

バーチャルリアリティによる知覚・行動の編集とウェルビーイング

鳴海拓志

Editing Perception and Behavior with Virtual Reality for Well-Being

Takuji NARUMI

This paper introduces virtual reality (VR) technology as an application of optics to edit perceptions of senses and body through visual experiences, and to influence people's behavior, thoughts, and lives, citing the latest research and case studies. Then, the expected mutual development of VR and optics research will be discussed for VR to contribute to enhancing people's well-being on a daily basis.

Key words: virtual reality, cross-modal interface, avatar, ghost engineering, well-being

はじめに

バーチャルリアリティ (VR) 技術は、光学技術の発展を背景に大きく進歩し続けてきた。特に、光学技術の粋を結集したヘッドマウントディスプレイ (HMD) の高性能化と低廉化は、研究や一部の産業向けでしかなかった VR の活用領域を一気に押し広げた。今や家電量販店でも高性能な HMD が容易に手に入り、VR ゲームに代表されるエンターテインメントだけでなく、設計・製造、教育・トレーニング、医療など幅広い分野での活用が進んでいる。また、昨今注目を集めるメタバースのように、多人数がバーチャル空間に集まってコミュニケーションや共同作業を行える場が登場し、多くのユーザーが日常的に利用するようになってきている。

本稿では、そのような背景の中で VR 技術が感覚を提示する技術としてどのように発展を遂げており、その活用がどのように人々の行動や思考、生活に影響を与え、ウェルビーイングを高めることに寄与しうるかを、最先端の研究事例の紹介を通じて議論していく。本稿前半では、HMD の普及を背景に発展した、視覚情報の提示によって他の感覚に影響を与えて多感覚の体験を作り出すクロスモーダルインターフェースについて紹介し、後半ではバーチャル環境における身体であるアバターの特性がヒトの感覚、行

動、思考に与える影響について紹介していく。その上で、VR が日常的に人々のウェルビーイングを高めるために利用されるようになるうえで必要とされる要素について議論し、そうした応用上の観点から VR と光学技術の相互発展に期待されることについて述べる。

1. 視覚による多感覚知覚の提示・編集とウェルビーイング

現在の HMD は、高精細な視覚と聴覚の情報をユーザーに届けることができる。HMD と合わせて用いられることが多い VR コントローラーは、多くの場合振動によってバーチャルな物体に触れた感覚などを提示することができるが、その表現力は実世界から感じられる触覚の多様さと比べると十分ではない。こうした多感覚表現の欠落は現状の VR の大きな制約となっている。無論、VR 研究では、現実から得られる感覚と同等の感覚を提示して高いリアリティの提示を実現するために、古くから視聴覚以外のさまざまな感覚を合成して自在に提示する装置の研究が進められてきた。その一部は実を結びつつあるものの、HMD ほどの普及はみせていない。

こうした現状に対して、近年新たなアプローチから解決を図る取り組みがみられるようになってきた。それが錯覚

応用型の感覚情報提示技術である。錯視で顕著に表れるように、ヒトは外界の物理的・化学的な特性をそのまま知覚しているわけではなく、得られた感覚情報を編集して知覚を作り上げている。こうした特性を踏まえ、感覚を再現するという従来のアプローチではなく、ヒトの感覚・知覚特性や錯覚を活用できれば、ヒトの脳内に生じる「知覚」を再現でき、従来の技術の制約を打破できるのではないかと、というのが錯覚応用型感覚情報提示のアイデアである。なかでも、感覚間の相互作用であるクロスモーダル知覚を活用するクロスモーダルインターフェースは、多様な感覚の提示・編集を可能にする技術として大きな注目を集めている。クロスモーダル知覚とは、ある感覚における知覚が同時に提示された他の感覚に対する刺激の影響を受けて変化するという錯覚である。代表的な現象に擬似触力覚 (pseudo-haptics)¹⁾ が挙げられる。これは、例えばマウス操作時にポインターの動きが急に変わるとマウスを操作する手に力がかかったと感じてしまうように、身体動作とそれを反映した視覚刺激の間に齟齬が生じた場合、擬似的な触力覚が生起される現象である。視覚と触覚のクロスモーダル知覚によって、映像の工夫のみで触覚を提示できるという現象であり、HMDによる視覚提示だけで触覚を提示できるという点で現在のVR体験と非常に相性がよい。

