

ロボットの Non-Duchenne Smile による人との社会的結合の強化

小山 直毅^{†1†2} 田中 一晶^{†1} 小川 浩平^{†1†2} 石黒 浩^{†1†2}

概要：人とインタラクションを行うこれまでのロボットは、感情状態に基づいて振る舞うか、相手や状況に応じて社会的に振る舞うか、目的に合ったいずれか一方の感情表現が実装されてきた。本研究では、これらを情動的感情表現、社会的感情表現と定義し、両方を組み合わせた新しい感情表現手法を提案する。人間の表情では、感情によって不随意に変化する目元の表情筋と、随意に制御可能な口元の表情筋によって、目は笑っていないが、口元は社会的に微笑んでいる Non-Duchenne Smile のような複数の感情表現が行われている。この表情をロボットの顔で再現し、人との対話実験において一方の感情表現しか行わないロボットと比較した。その結果、人間らしい印象には情動的感情表現が、社会的印象には社会的感情表現が寄与しており、提案手法は両方の印象を同時に与えられる可能性が示唆された。そして、人に親密な印象を与える上で、友達になるなど、社会的結合を強める初期の段階では社会的感情表現が有効に働くが、一緒に生活するなど、より社会的結合を強めた段階では、情動的感情表現も必要であることも示唆された。

Robot's Non-Duchenne Smile Enhances Social Bonding with Human Partners

NAOKI KOYAMA^{†1†2} KAZUAKI TANAKA^{†1}
KOHEI OGAWA^{†1†2} HIROSHI ISHIGURO^{†1†2}

Abstract: The robots interacting with humans has been implemented either the emotional expression based on robot's emotion or based on sociality corresponding to the interlocutor and the situation. In this study, we define these as the social emotional expression and the affective emotional expression, and propose the new method of emotional expression combined both. Facial muscles around eyes can change involuntary by emotion and ones around mouth can change voluntary so that we can express complex facial expression such as Non-Duchenne Smile. We reproduce that smile in the robot's face, and compare the robot expressing either of one of the social emotional expression and the affective emotional expression. The result indicated that the affective emotional expression contributes to human likeness of robot, the social emotional expression contributes to sociality of robot and our proposed method contributes to both. In terms of giving an intimate impression on humans, the result suggested that the social emotional expression is effective in the early stage to strengthen the social bond, i.e., becoming a friend. On the other hand, in the stage after strengthening the social bond, i.e., living together, the affective emotional expression may be effective.

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、人間はロボットに対して、人と同じような社会的存在として扱わないという問題がある。例えば、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、初期のインタラクションにおいて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、初対面の人には行わないような非社会的行動が見られている[14]。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[19]。これらの実験結果から、人は一般的にロボットを社会的存在として扱わない傾向がうかがえる。ロボットを人間と同じように社会的存在として認める社会になれば、ロボットが人と友人関係を築くことや、教師や警察官など、相手と対等以上の立場でなければ成立しない仕事をロボットが代替することができるようになる可能性がある。

我々は、ロボットの感情表現が、ロボットを社会的存在であると人に感じさせる要因の1つになり得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、非言語表現が情報伝達に活用されており、特に顔の表情に基づく情報は全体の約 55%を占めると言われている[17]。そのた

†1 大阪大学大学院基礎工学研究科
Graduate School of Engineering Science Osaka University

†2 科学技術振興機構, ERATO
ERATO, Japan Science Research Institute International

め、多様な表情を表出できるロボットが数多く提案されており、そのようなロボットは、感情状態等を分かりやすいかたちで伝達するために、その状態に対応した表情を表出するものが多い[1][2][7][11]。一方、販売員ロボットのような、その場で求められる接客マナーや態度といった社会性に基づいて振る舞う必要があるロボットの場合、感情状態とは無関係に、状況に応じた社会的な表情を表出することが適切である[9][21]。

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づ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、これら両方に基づいた感情表出が行われている。例えば、嫌いな相手と会話する際、あからさまに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の社会性を考慮して、あえて偽の笑顔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 *Duchenne Smile* (以下 *DS* と呼ぶ) とは、目元の表情筋の収縮の有無で区別が可能であるとされており[6]、人間の表情には随意的に制御できる部分と、感情が不随意に表れる部分があることが分かっている。

