

研究終了報告書

「Ghost Engineering:身体知覚の変容を通じた認知拡張基盤の構築」

研究期間: 2017 年 10 月～2021 年 3 月

研究者: 鳴海 拓志

1. 研究のねらい

本研究の目的は、バーチャルリアリティ(VR)技術を活用した身体拡張体験を通じて、個人が状況に応じて自らの望むように心的状態や認知を変化させることを支援する技術基盤を構築することである。近年の認知科学研究は、身体知覚の変化が心的状態や認知に強い影響を与えることを明らかにしてきた。これらの知見と VR やテレプレゼンスといった新しい身体を作り出す技術を合わせて活用することによって、身体拡張が心や認知に与える影響をポジティブに援用する。これにより、状況に応じた身体の使い分けを通じて、人々の相互理解の深化や、知性や能力の最大限の発揮を支援可能なインタラクション環境の実現を目指すものである。

『心概念』(G. Ryle, 1949)で議論された“Ghost in the machine”以降、複数の著作において、自己のアイデンティティを司る心的機能(情動、認知機能、意識、思考様式等)を指すものとして「ゴースト」という言葉が用いられ、身体とゴーストの不可分な関係が哲学的観点から述べられてきた。認知科学でも、身体反応から感情が生まれることを示す情動二要因理論や、身体の見え目の変化が態度や行動を変化させるプロテウス効果の検証をはじめ、「身体化認知(Embodied cognition)」の研究が注目を集め、身体知覚とゴーストの間に密接な相互作用があることが示されてきた。他方、義手等の補装具からパワーアシストシステム、新たな腕や指を追加する研究まで、工学的に人間の身体機能を拡張する身体拡張技術の研究が多く取り組まれるようになっていく。にもかかわらず、技術による身体拡張が人の心にもたらす影響については十分な議論・検証がなされていない。

そこで、身体拡張による心の変化を積極的に活用して自らのゴーストをアップデートし、個々人による自らの心的状態や認知の適切な変化を支援する工学的技術として、世界に先駆けて「ゴーストエンジニアリング」という領域を確立することを狙いとして、本研究を立案した。具体的には、まずゴーストの変容を実現するための前提として、(A)多様なバーチャル身体を活用可能とするための基盤技術を構築する。その上で、(B)身体拡張がゴーストに与えるさまざまな影響を調べ、モデル化する。このゴースト変容モデルを基に、特にコミュニケーションを中心的例題として、(C)ゴースト拡張を活用するためのインタラクションデザインを確立し、どのような状況でどのような身体拡張体験を用いることが効果的かを明らかにする。

2. 研究成果

(1) 概要

研究テーマ(A)「バーチャル身体を用いた身体拡張のための基盤技術の構築」では、ゴースト変容のために利用可能な多様な身体拡張様式について、基盤となる科学的知見の収集と技術構築をおこなった。ゴーストの変容は、実身体とは異なる特性を持つバーチャル身体を身体化することで生じる。そこで、ゴーストを変容しうる身体拡張のパターンを、バーチャル身体の見え方や在り方など形質が変わるもの(変身、分身、合体)、バーチャル身体を持つ機能や

運動・運動の結果が変わるものに分類し、それぞれの身体拡張を実現する手段の構築、拡張可能な範囲の検証、効果の検討等をおこなった。

研究テーマ(B)「身体拡張がゴーストに与える影響のモデル化」では、(A)を含む本研究課題で実施した研究の成果や既存研究の成果を踏まえ、身体拡張による知覚・認知・行動の変容のモデルを構築した。先行研究での調査ではほとんどの場合、行為主体感や身体所有感が有るもしくは無い(著しく低い)状態の比較を通じて行為主体感や身体所有感の役割が検討されてきたが、本研究では行為主体感・身体所有感に影響を与える要素を段階的に操作することで、行為主体感・身体所有感の程度が知覚、認知、行動の変容の程度とどのような関係を持つかを示唆し、モデルに組み込んだ。特に、バーチャル身体の見え目というトップダウンな要素が知覚に影響し、その影響の大きさが身体所有感や感覚信頼度との相関を見せることを明らかにし、身体拡張による認知・行動の変容と知覚の変容を統一的に検討できるモデルとなっている点に意義がある。

