

ロボットの情動的かつ社会的表情による人との親密さの強化

田中 一晶^{1,a)} 小山 直毅^{2,3} 小川 浩平^{2,3} 石黒 浩^{2,3}

受付日 2017年4月20日, 採録日 2017年11月7日

概要: 人とインタラクションを行うロボットの感情表現は、感情状態をそのまま表現するか、感情状態とは無関係に社会性を表現するか、いずれかの方針で設計されている場合が多い。本研究では、これらの感情表現を情動的表現、社会的表現と定義し、新たに両方を組み合わせた感情表現手法を提案した。人が愛想笑いを行うとき、目元の表情には感情が不随意に表れるが、口元の表情を随意に変化させて微笑むといわれている。この知見に基づいて、提案手法では、目元は情動的表現によって、口元は社会的表現によって表情を決定する。人との対話実験において、提案手法を実装したロボットと一方の感情表現しか行わないロボットとを比較した結果、提案手法は人間らしい印象と社会的な印象の両方において高い評価が得られる可能性が示唆された。さらに、親密さの評価として、友だちになりたいなど、強い社会的結合を必要としない項目の評価では社会的表現が有効に働くが、一緒に生活したいなど、より強い社会的結合を必要とする項目の評価では、情動的表現も必要であることが示唆された。

キーワード: ロボット, 感情, 表情, Duchenne Smile, 人間らしさ, 社会性, 親密さ, 社会的結合

Emotional and Social Facial Expressions of a Robot Enhances Intimacy with Human Partners

KAZUAKI TANAKA^{1,a)} NAOKI KOYAMA^{2,3} KOHEI OGAWA^{2,3} HIROSHI ISHIGURO^{2,3}

Received: April 20, 2017, Accepted: November 7, 2017

Abstract: The behaviors of social robots are often designed based on either one of expressing its emotional state or expressing sociality irrespective of its emotional state. In this study, we defined these expressions as emotional and social expressions respectively, and proposed a new emotional expression method combining both. When a person makes non-duchenne smile, it is known that she smiles with a voluntary change in the expression around the mouth but her emotion appears involuntary in the expression around the eyes. Based on this finding, in our proposed method, the expression around eyes and mouth are determined by the emotional and social expressions respectively. In an experiment of human-robot conversation, we compared our proposed method and the methods that used only one of the emotional expressions. The result indicated that our proposed method may be highly evaluated in both impressions of human likeness and sociality. In an evaluation of intimacy, the result also showed that the social expression works effectively in the evaluation of items that do not require a strong social bonding, such as wanting to become friends, but the emotional expression is also necessary in the evaluation of items that require a stronger social bonding, such as wanting to live together.

Keywords: robot, emotion, facial expression, Duchenne Smile, human likeness, sociality, intimacy, social bonding

¹ 京都工芸繊維大学情報工学・人間科学系
Information and Human Sciences, Kyoto Institute of Technology, Kyoto 606-8585, Japan

² 大阪大学大学院基礎工学研究科
Department of Systems Innovation, Osaka University, Toyonaka, Osaka 560-8531, Japan

³ 科学技術振興機構, ERATO
ERATO, Japan Science Research Institute International, Chiyoda, Tokyo 102-0076, Japan

a) k.tanaka@kit.ac.jp

1. はじめに

近年、人の仕事を代替する存在としてロボットが日常生活に普及し始めた。しかし、ロボットは人と同じように社会的に接するべき存在として扱われにくいという問題がある。たとえば、お菓子を提供する自律ロボットをオフィス環境に導入した実験では、ロボットに対して強い命令口調

で接する、ロボットの発話を遮るなど、社会的とはいえない接し方が見られている [13]. また、自律ロボットや遠隔操作ロボットと対話する実験において、被験者は、遠隔操作ロボットの挨拶には応じるが、自律ロボットの挨拶を無視する傾向があることが報告されている [17]. これらの実験結果からも、人はロボットに対して社会的に接しにくい傾向がうかがえる. これを改善できれば、ロボットとの対話でも 1 人暮らしの老人の孤独感が解消される、教師ロボットの講義であっても生徒が真面目に聴講するなど、ロボットの有用性が向上し、ロボットの日常生活への普及をさらに促進できる可能性があると考えられる.

我々は、ロボットの感情表現が、ロボットを社会的に接すべき存在であると人に感じさせる要因の 1 つになりうるのではないかと考えた. 人と人とのコミュニケーションでは、様々なコミュニケーションチャンネルが情報伝達に活用されており、特に表情などの視覚情報が重要な役割を果たしている [16]. 表情は感情状態や意図を相手に伝えるうえで有効であることから [4], [5], 多様な表情を表出できるロボットが数多く提案されている. そのようなロボットは、感情状態などを分かりやすく伝達するために、その状態に対応した表情を表出するものが多い [1], [6], [10]. 一方、接客ロボットなどマナーや態度といった社会性に基いて振る舞う必要があるロボットの場合は、感情状態とは無関係に、状況に応じて社会的な表情を表出している [8], [23].

上述のとおり、ロボットの感情表出は、感情状態と社会的状況のいずれか一方に基いてデザインされてきた. しかしながら、人間同士のコミュニケーションでは、これら両方に基いた感情表出が行われている. たとえば、嫌いな相手と会話する際、不快な表情で接する場合もあるが、自分の立場や状況などを考慮して、愛想笑いで接する場合もある. このような、快感情に基づいていない偽の笑顔は Non-Duchenne Smile (以下 NDS と呼ぶ) と呼ばれている. この NDS と快感情に基づく本当の笑顔である Duchenne Smile (以下 DS と呼ぶ) とは、目元の表情筋の不随意的な収縮の有無で区別が可能であることが報告されている [5].

本研究では、社会性に基いた随意的な表情と、感情に基いた不随意的な表情を組み合わせることで人間に近い感情表現を再現する手法を提案する. そして、社会的に振る舞う必要がある状況での対話実験において、ロボットの印象評価を行い、ロボットの感情表現の違いが人との社会的関係性に与える影響について調査した.

2. 関連研究

ロボットに感情を設定し、それに基づいた表情を表出させることは人とロボットのコミュニケーションにおいて有効な手段であると考えられており、多様な表情を表出できるロボットが数多く存在する. たとえば、撫でる、叩くなどの、相手からの刺激に対応した表情を表出するもの [1]

や、記号的な表情により、内部状態を人に分かりやすく伝達し、人とのコミュニケーションを円滑化するもの [10], 表情をはじめとする複雑な感情表出機構を持つもの [6] などがあげられる. このようなロボットは、あらかじめ設定された複数の表情と、感情状態が対応付けられており、外部からの刺激による感情状態の変化に応じて表情を変化させているものが多い. このような手法はロボットの内部状態 (感情) を表情というモダリティによって分かりやすく人に伝達することに重点が置かれており、相手やその時々状況に応じて表情を変えるなどの社会性はほとんど考慮されていない. この手法はペットロボットのような動物型のロボットにおいては適切かもしれないが、人間にあてはめて考えると、感情をそのまま表出していることになり、社会性が乏しいという印象を相手に与えかねない.

