

科学研究費助成事業 研究成果報告書

平成 29 年 6 月 14 日現在

機関番号：94301

研究種目：若手研究(B)

研究期間：2015～2016

課題番号：15K16075

研究課題名(和文)人から適切な情報量の指示行動を引き込む指示物体認識ロボットシステムの実現

研究課題名(英文)Improving object reference recognition through human-robot alignment

研究代表者

飯尾 尊優 (Iio, Takamasa)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・知能ロボティクス研究所・連携研究員

研究者番号：70642958

交付決定額(研究期間全体)：(直接経費) 3,000,000円

研究成果の概要(和文)：本研究では、人が物体を指示する際、物体特定のための情報量が不足した指示行動を行うことがあり、それが指示物体認識精度を低下させるという問題に対し、指示物体認識精度を向上するための研究を行った。人-ロボット間の引き込み現象の知見から、ロボットの確認行動によって人から適切な情報量の指示行動を暗黙的に引き込む手法を構築し、実際に指示物体認識精度が向上することを示した。

研究成果の概要(英文)：When referring to an object, a person sometimes use a reference with insufficient information for specifying the object. Such ambiguous references decrease a performance of object reference recognition. In this research, I developed an algorithm of robot's confirmation behaviors to entrain humans to use enough information in their references based on human-robot alignment, which is a phenomenon that human behaviors are elicited to robot behavior, and implemented the algorithm into the object reference recognition system. Through an experiment, the proposed algorithm made the performance of object reference recognition better than basic one.

研究分野：知能ロボティクス

キーワード：知能ロボティクス ヒューマンロボットインタラクション

1. 研究開始当初の背景

ロボットによる指示物体認識(図1)では、指示発話の情報量不足による指示物体の誤認識率の増大という問題がある。この問題に対し申請者は、人とロボットの間に生じる引き込み現象を利用して指示物体認識の誤認識率を低減させる研究を進めてきた。引き込み現象とは、対話において人が相手の発話や動作を自然に模倣しようとする傾向のことをいう[1]。申請者は、ロボットが確認行動で使用した言葉を人は次の指示行動で使用しやすくなる、引き込み現象が生じることを明らかにした[2]。さらに指示された物体に対し情報量のある確認発話を行うロボットシステムを開発し、ロボットの確認発話によって人が情報量のある指示発話に引き込まれ、自然な対話の中で指示物体の誤認識率を低減させられることを示した[3]。

一方で、引き込み現象について、「相手の行動に合わせる」という単純な原理では適切な情報量を引き出せないケースがあることが分かってきた。予備的な研究から、ロボットの確認発話の情報量が冗長であるとき、人の指示発話の情報量が不足する傾向や、人は指さしをするとき、指示発話の情報量を減少させる傾向があることなどが分かってきた。これらの知見は、単純にロボットが常に指差しを伴って情報量の多い発話をすればよいわけではないことを示している。

これらの予備的な知見から、申請者は「引き込み現象の新たな知見に基づいてロボットの確認行動をすれば、人から適切な情報量の指示行動を引きだし、自然な対話の中で指示物体認識の誤認識を低減させられるのではないか?」という着想に至った。

2. 研究の目的

本研究の目的は「ロボットが情報量を考慮した確認行動を行い、人から適切な情報量の指示行動を引き込むことで、情報量の不足にロバストな指示物体認識システムを実現すること」である。この目的を達成するために、以下の2つの研究課題に取り組んだ。

- **研究課題1**：指示物体認識システムの開発と認識精度の検証
- **研究課題2**：暗黙的な引き込みと明示的な発話依頼の比較検討

研究課題1について、指示物体認識システムは、指示物体認識部と確認行動生成部で構成される。指示物体認識部では、指差しと顔向きと発話内容の認識結果を統合し確率的に尤もらしい指示対象を推定する指示物体



