



Technical
Survey

技術解説

VR・ARのリアリティ

～こころとからだ～

北崎 充晃[†]

バーチャルリアリティを用いて、身体を拡張・改変する研究が興隆している。私たちの認知や行動は、自分もつ身体や相手の身体の影響を受けるがゆえに、VRを用いた身体拡張・改変は私たちのからだのみならずこころも変える。本稿では、VR・ARの基礎知識を紹介し、次に最近のVR研究を概観する。最後に、身体性認知に関するVR研究を紹介する。

キーワード：バーチャルリアリティ、拡張現実、複合感覚、身体性認知、身体所有感、行為主体感

1. まえがき

2016年くらいからバーチャルリアリティ (Virtual Reality: VR) がブームと言われている。その特徴は、ゲームを中心とした一般消費者向けに頭部搭載型ディスプレイ (Head-Mounted Display: HMD) が普及し、頭部や手足など全身での運動がスムーズに連動してVRを体験できることにある。ゲーム用にHMDを導入する家庭はまだ少ないかもしれないが、手に持ったコントローラで全身運動を行ってゲームを操作することはかなり一般的になっている。このような全身運動を用いたゲームの操作もVRの一種と言える。そして、スマートフォンを用いた簡易型のHMDは雑誌の付録になるなど身近に見回しを体験できる環境もある。スマートフォンの普及はVRの普及の立役者である。アミューズメントパークにおけるVRの利用はフルスケールのVR装置を多くの人が体験する良い入り口となっている。

「表層的には異なるが、本質的には現実と同じ感覚」がVRの基本的定義である¹⁾。感覚知覚のモデルとして情報処理モデルがある。このモデルでは、感覚入力に対して脳が処理装置であり、その出力が知覚表象 (知覚表現、知覚世界) であると考えられる。感覚入力は実世界から光、音、力などとして感覚器に入ってくる情報である。VRでは、この感覚入力を人工的に作りだし、あるいは操作して、現実と同じ感覚を作り出す。感覚入力はあくまでも物理刺激なので、それが適切に作られていれば、脳はいつもと同じ処理を行い、現実とまったく同じリアリティを感じるのである。また、人は手足などの効果器を用いて実世界に介入する (ものをつかんだり、避けたり、歩いたり)。VRでは、実世界での運動とできるだけ同じように身体を動かすことでバーチャルな世界に介入する。つまり、実世界と人工的に

操作可能な世界との間の垣根を取り払い、あらゆる情報に対して普段と同じように感じ、介入 (行動) できるようにする技術がVRである。

本稿では、VRやARの基礎的解説に加え、そこで議論されるリアリティについてこころとからだの切り離せない関係を中心に解説する。

2. VRの誕生

バーチャルリアリティという言葉が最初に使われたのは1989年にジャロン・ラニアー (Jaron Lanier) が率いるVPL (Virtual Programming Language) Research社がRB2 (Reality Built for Two) システムを発表したときとされる²⁾³⁾。RB2は、頭部運動に合わせて視野に映像を提示するアイフォン (EyePhone™: 現在のHMD) と手の動きを計測するデータグローブ (Data-Glove™) をユーザが装着して、2人 (複数人) がバーチャルな世界を共有するものであった。アイフォンに映像を提示する2台のSGI (シリコングラフィックス) ワークステーションと制御用のコンピュータなどからなる。HMDをアイフォン (眼の電話) と名付けたことから、単なる視覚提示装置ではなく、バーチャルな世界 (サイバースペース) を複数人で共有し、コミュニケーションも可能とすることを本質と考えていたと推定される。

ただし、HMDの要素技術としては、サザランド (I. Sutherland) が1965年にUltimate Displayというアイデアを提出し、実装もされている⁴⁾⁵⁾。通称The Sword of Damocles (ダモクレスの剣) と呼ばれるこのシステムは、両眼の前に小型CRTディスプレイを光学系を通して配し、頭部方向に対して適切なCG (Computer Graphics) が両眼立体視で提示された。これは、光学シースルー型になっており、外界の情報が遮られずに見えてその上にCGが重畳して提示される複合現実感ディスプレイであった。その重さを支え、かつ頭部運動を計測するために天井からぶら下げられていたことからダモクレスの剣と呼ばれる。また、

