

〈一般研究課題〉 映像空間における身体イメージのプロジェクションに関する研究

助成研究者 名古屋市立大学 小鷹 研理



映像空間における 身体イメージのプロジェクションに関する研究

小鷹 研理
(名古屋市立大学)

Research on projection of body image onto visual space

Kenri Kodaka
(Nagoya City University)

Abstract :

In operating a computer with conventional GUI, it is generally difficult to make an operator's body image to be projected onto a display space from the physical world. Such a gap can make us to lose body-sense-based sociability in the display world. This research designed the computational desktop space including a representation of "rubber hand pointer" we named, which allows an operator to feel as if the pointer is his or her body's real representation. An experiment with 11 participants demonstrated that the system can give the operators a feeling of handling the pointers directly by their fingers, as long as an anatomical similarity between the pointers and the operator's fingers is maintained.

1. はじめに

近年、通信環境の整備により、遠隔地のロボットに搭載された映像を介して遠隔コミュニケーション(テレプレゼンス)を行うロボットが多く活躍している(e.x. Texai, QB)。こうしたシステムで操作者側に与えられる映像には、ロボット自身の姿は通常映されていない。そのため、遠隔地側の人間は、ロボットの動きや映像から操作者の身体的実在感がある程度共有できる一方、操作者の身体感覚が遠隔空間で実際に動作するロボットに同化することは、極めて困難である。こうした身体感覚の欠如は、記号的なアバターの投影されたCG空間でモラルの無い行動が散見されるのと同じように、遠隔空間内の振る舞いにおける社会性を喪失させてしまうおそれがある。

本申請では、操作者の身体動作イメージを、恣意的に生成された映像物(CGや抽象的な図形等の擬似身体表現)を媒介とし、遠隔ロボットに空間的に投射するという、全く新たな枠組みを持ったシステムを提案する。こうした枠組みを実現するにあたって重要なことは、映像空間に投影されたものが、身体と似ても似つかない外観を持っていたとしても、ユーザとのインタラクションを通して、結果的に身体的な感覚を想起させる効果を持つことである。このようなシステムを実現するため、本研究では、近年脳科学において明らかとなったRubber Hand Illusionと呼ばれる錯覚現象に着目し、操作者の身体と疑似身体映像の動きとが視覚・体性感覚さらには運動感覚を横断的に同期する環境を設計することで、現実と空間的に乖離した人工空間に身体イメージを投射(=プロジェクション)し、身体性の不在を補償する試みを行う。

2. 関連研究

操作者の身体とディスプレイが同次元のものとして認識できるデスクトップの操作環境としてSpaceTopが挙げられる。これは半透明なディスプレイを用いた操作環境であり、操作する手が透けて見ることが出来る仕様となっている。ディスプレイに映し出す空間は3D化され、ディスプレイと操作者の身体が同次元にあるような高い現実感が作り出されている。この操作環境では手の動作と形態がそのまま利用されているために、操作を行なう際に手をディスプレイ空間いっばいに動かす必要がある。また、手のサイズが物理的に固定されているために、細やかなポインティングは行うことができない。これらのことから、身体形態をそのまま用いた操作環境は、効率性や精度の点で、大きな問題を抱えていることがわかる。

近年、身体所有感を実際の身体ではない身体の類似物(以下、仮想身体)へと転移させる研究が多く取り込まれている。そうした研究の源流の1つに、RHI(Rubber Hand Illusion^[1])という名で報告されている錯覚現象を挙げることができる。RHIを誘起する実験では、被験者の手を被験者に見えないよう衝立の向こうに隠したまま、偽物であるゴムの手を被験者の目の前に置き、実験者がその両方の手に同時かつ同部位に刺激を与えることで、被験者が偽物の手を本物の手であるように感じるというものである。この錯覚の強度は、刺激の時間的一致、投射先との空間的一致、実際の手との形態的一致によって決定的に高められる。ただし、仮想身体が明らかに長すぎる腕の場合や、机の端を用いた場合でも錯覚が生じた例^[2]があり、空間と形態の一致についてはその柔軟性も指摘されている。さらにディスプレイに映し出される腕を用いた場合^[3]やHMDを用いたバーチャルボディーに関する研究^[4]によれば、その投射先には必ずしも3次元の実体を必要としないことが示唆されている。本研究ではその柔軟性に着目し、従来のポインタのように身体動作を拡張した操作範囲を保ちつつも、身体イメージの投射が容易な、ディスプレイ内に身体的実在感を引き起こすポインタを開発する。このポインタはRHIにおけるゴムの手役割を果たすことから、「ラバーハンド・ポインタ」(RHP: Rubber Hand Pointer)と呼ぶ。