研究テーマ(C)「ゴースト拡張を活用するためのインタラクションデザイン」では、(B)で構築したモデルに基づきつつ、どのような状況でどのようなゴースト拡張を用いることが効果的かを体系化するために、個人に完結した状況もしくは対人コミュニケーションの状況(1対1, 1対多, 多対多)に応じてゴースト変容を利用するインタラクションデザインを検討した。これらを通じて、平常時の身体的・認知的限界や人の機能的制約を超えた能力発揮、共感の促進によるコミュニケーション能力向上、グループワークにおける創造性や議論の公平性・納得性の向上などを対象に、適切な身体拡張をおこなうことでゴーストを更新し、実身体に制約された個人の認知能力の限界を突破する手法を確立する研究を展開し、その有効性を示すことができた。

(2) 詳細

研究テーマ(A)「バーチャル身体を用いた身体拡張のための基盤技術の構築」

ゴーストの変容は、実身体とは異なる特性を持つバーチャル身体を身体化することによって生じる。このとき、ゴーストを変容しうる身体拡張のパターンとして、バーチャル身体の見えや在り方など形質そのものの影響と、バーチャル身体を持つ機能や運動および運動の結果の影響の2通りの系を考えることができる。そこで、前者の系として、身体の見えが変わる系として「変身」を、身体のある方が変わる系として「分身」、「合体」を、後者の系として、機能、運動、運動結果の変容を取り上げ、それぞれの身体拡張を実現する手段の構築、拡張可能な範囲の検証、効果の検討等をおこなった。

変身については、表情の変形(鈴木ら, 2018)、容貌の変容(世田ら, 2018; 倉橋ら 2020)、手形状・手機能の変容(小川ら, 2018)、体型の変形(Sumida et al., 2019)について検証し、それぞれの程度の変形・変容まで自らの身体として許容されうるかを示した。これらの変形・変容は、基本的には視覚と体性感覚が無理なく統合される範囲で決定される。このことを前提として、視覚と体性感覚のいずれの許容量を拡大することで、許容可能な身体変容の範囲を拡張する手法についても提案した。具体的には、VR環境において、リアルな見た目のアバタを使うと実際の手の運動とアバタの手の運動の間のずれに気付きにくく、逆に抽象的な見た目のアバタを使うとずれに気付きやすくなることを明らかにし、アバタの見た目のリアルさの設計に

よってずれの許容量を操作できることを示した[論文 2]。また、変身体験においては通常 VR 環境で鏡を見せて変身を確認させるが、常時確認させる必要はなく、一定期間効果が持続することを示した(Ito et al. 2019)。さらに、長期にわたって VRSNS である VRChat を利用するユーザを対象とした調査により、継続的に使用しているアバタでは通常と異なり実身体に近いアバタよりも身体所有感や VR の没入感が高まることを明らかにし(小柳・鳴海・大村, 2020)、長期の変身体験が自己イメージや身体イメージに影響を与えることを示唆した。

分身については、発言の自動分割[その他 5]、発言チャネルの自発的切替(大原ら, 2020)、インタラクション様式[その他 4]、視点の変化(畑田ら, 2019)について検証し、自然に分身を利用可能な分身方法の検討と開発をおこなった。合体については、二人の人が一つの身体に没入する融合身体[論文 1]、聴衆の合体アバタ化(吉田ら, 2018)について検証し、自らが合体する場合の合体方法の検討と合体時の行為主体感に関する調査、また他者を合体させて見せる場合の自然なマッピング方法の検討をおこなった。

