

令和 6 年 6 月 18 日現在

機関番号：13801

研究種目：基盤研究(C)（一般）

研究期間：2021～2023

課題番号：21K11979

研究課題名（和文）時間発展的な相互他者モデル推定を伴う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 interaction models with temporal-changing mutual estimation

研究代表者

大本 義正（Ohmoto, Yoshimasa）

静岡大学・情報学部・准教授

研究者番号：90511775

交付決定額（研究期間全体）：（直接経費） 4,700,000円

研究成果の概要（和文）：本研究では、協調課題における相互他者モデル推定を伴うインタラクションのモデル化とフレームワークの開発を目的とした。実験によって、推定された他者モデルに基づいて行動を調整することだけでなく、協調的かつ双方向的に他者モデルが発展することを互いに認識することが重要であるという、今まで考慮されて来なかった示唆が得られた。この知見に基づいて、自発的な相互他者モデル推定を続け、それを共有するインタラクションモデルを実装したところ、人間自身の主体的な行動を妨げることなく、エージェントがそれを支援し、タスクを遂行する過程や結果を改善できることが確認された。

研究成果の学術的意義や社会的意義

本研究では、相互に推定している他者モデル自体がインタラクションに影響を与えるということも重要であるが、相互に推定しているということを認識するメタ的な視点を共有することが、相互適応的な共通意識の協創に強い影響を与えることが確認されたことが、重要な知見である。これは、他者モデル推定自体も重要である一方、そのモデルは信頼の文脈で言う「誠実に」再推定されるという認識が、時間発展的な関係構築を行う上で重要な要素であることを示唆している。そのため、今回挙げたような「メタ的な視点構築」をインタラクションモデルに組み込むことができるアーキテクチャの開発が今後の重要な課題として明らかになったといえる。

研究成果の概要（英文）：The purpose of this study was to model human-agent interaction with mutual behavior model estimation in collaborative tasks and to develop the framework. We conducted experiments, and these revealed some implications that it is important not only to coordinate actions based on the estimated other's behavioral models, but also to recognize the collaborative and bidirectional change of the models. Based on this finding, we implemented an interaction model in which agents continue to spontaneously estimate and share the estimated human behavior model. We conducted evaluation experiments using the agents with the model and confirmed that the agents could support and improve the process and results of task performance without interfering with the human's own independent thoughts and actions.

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 他者モデル推定 マルチモーダルインタラクション 信頼

1. 研究開始当初の背景

従来、知的な Embodied Conversational Agent (ECA) と人間との Human-Agent Interaction (HAI) は、必要な場面で一過性のものとして生じると想定されていた。しかし近年、ECA が人間社会で継続的に活動し続けることが現実となりつつある(e.g., 自動運転)。このような中、深層学習などの機械学習手法により、問題空間を効率よく探索して高速に解を発見できるようになってきた。一方、複数の主体が参加する協調的な場面においては、正解や最終目標が必ずしも明確でない課題に取り組むことが期待される。ここでは、問題解決の過程において、参加者が時に対立しながらも、お互いの意思と主体性を尊重して議論や行動をすることが重要である。

目標とするインタラクションを図 1 に示す。この特徴は、時間的な継続を前提とした関係を知的活動に関わる存在の間で構築し、一連の文脈の中でお互いを尊重し合った対立と協調を行う相互適応的な共通意識の協創である。これを人間と ECA の間で実現するには、他者モデルの包括的な解釈としての意思(i.e., 人格)を、ECA が持つと人間が認識することが必要だが(志向姿勢: Dennett, 1989)、加えて、相手の意思が連続して存在し、「過去の関係が未来に引き継がれる」という確信がなくてはならない。こうした認識と確信に基づき「自らの主体的な意思決定の一部を相手に信託し、未来の行動への影響を容許すること」を、ここでは「信頼」と呼ぶことにする。この「信頼」は、人間同士の間にある「信頼」よりも低レベルだが、意見の対立を許容し、互いの意思を尊重して議論や行動を進展させる協調の基盤になる。この信頼を成立させるには、ECA が人間のモデルを考慮して行動すると同時に、人間が ECA のモデルを推測して行動することを促す、相互他者モデル推定を行う必要がある。また、相互の他者モデルは時間的に変化していくことが想定される。しかし、時間的な発展を考慮した相互他者モデル推定の前提条件や実現手法、時間変化に伴う適応、などについて、HAI の場面での知見や検討は十分でない。

