音声対話における場の盛り上がり推定モデルに基づく
身体的アバタ影色表現システム瀬島 吉裕^{*1}, 石井 裕^{*2}, 渡辺 富夫^{*3}An embodied communication system with avatar-shadow's color expressions
based on an interaction-activated communication model in voice communicationYoshihiro SEJIMA^{*1}, Yutaka ISHII^{*2} and Tomio WATANABE^{*3}^{*1} Faculty of Informatics, Kansai University

2-1-1 Ryozenji-cho, Takatsuki-shi, Osaka 569-1095, Japan

^{*2,*3} Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Okayama Prefectural University

111 Kuboki, Soja-shi, Okayama 719-1197, Japan

Received: 5 February 2018; Revised: 9 January 2019; Accepted: 21 April 2019

Abstract

Shadows play an important role in the effects of three-dimension and the enhancement of reality in virtual space. On the other hand, addition of color change in human interaction and communication is effective for enhancing expressions such as affects and interactions. Therefore, by changing the color of avatar's shadows based on the interaction, it is expected to activate and enhance an avatar-mediated interaction and communication. In this study, focusing on the effects of avatar-shadow's color, we develop an embodied communication system which expresses the change of avatar-shadow color based on an interaction-activated communication model. The model estimates activation levels of embodied communication based on speech input, and the color of avatar-shadow is changed on the basis of the estimated values. A communication experiment is performed with 12 pairs of participants to evaluate the system. The results of the sensory evaluation demonstrate that the color expressions of avatar-shadow are effective for visualizing embodied interaction and communication.

Keywords : Human interaction, Nonverbal communication, Avatar-mediated communication, Activated communication, Shadow

1. は じ め に

近年、通信技術や情報機器の高性能化に伴い、情報機器を介したコミュニケーションが日常的に行われている。中でも、仮想空間上で自己の代役となるアバタを用いたコミュニケーションシステムが開発・運用されており、多くのユーザが利用している。さらに、アバタとの一体感を高めるアプローチとして、非接触センサを用いてユーザの振る舞いをリアルタイムに計測し、アバタに反映するシステムの開発が行われている(長谷川他, 2016; Amat et al., 2018)。また、機械学習を用いた知的な振る舞いを行うエージェントの開発等(Alvarez and Cossio, 2014; 藤井他, 2014)、コミュニケーションを支援する研究が精力的に行われている。著者らもこれまでに、磁気センサを用いて対話者の振る舞いを計測し、アバタの上半身の動作に反映させる身体的バーチャルコミュニケーションシステム(EVCOS)を開発してきた(Watanabe et al., 2004)。EVCOSは、単に自身の振る舞いをアバタに表現させるだけでなく、アバタの頭部動作を矛盾的に止める(石井, 渡辺, 2002)、あるいはアバタや周囲の個物にうなずき反応さ

No.18-00074 [DOI:10.1299/transjsme.18-00074], J-STAGE Advance Publication date : 7 May, 2019

^{*1} 正員, 関西大学総合情報学部 (〒569-1095 大阪府高槻市霊仙寺町 2-1-1)

^{*2} 岡山県立大学情報工学部 (〒719-1197 岡山県総社市窪木 111)

^{*3} 正員, フェロー, 岡山県立大学情報工学部

E-mail of corresponding author: sejima@kansai-u.ac.jp

せる等(瀬島他, 2012), 仮想空間上の身体的インタラクション情報を追加・加工・制御することで, 仮想空間内のコミュニケーションを合成的に解析することができる。この EVCOS を用いたコミュニケーション実験により, アバタに表現させる振舞いやインタラクション情報がユーザの想定とは異なる場合, コミュニケーションに対する身体性が損なわれることが報告されている(瀬島他, 2009)。したがって, 仮想空間内において身体性を損なうことなくインタラクション情報を表現できる手法が望まれている。

また, 著者らはこれまでに, ユーザとの身体連動感が高い影に着目して, 仮想空間内のアバタに対して影を投影し, そのアバタ影に身体性だけでなく, うなずき反応を付加させることで, 一体感を向上させ, 場の盛り上がり支援に繋がることを示してきた(石井他, 2016)。さらに, 場の盛り上がりを熱伝達として捉え, 熱伝導方程式を用いた場の盛り上がり推定モデルを開発し, 評価実験によりモデルの有効性を示してきた(Sejima et al., 2016)。

