

令和 4 年 7 月 1 日現在

機関番号：12612

研究種目：基盤研究(B) (一般)

研究期間：2019～2021

課題番号：19H04230

研究課題名(和文) VR身体を用いた全身運動における時空間的身体性変容メカニズムの解明と工学的応用

研究課題名(英文) Research for the mechanism of change in spatio-temporal embodiment in gross movement using VR body

研究代表者

櫻井 翔 (Sakurai, Sho)

電気通信大学・大学院情報理工学研究科・特任助教

研究者番号：70739523

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 12,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、現在もしくは過去の全身運動を反映したアバタの視覚的情報の操作を通じ、ユーザの身体性(自己所有感・運動主体感、身体サイズの知覚、行為への非主張性、行為の評価等)を変えられることを示した。その上で、VR空間での運動コミュニケーション(ツイスター)で自他が用いるアバタの視覚的操作から他者への態度や振る舞い、ゲーム展開等を変える運動コミュニケーション拡張手法の実現可能性を検証した。評価実験を通じ、運動コミュニケーションでは自他のアバタの視覚的情報は双方ともユーザの身体性だけでなく対人認知に強く作用し、対人認知に基づくユーザ間の心理的・物理的関係性やゲーム展開が変わる可能性が示された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究は身体性認知科学研究としての側面を持つ。アバタとユーザの身体の時空間的運動がある場合とない場合で、これまでほとんど未検証であった全身運動を対象にアバタの視覚的情報がユーザの身体性に与える多角的な影響を示した。これは実世界およびVR世界における新たな身体性変容メカニズムの解明に寄与する。また、主に個人での利用を想定した従来の運動支援床となり、運動コミュニケーションにおいて現実では得られない動作の導出やゲーム展開の調整が可能であることを示した本研究は、運動エンタテインメントやコミュニケーション支援研究における新たな技術の展開と発展に寄与する。

研究成果の概要(英文)：In this study, we showed that the user's embodiment (senses of ownership and agency, perception of self-body size, non-assertiveness toward self-actions, evaluation of self-actions, etc.) changes through manipulating the apparent and the visual movement of the avatar reflecting current or past self-gross movements. Based on these results, we investigated the feasibility of a VR physical communication extension that changes the user's attitude and behavior toward others, and tide of the game based on the visual manipulation of the avatar that each of users use. Evaluation experiments with male subjects showed that the visual information of avatars used by self and others strongly affects not only the physicality of users but also their interpersonal cognition in physical communication. It also showed that the psychological and physical relationships between users based on their interpersonal cognition and tide of the game may be changed.

研究分野：身体性認知科学

キーワード：Virtual Embodiment 身体性 運動コミュニケーション 対人認知 自己身体認識

1. 研究開始当初の背景

人間は身体を通じて知覚した多感覚の統合の結果として、自身の身体を知覚し、自身と自身でないものを切り分ける(自己所有感;「これは自身の身体であるという感覚」)、運動主体感;「これは自分が動かしている」という感覚 [Gallagher, S. 2000; Jeannerod, M. 2003]。また、知覚した自己の身体は、情動 [Schacter, S. 1964]、意思判断 [Shimojo, S., et al. 2003]、知性 [Damasio, A. 1994] 等と深く結びつき、自身のふるまいにも作用する。こうした身体を知覚と認知的経験との密接な関係は「身体性 (Embodiment)」と呼ばれる。

バーチャルリアリティ (VR) の分野を中心に、VR 世界でのユーザの代替身体となるアバタが現実のユーザの身体性に作用する現象 (Virtual Embodiment) が明らかにされつつある。特にアバタの外見の効果はプロテウス効果と呼ばれ [Yee, N and Bailenson, J., 2007]、心理状態や態度 [Yee, N. & Bailenson, JN. 2007]、知性 [Banakou, D., et al. 2018]、運動 [Kilteni, K., et al. 2013]等への影響が示されてきた。