人は必ずしも自分の感情をそのまま表出しているわけではなく、社会的な状況や立場に応じて表情を使い分けており、意図的に笑顔を表出することは社交的で知性的であると判断され、コミュニケーションを円滑にする働きがあることや [15], 初対面の人に対して親近感を与えること [3] が分かっている. そのため、受付などの接客を目的としたロボットは、感情をそのまま表出する手法とは異なり、感情とは無関係にその時々状況に応じた社会的な行動が設計されていることが多い. たとえば、2004 年の愛知万博で受付嬢として活躍したロボット [8], 百貨店の洋服販売員として人間の販売員と同等以上の売上げを記録したロボット [19] があげられる. このようなロボットは、目的に応じた社会的な表情のみを表出するため、表情の変化が乏しくロボットらしい印象を与える可能性がある.

このように、人とのインタラクションにおいて感情表出を行う既存のロボットは、情動的または社会的な感情表現のいずれか一方を行っているものが多い. これに対し、本研究では、ロボットが置かれた状況に合った社会的な表情に、感情に基づいた不随意的な表情変化を加えることで、NDS のような社会的でかつ情動的である感情表出手法を提案する.

本研究では、前頭筋、皺眉筋、眼輪筋、大頬骨筋に相当する 4 つの軸を有する人型ロボットにおいて、各軸を感情状態に応じて随意/不随意に制御することによって、口元は笑っているが目元は笑っていないといった、人間のような曖昧性のある表情を設計した. ロボットの曖昧表情が人とのコミュニケーションにどのような影響を与えるかを調査した先行研究では [21], ロボットの曖昧表情を人は都合良く解釈し、ロボットが好意的であると感ずることが報告されている. この研究では、ロボットの表情は記号的に表現されているが、本研究では、人に近い外見を持つロボットにおいて NDS のような人に近い感情表出をロボットに実装することによる効果を実験的に明らかにした.

3. 感情表出モデルとロボットの表情

3.1 顔表情における情動的・社会的表現

人による感情表現はジェスチャなどの身体動作など表情には限定されないが、本研究では、感情が随意/不随意に表れる部位が明らかになっている顔表情を対象とする。感情に基づく不随意的な表情を情動的な感情表現、社会性に基づく随意的な表情を社会的表現と定義し、図 1 に示すように、Russell の感情円環モデル [9] を参考に快-不快、覚醒-眠気の 2 次元平面に表情筋の動きに相当するモータコマンドをマッピングした。本研究では、これを感情表出モデルと呼ぶ。

3.2 表情筋の随意性・不随意性

現在までに、感情と表情の関係性を調査した研究は数多く行われており [2], [4], [5], [18], [22], 肯定的な感情で大頬骨筋の働きが活発となり、否定的な感情で皺眉筋の働きが活発になることが明らかになっている [18]。また、眼輪筋・大頬骨筋・口角拳上筋の働きを強めることで喜びの表情を、皺眉筋の活動を強めることで怒りや悲しみなど不快な表情を表現することも分かっている [22]。このことから、一般的にポジティブな感情では顔下部の筋が活発になり、ネガティブな感情では顔上部の筋が活発になるとされている。

また、表情の意図的な制御についての研究によると、人間が表情を制御しようとするとき、眼・脛あるいは眉・額の辺りよりも口と唇の辺りの制御をより意識的に行うとされている。そして、一般に表情の偽装は顔の下部で行われ、眉・額が用いられるのはまれであるといわれている [5]。そこで、本研究では、大頬骨筋を随意的な、眉皺筋・眼輪筋を不随意的な表情筋とし、これらの筋肉の働きをロボットの顔で再現した。

3.3 ロボットへの実装

感情表出モデル (3.1 節) をロボットに実装するにあたり、本研究で使用したロボットでは、図 2 に示すように、額と口角の動きによって目元の不随意的な表情変化と口元の随意的な表情変化をそれぞれ再現した。Neutral の表情を基

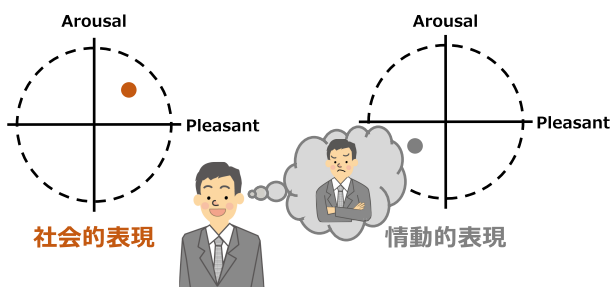


図 1 感情表出モデル

Fig. 1 Our emotional expression model.

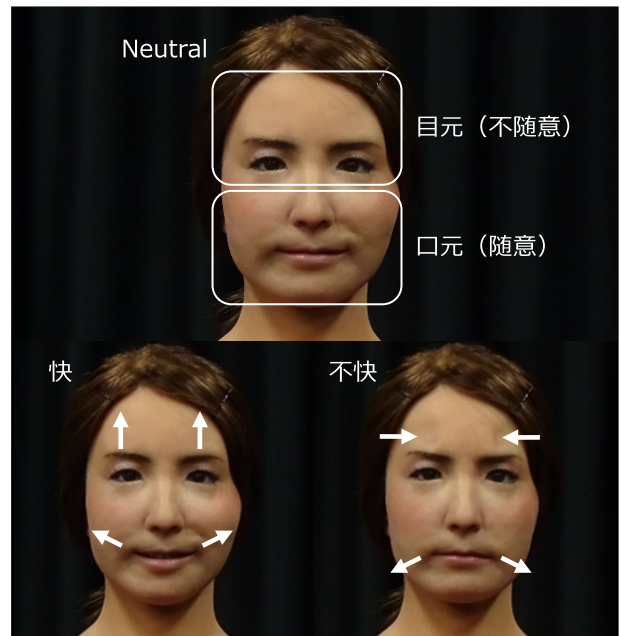


図 2 快不快表情におけるロボットの顔面の動き

Fig. 2 Our robot's facial movement in the pleasant/unpleasant expression.



図 3 実験環境

Fig. 3 Experimental environment.

