

バーチャルリアリティにおける 体験メディアの設計

—— 痛覚・温冷覚に関する研究事例 ——

橋 口 哲 志

Satoshi HASHIGUCHI

理工学部情報メディア学科 助教

Assistant Professor, Department of Media Informatics



1. はじめに

人工現実感（Virtual Reality；VR）とは、CG や動画画像で作られたパソコン上の空間（仮想空間）をまるで現実のように体験する技術である。2016 年以降、安価で高性能な頭部装着型ディスプレイ（Head Mounted Display；HMD）の登場により、VR はアート&エンターテインメント分野だけでなく、教育、医療などといった他分野に新風を吹き込んでいる。また、VR の発展形で仮想空間と現実空間を融合した拡張現実感（Augmented Reality；AR）や複合現実感（Mixed Reality；MR）が実現できる HMD も開発され、VR、AR、MR の総称である X-Reality（XR）の技術は発展が著しい。XR は仮想空間と現実空間を活用した視空間、サラウンドシステムを用いた音場、その空間で感じられる力触覚など、各感覚メディアを組み合わせ一つの体験を提供できる。この体験メディアを用いて貴重な経験や危険な経験などを疑似体験させるためには、実現したい体験を分析し、感覚メディアをどのように組み合わせるかを設計しなければならない。この五感の組み合わせは、単に同じような感覚として組み合わせるにも、各感覚の特性（感覚モダリティ）を考慮しなければ体験を再現することができない。その一方

で、敢えて各感覚間に齟齬をつくると単独では起こり得ない錯覚現象（クロスモーダル効果）が生起する場合もある。そこで、このような感覚モダリティを考慮した設計として、MR を用いた視空間と触覚刺激の組み合わせに関する研究について紹介する。

2. Mixed Reality を用いた触覚刺激の設計

当該分野では、様々な方式の触覚提示装置が提案・開発されてきたが、コンテンツに活用するにはまだ多くの課題がある。大型・設置型の触覚提示装置は、装置の個性を活かした作品になるため、表現が限定的になってしまう。一方、装着型で汎用的な振動覚刺激や電気刺激は、単体で用いるには提示範囲が狭いため、単純に刺激素子を増やす、または触覚の錯覚現象を用いるなどの工夫が必要となる。例えば、ファントムセンセーション¹⁾（Phantom Sensation；PhS）という錯覚現象では、皮膚上の 2 点を同時に刺激することで、その 2 点の中間に単一の刺激として知覚される。この PhS を活用することで少ない提示箇所でも複数箇所への提示が可能となるが、知覚できる刺激の位置が正確でないことや刺激は実際の刺激よりも強度が弱い²⁾といった欠点もある。よって、触覚提示装置をコンテンツに活用するために、狙い通りの触覚をつくるには 3 つのこと

を考慮しなければならない。

- ・汎用的な刺激であること
- ・少ない提示箇所でも任意に刺激位置を決定できること
- ・意図した箇所に正確に提示ができること

このように触覚提示技術には重要な課題がある。一方、MR では現実空間に仮想物体を実時間に継ぎ目なく融合する。それ故に VR とは異なる特徴として、現実空間に存在するものを効果的に利用し、それに付与したい情報だけを生成・融合できる。この特徴は視覚による情報提示のみに特化したものではなく、触覚の情報提示としても新しい効果を生み出す³⁻⁵⁾。つまり、MR では本物の触感を得つつ、そこに視覚的にのみ電子的なデータを重ね合わせる(以降、「MR 型視覚刺激」と呼ぶ)ことで単独では起こり得ない効果が得られるのである。例えば、単純に触覚のイメージに準ずる仮想物体を重畳描画することで、触感のリアリティが向上する⁶⁾。また、意図的に触覚刺激と異なる位置に仮想物体を同時に提示することで、触覚の知覚位置が視覚刺激の方へ転移する⁷⁾。このように、刺激素子による提示部及び PhS による刺激に任意の仮想物体を重畳描画することで、刺激の強調及び提示位置の補完を図ることができる。

これらの相互作用は、振動覚に関して有効であることが確認されているが⁸⁾。他の皮膚感覚である痛覚や温冷覚では確認されていない。痛覚・温冷覚がコンテンツにもたらす効果は、振動覚にはない特徴をもっている。例えば、痛覚では裂傷を負うことなく痛みを体験ができ、不快感や恐怖感への事前教示などに応用できる。また温冷覚では他の触覚刺激では再現できない質感を再現でき⁹⁾¹⁰⁾、感情や心情に影響を与えられる¹¹⁾。