しかし、こうした報告の多くは手や腕など身体の一部のみを対象とした検証を行っており、全身運動における影響は完全には明らかでない。そもそも、VR 身体の見視的情報 (外見、見た目の動作) が現実の身体性に与える影響については矛盾した報告がある。また、見視的情報を手がかりにアバタに自分らしさを感じるメカニズムも完全には明らかでない。アバタを用いたコミュニケーションプラットフォームサービスも一般に普及しつつある現在、アバタの見視的情報に基づいてユーザの全身運動における身体性が変化するメカニズムの解明は、個々の身体的/知的能力を変えるだけでなく、社会的生活に大きな変革を起こすことが見込まれる。

2. 研究の目的

本研究では、アバタの見視的情報の操作による身体性の変化を通じ、全身運動を伴う運動コミュニケーションを拡張する手法の実現を目指す。運動コミュニケーションの拡張とは、運動コミュニケーションの難易度や楽しさ等の認知、他者に対する心理的態度、次の動作の選択肢、有利・不利のようなゲーム展開や勝敗のような成果等を変化させることを指す。そのために、ユーザとアバタの身体動作に時間的・空間的連動 (以下、時空間的連動) がある場合とない場合の身体性を総合して「時空間的身体性」と定義し、アバタを用いて VR 空間で全身運動を行う場合と、自身の過去の全身動作を反映したアバタを介して自身の動作を客観的に観察する時、アバタの見視的情報がユーザの身体性 (身体知覚、認知、ふるまい等) に及ぼす多様な影響を明らかにすることを目的に設定する。本研究を通じ、身体性に関する新たなメカニズムの解明と、アバタを用いるからこそ可能になる新たな運動コミュニケーション支援手法の実現を目指す。

3. 研究の方法

- (1) 見視的情報 (外見、見た目の動作) を操作可能なアバタを提示するシステムを構築した。
- (2) (1)で構築したシステムをベースとするシステム環境を利用し、①オンライン条件と②オフライン条件のそれぞれにおいて、アバタの見視的情報がユーザの時空間的身体性に与える多角的な影響を検証するための実験を実施した。
 - ① オフライン条件: ユーザとアバタの身体に時空間的連動がある場合。ユーザは自己の動作をリアルタイムに反映したアバタを用いて一人称視点で全身運動を行なう。
 - ② オンライン条件: ユーザとアバタの身体に時空間的連動がない場合。ユーザはまず全身運動を伴う行為を実際に行なった後、自身が過去に行なった全身運動の動作データを付加したアバタをディスプレイ等を用いて三人称視点で観察する。
- (3) (1)のシステムをベースに、VR 空間でアバタを用いて全身運動を伴う運動コミュニケーションを行なうためのシステム環境 (VR ツイスター。詳細は後述) を構築・利用し、ユーザ自身と他者が用いるアバタの見視的情報がユーザの身体性 (身体知覚、認知、振る舞い等)、実際に生じる動作、運動コミュニケーション全体に与える影響を検証した。また、本検証結果の分析をもとに、本手法の実現可能性および課題を考察した。

4. 研究成果

- (1) 見視的情報を操作可能なアバタを提示するシステム環境の構築
ユーザの全身の動作データを取得するモーションキャプチャシステム、PC、アバタを提示するヘッドマウントディスプレイ (HMD) を基本構成とするシステムを構築した。
アバタの見視的情報は、外見と見た目の動作を操作する機能を実装した。外見は、身体的特徴 (性差、生物種、身長や筋肉量等の体格、手足の長さ、写実性等) や静的 (常に不変)・動的 (ユーザの運動や経過に応じて変化) 変化を操作可能であり、後述の実験に応じて異なる外見をアバタに与えた。また、予め取得したユーザ自身および他者の動作データを単体で、もしくは各身体部位の角度をもとにユーザの動作データと合成して付加することで、ユーザと異なる動作を与えることができた。

