# 液晶虹彩を用いたロボット眼球の感情伝達評価に向けた実機プラットフォームの設計と実装

forgottencow

## 概要

人と関わる家庭用ロボットには、言語だけでなく状態や感情を伝える非言語表現が求められる。視線方向や目元の変化は感情知覚に影響する一方、口や眉までを備えた顔面ロボットは機構・制御が複雑になりやすい。そこで本研究では、表現要素を眼球領域に集約し、まぶた開度・視線方向・虹彩色の 3 つのパラメータが 6 基本感情の認識にどのように寄与するかを、実機を用いた評価実験により検証する。実機はサーボ駆動の物理眼球と 1.28 インチ円形液晶による虹彩描画を組み合わせた構成であり、2026 年 5 月の展示で基盤部分を公開した後、7 月にまぶた機構と左右両眼の液晶を 3D プリント製の頭部筐体へ統合し、視線・まぶた・虹彩色を一括して操作できる実機と操作 UI を完成させた。本稿では、実装の現状と、6 感情×パラメータ組合せ 7 通り、計 42 条件を $N = 30$ で評価する実験設計、および 2026 年 8 月に米子市で予定している実環境での予備的検証について報告する。

## 1. はじめに

大規模言語モデルの進化を背景に、今後ロボットが家庭環境に普及していくことが予見される。家庭で人と関わるロボットには、タスクの遂行能力だけでなく、状態や感情を直感的に伝える非言語表現が重要となる [1, 2]。

人間同士の会話において、視線方向は顔から知覚される感情に影響することが示されている [3]。一方、口・眉・頬・表情筋といった多数の顔要素を備えた顔面ロボットは機構・制御の実装が複雑になりやすく、個人や小規模ラボでの再現・検証の敷居が高い。顔要素を増やすことで、要素間に質感や動きの不一致が生じる可能性も増える。この種の違和感は不気味の谷の文脈で議論されており [4]、先行研究では顔の各特徴におけるリアリズムの不一致が不気味さを高めることが示されている [5]。眼球領域への集約は、実装の複雑さを避けるだけでなく、こうした不一致が生じうる要素を限定する設計判断でもある。そこで本研究では、顔全体ではなく眼球領域に表現要素を集約し、物理的なまぶた機構・眼球の向きの制御・液晶に表示する虹彩表現を同一実機上で組み合わせ、まぶた開度・視線方向・虹彩色の 3 つのパラメータが基本感情の認識にどのように寄与するかを、参加者を対象とした評価実験によって検証する。

本稿では、(1) 関連研究と文献調査に基づく本研究の位置づけ、(2) 実機プラットフォームの設計と実装の現状、(3) 42 条件を用いた評価実験の設計、について述べる。

## 2. 関連研究

### 2.1 ロボットの顔と目のデザイン

ロボットの顔デザインが人の印象に与える影響は、これまで広く研究されてきた。Kalegina らは画面描画されたロボットの顔 157 件を 76 項目で分類し、顔パーツの有無やスタイルが印象評価に与える影響を整理した [6]。Bennett & Šabanović は、表情伝達に必要な最小限の顔パーツ構成を複数の実験を通じて検討した [7]。また、Zhu らは目のデザインの視覚的複雑性・瞬き率・視線逸脱がロボットの信頼性知覚に与える影響を、スマートフォン画面を顔面としたロボットで評価し、視覚的複雑さと視線逸らしが信頼性を有意に向上させることを示した [8]。キャラクターらしい外観と表情を持つ実機としては Hatsuki[9] が存在するが、目の各表現要素が感情認識に与える影響は十分に検証されていない。

### 2.2 目の構成要素による感情表出

目の個別の構成要素が感情の手がかりとなることは、先行研究で個別に示されている。Onchi らは一つ目の 2D アバターにおけるまぶた位置が感情の意味づけに影響することを示した [10]。Adams & Kleck は視線の直視・逸らしが表情から知覚される感情を変化させることを報告した [3]。Löffler らは色・動き・音による情動表現を体系的に評価し、感情ごとに有効なモダリティが異なること（例えば喜びは色と動き、怒りは色）を示した [11]。近年では、ロボットの目の色・瞳孔サイズ・視線方向・頭部姿勢

