

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 9 日現在

機関番号：12601

研究種目：挑戦的萌芽研究

研究期間：2015～2016

課題番号：15K12077

研究課題名(和文) Diminished agencyに関する研究

研究課題名(英文) A basic study of diminished agency

研究代表者

櫻井 翔 (Sakurai, Sho)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・客員研究員

研究者番号：70739523

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 2,800,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、映像記録を用いた運動学習(自己観察)時に、映像内の自己に対する運動主体感(Sense of agency; SA)の排除によって自己を他者として認識させ、自己の運動の問題を発見しやすくできるかを検証した。そのために、取得したユーザの動作データを基に3Dモデルの外見的特徴(肌テクスチャ、体型、性差)変形手法と、ユーザと他者の動作データの混合による運動的特徴加工手法を構築した。本手法を用いた検証の結果、見かけの運動的特徴がSAの評価に強く作用した。一方で、動作データを混合する相手が異性同士の場合に外見的特徴もSA喪失に影響すること、体型の見た目が問題指摘数に影響することが示された。

研究成果の概要(英文)：The purpose of this study was to diminish a sense of agency (SA) to oneself in image to make oneself recognize as other person for creating awareness of problems of self-motor when doing motor learning with reviewing the image. To investigate the feasibility of this approach, we constructed a system to deform the appearance features (skin texture, body shape and gender difference) of a 3D model based on the motion data of a user and to change the kinetic features of the model by mixing motion data of the user and other person. Using this system, we tested the effect of the appearance and motor features of the 3D model on the recognition of the models' motion. The result showed that the kinetic features strongly affect the SA to the 3D model rather than the appearance features. Meanwhile, it was also shown that the appearance features also affect the SA when heterosexual motion data are mixed. Moreover, apparent body shape seemed to affect the amount of motor problem pointed out.

研究分野：拡張認知インタフェース

キーワード：運動主体感 自己所有感 運動学習 自己観察

1. 研究開始当初の背景

スポーツ教育や技能伝承における運動技能獲得のためには、自己の運動の長所・短所を理解し、修正が必要な部分について学習を行なう必要がある。この運動技能獲得に関して、「これは自分が行なっている」という感覚を指す運動主体感（Sense of agency; SA）に注目した研究が行なわれ始めている。SAは、運動中は身体運動を通じて得られた視覚と体性感覚の予測と随伴から得られる。そのため、熟練者の運動技能を主観視点映像で追体験させ、適切なタイミングで学習者の身体に振動刺激等を提示することで、あたかも熟練者の技能を学習者が行なえたかのようにSAを生じさせ、技能伝達を図る手法が研究されている。これは技能獲得および学習のフェーズでは有効であるものの、その前段階である自己の現状分析には活用できない。

自己の現状分析のための運動学習の1つである自己観察は、運動記録を基に学習者が学習者地震を客観的に観察し、現状の身体運動の問題点を把握する方法であり、専門家の関与を要することなく日常的に行なうことができる。しかし、自己を観察し、自ら長所・短所を発見するフェーズにおいては、自己を他者のように観察できることが必要となる。しかし、自己の行動に対しては冷静な分析や厳しい評価が難しいという認知的なバイアスが発生しやすく、またそもそも自己の問題点には気づきにくいという問題がある。

2. 研究の目的

以上の背景に対し、本研究では、多感覚統合によって自己の運動を認識するメカニズム（運動主体感、Sense of agency; SA）の制御に関する知見をSAの喪失という方向に逆利用することで、SAに起因する運動技能分析時の認知バイアスを取り払うための手法の構築を目的とする。そのために本研究では、映像記録を利用して主に自己の運動を振り返る際に、映像記録内の自己からSAを喪失させ、自己を自己ではない第三者として認識させる手法を構築する。