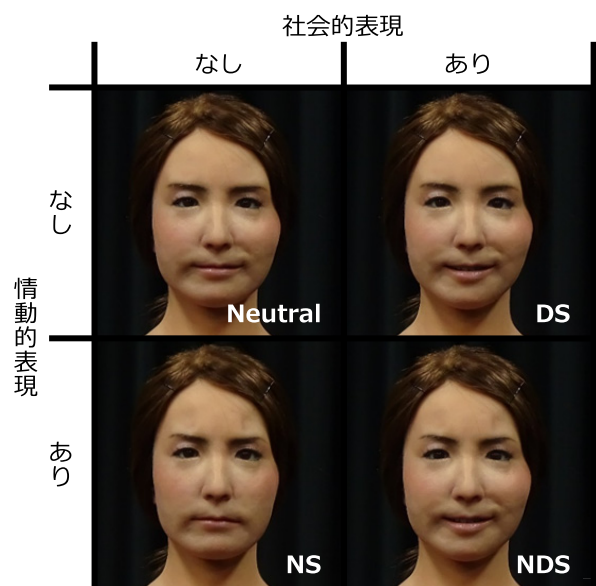


図 4 ロボットの表情

Fig. 4 Our robot's facial expressions.

準として、快表情では、額を上方向に、口角を上方向に動かすことで微笑んだような表情になる。不快表情では、額を内側方向に、口角を下方向に動かすことで眉間に皺が寄り口角が下がった表情になる。また、目元が不快で口元が快、つまり内心では不快だが、社会的に微笑まなければならないような状況の表情では、図 4 中の NDS のように眉間に皺が寄っているが口元は微笑んだような表情になる。これらの顔面の動きは、ロボット皮膚の裏側に接着したワイヤを空気圧アクチュエータで引っ張ることで再現した。

4. 研究課題

人の表情のうち、微笑みは社会的に振る舞う場面においてよく見られる表情の 1 つである。人は表情をコントロールすることで他者に影響を及ぼそうとするが、その中でも微笑みが重要な役割を果たすといわれている [5]。このことから本研究では、社会的表情として微笑みをロボットが表出する状況を想定した。まず、ロボットの情動的表現と社会的表現が、対話相手にそれぞれどのような印象を与えるか考えた。

褒められたら微笑む、貶されたら怒るといった状況と一致した情動的表現は、適切な反応であるため人間らしい印象を与えると思われる。様々な表情を表出できるロボットのほとんどは、感情と表情が一致していることを前提に、このような感情表現を行うものが多い [1], [6], [10]。このことから、状況と一致した感情表現、つまり、情動的表現をロボットが行うことは人間らしい印象を与える効果があると考えられる。

微笑みは、人同士のコミュニケーションを円滑に進める役割を果たすこと [15]、初対面などの状況において自身への親近感を喚起すること [3] が知られている。このことから、初対面の相手との対話や接客など、社会的に振る舞うことが求められる状況において、褒められても貶されても微笑んだ表情で接する社会的表現をロボットが行うことは、社会的な印象や親密な印象を与える効果があると考えられる。

3.2 節で述べたように、人間の場合、感情が不随意に表れる目元の表情を制御することは難しく、口元の制御によって表情の偽装を行うとされている。そのため、不快な状況において社会的に微笑もうとすると NDS のように情動的表現と社会的表現をあわせ持った表情になる。この NDS をロボットが表出することが、対話相手にどのような印象を与えるのか調査することが本研究の課題である。次節の実験では、情動的表現と社会的表現をあわせ持つ表情を表出するロボットと、一方の感情表現にのみ基づいて表情を表出するロボットでは、対話相手を感じる人間らしさ、社会性、親密さの印象がどのように異なるか調査した。

5. 実験

5.1 タスク

2 人の人間がロボットと対話するタスクを設定した。2 人のうち 1 人が被験者であり、もう 1 人は実験者が務めた。以降、この実験者を対話者と呼ぶ。被験者と対話者およびロボットは初対面であると被験者に説明し、社会性が求められる状況を想定した。ロボットは被験者・対話者に対して「こんにちは。はじめまして。私の名前はミナミと言います大阪出身です。今日はお 2 人と友だちになりたいと思っています。よろしくお祈いします」と自己紹介をした後、両者に対して「ではまず、私の髪型についてお伺いします」「次に、私の化粧についてお伺いします」「最後に、私の服装についてお伺いします」という発話でロボットの見た目の印象についてたずねる 3 つの質問を行った。これらの質問について「あなたはどうですか」という発話で、対話者、被験者の順に回答を求めた。対話者が先に回答することで、ロボットの質問にどのように回答すればよいのかを被験者に例示した。

対話者の回答は、「すごく素敵で、僕好みの髪型だと思います」「親しみやすい印象で、いいなと思いました」「全体的に大人っぽい感じがして、僕は好きです」とした。また、対話者や被験者の意見に対してロボットは、毎回「はい、分かりました」と発話し、3 回の質問の後に「お 2 人も今日はありがとうございました」と発話した。

ロボットの台詞はすべて音声合成で再生し、発話に合わせて顎 (1 自由度) を上下に動かした。回答を求める際や回答を聞いている間、ロボットはその相手の方向を向いているが、自己紹介や質問など、被験者と対話者の 2 人に向けた発話を行う際には、2 人を交互に見るように首を左右に動かした。

ロボットにとって不快な状況として、ロボットの質問に対し、被験者には、「服が似合っていない」などの否定的な意見を述べてもらった。人間の女性の場合、外見について貶されると、怒りや悲しみなどの感情になることが予想される。このことから、本研究では、Russel の円環モデル [9] において不快度の高い範囲に属するこれらの感情を不快感と定義し、被験者がロボットを貶すタスクを設定した。このタスクにおいてロボットが図 4 中の NS の表情を表出する予備実験を実施したところ、ロボットの感情が怒り、悲しみなどの不快感であるという印象を被験者が持つことを確認した。一方、対話者は上述のとおりつねに肯定的な意見を述べ、ロボットは感情に基づいた情動的表現と社会性に基づいた社会的表現が一致した表情を表出した。これは、被験者に最初に提示するロボットの表情変化を条件間で統制するためである。その後、被験者に否定的意見を述べてもらい、ロボットの感情が不快になった際の表情変化を提示した。

5.2 実験環境

図 3 に実験の様子を示す。ロボットからみて左側の人物が被験者で、右側の人物が対話者である。お互いの間に仕切りを設け、直接顔が確認できないようにした。これは、被験者の注意を対話者ではなくロボットに向けさせるためである。

5.3 実験条件

前章の研究課題に基づいて、被験者が否定的な意見を述べたときのロボットの表情の違いを実験条件とした。情動的・社会的表現の有無によって実験条件をデザインすると、図 4 に示すように 4 種類になるが、感情表現を持たずにつねに同じ表情を表出し続ける Neutral 条件は不自然であり他の条件と比較するうえで不利であったりすることが明確であったため、この条件を省いた 3 条件を比較することとした。実験は被験者間計画で実施した。