† 慶應義塾大学　環境情報学部

が感情知覚に与える影響 [12] や、人・ロボットの顔における眼球領域のみでの感情認識の可能性 [13] も検討されている。

### 2.3 文献調査に基づく本研究の位置づけ

本研究に先立ち、特別研究プロジェクトの期間中に、人とロボットの親和性を高めるインタフェース設計をテーマとして、PRISMA 2020 を報告指針として参照しながら文献調査を実施した [14, 15]。ACM Digital Library および IEEE Xplore から収集した 1,083 件をスクリーニングし、最終的に採択した 5 件を精読して整理した結果、本研究に関わる知見として次の 3 点が得られた。

第一に、まぶたや視線といった動きの要素と、虹彩の色といった見た目の要素を、同一の実機上で独立に操作して比較した研究は少ない。本調査の検索式および採択基準の範囲では、複数の要素を並列に比較した研究として該当したのは Löffler ら [11] であった。そこで比較されたのは、本体が発する光の色・移動の仕方・ビープ音の 3 要素である。感情ごとに有効な要素が異なること（喜びは色と動き、悲しみは音）を示した重要な先行研究だが、目の表現を扱ったものではない。Zhu ら [8] は、目の見た目（虹彩の描き込みの細かさ）と目の動き（瞬きの頻度、視線を逸らす動作）がロボットの信頼感に与える影響を調べたが、要素ごとに参加者の群を分けて別々に検証しており、同一の参加者で見た目と動きを組み合わせた場合の効果は測定していない。Calvo-Barajas ら [16] は、顔と声の人間らしさ（見た目）と、相手の言葉づかいに合わせて応答する行動を同時に操作したが、対象は 7〜10 歳の子どもに限られる。第二に、評価の多くは実験室環境で行われており、実環境での検証は少ない。第三に、質問紙などの主観的な評価と、行動に基づく指標が一致しない場合があることが報告されている。例えば Salem ら [17] では、誤作動を起こすロボットに対する質問紙上の信頼は低下したが、そのロボットの指示に従う行動は減らなかった。Calvo-Barajas ら [16] でも、質問紙による主観的信頼には条件差がなかった一方、外見の人間らしさは行動に基づく social trust に、言語行動の人間らしさはロボットの提案受容に影響した。

本研究ではこれらを踏まえ、(1) 3 つのパラメータを同一実機上で独立に操作して単独および組合せの寄与を測定し、(2) 知覚された感情のカテゴリ回答、意図ラベルとの一致から算出する認識正答率、自己報告による確信度、回答選択時間を併用する。物理眼球と液晶虹彩を組み合わせた立体的な目の表現は画面上の顔表示では再現しにくいため、実機プラットフォームを構築して評価を行う。