3. システム

3.1 設計要件

以上の関連研究を踏まえ、「ラバーバンド・ポインタ」を実装するにあたって考慮すべき点を設計要件としてあげた。なお、以下の説明において、「自己身体」とはポインタを操作する操作者自身

の上肢を、「仮想身体」とはディスプレイ内に現れるポインタを指す。

■ 身体のマスキング

自己身体が視覚的に明示されている場合、身体所有感は自己身体的位置に確立されてしまい、仮想身体へと身体所有感を移すことは難しくなる。先に述べた先行研究の多くは、衝立等を使用することによって自己身体を視覚的に隠している。本研究においても操作する手を視覚的に隠す構造を持たせる必要がある。

■ 投射先との距離の近距離性

身体周りの腕が届く空間のことを神経科学の分野では身体近接空間(ペリパーソナル・スペース)と呼ぶ。この空間も自分の身体の一部であるとして、脳内の身体マップに含まれている。そのため、仮想身体もその空間内にあった場合の方が、脳に「身体らしい位置」に「身体らしい何か」があると認識させやすい。逆にこの空間外に仮想身体があったとしても、「身体ではありえない位置」に何かがあるという認識になるため、身体イメージの投射も起こりにくくなる。また、体性感覚と仮想身体から得られる視覚刺激とが合致することも投射を強める要因となる。これらのことから、自己身体は仮想身体に近い空間に配置すべきだと考えられる。

■ 仮想身体(ポインタ)の形態に関する制約

仮想身体の形態は自己身体の形態と類似するほどに、身体イメージの投射が強くなるとされている。しかし、ポインタに腕の画像を用いるなどの、仮想身体が自己身体に酷似するような場合には、過度の近似性に拒否感を抱く「不気味の谷⁵⁾」の問題に直面する。そのため、ポインタには写実的な画像よりも、デフォルメ化された像を用いるのが望ましい。本研究ではポインタの形状に依存しない操作環境を構築することで、今後のデスクトップ・テレプレゼンス研究での基礎的なシステムを構築する。そのため、今回開発するポインタの形態には、最も基本的な形態である幾何学形を用いる。

■ 空間的同一性

入来⁶⁾の研究では、RHIの実験環境と類似の環境をサルに対して構築し、サル自身の手が隠された状態で、自身の手映像をモニターに表示した。この映像をサルが見続けることで、サルの視覚受容野がモニター内の手周辺に形成され、サルはモニター上の手を、まるで自身の手であるかのように自在に動かせるようになる。私たちの実生活においても、車の運転中に先端が見えなくとも車間距離がどことなく分かるといった、道具に身体感覚が拡張されたような体験をすることがある。

本研究では操作の汎用性の高い環境を構築するため、ポインタの操作にかける身体動作は小さくしつつも、ポインタの可動範囲を大きく保つ必要がある。そこで仮想身体と自己身体の動きはベクトル方向を同じに保ちつつ、その仮想身体の移動量のみを拡大する。運動方向を揃えることで仮想身体と自己身体の関連付けを保ち、移動量を相似的に変形させることで、ボディ・スキーマの柔軟性による身体イメージの補間を狙った。

■ 仮想身体の視覚刺激と自己身体の触覚刺激の同期

RHIは視覚刺激と触覚刺激の同期によって引き起こされる錯覚である。これらの刺激が整合することで、投射先の身体は本物であるという理由付けがなされ、投射はより強力になる。この環境においても、視覚的に何かが生じた際には、それに対応した触覚的刺激を与えることで、より強固な投射を生み出すことができると考える。