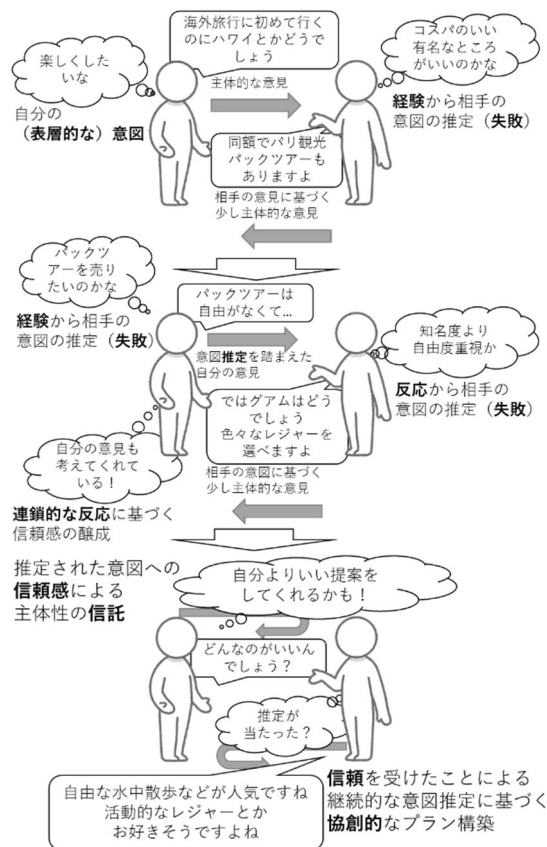


図 1: 目指すインタラクションの例

2. 研究の目的

本研究の最終的な目標は、人間に似ているが決定的に異なる ECA と人間の間で、持続的かつ発展的な関係を作る基盤となる相互他者モデル推定を構築・維持する手法の確立である。そのために、本研究課題では、以下の内容を学術的問いとして検討を進めることを考えた。

- ✓ 問 1: 複数の主体が参加する協調課題において、相互他者モデル推定を伴うインタラクションをどのようにモデル化できるのか?
- ✓ 問 2: 協調課題における HAI において、相互他者モデル推定を伴うインタラクションモデルは、タスクの達成や人間の心理にどのような影響を与えるのか?

上記の背景および学術的問いを踏まえ、本研究課題では以下の 2 点を目的として掲げて研究を遂行することとした。

(1) 目的 1: 協調課題における相互他者モデル推定を伴うインタラクションのモデル化

複数の主体が相互に影響を及ぼしながら解決を図る協調課題において、人間の代わりに ECA を参加させ、ファシリテーションやアイデアの生成補助に利用することは検討されている。しかし、特定の場面で適切な行動を行うことの検討が主であり、時間的に変化する相互の他者モデルを推定するインタラクションのモデル化に関する検討は十分でない。本研究では、人間が裏で ECA を操作していながら、それと感ぜさせない Wizard of OZ (WOZ) の手法を用いて、相互他者モデル推定を伴う協調課題中の HAI において、客観的なマルチモーダル情報と主観的な WOZ 操作者の報告、および、人間の内部状態推定の手がかりとなる生理指標の 3 つのデータを計測する。そして、それらのデータに基づいて、相互他者モデル推定を行うための、時間的な発展を考慮したインタラクションのモデル化を検討する。

(2) 目的2：相互他者モデル推定フレームワークの開発と協調課題への影響の検討

他者モデルの推定 (i.e., 人間の内部状態推定) に関しては, これまでも様々な研究が行われており, 一定の成果を上げている. 一方, 人間の内部状態の変化を時系列に沿って捉えることは容易ではないため, 時間発展を伴う他者モデルの推定は難しい. 本研究では, 実験から得られたインタラクションのモデルに基づいて, 人間の内的状態と外的表出の因果関係が変化することを手がかりに人間の内部状態の変化を推定し, 相互の他者モデルの変化を推定するフレームワークを開発する. その上で, 人間とECA 間の関係がインタラクションを通じて構築される過程を踏まえた相互他者モデル推定によって, 動機付け, アイディア生成, 視点の拡張と転換, といった, 協調課題において重要と考えられる要素への影響を検討する.