NDS (Non-Duchenne Smile) 条件：情動的表現と社会的表現に基づいて、3.3 節で示した目元は不快表情であり口元は快表情である (NDS) を表出する。

DS (Duchenne Smile) 条件：情動的表現を行わず、社会的表現のみに基づいて目元と口元の快表情 (DS) を表出する。DS とは本来、快感情に基づいた真の笑顔であるが、その表出技術には個人差があるものの [7]、感情とは無関係に意図的に表出することも可能であることが近年の研究で明らかになっている [12]。つねに微笑んで応対する接客ロボット [8]、[19] の表情はこれに相当する。

NS (Non-Smile) 条件：社会的表現を行わず、情動的表現のみに基づいて、目元と口元の不快表情を表出する。感情状態をそのまま表情として表出する先行研究のロボット [1]、[6]、[10] の表情はこれに相当する。

自己紹介や質問を行っている際には図 4 中の Neutral の表情を表出し、実験者の肯定的な意見に対しては、どの条件でも DS と同じ微笑みを表出するものとした。

5.4 被験者

実験には本学の学部生 48 人が被験者として参加した。これらの被験者には当研究室のメンバは含まれていない。実験は被験者間計画であり、NS 条件には 16 人 (女：8, 男：8)、NDS 条件には 16 人 (女：8, 男：8)、DS 条件には 16 人 (女：8, 男：8) をそれぞれ割り当てた。

5.5 手順

実験は、被験者のほかに対話相手役の実験者 (対話者)、被験者に教示を行う実験者 (教示者)、ロボットの発話、頭の向きや表情を操作する実験者 (操作者) で実施した。対話者はあらかじめロボットの前に座らせた。また、ロボットが操作されていることを被験者に知られないように、操作者は被験者から見えない位置からロボットを操作した。

被験者には、人と同じようにロボットと接してもらいやすいように、ロボットと対面する前にロボットの写真を提示しながら下記の説明を行った。この説明時、ロボットを「ミナミ」と呼称し、ロボットという表現を避けた。

- 名前はミナミという。
- ミナミはあなたと友だちになりたいと思っている。次に、タスクについて以下の説明を行った。
- この部屋の中にはもう 1 人の対話者がおり、ミナミと 1 対 2 の対話をしてもらう。
- もう 1 人の対話者との間には仕切りがあり、互いに顔は見えない。
- あなたともう 1 人の対話者は、互いにミナミと初対面である。
- ミナミから 2 人に対して、ミナミ自身の印象についていくつか質問を行う。
- それらの質問に対して、「服が似合っていない」など、すべて否定的な意見を述べてもらう。

教示後、被験者には対話者と対面することのないように着席してもらい、着席した時点で操作者の操作によってロボットが発話を開始する。5.1 節で述べたとおり、被験者に最初に提示するロボットの表情変化を条件間で統制するとともに、ロボットとの受け答えを例示するため、ロボットの質問に対し、実験者 (対話者) から回答し、以降、実験者・被験者の順で 3 回繰り返す。3 回の質問において、ロボットは、対話者の回答に対して必ず図 4 中の DS を表出するが、被験者の回答に対しては 5.3 節で述べた条件によって異なる表情を表出した。それ以外の状態におけるロボットの表情は図 4 中の Neutral とした。対話は約 120 秒であり、終了後、教示者の案内によって被験者を退出させ、別の部屋で次節のアンケートを実施した。

5.6 アンケート

ロボットとの対話の終了後に、被験者は、下記の項目について 9 段階のリッカート尺度で回答し、その回答理由を自由記述した。

5.6.1 表情の認識・快不快の程度

ロボットの表情が適切に認識されたことを確認し、実験の有効性を判断するため、被験者がロボットの表情をどのように認識したかを自由記述するアンケートを実施した。

- もう 1 人の被験者がミナミに意見しているとき、ミナミはどのような表情をしていましたか。
 - (1 つ前の質問について) ミナミはなぜそのような表情をしていると思いましたか。
 - あなたがミナミについて意見しているとき、ミナミはどのような表情をしていましたか。
 - (1 つ前の質問について) ミナミはなぜそのような表情をしていると思いましたか。
- 人は他者の心的状態を推測する際、まず自分が相手の立

場であったときの心的状態を推測し、相手も同じ心的状態であると推論するといわれている [20]. このことから、表情から感じたロボットの快不快の度合いと、被験者がロボットの立場に立った場合の快不快の度合いを評価させ、それらの評価の乖離から、被験者が感じるロボットの表情の欺瞞性を確認できると考えた. 実験では、被験者にはロボットに対して否定的な意見を述べてもらうため、ロボットの表情に欺瞞性を感じることは、不快な状況においてあえて不快感を顕わにしない社会性を感じることに相当すると思った.

ロボットの表情の欺瞞性を評価するため、下記の項目を設定し、9段階のリッカート尺度で回答させた. 5.1節で述べたように、被験者の意見に対するロボットの感情として怒りや悲しみなどの不快感を想定しており、ロボットの感情を快-不快の軸で評価することとした.

- あなたが否定的な意見を述べたとき、ミナミの快・不快の程度はどのくらいであったと思いますか.
- もしあなたがミナミの立場であったら、快・不快の程度はどのくらいであったと思いますか.

5.6.2 人間らしさの評価

ロボットの表情が人間らしい反応であったかを評価するため、下記の項目を設定した.

- 人間として、ミナミの表情は適切であったと思いますか.

5.6.3 社会性の評価

初対面という社会性が求められる状況において、ロボットの表情が適切であったかを評価するため、下記の項目を設定した.

- 初対面の人に対するものとして、ミナミの表情は一般的に適切であったと思いますか.

5.6.4 親密さの評価

親密な関係の人と行う行為をロボットと行いたいと思うかどうかでロボットに対して感じる親密さを評価しようと考えた. 1章で述べたように、本研究の最終目的は、ロボットを社会的に接するべき存在にすること、つまり、人と友人関係を築ける、人と対等な立場でインタラクションを行えるようにすることである. そのような社会を想定し、ロボットと行ううえである程度の親密さが必要な行為として下記の項目を設定した. そのような行為は無数にあり、これらに限定されるものではないが、学部生の被験者が女性型のロボットと性別にかかわらず行うことが容易に想像できる行為としてこれら6つを選定した.

- 友だちになりたい.
- 話を聞いてもらいたい.
- 話を聞きたい.
- 連絡先を交換したい.
- 自宅に招きたい.
- 一緒に生活したい.