本研究では、社会性に基づいた随意的な表情と、感情に基づ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し、それをを用いたロボットの感情表現システムを実装する。社会的に振る舞う必要がある状況を具体的に設定してロボットの印象評価実験を実施し、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間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。例えば、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][2]や、漫画的な表情表出を用いることにより、内部状態を人に分かりやすく伝達し、人間と円滑なコミュニケーションを行うもの[7]、表情をはじめとする複雑な感情表出機構を持ち、自らの感情を表現しながら会話を行うもの[11]などが挙げられる。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わかりやすく人に伝達することに重点が置かれており、相手やその時々々の状況に応じて表情を変えるという社会性は考慮されていない。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、感情の変化をそのまま表情に出しているということになり、状況によっては社会性が無い人という印象を相手に与えかねない。

人間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た表情を選択しており、意図的に笑顔を表出することは社会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[16]や、初対面の人に対して親近感を与えることが明らかになっている[4]。受付ロボットや接客ロボットといった、実社会で人間が行う業務を代替する目的のロボットは、上記の手法とは異なり、感情とは無関係にその時々々の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。例えば、*SAYA*[9]は人間に酷似した外見のヒューマノイドロボットで、人間に近い豊かな表情を表出することができ、2004年の愛知万博で受付嬢として活躍した。また、*Geminoid* も人間に近い外見のヒューマノイドロボットであり、実際に百貨店の洋服販売員として用いられ、人の販売員と同等以上の売り上げを記録した[21]。このようなロボットは、受付や接客など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てしまう可能性がある。

以上のように現在のロボットは、その役割に応じて、情動的な感情表現と社会的な感情表現がそれぞれ独立して考えられていると言える。これに対し、本研究では、ロボットが置かれた状況に応じた社会的な表情に *NDS* のような感情に応じた不随意的な表情変化を加えることで、社会的にかつ感情の存在を感じることで感情表出手法を提案する。

本研究では、女性型のヒューマノイドロボットを用いる。このロボットは、顔面に前頭筋、皺眉筋、眼輪筋、大頬骨筋の4つに相当する軸を有しており、これらを変化させることで多様な表情を表出することが可能となっている。そして、各軸が感情に対して随意/不随意に制御されるかを決定することによって、口元は笑っているが目元は笑っていないといった、人間のような複雑で曖昧な感情表出が可能になる。ロボットにこのような曖昧表情を持たせた先行研究として、ディスプレイ上に漫画的な表情を表出するロボットを用いて、ロボットの曖昧表情が人間とのコミュニケーションにどのような影響を及ぼすかを調査したものがある[18]。その結果、ロボットの曖昧表情は人間とのコミュニケーションにおいて肯定的に働き、ロボットに対する親しみを喚起させることを示した。この研究では、ロボットの表情は漫画的で記号的なデザインで表現されているが、本研究では、人の表情筋の随意性/不随意性に基づいて設計し、*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。

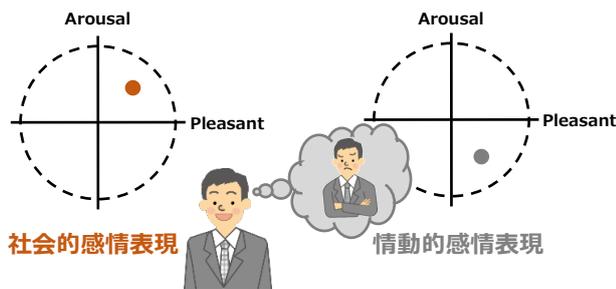


図1 感情表出モデルの概念図

Figure 1 Conceptual diagram of our emotional expression model

3. 感情表出モデルとロボットの表情

3.1 情動的・社会的感情表現

人による感情表現はジェスチャ等の身体動作など表情には限定されないが、次節で説明するように感情が随意／不随意に表れる部位が明らかになっている表情を本研究では対象とする。感情に基づく不随意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感情表現と定義し、図1に示すように、Russelの感情円環モデル[10]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[3][5][6][20][23]、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[20]。また、眼輪筋・大頬骨筋・口角挙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[23]。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・瞼あるいは眉・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言われている[6]。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、ロボットの顔面における各軸と人間の表情筋を対応付けた(図2)。これにより、情動的な感情表現が不快で社会的感情表現が快、つまり内心では不快だが、社会的に微笑ま

