

令和元年6月25日現在

機関番号：14301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2016～2018

課題番号：16K21113

研究課題名(和文)意思を持つと感じられる人工物のインタラクションモデルの開発と評価

研究課題名(英文) Development and evaluation of an interaction model for an artificial agent that allows human takes an intentional stance

研究代表者

大本 義正 (Ohmoto, Yoshimasa)

京都大学・情報学研究科・助教

研究者番号：90511775

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,200,000円

研究成果の概要(和文)：我々はヒューマンエージェントインタラクション(HAI)に焦点を当て、課題1) コンテキストを共有するHAIの分析、と、課題2) 意見の対立と変化があるHAIの分析、の2つから、エージェントが意思を持つと感じられるインタラクションモデルの開発を目指した。(1)では、同一コンテキストにおける行動と認識を強制的にでも行うことで、エージェントに意思を感じることを示した。(2)では、複数のエージェントを含むHAIにより、エージェントの行動と認識のモデルを構築させ、持続的に意思を感じさせられることを示した。これらを統合したエージェントを用いた実験から、人間のHAIにおける態度が無意識に改善することを示した。

研究成果の学術的意義や社会的意義

人工知能技術の発展により、知的な活動をするエージェント(例えば、仮想キャラクターやロボット)が増えている社会状況において、適切な人間側の認識や態度を誘発するインタラクションモデルを提案したことは、円滑なHAIを実現する上で有用な知見を与えたと言える。また、複数のエージェントとのHAIにおいて、エージェントの行動と認識のモデルの構築が1対1の場面よりも効果的に行われ、円滑なHAIの実現に有用なことを示したのは、エージェントを社会の中に位置づけるためのこれからの研究と検証に対して、示唆に富む結果を与えることができたと考えられる。

研究成果の概要(英文)：We focused on Human Agent Interaction (HAI). We aimed to develop an interaction model in which humans think that the agent has the intention. For that purpose, we conducted experimental researches from two perspectives: Study 1) analysis of HAI sharing context between a human and an agent and Study 2) analysis of HAI with conflict and change of opinion in cooperative tasks. In Study 1, we suggested that the participants in this experimental study thought that the agent had the intention by forcibly performing cooperative and basic interactions in the same context. In Study 2, we suggested that HAI including multiple agents enabled the participants in this experimental study to efficiently build models of agent's behavior and recognition, and the participants thought that the agents have intentions in the cooperative task continuously. An experiment using agents with an interaction model that integrated these two findings showed that the human attitude at HAI improves implicitly.

研究分野：認知科学

キーワード：ヒューマンエージェントインタラクション 内部状態推定 マルチモーダルインターフェース 志向姿勢 生理指標

1. 研究開始当初の背景

ロボットやセンシング技術の発展に伴い、人間とインタラクション出来る会話エージェント (Embodied Conversational Agent: ECA) への期待が高まっている。従来から、複数のモダリティの情報から人間の意図を推定し、言語・非言語コミュニケーションを行う ECA の研究は活発に行われている (Becker ら、2005 ; Hirayama ら 2010 など)。こうした研究は一定の成果を上げており、Human-Agent Interaction (HAI) において重要な役割を担っているが、ECA が単なる Multi-modal Interface となっており、人間の探している正解を見つけ出す補助的役割にとどまっている。また、このような手法は人間が正解や目標を把握していることを前提としており、正解や最終目標が必ずしも明確でない場面 (創造的課題や探索的課題) では有効ではない。創造的課題や探索的課題では、その過程における試行錯誤や紆余曲折によって、解決への糸口を得たり、当初は考えていなかった結論へと導かれたりすることも多く、お互いの意思を尊重し合いながら議論することが重要である。このようなインタラクションを実現するには、相手が意思を持つ存在であると認識する必要があるが (志向姿勢: Dennett, 1989)、このような人間の心的スタンスを誘発・維持することが ECA とのインタラクションにおいて質的な変化をもたらすということを前提としたインタラクションモデルは提案されていない。