3. 研究の方法

本研究では, 人間とWOZ 操作されたECA の行動分析の知見を, 自律的なECA へ実装して効果を検証する構成論的なアプローチによって, 相互他者モデル推定のフレームワークを検討する. 基本的には, 大本がこれまでに検討してきた, タスクの遂行状況や人間側の変化によってECA の行動と目的を動的に更新する, 循環的意図更新モデル (Ohmoto et al., IUI2019, 等) を相互他者モデル推定の基礎とする. 目標とする「人間とECA の相互他者モデル推定」のフレームワークを図2 に示す. ECA は人間と自分のモデルをそれぞれ持ち, それぞれのモデルから意図と行動のセットを生成 (推測) して, 他者と自分の, 局所的な行動提示と, 大域的な行動指針を, 統合的に推測・決定・変更する. これにより, 人間が行った行動の意図を推測したり, ECA が行う行動にどのような反応が返ってくるのかを推測したりする. インタラクション中に観察される行動指標だけではなく, 人間の内部状態の変化を間接的に表現する生理指標を併用して評価する.

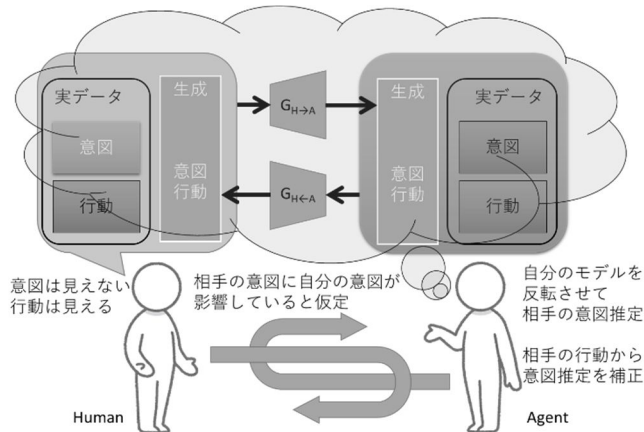


図2: 目標とする相互他者モデル推定の枠組み

それぞれのモデルから意図と行動のセットを生成 (推測) して, 他者と自分の, 局所的な行動提示と, 大域的な行動指針を, 統合的に推測・決定・変更する. これにより, 人間が行った行動の意図を推測したり, ECA が行う行動にどのような反応が返ってくるのかを推測したりする. インタラクション中に観察される行動指標だけではなく, 人間の内部状態の変化を間接的に表現する生理指標を併用して評価する.

研究代表者が開発している, ECA と直感的なインタラクションが低負荷で可能な, 没入型環境 ICIE (Immersive Collaborative Interaction Environment; Ohmoto et al., 2013) を用いることで, より現実に即した認知環境を構築した上で, 自然な身体動作を行うことができる実験が可能である. また, ICIE を制御する環境 DEAL (Distributed Elemental Application Linker) はプラグイン方式を採用しており, センサや各種の制御, 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方法, 利用するセンサ等に自由度があり, 異なる実験設定において深められた知見を, 効率的に統合することができる. こうした環境をECA の行動を制御する研究に応用することで効率的に研究を遂行する.

実験課題としては, 以前の研究 (Ohmoto et al., IVA2018; Ohmoto et al., IUI2019, 等) でも利用した, 局所的な目標と大域的な目標を包含しているゲーム環境での意見調整タスクを実施することとした. 例えば, 旅行のプランニングタスク, 等において, 重要な決定の権限や知識 (旅行なら, 順路・宿泊場所・滞在場所などの決定権限や知識) を参加者に分散させ, 相互に他者モデルを推定しなければ円滑に決定が進まない場面を設定した. 課題では, 参加者それぞれが主体的に行動しつつ, それぞれの行動指針 (他者モデル) を推定し, それを踏まえた意思決定を行った.