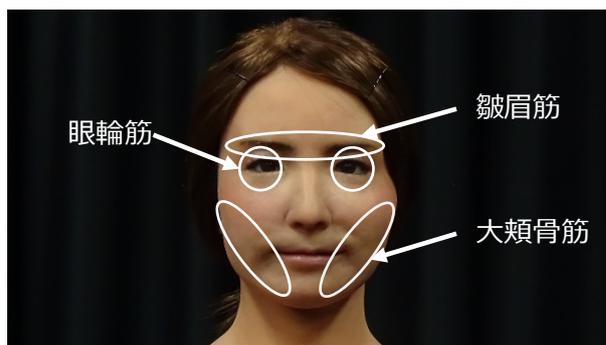


図2 ロボットの顔面モダリティ

Figure 2 Our robot's facial modality

なければならぬような状況の表情を再現すると図4中のNDSのようになり、随意的な感情表現として口元は微笑んでいるが、不随意的な感情表現として眉間に皺が寄っていることが確認できる。

3.4 仮説

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されている[6]。このことから本研究では、社会的な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、ロボットの情動的な感情表現と社会的な感情表現が、対話者にそれぞれどのような印象を与えるか考えた。

貶されたから怒る、褒められたから微笑むといった状況と一致した情動的な感情表現は、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][2][7][11]。このことから、状況と一致した感情表現を行うことは人間らしい印象を与えると考え、次の仮説1を立てた。

仮説1: 不快な状況に一致した目元と口元の不快な表情は人間らしい印象を与える。

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では、褒められても貶されても微笑んだ表情で接することが妥当であると思われる。接客ロボットや受付ロボットは、このような社会的な感情表現を行うことが望ましい[9][21]。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。このことから、目元の表情の快不快に関わらず、状況に不一致な口元の表情は社会的な印象を与えると考え、次の仮説2を立てた。

仮説2: 目元の表情の快不快に関わらず、不快な状況に不一致な口元の快表情は社会的な印象を与える。



図3 実験環境

Figure 3 Experiment environment

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[16]，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[4]が知られている．このことから，初対面の状況における微笑みは，対話相手に親密な印象を与えると考え，次の仮説3を立てた．

仮説3：初対面の状況において，目元と口元の快表情は親密な印象を与える．

4. 実験

4.1 タスク

前章の仮説を検証するため，2人の人間がロボットと対話するタスクを設定した．2人の内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ており，社会性が求められる状況を想定した．ロボットは被験者・対話者に対して自己紹介をした後，両者に対して「私の髪型についてどう思いますか?」「私の化粧についてどう思いますか?」「私の服装についてどう思いますか?」というロボット自身の見た目の印象についてたずねる3つの質問を行った．これらの質問に対して，対話者，被験者の順に回答する．対話者が先に回答することで，ロボットがどのように質問するのか，どのように回答すれば良いのかを被験者に例示した．詳しい手順については5.5節で述べる．

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」等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，怒りや悲しみ等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[10]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，悲しみ等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

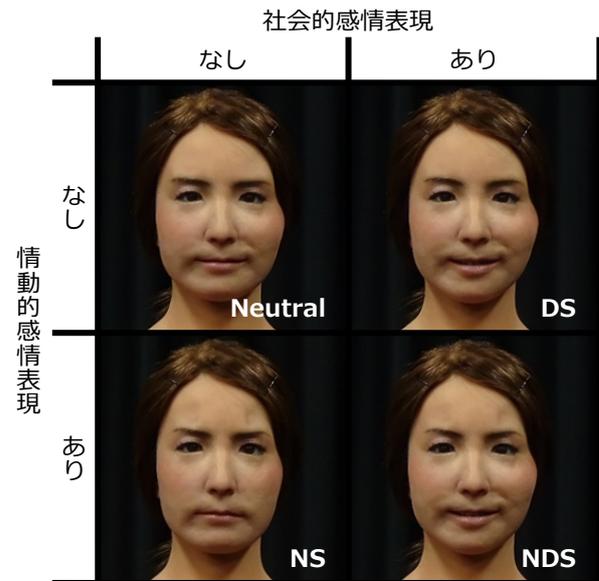


図4 ロボットの表情

Figure 4 Our robot's facial expression

た．一方，対話者は常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感情的表現と社会性に基づいた社会的感情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．

4.2 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．

4.3 実験条件

前章の仮説に基づいて，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・社会的感情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常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上で不利であ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：情動的感情的表現と社会的感情表現に基づいて，3.3節で示した眉間に皺が寄った微笑み (NDS) を表出する．