3. 研究の方法

本研究では、上記目的の実現可能性を検証する上で、当初の方法として下記のような3フェーズの計画を立てた。

- (1) 自己の身体的特徴の変形等、感覚情報を操作することでSAの生起に関する感覚統合に効果的に不整合を生じさせ、映像として記録された自己運動の観察中にSAを喪失させる手法の構築。
- (2) 上記手法を身体技能習得に活用した際に、自己分析がどの程度改善されるかの検証。
- (3) 運動技能の種類とSA喪失手法との対応を体系化し、性能限界と学習最適化手法の明確化。

本研究では、主に、視覚的に得られる観察対象の特徴として、個人を認識する手掛かりとなる外見的特徴に変化を加えることで、その観察対象に対するSAを喪失させることを考える。一方で、もう一つの視覚的特徴である運動的特徴や、SAと深く関わる自己を認識するメカニズムである身体所有感（Sense of ownership; SO）がSA制御に関与する可能性を無視することはできない。

そこで本研究では、映像記録内の自己からSAを喪失させる手法として、VR空間と実空間の空間的・時間的連続性がある状態とない状態の2種類の状況において、VR空間内の観察対象の外見的特徴および運動的特徴を操作する手法を構築するとともに、その観察対象に対するSAの認識に与える影響を検証した。また、本手法を用いて視覚的特徴を操作したVR空間の対象を観察する際に、その対象の運動能力の印象評価や、その運動に対する問題点指摘の際に与える影響についても調査を行なった。

4. 研究成果

4. 1. VR空間と実空間の空間的・時間的連続性がある状態で、VR空間における身体の一部の動作を一人称視点で観察する場合

■研究内容

まず、SOを制御する要因を操作するアプリケーションシステム「Metamorphosis Hand」を構築した（図1）。本システムでは、ユーザが箱の中に両手を挿入すると、箱の下部に配置されたLeap Motionコントローラーがユーザの手の位置と動きを検出し、実際の手の位置に重なるように、箱の上面のスクリーンに変形されたCGハンドが投影される。ここでは、バーチャルなピアノを弾く設定にすることで、運動と同期する視聴覚フィードバックによる擬似的な触力覚を生起させた。これにより、ユーザは自分自身の手が変形したかのような体験を得られる。

CGハンドの変形パターンは図2の4種類であり、両手ともに同じ変形を施した。基本となるモデルには、Leap Motion Unity Assetsのうち、日本人の標準的な手の色と形状に近いSaltLightFullHandを使用した。

■展示

2015年11月に東京大学で開催されたメディアアートの展覧会「第17回東京大学制作展」において、Metamorphosis Handの展示を行なった。展示期間は5日間であり、400人以上が本システムを体験した。本展示を通じ、CGハンドの視覚的特徴の変形がCGハンドに対するSOおよびSAに与える影響を検証した。

全体として、ほとんどの体験者が「気持ち悪い」、「奇妙な感覚」という感想を2つの観点から得ていた。これは、実際には空中で手を動かしているだけにもかかわらずピアノを弾いている感覚が得られる点、現実にはあ

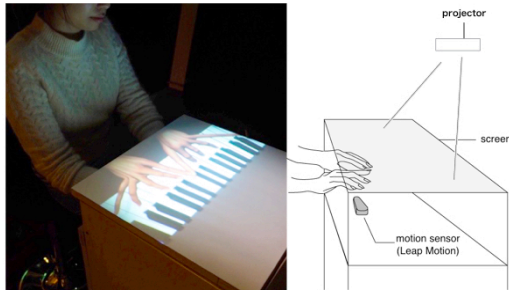


図1 Metamorphosis Hand
(左：バーチャルにピアノを引く様子、
右：システム構成)

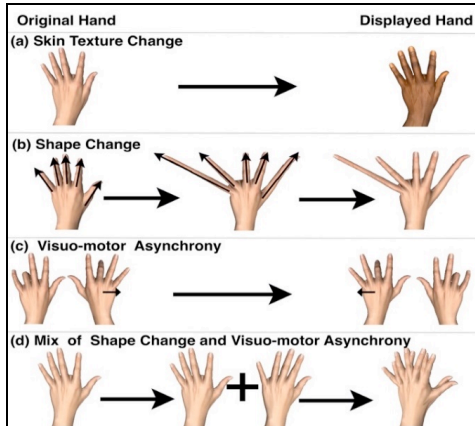


図2 手の変形パターンと変形の過程

り得ない形状の手が示された場合でも CG ハンドに対して強い S0 が生起される点である。各変形パターンのうち、図 2b では S0 生起効果が強く、一方で図 2c の左右の手の運動の対応が逆転する変形では、画面内で自分の思い通りに手が動かないために S0 が感じられないことを示すフィードバックが得られた。