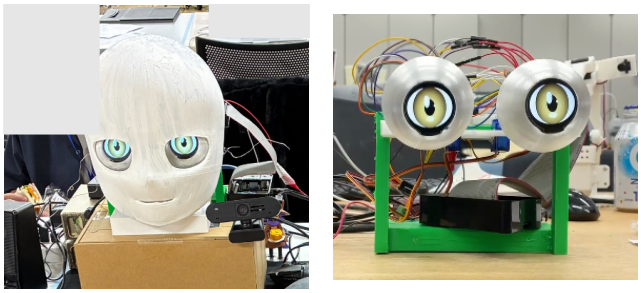

図 1　基盤部分の外観（左）と物理眼球サーボ・液晶の内部配線（右）（2026 年 5 月時点）

## 3. 実機プラットフォームの設計と実装

### 3.1 全体構成

開発した実機は、眼球領域の表現に特化したロボットプラットフォームである。オープンソースのアニマトロニクス設計 [18] のサーボ駆動眼球機構を参照しつつ、眼球部を液晶ディスプレイに置き換えた構成を採用している。実機は、(a) 左右各眼の水平・垂直 2 軸（計 4ch）のサーボによる物理眼球の向き制御、(b) 眼球前面の 1.28 インチ円形液晶（左右 2 枚を共有 SPI バスで駆動し同一の虹彩像を表示）による虹彩描画、(c) 左右各 1ch のサーボによるまぶた駆動、(d) 対話相手の顔を捉えるウェブカメラ、(e) 音声合成、から構成される。計 6ch のサーボは PCA9685 サーボドライバを介して I2C で制御し、サーボ電源は制御系と分離した外部安定化電源から供給する。音声対話の機能は搭載済みであるが、本実験では音声を用いず、無発話の状態で表出のみを提示する。音は単独でも強い感情の手がかりとなることが示されており [11]、視覚 3 パラメータの寄与を音の影響から切り分けるためである。音声を含む表出の評価は、本実験の結果を踏まえた次の段階とする。基盤部分は 2026 年 5 月の生成 AI 関連展示で公開した（図 1）。

2026 年 7 月には、これらの基盤に後述のまぶた機構を加え、3D プリント製の顔面シェルへ両眼・まぶた・ウェブカメラを統合した（図 2）。統合後の実機では、PC 上の操作 UI（頭部 3D モデルとカラーパレットを表示）から視線・まぶた・虹彩色を一括して操作でき、虹彩色は動作中に動的に変更できる（図 3）。

### 3.2 液晶虹彩の描画

虹彩の描画には、Waveshare 製 1.28 インチ円形 LCD（GC9A01 コントローラ）を用い、Raspberry Pi から SPI 接続で駆動する。実験では、眼球部を含む筐体を濃色で統

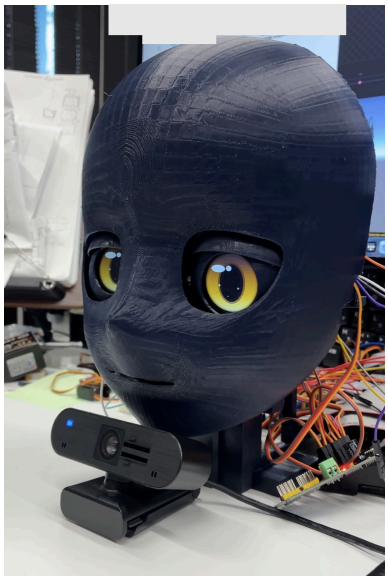

図 2　頭部筐体への統合後の実機（2026 年 7 月時点）

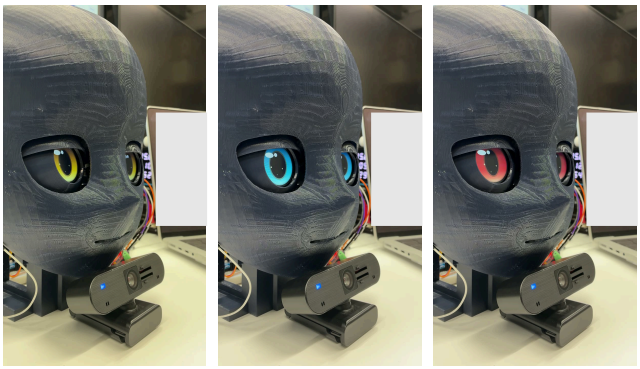

図 3　操作 UI からの虹彩色の動的変更（左から黄・青・赤）

一した現行の構成を用いる。眼球周囲の色は虹彩色の見えに影響しうるため、全条件で一定に保つ。また、要素を削った無機質な外観は、1 章で述べた要素間の不一致の蓄積を避ける設計判断と一貫させる。筐体色そのもの（白色や肌色、白目の有無）が感情知覚に与える影響は、本実験の結果を踏まえた今後の課題とする。虹彩はソフトウェア上で描画されるため、色相・彩度・明度（HSV）をパラメータとして動的に変更でき、虹彩色を独立変数として操作する実験に適する。なお、虹彩上のハイライトは感情の見え方に影響しうるため [10]、評価実験では全条件で同一に保ち、操作対象としない。