3.2 実装

3.1で検討した設計要因をもとにして、実際にラバーハンド・ポインタのシステムを実装した。

■ 操作姿勢

ポインタの制御はディスプレイ (SUNMUNG/ME32B) の裏側に取り付けたトラックパッド (Apple/MagicTrackpad) に指先を添えて行う (図1 参照)。ディスプレイの裏側で操作を行うことで、操作する手の「マスキング」とポインタとの「空間的相同性」の効果を狙った。操作姿勢は座位であり、ディスプレイを水平状態から約30度傾けることで、無理な姿勢による投射への影響を軽減している。さらにディスプレイを設置した台の手前側に10cmの衝立を取り付けることで、操作者からポインタの根本と腕との継ぎ目が直接見えないよう配慮した。

■ 座標系の扱い

ポインタはトラックパッドに添えられた指によって操作される。ポインタの表示位置はトラックパッドの操作範囲の座標をディスプレイの表示範囲に拡大して割り当てた絶対座標系で計算される (図2 参照)。そうすることで操作者の動作とポインタの動作とが同期した状態を保ちつつ、小さな運動のみで広大な範囲の操作範囲を手に入れることができる。(図3 参照)

■ ポインタの形態的表現

指に対応する位置には方向性を想起させない形態である球が映し出される。球は指がトラックパッドに接触した本数分ディスプレイに表示され、先の座標系の扱いのルールに従って、表示され