また、「あなたは自分の手でピアノを弾いていると感じますか？」と体験者に質問した。多くの体験者は、テクスチャや形状が変更されたバーチャルハンドでピアノを引いた場合でも、この質問に対して肯定的な答えを示した。しかし、視覚と運動の同期が崩れた場合は、この間に対しては否定的な回答が得られた。

■ 考察と結論

体験者の主観報告から、視覚-運動間の同期が不整合である場合には、見た目上の大幅な変化が起こっている場合に比べて S0 が生起しづらいことが示唆された。もっとも多く報告された「気持ち悪い」という不快感について、ラバーハンド錯覚一般に「明らかに自分ではない」と認識している外界の物体に対して S0 が生起することに対し、奇妙な感覚が生起するとされている。よって、「自分ではない」程度と、S0 の生起強度とがこの気持ち悪さに影響していることが推察される。一方で、形状変化(図 3b)に比べ、10 本指の変形パターン(図 3d)では「気持ち悪い」という強烈な反応があまり観察されなかった。これは、観察対象の外見的特徴の違いに加えて運動

的特徴も実際の身体と異なる場合は、CG ハンドに対する SA が失われた一方で強い S0 が生じているために、不快感が生じるものと考えられる。

また、視覚-運動間同期が維持されている場合は、CG ハンドの形状やテクスチャを変更しても S0 が低下しないことが示された。図 3c の変形パターンへのコメントは、S0 が SA によって強まるという先行研究を支持する内容となっている。これより、視覚-運動間の同期が不整合である場合には、CG ハンドの外見的特徴が実際の手と大幅に異なる場合に比べて S0 が生起しにくくなることに加え、SA も失われやすいことが示唆された。これは、実際の身体動作と VR 空間内の対象観察に時間的連続性がある場合には、外見的特徴以上に運動的特徴の変化が SA 制御に影響すること考えられる。

4. 2. VR 空間と実空間の空間的・時間的連続性がない状態で、VR 空間における全身の運動を三人称視点で観察する場合

■ 研究内容

本実験では、全身運動としてラジオ体操を取り上げた。ユーザがラジオ運動を行ってから、時間を置いてユーザの動作データを基に外見的特徴や運動的特徴に加工を加えた動作を行なう 3D モデルの運動を観察させ、そのモデルの動作に対する SA および運動印象を評価させた。被験者は日本の 20 代の男女各平均の BMI 値 (に近いことを条件とし、BMI 値が 20.3~22.6 の男性 6 名、BMI 値が 19.5~20.3 の女性 4 名の計 10 名とした。

被験者にはラジオ体操第一を行ってもらい、モーションキャプチャカメラを使用して被験者の動作をキャプチャ、出力した。

使用する 3D モデルとして、男性モデル、女性モデル、骨モデルを採用した(性別条件)。男女モデルについては、体型(「普通体型」, 「肥満体型」)、肌の色(「肌色」, 「緑色」)の各 2 種類を用意した(特徴条件)。「性別条件」と「特徴条件」の組合せにより生じる見た目の違いを「外見条件」と表す(図 3)。さらにキャプチャした被験者の動作データと予め用意していた他人の動作をキャプチャしたデータを合成・出力手法についても構築した(動作条件)。実験では、外見条件の異なる合計 9 体のモデルを使用した(図 3)。体型と肌の色以外の外見的特徴の影響を排除するため、実験時はモデルの顔が見えないようモデルを後ろ向きに配置し、観察させた。