### 3.3　まぶた機構

開・半開・閉の 3 状態を基本とするまぶたサーボ機構を実装した。3D プリント部品（まぶた本体・固定リンク・サーボリンク・ブラケット）の試作を重ねて確定した部品群を頭部筐体へ組み付け、左右各 1ch のサーボリンクによる開閉動作を実機上で確認した。3 状態の静的保持に加え、状態間の遷移速度を制御することで瞬きや目を細める動作などの動的表現にも対応し、視線移動と連動した動作も確認した。

表 1　各感情の候補設定（第 1 候補）。※は対応する報告が乏しく、予備実験で複数候補を比較する。

| 感情 | まぶた | 視線 | 虹彩色（HSV の目安） |
|---|---|---|---|
| 喜び | 開 | 正面 | 黄（45, 100, 100） |
| 驚き | 最大開 | 正面 | 高明度の白系※ |
| 怒り | 細め | 正面 | 赤（0, 100, 100） |
| 恐れ | 大きく開 | 左右へ逸らし | 暗色（–, 0, 20） |
| 悲しみ | 半開 | 下方 | 暗い青（230, 40, 40） |
| 嫌悪 | 半閉 | 逸らし・やや下 | 低明度の緑系※ |

### 3.4　表出パラメータと表出シーケンス

評価実験に向け、各表出条件を実機上で再現するための設定値を統一的に管理する。まぶた開度はサーボ角度、視線方向は眼球の水平・垂直角度、虹彩色は液晶上の HSV 値として記録する。各感情に対応する候補値は、まぶたは閉じ・半開き・開きから [10]、視線は正面・左右・上下から [3] 設定する。虹彩色は、先行研究で用いられた色と感情の対応を候補値の出発点とする。具体的には、怒りには赤 [11, 12]、喜びには明るい黄系、悲しみには暗い青系、恐れには明度の低い暗色 [11] を候補とし、明るさを落とした色が嫌悪や悲しみの評定を高めるという報告 [12] も反映する。これらは有効性が確立した設定ではなく、対応する色の報告が乏しい感情（驚き・嫌悪）を含め、予備実験で複数の候補を比較して定める。各感情の第 1 候補を表 1 に示す（視線は、接近志向の感情では直視、回避志向の感情では逸らしとする [3]）。いずれの候補も予備実験で確定する。

虹彩色の変更と視線・まぶたの操作は操作 UI 上で実装済みであり、各表出はこれらを時系列に合成して、中立状態から目標表出への遷移と保持を含む約 5 秒の動作シーケンスとして実装する。本実験用の計 42 種のシーケンスは、予備実験で確定した設定値から合成する。

## 4.　評価実験の設計

### 4.1　実験条件

対象とする感情は、表情研究で広く用いられる基本感情分類に基づき [19]、怒り・嫌悪・恐れ・喜び・悲しみ・驚きの 6 感情とする。実験条件は、この 6 感情を、まぶた開度・視線方向・虹彩色の 3 つのパラメータの組合せ 7 通り（まぶたのみ／視線のみ／虹彩色のみ／まぶた＋視線／ま

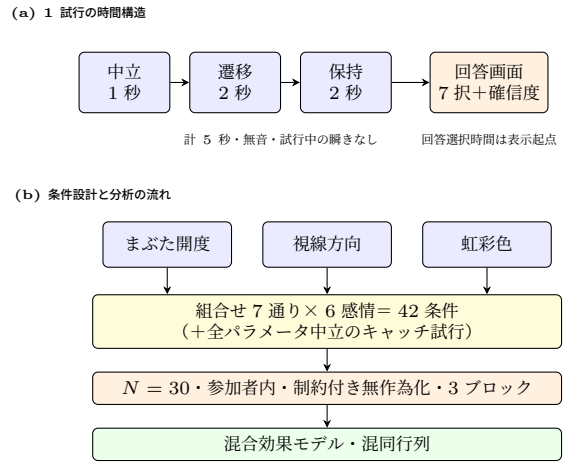


図 4　実験の構成。(a) 1 試行の時間構造。(b) 条件設計から分析までの流れ。

ぶた＋虹彩色／視線＋虹彩色／全 3 パラメータ）で表現した計 42 条件である。あるパラメータを用いる場合はその感情に応じた設定値を適用し、用いない場合は中立状態とする。なお、左右の眼には同一の虹彩像を表示し、まぶた開度・視線方向も左右同値の対称表出に固定する（左右差は操作しない）。実験全体の構成を図 4 に示す。