	第1因子	第2因子
話を聞いてもらいたい	.990	.118
友達になりたい	.541	.126
話を聞きたい	.372	.160
低社会的結合項目		
自宅に招きたい	.169	.498
一緒に生活したい	.054	.996
高社会的結合項目		
連絡先を交換したい	.353	.474

(第1, 2因子の負荷量が比較的近いため除外)

図5 親密さに関する評価項目の因子分析

Fig. 5 Factor analysis of the intimacy items.

まず、これらの項目と親密さの度合いとの関係を明らかにするため、事前調査として当研究室のメンバ23人に、人とそうしたいと思うために必要な親密さの度合いを9段階で回答してもらった. そのアンケートについて因子分析を行った結果を図5に示す. 第1因子の負荷量が高い「話を聞きたい」「友だちになりたい」「話を聞いてもらいたい」の3項目を低社会的結合項目、第2因子の負荷量が高い「一緒に生活したい」「自宅に招きたい」の2つの項目を高社会的結合項目と名付けた. 「連絡先を交換したい」については、第1, 第2因子の負荷量がそれぞれ0.353, 0.474であり、他の項目に比べて近い値であったため、これらの項目群から省くこととした. 親密さを評価するにあたり、低社会的結合項目で、強い社会的結合を必要としない行為を想定した場合に親密さを感じる表情を、高社会的結合項目で、強い社会的結合を必要とする行為を想定した場合に親密さを感じる表情をそれぞれ調査した.

6. 結果

アンケート結果を、図6, 図7, 図8, 図9, 図10に示す. グラフは各項目における評価の平均値を示し、エラーバーは標準誤差を示す. 人間らしさ・社会性・親密さについてはNS, NDS, DSの3条件の比較を対応なし1要因分散分析で行い、TukeyHSD法を用いて多重比較を行った. 多重比較の結果を図中に示す.

6.1 表情の認識・快不快の程度

ロボットの表情から感じた快不快の程度と、ロボットの立場に立った場合の快不快の程度について(図6), 評価基準要因(表情/立場, 対応あり) × 実験条件要因(NS/NDS/DS, 対応なし)の2要因分散分析を行った. その結果、評価基準要因の主効果($F(1, 45) = 13.060, p < .001$)および交互作用($F(2, 45) = 4.488, p < .05$)が有意であった. TukeyHSD法で単純主効果の検定を行ったところ、ロボットの快不快の程度について、NS条件とNDS条件およびDS条件の差が有意であった(ともに $p < .05$). つまり、

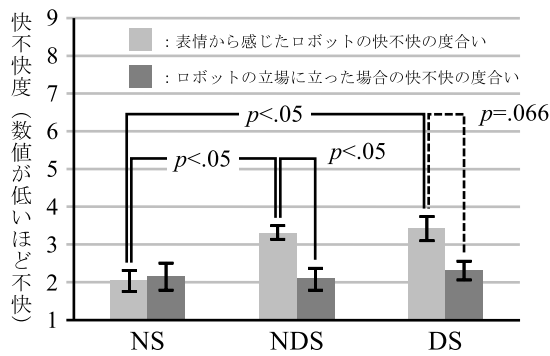


図 6 表情から感じた/ロボットの立場に立った場合のロボットの快不快の度合い

Fig. 6 Degree of pleasant feeling of the robot in estimating from the robot's facial expression/from the robot's viewpoint.

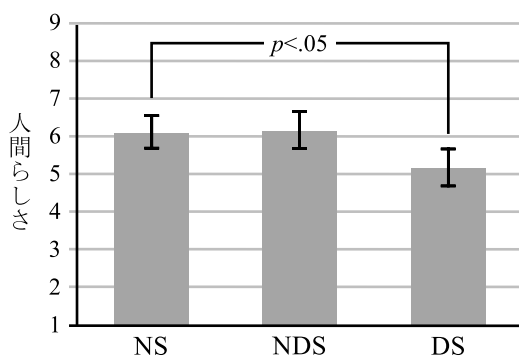


図 7 人間らしさの評価

Fig. 7 Evaluation of human likeness.

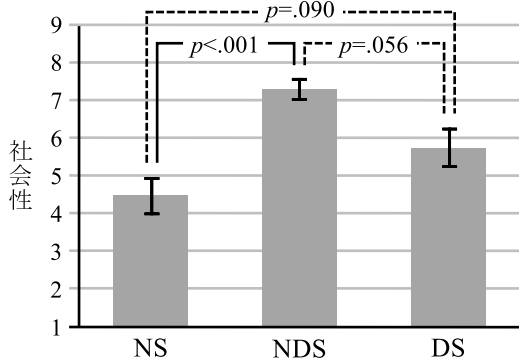


図 8 社会性の評価

Fig. 8 Evaluation of sociality.

NS 条件では他の条件に比べて、ロボットがより不快に感じているという印象を与えた可能性がある。実際、表情に関する自由記述によると、NS 条件では、16 人すべての被験者が不快そうな表情であると回答していたが、これに対し、NDS 条件では 16 人中 6 人が不快な感情を抑えたような表情と回答していた。

NDS 条件において、ロボットの表情から感じた快不快の度合いとロボットの立場に立った場合の快不快の度合いの間に有意な差が見られた ($p < .05$)。ロボットの表情から感じた不快の度合いがロボットの立場に立った場合の

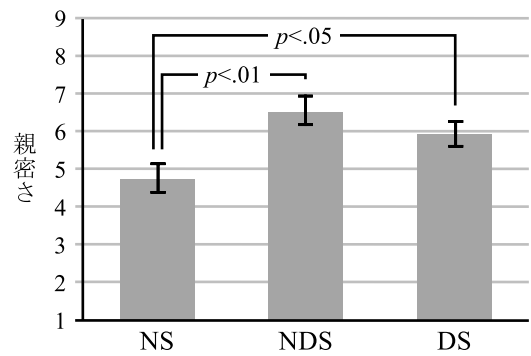


図 9 低社会的結合項目の評価

Fig. 9 Evaluation of the weak social bonding items.

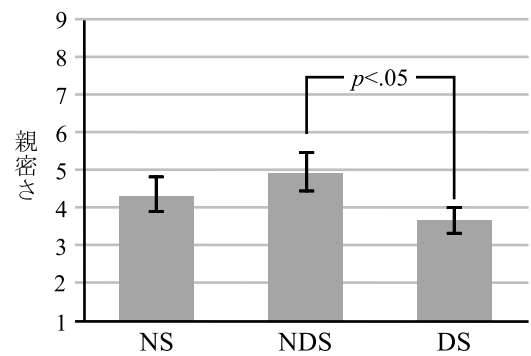


図 10 高社会的結合項目の評価

Fig. 10 Evaluation of strong social bonding items.

