

[研究助成 (A)]

高度な表現力を備えるアンドロイドの感性評価に基づく 対人印象制御法の開発

2241003



研究代表者
(助成金受領者)

立命館大学 デザイン・アート学部

教授

石 原 尚

[研究の目的]

本研究では、顔を含む身体の数多くの動作軸を時空間的に操ることで感情や気分といった様々な心情を人に近い表現で人に訴えかけるコミュニケーションロボットに、場面に応じて人に与える印象を適切に調整する能力を与えることを目指す。

ロボットに心情状態を人並みに表現させるには、ハードウェア・ソフトウェア両面での大きな革新が未だ必要な状況である。一方で、人の反応に対して心情表現をどのように変化させるべきか、また、変化のさせ方によって印象はどのように変わるのか、といった人の感性評価を含めた印象制御法の研究は、ロボットの表現力が今後増すほどに重要になっていくことは想像に難くない。高い心情表現能力と印象制御能力を兼ね備えたロボットの実現により、機械であるロボットが人に言語情報を伝える際に、その場に相応しい心情を表現することで、説得力を高めるだけでなく、過度に人の心情を揺さぶって不安を煽ったり、本来緊急性が高い情報を安直に受け止められったりしないように相手の反応を見ながら印象を調整することができるようになることが期待できる。

本研究は、このような未来の実現に向けて、ロボットの心情表現を人に調和させる技術の確立のための取り組みを実施するものである。

[研究の内容、成果]

上記の目的を踏まえ、ロボットの心情表現を人に調和させる技術の確立に必要な取り組みを実施した。具体的には、①動的な心情表現を人に調和させるアルゴリズムの実現、②心情表現を人に調和させる度合いの違いによるロボット印象の変化の調査、③顔部位動作が与える性格印象の評価と解析、④意識と無意識の葛藤の表現手法の開発、の4つの研究課題に取り組んだ。①および②に関しては、心情の基礎的な題材として、眠気や興奮の度合いを表す「覚醒度」を採用した。人の覚醒度の変化を時々刻々推定して、ロボットが自身の覚醒度をその推定値に追従するように変化させる深層的表情模倣の仕組みを提案し、その深層模倣が対人印象を全面的に向上させることを実験的に確かめた。③は、人に与える印象をより精度よく操れるようにするための取り組みである。ロボットの顔の動作箇所と伝達される印象の関係を把握する印象評価実験と解析を実施し、狙った印象となるように心情表現を行うためにはロボットが顔のどの部分を動かすのが望ましいかを決定するために必要な知見を得た。④は、印象を操る手段を増やすために実施した取り組みである。人は無意識的にあくびなどの顔運動が発生した際、意識的にそれを抑制しようとするも、抑制は完全にはうまくいかず、半目になったり、逆に目に変に見開いたりするような葛藤の様子を示す。このような意識・無意識の葛藤の表現は、人ら

しい意識の存在や意思の強さ・弱さを人に伝えるうえで有用である可能性があるため、本研究で表現の仕組みの開発に取り組み、一定の成果を得た。

研究課題①については、(a) アンドロイド頭部の導入、(b) アンドロイド頭部への自動覚醒度表現生成アルゴリズムの搭載、(c) 人の覚醒度の推定、(d) 推定した人の覚醒度へのロボット側の覚醒度の追従アルゴリズム（深層表情模倣アルゴリズム）の実装、をこの順で実施した。

(a) では、合計で 16 の動作箇所を有するアンドロイド頭部を、ロボット開発企業の汎用モデル（株式会社 A-Lab 製）を一部特注改変する形で購入した（図 1）。

購入したアンドロイドには、顔の各動作部の位置を 0 から 255 までの値で指定することができるソフトウェアが同梱されている。ただし、人の動作部とはある程度対応するものの異なるため、このままでは人のような表情を設計することは難しい。そこで、アンドロイドの各動作部を動かした際に顔にどのような変形が現れるかを一つずつ確認し、各動作部の位置の指令値（0 から 255）と、人の顔動作（口角挙上など）の出現レベル（-1 から 1）を関係づけるマップを作成した。このマップを利用することで、人の顔動作を想定する形でアンドロイドの表情を設計することが可能になる。

(b) では、(a) で導入したアンドロイド頭部に対して、仮想的覚醒度のパラメータを持たせ、そのパラメータで設定された覚醒度を表現する顔の動きを時々刻々と自動的に生成するア