### 4.2　仮説

本実験では以下の 2 つの仮説を検証する。(1) 感情ごとに認識に寄与するパラメータは異なる。(2) 複数のパラメータの組合せによる認識率・確信度の向上量は感情ごとに異なる。これらは、感情ごとに有効なモダリティが異なることを示した Löffler らの知見 [11] を、眼球領域内の 3 つのパラメータに対して検証するものである。なお、Löffler らでは 3 つのモダリティの組合せは最良の 2 つの組合せを明確には上回らなかったことから、本実験でも組合せの効果は感情ごとに頭打ちとなる可能性を想定する。あわせて、眼球領域の表現だけでは伝わりにくい感情があるかどうかも調べる [13]。

### 4.3　先行研究の実験設計との対応

本実験の設計は、先行研究の実験設計を下敷きにしている。Löffler らは、色・音・動きの計 57 種の候補表現を操作チェック（$n = 22$）で 12 表現に絞り込み、単独および組合せ計 28 刺激を 33 名に提示して、4 感情の強制選択と確信度で評価した [11]。「予備実験で候補を絞り込み、本実験で単独・組合せ計 42 条件を評価する」という本実験の二段階の構成は、この設計を眼球領域内の 3 つのパラメータに置き換えたものである（各パラメータの候補値の根拠は 3.4 節）。また、眼球領域のみでの感情認識を全顔と比較した Mishra ら [13] は、伝わる感情と伝わりにくい感情を切り分けるという本実験の問いの直接の前例にあたる。

そのうえで、本実験の設計を次のように定める。回答は 6 感情に「中立」を加えた 7 択とし、どの感情にも見えない表出を無理にいずれかの感情へ割り当てさせない。刺激は各試行 1 回のみ提示し（Löffler らは再生を自由としたが、回答選択時間を測定するため提示回数をそろえる）、シーケンス終了後に回答画面を提示する。時間構成は図 4 の通りである。見知らぬ相手からの直視について、好まれる持続時間の平均が約 3.3 秒と報告されていること [20] を参考に、本実験では保持時間を 2 秒とした。パラメータを「用いない」場合の中立状態は、それ自体が視覚的な手がかりとなりうる（例えば正面の視線は注視として読まれうる）ため、予備実験でどの感情にも見えないことを確認した設定を中立として用いる。あわせて全パラメータ中立のキャッチ試行を加え、正答率が 75% を下回る参加者は分析から除外する。予備実験の採択基準は、意図した感情として選ばれる割合が 70% 以上かつ確信度の中央値が 4 以上とし、実施前に固定する。提示順は同一感情が連続しない制約を課した無作為化とし、動作の遷移速度と瞬きの有無、照明・背景・参加者との距離は全条件で一定に保つ。

### 4.4　手続きと測定指標

参加者は実機と対面し、1 試行ごとに約 5 秒の動作シーケンスを観察する。各試行では、提示された表出が 6 感情と「中立」のどれに見えるかを 7 択で回答し、あわせて判断の確信度を回答する。また、回答画面の表示から選択までの回答選択時間を記録し、知覚された感情と実験者が意図したラベルとの一致から認識正答率を算出する。質問紙による評価と行動に基づく指標が一致しない場合があるという知見 [17, 16] を踏まえ、本実験では、知覚された感情のカテゴリ回答、認識正答率、自己報告による確信度、回答選択時間を併用し、表出の分かりやすさを多面的に捉える。