[†] 豊橋技術科学大学

"Reality in VR and AR: Mind and Body" by Michiteru Kitazaki (Toyohashi University of Technology, Aichi)

CGやシミュレーションの成熟，それらをリアルタイムに行うハードウェアの発展もVR誕生に寄与している。

ハイリグ (Morton Leonard Heilig) は1960年頃に Sensorama と呼ばれる多感覚情報提示装置を作った⁶⁾。これはアーケードゲームのような筐体をしており，2眼式のディスプレイを覗くと，広視野の映像に加え，3次元音響，振動，風や匂いが同時に提示された。さまざまなモダリティ (多感覚) を同時に刺激して，リアルな体験をさせようというものである。

NASA Ames Research Center では，VIEWS (Virtual Interface Environment Workstation) と呼ばれるシステムを1980年代後半から開発しており，1991年には視線方向測定可能なセンサと連動した立体視HMD，立体音響装置，手の位置とジェスチャが測定可能なデータグローブ，そして音声認識装置を備えた複合感覚インタフェースによるワークステーションを実現している⁷⁾。

3. VRの構成要素

VRは人の感覚情報処理を利用して，感覚入力を生成あるいは制御して，出力としてリアリティを体験させる。ゆえに，入力システム (感覚・運動情報取得装置) と出力システム (感覚・運動情報提示装置) を必要とする。感覚情報処理において入力から出力を作るのは脳であるが，VRではそこにモデリング，レンダリング，シミュレーションを用いる。モデリングは，体験させようとするVRに最適な情報を物理世界から取捨選択し，出力に合わせて形式を設定して世界を記述することである。物理世界のすべてをモデル化することはコストがかかりすぎることから，人が知覚・制御可能な情報のみを対象とし，また知覚可能であっても目的とする体験に関係しない情報を除外することもある。レンダリングは，モデリングしたバーチャル世界を，使用する情報提示装置に合わせて変換することである。これによって，人はモデル化された世界を感覚を通して体験し，運動を通して介入し行動することが可能となる。シミュレーションは，実世界のさまざまな変化を法則に基づいてバーチャル世界で計算し，モデルやレンダリングに反映させるために必要である。これらによって，動的で自律的なバーチャル世界が体験可能となる。

4. VRの構成概念

VRを構成するものとしてAIPキューブ (AIP-cube) : Autonomy (自律性)，Interaction (相互作用性)，Presence (臨場性) の三つの軸が提案されている⁸⁾。自律性はバーチャル世界がシミュレートした事象に対してどれくらい反応するか，相互作用性はユーザ等による反応に対してどれくらい瞬時に適切に反応するか，臨場性は感覚入力をどれくらい忠実に再現できるかとされる。これら三つの軸でシステムが実現しているリアリティを説明する。一方，館は，

3次元の空間性，実時間の相互作用性，自己投射性を三大要素としている⁹⁾。また，廣瀬は，インタラクション，プレゼンス，複合モダリティとしている¹⁰⁾。

プレゼンス (Presence, 臨場感, 臨場性) とは，「いま，ここにいる」という感覚のことであり，VRでもっとも重要な概念の一つである。知覚における外在化 (externalization) や遠隔帰属 (distal attribution) は，感覚受容器 (眼や耳) が刺激や情報を受け取るが，脳で処理された結果，知覚されるものは感覚器官や脳の中ではなく，外界の「そこ」に知覚されることを示し，プレゼンスと深く関係している。HMDの画面上に映像が定位するなら外在化は生じず，臨場感は生じない。しかし，頭部や身体を動かし周りを見回すことで，世界が外側に広がり，自分がそこにいるというプレゼンスが生じる。また，遠隔地のロボットを操作するとき，ユーザの頭部や四肢の運動に連動してロボットの頭部や四肢が動き，適切な感覚情報が遅延なくユーザに提示されるとき，自分がロボットの場所にいるような感覚 (遠隔臨場感 (telepresence) あるいは遠隔存在感 (telexistence)) が生じる。3次元の空間性は，奥行き知覚によって世界が自分の周りに広がって感じられることを示し，バーチャルな世界に没入している感覚を生み出す。自律性，相互作用性は，人と環境との相互作用という側面が強い。人は環境へ介入し (ものをつかんだり，ドアを叩いたり)，また介入される (ものがぶつかったり，雨が降ってきて濡れたり) ことで，その世界が生き生きとしたものになることを意味する。さらに，相互作用を人と人あるいはバーチャルな生物との相互作用と捉えると社会的認知にも関係する。