以上のラジオ体操から 24 時間以上を空けて、アンケートによる評価を行った。被験者には、図 3 の 9 種類のモデルのうち、ランダムに見せた 1 種類の 3D モデルの運動能力の印象(良し悪し)を Visual Analog Scale (VAS) 法を用いて評価させた。次に、先に見せた画像と同じモデルがラジオ体操を行う動画を見せながら、ラジオ体操の問題点をできる限

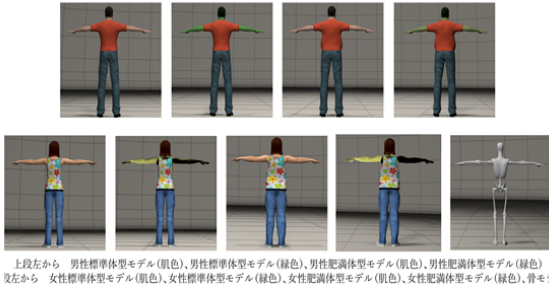


図3 本実験で用いた3Dモデルの外見条件

り多く挙げてもらった。この時、モデルの動作条件は、被験者の動作（自分量100%）、他人の動作（自分量0%）、被験者と実験者の動作を1:1の割合で合成した動作（自分量50%）のいずれかとした。最後に、「モデルの動きを自分の動きだと思ったか」をVAS法で評価させた（SA評価）。この問いでは、「他人の動きである」が左端に、「自分の動きである」が右端に書かれた長さ100[mm]の数直線状に縦線を引くことで回答させ、その理由を自由に記述させた。以上の手順を全てのモデルと動作の組み合わせについて行った。

■結果

観察対象に対するSA評価の評価値の平均と標準誤差（表1）は、点数が低いほど、3Dモデルの運動に対するSA評価が低いことを示す。二要因分散分析の結果、外見条件の主効果は有意でなかった（ $F(8, 2)=0.96, n.s$ ）が、動作条件の主効果は有意であった（ $F(8, 2)=76.58, p<.01$ ）。Tukey法による多重比較の結果、全動作条件の間で有意に認められた（ $F(2, 2)=7.6, p<.05$ ）、（ $F(2, 2)=12.4, p<.05$ ）、（ $F(2, 2)=4.9, p<.05$ ）。また、両要因間での交互作用には有意差は認められなかった。

また、各実験条件における男女別の各SA評価値（図4, 5）について二要因分散分析を行った結果、男性被験者に関しては外見条件の主効果に有意傾向が見られた（ $F(8, 2)=1.98, n.s$ ）。動作条件の主効果は有意であった（ $F(8, 2)=79.2, p<.05$ ）。両要因間での交互作用には有意差は認められなかった。Tukey法による多重比較の結果、全条件間で有意差は認められなかった。女性被験者に関してはモデルの外見、動作の各条件について主効果が有意に認められた（ $F(8, 2)=2.40, p<.05$ ）、（ $F(8, 2)=16.88, p<.01$ ）。両要因間での交互作用には有意差は認められなかった。外見的特徴の違いについて動作条件に一要因分散分析を行った結果、有意差は認められなかった（ $F(8, 27)=1.42, n.s$ ）、（ $F(8, 27)=1.21, n.s$ ）、（ $F(8, 27)=0.80, n.s$ ）。

各モデルの運動能力印象の評価値と標準誤差（表2）は、評価値が高いほど、運動能力が高い印象を与えたことを示す。なお、この回答値にはモデルごとの3種類の運動に対する評価値の平均を用いた。画像では動作条件は含まれないため、外見条件について一要

表1 各条件下におけるSA評価値（平均±標準誤差）

モデル名	自分量		
	100%	50%	0%
標準女性(肌色)	68.2±1.9	30.7±2.3	20.2±2.1
標準女性(緑色)	86.9±3.0	34.8±1.9	38.0±1.7
肥満女性(肌色)	70.3±1.7	43.1±1.9	24.3±2.4
肥満女性(緑色)	72.7±2.0	39.6±1.8	24.7±2.7
標準男性(肌色)	61.6±1.6	46.1±2.1	15.3±2.7
標準男性(緑色)	68.3±1.9	42.9±2.2	14.0±3.1
肥満男性(肌色)	61.3±1.7	34.1±2.3	16.7±2.9
肥満男性(緑色)	63.9±1.9	39.4±2.1	22.9±2.5
骨モデル	62.7±1.7	48.7±2.7	18.3±2.9
平均	68.4±16.2	39.9±18.3	21.6±20.4