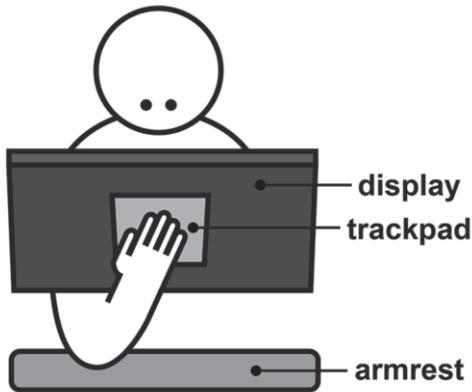


図1. システムの配置図

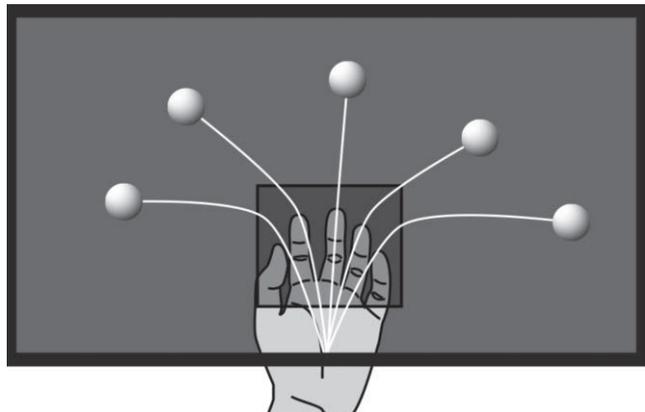


図2. 指とポインタとの位置関係

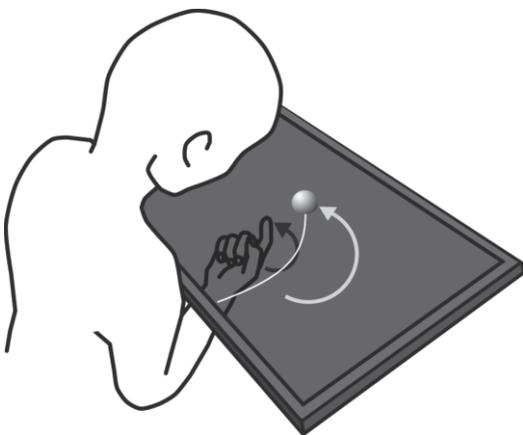


図3. 操作動作の拡大

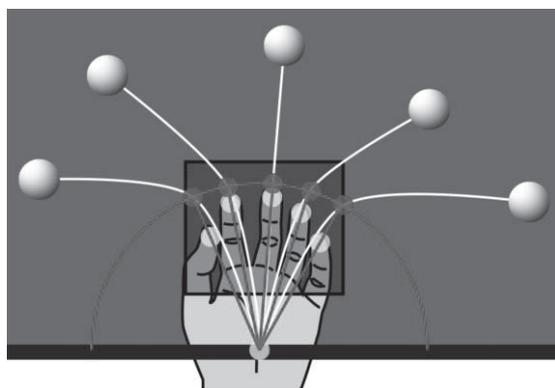


図4. 自己身体とポインタの相関

る。また、自己身体の動作イメージを伝えるため、球1つに対し1本の曲線を表示した。曲線は

- ① ディスプレイ手前の際と腕の交わる位置座標(基点)
- ② 基点と指を結ぶ線を基点より任意の長さ伸ばした先の座標
- ③ 球の座標

の3点を通るベジェ曲線である。(図4参照)基点の位置については腕置きに内蔵された接触位置センサ(SoftPot/500mm)によって計測をしている。この曲線表現によって、腕の動きと指の位置から割り出された指の曲がり具合を伝えることができる。

■ 視覚-触覚間イベントの同期

トラックパッドの反応範囲の境目に約5mmの出っ張りを持たせることで、球がディスプレイの端に衝突した場合に、指に触覚的アクションが返ってくるようにした。



図5.トラックパッドの配置

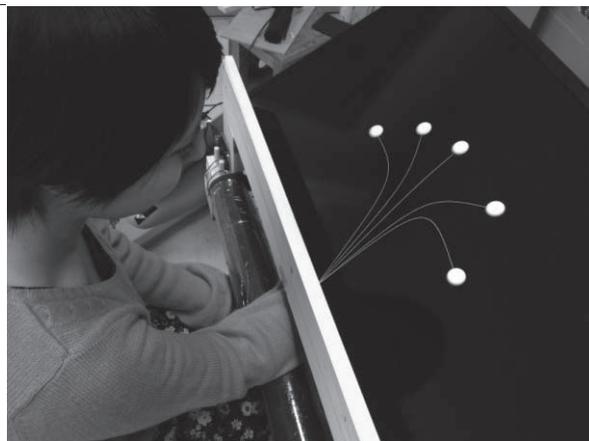


図6. 使用時の様子を撮影したもの

4. 実験

実装したシステムが、ユーザの身体的な操作感覚にどのような影響を与えるかについて、様々な観点から実験を行った。本報告書では、紙幅の関係で、そのうちの一部の実験のみをとりあげ、実験内容・結果を簡潔に述べる。

4.1 実験目的・内容

Hariらの研究⁷⁾によって、VR空間において疑似身体が投影されている場合、その身体をユーザ自身の身体と錯覚している条件では、疑似身体の内外において呈示された光点を検出する速さに有意な違いが生じることがわかっている。この原理に立脚して、本システムを用いた際に、ディスプレイ空間に映し出されたRHPに対して、ユーザが身体的なりアリティーをどの程度感じているかを調べることにした。

先に述べた通り、ディスプレイ空間においてRHIと類似の現象を誘起させるためには、ポインタの視覚的な配置と、操作者の5本の指の配置のそれぞれが、空間的で高い相同性を有していることが重要な要件である。そこで、本実験では、空間的相同性が、ポインタに投影される身体イメージの強度に与える影響を調べた。具体的には、図7に示すような、5種類のポインタに対する補間表現を実験変数として採用し(LowCurveElbow, LowStraightElbow, UpperStraightElbow, StraightEmit, StraightCenter)、薬指を除く4本の指に対応するポインタ上に呈示された光点を検出する速さを計測した。

