

令和元年6月5日現在

機関番号：12601

研究種目：基盤研究(A)（一般）

研究期間：2015～2018

課題番号：15H01701

研究課題名（和文）身体共役系に基づく身体像拡張の機序解明とモデル化

研究課題名（英文）Elucidation and Modeling of Body Image Expansion Based on Body Conjugate Systems

研究代表者

稲見 昌彦（INAMI, Masahiko）

東京大学・先端科学技術研究センター・教授

研究者番号：00345117

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 34,190,000円

研究成果の概要（和文）：本研究において身体像を異形の対象に投射する「身体共役系」の構築を目指し、VRアバターとウェアラブルロボットを用いることで、身体共役系の設計指針及び設計限界に関し研究を行った。本研究を通じて全身のみならず、身体の局所的な要素と投射対象の関係性を構築した場合において、どのような認知が生じるかを検証し、身体性をタスクに応じて自在に編集することを可能とする「身体性編集」のコンセプトを獲得するに至った。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究の実施を通じて、多様な操作対象の身体像をユーザに投射する「身体共役系」のコンセプトを提案し、実証システムの構築を行うとともに、VR環境を活用しながら、こうした拡張された身体像によって生じる認知について検証を進めた。本研究を通じて、多様な操作対象を直感的に操作するための身体像の投射に関する設計指針と知見を獲得することができた。

研究成果の概要（英文）：In this study, with the aim of constructing a "body conjugate system" that projects our body image to control targets in various shapes, we studied on design guidelines and design limits of the body conjugate system by using VR avatars and wearable robots. We examined our cognition on the body conjugate system in the case of constructing it with not only the whole body but also with the local elements of the body. As a result of this study, we acquired the concept of "body schema editing" according to physical tasks.

研究分野：ヒューマンインタフェース・インタラクション

キーワード：環境身体ダイナミクス 身体能力拡張 超人スポーツ ヒューマンインタフェース 身体環境ダイナミクス インタラクション

様式 C-19、F-19-1、Z-19、CK-19（共通）

1. 研究開始当初の背景

身体像の投射に関する関連研究は生理学、実験心理学の分野で盛んに行われており、バイモーターニューロンに着目し、ニホンザルが道具使用時に身体像が道具先端部まで拡張することを確認した理研入来らの研究、受動的に同期した刺激を知覚することによって、ダミーハンドをあたかもユーザの身体であるかの様に認知するといったラバーハンドイリュージョンのような現象が知られている。また、トレイグジスタンス/テレプレゼンス、VRの研究において、ユーザと自由度やダイナミクスが類似した遠隔ロボットやVRアバタを、ユーザの身体動作と完全に同期させて動かすことで操作者自身の身体像を維持させたまま、自らの身体が遠隔ロボットやVRアバタに乗り移ったかのような感覚を生成可能であることが知られている。一方で、ユーザの全身もしくは局所の身体像を、ヒューマノイドなど同構造の物体だけでなく、異構造の対象に適切に投射した条件における知見は十分に蓄積されていなかった。

2. 研究の目的

本研究はユーザの全身あるいは手足など局所の身体像を、幾何的構造・ダイナミクスの異なるVRアバタや遠隔ロボットなどの対象に適切に投射し、自らの身体のように操作可能とすることを目的とした。

3. 研究の方法

我々は適切に身体像が投射された系を「身体共役系」と名づけ、それを構成するために必要となる基礎的な知見を獲得し、実作業に応用するための設計指針の確立を目指し研究を進めてきた。本研究の目的を達成するために、1) 能動的な身体動作における感覚提示の共役条件の成立の解明。2) 受動的な感覚提示における共役条件成立のための感覚情報制御。3) マルチモダリティや非同期的提示における共役関係の解明のサブテーマに分け研究を行った。