5. 物理的リアリティと心理的リアリティ

人の感覚情報処理のモデルに合わせて，リアリティの規定要因として物理的なものと心理的なものを仮定することができる (図1)。ただし，物理的リアリティと言っても実はそこに心理プロセスが関与していることも多く，完全に切り離すことはできない。

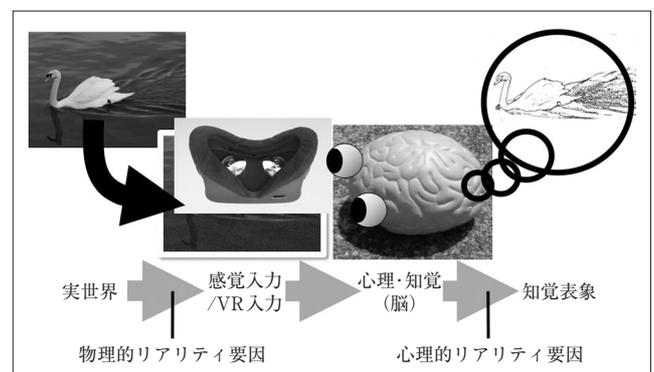


図1 二つのリアリティ要因

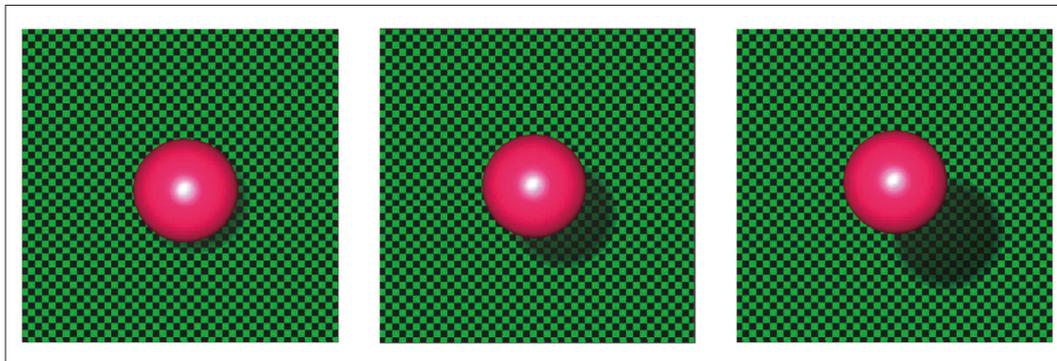


図2 キャストシャドウによる奥行きの例

物理的リアリティ要因には、映像や音、振動の空間解像度および時間解像度が挙げられる。時空間解像度が高ければリアリティは向上する。空間的には4Kディスプレイ(3,840×2,160 pixel)やスーパーハイビジョン(8K, 7,680×4,320 pixel)を用いることで、驚異的にリアリティは上がる。時間解像度は、人の臨界融合周波数(Critical Flicker Frequency)を考慮すると視覚ディスプレイの更新周波数は60 Hzで充分と思われるが、実際に知覚される映像のリアリティはそれ以上でも向上する。モデリング・レンダリングの精度も物理的的要因である。例えば、光のレイトレーシング手法として、表面の光錯乱反射をモデル化するBRDF(Bidirectional Reflectance Distribution Function: 双方向反射率分布関数)や、表面下の錯乱をモデル化するBSSRDF(Bidirectional Scattering Surface Reflectance Distribution Function: 双方向散乱面反射率分布関数)によって、光沢感や透明感のリアリティが向上した。ただし、これらのレイトレーシングが開発されるはるか昔の絵画からも私たちはリアリティを感じる。例えば、17世紀の画家であるレンブラント(Rembrandt)の作品では、肌の透明感や金属の光沢を感じる。つまり、脳が感覚入力を光沢と感知するか透明と感知するかは、必ずしも複雑な計算を必要としないし、それと一致しない。