(2) アバタの視覚的情報に基づいて時空間的身体性に生じる影響の評価

VR 空間でアバタを用いて自己の全身運動を観察する状況を①オンライン条件と②オフライン条件に 2 分し、(1)で構築したシステムをベースとするシステム環境を用いた複数の被験者実験を通じ、アバタの視覚的情報がユーザの時空間的身体性に与える多角的な影響を検証した。検証内容は次項にて併せて記述する。

① オフライン条件：(1)のシステムをベースに、取得したユーザの動作データをリアルタイムで付加したアバタを HMD を通じて一人称視点で提示し、ユーザが VR 空間で全身運動を実行できるシステム環境を構築した。本システム環境において、アバタの視覚的情報に基づいてユーザの身体性に生じる影響を検証する複数の実験を実施した。

● 怪獣アバタを用いたバーチャル破壊体験が非主張性に及ぼす影響の検証

コミュニケーションにおいて自己を主張・表現することに消極的な性質を指す非主張性は、自身のなさ、また人の目や反応を気にする心理に起因する [平井 2012]。ここでは、身長が高いと自信が得られる [Yee, N., et al. 2009] ことも踏まえ、人の目を気にしない、人に気を遣わない、人が制御できない、というイメージに該当する巨大で強力な怪獣のアバタを用いることで非主張性が軽減できると考えた。そこで、怪獣アバタを用いて人がいる街を破壊するという周囲からの非難や叱責を受けやすい体験を VR 空間で行った時、街を破壊する余力を持たないヒトアバタを用いた場合と比較して破壊体験への非主張性を軽減されるかを検証した (図 1)。結果、怪獣アバタはヒトアバタに比べて運動主体感、強者間、傍若無人度、破壊の爽快感、ストレス発散効果が有意に向上し、破壊への躊躇は有意に低下した。これにより、非主張性を促進する心理軽減に有効といえる結果が示された。一方、身体所有感、実験協力者の部屋をロックする時の躊躇度、タスクにかかった時間に有意差は見られず、アバタ体験後の効果の継続性は認められなかった。



図 1：怪獣アバタとヒトアバタを用いた VR 破壊体験の様子

● アバタの形状と HMD の瞳孔間距離がアバタの形状に対する知覚に及ぼす影響の検証

身長約 170cm のアバタの四肢の長さや HMD の瞳孔間距離 (IPD) を変えてみせた場合に、アバタの腕や脚のサイズ (長さ、太さ) の知覚がどのように変化するかを検証した。本実験では、アバタの腕の長さ、脚の長さ、IPD はそれぞれ 3 条件 (長い・普通・短い) を設定 (図 2) し、各条件の組み合わせ計 27 条件間で、VR 空間での全身でのリーチングタスクを行なう時に知覚したアバタの形状と身体所有感・運動主体感を評価させた。

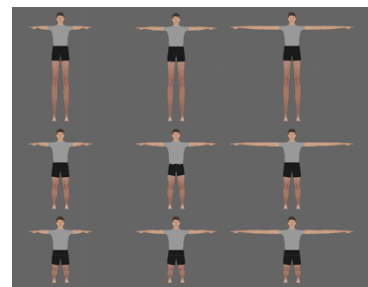


図 2：腕と脚の長さを操作したアバタ

実験の結果、腕の長さ、脚の長さ、IPD のいずれも、アバタの手足の長さや太さの知覚、アバタへの身体所有感や運動主体感への影響が認められた。一方、身体所有感は腕の長さによって異なるが脚の長さは影響しない、脚の長さによって腕の長さ知覚が変わる一方で腕の長さは脚の長さ知覚には影響しないなどの結果が示された。この結果から、サイズ操作する部位の視点位置からの距離によって各部位のサイズ知覚が相対的に変わり、同じスケールで全身を操作しても部位ごとに知覚されるスケールは異なる可能性が考えられる。