しかし、これらの痛覚・温冷覚提示方法に関しても、振動覚刺激と同様の問題点がある。触覚の受容器は、全身に痛点 200 万個、圧点 50 万個、冷点 25

万個、温点 3 万個と言われている¹²⁾。そこで、痛覚の知覚位置は明瞭な感覚であり、広範囲に提示するには提示素子の個数が増え過ぎないようにする工夫が必要となる。一方、温冷覚の知覚位置は曖昧な感覚であり、正確な位置に知覚される方法が必要となる。このように痛覚・温冷覚は、振動覚以上にコンテンツに活用するための上記 3 条件を考慮することが困難になる。

そこで、痛覚・温冷覚でもコンテンツに応用できる提示方法として、MR 型視覚刺激を用いた痛覚・温冷覚提示方法を提案した。提示方法としては、振動覚刺激と同様に刺激素子による提示部に任意の仮想物体を重畳描画することで提示位置の補完を図った。

3. MR 型視覚刺激が痛覚の知覚位置に与える影響

体験システムには、ビデオシースルー型 HMD (Canon, VH-2002) および MR Platform System を用いた(図 1)。体験者の頭部の位置姿勢情報は磁気センサ (POLHEMUS, 3 SPACE FASTRAK) から取得する。皮膚に対する痛覚刺激には、熱、機械、化学、電気刺激など様々なものがある。VR/MR コンテンツで痛覚を活用するには、大型で煩雑な装置は好ましくない。また、皮膚に裂傷を負うような刺激や、注射針のような皮膚侵入を許容するものは使用できない。これらの条件を満たす痛覚提示方法として、制御が容易であり、容易に装置の着脱が可能となる電気刺激を採用する。この電気刺激は、温冷覚のように曖昧な刺激とは対称的に鋭敏な刺激となる。

痛覚提示装置に使用した部品と装置の概要を表 1、図 2 に示す。電気刺激の発生装置として、コッククロフト・ウォルトン回路を用いて昇圧した電流を入出力ボード (共立電子産業, RBIO-2 U) に通してコンピュータ制御する。使用する痛覚刺激は、パルス幅 0.15 秒の人体に有害な生理的影響を与えない電気刺激¹³⁾であり、320 V, 1.8 A で裂傷しない

程度の安全な範囲で使用した。痛覚強度に関する予備実験を行い、この痛覚刺激は体験者のほとんどが痛覚として認識できた。

電極は、厚さ 1 mm の黒色ゴムシートに穴を開け、導線 (0.12 mm 径、10 芯) をこの穴に通して固定する。そして、導線に電流を流すことで痛覚を

提示する。電極付きのゴムシートは人の平均前腕長に近い縦 240 mm、横 50 mm のものを使用し、ゴムシートの中央が前腕（橈骨点から橈骨茎突点間）の中央と一致する。また、前腕に電極部が密着するように固定する。なお、体験者が電極の位置を予想できないように、電極の位置をテープで隠している。

そこで、我々はこの痛覚提示を用いて MR アトラクションを試作し、「第 18 回 日本バーチャルリアリティ学会大会」（於グランフロント大阪）で技術展示を行った¹⁴⁾。この MR アトラクションでは、蜂に襲われる感覚を疑似体験させるため、P-PhS の提示と蜂の仮想物体を同期させて利用した（図 3）。痛覚提示装置は 3 箇所に着装させたが、展示の結果から「装置を着装した 3 箇所よりも多く刺された感覚があった」といったコメントが得られた。よって、少ない痛覚提示装置でも、より広域に痛覚を提示できることを示唆した。さらに実験を行ったところ、MR 型視覚刺激が痛覚の知覚位置に影響を与えることを確認し、痛覚のような鋭敏な刺激であってもクロスモーダル効果で刺激範囲を拡大できることがわかった¹⁵⁾。