一方, 人は人工物の色情報に対して感情や雰囲気等の印象を持つことが報告されている(Plutchik, 1960; 長町他, 1977)。さらに, コミュニケーションにおいても, 色情報の付加が情動やインタラクションの表現を強めることが報告されている(Tang et al., 2018)。例えば, Degiorgi らは, 半透明な身体を有するコミュニケーションロボットの内部にカラー LED を導入することで, 動作認識や感情伝達が高まることを報告している(Degiorgi et al., 2017)。また, 勅使らは, エージェントロボットが状況に応じて目の LED を変化(発色・発光パターン)させることで, 異なる感情を表現できることを示している(勅使他, 2015)。さらに, 江木らは, 作業空間内の雰囲気や活性度を色表現により伝達するアプリケーションを開発し, 色表現が雰囲気把握に重要な役割を果たすことを示している(江木他, 2006)。このように, コミュニケーションにおける色表現は, 情動や場の盛り上がり等のインタラクション情報を伝達する手法として有効であると考えられる。したがって, アバタを介したコミュニケーションにおいても, 色表現によるインタラクション情報を付加することで, コミュニケーション場における視認性が高まり, 身体的インタラクションの促進が期待される。この表現メディアについては, アバタの顔色(山田, 渡辺, 2007)や空間全体(Jones et al., 2018)等の様々なメディアが考えられるが, 身体そのものをメディアとして表現することで, 直観的に把握しやすいと予想される。しかしながら, 上述したように直接身体メディアに表現する場合, コミュニケーションにおいて本来共有されるべき身体性が損なわれる恐れがある。そのため, 抽象的存在である身体的アバタ影を表現メディアとすることで, 身体性を損なうことなく直観的に把握できる表現手法として期待される。

そこで本研究では, 場の盛り上がり推定モデルを用いて, 身体的アバタ影に色表現を付加した身体的コミュニケーションシステムを開発している。このシステムでは, 発話音声のみから場の盛り上がりや自身の盛り上がりを推定し, それらの盛り上がり度合いに基づいて身体的アバタ影の色情報が変化する。さらに, 開発したシステムを用いてコミュニケーション実験を行い, 身体的アバタ影に色情報を付加することの有効性を示している。

2. 身体的アバタ影色表現システム

2.1 コンセプト

本システムのコンセプトを図 1 に示す。本システムでは, EVCOS を用いてアバタを介したコミュニケーションを行う。とくに, 身体連動感の高い身体的アバタ影(石井他, 2016)にインタラクション情報として色情報を付加する。身体的アバタ影は, 場の盛り上がりや対話者自身の盛り上がり等のインタラクションや情動の強度に応じて色彩や彩度等の色情報を変化させ, インタラクション情報の視覚化の役割を担う。ユーザは, アバタ影を介して

Fig. 1 Concept of the proposed system.

Fig. 2 Example of communication scene using VAs and their shadows.

Fig. 3 Interaction-activated communication model.

メタ認知的にコミュニケーション場を捉え、対話者相互の関連性や自己参照性を高めながら場にかかわることができる (Ishii et al., 2016; 瀬島他, 2017)。この場のかかわりの視認性がコミュニケーション場への没入感を増大させ、互いのかかわりを実感しながら身体的インタラクションを促進させる。

2.2 身体的アバタ影システム

著者らはこれまでに、対話者のアバタとなる VirtualActor (VA) と、そのアバタの影をバーチャル空間に配置し、同一空間内で対面コミュニケーションを実現できる身体的アバタ影システムを開発している (石井他, 2016)。このシステムを用いた対話場面の一例を図 2 に示す。このシステムでは、対話者の身体動作を計測し、リアルタイムに VA とアバタ影に反映することで、対話者同士のかかわりを客観的に観察しながらコミュニケーションできる (Watanabe et al., 2004; 石井他, 2016)。