機能については、人が本来有しない機能として飛行能力の身体化(小柳・鳴海・Lugrin・安藤・大村, 2020)について検討し、鳥やドラゴンなど飛行能力をイメージさせるアバタに没入することで飛行能力が身体化され、高所恐怖の低減や三次元の空間移動操作の正確性向上が起きることを示した。

運動については、運動速度の変調(田崎ら, 2020; 宮村ら, 2020)の許容範囲および影響を、運動結果については、運動結果の補正(Tagami et al. 2017)や対人スポーツにおける相手の運動補正による結果の補正(宮村ら, 2020)の許容範囲および影響を明らかにした。

以上のように、多様な身体拡張様式について、基盤となる知見の収集とそれに基づいた具体的な身体拡張手法の開発をおこなうことができた。それだけでなく、バーチャル身体利用時に視覚優位の多感覚統合を促進して許容可能な身体拡張の範囲を広げる手法を提案するなど、効果的な身体拡張を実現する手法についても開発が進み、十分に目的が達成できた。

研究テーマ(B)「身体拡張がゴーストに与える影響のモデル化」

身長や容貌といったアバタの身体的特徴がコミュニケーション中の行動や判断に影響すること(Yee et al., 2009)やアバタ利用時の自己イメージの変容が行動に影響を与えること(Kiltner et al. 2013)など、身体拡張が認知や行動に影響を与えることを示す研究が様々おこなわれてきた。他方、アバタの身体的特徴が空間知覚に影響する(van der Hoort & Ehrsson, 2014)、アバタの運動変容が触力覚知覚に影響する(Ban et al., 2012)など、身体拡張は知覚にも影響を及ぼすことが調べられてきた。しかし、これらを統一的に検討し、狙いとする認知拡張、知覚拡張、行動変容を設計するためのモデルは存在しなかった。

そこで、(A)を含む本研究課題で実施した研究の成果や既存研究の成果を踏まえ、図 1 に示すモデルを構築した。従来、バーチャル身体への没入には minimal self(一時的自己; 行為主体感と身体所有感から構成される)の成立が必要であること、バーチャル身体の見え方や運動様式から想起される自己イメージが実際の自己イメージに影響を与えて拡張された自己イメージが成立し、認知拡張や行動変容が起こることが示唆されてきた。しかし、行為主体感、身体所有感がどのように認知拡張、知覚拡張、行動変容に影響を与えるかは未知であった。提案モデルでは、①バーチャル運動の見え方、運動様式、個人の性格特性、実身体から

の感覚情報が身体所有感に影響を与えること, ②身体所有感の強さは, 拡張された自己におけるバーチャル身体から想起される自己イメージの影響の大きさと相関すること, ③身体所有感の強さは, バーチャル身体のコツが空間知覚に与える影響の大きさと相関すること, ④バーチャル身体の見た目は視覚の信頼度推定に影響して多感覚統合を変化させ, 視覚と体性感覚の統合の閾値に影響を与えること, ⑤バーチャル身体のコツ様式と実身体のコツとの合致度が行為主体感に影響する, ⑥行為主体感がある場合に, バーチャル身体のコツ様式がバーチャル身体から想起される自己イメージに影響する, ⑦拡張された自己や知覚が行動変容に繋がる, ということを表している. 先行研究ではほとんどの場合, 行為主体感や身体所有感が有るもしくは無い(著しく低い)状態の比較を通じて行為主体感や身体所有感の役割が検討されてきたが, 本研究では行為主体感・身体所有感に影響を与える要素を段階的に操作することで, 行為主体感・身体所有感の程度が知覚, 認知, 行動の変容の程度とどのような関係を持つかを明らかにできた点に意義がある. 特に, ③および④の, バーチャル身体の見たとというトップダウンな要素が知覚に影響し, その影響の大きさは身体所有感や感覚信頼度との相関を見せることを明らかにしたこと[論文 2, その他 3]は, 既存研究にはない顕著な発見であった.