図1. 人とロボットの物体指示対話

推定技術を開発し、確認行動生成部では、引き込み現象の知見に基づき、人から適切な情報量の指示行動を自然に引き出すためのロボットの確認行動生成アルゴリズムを開発する。最終的にこれらを統合した指示物体認識システムを開発し、その効果を検証する。

研究課題2について、人の指示行動の曖昧さの低減による指示物体認識精度の向上には2種類のアプローチがある。1つは本研究で提案している引き込み現象を利用した暗黙的なアプローチ(暗黙的な引き込み)、もう1つは直接人に特定の属性を用いた発話を依頼する明示的なアプローチ(明示的な発話依頼)である。これまで申請者らは、暗黙的な引き込みの方が明示的な発話依頼よりも人に好まれると仮定していたが、実際どちらが望ましいのかは明らかではなかった。そこで、研究課題1で開発された指示物体認識システムを用いて、暗黙的な引き込みを行う場合と、明示的な発話依頼を行う場合で、指示物体の認識精度やロボットに対する印象がどのように変化するか検証する。

3. 研究の方法

研究課題1：指示物体認識システムの開発と認識精度の検証

指示物体認識システム(図2)に関し、指示物体認識部と確認発話生成部をそれぞれ説明し、認識精度の検証方法について述べる。

○ 指示物体候補を推定する技術

指示物体認識部は、音声認識モジュール、指差し認識モジュール、顔向き認識モジュール、そしてこれらのモジュールからの情報を統合する統合モジュールから構成される。

音声認識モジュールでは、指示発話の音声認識結果の文字列に含まれる物体の属性を、物体情報データベースに格納されている物体の属性集合とパターンマッチさせ、共通する属性の個数をもとに各物体の指示尤度を計算する。指差し認識モジュールは、深度センサから得られる人間の頭、手、指先、膝の3次元位置と、あらかじめ登録された物体の位置情報から、顔位置と指先位置を結ぶ直線を指差し方向として、その直線と人から物体まで直線の作る角度に基づいて指示尤度を計算する。顔向き認識モジュールは、深度センサから得られる人の顔の向きと物体情報データベースから得られる物体位置情報から指示尤度を計算する。認識区間は指差し認識と同じとした。顔向き認識では、床面に平行な平面における、顔向きベクトルと頭から

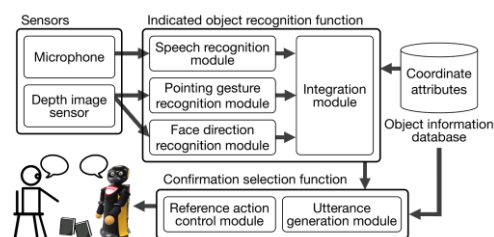


図2. 指示物体認識システムの構成

物体までを結ぶベクトルのなす角が 110 度より小さかった場合、人はその物体に顔を向けていると見なし、指差し認識と同様の手法で指示尤度を計算した。最終的に、音声・指差し・顔向き認識に基づく各指示尤度の和で、指示物体が計算された。

○ 適切な情報量の確認行動を生成する技術

指示物体認識の性能向上に望ましい人の指示行動とは、「指示物体の識別に利用可能な情報を多く含む発話で、指差しを伴った指示行動（冗長性のある指示行動）」といえる。人から冗長性のある指示行動を引き出すための方策と理由を、以下のようにまとめた。

発話の同調

- 人の発話はロボットの発話に同調する傾向がある。そのため、ロボットが物体の識別に利用可能な語句を含む発話をするので、人がそれと同じ、もしくはそれに近い表現を利用した発話をする事が期待できる。

身体動作の同調

- 人の身体動作はロボットの身体動作に同調して増加する傾向がある。そのため、ロボットが指差し動作を行うことで、人も指差し動作をより行うようになることが期待できる。