DS (Duchenne Smile) 条件：情動的感情的表現を行わず，社会的感情表現のみに基づいて微笑み (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[8]，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

かになっている[13]。常に微笑んで応対する接客ロボット[21]や受付ロボット[9]の表情はこれに相当する。

NS (Non-Smile) 条件：社会的感情表現を行わず、情動的感情表現のみに基づいて、眉間に皺を寄せた表情を表出する。感情モデルに基づく感情をそのまま表情として表出する先行研究のロボット[1][2][7][11]の表情はこれに相当する。

仮説 1 は NS と NDS が DS よりも人間らしい印象を与えると予想するものである。仮説 2, 3 は NDS と DS が NS よりも社会的な、親密な印象を与えると予想するものである。これらの条件を人間に当てはめて考えてみると、DS 条件は貶されても自分の感情をまったく表出せず、常に社会的に微笑んでいるような人であり、NS 条件は全く社会的に振る舞おうとせず、不快感をそのまま顕わにするような人である。一方、NDS 条件は社会的に微笑もうとしているが不快感が不随意に目元に表れており、一般的な人に当てはまるかもしれない。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。

4.4 被験者

実験には本学の学部生 37 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 13 人 (女:6, 男:7), NDS 条件には 12 人 (女:6, 男:6), DS 条件には 12 人 (女:6, 男:6) をそれぞれ割り当てた。

4.5 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。対話者は予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、人と同じ社会的存在として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達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入室してもらう。このとき、教示者は同室後方で、対話終了まで待機しておく。入室が完了し被験者が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 節で述べた通り、最初に被験者に提示するロボットの表情変化を条件間で統制すると共に、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、まず、ロボットは被験者と対話者の方向を交互に見ながら質問を行う、その際の表情は図 4 中の Neutral である。そして、対話者の方を向いて「あなたはどうですか」という音声で回答を求め、対話者の回答後に図 4 中の DS を表出する。そして、被験者に対しても対話者と同様の手順で回答を求め、被験者の回答後に 5.3 節で述べた条件によって異なる表情を表出した。ロボットの台詞は全て音声合成で再生した。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。

4.6 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。

4.6.1 表情の認識・快不快の程度

仮説を検証するにあたり、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。

- もう一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。

更に、被験者が表情から感じたロボットの快・不快の程度と、自分がロボットの立場に立ったときの快・不快の程度を確認した。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時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言われている[22]。このことから、自分がロボットの立場に立ったときの快・不快の程度と、表情から感じたロボットの快・不快の程度が乖離

	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
Figure 5 Factor analysis of the items of intimacy

していると、被験者がロボットの表情に欺瞞性を感じているのではないかと考え、以下の項目を設定し、9段階のリックカート尺度で回答させた。

- 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だったと思いますか。
- 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。

5.1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等の不快感を想定しており、ロボットの感情を快-不快軸で評価することとした。

4.6.2 人間らしさの評価

仮説1を検証するため、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。

4.6.3 社会性の評価

仮説2を検証するため、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。

4.6.4 親密さの評価

仮説3を検証するため、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、ロボットと行う上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関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。

- 友達になりたい。
- 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。

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因子の負荷量が高かったのは「話を聞きたい」「友達になりたい」「話を聞いてもらいたい」であり、第2因子の負荷量が高かったのは「一緒に生活したい」「自宅に招きたい」「連絡先を交換したい」であった。「連絡先を交換したい」については、第1因子の因子負荷量が0.353、第2因子の因子負荷量が0.474であり、他の項目に比べて第1因子と第2因子の間で近い因子負荷量を示した。そこで、第1因子負荷量が高い「話を聞きたい」「友達になりたい」「話を聞いてもらいたい」の3項目を低社会的結合項目、「連絡先を交換したい」を除き、第2因子負荷量が高い「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、親密さを評価することとした。つまり、低社会的結合項目で社会的結合を強める初期の段階を想定した際に親密さを感じる表情を、高社会的結合項目で社会的結合を強めた段階を想定した際に親密さを感じる表情をそれぞれ調査した。

5. 結果

アンケート結果を、図6~10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。

5.1 表情の認識・快不快の程度

ロボットの表情から感じられる快/不快の程度と、自分がロボットの立場に立ったときの快/不快の程度について、立場要因(ロボット/自分, 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、立場要因の主効果が有意であった($F(1,34)=6.962, p=.012$)。また、交互作用が有意傾向であったが($F(2,34)=3.221, p=.052$)、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条件の差が有意傾向であった($p=.086$) (図