4. 研究成果

平成27年度は、身体共役系の実験設計に必要な基盤技術の整備を行うことに主眼を置きながら研究の推進を行なった。多様な身体性を持つ操作対象を前提にしながらユーザが能動的に身体を動かした時に発生する感覚を実時間でフィードバックする実験を行なうためのフレームワークを構築した。

計算機上のバーチャル環境における一人称アバタと実環境のユーザの間に共役条件を実現するために、次の3つの要素を統合するよう要件を定義した。

- 1) ユーザの身体情報を取得する3次元計測装置、
- 2) 身体性を変更可能なアバタを含むバーチャル環境、
- 3) 没入型の視覚情報提示装置。

また、身体共役系の設計条件を解明することを目的とした心理物理実験を設計するための基礎技術として、視覚情報提示装置・超音波触覚提示装置・画像撮像装置の位置合わせについても検討を行なった。構築したフレームワークを用いて、バーチャル環境におけるアバタの身体性を三人称視点から提示して胴体部分の透明化によって手足のみの提示としたり、複数のバーチャルな腕部と実環境の腕部を対応付けたりすることによって、操作対象の身体性の変更を行ない、視覚情報のフィードバックを確認しながら、能動的に操作対象を動かすことにより身体像を学習させる実験系の設計を行ない、ユーザと操作対象の間に発生した身体共役系について内観報告と反射動作を計測することによる検討を進めた。

平成 28 年度は、身体共役系を実現するため前年度に構築したフレームワーク、および心理物理実験のための基礎技術（視覚情報提示装置・超音波触覚提示装置・画像撮像装置の位置合わせ）を活用し、研究分担者がそれぞれ感覚提示ごとに分担して実験を行った。

まずユーザが能動的に身体を動かした時について調べた。具体的には、遠隔ロボットの操作やゲーム操作のようなユーザが接触的に対象物を操作する場合である。学習を行わせた後に、そのときのユーザの反応を計測することで自己投射が確立しているかの評価を行った。

次に、受動的に感覚提示された場合に、共役条件を成立させるための身体増の提示を試みた。具体的には、ラバーハンドイリュージョンのように受動的な刺激を受けている条件において、操作対象に対応した身体像を学習できるかを検証した。コンテンツに連動して、感覚情報を提示することで、自己と対象物の間の身体像のマッピングを学習させ、自己投射が成立することを検証した。

なお、操作対象の身体性の変更については、前年度に引き続き検討を行った。具体的にはバーチャル環境におけるアバタの胴体部分を透明化した条件、バーチャルな腕部と実環境の腕部を対応付けた条件で自己投射の実験を行った。

次に、装着型のロボットアーム『MetaLimbs』の開発を行った。このアームにより、実環境においても身体像の変更を試みた。また、そのロボットアームやアバタの操作を身体の中の部位に対応付けると学習しやすいか検討を行った。具体的には右手親指動作をアバタの左腕部に投射する実験を行った。

平成 29 年度は、前年度に引き続きロボットアームに対して装着者の局所的な身体部位を投射することで、新たな身体像の学習が可能か、視触覚提示を用い、検証を行った。具体的には、ロボットアームを身体に装着し、下肢で操作するシステムを構築した。ロボットアームからの感覚情報によるフィードバックを下肢で確認しながら、能動的に操作対象を動かすことにより、数分から数 10 分程度の試行で新たな身体像を学習させることに成功した。また、視覚的に透明な身体に対し、身体像を投射する実験を引き続き行い、その効果を詳細に検証した。

本研究における身体像拡張の機序解明とモデル化の研究において、研究期間の最終年度となる平成 30 年度は、これまでに開発した身体拡張機構・バーチャルリアリティ環境を活用しながら、認知心理的な観点からの機序解明とモデル化を目指した研究を行った。