大本は、HAI における ECA の主体的行動の影響に着目し、探索的課題の一種である、目的を共有しながらも達成の手段が多様に存在するような課題 (例えば、旅行の計画など) におけるインタラクションを中心に分析してきた。その中で、お互いの考えを推定して提示された情報を、自らの視座から解釈し直して自分の考えに取り込むことを繰り返し、コンセンサス (common ground) を協調的に創り上げていく、相互適応現象の一種 (ここでは「視座協創」と呼ぶ: 図1) が重要であると考えた。これまでの研究において、結論の満足度にかかわらず、視座協創をサポートすることで、人間のストレスが低減したり、ECA に対する主観的な印象が向上したり、ECA に対する心的なスタンスが質的に変化したりすることを明らかにした (CogSci2012, 2014 などで発表)。これは、視座協創が探索的課題解決に必要とされる心的スタンスの誘発・維持に影響することを示している。その一方、複雑な高次の視座協創を効果的に成立させるためには、相互適応現象の成立条件 (Xu et al., 2011) である、主導権の交代が自然に起こる必要がある。しかしながら、志向姿勢を持たない初対面の相手とのインタラクションの当初から、主導権の交代を起こすことは困難であることも示唆されている。また、本研究課題の前段階として、人間から ECA に対して、志向姿勢を持たせる方法に関する研究を進めており、目的指向行動の暗黙的提示を手がかりとした、人間による ECA の行動モデルの推定促進や、ECA が示す随伴性・一貫性による内部状態のブラックボックス化が、志向姿勢の誘発と維持に有効であることを示唆した (Ohmoto et al., COGNITIVE 2015)。

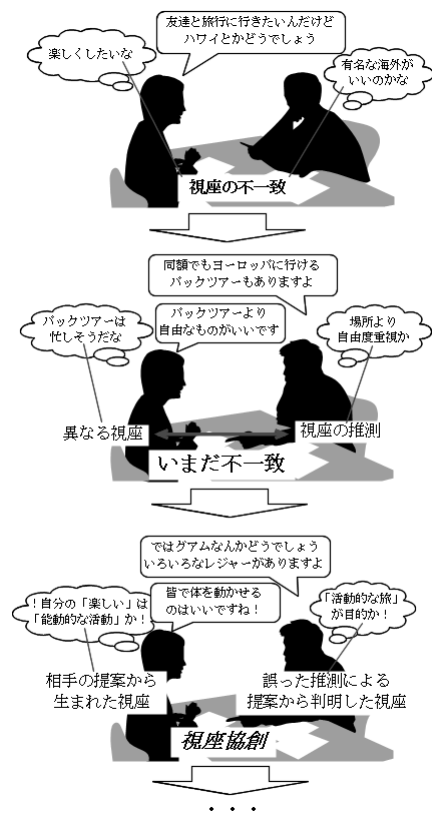


図1: 視座協創の例

2. 研究の目的

上記の背景、および、これまでの研究経過を踏まえ、本研究課題では、創造的課題や探索的課題において相談や議論の相手となる、人間が志向姿勢を持ってインタラクションしようとするような、意思を持っている存在と認識される ECA の開発を目的とした。そのために、インタラクション中に創り上げられていく common ground を踏まえながら、視座協創を構築するポイントや抽象化のレベルを変化させることで、志向姿勢の誘発・維持に必要とされる随伴性・一貫性・発展性を構成する要因や、それらの表現による志向姿勢の誘発・維持に対する効果を調べることを目指した。構成論的アプローチを取り、タスクを協調的に遂行する ECA に、タスクの遂行や人間の思考の流れに随伴して視座の発展を促す機構 (随伴的發展機構と呼ぶ) を組み込み、その ECA がタスク中のインタラクションを通して、人間に意思のある存在として見なされる関係を作ることが出来るかどうかを調べた。随伴的發展機構が、common ground の協調的構築を通して、インタラクティブなタスクの遂行における志向姿勢の誘発・維持に貢献することを明らかにする。評価のために複数の生理指標を用いることで、心的状態の時間構築を推定する。研究期間内には、以下のことを実施することとした。