● ユーザの運動に伴って変化するアバタの視覚的筋肉量が身体性に与える影響の検証

Virtual Embodiment の研究は、主に外見が常に不変のアバタを用いた検証を行ってきた。本実験では、アバタの視覚的情報の操作パターンを拡張し、ユーザの運動に対応してアバタの視覚的筋肉量を徐々に変えた場合に、ユーザの身体性や生理状態に生じる影響を検証した。

非筋肉質、筋肉質、非筋肉質から筋肉質に変化 (線形、指数的、対数的) する 3 種類のアバタ (変容アバタ) (図 3) の計 5 条件を用いたダンベル運動において、非筋肉質アバタに比べて変容アバタを用いた時は運動終了後の肉体的・精神的満足感が向上した。またエアロバイクを漕ぐ運動を対象とした実験では、筋肉質アバタと変容アバタを用いた時の心拍数やペダルを漕ぐ速さに差が生じる可能性が示唆された。

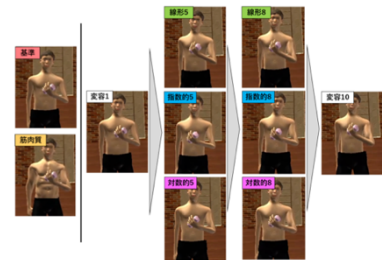


図 3：ダンベル運動実験で用いたアバタ

② オンライン条件：(1)のシステムをベースに、取得したユーザの動作データを付加したアバタをディスプレイ上で提示し、ユーザが自身の過去の動作をアバタを介して三人称視点で観察





できるシステム環境を構築した。本システム環境において、アバタの視覚的情報に基づいてユーザの身体性に生じる影響を検証する実験を実施した。

- アバタの外見がアバタへの自己身体認識とプレゼンテーションの印象に与える影響の検証

被験者に口頭でのプレゼンテーション発表を行ってもらい、映像、動作データ、音声を記録した。その後 24 時間以上を空けて、被験者自身の動作データと中性的に変換した音声を付加して外見（性差、体型）（表 1）を操作したアバタと自分自身の記録映像をディスプレイ上で観察させ、自己身体認識（外見と動作に対する自分らしさの判断）と発表の印象を評価させた。

結果、映像記録された被験者自身と全アバタ条件の間で、動作の自分らしさの判断と発表への指摘数に有意な差が認められた。これは、映像記録された被験者とアバタの動作は同じであったにもかかわらず、その動作や発表の良し悪しが異なると判断されたことを示す。一方、被験者の性別により、自己身体認識に対するアバタの性差の影響が異なることも示された。プレゼン評価は、アイコンタクト（普通男性・記録映像）と発表の自信の有無（肥満女性・記録映像）の評価にのみ違いが生じた。これらの結果は、アバタの外見も自己身体認識や印象評価に影響するが、見た目の動作[長野ら 2018]と比較すると、その影響は弱いと考えられる。

表 1：発表観察に用いたアバタの外見条件

		体型要因	
		普通	肥満
性別	男性		
	女性		

(3) VR 身体の視覚的変形による時空間的身体性変容メカニズムに基づいた

運動コミュニケーション拡張手法の構築と評価

運動コミュニケーションの具体的な例題としてツイスター [Hasbro, Inc] を採用し、遠隔地にいる 2 人のユーザが同一の VR 空間でアバタを用いてツイスターを対戦できるシステム環境 (VR ツイスター) を構築した (図 4)。この VR ツイスターを利用し、被験者と実験者が 2 人 1 組でツイスター対戦を行なう時、各アバタの視覚的情報に基づいて被験者の身体性やツイスター対戦に生じる影響を評価するための実験を実施した。

本研究立案時は、主にユーザが用いるアバタの視覚的影響を利用し、運動コミュニケーションの拡張を図る計画であった。しかし、関連研究の調査や予備実験を通じ、本手法の実現には、他者が用いるアバタの視覚的情報がユーザの対人認知に与える影響も考慮する必要があると判断した。そのため、自他のアバタが被験者の対人認知に与える影響の検証を計画に追加した。ユーザ自身のアバタと対戦相手のアバタの影響は個別に検証した。

