

博 士 論 文 概 要

論 文 題 目

身体性の拡張に着目した
創出的コミュニケーション支援に関する研究
Study on Creative Communication Support
Focused on Expansion of Embodiment

申 請 者

渡辺	貴文
Takabumi	WATANABE

2013 年 5 月

身体の境界はダイナミックに拡張する．その端的な例として道具使用が挙げられる．例えば，ラケットでボールを打ち返すとき，その力触覚はラケット面に生起する．また，ラケット自体はあまり意識に上らず身体の一部のように振る舞う．上述の道具における身体の働き（身体性）の拡張は現象学や哲学の分野だけでなく，近年では脳科学，認知科学の分野において科学的に検証されつつあり，注目を集めている．このような身体性の拡張は人と人の間にも生じるのであろうか．たとえば，集団で即興的に行動することが必要なスポーツや，複数人で行う身体表現などの場面においては，集団があたかも一つの身体のように振る舞うことができるとともに，「私たち」という一体感や共存在感が生じることが現象学的に報告されている．このことは，人と人の間においても身体性が拡張し得ることを示唆するものである．したがって，人と人の間における身体性の拡張メカニズムが明らかになれば，一体感などのつながりの感覚などを創出するコミュニケーション支援技術の設計指針を明らかにできると考えられる．しかしながら，そのメカニズムに関する科学的な知見はほとんどない．

そこで本研究においては，人と人のコミュニケーションにおいて，身体性がどのように拡張するのかについて調べ，コミュニケーション支援に活用することを目的とした．身体においては，意識に上る働き（明在的な働き）と意識に上らない働き（暗在的な働き）が存在すると考えられるが，道具使用においては道具自体が意識に上らなくなることが指摘されており，道具における身体性の拡張には暗在的な働きが関わっていると考えられる．本研究では，手始めとして映像を用いて提示する道具に，身体の暗在的な働きを取り込むことで身体性が拡張するかについて調べた．そして，これを踏まえ人と人のコミュニケーションの創出における身体性拡張の問題に取り組むことにした．

本論文は 8 章から構成されている．以下に，各章ごとの概要について述べる．

第 1 章では，本研究全体の背景と目的について述べるとともに，身体性の拡張に関する知見，および身体性に着目したコミュニケーション支援に関する既存の研究などについて述べ，本研究の位置づけについて説明した．

以下に続く，第 2 章と第 3 章では，映像を用いて道具を提示し，これに身体の暗在的な働きを取り込むことで身体性が拡張するかを調べた．

第 2 章では，映像を用いて提示する道具において身体の暗在的な働きを取り込む手法の設計と開発について述べた．その方法として個物の存在と切り離すことができない非分離な関係にあり，かつ周辺視的に捉えられる「影」に着目した．すなわち，実体の道具を把持したときに生じるような影を実空間上に **Virtual** に提示することで，身体の暗在的な働きが引出され身体性が拡張するのではないかと考えた．そこで，使用者が把持する円柱状のグリップに対し，グリップの先に棒を接続した際に生じるような影（以下，**Virtual** 影）を，実際のグリップの影と連続的に接合して提示するシステムを開発した．

第 3 章では、第 2 章において開発した道具の Virtual 影において、身体性が拡張することを客観的に評価することを試みた。そこで、Cross modal interference（以下 CMI）に着目した。CMI とは、身体上に与えられる触刺激の判別に対し、視刺激が干渉する現象であり、Maravita らは道具使用によって手元に提示される触刺激の判別に道具の先端の触刺激が干渉するようになることを発見した。この CMI を Virtual 影に適用することで、身体性の拡張を評価することにした。実験の結果、Virtual 影において、実体の道具と同様に CMI が生じることが明らかとなった。このことから、Virtual 影において、実際の道具と同様に身体性が拡張していることが示唆された。以上に加え Virtual 影を遠隔地間におけるコミュニケーションにおいて活用するため、自身の身体の影響から遠隔の実映像空間中にまで、整合的に接続して提示するシステムを開発し、指示行為などを遂行する実験を行なった。その結果、Virtual 影によって身体性が拡張することを主観調査により見出した。これらの研究より、身体性の拡張は明在的な働きだけでなく、身体の影響的な働きに関わることを明らかにした。