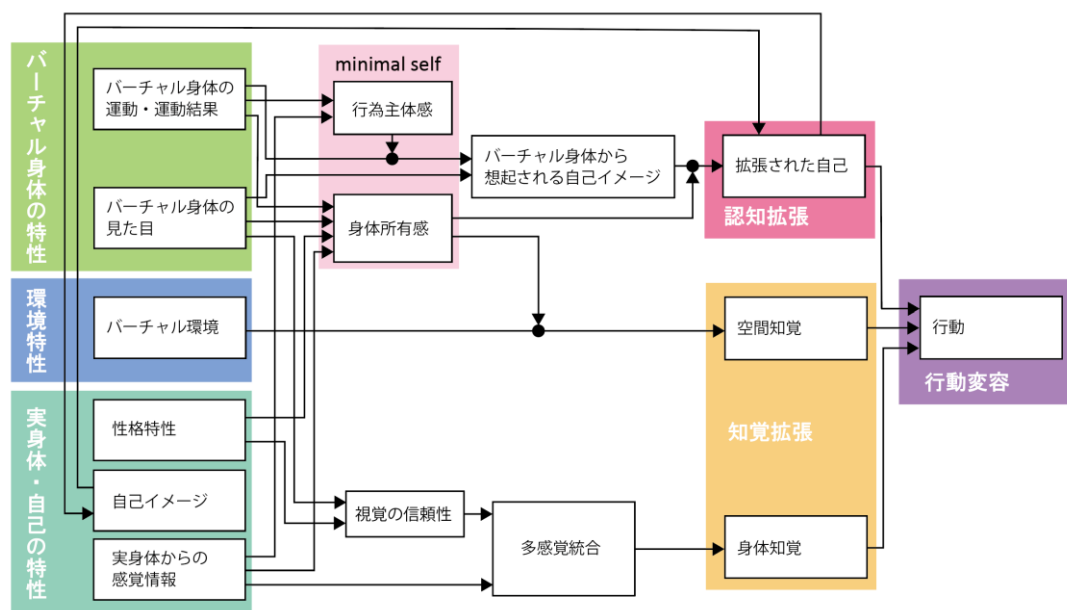


図1 バーチャル身体を用いた身体拡張にともなう認知・知覚・行動の変容のモデル

研究テーマ(C)「ゴースト拡張を活用するためのインタラクションデザイン」

どのような状況でどのようなゴースト拡張を用いることが効果的かを体系化するために, 個人に完結した状況もしくはコミュニケーションの状況(1対1, 1対多, 多対多)に応じてゴースト変容を利用するインタラクションデザインを検討した.

個人完結型としては, 視点切替によってクリエイティブな思考を高める手法(畑田ら, 2020), タスクの切替時に容貌変容フィードバックをすることで気持ちの切替を促進する手法(世田ら, 2018), VRでの非現実的な行動の抑制のためにアバタのリアルさを制御する手法(Ogawa et al., 2020), 飛行能力の身体化(小柳・鳴海・Lugrin・安藤・大村, 2020)によるドロー

ン制御の正確性向上手法を実現した。1 対 1 コミュニケーション向けには、表情同調を利用することで対話における共感を促進する手法(鈴木ら, 2018)を実現した。一対多コミュニケーション向けには、遠隔講義において聴衆の反応をまとめて一体のアバタで表現する手法(吉田ら, 2018)を実現した。多対多コミュニケーション向けには、少数派と多数派が存在する議論において、少数派メンバの発話の分節を検出して発言を適切な切れ目で分割し、二人のアバタに割り当てることで擬似的な対話人数のバランスを取り、同調圧力を軽減する手法を実現した[その他 5]。以上のような成果を通じ、多様な状況においてユーザが望むゴースト拡張を実現する適切なインタラクションデザインを構築し、その有効性を示すことができた。