同調の抑制

- ロボットの多くの語句を含む発話により、人の発話に含まれる語句が減少する傾向がある。そのため、ロボットは物体の識別に利用可能な語句を含む発話をするべきであるが、多くの語句を利用した発話は避けるべきである。
- 人がロボットに同調して指差しすると、それに伴う発話に含まれる語句数が減少する傾向がある。そのため、ロボットは物体を特定するのに指差しが役立たない状況では、指差しの利用を避けるべきである。

以上の考察をまとめると、物体を識別するのに利用可能な情報を含むロボットの発話に人の指示発話を同調させ、かつ、同調の抑制を考慮するためには、「ロボットは指示物体の識別に必要な最小な情報のみで構成される発話を行い、指しはそれが指示物体の識別に役立つ場合にのみ利用することが望ましい」となる。

この方策に基づき、指示物体の識別に必要な最小の情報を用いたロボットの確認行動、すなわち、指差し動作の有無と発話に利用する指示物体の属性を決定するアルゴリズムを開発した。

○ 指示物体認識精度の検証

提案したロボットの発話と身体動作の両方を考慮した確認行動が指示物体認識の性能向上に寄与できるかどうかを明らかにするための実験を行った。

【仮説】人から冗長性のある指示行動を引き出すための方策に関する考察に基づき、以下の仮説をたてた。

ロボットが、指示物体の識別に役立つすべての情報を利用した確認行動を行う場合よりも、指示物体の識別に必要な最小の情報を利用した確認行動を行う場合に、指示物体認識の性能が向上する。

【実験計画】仮説を検証するため、ロボットの確認行動を操作した。指示対象となる物体の配置によって指示物体の認識性能が変化する可能性を考慮して、実験環境中の物体配置も操作した。本実験における要因と水準は以下の通りで、被験者内比較を行う。

- 確認行動要因
 - 最小属性確認水準 (Proposed)
 - 全属性確認水準 (Alternative)
- 物体配置要因
 - ばらばら配置水準 (Sparse set)
 - 2つの集団配置水準 (Two groups)
 - 1つの集団配置水準 (Congestion)

確認行動要因：被験者内要因であり、最小属性確認水準 (Proposed) と全属性確認水準 (Alternative) の 2 つの水準からなる。Proposed では、ロボットは提案手法に基づき指示物体の識別に必要な最小の情報を用いた確認行動を行う。Alternative では、ロボットは指示物体がもつすべての属性を発話で利用し、常に指差しを行う。ロボットの発話は、「[指示語] [図形] [文字] [色] の [物体名] ですか?」という形式で、必要のない属性部分の発話は省略された。例えば、ロボットは「その丸い赤色の本ですか?」や「その三角形と B の青い本ですか?」と発話した。

物体配置要因：物体配置要因は被験者内要因であり、ばらばら配置水準 (Sparse set) と 2 つの集団配置水準 (Two groups)、1 つの集団配置水準 (Congestion) の 3 つの水準からなる。この要因は、物体配置が指示物体認識の性能に影響を与える可能性を考慮して用意された。

【実験環境】実験環境を図 3 に示す。物体はロボットと実験参加者の間にある約 1.5m × 3.3m のエリアに配置された。これらの物体は実験参加者から約 0.6-2.6m 離れた位置に配置された。実験における指示対象物体として、21cm × 27.5 cm の本を用いた。これらの本は、

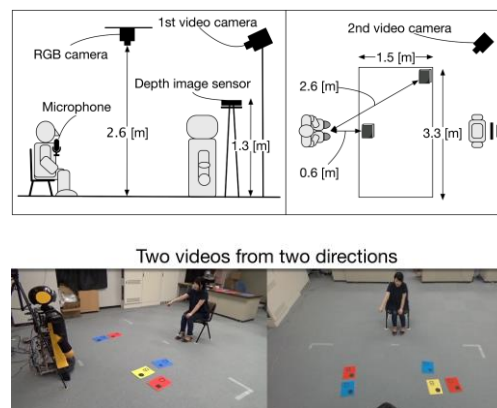


図 3. 実験環境

それぞれ異なる色と図形と文字の組み合わせが印刷された紙で包まれている。この色と図形と文字が本実験で物体の属性である。色は赤・青・黄の3種類、図形は丸・三角・四角の3種類、文字はB・Qの2種類であった。本は属性のすべての組み合わせを網羅するように18種類用意された。