身体拡張機構としては、前年度までに培ったウェアラブルロボティクス技術を活用して、身体に装着したロボットアームを、足などの多様な身体部位の運動にマッピングして操作するシステムの研究を継続し、こうした身体共役系の構築によって多くの被験者が短期間で拡張された身体を操作可能となることを確認した。更に他者の身体の一部をロボットアームにマッピングすることで、複数のユーザに跨がる身体共役系が構築可能であることについても実証した。

また、身体共役系の機序解明とモデル化をおこなうため、バーチャル環境において人間と同じ四肢を備えたアバタを用意し、三次元モーションキャプチャ装置を用いて実環境におけるユーザの全身運動とマッピングすることで、自己所有感・運動主体感が生じることを確認するとともに、アバタの身体として手先・足先といった身体の局所的な要素のみを残した条件において、自己所有感・運動主体感がどのように変化するか実験した。こうした認知心理的な検証を通じて、身体共役系における新たな身体像を獲得する機序に関し理解を深めた。そして自己所有感・運動主体感を生起させる身体共役系のための適切なマッ

ピングモデルを構築した。

以上のように本研究において身体像を異形の対象に投射する「身体共役系」の構築を目指し、VR アバタとウェアラブルロボットを用いることで、身体共役系の設計指針及び設計限界に関し研究を行った。本研究を通し身体性をタスクに応じて自在に編集することを可能とする「身体性編集」のコンセプトを獲得するに至った。今後は身体性編集を用いた様々な身体像の構築とその応用を探ってゆきたい。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕(計 11 件)

①Kaito Hatakeyama, MHD Yamen Saraiji, Kouta Minamizawa., MusiArm: Extending Prosthesis to Musical Expression., Laval Virtual ReVolution, 査読なし,2019 年

② Junichi Nabeshima, MHD Yamen Saraiji, Kouta Minamizawa., Prosthetic Tail: Artificial Anthropomorphic Tail for Extending Innate Body Functions., In Proceedings of Augmented Human 2019, 査読あり,36 巻 4,2019 年, <https://doi.org/10.1145/3311823.3311848>

③Kaito Hatakeyama, MHD Yamen Saraiji, Kouta Minamizawa., MusiArm: Extending Prosthesis to Musical Expression., In Proceedings of Augmented Human 2019, 査読あり,29 巻 8,2019 年,

④谷大和, 近藤亮太, 杉本麻樹, 南澤孝太, 稲見昌彦, 北崎充晃., 実指とバーチャルな腕の同期運動による身体所有感の変容, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集,査読なし,2018 年

⑤近藤亮太, 杉本麻樹, 南澤孝太, 稲見昌彦, 北崎充晃., 四肢先端の視覚運動同期による伸張四肢透明身体への所有感生成, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集,査読なし, 0.33,2018 年

⑥Kondo, R., Ueda, S., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Inami, M., and Kitazaki, M., Invisible long arm illusion: illusory body ownership by synchronous movement of hands and feet, International Conference on Artificial Reality and Telexistence Eurographics Symposium on Virtual Environments, 査読なし,21-28,2018 年

⑦竹腰美夏, 南澤孝太., 身体イメージに基づいた装着型機器の使用による 行動・心理への影響に関する検討, 第 23 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集,査読なし, 12B-2,2018 年

⑧Tomoya Sasaki, MHD Yamen Saraiji, Kouta Minamizawa, and Masahiko Inami., MetaArms: Body Remapping Using Feet-Controlled Artificial Arms., In Proceedings of ACM UIST 2018, 査読あり, 巻なし 140-142,2018 年, <https://doi.org/10.1145/3266037.3271628>

⑨MHD Yamen Saraiji, Tomoya Sasaki, Reo Matsumura, Kouta Minamizawa, and Masahiko Inami., Fusion: full body surrogacy for collaborative communication, In Proceedings of ACM SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies,査読あり,7 巻,2018 年, <https://doi.org/10.1145/3242587.3242665>