本実験に先立ち、8 名程度の予備実験によって各感情に対応するまぶた・視線・虹彩色の設定値を確定する。予備実験では複数の候補設定を実機上で提示し、意図した感情として選ばれる割合が高く、他の感情との混同が少ない候補を本実験の設定値として採用する。これにより、本実験は設定値の探索ではなく、パラメータの有無と組合せが感情認識に与える効果の評価に焦点を絞る。

### 4.5 分析方針

本実験では、同一の参加者が 42 条件すべてを評価する参加者内計画とする。先行するロボットの顔・目の感情評価研究（Onchi ら [10]: 31 名、Löffler ら [11]: 33 名）を参考に $N = 30$ を目標とし、全体で 1,260 件、感情ごとに 210 件の回答を得る。主分析では、意図した感情と回答の一致を従属変数、各パラメータの有無・感情・それらの交互作用を説明変数とし、参加者差をランダム効果として扱う混合効果モデルにより検定する。さらに、各パラメータを含む条件と含まない条件の認識率を比較し、どの感情がどのパラメータに強く依存するかを混同行列とともに示す。なお、参加者内計画や強制選択形式は認識率を押し上げうることが報告されている [21]。このため本実験の結果は、条件を揃えた環境で選定した表現群を比較したときの、相対的な寄与として解釈する。日常の環境でも同じように伝わるかどうかは、実環境での検証と今後の課題に位置づける。全条件で認識率が低い場合でも、眼球領域のみで伝達できる範囲の限界を定量的に示す知見として報告する。

## 5. 進捗と今後の展望

### 5.1 現在の進捗

2026 年 7 月下旬時点の進捗は以下の通りである。

- 完了: 基盤部分の統合と 2026 年 5 月の展示での基本動作公開。まぶたサーボ機構の組付けと動作確認。両眼液晶・まぶた・ウェブカメラの頭部筐体への統合。電装系統の整備（PCA9685 による 6ch サーボ制御・外部電源系統・配線資料）。虹彩色の変更を含む操作 UI。
- 進行中: 表出シーケンスの作成・再生の仕組みの実装、未来構想キャンプ（米子市）に向けた準備。
- 未着手: 実験計測系（回答 UI・反応時間記録）の構築。

### 5.2 今後のスケジュール

今後のスケジュールを表 2 に示す。

### 5.3 想定される課題

第一に、予備実験で各感情の設定値が十分に分離できない可能性がある。特に嫌悪・恐れは眼球領域のみでは混同されやすいことが予想され [13]、その場合は候補設定の追加や、混同パターン自体を知見として報告する方針を取る。第二に、まぶた機構のサーボ動作音が感情知覚に干渉する可能性があり、遮音などの対策を検討する。第三に、参加者内計画で 42 条件を評価するため、疲労と学習効果への対策として制約付き無作為化とブロック間の休憩（3 ブロック、各 16 試行程度）を設計する。第四に、本実験の結果は予備実験で採用した設定値（表現例）に依存するため、パラメータ一般への一般化には複数の設定値による再現が必要である。

表 2　今後のスケジュール

| 時期 | 主な活動 |
|---|---|
| 8 月上旬 | 表出シーケンスの作成・再生系の実装、キャンプ準備 |
| 8 月中旬 | 未来構想キャンプ（米子市）での体験会・実環境予備検証 |
| 9 月 | 予備実験（設定値の確定）、42 種のシーケンス確定、本実験準備 |
| 10 月 | 本実験実施（$N = 30$）、データ収集 |
| 11 月 | SFC ORF ポスター発表 |
| 12 月–1 月 | 分析、HAI シンポジウム 2027 投稿 |

### 5.4 今後の展望

本実験で得られる感情ごとに有効なパラメータの知見は、目の表現を用いるロボットの感情表出設計の指針となる。直近では、2026 年 8 月中旬に米子市・皆生温泉観光センターにおいて、高齢者を含む一般来訪者約 20 名を対象とした体験会を実施し、目の表現が対話中の感情・態度としてどのように認識されるかの実地データを収集する予定である。キャンプでは、参加する高校生が表現候補の設計に加わる。高校生が設計した候補と体験会での認識結果は、9 月の予備実験の候補集合と実験手順の改善に用いる。これは文献調査で指摘した実験室環境への偏りを補う、実環境での検証として位置づける。その先では、認識可能と分かった表現を対話中の反応（相槌や傾聴の表現など）に組み込み、対話場面での印象評価に展開することを検討している。