以下に続く、第 4 章から第 6 章では、人と人のコミュニケーションの創出における身体性拡張について研究した。具体的には、手を触れ合わせながら即興的に身体表現を創る「手合わせ表現」に着目した。手合わせ表現においては双方の関係が深まると、「包まれつつ包み、包みつつ包まれる」という「共振感覚」が発現することが身体表現の活動の現場より現象的に報告されている。そこで、この手合わせ表現中の身体動作を計測することにより、身体性の拡張について調べた。

第 4 章では、手合わせ表現の計測システムの設計と開発について述べた。実際の現場で行われている手合せ表現は動きの自由度が高く計測データの解析が複雑になるため、手の動きを前後 1 自由度に拘束して単純化する装置を開発した。そして、手の動きや各人の力の発生に伴う腕部の筋電図を計測するセンサを実装した。さらに、あまり意識に上らない影響的な各人の全身動作に身体性の拡張に関わる動作が表出するのではないかと考え、頭部、背中、左肘の動作や、左手面、座面、足面の荷重、及び全身の床反力中心を計測可能なシステムを開発、実装した。また、本装置による身体動作の拘束下においても、共振に近い状態で手合わせ表現が出来ることを手合わせ表現の熟練者の主観評価により確認した。

手合わせ表現において共振感覚が発現する過程では、自己の身体の影響の他の身体の影響性と受動性のやりとりが重要であるとされている。そこで、第 5 章では手合せ表現におけるリード、フォローの状態を筋電図の計測にて捉えることを試みた。まず、リード、フォローの役割を固定した状態においては、リードの際に筋電図の振幅が大きくなり、フォローの際には振幅が小さくなるという対応関係があることが明らかになった。一方で、リード、フォローの役割を固定しない場合、ボタンにて実時間で報告したリード・フォローの役割と筋電図の大小が必ずしも合致しないことが分かった。このことは、表現を共に創り合う場合においては、

力を入れて他者をフォローしたり，力を抜いて他者をリードしたりする状況が生じていることを意味している．すなわち，能動的に受動する，受動的に能動するという，明在的な働きと暗在的な働きの二領域的なインタラクションが生じることを明らかにした．

第 6 章では，第 5 章において見出した二領域的なインタラクションについて詳しく調べるため，手合せ表現において手のひらの動作と，あまり意識に上らない身体全体の動作（床反力中心）を計測した．その結果，熟練者のペアが共振感覚に近い感覚が生じたと報告した試行においては，各人の手の動きに対し身体全体の動作が先行し，さらに双方の被験者の身体全体が手の動きに対し共に先行する時間帯が多くなるという通常のエントレインメント（身体的リズムの引き込み）では説明できない現象を発見した．以上のことから，各人の明在的な働きに先行する暗在的な働きによって身体が一体となる身体性の拡張が生じることや，明在的な働きとそれに先立つ暗在的な働きの間の循環的な関係が自他間で合致することで共振感覚が生じることを考察した．またこの際の手の動きに着目すると，数秒から 10 秒程度のリズムを持つ振幅や周期の変動パターンが暗在的に自己組織されていることが分かった．これらのパターンは，表現を持続的に創るためのガイドラインになっており，表現の持続性の評価指標になると考えられる．

さらに，表現を共に創り合うことができない初心者のペアに意識に上らないゆらぎ負荷を手を与えたところ，手に対して双方の身体全体が共に先行する時間割合が増える傾向があることが分かった．このことから意識に上らないゆらぎによって双方の暗在的な働きが活性化し，身体性が拡張することを考察した．

第 7 章では，手合わせ表現を遠隔地間において実現する方法について研究した．この際，手の動作を位置・力並列型のバイラテラル制御で伝達するだけでは，表現を共に創ることが困難であることが分かった．そこで身体全体の動作に基づく暗在情報を自身と相手の双方の手に呈示する制御手法を考案し，これを実装したところ，身体動作の計測結果が共振に近い状態での手合わせ表現の傾向に近づくことが分かった．このことから，遠隔の手合わせ表現において身体性を拡張するためには，身体の暗在的な働きを共有することが重要であることを見出した．