(1) ECA とコンテキストを共有する HAI の分析とモデル化

人間と ECA がコンテキストを共有する場面における HAI を分析し、異なる視座が同じ方向に重なってコンセンサスを成立させる過程におけるインタラクションのモデル化を行う。対話の意味解釈には重点を置かず、インタラクション中の情報の提示順序、提示する情報の粒度、行動の遷移タイミング、の3つを中心に分析・実装・評価を行う。ここでは、これまでに開発

された、人間の意思決定における重視要因の推定手法 (Ohmoto et al., 2014 など) に随伴的発展機構を組み込んだ上で、ECA と人間が同じの立場から出発して、新たな知識を獲得し、一つのプロダクトを協調的に作成して行く過程を分析する。随伴的発展機構を構成的に開発することで、分析から導かれたインタラクションモデルとの整合性を、モジュールレベルで確認しながらモデル化を進めることを目指した。

(2) インタラクティブな視座の分岐を持つ HAI の分析とモデル化

人間と同様の知識レベルを持つ ECA が、人間とは異なる主体性を示して、一致している視座が異なる方向に分離する過程における、人間の ECA に対する心的スタンスの変化のモデル化を行う。ECA とのインタラクションを通して創造的なものを作成する場面を設定し、同じ common ground を持つ ECA が、異なる視座を提供する状況でのインタラクションを実験的に観察する。特に、複数の生理指標の時間的な構造の分析 (Ohmoto et al., VS-Games2015) を基準にして、協調行動の生成過程、人間の心理状態 (許容度) の変化、を評価した上で、人間に許容される異なる視座の提示・遂行手法の開発を行うことを目指した。

上記の 2 点の課題における、視座の統合における common ground の構築と、視座の分離による主体性の認識を、一体的に進めることによって、ECA の行動・認識モデルを人間側に自発的に作らせ、自らと異なる視座を持つ存在であることを暗黙的に認識させる。

3 . 研究の方法

本研究では、協調的なインタラクション行動が、視座協創を通して相互適応的に形成されることと、その形成過程における発展性をもった随伴的行動表出が志向姿勢を誘発することを利用して、人間に ECA の主体性を認知させる。時間発展的な HAI を分析・モデル化する上で困難なのは、ECA の能力によって人間の行動が変化することである。一方、人間同士のインタラクションでは、往々にして ECA には表現や取得が不可能な方法によって様々な情報を扱っており、これを統制してモデル化することは一般的には難しい。

大本は、ECA を身体動作によって直感的に操作可能な、没入型協調的インタラクション環境 ICIE (図 2、Ohmoto et al., 2012、西田・大本, 2012) の開発を進めており、これを用いることで、実現を目指す ECA と同程度の能力を持ち、ECA が表現や取得が可能な情報に統制したインタラクションを行うことができる Wizard of Oz (Woz) 実験を行う。また、ICIE を制御する環境統合プラットフォーム DEAL はプラグイン方式を採用しており、センサや ECA の行動生成プログラム等を容易に追加・更新できる。そのため、タスクの設定や情報提示の方法、利用するセンサ等に大きな自由度があり、HAI データの収集と ECA の機能実装を効率的に遂行できる。HAI の分析と評価においては、ビデオ分析や質問紙調査、生理指標計測を統合的に利用する。また、先行研究 (Ohmoto et al., VS-Games2015 など) において、複数の生理指標を利用した人間の内部状態推定を提案しており、これを時間発展的な事象の分析に応用する。