これらの課題で得られたデータを分析することで, 相互他者モデル推定の変化を捉える手がかりを検討した. その知見を基礎として, 相互他者モデル推定のフレームワークを検討した. 相互他者モデル推定を精度よく行うことは難しいと考えられるため, モデルの変化のみを推定して, タスクの文脈から推定している他者モデルを修正するフレームワークを目指した. 観測可能なデータから, ECA と人間の行動モデルの相互変換の手がかりを見つけ, 相手の行動モデルと自分の行動モデルを相互に変換することで, 特定の入力に対する人間行動の予測や, 相互変換されるECA の行動モデルに基づいた, 人間から見たECA の行動モデルの推定状況の推測, といった応用の可能性を探った. 枠組みとして Cycle-GAN の考え方を採用しつつ, 人間がトップダウンでデザインしたモデルとデータから学習できる部分を組み合わせ, これまでの循環的意図更新モデルを発展させることを目指した.

4. 研究成果

本研究では, まず, 目的1「協調課題における相互他者モデル推定を伴うインタラクションのモデル化」に関する実験および分析を中心に実施し, 目的2「相互他者モデル推定フレームワークの開発とそれによる支援の検討」の為の基盤整備を並行して行った. この予備検討の段階にお

いて、人間と ECA の両者のインタラクション行動が他者の行動モデル推定に大きな影響を与え、インタラクション中にモデル自体がドラスティックに変化する事例が観察されたため、目的 1 「協調課題における相互他者モデル推定を伴うインタラクションのモデル化」に関して、インタラクション行動が他者の行動モデルを変化させる要因を調べるための実験および分析を追加的に行った。この実験によって、推定された他者モデルに基づいて ECA の行動を調整することだけでなく、協調的かつ双方向的に他者モデルが発展することを認識することが重要であるという示唆が得られた。この知見に基づいて、自発的な相互他者モデル推定を続け、そのことを共有するインタラクションモデルを実装して、その影響を調べる実験を行った。このモデルでは、客観的自己認識の枠組みを組み込むことで、ECA が他者から見た自分のモデルを推定し、自らの自発的な欲求達成と他者からの評価の両方を踏まえた行動調整を行って、それを他者に示すようになっていた。この枠組みにより、ECA によるアドバイスや注意誘導に一定の認知的な負荷を高めるように誘導しつつ、人間自身の主体的な学習への取り組みや解釈を妨げず、タスクの成功率を有意に改善することができることが確認された。

本研究では、目的 1 を遂行する中で、相互に推定している他者モデル自体がインタラクションに影響を与えるということも重要であるが、相互に推定しているということ認識するメタ的な視点を共有することが、背景で問題とした相互適応的な共通意識の協創に強い影響を与えることも重要な要素として確認されたことが最も重要な知見である。これは、他者モデル推定の精度自体も重要である一方、そのモデルは「誠実に」、つまり、信頼の文脈で言い換えると「Integrity を持って」再推定されるという認識が、時間発展的な関係構築を行う上で無視できない要素であることを示唆している。背景で「相手の意思が連続して存在し、過去の関係が未来に引き継がれるという確信がなくてはならない」と指摘したが、この確信を支える 1 つの重要な側面であると考えられるため、今回挙げたような「メタ的な視点構築」をインタラクションモデルに組み込むことができる ECA のアーキテクチャの開発が今後の重要な課題として明らかになったといえる。以下には、それぞれの目的に関連する主要な研究成果を挙げる。

(1) 目的 1：協調課題における相互他者モデル推定を伴うインタラクションのモデル化

同調認知による没入的体験効果の向上

本研究では、体験者と操作アバターとの間で、動きと内部状態の随伴的反映とフィードバックが繰り返されることによって生じる、体験者の操作アバターに対する同一視的認知を同調認知として、それを実現する手法を提案した。人間と仮想空間中の登場人物との文脈が異なる場面における没入的体験の効果を、人間・アバター・ゲーム環境の 3 者が統合的に同調していることを認知させることで、向上させることを目指した(図 3)。検証実験において、仮想空間において現実世界の操作者と操作するアバターとの文脈が異なる、ストーリー性をもったシミュレーションにおいて、操作アバターに対する操作者の同調認知の誘発を試みた。生理指標の値、インタラクションの行動指標、実験から得られた個人特性を複合的に分析したところ、操作アバターに対する同一視が誘発され、ECA とのインタラクションへの没入感が向上した可能性が示唆された。

