

バーチャルリアリティ環境への応用を目的とした触覚提示手法：自身の研究紹介と GEIKO EXPO 2024 での発表の概要

亀岡, 嵩幸
九州大学大学院芸術工学研究院メディアデザイン部門

<https://doi.org/10.15017/7343281>

出版情報：芸術工学研究. 40, pp.46-50, 2025-03-31. Faculty of Design, Kyushu University
バージョン：
権利関係：

バーチャルリアリティ環境への応用を目的とした触覚提示手法： 自身の研究紹介と GEIKO EXPO 2024 での発表の概要

Designing Haptic Technology for Applications in Virtual Reality Environments:

Summary of my previous studies and my presentation at GEIKO EXPO 2024

亀岡嵩幸¹

KAMEOKA Takayuki

Abstract

The widespread adoption of consumer HMDs has advanced VR research from traditional laboratory-based studies to the exploration of multisensory experiences designed for user interaction. This article introduces haptic feedback systems integrated into HMDs, user behavior studies in VRSNS, and a system replicating urinary incontinence sensations. These past efforts were presented at GEIKO EXPO 2024, reflecting on and consolidating future directions for haptic experience design.

1. はじめに

バーチャルリアリティ (Virtual Reality、以下 VR) 研究の状況は安価なヘッドマウントディスプレイ (Head mounted display、以下 HMD) の普及により様相を大きく変えている。旧 Oculus 創業者のパルマー・ラッキー氏が開発し、2013 年に発売した Oculus Rift DK1 では従来のコストのかかる光学レンズを用いて映像を湾曲させる手法から、安価な魚眼レンズとコンピュータによる事前計算を元に画像を歪めることでバーチャル環境の映像を人間の視野角に応じて提示することに成功した¹⁾。加えてスマートフォンの普及による加速度センサやディスプレイの低価格化も相まって多くの企業が HMD 開発と VR 環境を活用したアプリケーション開発に参入し、市場として成立するだけに成長している。

研究領域における VR 技術の開発の変化として従来の人間の感覚器官を個別に再現、提示する研究から、それらの感覚と HMD を用いた VR 映像を組み合わせた多感覚を提示する研究が多くなされている。Web of science を用いて VR、HMD、Virtual Reality の語をタイトルに含む論文数を 1993 年から 2023 年にかけて調査したところ、2015 年を境に投稿論文数が増えており、安価な HMD の普及により研究においても VR 技術の発展著しいことがわかる (図 1)。またこのような HMD の普及により、VRChat や cluster といった VRSNS (3DCG で構成された HMD を用いて没入可能なソーシャルネットワークサービス) をはじめとするメタバース上の活動が活発化し、人々の行動様式やコミュニティ活動にも影響を与えている。

連絡先：亀岡嵩幸, kameoka@design.kyushu-u.ac.jp

¹ 九州大学大学院芸術工学研究院メディアデザイン部門
Department of Media Design, Faculty of Design, Kyushu University

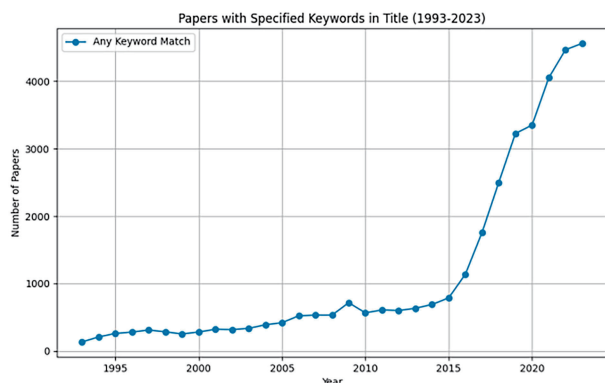


図 1 1993 年から 2023 年にかけて VR, HMD, Virtual Reality の語をタイトルに含む論文の各年における発行数。2015 年を境に発行数が急増している。

2. 多感覚 HMD の開発

安価な HMD の普及は新たな研究の領域を切り開くことにもつながった。従来の多感覚 VR 体験の提案は映像提示を行う HMD と外部の感覚提示装置を組み合わせることで実現していたが、HMD そのものに感覚提示装置を内蔵する取り組みが普及しつつある。熱²⁾、圧力³⁾、振動⁴⁾、超音波刺激⁵⁾などの触覚刺激から匂いを提示する嗅覚刺激⁶⁾など様々な感覚の提示が検討されている。