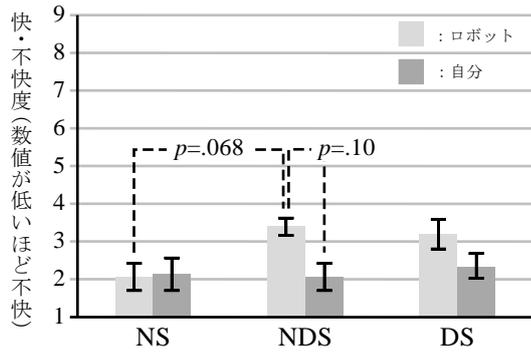


図6 ロボット／自分の立場での快不快の度合
Figure 6 Degree of pleasure in the place of robot/subject

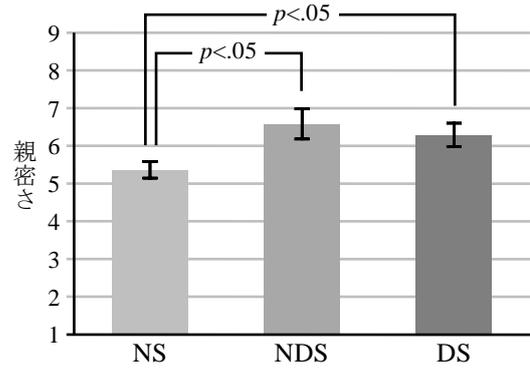


図9 低社会的結合項目の評価
Figure 9 Evaluation of weak Social Bonding

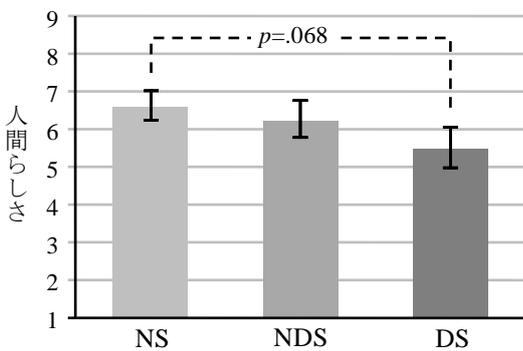


図7 人間らしさの評価
Figure 7 Evaluation of human likeness

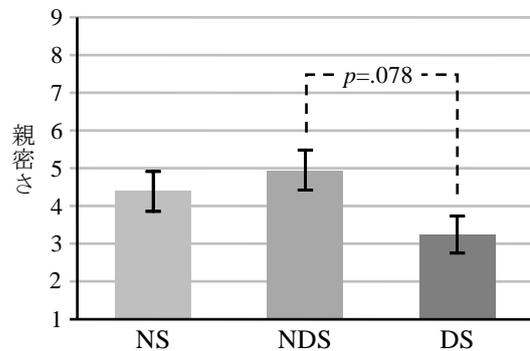


図10 高社会的結合項目の評価
Figure 10 Evaluation of strong Social Bonding

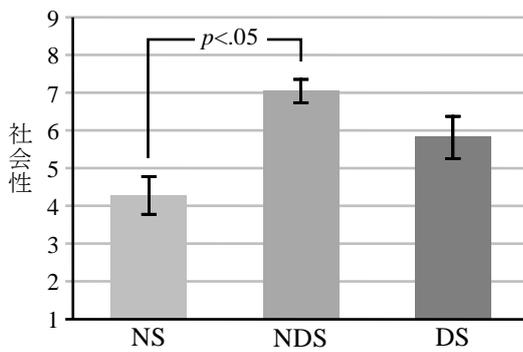


図8 社会性の評価
Figure 8 Evaluation of sociality

6). つまり、NS 条件では NDS 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、13 人全ての被験者が不快そうな表情であると回答していたが NDS 条件では眉間に皺を寄せているが、被験者 12 人中 1 人が、そこまで不快そうではない表情と回答し、6 人が不快な感情を取り繕ったような表情と回答していた。

NDS 条件において、ロボットの快／不快の程度と自分が

ロボットの立場であったときの快／不快の程度の間にも有意傾向が見られた ($p=.100$)。前述の通り自由記述において、不快感を取り繕ったような表情という回答が得られていたことから、ロボットの表情から感じられる不快感の度合いが自分の立場で考えた不快感の度合いと乖離していたことから、NDS の表情が欺瞞であると認識された可能性が考えられる。