## 6. まとめ

本稿では、まぶた開度・視線方向・虹彩色の 3 つのパラメータが基本感情の認識に与える寄与を実機で評価するためのプラットフォームの設計と実装について報告した。物理眼球サーボ・液晶虹彩・まぶた機構を頭部筐体へ統合した実機と操作 UI は完成しており、今後は 42 種の表出シーケンスを実装し、8 月の実環境での体験会と予備実験を経て $N = 30$ の本実験を実施する。これにより、眼球領域の表現のみで伝達可能な感情の範囲と、感情ごとに有効なパラメータを明らかにする。

## 付録：文献調査の検索条件

2.3 節の文献調査の検索条件を以下に示す。検索は特別研究プロジェクトの期間中（2026 年春学期）に実施した。データベースは ACM Digital Library および IEEE Xplore を用い、検索式は両データベース共通で以下とした。

```
("human-robot interaction" OR "HRI")
AND ("humanoid" OR "social robot") AND
("appearance" OR "gesture" OR "nonverbal"
OR "dialogue" OR "anthropomorphism") AND
("affinity" OR "acceptance" OR "likability"
OR "trust")
```

取得件数は ACM 1,009 件、IEEE 74 件の計 1,083 件である。重複 16 件を除去した 1,067 件に対し、タイトルとアブストラクトに基づくスクリーニングで 1,031 件を除外し（英語以外、査読なし、ポスター・ワークショップ提案等、サーベイ論文、social robot または humanoid を対象としない研究、healthcare・autism・MR/AR/XR を主題とする研究）、36 件を全文評価の対象とした。全文評価では、(1) 査読付きフルペーパーであること、(2) 物理的実体を持つロボットを対象とすること（動画・シミュレーションによる評価を含む）、(3) 人間参加者を含む実験を実施していること、(4) 外見・行動・対話のいずれかの要素を独立変数として操作していること、(5) 従属変数に信頼・受容・好感などの対人評価、または表出に対する知覚評価（感情認識精度等）を含むこと、(6) 定量評価を含むこと、を採択条件として 31 件を除外し、最終的に 5 件を採択した。

## 参考文献


[1] Cynthia Breazeal. Toward sociable robots. *Robotics and Autonomous Systems*, Vol. 42, No. 3-4, pp. 167–175, 2003.

[2] Iolanda Leite, Carlos Martinho, and Ana Paiva. Social robots for long-term interaction: A survey. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 5, No. 2, pp. 291–308, 2013.

[3] Reginald B. Adams and Robert E. Kleck. Effects of direct and averted gaze on the perception of facially communicated emotion. *Emotion*, Vol. 5, No. 1, pp. 3–11, 2005.

[4] Masahiro Mori, Karl F. MacDorman, and Norri Kageki. The uncanny valley [from the field]. *IEEE Robotics & Automation Magazine*, Vol. 19, No. 2, pp. 98–100, 2012.

[5] Karl F. MacDorman and Debaleena Chattopadhyay. Reducing consistency in human realism increases the uncanny valley effect; increasing category uncertainty does not. *Cognition*, Vol. 146, pp. 190–205, 2016.

[6] Alisa Kalegina, Grace Schroeder, Aidan Allchin, Keara Berlin, and Maya Cakmak. Characterizing the design space of rendered robot faces. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 96–104, 2018.

[7] Casey C. Bennett and Selma Šabanović. Deriving minimal features for human-like facial expressions in robotic faces. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 6, No. 3, pp. 367–381, 2014.

[8] Xinyu Zhu, Xingguo Zhang, Zinan Chen, Zhanxun Dong, Zhenyu Gu, and Danni Chang. The trusted listener: The influence of anthropomorphic eye design of social robots on user's perception of trustworthiness. In *Proceedings of the 2022 CHI Conference on Human Factors in Computing Systems*, pp. 1–13, 2022. Article 571.