⑩Kondo,R., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Hoshi, T., Inami, M., and Kitazaki, M., Illusory body ownership of an invisible body interpolated between virtual hands and feet via visual-motor synchronicity, Scientific Reports,査読あり, 8 巻,7541,2018 年, 10.1038/s41598-018-25951-2

⑪北崎充晃., サイバー空間と実空間をつなぐ we-mode の可能性, 心理学評論,査読なし, 59 (3) , 312-323, 2017 年

〔学会発表〕(計 27 件)

①Kitazaki, M., Fujisawa, S., Sugimoto, M. and Inami, M., Vection modulated by awareness to the own body., VSS (Vision Sciences Society meeting),2018 年

②MHD Yamen Saraiji, Tomoya Sasaki, Reo Matsumura, Kouta Minamizawa, Masahiko Inami., Fusion: Full Body Surrogacy for Collaborative Communication, SIGGRAPH 2018 Emerging Technologies,2018

年

- ③MHD Yamen Saraiji, Tomoya Sasaki, Kai Kunze, Kouta Minamizawa, Masahiko Inami, MetaArms: Body Remapping Using Feet-Controlled Artificial Arms, UIST 2018 (国際学会), 2018 年
- ④Tomoya Sasaki, MHD Yamen Saraiji, Kouta Minamizawa, Masahiko Inami, MetaArms: Body Remapping Using Feet-Controlled Artificial Arms, UIST 2018 Demo (国際学会), 2018 年
- ⑤畠山海人, 中村開, 金箱淳一, 南澤孝太, 義手のエンターテイメント性の拡張を目指した義手楽器「Musiarms」, 情報処理学会アクセシビリティ研究会第6回研究会, 2018 年
- ⑥近藤亮太, 谷大和, 杉本麻樹, 南澤孝太, 稲見昌彦, 北崎充晃, 指と腕の同期運動による身体部位リマッピング, 脳と心のメカニズム第18回冬のワークショップ, 2018 年
- ⑦北崎充晃, 人はロボットにも共感する, 日本心理学会公開シンポジウム・科学としての心理学シリーズ「共感する心を科学する」(招待講演), 2018 年
- ⑧Kondo, R., Tani, Y., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Inami, M. and Kitazaki, M., Illusory body ownership between different body parts: Synchronization of right thumb and right arm, IEEE Virtual (国際学会), 2018 年
- ⑨Wakaba Kuno, Yuta Sugiura, Nao Asano, Wataru Kawai, and Maki Sugimoto, 3D Reconstruction of Hand Postures by Measuring Skin Deformation on Back Hand, International Conference on Artificial Reality and Telexistence & Eurographics Symposium on Virtual Environments (ICATEGVE2017) (国際学会), 2018 年
- ⑩久能若葉, 杉浦裕太, 浅野直生, 河合航, 杉本麻樹, 手の甲の皮膚変形計測による手形状の三次元再構成, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017 年
- ⑪北崎充晃, テレプレゼンスと自己運動, 身体所有感覚, テレグジスタンス OS, 3F2-03,, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017 年
- ⑫北崎充晃, Proprioceptive self-localization modulated byvection, VSS (Vision Sciences Society meeting) (国際学会), 2017 年
- ⑬北崎充晃, Body and mind in virtual environment, The 2017 International Conference On Advanced Informatics: Concepts, Theory And Application (ICAICTA2017), (招待講演) (国際学会), 2017 年
- ⑭佐々木智也, サライジムハマドヤメン, フェルナンドチャリス, 南澤孝太, 北崎充晃, 稲見昌彦, 部位代替による複数の腕を用いた身体変容の研究, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017 年
- ⑮泉原厚史, 川原田美雪, 脇坂崇平, 星貴之, 稲見昌彦, 光学迷彩における撮影系・投影系の共役配置, 第22回日本バーチャルリアリティ学会大会, 2017 年
- ⑯坂井俊介, 勝又航生, 星貴之, 稲見昌彦, ゆりかもめ: 2台の360°カメラによるルール上浮遊体験, エンターテイメントコンピューティング 2017, 2017 年
- ⑰Tomoya Sasaki, MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, Kouta Minamizawa, Masahiko Inami, MetaLimbs: Multiple Arms Interaction Metamorphism, ACM SIGGRAPH 2017 (国際学会), 2017 年
- ⑱佐々木智也, MHD Yamen Saraiji, Charith Lasantha Fernando, 南澤孝太, 北崎充晃, 稲見昌彦, 人間拡張のためのユーザの脚部位を用いたロボットアームの制御手法., ロボティクス・メカトロニクス講演会, 2017 年
- ⑲Shigo Ko, Yuta Itoh, Yuta Sugiura, Takayuki Hoshi, and Maki Sugimoto, Spatial Calibration of Airborne Ultrasound Tactile Display and Projector-Camera System Using Fur Material, TEI 2017 Work in Progress (国際学会), 2017 年
- ⑳Kondo, R., Sugimoto, M., Minamizawa, K., Hoshi, T., Inami, M. and Kitazaki, M., The illusory body ownership: Remapping of the right finger to the left arm by vision-action contingency of different body parts, IEEE Symposium on 3D User Interfaces (国際学会), 2017 年