2.1 吸引圧提示機構を内蔵した HMD

前述のような HMD に多感覚提示装置を内蔵する研究はバーチャル環境よりユーザーが頭部にて受けるフィードバックを表現している。しかしながら VR 体験におけるユーザーインタラクションにおいては、手を用いた探索動作やオブジェクトの操作が支配的であり、事実多くの装着型触覚フィードバック装置は手を対象としている⁷⁾。そこで私が提案している手法はバーチャル環境において手掌部に生じる触覚フィードバックを、HMD と接する顔面へ代替的に提示するというものである。このような身体の異なる部位へ触覚フィードバックを提示する表現手法は *Referred Haptics* と呼ばれ⁸⁾、手首⁸⁾や背部⁹⁾、足裏¹⁰⁾などへバーチャル環境にて指先に生じる触覚フィードバックを提示している。触覚提示手法として吸引圧刺激を採用しており、HMD という限られた空間において高密度に触覚提示可能な点や吸引を圧覚と感ずる錯覚現象を応用することでバーチャルオブジェクトとの接触感を提示できる点において優れている^{11)~15)}。

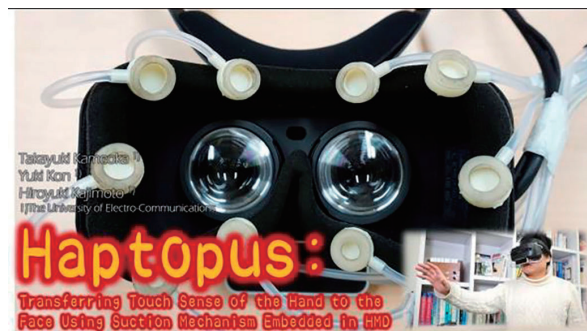


図 2 HMD に吸引パッドを取り付け、吸引圧刺激を顔へ提示する Haptopus。

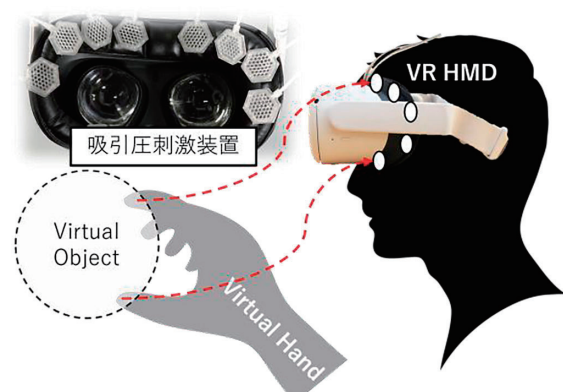


図 3 VR 環境にて指先に生じる触覚フィードバックを顔へ代替的に提示する概念図。

3. VRSNS におけるコミュニティ活動研究

HMD の普及は VR 体験を従来の個人で VR 環境に没入し体験する活用法からオンライン越しに遠隔地のユーザーと VR 環境を共有し、アバターを介してコミュニケーションを行うコミュニケーションツールとしての活用法へと進展させた。従来のテキストやビデオチャットによるオンラインコミュニケーションから、3D アバターと HMD による簡易モーションキャプチャを組み合わせた非言語的コミュニケーションが付与されることで他者の実在感をより感じられるようになり、また空間として VR 環境が存在することで目的もなく「ただそこに在る」ことが可能となった。

このような背景から、VR 環境におけるユーザーの振る舞いやインタラクションは従来の実験室環境だけでは観測できない長期の利用やコミュニケーションに起因する新たな研究領域として成立しつつある。

3.1 バーチャル環境における行動調査

私は自身も VRSNS ユーザーとしてユーザーのコミュ

ニケーションやインタラクションを観察する中で、3DCG空間がユーザー間のコミュニケーションに影響を与えるのではないかと推察し、予備的な行動調査を行った。2人組のユーザーを簡易なオブジェクトと設置した空間に配置し、5分間自由に会話をさせたときの移動軌跡を調査した。その結果、一部のユーザーはVR環境での鏡に強く関心を示し、またもう一方のユーザーがそれに引き寄せられる形で鏡の前に集まるという現象を観測した。従来VRSNSユーザーはVR環境において鏡を好むという傾向が見られたが、それを簡易的に実証した形となる¹⁶⁾。