[9] Pin-Chu Yang, Mohammed Al-Sada, Chang-Chieh Chiu, Kevin Kuo, Tito Pradhono Tomo, Kanata Suzuki, Nelson Yalta, Kuo-Hao Shu, and Tetsuya Ogata. HATSUKI: An anime character like robot figure platform with anime-style expressions and imitation learning based action generation. In *Proceedings of the 29th IEEE International Conference on Robot and Human Interactive Communication (RO-MAN)*, pp. 384–391, 2020.

[10] Eiji Onchi, Daniel Saakes, and Seung Hee Lee. Emotional meaning of eyelid positions on a one-eyed 2D avatar. In *Proceedings of the International Symposium on Affective Science and Engineering (ISASE 2020)*, pp. 1–4, 2020.

[11] Diana Löffler, Nina Schmidt, and Robert Tscharn. Multimodal expression of artificial emotion in social robots using color, motion and sound. In *Proceedings of the 2018 ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI)*, pp. 334–343, 2018.

[12] Betty Tärning, Trond A. Tjøstheim,

Mariam Marlen Mirström, and Birger Johansson. Expressing robot emotion using eye colors, pupil sizes, eye direction and head postures. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 17, No. 6, pp. 1019–1031, 2025.

[13] Chinmaya Mishra, Gabriel Skantze, Peter Hagoort, and Rinus G. Verdonschot. Perception of emotions in human and robot faces: Is the eye region enough? In *Social Robotics: ICSR + AI 2024*, pp. 290–303. Springer, 2025.

[14] Matthew J. Page, Joanne E. McKenzie, Patrick M. Bossuyt, Isabelle Boutron, Tammy C. Hoffmann, Cynthia D. Mulrow, Larissa Shamseer, Jennifer M. Tetzlaff, Elie A. Akl, Sue E. Brennan, et al. The PRISMA 2020 statement: An updated guideline for reporting systematic reviews. *BMJ*, Vol. 372, p. n71, 2021. doi: 10.1136/bmj.n71.

[15] 著者 . 人とロボットの親和性を高める HRI システムの設計: PRISMA に基づくシステマティックサーベイ. 慶應義塾大学 SFC 特別研究プロジェクト 最終レポート, 2026.

[16] Natalia Calvo-Barajas, Anastasia Akkuzu, and Ginevra Castellano. Balancing human likeness in social robots: Impact on children's lexical alignment and self-disclosure for trust assessment. *ACM Transactions on Human-Robot Interaction*, Vol. 13, No. 4, p. Article 54, 2024.

[17] Maha Salem, Gabriella Lakatos, Farshid Amirabdollahian, and Kerstin Dautenhahn. Would you trust a (faulty) robot? effects of error, task type and personality on human-robot cooperation and trust. In *Proceedings of the Tenth Annual ACM/IEEE International Conference on Human-Robot Interaction (HRI '15)*, pp. 141–148, 2015.

[18] emori. AnimatronicHeadProject. GitHub repository, `https://github.com/emor1/AnimatronicHeadProject`, 2025. commit bf4c78976233ac16bacfd08da7df0a6ffa4b58e2, accessed July 28, 2026.

[19] Paul Ekman and Wallace V. Friesen. Constants across cultures in the face and emotion. *Journal of Personality and Social Psychology*, Vol. 17, No. 2, pp. 124–129, 1971.

[20] Nicola Binetti, Charlotte Harrison, Antoine Coutrot, Alan Johnston, and Isabelle Mareschal. Pupil dilation as an index of preferred mutual gaze duration. *Royal Society Open Science*, Vol. 3, No. 7, p. 160086, 2016.

[21] Astrid Rosenthal-von der Pütten, Julia Arndt, Aleks Pieczykolan, Maria Pohl, and Malte Jung. Within, between, forced choice, or likert scale? how methodological decisions influence recognition rates in HRI recognition studies. *International Journal of Social Robotics*, Vol. 17, No. 4, pp. 693–706, 2025.