最後に，第 8 章において本論文の総括と今後の展望について述べた．

以上本論文では，共振感覚が生じるような手合せ表現では，明在的な働きとそれに先立つ暗在的な働きの間の関係が自他間で合致することを発見した．そして，このような二領域間の相互合致的な関係性の創出に身体性の拡張が関わっていることを考察した．このことから人と人のコミュニケーションにおいて身体性を拡張するには暗在的な働きと明在的な働きの二重的なインタフェースが必要になることを見出した．

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

氏名 渡辺 貴文 印

(2013年 5月 現在)

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
論文	<p>○Duality of Embodiment and Support for Co-creation in Hand Contact Improvisation, Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing, Vol.6, No.7 ,pp.1307-1318, 2012.12, <u>T. Watanabe</u>, Y. Miwa</p> <p>Shadow Awareness: Enhancing theater space through the mutual projection of images on a connective slit-screen, Leonardo, the journal of the International Society for the Arts, Sciences and Technology (SIGGRAPH 2011 Art paper), Vol.44, No.4, pp. 325-333, 2011.8, Y. Miwa, S. Itai, <u>T. Watanabe</u>, H. Nishi</p> <p>○Electromyography Focused on Activeness and Passiveness in Embodied Interaction: Toward a Novel Interface for Co-creating Expressive Body Movement, Journal of Advanced Mechanical Design, System, and Manufacturing, Vol.5, No.1, pp.35-44, 2011.1, <u>T. Watanabe</u>, N. Matsushima, H. Nishi, Y. Miwa</p> <p>○影に着目した仮想道具と身体との一体感創出に関する研究, ヒューマンインタフェース学会論文誌, No.10, Vol.4, pp.487-495, 2008.11, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p> <p>○異なる空間への指示行為が可能な仮想の影による道具インタフェースの開発, 情報処理学会論文誌, Vol.48, No.12, pp.3919-3930, 2007.12, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p>
講演 査読付き 国際学会	<p>○ Co-creative Expression -Duality of Embodied Interaction Focused on Generation of Sympathetic Awareness-, Proceedings of SICE Annual Conference 2011, pp.2565-2570, 2011.9 <u>T. Watanabe</u>, Y. Miwa</p> <p>○Support for Generation of Sympathetic Embodied Awareness: Measurement of Hand Contact Improvisation under Load Fluctuation Stress, HCI International 2011, Hilton Orlando Bonnet Creek, Orlando, Florida, U.S.A., 2011.7, <u>T. Watanabe</u>, Y. Miwa, G. Naito, N. Matsushima and H. Nishi</p> <p>○Electromyography Focused on Passiveness and Activeness in Embodied Interaction: Toward a Novel Interface for Co-creating Expressive Body Movement, Information Systems and Applications, incl. Internet/Web, and HCI ,Vol.5612, No.818 ,pp.554-562, 2009.7, <u>T. Watanabe</u>, N. Matsushima, R. Seto, H. Nishi, Y. Miwa</p> <p>Shadow Awareness -Bodily Expression Supporting System with Use of Artificial Shadow -, Human Interface, PartIII, HCI2009, pp.226-235, 2009.7, Y. Miwa, S. Itai, <u>T. Watanabe</u>, K. Iida, H. Nishi</p> <p>Public Viewing with Shadows: Design of theater-type space where remote actors and audiences can coexist using the shadow as their own agents, IEEE RO-MAN 2008, pp. 677-682, 2008.8, K. Iida, S. Itai, <u>T. Watanabe</u> and Y. Miwa</p> <p>○Virtual Extensible Tool Interface for Three-dimensional Interaction with Remote Objects, Proceedings RO-MAN2006-The 15th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, 2006.9, <u>T. Watanabe</u>, S. Wesugi, Y. Miwa</p> <p>“Interactive Spatial Copy Wall” representing bodily actions of remote person in pseudo three dimensions, Proceedings of ROBOTICS AND APPLICATIONS (RA 2005), CD-ROM, 2005.10, Wesugi, S., Suzuki, N., <u>Watanabe, T.