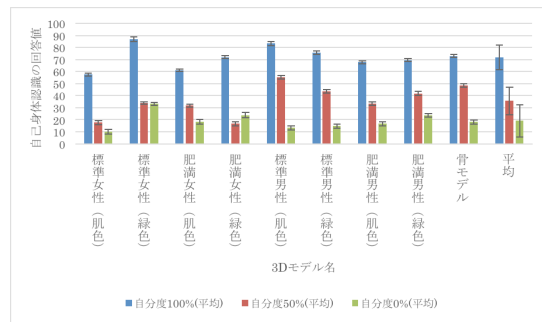


図4 男性被験者の各条件下におけるSA評価値（平均±標準誤差）

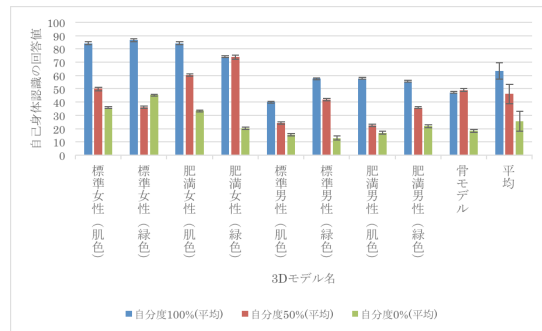


図5 女性被験者の各条件下におけるSA評価値（平均±標準誤差）

表2 各条件下における3Dモデルの運動能力の印象の評価値（平均±標準誤差）

モデル名	運動能力の回答値の平均±標準誤差
標準女性(肌色)	60.6±2.5
標準女性(緑色)	57.7±2.6
肥満女性(肌色)	44.3±2.8
肥満女性(緑色)	41.87±3.2
標準男性(肌色)	68.8±3.1
標準男性(緑色)	58.5±2.7
肥満男性(肌色)	45.2±2.7
肥満男性(緑色)	42.4±2.6
骨モデル	60.3±2.9

表 3 各条件下における問題指摘数
(平均±標準誤差)

モデル名	自分度		
	100%	50%	0%
標準女性(肌色)	2.2±1.3	3.5±2.0	3.6±1.5
標準女性(緑色)	2.5±1.3	2.8±1.7	3.0±1.5
肥満女性(肌色)	2.5±1.0	2.9±1.1	2.9±1.6
肥満女性(緑色)	1.7±0.90	2.7±1.6	3.1±1.2
標準男性(肌色)	1.6±0.80	2.5±0.81	3.6±1.4
標準男性(緑色)	2.3±0.64	2.2±1.1	3.6±1.3
肥満男性(肌色)	2.6±1.2	2.7±1.6	4.3±0.78
肥満男性(緑色)	2.2±1.5	2.4±0.92	3.2±1.3
骨モデル	2.3±1.3	1.7±1.4	2.6±1.2
平均	2.2±1.2	2.6±1.5	3.3±1.4

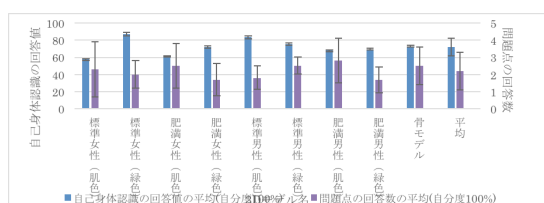


図 6 男性被験者の各条件下におけるSA評価と問題指摘数(平均±標準誤差)