2.3 場の盛り上がり推定モデル

著者らはこれまでに、場の盛り上がりを熱伝達として捉えた場の盛り上がり推定モデルを開発してきた (Sejima et al., 2016)。開発したモデルの概要を図 3 に示す。このモデルでは、話者同士が活発に行うコミュニケーションを想定し、「温度」「熱量」「熱容量」の仮定条件を設定することで、コミュニケーション空間を温度空間に関連付けている。具体的には、各対話者とコミュニケーション場はそれぞれ対応する温度 (T_A , T_B , T_F) と熱容量 (C_A , C_B , C_F) を有していると仮定する。対話者の発話を対話者自身の発熱として捉え、対流熱伝達によるコミュニケーション場への熱移動 (Q_{AF} , Q_{BF}) と外部 (T_O) への熱移動 (Q_{AO} , Q_{BO} , Q_{FO}) からコミュニケーション場の温度 (T_F) を場の盛り上がり度として推定する。このモデルを用いて発話音声から場の盛り上がり度を推定した時系列変化の一例を図 4 に示す。各対話者の発話と伴に対応する温度 T_A , T_B が増加し、さらに両対話者の発話時に T_F の温度が高くなっていることがわかる。このように、場の盛り上がり推定モデルは、発話音声のみから場の盛り上がり度合いを推定することができる。

2.4 身体的アバタ影色表現システムの開発

身体的アバタ影に色表現を付加した身体的コミュニケーションシステムを開発した。システムの概略を図 5 に示す。本システムは、Microsoft Windows7 を搭載したデスクトップ PC (CPU: Corei7 2.93GHz, Memory: 8GB, Graphics: NVIDIA Geforce GTS250)、磁気センサ (POLHEMUS FASTRAK)、ヘッドセット (Logicool H330) から構成される。身体的アバタおよび身体的アバタ影の動作は、対話者の頭部、背部、両手首に取り付けた 4 個の磁気センサから、位置及び角度情報を 30Hz でサンプリングし、合成している。音声は、16bit 11kHz でサンプリングしている。プログラムは、Microsoft DirectX SDK を用いて記述し、CG の描画には Microsoft DirectX を利用した。取得した身体動作データ及び音声データは、ギガビットイーサネットを経由して PC 間で送受信すると同時にハードディスクに記録している。このときの描画は毎秒 30 フレームである。

本システムでは、場の盛り上がりに応じて身体的アバタ影の色情報を変化させる。この色情報については、人間の情動に働きかけ、かつ盛り上がり度を直観的に把握できる色彩にすることで、効果的な支援が可能になると期待される。そこで、身体的アバタ影の色変化実験を行った。比較モードは、先行研究において暖色系の色が活動性を高める印象を与えることが報告されていることから (大森他, 2002)、(1) 赤色 (H:0, S:240, V:120)、(2) 橙色 (H:20,

Fig. 4 Change in the estimated values of the interaction-activated communication model with time.

Fig. 5 Setup of the developed system. (Reprinted from Sejima et al., 2016)

S:240, V:120), (3) 黄色 (H:40, S:240, V:120) の3種類とした(図6)。色変化は、式(1)のように、身体的アバター影の基準値となるグレー (S:0) からアバター影としての違和感を与えないように彩度値のみを線形的に変化させた。ここでは、著者らの先行研究の知見から、場の盛り上がり推定値が予め設定した閾値を超えると、0.5秒で変化するように設計した(瀬島他, 2016)。実験協力者は、同性同士2人1組の正常色覚を有する男女10人であった。実験は、3種類の比較モードから2つをランダムに選び、3分間の2者間コミュニケーションを行わせた後、「場が盛り上がっている色彩として好ましい色」の観点で一対比較させた。一対比較は、全ての組み合わせで行い、順序効果を考慮して組ごとにカウンターバランスを取った。

$$S = S_o + \alpha \cdot \Delta S \quad (1)$$

S : 現在の彩度値, S_o : 基準の彩度値, α : 変化係数

一対比較の結果を表1に示す。表中の数字は各パターンの勝数、つまり各行のパターンを選択した回数を表している。この結果に対して実験協力者による評価を定量的に評価するために、以下の Bradley-Terry モデルを想定した(竹内, 1978)。

$$P_{ij} = \frac{\pi_i}{\pi_i + \pi_j} \quad (2)$$

$$\sum_i \pi_i = \text{const.} (= 100) \quad (3)$$

π_i : i の強さの量, P_{ij} : i が j に勝つ確率

Fig. 6 Comparison modes in the color of avatar-shadow.