まず、男性被験者を対象に、被験者と実験者 (男性 1 名) がツイスター対戦を行なってもらった。1 回の対戦につき、実験者のアバタの外見 (性差、写実性) は 4 条件 (表 2) のいずれか 1 つの外見を適用し、計 4 回の対戦を行なった。被験者は全条件で同じアバタ (図 5) を用いた。各対戦後はアンケートを用いて身体性と対人認知を評価させた。また、何もない VR 空間で実験者のアバタが被験者に接近してくる時、接近を受容できないと感じた距離を計測した。分析の結果、実験者アバタの性差と写実性はそれぞれ独立に男性被験者の対人認知 (図 6) と接近を受容できないと感じる距離に影響することが示された。写実性はツイスター対戦の楽しさにも作用した。

次に、上述と同様のツイスター対戦において、被験者のアバタの外見に 4 条件 (表 2) のいずれかを適用し、計 4 回の対戦を行なってもらった。この時は実験者が全条件で同じアバタ (図 5) を用いた。各対戦後はアンケートを

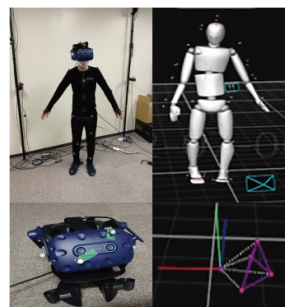


図 4：VR ツイスター
 (上) システム構成
 (中) モーションキャプチャ
 (下) 対戦の様子 (上から撮影)







図 5：外見を変化させない時に用いたアバタ

用いて身体性と対人認知を評価させた。結果、被験者アバタの性差と写実性は、それぞれ独立に男性被験者の身体性と対人認知に影響することが示された (図 7)。

以上の実験を通じ、運動コミュニケーションにおいて互いが用いるアバタの視覚的操作から身体性、対人認知、他者へのふるまいが変化することが示された。特に、接近・接触に対する心理や相手の態勢への配慮、推測される相手の妨害意思や自身への態度は、ツイスターの次の動作の判断材料となる。そのため、互いのアバタの視覚的情報に基づく対人認知はツイスター対戦という運動コミュニケーションを拡張する強力な要因となる可能性が示された。また②の結果から、対人認知もプロテウス効果の対象となることが明らかになった。この点については、暗黙のパーソナリティ観 (外見的特性とパーソナリティ特性の相互関係についての漠然とした考え方や信念の体系) の影響等を踏まえたさらなる検証を要する。

現在までに、被験者同士のツイスター対戦における互いのアバタの視覚的情報を操作から、各ユーザの動作とツイスター対戦のゲーム展開および結果を変えられるかを検証中である。

表 2 : VR ツイスターで適用したアバタの変化

		写実性要因	
		Toon	Real
図 7 被験者	Man	 MT条件 (身長185cm)	 MR条件 (身長175cm)
	Woman	 WT条件 (身長155cm)	 WR条件 (身長160cm)

設問	内容
Q01	相手のアバタの印象は良かったですか
Q02	相手に近づきたいと思いましたか
Q03	相手の身体が VR 空間で接触することに抵抗はありましたか
Q04	相手が近づいてくるときに嬉しさはありましたか
Q05	相手が近づいてくるときに恐怖感はありましたか
Q06	相手が近づいてくるときに嫌悪感はありましたか
Q07	相手の動きを妨害したいと思いましたか
Q08	相手がツイスターゲームにおいて体を痛めてしまうのではないかと心配することがありましたか
Q09	相手の動きや振る舞いは外見の印象と一致しているように感じましたか
Q10	相手はあなたに対して良い印象を持っていると思いましたか
Q11	相手は自分に近づきたいと思っているように感じましたか
Q12	相手は VR 空間内で自分の身体と接触することに抵抗があるように感じましたか
Q13	相手は自分の動きを妨害したいと思っているように感じましたか
Q14	相手とのツイスターゲームは難しかったですか
Q15	相手とのツイスターゲームは楽しかったですか
Q16	相手とのツイスターゲームをもっと続けたいと思いましたか