クロスモーダル知覚が生じるメカニズムは複数考えられるが、ここではその代表的なメカニズムの一つである最尤推定モデル²⁾を紹介する。感覚統合における最尤推定モデルとは、人間が多様な感覚を統合してひとつのもっともらしい解釈を構成して世界を認識する方法のモデルとして検討されているものであり、各感覚情報はその信頼度と事前知識に基づいて統合されるというモデルである。なお、ここで各感覚の信頼度は、その感覚が従う正規分布の分散で求められる。すなわち、同じ対象から来る感覚刺激のばらつきが大きい (=分散が大きい) 場合には信頼度が低いと推定される。例えば、視覚と触覚の統合を考えると、通常環境であれば視覚は信頼性が高く、それと比較して触覚は信頼性が低い。そのため視覚優位に統合が進み、見た目と触り心地が多少ずれている場合には見た目に従った知覚が生じる。先に紹介した擬似触力覚はこうしたメカニズムに従って起こると考えられている。一方、例えば眼前に霧がかかるなど、視覚にノイズが加わり視覚の信頼性が低下すると触覚の寄与が高まり、触覚に寄った知覚が生じる。これを考慮すると、元来的に信頼度の低い感覚の知覚に影響を与えたい場合、信頼度の高い感覚を通じて知覚を引き込む情報を与えればよく、逆に信頼度の高い感覚の知覚に影響を与えたい場合、その感覚にノ

イズを与えつつ、他の感覚を通じて知覚を引き込む情報を与えればよいと考えられる。

クロスモーダルインターフェースでは、このような最尤推定モデルを考慮した設計がなされてきた。例えば Nambu らは、信頼度の高い視覚を使って信頼度の低い嗅覚に影響を与える手法として、限られた種類の香料から元の種類数よりも多くの種類の匂いを感じさせることが可能な嗅覚ディスプレイを提案した³⁾。一般的な嗅覚ディスプレイによって多種類の匂いを提示するためには、それら多量の匂い的一对一に対応した化学物質を用意する必要がある。しかし、嗅覚ディスプレイとしての実用面を考慮すると、使用する要素臭の種類は極力少なくできるのが理想である。他方、嗅覚の知覚・認知には不安定性があり、例えばリンゴの匂いだけを嗅いでそれがリンゴだと正解できる確率は4割程度に留まる。すなわち嗅覚の信頼度は低い。ここで、嗅覚刺激との齟齬を感じない視覚刺激を与えると、視覚の信頼度の高さから、視覚と嗅覚の感覚統合によって生じる嗅覚知覚は視覚で得た情報に寄ったものになると考えられる。Nambu らの研究では、18種のフルーツ系香料について、実験参加者にすべてのペアを嗅がせてその類似性をそれぞれ5段階で評価させ、得られた嗅覚類似性のベクトルデータから嗅覚知覚類似性マップを構築し、このマップをもとに匂いのクラスタリングを行っている。このクラスタリングの結果に基づいて類似する匂い同士をグループ化した上で、グループ中の代表的な匂いと、各匂いを表す画像を同時に提示することで、グループ中の匂いすべてを表現する。例えばブドウの映像を見せながら、ブドウと同一のグループに属するピーチの香りを嗅がせることで、ピーチの匂いをブドウの匂いであると感じさせる。この手法の検証実験の結果、クラスタリングに基づいて4種類まで代表匂いを圧縮した場合にも、感覚間相互作用の効果によって平均約13種類の匂いを認識させることができたことが報告されている。

味覚に関しても同様に、視覚を含む他感覚の影響を利用して最尤推定に影響を与える手法が検討されてきた。GAN (generative adversarial networks) を利用して食品の見た目をリアルタイムに変えることで食品の味を変える DeepTaste⁴⁾ では、見た目をリアリティ高く変化させることで味に影響が現れることが示されている。鳴海らは、着色料・香料を用いて飲料に色や匂いを付加することで食味の認識に変化があるかを調査し、色によって特定の食味を認識させられる可能性を示唆した⁵⁾。一方、飲料に匂いを付加した場合、味覚知覚に変化は起こるものの、匂いの効果のみで特定の食味を認識させることは難しいことも示