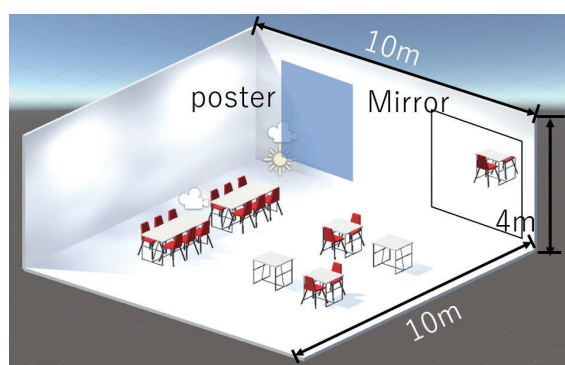
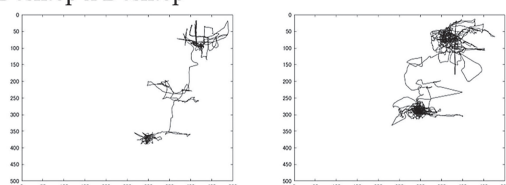
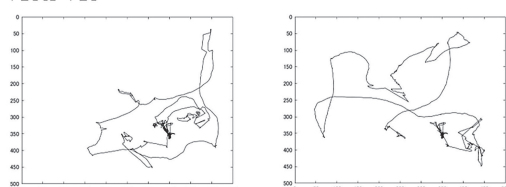


図4 VR環境におけるユーザーの行動調査に使用した3D空間。鏡、椅子、机、ポスターが配置されている。

Desktop x Desktop



VR x VR



Desktop x VR

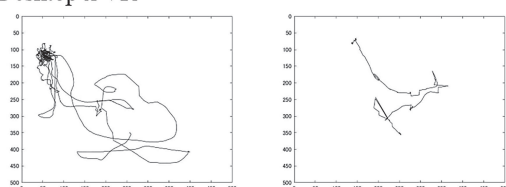


図5 ユーザーのVR環境へのアクセス方法（HMD使用、平面モニタ使用）ごとの軌跡。

3.2 バーチャル学会

上記のような小規模なユーザーインタラクションだけでなく、大規模なユーザー間の交流もVRSNS上では発生している。私が主催しているバーチャル学会もその一つである。バーチャル学会では既存の学会活動をVRSNS上に実施することで学会の本質的な価値を再認識し、VR環境における学会の最適な開催形式を探るという学術的価値と、VRSNSにより発展したユーザーコミュニティに対し学術活動の文化を根付かせることで新たな学術活動の切り口を開拓するという2つの側面がある。2019年より開始したこの活動は2024年の開催にて6回目を迎え、多くの参加者や発表者、協賛企業からの支援をいただいて活動を継続している。現在バーチャル学会では場の提供という価値を提供しているが、今後バーチャル学会の取り組みをメタ的に観測することによって、新たなユーザーインタラクションの学術的知見を発見していく。



図5 バーチャル学会2024（2024年12月7日、8日開催）でのポスター発表の様子。写真はclusterでの発表の様子。

4. 多感覚バーチャルリアリティ体験の普及に向けて

4.1 触覚体験デザインの必要性

これまで紹介してきたように、HMDの普及によってバーチャルリアリティの研究は研究室内での取り組みにとどまらず、実際にユーザーが使用し、その使用感が評価される時代となった。私の専門の触覚分野においても、触覚体験を通した学習効果やコミュニケーションに与える影響など触覚が人に与える影響の研究はなされてきたが、VR体験との組み合わせによる効果も同様に研究されていくだろう。その際に重要となるのが触覚体験を俯

瞰的に捉えた人々の日常との接点や体験の容易さ、体験の共有である。

4.2 失禁体験装置

触覚体験の設計の例として、私が開発している失禁体験装置¹⁶⁾について紹介する。本装置は腹部に装着した空気圧圧迫装置と股間部から足先にかけて装着した水袋を用いて、尿意を感じている際の腹部の圧迫感と尿失禁時の生暖かさを再現することで、尿失禁感覚を提示するものである。本装置はリアルな濡れ感の再現に定評があるが、体験全体を俯瞰してみると、体験者のみならず周囲の人間も含めたインスタレーション作品となっていることがわかる。尿失禁という本来見せることのない体験をあえて周目にさらすことで恥ずかしさや興奮を他者と共有することができる。また体験時のリアクションから周囲の人間は「本当に尿失禁の感覚があるのだろうか？」という疑惑と期待を持つことになる。それが次の体験への誘導を果たし、尿失禁というタブーとされる事象への心理的抵抗を削減させ、体験前と体験後において尿失禁への印象を変えることとなる。

5. おわりに

これまで私が行ってきた取り組みの概要と、GEIKO EXPO 2024での発表について簡単に紹介した。これまでは各取り組みが分散しており散逸的な印象を受けるが、共通する項目として触覚体験デザインを軸とし、体験の前後や体験中のユーザーの環境、体験が与える影響など包括的に考慮した提案を行う。そのために芸術工学部の芸術と工学の融合という視点から芸術としての体験設計と工学としての技術開発や心理物理実験など科学的手法を組み合わせた研究を行っていきたい。