[論文 3]および[その他 1]の書籍では、本研究課題で提案するゴーストエンジニアリングについて、その定義や研究背景、上述した成果の一部や関連研究、そして今後の発展の可能性や課題を示している。これらの論文および書籍において、ゴーストエンジニアリングという研究領域を整理して示したことで、研究者間で議論をおこなったり発展研究を考えたりするための共通の基盤を提供した。

3. 今後の展開

身体拡張によるゴースト変容の効果については、従来研究ではほとんどが短期的な影響を扱ったものに留まっており、継続的な身体拡張がどのようなゴースト変容効果の変化や、実際の自己イメージ・身体イメージのドリフトに繋がっているかを調べた研究は、本研究課題での研究(小柳・鳴海・大村, 2020)以外にはほとんど実例がない。同様に、身体拡張に関する研究では、現状では Minimal Self の変容にのみ注目され、Narrative Self(物語的自己; 過去の記憶から未来の展望まで含めた自己像)に注目した研究はほとんどない。そのため、今後は中長期的な時間軸を考慮できるようモデルを改良し、身体拡張の長期の利用が与える効果や、Narrative Self に影響を与える要素(自己概念、記憶など)の効果、そして Narrative Self の変容なども考慮したゴースト変容を実現できるように研究を展開していく。

また、本研究課題では VR を利用してバーチャルアバタの効果について検証した。一方で、テレプレゼンスロボットに代表される実世界アバタでもバーチャルアバタと同じ効果が得られるかについては検証されていない。VR と現実という環境の違いや、アバタの視野角や身体性の違いがどのようにゴースト変容の効果の違いを生むのか、もしくはそのような違いは無視できるのかを明らかにすることで、バーチャルアバタのみならず今後利用が見込まれる実世界アバタでも知見を活用できるようにし、より広範な社会展開を実現することを狙う。

4. 自己評価

身体拡張による認知・行動の変容と知覚の変容を統一的に検討できるモデルの構築は挑戦的課題であったが、本研究課題では行為主体感・身体所有感に影響を与える要素を段階的に操作する実験系の活用や、バーチャル身体の見たと目というトップダウンな要素が知覚に影響し、その影響の大きさが身体所有感や感覚信頼度との相関を見せることを明らかにしたこと等の成果を通じて、行為主体感・身体所有感を軸にした統一的検討が可能なモデル化をおこなうことができた。これは身体と知覚・認知・行動の関係を探る科学研究としても、そうした関係を工学的に活用する応用研究としても、独創的かつ意義のある成果であると考えている。応用面では、平常時の身体的・認知的限界や人の機能的制約を超えた能力発揮、共感の

促進によるコミュニケーション能力向上、グループワークにおける創造性や議論の公平性・納得性の向上などを対象に、適切な身体拡張をおこなうことでゴーストを更新し、実身体に制約された個人の認知能力の限界を突破する手法を確立する研究を展開し、その有効性を示すことができたことは、教育・訓練、認知症の予防やケア、身体障害やコミュニケーション障害を持つ人の社会参加の支援、接客や介護等を含む感情労働、テレワークや多人数協働を支援するコラボレーションツール等の分野に刺激を与えうるものだと考えられる。また、総説論文および書籍を通じて、ゴーストエンジニアリングという研究領域を整理して示し、研究者や一般向けに研究の意義や応用の可能性、今後の発展の可能性を議論するための共通の基盤を提供しており、今後継続的に研究領域としての発展と社会展開が進むことが期待される。

これらの研究を効率的に進める上で、必要かつ適正な研究実施体制および研究費執行がとられており、研究の進め方も適切であったと評価する。

現在、本研究の成果をシーズとして、ムーンショット型研究開発事業で実施されるプロジェクトが立案され、さらなる研究の進展と社会展開を図る計画となっており、本研究課題は内閣府が設定した我が国が直面する重要な課題の克服、社会・経済の変革をもたらす科学技術イノベーションの源泉となる新技術シーズを世界に先駆けて提供することができたと考えている。