心理的リアリティの例として顕著なのは夢である。夢は感覚入力を必要とせず、脳の働きのみで圧倒的にリアルな感覚を体験させる。つまり、感覚入力を脳が解釈する過程および脳の処理が心理的リアリティ要因である。例として、光沢感に関しては、網膜像における輝度ヒストグラムの歪みのみで人は光沢感を知覚する(図2)¹¹⁾。また、キャストシャドウを物体に近づけたり離したりするだけで物体の奥行き知覚が変化することも心理的的要因である¹²⁾。他にも、注意、認知バイアス、社会的知覚などさまざまな認知処理が心理的リアリティ要因となりうる。

6. VR・ARのディスプレイ

VRの視覚ディスプレイには広視野・高時空間解像度が求められ、大型曲面スクリーンや複数の平面スクリーンを

組み合わせて視野全体を占める没入型ディスプレイ(Immersive Projection Technology: IPT)がある。これらのディスプレイで両眼立体視提示を行うには三つの方法がある。時分割方式では、液晶シャッター眼鏡の左右眼の開閉と同期してディスプレイに左右眼用の刺激を交互に提示する。偏光フィルタ方式では、左右眼用の二つのプロジェクタのレンズ前に相反する偏光特性のフィルタを装着してスクリーンに提示し、各々に対応した偏光フィルタ眼鏡を通して刺激を観察する。特殊な眼鏡を使用しない方法として、ディスプレイの前に設置したパララックスバリアあるいはレンチキュラーレンズを用いて左右眼に異なる映像を提示するものもある。多視点視差ディスプレイは多くの視点からの左右眼映像を分離提示可能なものであり、視点移動に伴う奥行き手がかり(運動視差)も表現できる。

HMDは、左右眼の近くに各々ディスプレイを配置するために両眼視差提示が容易である。歪みなく広い視野を実現するためには高価な光学レンズが必要であったが、コンピュータの処理能力の向上により、近年は歪み補正をレンズではなく画像処理で行うことが一般的になり、廉価なHMD普及に貢献している。ただし、見回して世界がそこに広がって知覚されるように、頭部運動に合わせて遅延なく映像を更新する必要がある。近年のHMDはこの頭部トラッキングがビルトインされており、1 kHzかつ低遅延で機能する。また、スマートフォンを用いた簡易型HMDも、内蔵されている加速度センサ等を用いることで、見回しを可能としている。

複合現実感(Mixed Reality: MR)あるいは拡張現実(Augmented Reality: AR)では、実世界の情報と人工的情報を重畳して提示する。ただし、実空間の情報に対して、適切な位置に適切な形状や方位で人工的情報を配置し、人が知覚するシーンとして整合させる必要がある(レジストレーション)。例えば、実空間の映像に人工的情報をそのまま乗せると浮いたように見え、どこにあるのか知覚できない。そこで実空間の物体の傾きや奥行きを推定し、人工物体の画像を適切な傾きやサイズに変形し、光源に合わせて陰影やキャストシャドウを追加することで人工的情報を

実空間の情報に適合させることができる。

音響のVRとしては、多数のマイクで録音した音やコンピュータで生成した音を多数のスピーカを用いて提示する方法や、信号処理を施した音をヘッドフォンで左右の耳に提示する方法がある。ヘッドフォンによる音響提示では、両耳時間差と両耳強度差が基本的な音源定位の手がかりであるが、残響パターンおよび頭部伝達関数(Head-Related Transfer Function: HRTF)を用いることでリアルな音源定位が可能である。頭部伝達関数は、実空間で発生した音が聴覚器官に届く際に耳朶や頭・顔の形状によって生じる音の変化を伝達関数として表現したものである。

他にも触力覚、嗅覚、味覚などのモダリティに関するVRディスプレイが研究されている。ただし、味覚には、嗅覚に加え、視覚や聴覚も含めた複合感覚相互作用の影響が大きく、次項に示す複合感覚現象が活用されている。

7. 複合感覚のVR・AR

VRでは単独あるいは複数のモダリティの感覚刺激を提示することで、別のモダリティに影響を与える複合感覚(cross-modal perception)現象が活用されている。視覚刺激から自己運動感覚が生じるベクション(vection)は、前庭感覚への刺激や歩行感覚提示装置とも組み合わせて利用される¹³⁾¹⁴⁾。なお、前庭感覚への刺激には可動式椅子等のモーションプラットフォームに加えて、耳裏の乳様突起から弱電流(0.1～1.0 mA程度)を流す電気前庭刺激(Galvanic Vestibular Stimulation: GVS)も注目されている。また、HMDを装着して、歩行時の方向転換角度や速度、歩行方向のゲインを視覚的に気づかれないように操作して提示し、狭い範囲でも広い空間を歩いているように認知させる方法(redirected walking)¹⁵⁾¹⁶⁾や、触覚も利用して歩行方向の錯覚を起こして無限に広い空間を歩いているように認知させる方法¹⁷⁾も開発されている。