図1 視覚・嗅覚・味覚の感覚間相互作用を利用した味覚提示システム。

唆している。これらを踏まえ、視覚刺激、嗅覚刺激、味覚刺激を同時に提示し、それら三者の相互作用を利用する味覚提示システム「メタクッキー」(図1)が提案されている⁶⁾。このシステムでは、拡張現実感によってプレーンクッキーの見た目と匂いを変化させることで、実際に口に入れるクッキーを変化させることなく、数種類の味をユーザーに感じさせることができる。このシステムを用いてプレーンクッキーを食べさせる実験では、約7割の参加者にプレーンクッキーとは異なる食味を認識させることができていた。ここでは味覚に比して信頼性の高い感覚である視覚に明確な情報を与え、また味覚との相互作用が強く起こる嗅覚に知覚を引き込む情報を与えることで、知覚される味に強く影響を与えている。一方、この手法では提示したい食味に一対一対応した嗅覚刺激を用意しなければならない。そこで、先に述べた視覚と嗅覚の間の感覚間相互作用を利用する手法を応用し、必要な嗅覚刺激を縮約する手法も研究されている⁷⁾。ただし、3種以上のモダリティーが関わる感覚統合についてはいまだ十分な研究が行われておらず、今後の研究の深化が望まれる。

同様のアプローチを駆使した手法として、拡張現実感によって食品のサイズを変えて見せることで、その食品から得られる満足度を変化させる手法である拡張満腹感(図2)がある⁸⁾。通常、身体の外側から身体の内側に直接働きかけることは困難であり、内臓感覚の一種である満腹感を変化させることは難しい。しかし、満腹感が内臓感覚だけでなく、食事の盛りつけや見た目から大きな影響を受けるという知見を利用すると、視覚によって満腹感を操作することも可能になる。拡張満腹感システムでは、ヘッドマウントディスプレイ越しに食事を見ると、手や周囲のものサイズは一定のまま、食事の量だけが拡大・縮小される。この効果の検証では、見た目のサイズを変えるだけで摂食量を増減両方向に約10%程度変えることが可能であった

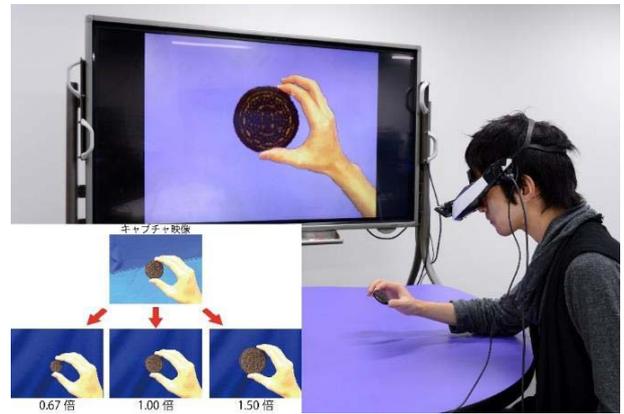


図2 視覚から満腹感に働きかける拡張満腹感システム。

と報告されている。

ここで紹介してきたような、HMDで提示される視覚情報を活用して多感覚情報を提示したり、現実から得られる多感覚情報の知覚を編集したりする技術は、ユーザーのウェルビーイングの向上に貢献するだろう。例えば、コミュニケーションにおける接触はソーシャルタッチとよばれ、利他的な行動の誘発やストレスの改善などさまざまなよい効果があることが報告されている⁹⁾が、メタバースにおいて他者と触れあう感覚を擬似触力覚で提示することはこの効果の活用につながる。また、味覚や満腹感を編集できることは、減塩食でも満足できる塩味を感じさせる、病気の影響で食べられない食品を擬似的に食べられる、少ない量でも十分な満腹感を得られるといったように、制限のある食事の満足度を向上させ、人々の心身の健康の増進に寄与する。

2. アバターによる行動・認知の編集によるウェルビーイング

VRは、人工的に作り出された環境を没入感高く人間に提示することで、「そこにいるような感覚」(Sense of "Being There")¹⁰⁾を与える技術として発展してきた。さらに、モーションキャプチャーなどの身体トラッキング技術が高度化したことで、実際の身体動作をそのままアバターに写し取り、それがまるで自分の身体であるかのように操ることが現実的になった。このような環境では、アバターが「自らの身体であるかのような感覚」(身体化感覚, Sense of Embodiment)¹¹⁾が生じる。このとき、アバターは生身の身体と同じ特徴をもっている必要はない。視覚に依拠した外形的特徴であれば、外見だけでなく身体構造や機能まで自由に設定できる。そして条件を満たせば、実身体とは異なる特徴をもつアバターにも身体化感覚が生じ