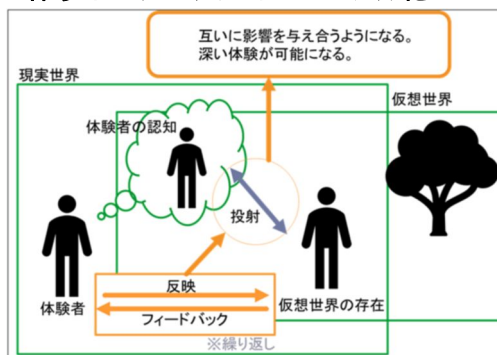


図 3：同調認知による体験への影響

注意の焦点の誘導と継続的な情報提示による相互他者モデル構築の誘導

既存の ECA の多くはタスク試行で設計されているため、タスク間のつながりや記憶・行動モデルの一貫性が保たれにくい。本研究では、上述の同調認知の考え方を踏まえて、継続的なインタラクションを通じた注意の焦点の誘導によって、エージェントが望む印象や行動モデルを人間に取得させ、タスク間のつながりや記憶・行動モデルの一貫性を持った社会関係構築の心理的な基盤を作ることを目指した(図 4)。実験の結果、人間の注意の焦点を誘導することと、人間の生理的反応に合わせてインタラクションを行うことを共起させることで、一般的に解釈可能な範囲で人間の情動を喚起することができることを示唆した。また、注意の焦点の誘導を伴うアイドリング行動をエージェントに実装したところ、エージェントの社会的存在感が高まり、信頼感も同時に向上することが示唆された。この結果は、人間の注意と与える刺激およびフィードバックのタイミングによって、ECA や状況判断に対する解釈が容易に誤帰属することを示しており、相互他者モデル推定において、このような誤帰属をどのように扱うかを検討する必要性が示唆されたと考えられる。

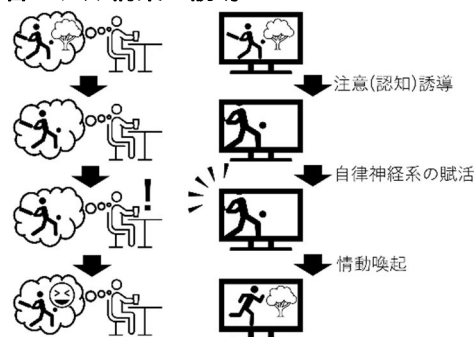


図 4：注意の焦点の誘導による

情動喚起過程

情動喚起過程

継続的インタラクションによる主観的体験と提供情報の統合支援

人間と ECA が疎なタイミングで協調的な活動を行う場面として自動運転やナビゲーションの場面を題材に取り上げ、継続的なインタラクションを通じた情報提示や会話を実施することで、人間の自然な注意の誘導や、概念的に与えられる位置情報や危険情報について、当事者意識を持った理解を促進することを試みた(図5)。歩行者によるナビゲーションと自動運転のシミュレーションによる実験を実施したところ、主観的な体験とエージェントから概念的に与えられる情報の統合を助けることが可能であることがわかった。それによって、空間配置の記憶や精神的負荷の軽減にポジティブな影響があった。また、統合された情報に基づいた意思決定が協調的であると認識させることで、ECA と人間の連帯感を向上させ、一定の当事者意識を持たせられることが示唆された。