手に連動するカーソルの視覚情報のみを変化させることで触覚を体験させる擬似触覚(Pseudo Haptics)¹⁸⁾は、機械的な触力覚装置を必要としないために実装が容易である。食体験についても多くの複合感覚現象があり、VR・ARに利用されている。ポテトチップスを食べるときに同時提示する音を変えることで、食感のパリッとしたクリスピー感が変わるという知見¹⁹⁾を元にして、ARによる食感ディスプレイが開発されている²⁰⁾。食べると音が出る通常の食体験のみならず、みみず型のグミに人工的な音を付加することで実世界にはない新規な体験を作り出している点も興味深い。近年、実空間そっくりを目指すVRから、新しい世界を作り、これまでに体験したことのない世界をリアルに感じるVRへの潮流の変化がある。また、食物に対して異なる匂いや視覚情報を同時提示して味覚を変化させる手法もある²¹⁾。

8. 身体性認知のVR

ラバーハンドイリュージョン(Rubber hand illusion)は、目の前の偽の身体が自分の身体のように感じられる現象(身体所有感の錯覚)である²²⁾。被験者の手を衝立で隠して見えないようにし、そのすぐ横に実物サイズのマネキンの手を本当の手と同じように置く。実験者は、隠された本当の手とマネキンの手の両方を小さな筆で同時に同期してなぞる。このとき、被験者がマネキンの手をじっと見ていると、そのマネキンの手がまるで自分の手のように感じる。そして、マネキンの手をハンマーで殴るなど脅威を与えると皮膚コンダクタンス反応などの驚愕反応が生じる。また、見えない本当の手の位置がマネキンの手の方向にずれて知覚される(固有受容感覚のドリフト)。マネキンの手が筆で触られているという視覚的情報と、本当の手をなぞられているという触覚情報が脳で統合され、マネキンの手が触られている自分の手だと知覚するようになる。本当の手が見えていなければ、テーブルの何も無い表面にすら自分の身体を感じる²³⁾。また、VRの腕を提示した実験では、実際の腕の3倍の長さまで身体所有感が生じる²⁴⁾。

この視触覚提示の方法を全身に適用することで自分の身体以外の身体に所有感を得ることもできる²⁵⁾²⁶⁾。被験者はHMDを装着し、ビデオカメラを通した自分の背中や他人の背中、あるいは直方体を目の前に観察した。そして、自分の背中を棒でつつかれるのと同期して(あるいは非同期に)映像の中の自分の背中や他人の背中、直方体がつつかれた。同期して触られているときのみ、自分の背中と他人の背中に身体所有感が生じ、その見える背中の方に自己位置がずれて知覚された。この現象は体外離脱体験(Out-of-body experience)と呼ばれている。

もう一つの身体所有感の錯覚を起こす方法として、視覚と身体運動の同期がある。この方法では行為主体感が身体性の獲得に貢献している。目の前に大きな鏡を配置し、自分の身体がアバターとして見えるVR空間で実験が行われている²⁷⁾。HMDを装着した被験者の身体運動はモニタされており、身体を動かすとアバターの動きに反映される条件(同期条件)と反映されずに勝手に動く条件(非同期条件)が設定された。しばらく全身運動をすると、同期条件でのみ、アバターの身体がまるで自分の身体であるかのように感じた。アバターの身体をすべて提示せずに両手(手袋)と両足(靴下)のみを提示し、被験者の身体運動と同期させることで、手と足を補完した透明な身体全体に所有感覚が生じさせることもできる(図3)²⁸⁾。透明な身体所有感覚は全身アバターに対する所有感覚とほぼ同等のものであった。

現在、視覚と触覚の統合、あるいは視覚と身体運動の同期、これらの方法を用いて、自己身体の見た目をさまざまに変え、そこに所有感や自己主体感を生じさせることが可能かについて研究されている。

