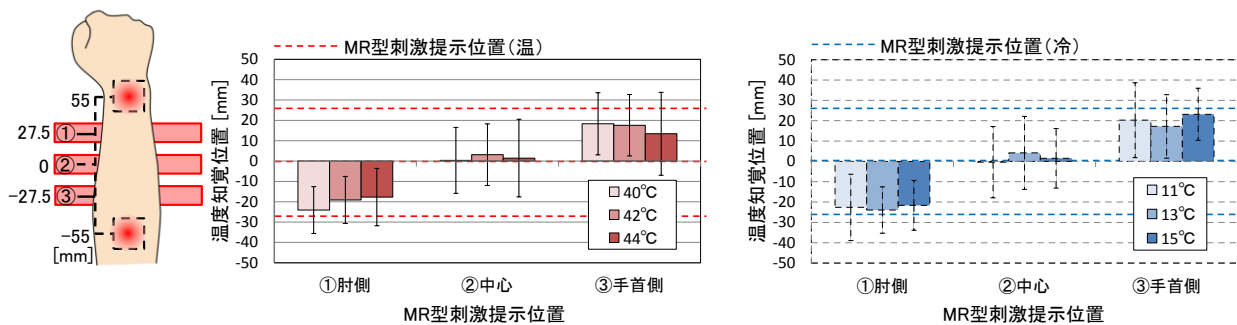


図7 PhS 知覚位置

化するかを確認する。

5.1 実験条件

実験2では、MR型視覚刺激を前腕の中心に提示することによって、PhSを知覚しやすくなるということがわかった。そこで、実験3では実験1と同様に6種類の提示温度に対して、長方形のMR型視覚刺激を前腕の中心の他にも手首側と肘側に提示した場合、計18パターンを各パターンにつき3回ずつ試行した。手首側と肘側のMR型視覚刺激の提示位置は、前腕の中心から温度提示装置までの距離27.5mmの位置に設置した。なお、温覚刺激を被験者に提示する場合は赤い長方形、冷覚刺激を被験者に提示する場合は青色の長方形を提示した。被験者は20代の学生10名(男性:9名,女性:1名)である。実験手順は実験1と同様である。

5.2 結果

結果を図7に示す。縦軸は被験者が知覚した温度の位置、横軸は提示した温度を示す。図から以下のことがわかる。

- (i) MR型視覚刺激の提示位置にPhSの知覚位置が引きずられる傾向がみられた
- (ii) 温度の知覚位置は、温冷覚刺激ともにMR型視覚刺激の位置に定位した
- (iii) 提示温度による差異はみられなかった

(i) から実験1と同様に、PhSによって温冷を提示した場合でも、温度知覚位置はMR型視覚刺激に影響をうけることがわかった。よって、単一の刺激でも、PhSでも、MR型視覚刺激との組み合わせることで、温冷覚の提示位置をコントロールできることがわかった。

(ii) から、PhSによる提示においても、温覚や冷覚といった受容器の数の差異に関わらず、MR型視覚刺激の提示位置に温度が定位したことがわかる。よって、PhSで提示する場合も、一点に温冷覚刺激を行う場合と同様に、視覚刺激の位置によって、知覚位置が大きく影響をうけることがわかる。(iii)においても同様で刺激強度による影響も少なく、本実験で設定した温度では、視覚刺激の提示位置に定位することがわかった。

6. まとめ

本研究では、皮膚感覚の1つである温冷覚に注目し、MR型視覚刺激を提示することによる温冷覚刺激の知覚位置への影響を確認した。実験結果を分析・整理した結果、

以下のような知見が得られた。

- (a) 温冷覚刺激のどちらにおいても、提示温度の影響をうけずにMR型視覚刺激の位置に温冷覚が定位する
- (b) 温覚刺激と冷覚刺激のどちらにおいてもMR型視覚刺激を提示することでPhSを知覚しやすくなった
- (c) 温冷覚刺激を一点で行う場合でもPhSで行う場合でも、MR型視覚刺激の提示位置に温冷覚が定位する

以上の結果より、温冷知覚の位置は、視覚刺激に大きく起因しており、提示温度や提示方法に影響がうけにくいことがわかった。このことから、視覚刺激を用いることによって制御が難しい温冷覚刺激であっても提示位置の制御は容易になる可能性がある。

今後は、視覚刺激が温冷覚刺激に影響を与える範囲を明らかにし、視覚刺激を用いた温冷覚提示方法を検討する。

謝辞 本研究は、科研費・若手研究B「複合現実空間における痛覚・温冷覚提示に関する研究」による。また、実験に協力してくれた同研究室の中尾仁志氏、中島大貴氏に感謝する。

参考文献

- [1] Y. Ban, et al.: "Augmented Endurance: Controlling fatigue while handling objects by affecting weight perception using augmented reality," Proc. Conf. on Human Factors in Computing Systems, pp. 69 - 78, 2013.
- [2] H. Sawada, et al.: "TactoGlove-Displaying tactile sensations in tacto-gestural interaction-," Proc. Conf. on Biometrics and Kansei Engineering, pp. 216 - 221, 2011.
- [3] M. Nakahara, et al.: "Sensory property in fusion of visual/haptic cues by using mixed reality," Conf. Symp. on Haptic Interfaces, pp. 565 - 566, 2007.
- [4] A. Nijijima, et al.: "Influence analysis of visual stimuli on localization of tactile stimuli in augmented reality," Proc. Conf. on Virtual Reality, pp. 105 - 106, 2012.
- [5] 森尚平ら: "Mass of Roaches! - 振動と視覚的演出の同期によるMRアトラクションの演出 -", 第15回日本VR学会大会論文集, pp. 398 - 401, 2010.
- [6] 片岡佑太ら: "Hornet Attacks! - 痛覚刺激を導入した複合現実感アトラクション -", 第18回日本VR学会大会論文集, pp. 592 - 593, 2014.
- [7] Stevens JC, et al.: "Temperature sensitivity of the body surface over the life span," *Somatosens Mot Res* 15, pp. 13 - 28, 1998.
- [8] 中尾仁志ら: "複合現実型視覚刺激が熱ファントムセンサーに与える影響に関する研究", 信学技報, A-16-11, p. 217, 2013.