図 1 導入したアンドロイド頭部

ルゴリズム（自動覚醒度表現アルゴリズム）を実装した。この仮想的覚醒度は、-1 から 1 の実数で表される値であり、-1 が強い眠気を、0 が平静状態を、1 が強い興奮を表す。この覚醒度をアンドロイドに表現させる手法として、申請者が先に提案した自動覚醒度表現アルゴリズム（Ishihara ら、Journal of Robotics and Mechatronics, 2024）を採用した。この手法は、人に現れる様々な無意識的な顔の運動（あくび、呼吸、眼球振動、首の揺れなど）の現れ方を再活性化する減衰波としてモデル化し、各運動の減衰波活性の重ね合わせによって複雑かつ合理的な表情を生成するものである。人の覚醒度が異なる際に各運動がどのように現れるかの観察結果に基づいて覚醒度と波形パラメータ（振幅、周期、減衰比、振動中心、再活性化時間）を適切に結びつけておくことで、アンドロイドの仮想的覚醒度の値を変化させた際、各運動の波形が自動的に変調して覚醒度変化を表現する仕組みになっている。この手法を (a) のアンドロイドに適用し、仮想的覚醒度を様々な値に設定した場合に適切な顔の動き（たとえば、中程度の眠気を示す -0.5 に設定した場合、瞼が重くゆらゆらと閉じかけて、首が不安定に前後に揺れ、軽いあくびが出るなど）が実現されることを確認した。

(c) では、人が顔を動かしている動画の画像フレームから顔各部の動作の出現度合いを抽出（オープンソースの顔運動抽出ソフトウェアである OpenFace を使用）し、出現の程度やその時間微分値、あるいは閾値以上の出現の頻度を計算し、それらを総合することで、人の覚醒度の程度を -1 から 1 の範囲の値として推定するアルゴリズムを開発した。

(d) では、(c) で推定した人の覚醒度に合わせるようにアンドロイドが自身の仮想的覚醒度を変化させる仕組みを開発した。これは、相手が眠くなるとこちらでも眠くなる、あるいは、相手が興奮しているところでも興奮する、といったような共感的な振る舞いを生み出すものであ

表層模倣－人顔運動を直接コピー

人顔運動をロボットの顔運動指令値に直接マッピング

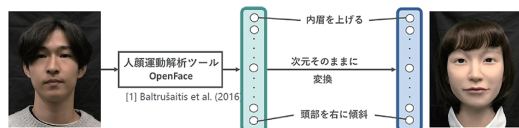


図2 表層模倣の概念図

深層模倣－人に合わせた気分で独自生成

人顔運動から気分を介してロボットの顔運動指令値を生成

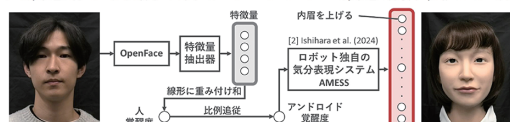


図3 深層模倣の概念図

る。単に顔の形態をなぞるように模倣する「表層模倣（図2）」とは異なるため、このような模倣を「深層模倣（図3）」と呼ぶものとした。

人の覚醒度の推定値は推定精度不足に起因して振動的に変動するため、そのままアンドロイドの仮想的覚醒度のパラメータに代入すると、アンドロイドが強い眠気であろうとした直後に興奮して目を見開いて息を荒げ、またすぐうとうとする、といったような情緒不安定な印象となることが判明した。そこで、ある時刻のアンドロイドの仮想的覚醒度の値は、前時刻の値と、人の推定覚醒度の値の内分となるような形を採用した。このような比例制約的な追従を採用することで、情緒不安定な印象を人に与えることなく、人の覚醒度が急に変化した際にもアンドロイドが覚醒度を大きく変化させるような、覚醒度の調和の仕組みを実現した。

研究課題②については、(e) 深層模倣の印象評価実験の実施、(f) 評価結果の統計解析、を実施した。

(e) では、研究課題①で開発した深層模倣がアンドロイドの印象をどのように変えうかを調査した。比較対象として、アンドロイドが平静状態を表現し続ける場合（非模倣条件）、アンドロイドが人の顔の形態を模倣する場合（表層模倣条件）、アンドロイドが深層模倣をしつ

つ、顕著な顔動作は表層模倣をする場合（多層模倣条件）を設けた。公平な比較のため、アンドロイドの模倣対象として、眠気や興奮を表現する人の動画を採用し、この動画の横に、アンドロイドによる各種模倣の様子を撮影した動画を並べた合成動画を作成し、それを実験刺激とした。150 名を対象として、人らしさ、生き物らしさ、好ましさ、知性の印象を問うオンラインアンケートで評価値を収集した。図4に、採用した人の動画（Human Video）、表層模倣（Postural Mimicry）、深層模倣（Mood Mimicry）、多層模倣（Multilayer Mimicry）のスナップショットを示す。