5. 主な研究成果リスト

(1) 代表的な論文(原著論文)発表

研究期間累積件数:9件

1. Rebecca Fribourg, Nami Ogawa, Ludovic Hoyet, Ferran Argelaguet, Takuji Narumi, Michitaka Hirose, Anatole Lecuyer: Virtual Co-Embodiment: Evaluation of the Sense of Agency while Sharing the Control of a Virtual Body among Two Individuals, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics, doi: 10.1109/TVCG.2020.2999197.

概要:VR 環境において二人の人が一つの身体に没入する融合身体(Co-embodiment)を提案し、その効果を検証した論文。二人の運動を特定の寄与率(A:B=70%:30%など)で混ぜる融合身体においては、実験参加者に実際の寄与率よりも高い行為主体感が生じること、自由運動や経路が指定された運動よりもゴールが定められた運動において行為主体感の過大知覚が顕著になること等を明らかにした。

2. Nami Ogawa, Takuji Narumi, Michitaka Hirose: Effect of Avatar Appearance on Detection Thresholds for Remapped Hand Movements, IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics (TVCG), 2020. <https://doi.org/10.1109/TVCG.2020.2964758>

概要:VR 環境において、リアルな見た目のアバタを使うと実際の手の運動とアバタの手の運動の間のずれに気付きにくく、逆に抽象的な見た目のアバタを使うとずれに気付きやすくなることを明らかにした論文。身体の見かけのリアリティが視覚と体性感覚の多感覚統合に影響を与えることを初めて示した。実際の手の運動とアバタの手の運動の間のずれを意図して作り出す手法は VR における触覚提示等で用いられるが、提案手法により提示できる触覚の強度や応用範囲の拡大が期待できる。

3. 鳴海拓志, ゴーストエンジニアリング: 身体変容による認知拡張の活用に向けて, 認知科学, Vol.26, No.1, pp.14-29, 2019 年 3 月.

概要: 本研究課題で提案するゴーストエンジニアリングについて, その定義や研究背景, 研究の実例, そして発展の可能性や課題を示した論文. ゴーストエンジニアリングという研究領域を整理して示したことで, 研究者間で議論をおこなったり発展研究を考えたりするための共通の基盤を提供した.

(2) 特許出願

研究期間累積件数: 0 件

(3) その他の成果 (主要な学会発表、受賞、著作物、プレスリリース等)

1. 鳴海拓志, ゴーストエンジニアリング: 身体変容による認知拡張の活用に向けて, 鈴木宏昭 (著, 編集), プロジェクション・サイエンス-心と身体を世界につなぐ第三世代の認知科学-, 近代科学社, 476490621X, 2020.
2. Nami Ogawa, Takuji Narumi, Michitaka Hirose: Do You Feel Like Passing Through Walls?: Effect of Self-Avatar Appearance on Facilitating Realistic Behavior in Virtual Environments, CHI2020, pp. 1-14, 2020. **[CHI2020 Honorable mentions 受賞]**
3. Nami Ogawa, Takuji Narumi and Michitaka Hirose: Virtual Hand Realism Affects Object Size Perception in Body-Based Scaling, IEEE VR 2019, 2019.
4. Yuji Hatada, Shigeo Yoshida, Takuji Narumi and Michitaka Hirose: Double Shellf: What Psychological Effects can be Caused through Interaction with a Doppelganger?, Augmented Human 2019, Article No. 34, 2019.
5. Keisuke Seta, Masanori Yokoyama, Shigeo Yoshida, Takuji Narumi, Tomohiro Tanikawa and Michitaka Hirose: Divided Presence: Improving Group Decision-Making via Pseudo-Population Increase, HAI2018, pp.260-268, 2018.