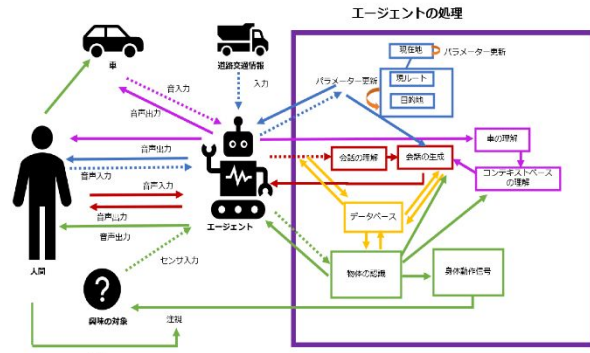


図5：継続的インタラクションによる情報提示を通じた注意誘導のためのエージェント

(2) 目的2：相互他者モデル推定フレームワークの開発と協調課題への影響の検討

社会感情的意図の交互推定を用いた協調問題解決への積極性誘発

本研究では、人の社会感情的な意図を推定しそれを基にエージェントの行動を生成することで、話しやすく信頼のある関係性を構築することを目指した。認知的行動および社会感情的行動の統合の枠組みとして、能力や感情への信頼のベースである Integrity を当てはめた。研究目標に対するアプローチとして、協調エージェントの認知的行動に加え社会感情的行動についても時間的な一貫性を保つことで Integrity を促進させた上で、ユーザに対して適応的な行動を出力するモデルを提案した(図6)。協調エージェントの社会感情的意図を固定したモデルと比較する実験を行った結果、参加者の Integrity、および Benevolence において有意に提案モデルの方が高い評価を得た。提案モデルにより Integrity が促進され、Integrity をベースとして協調エージェントの能力面や感情面に対する信頼が底上げされたことが示唆された。

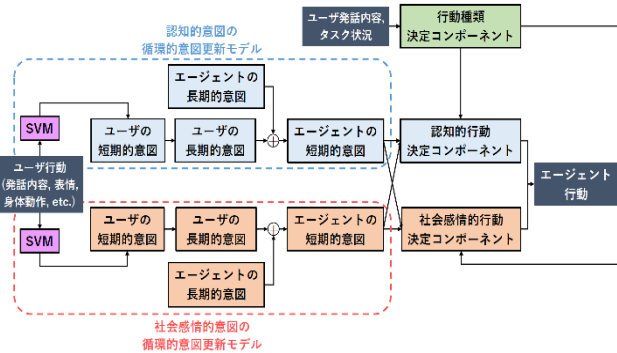


図6：意図推定および行動決定の提案モデル

客観的自己認識に基づく相互他者モデル構築アーキテクチャの検討

人間は自分自身を他者の目から見た視点を意識する傾向を持つとされており、こうした客観的な自己認識は他者を理解して行動する上で重要な要素となっている。このようなメタ的な視点である「客観的自己認識」を持ち、これに基づいて行動モデルを調整するモデルを提案した。これにより ECA は、他者から見た自分のモデルを推定し、そのモデルを自分の欲求達成と他者からの評価の両方を踏まえた調整を行うことを目指した。図7

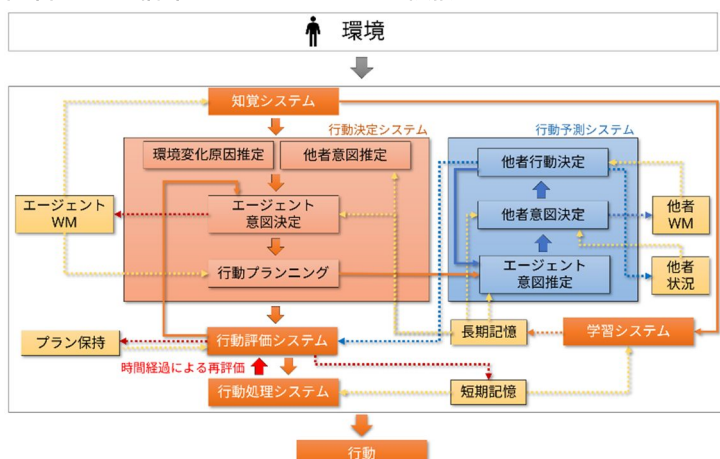


図7：客観的自己認識を含む行動モデル調整アーキテクチャ

に示したアーキテクチャを Unity3D で作られた仮想エージェントに実装し、自律的に動く ECA と人間とのインタラクションを実施した。その結果、ECA が自分なりに考えて行動していることが伝わり、ECA の持つ人間の行動モデルが正確でないとしても、一定の Integrity を保持した状態でインタラクションを継続する関係を構築できる可能性を示唆した。今後は、より自由度の高い場面におけるインタラクションを実施し、提案アーキテクチャの有用性を検討する。