(f) では、上記 (e) で収集したデータに対して分散分析および多重比較を実施した。その結果、非模倣と比べて、深層模倣ではアンドロイドは上記の4項目全てにおいて高く評価された。表層模倣と多層模倣は、4項目全てにおいて深層模倣よりも高く評価された。この結果から、覚醒度を人に調和させる深層模倣は、より生き生きとして人らしく、好ましく、また知性のある印象を人に与えることができることが確認された。また、明示的で分かりやすい表層模倣と併用することでさらに強い印象を与えることができることも確認された。表層模倣は共感の表現としてわかりやすいもののわざとらしいため、長く継続することは現実的ではない。この深層模倣は、暗黙的な形で調和で長く共感を示す新しい手法として価値がある。この結果は、国内会議 Human Agent Interaction シンポ

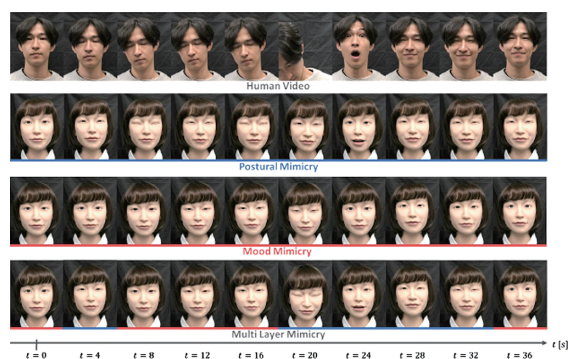


図4 各模倣による動きの比較

ジウムにおけるポスター発表にて公表した [1]。現在、論文原稿の準備が整ったところであり、近日中に査読付き論文誌に投稿予定である。

研究課題③については、(g) 顔部位動作が与える性格印象の主効果の評価実験と解析、(h) 顔部位動作が与える性格印象の交互作用の評価実験と統計解析、を実施した。

(g) では、アンドロイドの顔の各部位の動き毎に、個人的親しみやすさ、社会的望ましさ、力強さ、の3つの観点で伝わる印象の違いを実験的に評価した。口角を挙げる動き、眉を挙げる動き、口を開く動き、頭部を上に向ける動きなどを様々に組み合わせて動かした様子（組み合わせは実験計画法に則り決定）を撮影し、100人を対象として、その動画から感じる印象をオンラインアンケートで収集した。ある単一の動きがそれ単体でどの印象を変えるかという主効果を解析したところ以下のような知見が得られた。まず、個人的親しみやすさは、目を細める動きと頭部を上に向ける動きによって低減し、口を窄める動きと口を開く動きでは向上した。社会的望ましさは、目を細める動きで低減し、口を窄める動きと口を開ける動きで向上した。力強さは、口角を挙げる動き、眉を挙げる動き、頭部を上に向ける動きで向上した。これは、顔部位を動かす毎に性格印象を変化させる情報が人に伝達されていることを示している。所望の性格印象を人に与えようとする場合には、これらの部位はむやみやたらに動かすことは避け、所望の印象が維持されるように動かす場所と向きを決定すべきであると考えられる。より高精度に印象を制御するうえで有用なこの知見は、国内会議 Human Agent Interaction シンポジウムにおけるポスター発表にて公表した [2]。その後、認知科学誌に原著論文として採録され、2026年6月に掲載された [3]。

(h) では、上記の (g) を発展させた研究として、顔各部が他の部位の動きと組み合わせさせて初めて伝わる印象があるか（交互作用）を実

験的に検証した。交互作用の確認に必要な組み合わせは、実験計画法に則り決定した。その結果、統計的に有意な交互作用は確認されなかった。この結果は、顔部位を動かすことによる印象伝達を図る場合、他の動きとの組み合わせを考慮する必要は無いという、印象制御の実現上非常に都合のよい結果である。この成果は、現在論文誌投稿に向けて原稿執筆中である。

研究課題④については、(i) 意識・無意識の葛藤を表現する手法の構築、(j) 葛藤表現により伝わる印象の評価、を実施した。

(i) では、無意識の眠気を意識的に抑制しようとする葛藤した表情は、眠気による無意識な動きを意識が完璧に抑制できない様子によって表現されるという仮説を立て、表現手法を構築した。真顔を維持しようとする意識的な抑制が不足して無意識のあくびの動きが優勢的に漏れ出たり、逆に抑制が過剰になって通常では生じない変な動き（あくびで目が閉じるのに抗おうとかえって目が開きすぎるなど）になったりするなど、抑制がうまくいっていない様子が様々な動きとして顔に現れるためには、「無意識システムが生成する動作信号が時々刻々変化すること」「無意識の動作信号を意識システムが遅れて検知すること」「実現しようとする真顔と実際の顔姿勢の差分を意識システムが非線形に知覚すること」「意識システムが注意を向けて操れる顔部位の数が、無意識システムが操る顔部位に比べて少ないこと」の4つの条件が揃う必要があるとの作業仮説を設け、図5のようなシステムを構築した。