る。これにより VR では、男性が女性としての社会的体験を得る¹²⁾、現実ではあり得ない身体能力や特殊能力を発揮する¹³⁾、人間以外の生物になる¹⁴⁾といった、身体変容をとまなう新たな体験を提供できる。

実際の身体とはかけ離れた特性をもったアバターを操る体験は、単なるエンターテインメントとしての機能を有するに留まらない。近年の研究では、自分の身体とは異なる特性をもつアバターを用いることが、自分自身に対する認識を変容させ、感覚、行動、そして発揮能力や思考までも変容させることが明らかになってきた¹⁵⁾。例えば Yee らは、容姿の魅力的なアバターや身長の高いアバターを用いることが他者とのコミュニケーションにおいて積極性を誘発することを示し、身体の見た目の変化がコミュニケーション中の態度や行動を変化させる効果をプロテウス効果¹⁶⁾と名付けた。Kilteni らは、実験参加者に太鼓の演奏を習う VR を体験させる際に、手だけ表示されたアバターやかっちりとしたスーツに身を包んだ白人男性のアバターを使用する場合に比べて、音楽的素養を想起させるカジュアルな服装の黒人男性アバターを使用する場合のほうが、参加者が太鼓を大きな動きで叩くようになることを示した¹⁷⁾。小柳らは、飛行ドローンのようにヒトと大きく身体性が異なる上にヒトにない能力をもつ対象を操る状況を支援するために、ヒトにはない特定の能力をイメージさせるアバターの力を借りるというアプローチを提案し、飛行能力をイメージさせるドラゴンアバターを使うと高所恐怖が低減されるとともに、空中での空間把握が正確になることを確認した¹⁴⁾。これらの研究は、自己イメージが無意識にわれわれの普段の行動や態度、能力に制約を与えていること、そして VR において特定の自己イメージを想起させるようなアバターを与えることで自己イメージが更新され、新しい認識に沿った能力を発揮・開花させるきっかけになり得ることを示唆している。こうした影響を活用し、状況に応じてアバターを使い分けることによって、自分の思うままにその状況に適したところの状態や能力を引き出しやすくすることができる技術としてゴーストエンジニアリングが提唱され、研究が進められている¹⁵⁾。

アバターがヒトの行動や思考に与える影響は研究が進められながらも完全には理解されていない一方で、バーチャル空間でアバターを使って他者と交流できる場はすでに社会に浸透しつつある。Cluster や VRChat などのメタバースあるいはソーシャル VR とよばれるサービスには、サービス利用時間が長く、アバターを使用しているコミュニケーションが日常になっているユーザーも多く存在する¹⁸⁾。ソーシャル VR ユーザーの調査では、彼らがダンスやコン

サートのような遊びにとどまらず、HMD を装着したまま友人と睡眠を取るなど、独自の日常的なアクティビティーを楽しんでいることが報告されている¹⁹⁾。実社会でもロボットアバターを通じた社会参画が始まっている。2021年6月にオープンした「分身ロボットカフェ DAWN ver. β 」では、外出困難者である従業員がテレプレゼンスロボットを遠隔操作して接客や配膳などのサービスを提供しており、実身体とは異なる特性をもつロボットアバターを使った継続的な就労が実現されている²⁰⁾。このような場の登場によって、アバターの長期的な使用がヒトにもたらす影響、特に自己認識とウェルビーイングとの関係を調べる土壌が整いつつある。

畑田らは、分身ロボットカフェ DAWN ver. β でロボットアバター「OriHime」を遠隔操作して配膳や接客などのサービスにあたっている外出困難者（パイロット）にとってのロボットアバターの役割を分析し、身体特性や通勤の有無といった環境特性の個人差をロボットアバターがフラット化することが実身体では難しかった就労に取り組むことに貢献し、外出困難者にとっての障害に対する見方を変えることにも繋がっていることを報告した²¹⁾。他方、ソーシャル VR では、さまざまなユーザーが自ら望んで選んだアバターを用いて他者と長期間交流する中で、実社会の自己とは異なる新たなアイデンティティーを実践していることが報告されている²²⁾。これを踏まえると、障害というネガティブな個性をフラットにする OriHime に加えて、自らが望ましいと考える個性を表現しやすいバーチャルアバターをアバター接客に取り入れることは、パイロットの長期的な就労意欲やアイデンティティー形成に影響を与え、ウェルビーイングの向上に繋がると考えられる。そこで Hatada らは、分身ロボットカフェ DAWN ver. β において、パイロットそれぞれが独自のバーチャルアバターを用いて現地の客を接客できるシステム（図3）を構築して運用し、約1か月間にわたってバーチャルアバターを用いた接客に従事することが、パイロットのアイデンティティーにどのような影響を与えるのかを、経時的なインタビュー調査によって明らかにした²³⁾。