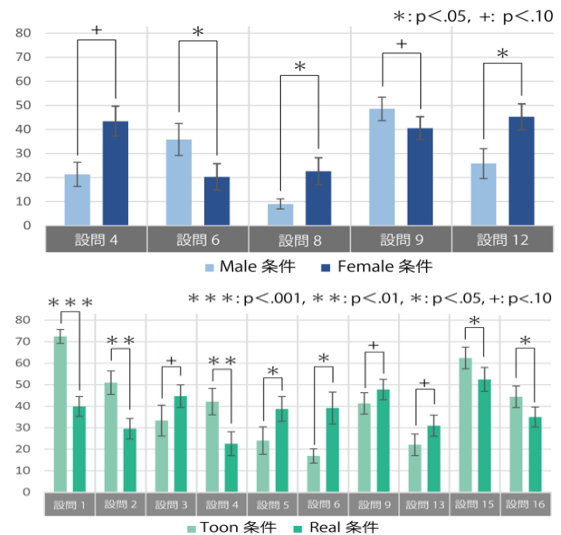


図 6 : 実験者のアバタの外見の主効果が認められた要因ごとの各条件下の評価値 ((上) 性差, (下) 写実性)

設問	内容
Q01	自分のアバタは自分の意図したように動かすことができましたか。
Q02	自分のアバタに対して自分の身体であると感じましたか。
Q03	自分のアバタはツイスターの体験環境に存在していると感じましたか。
Q04	自分のアバタの印象は良かったですか。
Q05	このアバタを使ったツイスターゲームは難しかったですか。
Q06	このアバタを使ったツイスターゲームは楽しかったですか。
Q07	このアバタを使ったツイスターゲームをもっと続けたいと思いましたか。
Q08	自分のアバタは相手よりもツイスターゲームが上手であるように感じましたか。
Q09	自分が体を動かすときに相手に対して遠慮することはありましたか。
Q10	トラッキングの乱れによる不快感や酔いはありませんでしたか。
Q11	相手が近づいてくるとき嬉しさはありましたか。
Q12	相手が近づいてくるとき恐怖感を感じましたか。
Q13	相手が近づいてくるとき嫌悪感を感じましたか。
Q14	相手のアバタはツイスターの体験環境に存在していると感じましたか。
Q15	相手に近づきたいと思いましたか。
Q16	自分の身体が VR 空間で相手に接触することに抵抗はありましたか。
Q17	ツイスターゲームにおいて相手の動きを妨害したいと思いましたか。
Q18	ツイスターゲームにおいて相手が体を痛めてしまうのではないかと心配することはありましたか。
Q19	相手は、あなたに対してよい印象を持っていると感じましたか。
Q20	相手は、あなたが近づくことに対して嬉しさを感じていると感じましたか。
Q21	相手は、あなたが近づくことに対して恐怖を感じていると感じましたか。
Q22	相手は、あなたが近づくことに対して嫌悪感を感じていると感じましたか。
Q23	相手は、自分に近づきたいと思っているように感じましたか。
Q24	相手は、VR 空間内であなたの身体と接触することに抵抗があるように感じましたか。
Q25	相手は、あなたの動きを妨害したいと思っているように感じましたか。
Q26	相手は、自分がツイスターゲームにおいて体を痛めてしまうのではないかと心配することがあったように感じましたか。