</u>, Miwa, Y.</p> <p>Co-existing Communication: Embodied Interaction System Using an Integrated Expression of Remote Partner's Shadow and Video Image, Proceeding of HCI International 2005, CD-ROM, 2005.7, Ishibiki, C., Matsumoto, D., <u>Watanabe, T.</u>, Nakajima, Y., Miwa, Y.</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演 国内学会	<p>身体表現の共創-手合せ表現における身体動作創出過程の検討-,第 13回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2012)講演論文集, pp111-112, 2012.12, 西洋子, 柳澤裕樹, 辻吉竜, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p> <p>共創表現の遠隔支援-身体表現の共創における潜在的情報の計測と伝達-, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2012 講演論文集, pp751-754, 2012.9, 原知也, 三輪敬之, 宮本旅人, <u>渡辺貴文</u>, 西洋子</p> <p>共創表現の遠隔支援-共振感覚に着目した手合わせ表現デバイスの開発-, 日本機械学会 第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp.227-230, 2012.9, 木戸康平, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之, 西洋子, 片桐雅二</p> <p>共創表現における場のダイナミクス-手合わせ表現における共振創出と場の働きについて-, 日本機械学会 第22回設計工学・システム部門講演会講演論文集, pp.223-226, 2012.9, 三輪敬之, <u>渡辺貴文</u>, 板井志郎, 西洋子</p> <p>身体表現の共創に関する研究 その3: 表現の持続的創出とカオス性について, 日本体育学会第 63 回大会, p109, 2012.8, 三輪敬之, <u>渡辺貴文</u>, 西洋子</p> <p>身体表現の共創に関する研究 その2: 身体の一重性に着目した共振創出プロセスの計測, 日本体育学会第 63 回大会, p109, 2012.8, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之, 西洋子</p> <p>身体表現の共振ダイナミクス～手合わせ表現の共創における場の働きについて～, HCS 2012 年 3 月研究会, 信学技報, HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, 111(464), pp.25-26, 2012.3, 三輪敬之, <u>渡辺貴文</u>, 板井志郎, 西洋子</p> <p>手合わせ表現における共振感覚創出過程のウェアラブル計測, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2011 論文集, 3326S, 2011.9, 辻吉竜, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p> <p>タメの表現支援: 動作感覚のズレに着目した力呈示装置の開発, 日本機械学会 2011 年度年次大会講演会, DVD-ROM 論文集 SI21016, 2011.9, 岡田阿久里, 仲村晃, <u>渡辺貴文</u>, 板井志郎, 三輪敬之</p> <p>共振感覚に着目したウェアラブル型身体表現計測システムの開発, 日本機械学会 2011 年度年次大会講演会, DVD-ROM 論文集 SI21015, 2011.9, 辻吉竜, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p> <p>手合わせ表現における共創的インタラクションの計測, 第 11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2010)講演論文集, pp.1272-1273, 2010.12, 大平翼, 松島典司, 内藤剛, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之, 西洋子</p> <p>スリットスクリーンの提案, 第 11回計測自動制御学会システムインテグレーション部門講演会(SI2010)講演論文集, pp.1270-1271, 2010.12, 三輪敬之, 板井志郎, <u>渡辺貴文</u>, 渡邊大喜</p> <p>共振感覚ジェネレーター力覚呈示装置を用いた手合わせ表現過程の計測-, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010 論文集, pp.1051-1054, 2010.9, 内藤剛, 大平翼, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之, 西洋子:</p> <p>Shadow Media Robot による身体表現の遠隔共創支援システムの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2010 論文集, pp.933-936, 2010.9, 宮本旅人, 青山一成, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p> <p>共振感覚ジェネレーター 手合わせ表現に着目した力覚呈示装置の開発-, 日本機械学会 2010 年度年次大会講演論文集, (4) pp.9-10, 2010.9, 内藤剛, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p> <p>タメに着目した Virtual Tool の設計手法に関する研究, 第61回ヒューマンインタフェース学会研究報告集, Vol.12 No.3, pp.61-64, 2010.5, <u>渡辺貴文</u>, 瀬戸隆太郎, 三輪敬之</p> <p>共振インタフェースの設計を目指して, HCS 研究会 2010 年 3 月研究会, 信学技報, HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, 109(457), pp.33-34, 2010.3, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p> <p>共創的な身体表現に生成する共振感覚, 第61回舞踊学会大会, 2009. 12, 西洋子, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p>