【手順】実験参加者には「今日対話するロボットは、人の発話と指さしと顔向きを認識できるように設定してあります。普段人に対してモノを指示するように指示してください」と教示した。教示の後、実験参加者は18種類の本の中から自由に5冊の本を選び、実験者が指示した配置水準に従いその本を配置した。その後、実験参加者は物体指示対話を10回行った。なお実験参加者の返答（ロボットに確認された本の正誤）に関係なく対話は継続する。10回の物体指示対話を1セッションとし、実験参加者は各配置に対してセッションを繰り返した。

【評価項目】本実験では指示物体認識の成功率を評価項目として測定した。ロボットが確認した本が正しかった場合を認識成功とし、各条件における成功率を計測した。

【実験参加者】本実験には女性12名（平均年齢25.4歳）、男性12名（平均年齢21.2歳）の合計24名が参加した。

研究課題2：指示物体認識における暗黙的な引き込みと明示的な発話依頼の比較検討

開発された指示物体認識システムを用いて、暗黙的に物体指示方法を引き込む場合と、明示的に物体指示方法を依頼する場合で、認識精度や対話の印象が変化するか検討する。

○ 二種類の対話戦略：暗黙的な引き込みと明示的な発話依頼

暗黙的な引き込みでは、研究課題1で構築した確認行動生成アルゴリズムに従い、ロボットは環境中の物体から指示対象を識別可能な最小限の語句を利用して物体を確認する。暗黙的な引き込みは引き込み現象の知見を利用した手法であり、人から指示物体の識別に利用可能な語句を引き込むことで認識性能が向上することが期待される。

一方、明示的な発話依頼では、ロボットは自分が認識できる物体の属性と物体の指示の仕方を教える。そして、明示的に物体を一意に特定するために必要なすべての情報を発話に含めるように依頼する。人がロボットに指定された情報を使わなかった場合、ロボットは、再度すべての情報を使用するように人に促す。これにより、人が指示物体の識別に利用可能な語句を使うようになり認識性能が向上することが期待される。

○ 対話戦略の比較検討

【仮説】暗黙的な引き込みと明示的な発話依頼に関して、人はどちらを好むかということについて、以下の2つの仮説をたてた。

- 仮説1：暗黙的な引き込みによる対話は、明示的な発話依頼による対話よりも、対

話の負担が少なく、面倒に感じにくく、自然に感じる。

- 仮説2：明示的な発話依頼による対話は、暗黙的な引き込みによる対話よりも、指示物体認識精度が向上する。

仮説1では、明示的な発話依頼による対話では、発話の仕方をロボットから指示されることについて、人が違和感を覚える可能性を考えている。また冗長な情報量を持つ発話を要求されることについて、負担や面倒さを覚える可能性がある。

仮説2では、明示的な発話依頼による対話では、暗黙的な引き込みよりも確実に物体を特定する情報が発話されると考えられるため、指示物体認識精度が向上すると考えた。

【実験計画】仮説を検証するために、暗黙条件と明示条件の2条件の被験者内比較を行う。

暗黙条件ではロボットは対話戦略として暗黙的な引き込みを利用する。確認行動の際には、研究課題1の確認行動生成アルゴリズムに基づき、指示対象を一意に識別可能な最小限の語句を利用して物体を確認した。例えば、「その赤色と丸の本ですか?」、「その青色の本ですか?」などと発話した。