11人の被験者(男性5人・女性6人)に対して、以下の5つの行程を含むセッションを計80回繰り返し行った。

1. 5種類からランダムに選ばれた補間表現によりRHPを表示。

2. 被験者は、トラックパッドに五本の指を触れたまま、指全体をすぼめ再度広げる
(interaction stage)。

3. 肘をディスプレイ上に呈示されたターゲットまで左右に動かす
(interaction stage)。

4. 赤く光ったポインタに対応する指を、できる限り素早くトラックパッドから話す
(detection stage)。

detection stageにおいて、光点呈示から指が離れるまでの反応時間(Reaction Time: RT)と誤答率を記録した。

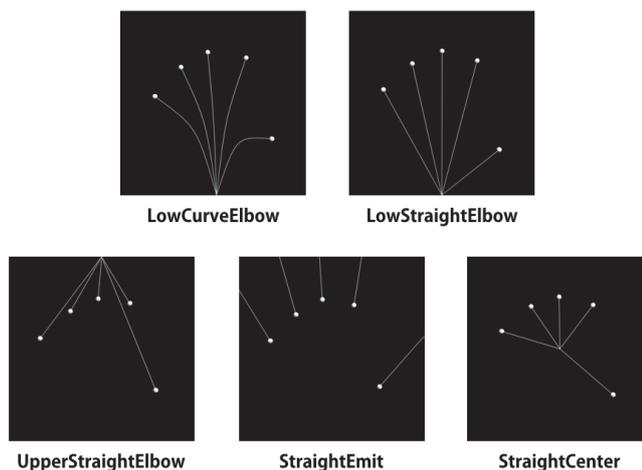


図7. 5種類のポインタの補間表現

4.2 実験結果と考察

2要因分散分析(補間表現・指の違い)の結果、補間表現に関しては、RT・誤答率ともに、 $p < 0.01$ という高い水準で有意差が得られた。また、指の違いに関しては、誤答率に対してのみ $p < 0.05$ の水準で有意な差が検出された。以下では、補間表現要因に着目した結果のみを述べる。図8・9に、RTと誤答率の平均値を、5つの補間表現において比較したものを示す(図上に示された統計記号は、TurkeyHSDによる多重比較の結果を反映したものである)。図から明らかなように、UpperStraightElbowモードにおいて、それぞれの成績が顕著に悪化する一方、他の4つのモードではRT・誤答率ともに大きな違いが見られなかった。

UpperStraightElbowとStraightEmitは、それぞれ、5本の指に対応するポインタに対して、線が上方向へ放射されるタイプの補間表現である。これらは、いずれも指の物理的な配置(指は、実際には指先からディスプレイ上を下側に向かって伸びている)とは空間的に一致しないものである。しかしながら、これら二つのモードを比較すると、StraightEmitにおける光点検出の成績が有意に高い。StraightEmitにおいては、それぞれの線を5本の指の延長線として解釈した際に空間的相同性が保存される一方で、UpperStraightElbowにおける線のパターンは、実際の5本の指の視覚的配置が180度回転することではじめて重なるものである。容易に想像できるように、このような大きな角度の心的回転(メンタルローテーション)はかなりの認知コストの伴うものであり、したがってUpperStraightElbowは、身体イメージを投影することに相当の困難が伴っていたことが予想される。

他方で、UpperStraightElbow以外の4種類の補間表現で、光点検出の成績に大きな違いが見られなかった点は非常に興味深い。StraightEmitとそれ以外の3種類の補間表現を比較すると、前者