Table 1 Result of paired comparison in the color of avatar-shadow.

	(1)	(2)	(3)	Total
(1)		7	6	13
(2)	3		7	10
(3)	4	3		7

Fig. 7 Comparison of π in the color of avatar-shadow.

π_i は各モードの好ましさを (3 モードの合計 100) を表し、このモデルを想定することにより、一対比較に基づく好ましさを定量的に定めることができる。Bradley-Terry モデルより推定された影色の好ましさを図 7 に示す。このモデルの整合性を検討するために、適合度検定および尤度比検定を行った結果、モデルは棄却されず、 π の妥当性が保証された。図 7 より、影色が赤色に変化するモード (1) が最も高く評価され、続いて橙色に変化するモード (2)、黄色に変化するモード (3) の順となった。この結果は、赤色が背景色に依存することなく最も高い誘目性を有することから (日本色彩学会編, 1998)、本研究においてもその傾向が認められたものと考えられる。以上の結果より、身体的アバタ影の色彩変化は、場の盛り上がり推定値が閾値を超えた区間において、赤色に変化するものとし、その変化時間は 0.5 秒とした。

3. コミュニケーション実験

3.1 実験概要

本実験では、自然に対話が盛り上がると想定される日常対話を対象として自由対話実験を行った。比較モードは、身体的アバタ影色が変化しない「(A) 通常提示」、対話者それぞれの熱量に比例して各々の身体的アバタ影色が変化する「(B) 熱量提示」、場の盛り上がり推定モデルにより得られた推定値に基づいて両者の身体的アバタ影色が同時に変化する「(C) 盛り上がり提示」の 3 モードとした (図 8)。影色の変化は、2.4 節と同様の方法とした。実験は 2 人 1 組で行い、実験協力者にはそれぞれ別室でシステムを用いて対話を行わせた。各室の対話の様子はビデオカメラにより録画した (図 9)。実験協力者は友人の間柄で、18~24 歳までの同性同士の男女 12 組の計 24 人であった。

Fig. 8 Comparison modes.

Fig. 9 Example of communication scene in the experiment.

実験は、以下の手順にて行った。実験概要説明後、実験協力者の2人をそれぞれ別室に入室させ、2分間システムを試用させ、システムに慣れさせた。その後、3モードの中から2モードをランダムに選択し、各モードを2分間使用させ、総合的に良い観点で対比較を行わせた。次に、各モードを3分間使用させ、各モード終了時に、7段階（中立0）のアンケートを行わせた。ここでは、身体的インタラクションの促進の観点から「(a) 楽しさ」「(b) 対話しやすさ」、提示法による印象の差異を評価する「(c) 盛り上がり」「(d) 一体感」「(e) 安心感」、直観的評価である「(f) 好み」、提示による他者理解の支援を調査する「(g) (相手の) 感情の理解しやすさ」の7項目とした。各モードの提示順は順序効果を考慮して組ごとにカウンターバランスを取った。

3.2 実験結果

対比較の結果を表2に示す。得られた結果から、Bradley-Terryモデルを用いて各モードの好ましさを推定した。推定されたモードの好ましさ π を図10に示す。このモデルの整合性を検討するために、適合度検定および尤度比検定を行った結果、モデルは棄却されず、 π の妥当性が保証された。図10より、影色が変化するモード(B)とモード(C)がともに高く評価され、影色が変化しないモード(A)に対して約4倍好まれた。