明示条件ではロボットは対話戦略として明示的な発話依頼を利用する。本条件では、ロボットは被験者に対して明示的に指示する物体を一意に特定するのに必要な情報量を発話に含むように依頼した。また発話に加えて物体への指さしを行うようにも依頼した。被験者の発話に対する音声認識を行った際利用されていない情報があった場合には、被験者に対して再度その情報を含むように依頼した。例えばロボットは指示依頼として、「本の色と記号と文字を利用した指示をしてください。指さしを指示に利用してください」と発話した。また明示条件ではロボットは確認行動の際には、物体の全ての属性を利用した発話を行った。例えばロボットは「その赤色と丸のQの本ですか?」と発話した。

【実験環境・手順】本実験は、研究課題1の評価実験と同じ実験環境で行われた。すなわち、1.5m×3.3mのエリアの長辺にロボットを設置し、被験者がそのエリアをはさみロボットの正面に座る状況で行った。指示対象として、それぞれ異なる色・記号・文字が記載された、18種類の本が用意された。実験では、被験者はこれら18種類の本の中から5つの本を自由に選択し、環境内の自由な場所にまとめて配置した。実験の手順は、研究課題1の評価実験の手順と同様であった。ただし、この実験では2条件なので、対話は2セッションだけ行われた。

【評価項目】実験参加者がロボットとの対話に抱く印象を調査するため、以下の項目をアンケートで評価した。アンケートは7段階で評価された。

1. 対話を負担に感じた (load feeling)
2. 対話を面倒に感じた (troublesome feeling)
3. 対話は自然だった (natural feeling)

【実験参加者】女性 10 名、男性 10 名の合計 20 名が参加した（平均年齢 35.5 歳）。

4. 研究成果

研究課題 1：指示物体認識システムの開発と効果の検証

○仮説の検証

各条件での指示物体認識の成功率を図 4 に示す。認識成功率に関する主効果と交互作用を検証するために、2 要因分散分析を行った。分散分析の結果、確認行動要因に有意な主効果が認められた ($F(1, 23)=4.916, p=.037, \text{partial } \eta^2=.176$)。この結果から、最小属性確認水準における認識成功率は、全属性確認水準における認識成功率よりも高く、その差は有意であることが示された。すなわち仮説が支持された。なお物体配置要因に有意な主効果は認められなかった ($F(2, 46)=2.245, p=.117, \text{partial } \eta^2=.089$)。また確認行動要因と物体配置要因の間に有意な交互作用は認められなかった ($F(2, 46)=2.659, p=.081, \text{partial } \eta^2=.104$)。

○先行研究との比較

発話のみを考慮した例として過去に飯尾らが行った先行研究[3]に注目し、指示物体認識の成功率と人の指示行動の冗長性の観点から本研究との比較を行った。飯尾らの研究における指示物体認識の成功率を、表 1 に示す。飯尾らの提案手法と本研究における提案手法を提案手法要因とし、指示物体認識の成功率に関して 2 要因混合分析を行った。ただし飯尾らの実験では物体配置条件が本研究の「2 つの集合配置」とは異なり「2 つもしくは 3 つの集合配置」であったため、この比較では省略した。すなわち、物体配置条件は、ばらばら配置水準と 1 つの集合配置水準の 2 水準として分析を行った。分散分析の結果、提案手法要因に有意な主効果は認められなかったものの、有意傾向に近い値が確認された ($F(1, 34)=2.623, p=.115, \text{partial } \eta^2=.072$)。また、物体配置要因の有意な主効果 ($F(1, 34)=.249, p=.621, \text{partial } \eta^2=.007$)