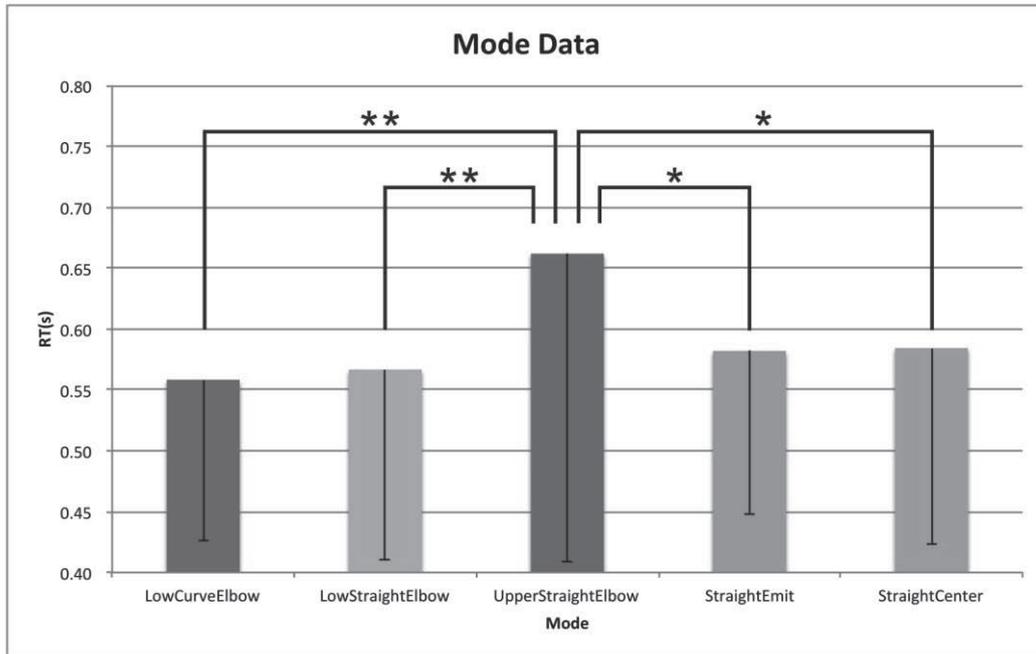


図8. 5種類のポインタの補間表現におけるReaction Timeの平均値の比較

においては、補間線(ポインタから上方に伸びる)と実際に操作している5本の指(ポインタから下方に伸びる)とが空間的に対応してしないという点において、後者の、より視覚的に自然と思われる3つの補間表現とは質的に大きく異なるものである。先に述べた通り、StraightEmit使用時、被験者は、それぞれの補間線を5本の指の延長線(例えば、指先から長い爪が伸びるように)として解釈していると考えるのが自然である。重要な点は、このように迂回した形で得られる身体イメージであっても、その他の身体構造的に自然な視覚表現と比較して、光点検出の成績に大きな違いが生じていないことにある。すなわち、ここで得られた実験結果は、我々が自己の身体イメージをかなりラフなかたちで把握しており、多種多様な身体の相似的表現に対しても、一定の相同性が確保される限り、かなりの程度、柔軟かつ遅延なく自身の身体イメージを投影することが可能であることを示唆している。

4. まとめ

認知心理学において身体イメージを変調させる錯覚として知られるRHIの現象に着目し、コンピュータの操作環境に身体的実在感を与えるためのインタフェースシステム「ラバーハンド・ポインタ」の提案を行うとともに、実際のシステムを実装した。このなかで、ディスプレイの背面にトラックパッドを配置するとともに、ユーザの5本の指に対応するポインタを、身体構造に基づく相同性を維持したかたちでディスプレイに表示されるようにプログラムの実装を行った。被験者実験の結果、身体構造の「空間的相同性」が維持される限りにおいて、提案システムが、ポインタに対して身体的実在感を付与することが可能であることを示した。