次に、7段階評価結果を図11に示す。図には参考として平均値とその標準偏差を示している。Friedmanの検定およびWilcoxonの符号順位検定による多重比較を行った結果、モード(A)とモード(B)との間に「楽しさ」「対話しやすさ」「盛り上がり」「一体感」「好み」「感情の理解しやすさ」の項目において有意水準1%で有意差が認められ、「安心感」の項目において有意水準5%で有意差が認められた。モード(A)とモード(C)との間には、「楽しさ」「対話しやすさ」「盛り上がり」「一体感」「好み」「感情の理解しやすさ」の項目において有意水準1%で有意差が認められ、「安心感」の項目において有意水準5%で有意差が認められた。また、モード(B)とモード(C)を比較した結果、全ての項目において有意差は認められなかった。さらに、モード(B)に対する自由記述は、「相手の感情を感じられる」「盛り上がって話す楽しい」「相手の反応が少ないと、相手はあまり楽しんでないように感じる」等の意見が得られた。モード(C)に対する自由記述は、「笑ったときに両方の影が反応するので、相手の感じが分かった」「会話の盛り上がりは一番感じられた」「相手の感情が分かりにくかった」等の意見が得られた。

これらの結果から、身体的アバタ影の色情報を変化させるモード(B)およびモード(C)が高く評価されたことより、身体的アバタ影の色情報を盛り上がり等のインタラクション情報に応じて変化させることの有効性が示された。

Table 2 Result of paired comparison.

	(A)	(B)	(C)	Total
(A)		3	6	9
(B)	21		10	31
(C)	18	14		32

Fig. 10 Comparison of π .

Fig. 11 Seven points bipolar rating.

3.3 考察

本研究では、盛り上がり等のインタラクション情報に基づいてアバタ影に色表現を行わせた。その結果、一対比較において、影色が変化するモード (B) およびモード (C) が高く評価され、影色が変わらないモード (A) に対して約 4 倍好まれた。また、7 段階評価結果では、モード (B) およびモード (C) がモード (A) に対して全ての評価項目において高く評価された。これにより、本研究で開発したシステムが色変化をインタラクション情報と関連付けることで、「楽しさ」や「対話しやすさ」等の身体的インタラクションを高めることが示され、身体的アバタ影に色情報を付加することの有効性が示された。

また本研究では、インタラクション情報の提示法によって対話者の印象が異なるという仮説を設定した。具体的には、自己の活性度合いを提示するモード (B) と、コミュニケーション場の活性度合いを提示するモード (C) では、たとえ同一のメディアであっても異なる印象が形成されると想定した。しかしながら、一対比較および 7 段階評価においてモード (B) とモード (C) との間に顕著な差が認められなかった。さらに、自由記述において、対話者は身体的アバタ影が表現するインタラクション情報が異なることを理解していた。これは、対話内容を自然に対話が盛り上がると想定される日常対話としていたため、話し手と聞き手が短時間で入れ替わり、自己の発話が影色として適度に反映されることから、提示法に差が見られにくかったと考えられる。加えて、両提示法における色表現と対話者の想定との差異が小さかったため、コミュニケーションに対する身体性が損なわれることなく「盛り上がり」や「一体感」等において高い評価が得られたと考えられる。これらのことから、自由対話というコミュニケーションスタイルでは、影色変化によるかわりを可視化することが重要であり、提示法による印象の違いは小さかったと考えられる。ただし、この知見は場の盛り上がりモデルの前提条件となる、話者同士が活発にコミュニケーションを行う場面において適用可能であり、例えばじっくり話を聞くなどのコミュニケーションスタイルが異なる場合、提示法による差異が生じると予想される。そのため、対話における発話量等のコミュニケーションスタイルに応じた色表現やモデルを検討する必要がある、今後の検討課題として進めていく。

さらに先行研究において、実空間上で人工的に生成された影の形状を変化させることによって、ユーザの情動表現や身体表現の強化に繋がることが報告されている (Miwa et al., 2009)。本研究においても、「感情の理解しやすさ」の項目が極めて高く評価された。これは、色情報が感情や雰囲気等の印象形成に結び付きやすいことから (Plutchik, 1960)、対話者は身体的アバタ影の色表現を「情動」として関連付けていると考えられる。とくに、影形状だけでなく身体連動感が極めて高いアバタ影であることから、他者の「内在的な情動表現」として捉えている可能性が考えられる。そのため、コミュニケーションにおけるコンテキストと関連付けながら身体的アバタ影の

色表現や身体運動感を含む影形状を合成することで、他者理解のための伝達メディアとして期待できる。

以上のことから、開発したシステムを用いて盛り上がりに応じて身体的アバタ影が色変化することで、アバタを介したコミュニケーションを支援することから、本システムの有効性が示された。