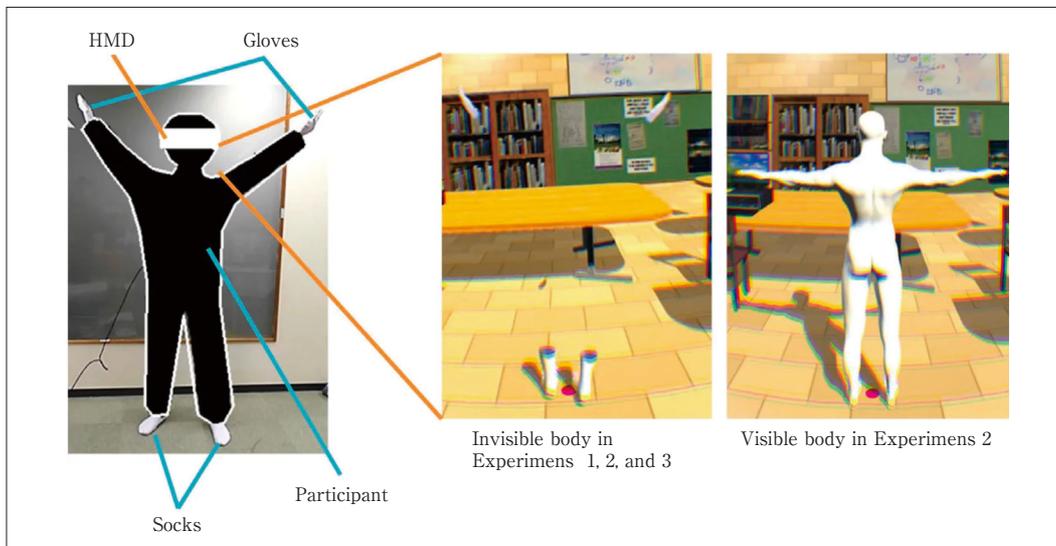


図3 手足のみ刺激による透明身体所有感(文献²⁸⁾より)

9. VRで身体を変えることで心が変わる

VRで自己身体のイメージを変えることで、社会的認知が変わることが多数報告されている²⁹⁾。顔に対する視触覚の同時刺激で顔の皮膚色を変えることで異なる人種への潜在的偏見が減少することが示されている³⁰⁾。ラバーハンドイリュージョンで腕の皮膚色を変えることで同様に外集団への潜在的偏見が低減する³¹⁾。また、視覚と身体運動の同期性を用いる方法でも同様の外集団への潜在的社会的態度の変容が報告されている³²⁾。

自分が使用するバーチャルなキャラクター(アバター)の外見を魅力的にすると、異性に近づき易くなり、雄弁になることが示されている(プロテウス効果)³³⁾。そして、VR空間でスーパーヒーローのような街の上空を飛び回る体験をすると、その体験のあとの実世界において他者への援助行動が促進される³⁴⁾。この援助行動の促進は、VRの中で実際に援助行動を体験するかしないかに関係なく、ただ自分の力で飛び回るという体験、つまり能力の獲得を体験するだけで生じる。

大人が子どもの身体を所有する感覚を得ることで、周囲のものが通常よりも大きく見え、潜在的に自分自身を子どもに近いと認識することも示された³⁵⁾。視覚と触覚の同時刺激で自己身体の不可視化を行うと、VR空間で自分を見つめる人が多数居るときに緊張・不安が減少することが示されている³⁶⁾。ただし、このときの対照条件は、自己身体が裸になっている状態である。

相手の視点から自分自身を見て、お互いに握手をすると身体が相手と入れ替わった感覚が生じる³⁷⁾。これを用いて、VRで苦悩する自分とそれに対処するカウンセラーの身体を交互に体験するシステムを用いて、カウンセラーの身体が自分自身の身体よりもフロイト(Sigmund Freud: 歴史

的に著名な精神科医)に改変されたときに気分が改善されたという報告もある³⁸⁾。このようにVRによる心と行動の変容について数多くの研究が行われている。

10. むすび

VRやロボティクスを用いた身体の拡張・改変は今や現実のものとなっている。これによって、私たちの心は大きく変わる。ここから切らだは切り離せないものであり、未来社会の適切な設計を意識した未来の身体と心の研究が望まれている。