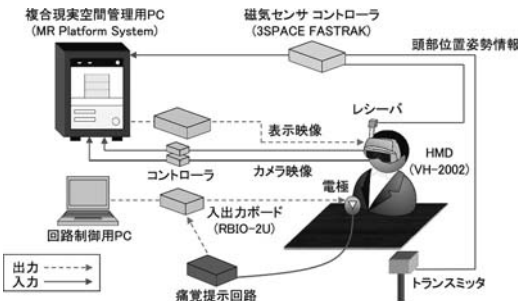


図 1 システム構成（痛覚）

表 1 痛覚提示回路に用いた部品

部品名	詳細
コンデンサ (C)	耐圧：1000 V、容量：1500
ダイオード (D)	順電圧：1.1 V、順電流：1 A 逆電圧：1000 V

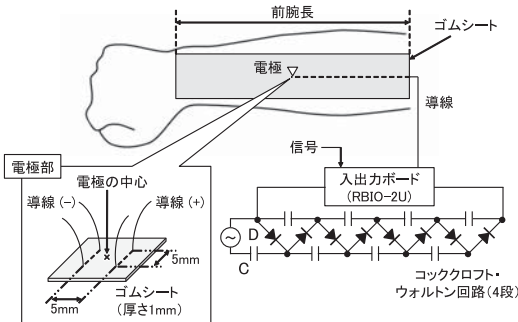


図 2 痛覚提示装置



図 3 技術展示の体験風景

4. MR 型視覚刺激が温冷覚の知覚位置に与える影響

体験システムには、ビデオシースルー型 HMD (Canon, HM-A1) および MREAL Platform を用いた。MR 型視覚刺激を提示した際の視認しやすさを考慮して、前腕に温冷覚刺激を提示する。それに加え、温冷覚刺激の制御を考慮し、温冷覚提示装置を卓上に固定した上で前腕の腹側に提示する（図 4）。よって、提示温度を一定に保つ単純な制御のみで、温度の設定条件を統一した。温冷覚提示装置には、一定に保つ制御を有するパルチェ温度コントローラセット（VPE 20-5-20 S、株式会社ビックス）を使用する（図 5）。パルチェ素子の大きさは 20×20 mm で 40×40 mm の台に固定されている。また、被験者の肘と手首を支えるように、手首と肘に手置き台（パルチェ素子は付いていない）を 1 台ずつ

つ配置している。この台に手首と肘を置くことによって、前腕と温冷覚提示装置の接触部に過度な圧力がかからないようにする。

実験に使用する MR 型視覚刺激は、長方形の仮想物体を提示する。これは、シンプルな形状の視覚刺激を用いることで、MR 型視覚刺激の提示位置や提示幅を系統的に実験するためである。長方形の長辺は、図 4 のように前腕の幅よりも十分に長くなるよう 120 mm に設定し、短辺は各実験によって変更する。また、長方形の色を温覚刺激の場合は赤色 (R: 255, G: 0, B: 0)、冷覚刺激の場合は青色 (R: 0, G: 0, B: 255) に設定した。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。

これらのシステムを用いて系統的に実験を行ったところ、次のようなことがわかった¹⁶⁾。

- ・ MR 型視覚刺激と温冷覚刺激との提示位置に差異が生じた場合、温冷覚の知覚位置が視覚刺激の提示位置に引きずられる

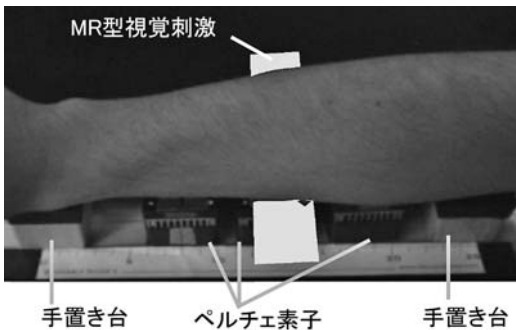


図 4 MR 型視覚刺激 (温冷覚)

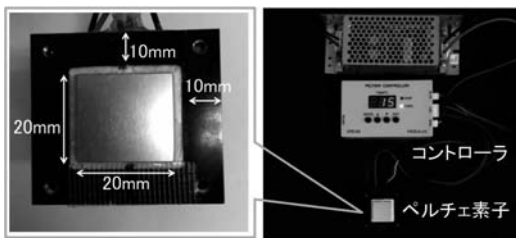


図 5 温冷覚提示装置

- ・ MR 型視覚刺激の幅を変更すると、温冷覚の知覚幅も同様に变化する。特に温冷覚提示装置よりも狭く MR 型視覚刺激の幅を提示した場合、温冷覚の知覚幅も狭く感じる
- ・ 以上の傾向は、温度によって影響は変わらなかった