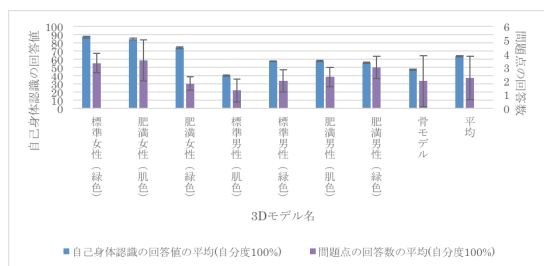


図 7 女性被験者の各条件下におけるSA評価と問題指摘数(平均±標準誤差)

因分散分析を行った結果、その主効果は有意であった ($F(8, 81)=5.00, p<.01$)。Tukey法による多重比較の結果、性別や肌の色に関わらず全ての肥満体型のモデルと肌の色が通常の標準体型の男性モデルとの間において有意差が認められた ($F(8, 8)=-3.90, p<.05$), ($F(8, 8)=-4.30, p<.05$), ($F(8, 8)=3.77, p<.05$), ($F(8, 8)=4.21, p<.05$)。

被験者が各実験条件の動画を見て指摘した問題点の数(表3)については、二要因分散分析の結果、外見条件の主効果は有意でなかったが、動作条件の主効果は有意であった ($F(8, 2)=1.47, n.s$), ($F(8, 2)=15.24, p<.01$)。二要因間での交互作用には有意差は認められなかった。3種類の各動作に対するTukey法による多重比較の結果、自分度0%と100%の間および0%と50%の間で有意差が認められた ($F(2, 2)=-5.41, p<.05$), ($F(2, 2)=-3.51, p<.05$)。

男女別の問題指摘数(図6, 7)についても

二要因分散分析を行った結果、男性被験者、女性被験者ともに、モデルの見た目の違いについては有意差が認められなかった ($F(8, 2)=0.60, n.s$), ($F(8, 2)=0.84, n.s$)。一方で動作条件については有意差が認められた ($F(8, 2)=9.3, n.s$), ($F(8, 2)=5.5, n.s$)。また、男女共に二要因間での交互作用には有意差は認められなかった。

■考察と結論

被験者全体の3Dモデルに対する自他認識に関しては、外見条件と動作条件のうち、動作条件の主効果のみが有意に認められた。一方、SA評価についての男女別の評価は、女性被験者の評価について外見条件の主効果が有意に認められたことからモデルの外見的特徴もSA制御に作用することが示された。また、動作条件が自分度50%の場合に、男性被験者に限り、外見条件の主効果が有意に認められた。本実験では、運動的特徴を変えるために被験者の動作データと混合する他者の動作データとして、女性のデータを用いていた。そのため、男性らしい動作と女性らしい動作(異性同士の動作)が混合された場合に、外見的特徴がVR空間内の観察対象に対するSAに影響したことが考えられる。このことについては、女性被験者に対して男性の動きのデータを用いて同様の実験を行った場合にも同じ結果が得られるのか検証する必要がある。

3Dモデルの運動能力の印象については、外見条件の主効果について有意な結果が得られたことから、運動能力の印象は外見的特徴によって左右されることが分かる。一要因分散分析の結果と平均値を見ると、特に標準体型の男性について高く評価され、肥満体型のモデルは総じて評価が低い。肥満体型のモデルの評価が低いことは一般的に予想されるが、標準体型の被験者を対象とした際にはそういった人たちの存在よりも先入観による偏見が先行しやすいことが考えられる。そのため、今回の実験では一般体型の被験者を対象としたが、本来肥満体型あるいは瘦身体型の人について、今回とは異なるパターンで体型を操作して見せた場合についても検証を行なう必要があると考えられる。

3Dモデルの肌の色の違いによる運動能力印象の変化については有意な結果は得られなかった。本実験において標準的な肌色の対象になる色として用いた緑色のテクスチャが、あまりに非現実的な表現であったために、外見的特徴の手掛かりとして認識されなかった可能性もある。そのため、現実的な肌の色にした場合は結果が異なる可能性がある。

加えて、本実験では、主に肌テクスチャ、体型、性差を外見的特徴の加工対象としたが、これらの要因以上に顔や髪型といった要因を用いた場合、外見的特徴の変化が自他認識により強く影響することが予想される。特に顔は特定の人物を認識する上で強力な手掛