このシステムを動作させた場合、図6のようにロボットが動作する。図左は、ある時間帯の口を開ける動きを取り出して示したものである。値が正に向かうほど口が開いていることを

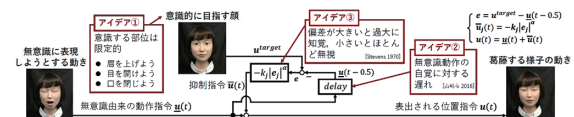


図5 意識・無意識の葛藤表現システム



図6 葛藤システムの挙動の例

意味し、今回の場合、眠気を表現する無意識側のシステムは値を正の方に増加させようとし（あくびの実行）、意識側のシステムは、それを抑制しようと負の方向に値を動かすものとなっている。

このシステムの基本的な振る舞いは国内会議 Human Agent Interaction シンポジウムで公表した [4]。また、このシステムに含まれる各種パラメータを変更した際の出力信号の調査結果については、国内会議のシンポジウムで口頭発表を行い [5]、現在査読付きの国際会議に投稿準備中である。

(j) では、上記 (i) で開発したシステムにおける、意識が無意識を抑制する強さ（図5の比例ゲイン k ）を様々に変えた際に伝わる印象がどのように変化するかを実験的に評価した。意識的抑制無しの条件、中程度の抑制がかかる条件、強い抑制がかかる条件、の3条件で動作させたアンドロイドの表情の動画を実験刺激とした。100人を対象として、人らしさ、生き物らしさ、好ましさ、知性、の4項目の印象を問うオンラインアンケートを実施し、評価値を収集した。その結果、これら4項目について、抑制が無い場合に比べて、抑制がかかると印象が向上する結果となった。すなわち、無意識に生じるような動きを強く抑えようとするも、完全にはうまく抑えきれない、という様子をダイナミックにロボットに表現させることで、より人らしく、活き活きとして、好ましく、また知性

がある印象を与えられる可能性を示すものである。研究課題①と②で利用する深層模倣では、無意識の覚醒度表現を用いるため、この表現と併せた利用による印象の調整にも利用できる可能性がある。この成果は、現在論文誌投稿に向けて原稿執筆中である。

上述の通り、本研究では、アンドロイドの心情を人に調和させる表現手法に関する様々な仕組みの開発と評価に取り組んだ。人の顔運動から推定される覚醒度を模倣する深層的表情模倣の仕組みを開発し、アンドロイド対人印象の全面的向上を確認した。また、印象制御の高精度化に向けて、顔部位毎に伝わる性格印象の違いを評価し、確かめた。さらに、印象制御の手段拡充に向けて、意識・無意識の葛藤の様子を表現させる仕組みを開発し、印象改善効果を評価し、確かめた。

[成果の発表、論文など]

- [1] 木下邑輝, 平山聖輝, 大原颯太, 林里奈, 石原尚. 情動的共感表現の実現に向けた多層模倣システムの開発とアンドロイド実装. HAI シンポジウム, 近畿大学東大阪キャンパス. 2026年2月27日.
- [2] 大原颯太, 林里奈, 吉田尚弘, 西井尋紀, 萩原広道, 石原尚, 大須賀公一. アンドロイドの笑顔を構成する顔動作が人格特性の印象に与える影響の予備的解析. HAI シンポジウム, 近畿大学東大阪キャンパス. 2025年3月1日.
- [3] 大原颯太, 林里奈, 吉田尚弘, 西井尋紀, 萩原広道, 石原尚, 大須賀公一. アンドロイドの笑顔を構成する顔動作が人格特性の印象に与える主効果の解析. 認知科学. 33(2), pp. 165-176. 2026.
- [4] 平山聖輝, 木下邑輝, 大原颯太, 林里奈, 石原尚. 意識と無意識のせめぎあいによるアンドロイドのかわいい仕草の動的表現. HAI シンポジウム, 近畿大学東大阪キャンパス. 2026年2月27日.
- [5] 石原尚. 赤ちゃんの身体に学ぶ未来のロボットのデザイン. 日本赤ちゃん学会大会企画シンポジウム, 神奈川県相模原市. 2025年8月22日.