これらの結果より、ペルチェ素子のように一定の接触面積を必要とする温冷覚提示装置であっても、MR 型視覚刺激を提示することで、その知覚幅をより狭く錯覚させることが可能であることが示唆された。更に視触覚の相互作用を応用することで、制御が困難である温冷覚提示での装置の小型化や制御の簡易化に貢献できることを示唆した。

5. おわりに

MR 型視覚刺激を用いた痛覚・温冷覚提示方法として、刺激素子による提示部に任意の仮想物体を重畳描画することで提示位置の補完を図る手法を提案した。痛覚・温冷覚刺激と異なる位置に MR 型視覚刺激を提示した場合、視覚刺激の方に引きずられる傾向にあった。それ故に刺激箇所だけでなく、視覚刺激によって提示位置の補完ができることを確認した。

今後もこれらの研究事例のように感覚モダリティを考慮した設計を行うことで臨場感のある体験が提供し、かつ次世代メディアを用いたヒューマンインタフェースの設計指針として人間拡張の可能性についても探っていきたいと考えている。

参考文献

- 1) G. V Békésy, "Neural Funnelling along the Skin and between the Inner and Outer Hair Cells of the Cochlea", The Journal of the acoustical society of America, vol.31, No.9, 1959, pp.1236-1249.
- 2) 水上陽介, 澤田秀之, 「薄型触覚提示デバイスによる高次知覚を利用した触覚情報提示」, インタラクション論文集, 2007, pp.121-128.
- 3) 家崎明子, 杉田明弘, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀

- 行,「複合現実型視覚刺激による触印象への影響」,日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.13, No.2, 2008, pp.129-139.
- 4) 木村朝子, 柚田明弘, 面迫宏樹, 柴田史久, 田村秀行,「Shape-COG Illusion: 複合現実感体験時の視覚刺激による重心知覚の錯覚現象」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.16, No.2, 2011, pp.261-269.
- 5) 平野有一, 木村朝子, 柴田史久, 田村秀行,「Dent-Softness Illusion: 複合現実型視覚刺激による硬さ知覚への影響」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.16, No.2, 2011, pp.271-278.
- 6) 中原守勇, 北原格, 大田友一,「複合現実感における視覚と触覚の融合効果を利用した物体形状提示に関する実験的検討」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.13, No.1, 2008, pp.25-36.
- 7) 新島有信, 小川剛史,「拡張現実感における視覚刺激位置が触知覚に与える影響の分析」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.17, No.2, 2012, pp.73-78.
- 8) 森尚平, 杉本一平, 永坂貴浩, 村田龍吾, 山元明彦, 田村秀行,「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 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2010, pp.398-401.
- 9) A. Yamamoto, B. Cros, H. Hasgimoto, and T. Higuchi, "Control of Thermal Tactile Display Based on Prediction of Contact Temperature", Proc. IEEE Int'l Conf. Robotics and Automation (ICRA'04), 2004, pp.1536-1541.
- 10) R. L. Peiris, W. Peng, Z. Chen, L. Chan, and K. Minami-zawa, "ThermoVR: Exploring Integrated Thermal Haptic Feedback with Head Mounted Displays", Proceedings of the 2017 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2017, pp.5452-5456.
- 11) L. E. Williams, and J. A. Bargh, "Experiencing Physical Warmth Promotes Interpersonal Warmth", SCIENCE, vol.32, 2008, pp.606-607.
- 12) 伊藤誠二,「痛覚の不思議」, 講談社, 2017, p.26.
- 13) EC/TS 60479-1 Ed. 4.0: "Effects of current on human beings and livestock - Part 1: General aspects," 2005.
- 14) 片岡佑太, 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子,「複合現実型視覚提示が痛覚刺激の知覚に及ぼす影響」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.19, No.2, 2014, pp.275-283.
- 15) 片岡佑太, 中西雄大, 斉藤純哉, 橋口哲志, 木村朝子, 柴田史久,「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 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集, 2013, pp.592-593.
- 16) 橋口哲志, 柴田史久, 木村朝子,「複合現実型視覚刺激が温冷覚の知覚位置・知覚幅に与える影響」, 日本バーチャルリアリティ学会論文誌, vol.21, No.3, 2016, pp.503-511.