意思決定重視要因の動的な推定手法と、時間発展する行動表出による志向姿勢の誘発手法をそれぞれ発展させて、人間の意思決定の過程における変化に随伴する形で、ECA の持つ視座の発展過程を提示することで、人間に ECA の主体性を認知させることを試みる。ある程度の長さを持ったインタラクションを経て、ECA と人間の視座が一致していくことによる認知と、分離することによる認知の両側面の過程を分析し、開発された随伴的発展機構を組み込んだ ECA との HAI を評価する。

4 . 研究成果

本研究では、まず、研究課題 1 「ECA とコンテキストを共有する HAI の分析とモデル化」、および、研究課題 2 「インタラクティブな視座の分岐を持つ HAI の分析とモデル化」の、それぞれについて研究を進め、最終的にこれらの研究課題から得られた知見を統合したインタラクションモデルを持つエージェントとの HAI を分析する手法をとった。「インタラクティブな視座の分岐を持つ HAI 」は、「意見の対立と変化がある HAI 」と言い換えることができる。計画当初において、学校の講義のような設定の実験環境において、人間と ECA が同時に知識を伝達される場面や、伝達された知識をシミュレーションで活用する場面で、HAI を分析することを検討した。しかし、ECA と共に学習する生徒の役割を持つ人間からすると、単純な知識の伝達において ECA が人間と同じ方法で知識を獲得しようとすることに強い違和感を持ち、ECA とインタラクションする動機付けがほとんどなくなることが頻繁に観察された。そのため、本研究の準備段階で示唆されていた、目的志向性を基本とする、高次の認知機能を利用した志向姿勢の誘発のためには、随伴性・一貫性といった、反射的な低次の認知機能を基盤とする、相手がインタラクションできる相手であるという認知と、インタラクション相手の行動モデルと認識モデルの構築を、人間に円滑に行わせることが重要であると考えた。そこで、研究対象とするタスク

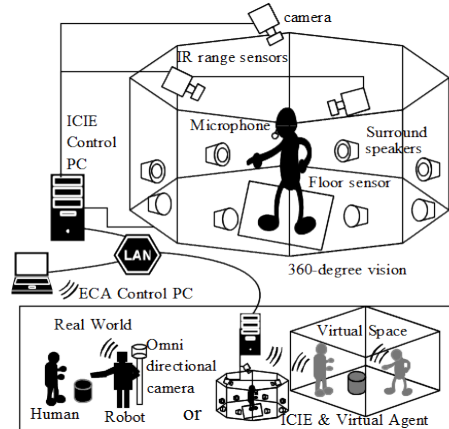


図 2 : ICIE の概要

を、以前の研究で扱った探索的課題解決を含むプロジェクト遂行型のタスクへと変更し、低次の認知機能による観察と行動による他者モデルの推定から、高次の認知機能による志向姿勢の誘発へ発展させる手法を検討することにした。以下では、研究課題1と研究課題2のそれぞれについての成果を説明した後、統合したインタラクションモデルによる研究の成果を説明する。

(1) ECAとコンテキストを共有するHAIの分析とモデル化

本研究課題では、まず、人間同士でもインタラクションの動機付けに利用される「アイスブレイク」の手法を取り入れ、タスクの遂行とは別に、人間がECAをインタラクションできる相手であると認識させるフェーズをもうけることが、人間とECAのインタラクションを促進するかどうかを調べた。実験の結果、特にインタラクションの導入部分において、強制的であっても、インタラクションを行うことが、ECAをインタラクション相手と見なす動機付けに重要であることが確認された。また、こうしたインタラクションにおけるECAの行動生成のために、生理指標から推定される人間の内部状態推定結果を利用することで、人間から見たECAの他者モデル構築を促進できることも示唆された。