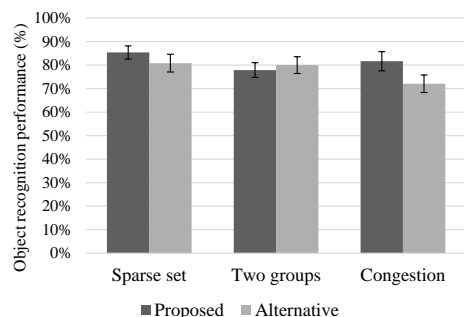


図 4. 指示物体認識の成功率

表 1. 先行研究との認識率の比較

	Sparse set	Two groups	Congestion
Proposed	85%	78%	82%
Iio et al[3]	74%	78%	74%

と提案手法要因と物体配置要因との間に有意な交互作用は認められなかった ($F(1, 34)=.249, p=.621, \text{partial } \eta^2=.007$)。物体配置条件に加えて、音声認識システムや指さしの認識アルゴリズムなどが先行研究と本研究では異なるため直接的な比較は難しいが、提案手法要因に有意傾向に近い値が確認されたことから、本研究の環境の状況に応じた発話と指さし動作の同時制御を行う提案手法は、過去に提案された発話のみの制御を行う場合と比べて、指示物体認識の成功率が向上した可能性がある。

研究課題 2：引き込み現象を利用した指示物体認識精度向上手法に関する分析

○仮説 1 の検証

図 5 に対話の印象に関するアンケートの評価結果を示す。対応あり t 検定の結果、対話を負担に感じた ($t(19)=2.1, p=.049, d=.72$)、対話を面倒に感じた ($t(19)=4.2, p<.001, d=1.1$)、対話の自然さ ($t(19)=-3.0, p=.008, d=.70$) を尋ねるアンケート評価に関して有意な差が見られた。この結果は仮説 1 を支持している。

○仮説 2 の検証

図 6 に指示物体認識の成功率を示す。対応あり t 検定の結果、暗黙条件と明示条件の間に有意差は認められなかった ($t(19)=-.58, p=.57, d=.18$)。この結果から仮説 2 は支持されなかった。

○結果の解釈

実験結果から、暗黙的な引き込みを伴う対話は明示的な発話依頼による対話よりも、負担が少なく、面倒だと感じにくく、自然であるということが明らかとなった。一方で、両方の対話戦略の間で指示物体認識精度に差

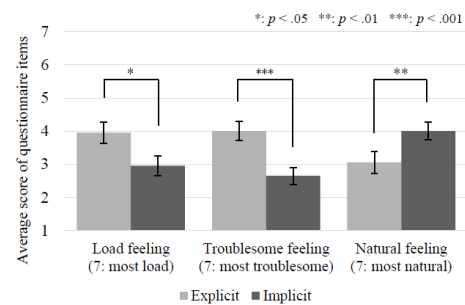


図 5. 印象評価の結果

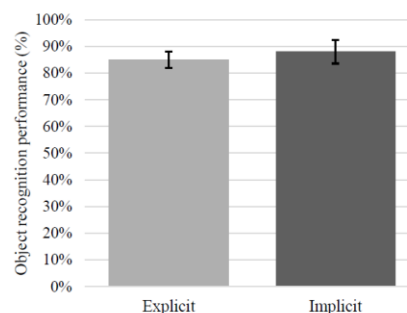


図 6. 指示物体認識の成功率

はないことも分かった。これについて、暗黙的な引き込みが明示的な発話依頼と同じくらいに認識精度を向上させたという見方も可能であるし、明示的な発話依頼がそれほど認識精度を向上させなかったという見方も可能である。これを示すためには、より詳細な実験が必要であるが、少なくとも本実験を通じて、人をロボットの確認発話を用いて暗黙的に特定の発話に引き込むという対話戦略が、明示的に直接人に指示発話の方法を依頼するという対話戦略よりも優れていることが示唆された。

<参考文献>

- [1] S. E. Brennan and H. H. Clark: "Conceptual Pacts and Lexical Choice in Conversation.," Journal of Experimental Psychology: Learning, Memory, and Cognition, vol. 22, no. 6, pp. 1482-1493, 1996.
- [2] T. Iio, M. Shiomi, K. Shinozawa, K. Shimohara, M. Miki and N. Hagita: "Lexical entrainment in Human Robot Interaction," International Journal of Social Robotics, vol. 7, no. 2, pp. 253-263, 2014.
- [3] 飯尾 塩見 篠沢 下原 萩田: "ロボット発話の冗長性制御による指示物体認識性能向上への寄与", 情報処理学会論文誌, vol. 53, no. 4, pp. 1251-1268, 2012.