⑳Hamada, T., Yoshiho, K., Kondo, R., Ikei, Y., Hirota, K., Amemiya, T., and Kitazaki, M., Changing Perceived Leg Length and Motion on Virtual Walking Generator, The 8th International Conference on 3D Systems and Applications (3DSA2016) (国際学会) ,2016 年

㉑Kitazaki, M., Hirota, K. and Ikei, Y., Minimal virtual reality system for virtual walking in a real scene, 18th International Conference, HCI International 2016 (国際学会) ,2016 年

㉒Hamada, T., Yoshiho, K., Kondo, R., Ikei, Y., Hirota, K. and Kitazaki, M., Virtual walking generator by rhythmical modulation of omnidirectional images and foot sensations, Eurohaptics 2016 (国際学会) ,2016 年

㉓Kondo, R., Inami, M., and Kitazaki, M., Perceiving one's own invisible body through subjective completion of body parts with vision-action contingency, VSS (Vision Sciences Society meeting) (国際学会) ,2016 年

㉔Sasaki, T., Saraji, M. Y., Minamizawa, K., Kitazaki, M. and Inami, M., Changing body ownership using visual metamorphosis, Virtual Reality International Conference (国際学会) ,2016 年

㉕Kitazaki, M., Yoshiho, K., Ikei, Y., and Hirota, K., Perceptual analysis of walking re-experience using 2ch vibrations on heels and walker's viewing motion images, ASIAGRAPH2016 (国際学会) ,2016 年

㉖中村文彦, プルノマキシム, 永谷直久, 杉本麻樹, 前庭感覚電気刺激による回旋性眼球運動への姿勢が与える影響に関する研究, 第 20 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集,2015 年

6. 研究組織

(1)研究分担者

研究分担者氏名：南澤 孝太

ローマ字氏名：(MINAMIZAWA,Kouta)

所属研究機関名：慶應義塾大学

部局名：メディアデザイン研究科

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：10585623

研究分担者氏名：杉本 麻樹

ローマ字氏名：(SUGIMOTO,Maki)

所属研究機関名：慶應義塾大学

部局名：理工学部

職名：准教授

研究者番号 (8 桁)：50517399

研究分担者氏名：北崎 充晃

ローマ字氏名：(KITAZAKI, Michiteru)

所属研究機関名：豊橋技術科学大学

部局名：工学 (系) 研究科

職名：教授

研究者番号 (8 桁)：90292739

※科研費による研究は、研究者の自覚と責任において実施するものです。そのため、研究の実施や研究成果の公表等については、国の要請等に基づくものではなく、その研究成果に関する見解や責任は、研究者個人に帰属されます。