さらに、強制的なインタラクションであっても、インタラクションの動機付けに対して高い貢献をすることが示唆されたため、人間同士においてコミュニケーションがうまく行われない事例の一つである「自閉症」の療育手法から手がかりを得て、基本的なインタラクションをアイスブレイクとして人間とECAの間で強制的に行わせる手法を実験的に検討した。その結果、人間側の性質にほとんど依存せずに、作業を通じたアイスブレイクよりも強く、ECAをインタラクション相手と見なすようになった。図3に結果の一部を示す。適切なインタラクション行動を表出するアイスブレイクを行うことで、参加者がECAの要望に素早く応えるようになっていくことが見て取れる。

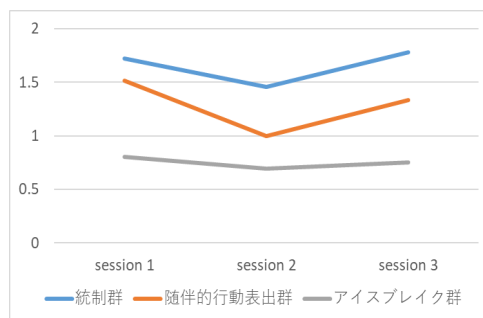


図3：ECAの要望に応えるまでに行った行動の回数（小さい方がよい）

以上において実験的に開発した、ECAとのインタラクションにおける強制的なアイスブレイクとなる導入シーケンスは、自閉症の療育手法の一部にある、「模倣」「逆模倣」「共同注視」を、ECAと人間の間で強制的に行わせるものである。これは、タスク内容には全く依存せず、逆に、タスク内容に合わせて適切な導入シーケンスを作成することが容易である。例えば、我々がこの手法を実装した一例として、実験タスクの内容説明をECAが行う際に、「模倣」「逆模倣」「共同注視」をさせるようにした。このような実装であっても、人間はECAをインタラクションできる相手として見なしやすくなることが示された。これにより、「志向姿勢の誘発」の一部のある程度のレベルで達成できたといえる。

(2) インタラクティブな視座の分岐を持つHAIの分析とモデル化

本研究課題では、まず、人間が心理的な影響を受けたことを確認するための、人間の内部状態推定の手法を開発した。これは、ECAの提示する異なる視座からの意見によって、人間が影響を受けるとき、時系列に沿って起きるイベントによってその影響が異なることが予想され、また、ECA自身が主体的な意見を提示するに当たって、人間の状態をリアルタイムに推定する必要があったためである。人間の行動変化やECAから働きかけたタイミングの前後で、生理指標（心拍変動とSkin Conductance Response: SCR）を計測し、緊張やストレスとして人間の内部状態変化を捉えることを試みた。この手法は、発表した国際会議でBest paper awardに選ばれた。また、この手法を利用して、推定された人間の内部状態をリアルタイムに提示することで、人間の仮想空間での作業の没入感を高めることができた。このことから、ある程度の精度で人間の内部状態が推定できていると考えられる。

上記の内部状態推定の手法を基礎として、人間とECAが協調的に作業を進めるタスクの中で、随伴性・目的志向性を示すECAの振る舞いが、人間がタスク中に暗黙的に行う、ECAの認識モデルと行動モデルの構築に有用であるかどうかを検討した。実験の結果、随伴性・目的志向性の提示の仕方によって、人間がECAをインタラクション相手と認識する持続時間が変化することを確認できた。また、人間の内部状態変化からタスク中の意図を推定し、推定された意図をECAの行動に反映させるといふ、意味レベルの随伴性を実現する循環的意図更新モデルの有用性を同時に確認した。

次に、ECAの認識モデルと行動モデルを人間に円滑に構築させるために、役割の異なる複数のECAとインタラクションさせ、ECA同士のインタラクションの観察から認識モデルを、ECAと人間の直接的なインタラクション行動から行動モデルを、それぞれ構築させるようなイン