謝辞 本研究の一部は、JST ERATO JPMJER1701(稲見自在化身体プロジェクト)の補助を受けて実施された。

(2019年11月11日受付)

【文 献】

- 1) 館 暲, 佐藤誠, 廣瀬通孝(監修), バーチャルリアリティ学, オーム社(2011)
- 2) J. Lanier: "Virtually there", Scientific American, 284, 4, pp.66-75 (2001)
- 3) H. Rheingold: "Virtual Reality", Summit Books (ハワード・ラインゴールド著, 沢田博監訳: "バーチャル・リアリティ"(1992), "幻想と現実の境界が消える日", ソフトバンク(1991))
- 4) I.E. Sutherland: "A Head-Mounted Three-Dimensional Display", AFIPS Conference Proceedings, 33, Part I, pp.757-764 (1968)
- 5) I.E. Sutherland: "Computer displays", Scientific American, 222, 6, pp.56-81 (1970)
- 6) <https://youtu.be/vSINEBZNCKs> (2019年11月10日閲覧)
- 7) S.S. Fisher: "Virtual Environments: Personal Simulations & Telepresence", in Virtual Reality: Theory, Practice and Promise, S. Helsen, and J. Roth, ed., Meckler Publishing (1991)
- 8) D. Zeltzer: "Autonomy, interaction and presence", Presence: Teleoperators and Virtual Environments, 1:127-132 (1992)
- 9) 館 暲: "バーチャルリアリティ入門", 筑摩書房(2002)
- 10) 廣瀬通孝: "空間型コンピューター「脳」を超えて", 岩波書店
- 11) I. Motoyoshi, S.Y. Nishida, L. Sharan and E.H. Adelson: "Image statistics and the perception of surface qualities", Nature, 447, 7141, p.206 (2007)