DS 条件においては立場要因、実験条件要因共に有意差は認められなかった。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全く同じであったが、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 12 人全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、全ての被験者が、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。被験者の表情認識による実験結果への影響については、7 章で考察する。

5.2 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、3つの条件間の差は有意傾向であったが（ $F(2,34)=2.673, p=.083$ ）多重比較を行ったところ、NS条件はDS条件よりも評価が高い傾向があった（ $p=.068$ ）。これは、不快な状況で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傾向があることを意味しており、有意傾向ではあるが仮説1を支持する結果と言える。

5.3 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、3つの条件間の差は有意であり（ $F(2,34)=7.176, p<.05$ ）、多重比較を行ったところ、NDS条件はNS条件よりも評価が有意に高いことが分かった（ $p<.05$ ）。これは、不快な状況において、目元は不快表情だが、口元は状況に不一致な快表情を表出するNDS条件は社会的な印象を与えることを意味している。一方、目元も口元も快表情を表出するDS条件はNS条件よりも平均値は高いことが見受けられるが、有意な差は得られなかった。したがって、これらは仮説2を限定的に支持する結果と言える。

5.4 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、それを各条件間で比較した。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、3つの条件間差が有意であり（ $F(2,34)=5.427, p<.01$ ）、多重比較を行った結果、NDS条件とDS条件が共にNS条件に比べて評価が有意に高いことが分かった（共に $p<.05$ ）。これは、目元の表情の快不快に関わらず、口元の快表情が親密な印象を与えることを意味しており、仮説3を限定的に支持する結果と言える。

次に、高社会的結合項目について分散分析を行った結果、3つの条件間の差は有意傾向であったが（ $F(2,34)=2.741, p=.079$ ）、多重比較を行った結果、NDS条件はDS条件と比較して評価が高い傾向があった（ $p=.071$ ）。これは、口元が快表情のとき、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。仮説3の通り、目元も口元も快表情を表出するDS条件が親密な印象を与えると予想したが、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る傾向が見られた。

6. 考察

6.1 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）、その不快感の程度の認識は条件によって異なる傾向があった。被験者が感じたロボットの不快感について、差は有意ではなかったがNS条件が他の2条件よりも高く、NS条件はNDS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る傾向があったことから、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上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判断する不快感と、自分がその立場に立った時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判断する不快感よりも、被験者自身がその立場に立ったときの不快感の方が高い傾向が見られたことから、ロボットは自分よりも寛容であると感じた可能性がある。情動的感情表現を行わず、完全に微笑んでいたDS条件では、この傾向がより顕著に表れるものと予想されるが、統計的有意差は見られなかった。インタビューによると、DS条件を体験した被験者12人中3人はミナミが何を考えているかわ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、その不快感の度合いの見積も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条件では一切得られなかった。NDS条件における情動的感情表現である眉間の皺は、社会的感情表現による口角の変化よりも小さいものであったため、被験者の意識には残りにくかったと思われるが、表情認識において不快感を決定する潜在的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、被験者による表情の認識には条件間で明確な違いがあったわけではなかったが、ロボットの表情から判断される不快感の度合い、そこから判断される性格的な印象が、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それぞれ考察する。

6.2 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る傾向があることが分かった。前述のとおり、NS条件の表情から感じられる不快感と、被験者自身がロボットの立場であ

ったときに感じると思われる不快感の度合はほぼ一致し、自分と同じように腹を立てるという点から、人間らしい印象を持った可能性が考えられる。一方、DS 条件においては、不快感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。

6.3 社会性

社会性については、NDS 条件が NS 条件と比べて高く評価された。NDS 条件では、ロボットの表情から感じられる不快感よりも、被験者自身がロボットの立場であったときに感じると思われる不快感の方が高く、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・社会的感情表現を行うことができる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と考えられる。

6.4 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という社会的感情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「友達になりたい」などの社会的結合を強める初期の段階を想定した親密さを評価するものであり、口元の快表情を表出するという社会的感情表現を行う NDS、DS 条件の評価が NS 条件に比べて高かった。DS 条件のみならず NDS 条件においても高い評価を得たことから、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、目元の情動的感情表現に関わらず口元の社会的感情表現が、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 条件の評価が DS 条件の評価に比べて高い傾向が見られた。また、有意な差は無かったが 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」などの社会的結合を強めた段階を想定した親密さを評価するものであり、情動的感情表現を一切行わず社交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はできないという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、高社会的結合項目共に NDS 条件の評価が最も高く、表情において情動的・社会的感情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やすいと考えられる。