不快の度合いと乖離していたこと、前述のとおり、NDS 条件について不快感を抑えたような表情という印象を持った被験者が多かったことから、笑顔の欺瞞性、つまり、不快な状況においてあえて微笑む社会性を表現できた可能性がある。後述の社会性の評価 (6.3 節) ではこの予想を支持する結果が得られた。

DS 条件においては、ロボットの表情から感じた快不快の度合いとロボットの立場に立った場合の快不快の度合いの間の差は有意傾向であった ($p = .066$)。このことから、NDS 条件と同様に、DS 条件の笑顔に対して被験者はある程度の欺瞞性 (社会性) を感じていたと考えられる。この条件では、対話者と被験者に対するロボットの表情はまったく同じであったが、自由記述によると、ロボットの対話者に向けた表情は微笑みと正しく認識されている一方で、意外なことに、被験者に向けた表情は、NS 条件や NDS 条件と同様に不快そうな表情と認識されていた。この認識は DS 条件の被験者 16 人すべてに共通するものであった。実験後に改めてロボットの DS の表情を確認してもらったところ、対話者に対する笑顔であると認識し、自身にも同じ表情を向けられていたことに驚いていた。表情の表出理由として、すべての被験者が、自分が否定的な意見を述べたことに言及しており、タスクの文脈が表情の認識に影響を与えていたと思われる。被験者によるロボットの表情の認識と実験結果との関係については、7 章で考察する。

6.2 人間らしさ

人間らしさの評価 (図 7) について分散分析を行った結果、主効果は有意傾向であったが ($F(2, 45) = 3.017$, $p = .059$), 多重比較を行ったところ、NS 条件は DS 条件よりも人間らしい印象を与えることが分かった ($p < .05$)。これは、不快な状況に一致した目元と口元の不快表情を表出することは、快表情を表出するよりも人間らしい印象を与えることを意味している。

6.3 社会性

社会性の評価 (図 8) について分散分析を行った結果、主効果が有意であり ($F(2, 45) = 10.213$, $p < .001$), 多重比較を行ったところ、NDS 条件は NS 条件よりも社会的な印象を与えること ($p < .001$), DS 条件は NS 条件よりも ($p = .090$), NDS 条件は DS 条件よりも ($p = .056$) 社会的な印象を与える傾向があることが分かった。これは、不快な状況に不一致な口元の快表情を表出する NDS 条件や DS 条件は社会的な印象を与えることを意味している。また、NDS 条件が DS 条件よりも評価が高い傾向が見られたことから、目元の表情の快不快が社会性に無関係とはいえない。

6.4 親密さ

低社会的結合項目・高社会的結合項目については、各項目のスコアの平均値を算出し、それを条件間で比較した。その結果を図 9, 図 10 に示す。

低社会的結合項目について分散分析を行った結果、主効果が有意であり ($F(2, 45) = 6.741$, $p < .01$), 多重比較を行った結果、NS 条件に比べて NDS 条件 ($p < .01$) と DS 条件 ($p < .05$) は親密な印象を与えることが分かった。これは、目元の表情の快不快にかかわらず、口元の快表情が親密な印象を与えることを意味している。

次に、高社会的結合項目について分散分析を行った結果、主効果が有意であり ($F(2, 45) = 3.400$, $p < .05$), 多重比較を行った結果、NDS 条件は DS 条件よりも親密な印象を与えることが分かった ($p < .05$)。これは、口元が快表情のとき、不快な状況に一致した目元の不快表情を表出すると親密な印象を与えることを意味している。また、有意な差は得られていないが、平均値においては目元も口元も状況に一致した不快表情である NS 条件の方が DS 条件よりも高評価であることが見受けられる。つまり、高社会的結合項目においては、むしろ状況に一致した目元の不快表情が親密な印象を与えた可能性がある。

7. 考察

7.1 表情の認識・快不快の程度

被験者はすべての条件において、ロボットの表情を不快そうな表情と認識していたが (6.1 節), その不快の程度

の認識は条件によって異なっていた。被験者が感じたロボットの不快感について、NS 条件は NDS 条件と DS 条件に比べてロボットが強い不快感を持っていたように感じられたことから、口元の不快表情の有無に基づいてロボットの不快感が評価されていた可能性が考えられる。一方、スマイリーのような記号的な表情の意味 (嬉しい/悲しい) においては、日本人は口よりも目の形状から判断しやすいことが報告されている [12], [15]。この差はリアルな表情と記号的な表情に対する人の認識の違いであると考えられる。ロボットのデザインの抽象度と人の快不快表情認識の関係を検証することで、ロボットの感情表現を設計するうえで興味深い知見が得られることが期待できる。

NS 条件では、ロボットの表情から感じた不快感と、ロボットの立場に立った場合の不快感がほぼ同じであるため、不快感を隠そうとせずそのまま表情に出す短気な印象を与えた可能性がある。実際、NS 条件を体験した被験者に、ロボットについてどのような印象を受けたか尋ねたところ、「人間で例えると、感情が顔に出やすい人」や「喜怒哀楽が激しい人」などの回答が得られた。これに対し、NDS 条件では、ロボットの表情から感じた不快感よりも、ロボットの立場に立った場合の不快感の方が高いことから、ロボットは不快感を表情に出さない寛容さがあると感じた可能性がある。情動的表現を行わず、完全に微笑んでいた DS 条件では、ロボットの表情から感じた不快感と、ロボットの立場に立った場合の不快感の差はより顕著になると予想されるが、その差は有意傾向であった。インタビューによると、DS 条件を体験した被験者 16 人中 3 人はミナミが何を考えているか分からないと述べており、DS 条件でも不快そうな表情と認識されていたものの、実際には微笑んでいたため、その不快の度合いの見積りは他の条件よりも困難であったと思われる。このような意見は NS 条件や NDS 条件ではいっさい得られなかった。NDS 条件における情動的表現である眉間の皺は、社会的表現による口角の変化よりも小さいものであったが、表情の認識において不快感を判断する重要な手がかりになっていた可能性が考えられる。

このように、ロボットの表情から感じた不快の度合い、そこから判断された性格的な印象が、ロボットの人間らしさ、社会性、親密さの評価に影響を与えていた可能性がある。以下ではそれらの評価について考察する。

7.2 人間らしさ

NS 条件は DS 条件と比べて人間らしい印象を与えた。前述のとおり、NS 条件の表情から感じた不快感と、ロボットの立場に立った場合の不快の度合いはほぼ一致し、自分と同じように不快感を持つという点から、人間らしい印象を与えた可能性が考えられる。一方、DS 条件においては、不快の見積りが困難であったことから、人間らしい

印象が低下したと考えられる。

7.3 社会性

NDS 条件は NS 条件よりも社会的な印象を与えた。NDS 条件では、ロボットの表情から感じた不快感よりも、ロボットの立場に立った場合の不快感の方が高く、感情をそのまま表情に出さない寛容な印象を持った可能性があり、短気な印象の NS 条件よりも社会性があるように感じたと思われる。