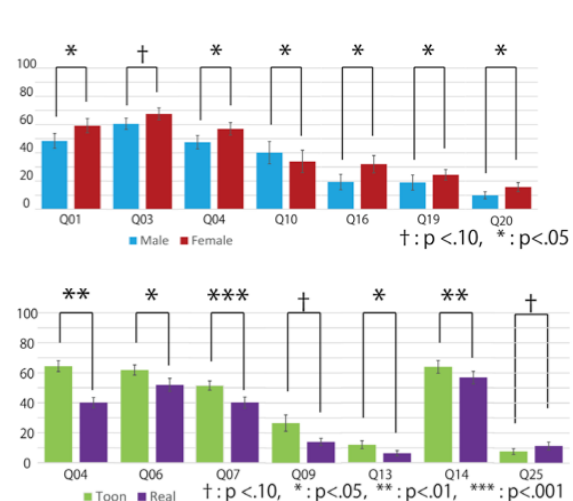


図 7 : 被験者のアバタの外見の主効果が認められた要因ごとの各条件下の評価値 ((上) 性差, (下) 写実性)

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件/うち国際共著 0件/うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Sakurai Sho, The University of Electro-Communications 1-5-1 Chofugaoka, Chofu, Tokyo 182-8585, Japan, Goto Takumi, Nojima Takuya, Hirota Koichi	4. 巻 33
2. 論文標題 Effect of the Opponent's Appearance on Interpersonal Cognition that Affects User-to-User Relationship in Virtual Whole-Body Interaction	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 Journal of Robotics and Mechatronics	6. 最初と最後の頁 1029 ~ 1042
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） 10.20965/jrm.2021.p1029	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計5件（うち招待講演 0件/うち国際学会 1件）

1. 発表者名 Tokio Oka, Takumi Goto, Nobuhito Kimura, Sho Sakurai, Takuya Nojima & Koichi Hirota
2. 発表標題 Effects of Interpupillary Distance and Visual Avatar's Shape on the Perception of the Avatar's Shape and the Sense of Ownership
3. 学会等名 HCI International (HCII) 2021 (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 木村信人, 櫻井翔, 野嶋琢也, 広田光一
2. 発表標題 ユーザの筋運動に伴って変化するアバタの視覚的な筋肉量が身体性に与える影響の基礎調査
3. 学会等名 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 後藤拓海, 櫻井翔, 野嶋琢也, 広田光一
2. 発表標題 VRツイスターにおける自身のアバタの外見が相手とのインタラクションに及ぼす影響
3. 学会等名 第26回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 櫻井翔, 武井友里恵, 野島琢也, 広田光一
2. 発表標題 怪獣アバタを用いたバーチャル破壊体験による非主張性軽減手法の検討
3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2020年

1. 発表者名 櫻井翔, 帆山遼, 野島琢也, 広田光一
2. 発表標題 客体化された自己としてのアバタの外見がアバタへの自他判断と行動評価に与える影響
3. 学会等名 第25回日本バーチャルリアリティ学会大会
4. 発表年 2020年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

<p>登壇 櫻井翔：サイエンスアゴラ2021 アゴラ市民会議「科学技術と想像力は互いを高め合うか」ゲストスピーカー（主催：科学技術振興機構、日本科学未来館），2021年11月3日。 https://www.jst.go.jp/sis/scienceagora/2021/session/03-a15.html</p> <p>櫻井翔：「能力を拡張するVR」CO-ラボ「産学連携で創る10年後の世界」（主催：コラボ産学官），2019年10月18日。（招待講演） https://www.collabosgk.com</p> <p>メディア掲載 “考・ヒト×テクノロジー ミライ 人間とはーVRが変える？”朝日新聞朝刊25面，2019年8月21日。 “アイドルグループ「キャンディzoo」の仲原英海、VRの最新研究に触れる” スポニチ Sponichi Annex 2019年8月9日。 https://www.sponichi.co.jp/entertainment/news/2019/08/09/kiji/20190809s00041000242000c.html</p>

6. 研究組織

	氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考
研究分担者	広田 光一 (Hirota Koichi) (80273332)	電気通信大学・大学院情報理工学研究所・教授 (12612)	

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8 . 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関
---------	---------