実験実施にあたって、7名のパイロットに事前に1人約1時間のインタビューをオンラインで実施して使用したいアバターの特性について調査し、ヒト型・非ヒト型、写実的・アニメ調、パイロットの自作・オンラインストアで購入されたものなど、それぞれの嗜好に応じて特性の異なる7体のアバターが用意された（図4）。現地では、分身ロボットカフェを模したバーチャル環境が大型スクリーンに定点映像として投影され、現地とバーチャル環境が地続き



図3 ロボットアバターとバーチャルアバターを組み合わせた拡張アバター接客。



図4 7名のパイロットに対して用意されたバーチャルアバター。

に見える環境が用意された。現地の客は、卓上に置かれたマイクとスクリーンの両脇に置かれたカメラを通じて、バーチャル環境にいるバーチャルアバター姿のパイロットと会話できた。

インタビューで得られた語りの分析からは、実身体と異なる特性をもつアバターには位置付けとしてのアイデンティティーの更新を促す機能があることが示唆された。外見が個人にカスタマイズされていない OriHime は、外見や身体の運動機能などの身体特性を匿名化することで、障害を後景化し、それまで周囲の他者から位置付けられていた自らのアイデンティティー（例：障害者、働けない人）を解体する効果をもっていた。他方、身体特性を個々にカスタマイズしたバーチャルアバターを用いて自己表現を行うことは、それまで位置付けられていたアイデンティティーを解体することに加えて、自らが望ましいと感じていたアイデンティティーの宣言としても強く機能し、それゆえに OriHime とは質的に異なる社会性拡張がなされることが示唆された。この傾向が顕著にみられたのは、位置付けられたアイデンティティーに（意識的にせよ無意識的にせよ）なんらかの違和感を覚えており、自らの内に宣言したいアイデンティティーが存在するパイロット（P1, P2, P3）においてであった。

中年の男性である P1 は、OriHime のもつ小さくて可愛いという身体特性が、自らの実身体の特性とはかけ離れて

おり、OriHime を通じた活動によって得られた評価を本来の自己に帰属することが難しいと感じていた。対して、自己の実身体をスキャンした外見をもつバーチャルアバターを使用して接客を行うと、アバターに対面した客の期待値を適切にコントロールでき、活動を通じて得た評価を本来の自己に帰属させやすくなったと語った（「ほんとうに自分が社会に出ているような感じ」「ほかでもない、まさに自分自身がお客さんと向き合っているような感覚」）。

P2 は、自身の好きな動物だと公言しているアルパカをモチーフで作成された市販のアバターを用いて実験に参加した。OriHime を用いている際の P2 は、サービスの提供者（スタッフ）としてきちんとしなければならず、「失敗は許されない」という自覚を持っているのに対して、アルパカアバターを用いている際には、スタッフという役割から逃れ、人間の規範を守る必要のない動物として振る舞うことが可能になっていた。P2 はこれについて『「アルパカだから仕方ないね」と自分に対して言い訳できちゃう。OriHime だったらそんなことはできない』と語った。周囲の他者も非言語的なアイデンティティーの宣言を受けて P2 をアルパカのキャラクターとして位置付け直しており、客においても P2 のスタッフとしての位置付けが解除されていた。P2 によれば、客はいずれのアバターに対しても「頑張れ」といった応援の声かけをするが、OriHime を使用している際にはその応援は裏でロボットの操作に戸

惑う人としてのP2に向けられていると感じられるのに対し、アルパカでは、アバターとP2は同一の主体だと捉えられ、接客にあたるアルパカでありP2自身として応援を引き受けている感覚になるという。