6.5 制限事項と今後の課題

被験者による表情の認識において、条件間で大きな差は

見られなかった。より多様な表情を表出できるロボットを用いる、または同様の実験を人間でも行うことで NDS のような複雑な表情であっても認識されやすくなり、本研究の仮説がより明確に支持される結果が得られる可能性がある。

数名の被験者は、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。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、被験者のパーソナリティを考慮した精緻な分析を実施することは、興味深い知見が得られる可能性がある。

人がロボットを社会的存在と認識する上で、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言える。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捉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感情表現と社会的感情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・社会的感情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全てに適用できるわけではない。例えば、子供型のロボットやペットロボットの場合、社会的感情表現よりも情動的感情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・社会的感情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。

7. まとめ

本研究では、社会的存在として受け入れられるロボットを目指し、感情に基づいた不随意的な表情（情動的感情表現）と社会性に基づいた随意的な表情（社会的感情表現）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感情表現が、社会的な

印象には社会的感情表現がそれぞれ寄与しており、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を得ることができた。また、人に親密な印象を与える上で、友達になるなど、社会的結合を強める初期の段階では社会的感情表現が有効であるが、一緒に生活するなど、より社会的結合を強めた段階では、情動的感情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」機能と言えるものであり、ロボットが社会的存在として受け入れられるためには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。本研究の一部は科研費基盤研究(S)(25220004)の助成を受けた。

参考文献

- [1] Allman, T.: The Nexi Robot (2009).
- [2] Breazeal, C. and Brian, S.: A context-dependent attention system for a social robot, 1999 International Joint Conference on Artificial Intelligence, pp.1254-1259 (1999).
- [3] 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).
- [4] 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).
- [5] Ekman, P.: Facial expression and emotion, *American psychologist*, vol.48, No.4, pp.384-392 (1993).
- [6] Ekman, P., Friesen, W. V., 工藤力(訳): 表情分析入門 (2003).
- [7] Endo, N., Momoki, S., Zecca, M., Saito, M., Mizoguchi, Y., Itoh, K., and Takanishi, A.: Development of whole-body emotion expression humanoid robot, *Robotics and Automation(ICRA 2008)*, pp.2140-2145 (2008).
- [8] 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).
- [9] Hashimoto, T., Senda, M. and Kobayashi, H.: Realization of realistic and rich facial expressions by face robot: *Robotics and Automation*, Vol.2, pp.1123-1128 (2004).
- [10] Russel, J.A.: Circumplex Model of Affect, *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol.39, No.6, pp.1161-1178 (1980).
- [11] Kanoh, M., Kato, S., and Itoh, H.: Facial expressions using emotional space in sensitivity communication robot" Ifbot", *Intelligent Robots and Systems(IROS2004)*, Vol.2, pp.1586-1591 (2004).
- [12] 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*. Springer Berlin Heidelberg, Vol.6259, pp.16-27 (2010).
- [13] 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).
- [14] 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, *the SIGCHI Conference on Human Factors in Computing Systems*. ACM, pp. 695-704 (2012).
- [15] 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).
- [16] 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).
- [17] Mehrabian, A., 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).
- [18] Takahashi, H., Terada, K., Moriya, T., Suzuki, S., Haji, T., Kozima, H., Yoshikawa, M., Matsumoto, Y., Omori, T., Asada, M. and Naito, E.: Different impressions of other agents obtained through social interaction uniquely modulate dorsal and ventral pathway activities in the social human brain, *cortex*, vol.58, pp.289-300 (2014).
- [19] Tanaka, K., Yamashita, N., Nakanishi, H. and Ishiguro, H.: Teleoperated or Autonomous?: How to Produce a Robot Operator's Pseudo Presence in HRI, *The Eleventh ACM/IEEE International Conference on Human Robot Interaction*. IEEE Press, pp.133-140 (2016).
- [20] 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, pp97-102 (1978).
- [21] Watanabe, M., Ogawa, K. and Ishiguro, H.: Can Androids Be Salespeople in the Real World?, *the 33rd Annual ACM Conference Extended Abstracts on Human Factors in Computing Systems*. ACM, pp.781-788 (2015).
- [22] 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).
- [23] 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).