人間らしさについては NS 条件が最も高かったものの、平均値は NDS 条件とほぼ同等であった。さらに、社会性についても NDS 条件が最も高かったことから、情動的・社会的表現を行うロボットは人間らしく社会的な印象を与えることができる可能性がある。

7.4 親密さ

初対面という社会性が求められる状況で快表情を表出する社会的表現が親密な印象を与えると予想していたが、低社会的結合項目と高社会的結合項目で異なる傾向が見られた。低社会的結合項目は「友だちになりたい」などの強い社会的結合を必要としない行為を想定した場合の親密さを評価するものであり、口元の快表情によって社会的表現を行う NDS、DS 条件が NS 条件よりも親密な印象を与えた。DS 条件だけでなく NDS 条件においても親密な印象を与えたことから、本研究で設定したタスク（初対面の状況）などの社会性を必要とする状況では、目元の情動的表現にかかわらず口元の社会的表現が、親密な印象を与えると考えられる。

一方で、高社会的結合項目では、NDS 条件が DS 条件よりも親密な印象を与えた。また、有意な差はなかったが DS 条件よりむしろ NS 条件の方が親密さの評価は高かった。DS 条件に対して何を考えているか分からないという印象を持った被験者の中には、親密さの評価においてもこの印象が影響したと述べた者もいた。高社会的結合項目は「一緒に生活したい」などの強い社会的結合を必要とする行為を想定した場合の親密さを評価するものであり、情動的表現をいっさい行わずに社会的な笑みを浮かべる DS 条件は、表情から内心を窺い知ることができないため深い付き合いをしにくい印象を与えたのかもしれない。

以上の結果から、親密さの評価においても低社会的結合項目、高社会的結合項目ともに NDS 条件の評価が最も高く、表情において情動的・社会的表現が行えるロボットはどちらか一方の感情表現しか行わないロボットよりも人に親密な印象を与えられる可能性がある。

7.5 制限事項と今後の課題

本研究では、人の表情筋の随意/不随意に基づいてロボットの情動的表現と社会的表現をデザインするため、人間に

酷似した外見を持ち、表情筋に対応する多様なアクチュエータを頭部に備えたロボットを使用した。このロボットでは、情動的・社会的表現を両方用いることで人に親密な印象を与えられることが示唆されたが、この成果を既存のロボットすべてに適用できるわけではない。たとえば、子供型のロボットやペットロボットの場合、社会的表現よりも情動的表現を優先した方が良い印象を与えることが予想される。ロボットの外見や用途に応じてどのように感情表現を使い分けるべきか明らかにすることは今後の課題である。

感情表現は表情に限定されるものではない。声の韻律、ジェスチャ、視線など、感情が随意/不随意に表れる様々なモダリティが考えられる。情動的・社会的表現を異なるモダリティにおいて行った場合でも、NDS のような効果が得られるか明らかにすることも今後の課題である。

人がロボットを社会的に接するべき存在と認識するうえで、ロボットが意思を持って自律的に動作しているという信念を人が持っていることは前提条件であるといえる。本研究の実験では、ロボットが自律的に対話していると被験者が信じたかどうかは確認できていない。インタビューでは、被験者がロボットの性格に言及することや、ロボットをミナミと呼称することが少なからずあったことからロボットを自律的な存在としてとらえていた可能性はあるが、その信念の度合いとロボットの感情表現との関係を明らかにすることは今後の課題である。

本研究の結果は、友だちになりたいといっているロボットに対してあえて否定的な意見を被験者に述べてもらうことや、衝立の向こう側に対話者がいることなど、実験上の設定において得られたものである。被験者へのインタビューでは、これらの設定の不自然さがアンケート結果に影響したという意見は得られていないが、日常生活の場で行われるロボットとの対話においても情動的・社会的表現をあわせ持つロボットが人間的で社会的な印象、そして親密な印象を人に与えられるかは不明である。これを調査するために、より自然な状況下で実験することや、ロボットに対して人が社会的に接するかフィールド実験において観察することは興味深い。

数人の被験者は、ロボットに対する興味関心を動機として実験に参加していた。被験者のロボットに対する興味関心が実験結果に影響を与えた可能性があるが、本研究の実験ではその影響を分離できていない。また、ロボットが若い女性の外見をしていたことから、ロボットに対する印象が被験者の年齢や年齢によって異なる可能性も考えられる。しかしながら、性別や年齢を要因として統計分析を行うには被験者数が十分ではなく、それらの要因の影響は調査できていない。日常生活でロボットと親しくしたいと思っているかなどの被験者のパーソナリティや、性別、年齢などを考慮した精緻な分析を実施することは興味深く、今後の

課題である。

8. まとめ

本研究では、ロボットを社会的に接するべき存在として人に受け入れられる社会の実現を目指し、感情に基づいた不随意的な表情（情動的表現）と社会性に基づいた随意的な表情（社会的表現）を組み合わせた新たな感情表現を提案した。そして、初対面という社会性が求められる状況を設定し、提案手法による感情表現を行うロボットと、どちらか一方の感情表現しか行わないロボットの印象を評価する被験者実験を行った。実験の結果、人間らしい印象には情動的表現が、社会的な印象には社会的表現がそれぞれ寄与している可能性が示唆され、両方の感情表現を行う提案手法はどちらの印象においても高い評価が得られる可能性が示された。また、人に親密な印象を与えるうえで、友だちになるなど、強い社会的結合を必要としない行為を行う際には社会的表現が有効であるが、一緒に生活するなど、強い社会的結合を必要とする行為には、情動的表現も必要である可能性が示唆された。

人とインタラクションを行う既存のソーシャルロボットは、いずれか一方の感情表現のみを用いている場合がほとんどであるが、本研究の結果は、ロボットが人と社会的なインタラクションを行うためには、感情表現を相手や状況に応じて適切に使い分ける必要があることを示唆するものである。これは「空気を読む」機能といえるものであり、ロボットが社会的に接するべき存在になるために必要な機能であると考えられる。本研究によってロボットの感情表現に関する研究が活発化され、ソーシャルロボットの社会進出が促進されることを期待する。