5. 主な発表論文等

〔雑誌論文〕 計1件（うち査読付論文 1件 / うち国際共著 0件 / うちオープンアクセス 1件）

1. 著者名 Yoshimasa Ohmoto, Hanako Sonobe, Toyoaki Nishida	4. 巻 14/1&2
2. 論文標題 Analysis of Short-term and Long-term Effects on Mental State of Suggestions Given by an Agent using Impasse Estimation	5. 発行年 2021年
3. 雑誌名 International Journal on Advances in Intelligent Systems	6. 最初と最後の頁 36-45
掲載論文のDOI（デジタルオブジェクト識別子） なし	査読の有無 有
オープンアクセス オープンアクセスとしている（また、その予定である）	国際共著 -

〔学会発表〕 計16件（うち招待講演 0件 / うち国際学会 5件）

1. 発表者名 板倉菜々香・大本義正.
2. 発表標題 自動運転におけるエージェントからの問題空間の提示を通じた責任感の向上.
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中澤悠・大本義正.
2. 発表標題 自律神経系の賦活を促す演出による物語理解の向上.
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 郷田怜花・大本義正.
2. 発表標題 属性一致を行った仲介エージェントによる能動的行動の促進.
3. 学会等名 電子情報通信学会技術研究報告
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 大本義正・吉川尚典.
2. 発表標題 緊張感の動的調整によるタスクエンゲージメントの向上.
3. 学会等名 人工知能学会全国大会
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ohmoto, Y., & Kino, T.
2. 発表標題 Improvement of Proactive Attitude by Alternating Enhancement of a Sense of Acceptance and Control.
3. 学会等名 IEEE International Conference on Agents (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 Ohmoto Y., & Nakaaki H.
2. 発表標題 Improving the Engagement of Participants by Interacting with Agents who Are Persuaded During Decision-Making.
3. 学会等名 ICAART2023 (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshimasa Ohmoto, Mineya Kaseda, Toyoaki Nishida
2. 発表標題 Improvement of User's Attitude toward Decision-Making Task by Multimodal Implicit Expressions of Agent's Subjective Attitude
3. 学会等名 The 20th IEEE/WIC/ACM International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (国際学会)
4. 発表年 2021年

1. 発表者名 Yoshimasa Ohmoto, Junya Karasaki, Toyoaki Nishida
2. 発表標題 Supporting the Adaptation of Agents' Behavioral Models in Changing Situations by Presentation of Continuity of the Agent's Behavior Model
3. 学会等名 14th International Conference on Agents and Artificial Intelligence (国際学会)
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 中澤 悠, 大本 義正
2. 発表標題 仮想空間での体験向上のためのアバターの動作補正が与える影響についての検討
3. 学会等名 HAIシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 郷田 怜花, 大本 義正
2. 発表標題 インタラクション中におけるエージェントとの属性一致の認識が与える影響の検討
3. 学会等名 HAIシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 板倉 菜々香, 大本 義正
2. 発表標題 自動運転における意思決定場面で積極的介入を行うエージェントの検討
3. 学会等名 HAIシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井 康智, 大本 義正
2. 発表標題 情報の収集と共有を欲求とするインタラクションエージェントの提案
3. 学会等名 HAIシンポジウム2022
4. 発表年 2022年

1. 発表者名 今井 康智, 大本 義正
2. 発表標題 社会的存在感の表現により信頼感を獲得するインタラクションエージェントの提案
3. 学会等名 日本認知科学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 山本博暉, 大本義正
2. 発表標題 逐次的情報提示による主観的体験と集積情報の円滑な統合
3. 学会等名 日本認知科学会全国大会
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 Yoshimasa Ohmoto, Nina Makino
2. 発表標題 Guiding Attention Distribution Using Dynamic Participation in Multiagent Conversations.
3. 学会等名 2023 IEEE International Conference on Web Intelligence and Intelligent Agent Technology (WI-IAT) (国際学会)
4. 発表年 2023年

1. 発表者名 今井 康智, 大本 義正
2. 発表標題 客観的自己認識の相互構築を促進するエージェントアーキテクチャの提案と実装
3. 学会等名 HAIシンポジウム2023
4. 発表年 2024年

〔図書〕 計0件

〔産業財産権〕

〔その他〕

-

6. 研究組織

氏名 (ローマ字氏名) (研究者番号)	所属研究機関・部局・職 (機関番号)	備考

7. 科研費を使用して開催した国際研究集会

〔国際研究集会〕 計0件

8. 本研究に関連して実施した国際共同研究の実施状況

共同研究相手国	相手方研究機関