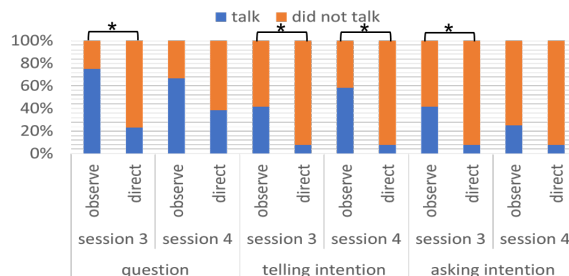


図4：ECAに対して自発的に話しかけた人の割合（* p < 0.05）

タラクションモデルを提案した。検証のため、複数の ECA と人間が、お互いに意見を出し合いながら意思決定を行うタスクを利用した実験を行った。結果として、人間と ECA の間の積極的なインタラクションを促し、ECA からの意見を聞き入れつつも、ECA に対して一定の主張を行うという、創造的な協調に必要な人間の心理状態を、暗黙的に作り出すことができた。結果の一部を図 4 に示す。ECA 同士のインタラクションを観察させた群の参加者は、ECA に対して自発的に話しかける割合が多いことが見て取れる。この結果は、ECA がどのように人間のことをモデル化しているか (i.e., 認識モデル) また、ECA がどのような屈辱で行動しているか (i.e., 行動モデル) の二つが人間に理解されていなくては起きない。そのため、提案した手法は、ECA の認識と行動の他者モデルを構築する上で有用であるといえる。

(3) 統合したインタラクションモデルによる HAI の分析

最終的に、上記二つの研究課題から得られた知見を統合し、タスク遂行の相談相手となる ECA の開発を通して、人間の志向姿勢を誘発・維持することに、本研究で得られた知見が貢献する華道かを検討した。

具体的には、(1) において開発した、自閉症の療育手法を踏まえた導入インタラクションによる志向姿勢の誘発手法を、(2) において志向姿勢の誘発・維持に有効であった、役割の異なる複数の ECA とのインタラクションにおける、観察による ECA の行動モデル推定と自らの行動に対する ECA による認識モデル検証の循環モデルに適用し、持続性の高いものに拡張することを試みた。検証実験として、「ルートや訪問場所を自由に設定できる旅行計画」と「突発的なトラブルも発生するリアルタイム店舗経営ゲーム」の二つの状況を作成し、実験参加者が ECA と協調して課題を遂行する場面を分析した。これにより、ECA に意図を感じる「志向姿勢」の誘発・維持に有効な、随伴的発展機構の実装による視座協創の一例を提案し、志向姿勢の誘発・維持への有効性を検討した。

結果として、(1) の成果である、志向姿勢の誘発を促す導入インタラクションの効果が、(2) の成果である、複数の ECA とのインタラクションによる行動モデル推定と認識モデル検証の循環的な促進によって、30 分から 1 時間程度の比較的長期間の HAI においても持続できることを示した。志向姿勢が維持できるということは、相談相手が助言を行う場面においては、相手の助言が、一般化された「知識」ではなく、相手が実際に行った「経験」として受け入れられるようになった、と言い換えることができる。このことから、当初目的とした、創造的課題や探索的課題において相談や議論の相手となる ECA の開発を、ある程度達成できたと言える。

本研究を通して、新たな課題も発見された。主要な課題としては、今回の研究で焦点を当てた「志向姿勢」が、観察による ECA の行動モデル推定を行っているときと、自らの行動に対する ECA による認識モデル検証を行っているときとで、別々の心的姿勢として保持されていると考えられることが挙げられる。つまり、人間に観察させることによって ECA に対する志向姿勢を誘発しても、実際の行動において ECA に期待する振る舞いが志向姿勢に基づくものになるとは限らない。この点を踏まえて、意思決定プロセスにおける ECA とのインタラクションの時間的構造をデザインすることが今後の課題である。

5 . 主な発表論文等

[雑誌論文](計 1 件)

1. Ohmoto, Y., Matsuda, T. & Nishida, T. "Experimentally Analyzing Relationships between Learner's Statuses in Skill Acquisition Process and Physiological Indices." International Journal on Advances in Life Sciences, Vol. 9, No. 3&4, pp127-136, (2017.12). https://thinkmind.org/download.php?articleid=lifsci_v9_n34_2017_5