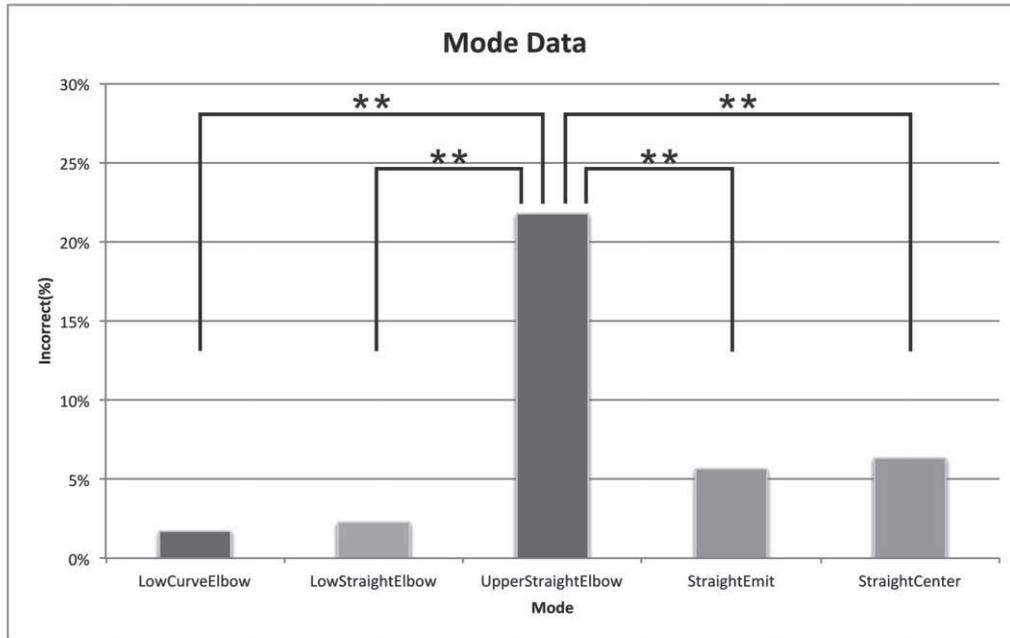


図9. 5種類のポインタの補間表現における誤答率の平均値の比較

参考文献

- 1) M.Botvinick, J.Cohen: Rubber Hands ‘feel’ touch that eyes see; Nature, 391, 756 (1998)
- 2) K.Carrie, V.S.Ramachandran: Projecting sensations to external objects: evidence from skin conductance response; The Royal Society, vol. 270 no. 1523, pp. 1499-1506 (2003)
- 3) Mel Slater, Daniel Prez-Marcos et al.; Towards a digital body: the virtual arm illusion; Front. Hum. Neurosci, doi:10.3389, neuro. 09. 006. 2008 (2008)
- 4) H. Henrik Ehrsson: The experimental induction of out-of-body; Science, vol. 317 no. 5841, p. 1048 (2007)
- 5) 森 政弘:不気味の谷; Energy, 7(4), pp. 33-35. (1970)
- 6) 入来 篤史:道具を使うサル;医学書院(2003)
- 7) Hari, R., & Jousmaki, V.: Preference of personal to extrapersonal space in visuomotor task. ; Journal of Cognitive Neuroscience, 8, 3, pp. 305-307. (1996)G. Y. Guo, G. A. Botton and Y. Nishino: J. Phys. Condens. Matter, 10 (1998) L119-L126.

関連発表論文(申請テーマから派生した研究テーマを含む)

1. Kenri Kodaka and Yuki Ishihara, “Crossed hands strengthen and diversify proprioceptive drift in the self-touch illusion”, *Frontiers in Human Neuroscience*, 8: 422. doi: 10. 3389/ fnhum.2014.00422
2. Kenri Kodaka, Yuki Ishihara, “Dominance of the administrating hand in proprioceptive drifts of self-touch illusion is not applicable when hands are crossed”, *Association for the Scientific Study of Consciousness* 18, 2014年7月
3. 小鷹研理, 石原由貴, 「手の交差が自己接触錯覚誘起中のドリフトパターンに及ぼす効果」,

第12回日本認知心理学会, 2014年6月

4. 石原由貴, 小鷹研理: 「デスクトップ・テレプレゼンスのための入力インタフェースのデザイン – ラバーハンド・ポインタの開発 –」, 情報処理学会シンポジウムインタラクシオン 2014, B2-4, 2014年2月
5. 小鷹研理, 石原由貴: 「仮想的な身体イメージの獲得を「学習」するための装置 – ラバーハンドを介してもう一方の手に触れる方法 –」, 情報処理学会シンポジウムインタラクシオン 2014, B2-6, 2014年2月
6. 石原由貴, 小鷹研理, 「身体没入感を高めるデスクトップ操作環境の構築に向けた研究」
ヒューマンインターフェースシンポジウム2013, 1525P, 2013年9月