5. 主な発表論文等

(研究代表者、研究分担者及び連携研究者には下線)

[雑誌論文] (計 1 件)

1. 木本充彦, 飯尾尊優, 塩見昌裕, タネヴィヴァン, 下原勝憲, 萩田紀博: "指示物体認識性能を向上させるロボットの確認行動", 日本ロボット学会論文誌, 2017 (採録決定)

[学会発表] (計 9 件)

国際会議: 6 件

2. Mitsuhiro Kimoto, Takamasa Iio, Masahiro Shiomi, Ivan Tanev, Katsunori Shimohara: "Can Graphical Interaction Affect Mutual Understanding?", The International Conference on Electronics and Software Science (ICES2015), pp. 78-86 (2015)
3. Mitsuhiro Kimoto, Takamasa Iio, Masahiro Shiomi, Ivan Tanev, Katsunori Shimohara, Norihito Hagita: "Improvement of Object Reference Recognition through Human Robot Alignment", The 24th IEEE International Symposium on Robot and Human Interactive Communication, pp. 337-342 (2015)
4. Mitsuhiro Kimoto, Takamasa Iio, Masahiro Shiomi, Ivan Tanev, Katsunori Shimohara: "Self-Organizing of Information by Rhizomic-Link which Autonomously Grows: Modeling and Evaluation of Rhizomic-Link Mechanism", The 34th Chinese Control Conference and SICE Annual Conference 2015

(CCC&SICE2015), pp. 456-459 (2015)

5. Takahiro Hirano, Masahiro Shiomi, Takamasa Iio, Mitsuhiro Kimoto, Takuya Nagashio, Ivan Tanev, Katsunori Shimohara, Norihito Hagita: "Communication Cues in Human-Robot Touch Interaction", The 4th International Conference on Human-Agent Interaction, pp. 201-206 (2016)
6. Mitsuhiro Kimoto, Takamasa Iio, Masahiro Shiomi, Ivan Tanev, Katsunori Shimohara, Norihito Hagita: "Alignment Approach Comparison between Implicit and Explicit Suggestions in Object Reference Conversations", The 4th International Conference on Human-Agent Interaction, pp. 201-206 (2016)
7. Mitsuhiro Kimoto, Takamasa Iio, Masahiro Shiomi, Ivan Tanev, Katsunori Shimohara, Norihito Hagita: "Relationship between Personality and Robots' Interaction Strategies in Object Reference Conversations", The Second International Conference on Electronics and Software Science (ICES2016), pp. 128-136 (2016)

国内会議: 3 件

1. 田村 優美子, 木本 充彦, 塩見 昌裕, 飯尾 尊優, Ivan Tanev, 下原 勝憲, 萩田 紀博: "幼児に対する読み聞かせにおける複数ロボットの利用法による効果", 第44回知能システムシンポジウム, A4-1 (2017)
2. 奥村 奏音, 塩見 昌裕, 飯尾 尊優, 木本 充彦, Ivan Tanev, 下原 勝憲, 萩田 紀博: "複数台ロボットによる"褒め"が人間の技能向上へ及ぼす影響", 第44回知能システムシンポジウム, A4-2 (2017)
3. 木本 充彦, 飯尾 尊優, 塩見 昌裕, Ivan Tanev, 下原 勝憲, 萩田 紀博: "指示物体認識における人のパーソナリティとロボットの対話戦略との関係性分析", 第44回知能システムシンポジウム, A4-3 (2017)

[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]

ホームページ等 なし

6. 研究組織

(1) 研究代表者

飯尾 尊優 (IIO, Takamasa)

株式会社国際電気通信基礎技術研究所・知能ロボティクス研究所・連携研究員

研究者番号: 70642958

(2) 研究分担者 なし

(3) 連携研究者 なし

(4) 研究協力者 なし