4. お わ り に

本研究では、身体運動感の高い身体的アバタ影に着目し、場の盛り上がりに応じて身体的アバタ影の色情報を変化させる身体的コミュニケーションシステムを開発した。このシステムは、発話音声のみから場の盛り上がり度合いや自己の盛り上がり度合いを推定し、その推定値に基づいて身体的アバタ影色を変化させることで、盛り上がりの視覚化を行う。さらに、開発したシステムを用いてコミュニケーション実験を行い、身体的アバタ影に色情報し、場の盛り上がりを表現することの有効性を示した。

今後は、コミュニケーションスタイルに応じた表現色やモデルを検討・開発し、コミュニケーションにおけるコンテキストと関連付けながら身体的アバタ影の色表現や身体運動感を含む影形状を合成あるいは分離して体系的に解析する等、影メディアによる効果を各種条件下で解析する予定である。

謝 辞

本研究の一部は、JSPS 科研費 JP16K01560, JP16K00278, JP19K12890 の助成を受けたものである。

文 献

- Alvarez, C. and Cossio, F.L., FIONA: A platform for embodied cognitive agents, Proceedings of the second International Conference on Human-Agent Interaction (2014), pp.113–116.
- Amat, A.Z., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z. and Sarkar, N., Design of an assistive avatar in improving eye gaze perception in children with ASD during virtual interaction, Proceedings of the 12th International Conference UAHCI2018, LNCS 10907 (2018), pp.463–474.
- Degiori, M., Garzotto, F., Gelsomini, M., Leonardi, G., Penati, S., Ramuzat, N., Silvestri, J., Clasadonte, F. and Kinoe, Y., Puffy - an inflatable robotic companion for pre-schoolers, Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Robot Human Interactive Communication (2017), pp.35–41.
- 江木啓訓, 西川真由佳, 安西悠, 重野寛, 岡田謙一, グループ支援を目的とした協同作業空間の雰囲気伝達手法, 情報処理学会論文誌, Vol.47, No.4 (2006), pp.1219–1229.
- 藤井叙人, 佐藤祐一, 若間弘典, 風井浩志, 片寄晴弘, 生物学的制約の導入によるビデオゲームエージェントの「人間らしい」振舞いの自動獲得, 情報処理学会論文誌, Vol.55, No.7 (2014), pp.1655–1664.
- 長谷川大, 小林裕, 白川真一, 佐久田博司, 安彦智史, 安達栄治郎, 中山栄純, アバタ媒介型見守りシステムの開発, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.28, No.6 (2016), pp.974–985.
- 石井裕, 渡辺富夫, 聞き手の VirtualActor の頭部動作を矛盾的に止めた身体的コミュニケーションの合成的解析, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.4, No.3 (2002), pp.9–16.
- 石井裕, 江崎敬三, 渡辺富夫, アバタを介したコミュニケーションを支援する身体的引き込みアバタ影システム, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.18, No.3 (2016), pp.246–259.
- Ishii, Y., Watanabe, T. and Sejima, Y., Development of an embodied avatar system using avatar-shadow's color expressions with an interaction-activated communication model, Proc. of the 4th annual International Conference on Human-Agent Interaction (2016), pp.337–340.
- Jones, B.R., Benko, H., Ofek, E. and Wilson, A.D., IllumiRoom: Peripheral projected illusions for interactive experiences, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (2013), pp.869–878.
- Miwa, Y., Itai, S., Watanabe, T., Iida, K. and Nishi, H., Shadow awareness: Bodily expression supporting system with use of artificial shadow, Information Systems and Applications, incl. Internet/Web, and HCI, Vol.5611, No.912 (2009), pp.226–235.