自身の生物学的性と性自認のズレを自覚するP3は、生物学的異性の(実身体において実現したいと考える理想の)身体特性をもつアバターを自ら開発し、それを用いて実験に臨んだ。車椅子を常用し、高い声を持つP3は、日常生活の中で他者から「小さくて可愛い」と位置付けられることが多いという。P3が自己の変容を強く実感したのは、自ら開発した高身長で男性的な外見をもつアバターを用いて親しいパイロット仲間と接した際に、普段とは大きく異なる反応(よそよそしくなる、驚いて逃げられるなど)を受けたときであった。そのような他者からの位置付け直しを知覚したP3は、徐々に一人称が「私」から「僕」へと変化したり、口数が少なくぶつきらぼうになったりといった行動の変化を経験し、他者からの指摘によりそれらを自覚していた。

以上で観察されたアイデンティティーの変容は、いずれもアバターによる自己表現を通じて新たなアイデンティティーが宣言され、その宣言が周囲の他者に受け入れられ、パイロットのアイデンティティーが位置付け直された結果生じたものであった。逆に、OriHimeを通じた活動の中で位置付けられたアイデンティティーに違和感を覚えていない、もしくはバーチャルアバターを用いても周囲の他者がパイロットのアイデンティティーを位置付け直さないケース(P4~P7)では、パイロットはバーチャルアバターに対して愛着の深まりや就労意欲の向上を示したものの、自己とアバターの同一化度合いは相対的に低く、アイデンティティーの変容に関する語りは得られなかった。アバターを通じた長期的な社会活動を通じて望ましい自己変容を導くには、他者を巻き込んだアイデンティティーの宣言と位置づけ直しのループを考慮することが重要になると考えられる。

ここでは自分の身体とは異なる特性をもつアバターを用いることが、自分自身に対する認識を変容させ、感覚、行動、思考までもを変容させること、それが短期的な能力発揮だけでなく、アイデンティティーの編集をも可能にし、ウェルビーイングの向上に資する可能性を紹介してきた。ただし、短期的な感覚、行動、思考の変容を導く技術が日常的に使用されることの影響には未知数の部分が多く、またそうした変容がユーザーに適切に受け入れられる場合にはアイデンティティーが変容する一方で、必ずしも受容される訳ではない点や、望まないアイデンティティーの変容

を経験する可能性がある点などには留意しながら、今後の研究や実践を注視していく必要があると考えられる。

3. VRと光学の相互発展で日常的なウェルビーイングの向上を支えていくために

本稿では、光学技術の応用としてのVRの最新の研究や活用事例を紹介し、特に視覚的体験を通じて感覚や行動、そしてウェルビーイングやアイデンティティーにまで影響を与えていることを示してきた。VRやメタバースが浸透し、こうした技術が生活の一部として日常的に使用されるようになれば、われわれはより健康的に楽しく、ウェルビーイングの高い生活を送れるようになるだろう。一方で、HMDの低廉化が進んでいるとはいえ、現時点では多くの人が毎日負担なく使用できるデバイスになっているとはいいがたい。VR研究者は、光学のさらなる進展によってHMDに代表されるVRのためのデバイスの小型化、軽量化、高性能化がますます進んでいくことに大きな期待を抱いている。それだけでなく、VRデバイスが日用品化するうえでは、例えば汚れたら洗えるといったこれまで考えられていない機能を導入したり、携帯性に加えてファッション性を考慮したりと、研究段階とは別の観点での検討を進める必要があるだろう。そのためには素材や基礎原理を扱う広範な基礎研究と、日用品化の要件を発見していく応用研究の双方が密に交流していくことが欠かせない。VR研究と光学研究が刺激し合って相互に発展し、日常的なウェルビーイングの向上を支える基盤を作り上げていくことに期待したい。