早稲田大学 博士（工学） 学位申請 研究業績書

種 類 別	題名、 発表・発行掲載誌名、 発表・発行年月、 連名者（申請者含む）
講演 国内学会 (つづき)	<p>共振感覚に着目した手合わせ表現過程の計測, 第 14 回日本バーチャルリアリティ学会大会論文集 (CD-ROM), 2B4-1, 2009.9, 松島典司, <u>渡辺貴文</u>, 西洋子, 三輪敬之</p> <p>伸縮型 Virtual Tool との身体的インタラクション計測システムの開発, 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集, (4) pp.203-204, S1201-1-4, 2009.9, 瀬戸隆太郎, <u>渡辺貴文</u>, 松島典司, 三輪敬之</p> <p>身体スケール感覚に着目したミニチュア空間体験システムの開発, 日本機械学会 2009 年度年次大会講演論文集, (4) pp.201-202, S1201-1-3, 2009.9, 加藤雄大, 藤原孝亮, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之</p> <p>コミュニケーションと共創表現—影メディアの二重性による身体表現の共創出支援—, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2009 論文集, pp.639-642, 2009.9, 沖山良太, <u>渡辺大喜</u>, <u>渡辺貴文</u>, 西洋子, 三輪敬之</p> <p>影の時空的操作による身体表現創出に関する研究, 第 54 回ヒューマンインタフェース学会研究会, 信学技報 HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎 109(27), pp.127-130, 2009.5, 飯田公司, 大野洋人, <u>渡辺貴文</u>, 板井志郎, 三輪敬之</p> <p>コミュニケーションと共創表現—影メディアによる身体表現ジェネレータの開発—, 第 54 回ヒューマンインタフェース学会研究会, 信学技報 HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎 109(27), pp.117-120, 2009.5, <u>渡辺大喜</u>, 沖山良太, <u>渡辺貴文</u>, 西洋子, 三輪敬之</p> <p>コミュニケーションと共創表現—影の存在的非分離性に着目したイメージ創出支援手法の検討—, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会(SI2008)講演論文集, pp.103-104, 2008.12, 三輪敬之, 板井志郎, <u>渡辺貴文</u>, 西洋子</p> <p>身体的インタラクションにおける受動-能動性に着目した筋電位計測, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2008 論文集, pp.885-888, 2008.9, <u>渡辺貴文</u>, 松島典司, 瀬戸隆太郎, 西洋子, 三輪敬之</p> <p>仮想道具使用時の筋電位変化に関する研究, 電子情報通信学会電子情報通信学会 HCS 研究会, 信学技報, HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, 107(552), pp.59-62, 2008.3, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p> <p>非線形性を考慮した伸縮型仮想道具との身体的インタラクションに関する研究, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2007 論文集, pp.1073-1076, 2007.9, 佐藤大樹, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p> <p>空間共有に仮想影を適用した対面型映像ディスプレイの開発, 第 43 回ヒューマンインタフェース学会研究会, 信学技報, HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, 107(59), pp.163-168, 2007.5, 浅野裕紀, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p> <p>Shadow Communication System—身体センサとしての影の暗在的働きに関する二三の実験—, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2006 論文集, pp.29-32, 2006.9, <u>渡辺貴文</u>, 三輪敬之, 石引力, 吉山一史</p> <p>影に着目した仮想道具表現による身体性拡張に関する研究, 第 38 回ヒューマンインタフェース学会研究会, 信学技報, HIP, ヒューマン情報処理, 106(84), pp.61-66, 2006.5, <u>渡辺貴文</u>, 小川拓樹, 三輪敬之</p> <p>仮想道具による身体像の拡張表現とその評価に関する研究, 計測自動制御学会システムインテグレーション部門学術講演会(SI2005)講演論文集, pp.467-468, 2005.12, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p> <p>仮想道具の実在感創出手法に関する研究—仮想影と可変慣性モーメントを統合した“Phantom Pole”の開発—, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2005 論文集, pp.71-74, 2005.9, 佐藤大樹, 片山智文, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p> <p>仮想道具による身体像拡張の評価手法に関する研究, 第 33 回ヒューマンインタフェース学会研究会, 信学技報, HCS, ヒューマンコミュニケーション基礎, 105(74), pp.47-50, 2005.5, <u>渡辺貴文</u>, 片山智文, 上杉繁, 三輪敬之</p> <p>可動実体モデルと身体映像の遠隔重畳による実在感創出ディスプレイの開発, ヒューマンインタフェースシンポジウム 2004 論文集, pp.155-158, 2004.10, <u>渡辺貴文</u>, 上杉繁, 三輪敬之</p>