- 長町三生, 瀬沼勲, 岩重律子, 室の雰囲気に関する感情分析, 人間工学, Vol.13, No.1 (1977), pp.7–14.
- 大森正子, 橋本令子, 加藤雪枝, 色彩刺激に対する心理評価と生理反応評価, 日本色彩学会誌, Vol.26, No.2 (2002), pp.50–63.
- Plutchik, R., The multifactor-analytic theory of emotion, Journal of Psychology, Vol.50 (1960), pp.153–171.
- 瀬島吉裕, 渡辺富夫, 山本倫也, うなずき反応モデルを重ねた VirtualActor を介する身体的コミュニケーションの合成的解析, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.75, No.758 (2009), pp.169–178.
- 瀬島吉裕, 石井裕, 渡辺富夫, アバタコミュニケーション支援のための音声駆動型身体的引き込み絵画を用いた仮想観客システム, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.78, No.786 (2012), pp.523–534.
- Sejima, Y., Watanabe, T. and Jindai, M., Estimation model of interaction-activated communication based on the heat conduction equation, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.10, No.9 (2016), Paper No.15-00548, pp.1–11.
- 瀬島吉裕, 小野光貴, 渡辺富夫, 場の盛り上がり推定モデルを用いた視線インタラクションを支援する音声駆動型身体引き込みキャラクタシステム, 日本機械学会論文集, Vol.82, No.842 (2016), DOI:10.1299/transjsme.16-00114.
- 瀬島吉裕, 石井裕, 渡辺富夫, 場の盛り上がり推定モデルに基づく身体性アバタ影色表現システム, 日本機械学会第27回設計工学・システム部門講演会講演論文集, No.1208 (2017), pp.1–8.
- 竹内啓, 現象と行動のなかの統計数理, 新曜社 (1978), pp.133–148.
- Tang, N., Dong, Z. and Liu, L., Expressing mixed emotions via gradient color: An interactive online chat interface design based on affective recognition, Proceedings of the 20th International Conference on HCI2018, LNCS 10903 (2018), pp.190–199.
- 勅使宏武, 寺田和憲, 伊藤昭, ロボットの目の動的色発光が語り聞かせ時の人の感情認識に与える影響, ヒューマンインタフェース学会論文誌, Vol.17, No.4 (2015), pp.129–140.
- 日本色彩学会編, 色彩科学ハンドブック, 東京大学出版会 (1998), p.882.
- Watanabe, T., Ogikubo, M. and Ishii, Y., Visualization of respiration in the embodied virtual communication system and its evaluation, International Journal of Human-Computer Interaction, Vol.17, No.1 (2004), pp.89–102.
- 山田貴志, 渡辺富夫, 表情と顔色の色彩強調に伴うバーチャル顔画像合成による怒りの情動提示効果, 日本機械学会論文集 C 編, Vol.73, No.733 (2007), pp.2543–2550.

References

- Alvarez, C. and Cossio, F.L., FIONA: A platform for embodied cognitive agents, Proceedings of the second International Conference on Human-Agent Interaction (2014), pp.113–116.
- Amat, A.Z., Swanson, A., Weitlauf, A., Warren, Z. and Sarkar, N., Design of an assistive avatar in improving eye gaze perception in children with ASD during virtual interaction, Proceedings of the 12th International Conference UAHCI2018, LNCS 10907 (2018), pp.463–474.
- Degiorgi, M., Garzotto, F., Gelsomini, M., Leonardi, G., Penati, S., Ramuzat, N., Silvestri, J., Clasadonte, F. and Kinoe, Y., Puffy - an inflatable robotic companion for pre-schoolers, Proceedings of the 26th IEEE International Conference on Robot Human Interactive Communication (2017), pp.35–41.
- Egi, H., Nishikawa, M., Anzai, H., Shigeno, H. and Okada, K., Grasping contextual awareness inside a workspace at the entrance to support group interaction, IPSJ Journal, Vol.47, No.4 (2006), pp.1219–1229 (in Japanese).
- Fujii, N., Sato, Y., Wakama, H., Kazai, K. and Katayose, H., Autonomously acquiring video-game agent's human-like behaviors with biological constraints, IPSJ Journal, Vol.55, No.7 (2014), pp.1655–1664 (in Japanese).
- Hasegawa, D., Kobayashi, Y., Shirakawa, S., Sakuta, H., Abiko, S., Adachi, E. and Nakayama, E., Development of avatar mediated distant-care system, Journal of Japan Society for Fuzzy Theory and Intelligent Informatics, Vol.28, No.6 (2016), pp.974–985 (in Japanese).
- Ishii, Y. and Watanabe, T., Analysis by synthesis of embodied communication in which the head motion of listener's VirtualActor is inconsistently stopped, The transactions of Human Interface Society, Vol.4, No.3 (2003), pp.9–16 (in Japanese).