本研究の一部はJSTムーンショット型研究開発事業(JPMJMS2013)およびJSTさきがけ(JPMJPR22S9)の支援を受けて行われた。

文 献

- 1) A. Lécuyer: *Presence*, **18** (2009) 39–53.
- 2) M. O. Ernst and M. S. Banks: *Nature*, **415** (2002) 429–433.
- 3) A. Nambu, T. Narumi, K. Nishimura, T. Tanikawa and M. Hirose: “Visual-olfactory display using olfactory sensory map,” *Proc. of IEEE Virtual Reality (VR)* (Washington DC, 2010) p. 39.
- 4) K. Nakano, D. Horita, N. Sakata, K. Kiyokawa, K. Yanai and T. Narumi: “DeepTaste: Augmented reality gustatory manipulation with GAN-based real-time food-to-food translation,” *Proc. of IEEE International Symposium on Mixed and Augmented Reality (ISMAR)* (Beijing, 2019) pp. 212–223.
- 5) T. Narumi, M. Sato, T. Tanikawa and M. Hirose: “Evaluating cross-sensory perception of superimposing virtual color onto real drink: Toward realization of pseudo-gustatory displays,” *Proc. of Augmented Human International Conference (AH)* (Megève, 2010) 18.
- 6) T. Narumi, S. Nishizaka, T. Kajinami, T. Tanikawa and M.

- Hirose: “Augmented reality flavors: Gustatory display based on edible marker and cross-modal interaction,” *Proc. of ACM CHI* (Vancouver, 2011) pp. 93–102.
- 7) T. Narumi, M. Miyaura, T. Tanikawa and M. Hirose: *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, **20** (2014) 504–512.
 - 8) T. Narumi, Y. Ban, T. Kajinami, T. Tanikawa and M. Hirose: “Augmented perception of satiety: Controlling food consumption by changing apparent size of food with augmented reality,” *Proc. of ACM CHI* (Austin, 2012) pp. 109–118.
 - 9) I. Morrison, L. S. Löken and H. Olausson: *Exp. Brain Res.*, **204** (2010) 305–314.
 - 10) W. Barfield, D. Zeltzer, T. Sheridan and M. Slater: “Presence and performance within virtual environments,” *Virtual environments and advanced interface design*, eds. W. Barfield and T. A. Furness (Oxford University Press, New York, 1995) pp. 473–513.
 - 11) K. Kilteni, R. Groten and M. Slater: *Presence: Teleoperators Virtual Environ.*, **21** (2012) 373–387.
 - 12) M. Slater, B. Spanlang, M. V. Sanchez-Vives and O. Blanke: *Plos One*, **5** (2010) e10564.
 - 13) R. S. Rosenberg, S. L. Baughman and J. N. Bailenson: *Plos One*, **8** (2013) e55003.
 - 14) 小柳陽光, 鳴海拓志, 安藤英由樹, 大村 廉: *日本 VR 学会論文誌*, **25** (2020) 2–11.
 - 15) 鳴海拓志: *認知科学*, **26** (2019) 14–29.
 - 16) N. Yee and J. N. Bailenson: *Hum. Commun. Res.*, **33** (2007) 271–290.
 - 17) K. Kilteni, I. Bergstrom and M. Slater: *IEEE Trans. Vis. Comput. Graph.*, **19** (2013) 597–605.
 - 18) G. Freeman and D. Acena: “Hugging from a distance: Building interpersonal relationships in social virtual reality,” *Proc. of ACM International Conference on Interactive Media Experiences (IMX)* (Virtual, 2021) pp. 84–95.
 - 19) D. Maloney and G. Freeman: “Falling asleep together: What makes activities in social virtual reality meaningful to users,” *Proc. of ACM Computer-Human Interaction in Play (CHI PLAY)* (Virtual, 2020) pp. 510–521.
 - 20) K. Takeuchi, Y. Yamazaki and K. Yoshifuji: “Avatar work: Telework for disabled people unable to go outside by using avatar robots,” *Proc. of ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)* (Cambridge, 2020) pp. 53–60.
 - 21) 畑田裕二, 竹内一晃, 加藤寛聡, 吉藤健太朗, 鳴海拓志: “バーチャルアバターを用いた自己表現が外出困難者の長期就労に与える影響”, 第28回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (東京, 2023) 2C2-07.
 - 22) G. Freeman and D. Maloney: “Body, avatar, and me: The presentation and perception of self in social virtual reality,” *Proc. of the ACM Computer Supported Cooperative Work (CSCW)* (Virtual, 2021) pp. 1–27.
 - 23) Y. Hatada, G. Barbareschi, K. Takeuchi, H. Kato, K. Yoshifuji, K. Minamizawa and T. Narumi: “People with disabilities redefining identity through robotic and virtual avatars: A case study in avatar robot café,” *Proc. of ACM CHI* (Honolulu, 2024) pp. 1–13.

(2024年5月25日受理)