参考文献

- 1) 清川清. ヘッドマウントディスプレイ (バーチャルリアリティ学ライブラリ 1). コロナ社, 2024.
- 2) Peiris, R. L., Peng, W., Chen, Z., Chan, L., & Minamizawa, K. (2017). ThermoVR: Exploring integrated thermal haptic feedback with head mounted displays. Conference on Human Factors in Computing Systems - Proceedings, 2017-May, 5452–5456.
- 3) Chang, H. Y., Tseng, W. J., Tsai, C. E., Chen, H. Y., Peiris, R. L., & Chan, L. (2018). Facepush: Introducing normal force on face with head-mounted displays. UIST 2018 - Proceedings of the 31st Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 927–935.
- 4) Chu, S. Y., Cheng, Y. T., Lin, S. C., Huang, Y. W., Chen, Y., & Chen, M. Y. (2021). MotionRing: Creating Illusory Tactile Motion around



図 7 失禁体験装置の全体図。腹部への空気圧圧迫機構と股間部への温水を用いた温感提示により尿失禁感覚を提示する。

the Head using 360° Vibrotactile Headbands. UIST 2021 - Proceedings of the 34th Annual ACM Symposium on User Interface Software and Technology, 724–731.

- 5) Shen, V., Shultz, C., & Harrison, C. (2022). Mouth Haptics in VR using a Headset Ultrasound Phased Array. CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 1–14.
- 6) Ranasinghe, N., Jain, P., Thi Ngoc Tram, N., Koh, K. C. R., Tolley, D., Karwita, S., Lien-Ya, L., Liangkun, Y., Shamaiah, K., Eason Wai Tung, C., Yen, C. C., & Do, E. Y.-L. (2018). Season Traveller: Multisensory Narration for Enhancing the Virtual Reality Experience. Proceedings of the 2018 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems, 2018-April, 1–13.
- 7) Pacchierotti, C., Sinclair, S., Solazzi, M., Frisoli, A., Hayward, V., & Prattichizzo, D. (2017). Wearable Haptic Systems for the Fingertip and the Hand: Taxonomy, Review, and Perspectives. IEEE Transactions on Haptics, 10(4), 580–600.
- 8) Pezent, E., Macklin, A., Yau, J. M., Colonnese, N., & O' Malley, M. K. (2023). Multisensory Pseudo - Haptics for Rendering Manual Interactions with Virtual Objects. Advanced Intelligent Systems, 5(5), 2200303.
- 9) Moriyama, T., Takahashi, A., Asazu, H., & Kajimoto, H. (2019). Simple is Vest: High-Density Tactile Vest that Realizes Tactile

- Transfer of Fingers. SIGGRAPH Asia 2019 Emerging Technologies, 42–43.
- 10) Okano, T., Hiki, K., Hirota, K., Nojima, T., Kitazaki, M., & Ikei, Y. (2018). Development of a sole pressure display. *Lecture Notes in Electrical Engineering*, 432, 175–179.
 - 11) Kameoka, T., Kon, Y., Nakamura, T., & Kajimoto, H. (2018). Haptopus: Transferring the Touch Sense of the Hand to the Face Using Suction Mechanism Embedded in HMD. *Proceedings of the Symposium on Spatial User Interaction*, 11–15.
 - 12) Kameoka, T., & Kajimoto, H. (2021). Tactile Transfer of Finger Information through Suction Tactile Sensation in HMDs. 2021 IEEE World Haptics Conference, WHC 2021, 949–954.
 - 13) Kameoka, T., & Kajimoto, H. (2022). Design of Suction-Type Tactile Presentation Mechanism to Be Embedded in HMD. *Frontiers in Virtual Reality*, 0, 75.
 - 14) Kameoka, T., Hachisu, T., & Kajimoto, H. (2025). Virtual Hand Illusion Induced by Suction Pressure Stimulation to the Face. In *Lecture Notes in Computer Science (including subseries Lecture Notes in Artificial Intelligence and Lecture Notes in Bioinformatics)* : Vol. 14768 LNCS (pp. 120–132). Springer, Cham.
 - 15) Kameoka, T., & Kaneko, S. (2022). Effects of Mirrors on User Behavior in Social Virtual Reality Environments. *Proceedings - 2022 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces Abstracts and Workshops, VRW 2022*, 752–753.
 - 16) 亀岡嵩幸, 宮上昌大, 浅井晴貴, 高木省吾, 荒生太一, 市川裕駿, 大下雅昭. (2018). 失禁体験装置: 尿失禁感覚再現装置の開発とその応用. *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, 70-73.