謝辞 実験に協力いただいた竹之内孝太氏、車谷広大氏に感謝する。本研究の一部は、JSPS 科研費 JP25220004, JP16K16140 の支援を受けた。

参考文献

- [1] Breazeal, C. and Brian, S.: A Context-Dependent Attention System for a Social Robot, *Proc. IJCAI 1999*, pp.1146–1153 (1999).
- [2] Cacioppo, J.T., Petty, R.E., Losch, M.E. and Kim, H.S.: Electromyographic activity over facial muscle regions can differentiate the valence and intensity of affective reactions, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.50, No.2, pp.260–268 (1986).
- [3] Campos, B., Schoebi, D., Gonzaga, G.C., Gable, S.L. and Keltner, D.: Attuned to the positive? Awareness and responsiveness to others' positive emotion experience and display, *Motivation and Emotion*, Vol.39, No.5, pp.780–794 (2015).
- [4] Ekman, P.: Facial expression and emotion, *American psychologist*, Vol.48, No.4, pp.384–392 (1993).
- [5] Ekman, P., Friesen, W.V. (著), 工藤 力 (訳): 表情分析入門 (2003).
- [6] Endo, N., Momoki, S., Zecca, M., Saito, M., Mizoguchi, Y., Itoh, K. and Takanishi, A.: Development of Whole-body Emotion Expression Humanoid Robot, *Proc. ICRA 2008*, pp.2140–2145 (2008).
- [7] Gunnery, S.D., Judith, A.H. and Mollie, A.R.: The Deliberate Duchenne Smile: Individual Differences in Expressive Control, *Journal of Nonverbal Behavior*, Vol.37, No.1, pp.29–41 (2013).
- [8] Hashimoto, T., Senda, M. and Kobayashi, H.: Realization of realistic and rich facial expressions by face robot, *Proc. IROS 2003* (2003).
- [9] Russel, J.A.: Circumplex Model of Affect, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, No.6, pp.1161–1178 (1980).
- [10] Kanoh, M., Kato, S. and Itoh, H.: Facial expressions using emotional space in sensitivity communication robot "Ifbot", *Proc. IROS 2004* (2004).
- [11] Koda, T., Ruttkay, Z., Nakagawa, Y. and Tabuchi, K.: Cross-Cultural Study on Facial Regions as Cues to Recognize Emotions of Virtual Agents, *Culture and Computing*, Vol.6259, pp.16–27 (2010).
- [12] Krumhuber, E.G. and Antony, S.R.M.: Can Duchenne smiles be feigned? New evidence on felt and false smiles, *Emotion*, Vol.9, No.6, pp.807–820 (2009).
- [13] Lee, M.K., Kiesler, S., Forlizzi, J. and Rybski, P.: Ripple effects of an embedded social agent: A field study of a social robot in the workplace, *Proc. CHI 2012*, pp.695–704 (2012).
- [14] Masaki, Y., Maddux, W.W. and Masuda, T.: Are the windows to the soul the same in the East and West? Cultural differences in using the eyes and mouth as cues to recognize emotions in Japan and the United States, *Journal of Experimental Social Psychology*, Vol.43, No.2, pp.303–311 (2007).
- [15] Matsumoto, D. and Ekman, P.: American-Japanese cultural differences in intensity ratings of facial expressions of emotion, *Motivation and Emotion*, Vol.13, No.2, pp.143–157 (1989).
- [16] Mehrabian, A. (著), 西田 司, 津田幸男, 岡本輝人, 山口常夫 (訳): 非言語コミュニケーション (1986).
- [17] Tanaka, K., Yamashita, N., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Teleoperated or Autonomous?: How to Produce a Robot Operator's Pseudo Presence in HRI, *HRI 2016*, pp.133–140 (2016).
- [18] Teasdale, J.D. and Rezin, V.: Effects of thought-stopping on thoughts, mood and corrugator EMG in depressed patients, *Behavior Research and Therapy*, Vol.16, No.2, pp.97–102 (1978).
- [19] Watanabe, M., Ogawa, K. and Ishiguro, H.: Can Androids Be Salespeople in the Real World?, *Proc. CHI 2015 Extended Abstracts*, pp.781–788 (2015).
- [20] 池田謙一, 唐沢 穰, 工藤恵理子, 村本由紀子: 社会心理学 (New Liberal Arts Selection) (2010).
- [21] 高橋英之, 岡田浩之: コミュニケーションにおける曖昧さとその機能, 日本知能情報ファジィ学会誌, Vol.22, No.4, pp.450–463 (2010).
- [22] 山口真美: 表情の筋電図による分析: 演劇経験者と非演劇経験者での違い, 社会心理学研究, Vol.7, No.3, pp.180–188 (1992).
- [23] 渡辺美紀, 小川浩平, 石黒 浩: ミナミちゃん: 販売を通じたアンドロイドの実社会への応用と検証, 情報処理学会論文誌, Vol.57, No.4, pp.1251–1261 (2016).



田中 一晶 (正会員)

2006年京都工芸繊維大学工芸学部電子情報工学科卒業。2008年同大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士前期課程修了。2010年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任研究員。2011年京都工芸繊維大学大学院工芸科学研究科情報工学専攻博士後期課程修了。

博士(工学)。同年大阪大学大学院工学研究科知能・機能創成工学専攻特任助教。2015年関西学院大学理工学部特任講師。2016年大阪大学大学院基礎工学研究科システム創成専攻特任助教。2017年より京都工芸繊維大学情報工学・人間科学系助教。人とインタラクションを行うエージェントやロボットの設計に興味を持つ。



石黒 浩 (正会員)

1991年大阪大学大学院基礎工学研究科博士課程修了。工学博士。その後、京都大学情報学研究科助教授、大阪大学大学院工学研究科教授等を経て、2009年大阪大学大学院基礎工学研究科教授。2017年より大阪大学荣誉教授。

ATR石黒浩特別研究所客員所長(ATRフェロー)。専門は、ロボット学、アンドロイドサイエンス、センサネットワーク等。2011年大阪文化賞受賞。2015年文部科学大臣表彰受賞。



小山 直毅

2016年大阪大学基礎工学部電子システム学科卒業。2018年大阪大学大学院基礎工学研究科博士前期課程修了予定。認知科学、人工知能に興味を持つ。ロボットの感情表現に対する人の印象評価等、ヒューマンロボットインタラクションに関する研究に従事。

タラクションに関する研究に従事。



小川 浩平

2010年公立はこだて未来大学システム情報科学研究科博士後期課程修了。システム情報科学博士。その後、ATR知能ロボティクス研究科を経て、2012年より大阪大学基礎工学研究科特任助教、コミュニケーションデザイン・センター助教を経て、2017年12月より大阪大学基礎工学研究科講師。専門は、知能ロボット学、ヒューマンロボットインタラクション。

2010年公立はこだて未来大学システム情報科学研究科博士後期課程修了。システム情報科学博士。その後、ATR知能ロボティクス研究科を経て、2012年より大阪大学基礎工学研究科特任助教、コミュニケーションデザイン・センター助教を経て、2017年12月より大阪大学基礎工学研究科講師。専門は、知能ロボット学、ヒューマンロボットインタラクション。