[学会発表](計 11 件)

1. Ohmoto, Y., Kumano, S., & Nishida, T. "Induction of an active attitude by short speech reaction time toward interaction for decision-making with multiple agents." In Proceedings of the 24th annual meeting of the intelligent interfaces community and serves as a premier international forum for reporting outstanding research and development on intelligent user interfaces (IUI2019), 2019.
2. Ohmoto, Y., Karasaki, J., & Nishida, T. "Inducing and maintaining the intentional stance by showing interactions between multiple agents." In Proceedings of the 18th International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA2018), 2018.
3. Ohmoto, Y., Takeda, S., & Nishida, T. "Improving Context Understanding Using Avatar's Affective Expressions Reflecting Operator's Mental States." In Proceedings of the 10th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-Games2018), 2018.
4. Ohmoto, Y., Ueno, S., & Nishida, T. "Effect of Virtual Agent's Contingent Responses and Icebreakers Designed based on Interaction Training Techniques on Inducing Intentional Stance." In 2018 IEEE International Conference on Agents (ICA2018), 2018.

5. Ohmoto, Y., Suyama, T. & Nishida, T. “ Extended Method to Alternate the Estimation of Global Purposes and Local Objectives in Multiple Human-Agent Interaction.” The Eleventh International Conference on Advances in Computer-Human Interactions, 2018.
6. Ohmoto, Y., Ueno, S. & Nishida, T. “ Effect of an Agent ’ s Contingent Responses on Maintaining an Intentional Stance.” Proceedings of the Fifth International Conference on Human Agent Interaction (HAI2017), 2017.
7. Ohmoto, Y., Takeda, S. & Nishida, T. “ Effect of Visual Feedback Caused by Changing Mental States of the Avatar based on the Operator ’ s Mental States using Physiological Indices.” In Proceedings of the 17th International Conference on Intelligent Virtual Agents (IVA2017), 2017.
8. Ohmoto, Y., Morimoto, T. & Nishida, T. “ Effects of the Perspectives that Influenced on the Human Mental Stance in the Multiple-to-Multiple Human-Agent Interaction.” 21st International Conference on Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems (KES2017), 2017.
9. Ohmoto, Y., Matsuda, T. & Nishida, T. “ Experimentally Analyzing the Skill Acquisition Model using Task Performance and Physiological Indices.” The Ninth International Conference on Advanced Cognitive Technologies and Applications, 2017.
10. Ohmoto, Y., Suyama, T. & Nishida, T. “ A Method to Alternate the Estimation of Global Purposes and Local Objectives to Induce and Maintain the Intentional Stance.” Proceedings of the Fourth International Conference on Human Agent Interaction (HAI2016), 2016.
11. 武田星児, 大本義正, 西田豊明: アバタの感情提示によるゲーム中の集中度への影響, ヒューマンインターフェースシンポジウム 2016, 2016.

〔図書〕(計 0 件)

〔産業財産権〕

出願状況(計 0 件)

取得状況(計 0 件)

〔その他〕

特になし

6. 研究組織

(1)研究協力者

研究協力者氏名：西田 豊明

ローマ字氏名：NISHIDA, Toyoaki

研究協力者氏名：武田 星児

ローマ字氏名：TAKEDA, Seiji

研究協力者氏名：陶山 昂司

ローマ字氏名：SUYAMA, Takashi

研究協力者氏名：松田 貴大

ローマ字氏名：MATSUDA, Takahiro

研究協力者氏名：植野 峻也

ローマ字氏名：UENO, Shunya

研究協力者氏名：唐崎 準也

ローマ字氏名：KARASAKI, Junya

研究協力者氏名：熊野 颯

ローマ字氏名：KUMANO, So

研究協力者氏名：森元 俊成

ローマ字氏名：MORIMOTO, Toshinari

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。