かりとなることから、より被験者の顔に近いモデルと、全く異なる顔のモデルを用いて、そのデータを混合した場合などについても検証を行なう必要がある。

運動の問題発見能力に関しては、3Dモデルの運動に対するSA評価値が高い場合はその運動に対する問題指摘数が増加し、逆にSA評価値が低い場合は問題指摘数が低下する傾向にあった。問題指摘数については、動作条件の主効果のみ有意に認められたが、この結果自体は、これはモデルに対するSAが喪失されることで、問題の判断が厳しく行なわれることを示している。

今回の実験における被験者がラジオ体操に精通していたとは限らないため、指摘された問題が正しい指摘だったかについては、本実験の結果のみから判断することはできない。しかし、本提案手法の実現可能性をより明確なものにするためには、上述の本研究とは異なる外見条件等を適用した検証に加え、運動のプロを被験者とした場合についても調査するなど、さらなる検証が必要である。VR空間の観察対象を自己ではない他者として認識させることが、運動の問題発見能力向上に影響する可能性も示されたことから、本実験では扱わなかった上述の外見的特徴操作手法を検討し、今後も本提案手法の構築と実証を継続して行なっていく。

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計0件)

[学会発表] (計4件)

- [1] 小川奈美, 伴 祐樹, 櫻井 翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝. バーチャル身体形状と動きの変換が身体所有感と身体図式に与える影響. 第21回日本VR学会大会論文集, 21, 13B-01. 茨城県, つくば市, つくば国際展示場, 2016年09月14日-16日.
- [2] Sho Sakurai, Yuki Ban, Nami Ogawa, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose. Diminished Agency: Aattenuating a sense of Agency for Problem Finding on Personal Ohisical Performance. HCII2016/HIMI2016, Part II, LNCS9735, 487-493. Tronto, Canada, Jul 17-22, 2016.
- [3] Nami Ogawa, Yuki Ban, Sho Sakurai, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa, Michitaka Hirose. Metamor- phosis Hand: Interactive Experience of Embodying Virtually Transformed Hands, Laval Virtual ReVolution. France, Laval, Mar 23-27, 2016.
- [4] Nami Ogawa, Yuki Ban, Sho Sakurai, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa,

Michitaka Hirose. Metamor- phosis Hand: Dynamically Transforming Hands. AH2016, Article 51. Geneve, Switzerland, Feb 25-27, 2016.

[図書] (計0件)

[産業財産権]

- 出願状況 (計0件)
- 取得状況 (計0件)

[その他]

ホームページ等

- [1] <http://sakuraisho.info/works/dimini shedagency>
- [2] <http://hirota-lab.sumomo.ne.jp/index.php?cat=research&name=body-sens>
- [3] <http://namiogawa.strikingly.com/>

展示 (計2件)

- [1] 小川奈美, 伴 祐樹, 櫻井 翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: えくす手. Nikken Activity Design Lab 主催 PUBLIC SMILING -Living Lab for affective technology and public space-. 東京都千代田区, 日建設計東京ビル1階ギャラリー, 2016年9月21日-30日.
- [2] 小川奈美, 伴 祐樹, 櫻井 翔, 鳴海拓志, 谷川智洋, 廣瀬通孝: えくす手: 変調バーチャルハンドへの即応的な身体所有感の生起による身体拡張システム. インタラクション 2016. 東京都千代田区, 日本科学技術館, 2016年3月4日.

6. 研究組織

(1) 研究代表者

櫻井 翔 (SAKURAI, Sho)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・客員研究員/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

(2) 研究協力者

廣瀬 通孝 (HIROSE, Michitaka)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・教授

研究者番号: 40156716

谷川 智洋 (TANIKAWA, Tomohiro)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・特任准教授

研究者番号: 80418657

鳴海 拓志 (NARUMI, Takuji)

東京大学・大学院情報理工学系研究科・講師

研究者番号: 70614353