- Ishii, Y., Esaki, K. and Watanabe, T., An embodied entrainment avatar-shadow system to support avatar mediated communication, The transactions of Human Interface Society, Vol.18, No.3 (2016), pp.246–259 (in Japanese).
- Ishii, Y., Watanabe, T. and Sejima, Y., Development of an embodied avatar system using avatar-shadow's color expressions with an interaction-activated communication model, Proc. of the 4th annual International Conference on Human-Agent Interaction (2016), pp.337–340.
- Jones, B.R., Benko, H., Ofek, E. and Wilson, A.D., IllumiRoom: Peripheral projected illusions for interactive experiences, Proceedings of the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems (2013), pp.869–878.
- Miwa, Y., Itai, S., Watanabe, T., Iida, K. and Nishi, H., Shadow awareness: Bodily expression supporting system with use of artificial shadow, Information Systems and Applications, incl. Internet/Web, and HCI, Vol.5611, No.912 (2009), pp.226–235.
- Nagamachi, M., Senuma, I. and Iwashige, R., An analysis of emotion upon room-atmosphere, The Japanese Journal of Ergonomics, Vol.13, No.1 (1977), pp.7–14 (in Japanese).
- Omori, M., Hashimoto, R. and Kato, Y., Relation between psychological and physiological responses on color stimulus, Journal of the Color Science Association of Japan, Vol.26, No.2 (2002), pp.50–63 (in Japanese).
- Plutchik, R., The multifactor-analytic theory of emotion, Journal of Psychology, Vol.50 (1960), pp.153–171.
- Sejima, Y., Watanabe, T. and Yamamoto, M., Analysis by synthesis of embodied communication via VirtualActor with a nodding response model, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.75, No.758 (2009), pp.169–178 (in Japanese).
- Sejima, Y., Ishii, Y. and Watanabe, T., A virtual audience system by using a speech-driven embodied entrainment picture for supporting avatar-mediated communication, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.78, No.786 (2012), pp.523–534 (in Japanese).
- Sejima, Y., Watanabe, T. and Jindai, M., Estimation model of interaction-activated communication based on the heat conduction equation, Journal of Advanced Mechanical Design, Systems, and Manufacturing, Vol.10, No.9 (2016), Paper No.15-00548, pp.1–11.
- Sejima, Y., Ono, K. and Watanabe, T., A speech-driven embodied entrainment character system for supporting line-of-sight interaction using an interaction-activated communication model, Transactions of the JSME (in Japanese), Vol.82, No.842 (2016), DOI:10.1299/transjsme.16-00114.
- Sejima, Y., Ishii, Y. and Watanabe, T., An embodied avatar system using avatar-shadow's color expressions with an interaction-activated communication model, Proceedings of the 27th JSME Design and Systems Conference, No.1208 (2017), pp.1–8 (in Japanese).
- Takeuchi, K., Mathematical statistics in phenomenon and behavior, Shin-Yo-Sha Ltd. (1978), pp.133–148 (in Japanese).
- Tang, N., Dong, Z. and Liu, L., Expressing mixed emotions via gradient color: An interactive online chat interface design based on affective recognition, Proceedings of the 20th International Conference on HCI2018, LNCS 10903 (2018), pp.190–199.
- Teshi, H., Terada, K. and Ito, A., Effect of emotion expression with blinking colored eyes of a robot on emotional story understanding, The transactions of Human Interface Society, Vol.17, No.4 (2015), pp.129–140 (in Japanese).
- The Color Science Association of Japan, Handbook of color science, University of Tokyo Press (1998), p.882 (in Japanese).
- Watanabe, T., Ogikubo, M. and Ishii, Y., Visualization of respiration in the embodied virtual communication system and its evaluation, International Journal of Human-Computer Interaction, Vol.17, No.1 (2004), pp.89–102.
- Yamada, T. and Watanabe, T., Affect display effects of anger by virtual facial image synthesis with facial color enhancement and expression, Transactions of the Japan Society of Mechanical Engineers, Series C, Vol.73, No.733 (2007), pp.2543–2550 (in Japanese).