- 12) D. Kersten, D. C. Knill, P. Mamassian and I. Bulthoff: "Illusory motion from shadows", *Nature*, **379**, 31 (1996)
- 13) 北崎充晃, 佐藤隆夫: "視覚からの自己運動知覚と姿勢制御", *心理学評論*, **51**, pp.287-300 (2008)
- 14) M. Kitazaki, T. Hamada, K. Yoshiho, R. Kondo, T. Amemiya, K. Hirota, and Y. Ikei: "Virtual walking sensation by pre-recorded oscillating optic flow and synchronous foot vibration", *i-Perception*, **10**, 5, pp.1-14 (2019)
- 15) S. Razzaque, D. Swapp, M. Slater, M.C. Whitton, and A. Steed: "Redirected walking in place", *Proceedings of EGVE 2002 (Eurographics Workshop on Virtual Environments 2002)*, pp.123-130 (2002)
- 16) F. Steinicke, G. Bruder, J. Jerald, H. Frenz, and M. Lappe: "Estimation of detection thresholds for redirected walking techniques", *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, **16**, 1, pp.17-27 (2010)
- 17) K. Matsumoto, Y. Ban, T. Narumi, T. Tanikawa and M. Hirose: "Curvature manipulation techniques in redirection using haptic cues. *IEEE Symposium on 3D User Interfaces 2016*", pp.105-108 (2016)
- 18) A. Lecuyer: "Simulating haptic feedback using vision: A Survey of research and applications of pseudo-haptic feedback", *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, **18**, pp.39-53 (2009)
- 19) M. Zampini and C. Spence: "The role of auditory cues in modulating the perceived crispness and staleness of potato chips", *Journal of Sensory Science*, **19**, pp.347-363 (2004)
- 20) 小泉直也・田中秀和・上間裕二・稲見昌彦: "Chewing JOCKEY-咀嚼音提示を利用した食感拡張装置の検討-", *日本バーチャルリアリティ学論*, **18**, 2, pp.141-150 (2013)
- 21) 鳴海拓志・谷川智洋・梶波崇・廣瀬通孝: "メタクッキー:感覚間相互作用を用いた味覚ディスプレイの検討", *日本バーチャルリアリティ学論*, **15**, 4, pp.579-588 (2010)
- 22) M. Botvinick and J. Cohen: "Rubber hands 'feel' touch that eyes see", *Nature*, **391**, 756 (1998)
- 23) K.C. Armel and V.S. Ramachandran: "Projecting sensations to external objects: Evidence from skin conductance response", *Proceedings of the Royal Society of London B*, **270**, pp.1499-1506 (2003)
- 24) K. Kilteni, J.-M. Normand, M.V. Sanchez-Vives, M. Slater: "Extending body space in immersive virtual reality: A very long arm illusion", *PLoS ONE*, **7**, 7, p.e40867 (2012)
- 25) H.H. Ehrsson: "The Experimental Induction of Out-of-Body Experiences", *Science*, **317**, 5841, pp.1096-1099 (2007)
- 26) B. Lenggenhager, T. Tadi, T. Metzinger and O. Blanke: "Video ergo sum: manipulating bodily self-consciousness. *Science*", **317**, 5841, pp.1096-1099 (2007)
- 27) M. Gonzalez-Franco, D. Perez-Marcos, B. Spanlang and M. Slater: "The contribution of real-time mirror reflections of motor actions on virtual body ownership in an immersive virtual environment", *Proceedings of IEEE virtual reality 2010*, pp.111-114 (2010)
- 28) R. Kondo, M. Sugimoto, K. Minamizawa, T. Hoshi, M. Inami and M. Kitazaki: "Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity", *Scientific Reports*, **8**, 1, p.7541 (2018)
- 29) L. Maister, M. Slater, M.V. Sanchez-Vives and M. Tsakiris: "Changing bodies changes minds: owning another body affects social cognition", *Trends in Cognitive Sciences*, **19**, 1, pp.6-12 (2015)
- 30) C. Fini, F. Cardini, A. Tajadura-Jiménez, A. Serino and M. Tsakiris: "Embodying an outgroup: the role of racial bias and the effect of multisensory processing in somatosensory remapping", *Frontiers in Behavioral Neuroscience*, **7**:165 (2013)
- 31) L. Maister, N. Sebanz, G. Knoblich and M. Tsakiris: "Experiencing ownership over a dark-skinned body reduces implicit racial bias", *Cognition*, **128**, pp.170-178 (2013)
- 32) T.C. Peck, S. Seinfeld, S.M. Aglioti and M. Slater: "Putting yourself in the skin of a black avatar reduces implicit racial bias", *Consciousness and Cognition*, **22**, pp.779-787 (2013)
- 33) Y. Nick and J. Bailenson: "The Proteus Effect: the Effect of Transformed Self-Representation on Behavior", *Human Communication Research*, **33**, 3, pp.271-90 (2007)
- 34) R.S. Rosenberg, S.L. Baughman and J.N. Bailenson: "Virtual superheroes: Using superpowers in virtual reality to encourage prosocial behavior", *PLoS ONE*, **8**, 1, e55003 (2013)
- 35) D. Banakou, R. Groten and M. Slater: "Illusory ownership of a virtual child body causes overestimation of object sizes and implicit attitude changes", *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, **110**, 31, pp.12846-12851 (2013)
- 36) A. Guterstam, Z. Adbulkarim and H.H. Ehrsson: "Illusory ownership of an invisible body reduces autonomic and subjective social anxiety responses", *Scientific Reports*, **5**:9831 (2015)
- 37) V.I. Petkova and H.H. Ehrsson: "If I were you: Perceptual illusion of body swapping", *PLoS ONE*, **3**, 12, e3832 (2008)
- 38) S.A. Osimo, R. Pizarro, B. Spanlang and M. Slater: "Conversations between self and self as Sigmund Freud - a virtual body ownership paradigm for self counselling". *Scientific Reports*, **5**:13899 (2015)



きたざき 充晃
北崎 充晃

1992年, 東京大学文学部心理学専修課程卒業。1994年, 同大学大学院人文社会研究家心理学専攻修士課程修了。1997年, 同大学大学院総合文化研究科広域科学専攻博士課程修了。1997年～2000年, 同大学大学院人文社会系研究科心理学研究室助手。2000年より, 豊橋技術科学大学工学部講師。助教授, 准教授を経て, 現在, 同大学大学院工学研究科情報・知能工学系教授。バーチャルリアリティと心理学の融合研究に従事。おもな著書に『ロボットを通して探る子どもの心: デイベロップメンタル・サイバネティクスの挑戦』(ミネルヴァ書房), 『認知心理学: 知のアーキテクチャを探る』(有斐閣)など。博士(学術)。